



Mot fjärde generationens fjärrvärme

En fallstudie av möjliga lösningar i Malmö

Sofia Akhlaghi
Sofia Carlson

Examensarbete på Civilingenjörsnivå
Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola | Lunds Universitet



Mot fjärde generationens fjärrvärme

En fallstudie av möjliga lösningar i Malmö

Sofia Akhlaghi
Sofia Carlson

Juni 2016, Lund

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid Avd. för Energi-hushållning, Inst för Energivetenskaper, Lunds Universitet - LTH samt vid E.ON Värme Sverige AB i Malmö.Handledare på E.ON Värme Sverige AB: Henrik Landersjö; handledare på LU-LTH: lic. Lisa Brange; examinator på LU-LTH: bitr. universitetslektor Kerstin Sernhed.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

ISRN LUTMDN/TMHP-16/5365-SE

ISSN 0282-1990

© 2016 Sofia Akhlaghi och Sofia Carlson samt Energivetenskaper

Energihushållning

Institutionen för Energivetenskaper

Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola

Box 118, 221 00 Lund

www.energy.lth.se

Sammanfattning

Att använda råvaror och energi så effektivt som möjligt är en utvecklingsriktning som genomsyrar hela samhället. Ett resultat av detta är att nya regler och ny teknik har lett till att nya byggnader använder värme mer effektivt än tidigare. Då fjärrvärme står för drygt hälften av uppvärmningen i Sverige innebär en förändrad värmeanvändning nya förutsättningar för fjärrvärmens framtida utveckling. Effektivare värmeanvändning öppnar upp för fjärrvärme med lägre framtemperatur vilket möjliggör användandet av billigare material så som plaströr men även integrering av lågvärdig spillvärme i fjärrvärmenätet. Detta ligger i linje med fjärde generationens fjärrvärme (4GFV). Den här studiens syfte är att se hur 4GFV skulle kunna genomföras i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät med avseende på teknik, ekonomi och resurseffektivitet. Detta genomfördes genom en litteraturstudie samt att simulera två möjliga systemlösningar för 4GFV i ett område i Malmö och jämföra dessa med ett konventionellt fjärrvärmesystem.

De två systemlösningarna dimensionerades och simulerades med hänsyn taget till legionellasäkerhet i tappvarmvattnet och krav på byggnadsuppvärmning. Den ena systemlösningen var lågtempererad fjärrvärme (LTFV) med en fram- respektive returtemperatur på 65/35 °C. I detta system förekom både PEX- och stålledningar i fjärrvärmenätet. Den andra systemlösningen var ultralågtempererad fjärrvärme (ULTFV) med en fram- respektive returtemperatur på 41/20 °C i kombination med en värmepump eller elvärmare lokalt i varje byggnad för tappvarmvattenberedning. I ULTFV-nätet förekom endast PE-ledningar. Det konventionella fjärrvärmesystemet utformades som ett referenssystem och byggde på samma teknik och parametrar som Malmö-Burlövs fjärrvärmenät idag. Det undersökta området bestod av 35 kombihus och 15 villor. Värmebehovet för byggnaderna erhöles utifrån svenska bestämmelser för uppvärmningsbehov i lågenergihus samt tappvarmvattenanvändningen som räknades ut från schabloner från Energimyndigheten. Simuleringarna gjordes i NetSim, ett kommersiellt simuleringsprogram som används för både fjärrvärme och fjärrkyla.

Resultaten från simuleringarna indikerade att de båda systemen var fullt implementerbara i området. LTFV-systemet minskade värmeförlusterna med 47 % på årsbasis i jämförelse med referenssystemet och ULTFV-systemet minskade värmeförlusterna med 63 %. LTFV- och ULTFV-systemet fordrade dock extra elenergibehov jämfört med referenssystemet motsvarande 50 MWh/år respektive 800 MWh/år. Denna elenergi står för extra pumpning och el till värmepumpar och elvärmare för ULTFV-systemet. Båda systemlösningarna var mindre ekonomiskt lönsamma än referenssystemet. Detta berodde främst på att systemlösningarna medförde högre kostnader, både för grundinvestering samt för drift och underhåll. Om marginalproduktionskostnaden minskades för systemlösningarna, vilket skulle kunna vara möjligt med exempelvis spillvärme, kunde de generera en lika hög som eller högre ekonomisk lönsamhet än referenssystemet. Primärenergianvändningen för systemlösningarna berodde till stor del av elens samt fjärrvärmens primärenergifaktorer. Med dagens primärenergifaktorer skulle referenssystemet ha en lägre primärenergianvändning, men om spillvärme skulle integreras i systemlösningarna skulle resultatet vara det motsatta.

Simuleringarna visade att låga returtemperaturer är avgörande för ett välfungerande system. Problem med detta hör ofta ihop med kundernas låga incitament att underhålla sina fjärrvärme-centraler för att erhålla en god avkylning. Skulle fjärrvärmebolaget äga fjärrvärmecentralerna skulle det finnas större möjligheter att bibehålla en god avkylning. LTFV-systemet uppfyller inte 4GFV som definierad i denna studie eftersom framtemperaturen är för hög på grund av den svenska lagstiftningen om legionella. En annan lagstiftning som skulle tillåta lägre tappvarmvattentemperatur förutsatt att legionellasäkerhet kan garanteras skulle underlätta för införandet av 4GFV i framtiden.

Nyckelord: Fjärde generationens fjärrvärme, lågtempererad fjärrvärme, värmeförluster, spillvärme, returtemperatur

Abstract

There is a trend throughout society today to use raw material and energy as efficiently as possible. As a result of this, new legislation and new techniques has led to a more efficient use of energy in buildings than in the past. As district heating (DH) accounts for half of the market share for heating in Sweden a changed use of heat means new conditions for the future development of DH. More efficient use of heating allows for the supply of district heating with a lower temperature which enables the possibility to use cheaper material and to integrate low-grade excess heat into the DH grid. This is in line with Fourth Generation District Heating (4GDH). This study aims to see the possibilities of how 4GDH could be implemented in the DH-network in Malmö-Burlöv with respect to technology, economy and the use of resources. This study was performed through a literature study and a subsequent simulation that compared two possible system solutions of a 4GDH system in a district of Malmö to a conventional DH system.

The dimensions of these two systems were calculated and simulated with respect to bacteria safety and heat comfort. The first system was a low temperature system (LTDH) with a supply/return temperature set to 65/35 °C. In this system pipes made both from PEX and steel were used. The second system was an ultra-low temperature system (ULTDH) with a supply/return temperature of 41/20 °C which operated in conjunction with a heat pump or an electrical heater in each building for domestic hot water preparation. In the ULTDH system only pipes made from PE were used. A conventional system was made as a reference system with the same technique and parameters as the Malmö-Burlöv DH-grid today. The investigated area consisted of 35 kombi houses and 15 villas. The heat demand for the buildings was calculated using data for low-energy buildings according to Swedish standards and the use of domestic hot water was calculated according to statistics from the Swedish Energy Agency. The simulations were performed in the simulation program NetSim, a commercial simulating program used for both district heating and cooling.

The results indicated that both system solutions would be fully applicable in the area. The LTDH-system reduced the heat losses by 47 % on a yearly basis in comparison to the reference system. For the ULTDH-system the heat losses were reduced by 63 %. The extra electricity demand for the LTDH and ULTDH-system in comparison to the reference system was 50 MWh/year and 800 MWh/year respectively. Those numbers account for extra pumping and electricity to the heat pumps and electrical heaters for the ULTDH system. Both system solutions were less profitable than the reference system. This was mainly due to higher costs for investment and operation and maintenance. If the marginal production cost was reduced for the system solutions, which could be possible with excess heat, the system solutions could generate financial returns in line with, or higher than the reference system. The primary energy use for the system solutions was dependent on the primary energy factors of the electricity and the district heating. With the primary energy factors of today the reference system would have a lower primary energy use, but if excess heat would be integrated in the system the result would be the opposite.

The simulations showed that a low return temperature is crucial for a well-functioning LTDH system. Problems with return temperatures are often connected to low incentive for the customers to maintain their substations and secure a sufficient cooling in the heat exchangers. Should the DH-companies instead own the substations, there would be greater opportunities to maintain an optimal cooling. Furthermore, the LTDH-system did not completely fulfil 4GDH as defined in this study because the supply temperature was too high due to the Swedish legionella safety legislation. A law that allows lower supply temperatures as long as the legionella safety is guaranteed would simplify the implementation of 4GDH in the future.

Key words: Forth generation district heating, low temperature district heating, heat losses, excess heat, return temperature

Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbete för E.ON Värme Sverige AB i samarbete med Institutionen för Energivetenskaper vid Lunds Universitet – Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har genomförts under våren 2016 som det avslutande momentet i författarnas utbildning i Civilingenjörsprogrammet Ekosystemteknik/Environmental Engineering med specialisering inom energisystem.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Henrik Landersjö på E.ON Värme och Lisa Brange på LTH för ett otroligt engagemang, bra stöd och eftersom ni alltid har funnits till hands. Vi vill även rikta ett varmt tack alla våra kollegor på E.ON Värme för värdefull input till detta examensarbete, intressanta diskussioner och trevliga fikaraster. Slutligen riktas även ett tack till följande personer, som alla bidragit med värdefull information och gjort denna studie möjlig:

Patrik Lauenburg, Lunds Tekniska Högskola

Janusz Wollerstrand, Lunds Tekniska Högskola

Per Rosén, E.ON Sverige AB

Mathilda Svensson, Maxitherm

Tobias Thorell, Uponor

Rolf Jönsson och Mats Persson, Alfa Laval

Kjell Andersson, Mälarenergi

Lars-Göran Dahlqvist, Varvsstaden

Marcus Thern och Magnus Genrup, Lunds Tekniska Högskola

Sofia Akhlaghi och Sofia Carlson

Lund, juni 2016

Förkortningar

4GFV – Fjärde generationens fjärrvärme
BBR – Boverkets Byggregler
COP – Coefficient of Performance
DVUT – Dimensionerande vinterutetemperatur
EVS – E.ON Värme Sverige AB
LTFV – Lågtempererad fjärrvärme
MPK – Marginalproduktionskostnad
PE – Polyeten
PEF – Primärenergifaktor
PEX – Tvärbunden polyeten
SCNH – Sveriges Centrum för Nollenergihus
SIS – Swedish Standards Institute
SMHI – Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut
TVV – Tappvarmvatten
ULTFV – Ultralågtempererad fjärrvärme
VVC – Varmvattencirkulation

Ordlista

A_{temp} = Invändig area som värms till mer än 10 °C
Bar – Enhet för tryck, 1 bar = 10^5 Pa
Effekt – Hur mycket energi som går åt under en viss tid (1 W = 1 J/s)
Framledning – Den ledning som transporterar fjärrvärmevatten ut till en kund
Framtemperatur – Den temperatur som fjärrvärmevattnet har i framledningen
Ledning – Den anordning som transporterar fjärrvärmevatten. Består av ett mediarör, isolering och mantelrör
Lågenergihus – Byggnader som har ett lägre behov av tillförd energi än traditionella byggnader
Mantelrör – Det hölje som omsluter en fjärrvärmeledning och skyddar isoleringen
Mediarör – Det rör där fjärrvärmevattnet transporteras
Returledning – Den fjärrvärmeledning som transporterar fjärrvärmevatten från en kund
Returtemperatur – Den temperatur som fjärrvärmevattnet har i returledningen

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Introduktion.....	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Frågeställningar.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Disposition.....	3
2. Bakgrund.....	4
2.1 Fjärrvärmens utveckling.....	4
2.2 Fjärde generationens fjärrvärme.....	5
2.3 E.ON.....	5
2.4 Malmö-Burlövs fjärrvärmenät.....	6
2.5 Varvsstaden.....	7
2.6 Miljökvalitetsmål.....	8
3. Teknik och ekonomi.....	9
3.1 Distribution av fjärrvärme.....	9
3.2 Tekniska parametrar.....	10
3.3 Legionella.....	14
3.4 Komponenter i fjärrvärmesystem.....	15
3.4.1 Integrering av sekundärnät med primärnät.....	15
3.4.2 Ledningar.....	18
3.4.3 Fjärrvärmecentraler.....	20
3.4.4 Uppvärmning.....	23
3.4.5 Värmepump.....	24
3.5 Ekonomi.....	25
3.6 Primärenergi.....	27
4. Metod.....	29
5. Översikt över demonstrationsprojekt inom 4GFV.....	32
6. Systemval.....	38
7. Uppbyggnad av modell.....	41
7.1 Integrering av sekundärnät.....	41
7.2 Nätets utformning.....	41
7.3 Utomhustemperatur och marktemperatur.....	43
7.4 Fram- och returtemperaturer.....	44
7.5 Effektbehov byggnader.....	46
7.6 Varmvattenlösning till ULTFV-systemet.....	48
8. Resultat och analys.....	53
8.1 Resultat från simuleringar.....	53
8.2 Ekonomi.....	54
8.3 Primärenergi.....	57
8.4 Känslighetsanalys.....	57
8.4.1 Returtemperaturer.....	57
8.4.2 Effektkurvor.....	59
8.4.3 Varierande COP för värmepumpen i ULTFV-systemet.....	60

8.4.4 Ekonomi	60
8.4.5 Primärenergi	62
9. Diskussion.....	66
9.1 Metoddiskussion	66
9.2 Resultatdiskussion.....	70
9.3 Mot framtiden.....	74
10. Slutsatser	76
11. Litteraturförteckning.....	77

1. Inledning

Detta kapitel ämnar ge läsaren förståelse för arbetets syfte och kontext. Kapitlet innehåller en inledning där projektets motiv och bakgrund definieras. Vidare beskrivs arbetets syfte, frågeställningar, avgränsningar och disposition.

1.1 Introduktion

Det svenska energisystemet står inför flera förändringar då nya mål, regler och ändrade användningsmönster skapar nya förutsättningar för producenter, distributörer och användare. Europeiska unionens mål till 2020 med effektivare energianvändning, ökad andel förnybar energi och ökad andel förnybart bränsle i transportsektorn har i hög grad präglat utvecklingen av det svenska energisystemet. Målet om effektivare energianvändning har lett till en rad åtgärder, bland annat till att nybyggda byggnader har striktare krav än tidigare med anseende på värmeförbrukning vilket leder till ett lägre värmebehov än tidigare.

Fjärrvärmen står för drygt hälften av all uppvärmning i Sverige [1] och Sverige är ett av de länder där fjärrvärme utgör den största andelen av värmemarknaden [2]. Ett lägre värmebehov för byggnader får därför en direkt inverkan på fjärrvärmens framtida utveckling. Dagens fjärrvärmenät bygger på teknik med rötter från 1950-talet som är anpassad efter att möta den tidens energibehov med avseende på uppvärmning och tappvarmvatten (TVV). Sedan dess har nybyggda byggnader blivit bättre isolerade samt att de värmeöverförande komponenterna och de interna uppvärmningssystemen har blivit effektivare till följd av hårdare krav och teknisk utveckling. Energieffektivare system behöver inte lika höga framtemperaturer för att klara av behovet av värme vilket öppnar upp för möjligheten att distribuera fjärrvärme med lägre temperaturer.

Fjärde generationens fjärrvärme (4GFV) bygger på en teknik som kan möta ovan nämnda förändrade förutsättningar. 4GFV kännetecknas av sänkta temperaturer i fjärrvärmenätet vilket möjliggör ett nät bestående av andra byggmaterial i ledningarna och mer materialsnåla komponenter vilket är billigare [3]. Lägre temperaturer i nätet medför dessutom möjlighet att integrera lågvärdig spillvärme, det vill säga värme som i dagens läge inte uppfyller de temperaturkriterier som finns för att integreras i ett konventionellt nät med högre temperaturer. Detta gör 4GFV intressant eftersom billigare komponenter kan stärka både fjärrvärmens konkurrenskraft och att tillvaratagandet av lågvärdig spillvärme ger systemnyttiga vinster. Sänkta temperaturer i nätet medför också lägre värmeförluster vilket innebär att mindre fjärrvärme behöver produceras. För ett internationellt energibolag som E.ON med stark hållbarhetsprofil finns därmed flera värden i 4GFV då dess fördelar både kan stärka E.ON:s konkurrenskraft på fjärrvärmemarknaden och samtidigt bidra till utvecklingen av ett hållbart energisystem. Det finns idag ingen enad fastställd definition för 4GFV men enligt Lund et.al [4] definieras detta som fjärrvärme med en fram- och returtemperatur på högst 55 °C respektive 25 °C. Det visar sig att i de demonstrationsprojekt som gjorts är det svårt att komma ner i dessa temperaturer varför de satta temperaturerna endast kommer att vara vägledande, inte avgörande, för kommande studier och systemval.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka möjliga framtida alternativ för 4GFV i området Varvsstaden i Västra hamnen i Malmö med hänsyn taget till teknik, ekonomi och resurseffektivitet. Två systemlösningar inom 4GFV utformas, vilka jämförs med ett referenssystem:

1. En systemlösning där tappvarmvattnet blir den dimensionerande faktorn för fjärrvärme-systemet.
2. En systemlösning där uppvärmningen blir den dimensionerande faktorn för fjärrvärme-systemet och temperaturnivån för tappvarmvattnet löses lokalt i varje byggnad.

Referenssystem utformas som ett konventionellt fjärrvärmesystem med samma teknik och parametrar som dagens fjärrvärmenät i Malmö-Burlöv.

Studien ämnar presentera konkreta förslag om hur 4GFV kan implementeras i verkligheten, samt beskriva de tekniska, ekonomiska och resursmässiga aspekter som påverkar systemvalet. Resultatet bidrar till en bedömning av möjligheter att förverkliga 4GFV i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och andra fjärrvärmenät med liknande förutsättningar i framtiden.

1.3 Frågeställningar

Frågeställningar för studien är följande:

1. Vilka systemlösningar finns i dagsläget inom ramen för 4GFV?
2. Hur ska de två framtagna systemlösningarna utformas mer ingående med avseende på fram- och returtemperatur, material och TVV-lösning?
3. Hur beter sig dessa systemlösningar i jämförelse med ett konventionellt fjärrvärmesystem med avseende på värmeförluster, returtemperaturer och flödes hastighet?
4. Är dessa två alternativ ekonomiskt lönsamma jämfört med ett konventionellt fjärrvärmesystem?
5. Hur skiljer sig dessa systemlösningar i primärenergianvändning jämfört med ett konventionellt fjärrvärmesystem?

Frågeställningarna bygger upp studien och varje frågeställning besvaras i respektive del enligt Figur 1.

Frågeställning 1	→	Litteraturstudie
Frågeställning 2	→	Uppbyggnad av modeller
Frågeställning 3	→	Simulering i NetSim
Frågeställning 4	→	Ekonomisk kalkyl
Frågeställning 5	→	Primärenergianalys

Figur 1. Arbetsgång kopplat till studiens frågeställningar.

1.4 Avgränsningar

Studien avgränsar sig till Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och området Varvsstaden i stadsdelen Västra Hamnen och därmed dess rådande förutsättningar. Det medför att det inte kan garanteras att studien är applicerbar på fjärrvärmesystem i andra städer. Vidare innebär en total omställning från ett konventionellt fjärrvärmenät till ett 4GFV-nät att alla anslutna byggnader behöver vara anpassade

för de lägre framtemperaturerna. Även det befintliga fjärrvärmenätet som idag är dimensionerat för en temperaturskillnad på 50 °C vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) måste anpassas till de nya temperaturförutsättningarna. Eftersom så inte är fallet genomförs simuleringarna i den här studien i ett nybyggt nät. Samtliga byggnader i området som simuleras består av nybyggda hus med en energiprestanda enligt bestämmelser för lågenergihus för svenska förhållanden. Dessa har ett lägre värmebehov än traditionella byggnader och effektiv värmeöverförande teknik vilket gör dem lämpade för 4GFV. Alternativet för 4GFV i befintliga byggnader har därför inte undersökts närmare. Studien är gjord ur ett producent- och distributionsperspektiv. Fjärrvärmeföretagen kan inte direkt styra över vilken teknik kunden utnyttjar i de husinterna systemen. På grund av detta har denna studie inte inriktat sig på vilken sorts fjärrvärmecentral eller byggnadsinternt uppvärmningssystem som kunden har. Endast byggnader med behov av uppvärmning och TVV har studerats eftersom andra behov så som industrikunder med ett fjärrvärmebehov för produktion kan kräva högre framtemperaturer. På grund av begränsningar i tid avgränsar sig studien till att endast undersöka primärenergi för att undersöka resursmässiga aspekter.

1.5 Disposition

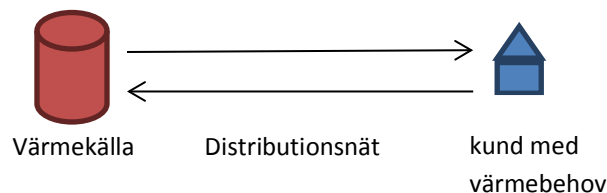
Rapporten inleds med en bakgrund där fjärrvärme kort presenteras. Det ger även en samlad bild av E.ON som företag, Malmö-Burlövs fjärrvärmenät, området Varvsstaden samt de regler som gäller för bebyggelse i Malmö idag. I efterföljande kapitel, *Teknik och ekonomi*, beskrivs fjärrvärme mer ingående. Bland annat beskrivs de tekniska parametrarna, problematik och hantering av bakterien legionella, olika komponenter som ingår i ett fjärrvärmesystem, de ekonomiska parametrarna samt primärenergi. Detta följs av en metod där tillvägagångssättet för studien kortfattat beskrivs. Därefter följer en presentation av aktuell forskning, simuleringar och demonstrationsprojekt som gjorts hittills inom ramen för 4GFV under rubriken *Översikt över demonstrationsprojekt inom 4GFV*. Utifrån det föregående kapitlet utformas och presenteras de två systemvalen i kapitlet *Systemval*. Förutsättningarna för området samt systemvalen avgör den tekniska utformningen på systemen mer detaljerat och hur modellerna byggs upp. Detta presenteras i kapitlet *Uppbyggnad av modell* och kan ses som ett utökat metodkapitel för de kommande simuleringarna. I *Resultat och analys* simuleras och analyseras dessa modeller utifrån teknisk och ekonomisk data. Rapporten avslutas med en diskussion och en framåtblick om hur 4GFV möjligen kan utvecklas i framtiden.

2. Bakgrund

Detta kapitel ämnar ge läsaren en förståelse för arbetets bakgrund och förutsättningar. Kapitlet innefattar en kort beskrivning av fjärrvärme, dess historiska utveckling och en redogörelse för företaget E.ON där studien utförts. Även Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och de förutsättningar som finns för området beskrivs.

2.1 Fjärrvärmens utveckling

Fjärrvärme bygger på att värme förflyttas från tillgängliga värmekällor till en kund med ett värmebehov. Detta förutsätter att det både finns ett värmebehov på marknaden samt en lämplig värmekälla. Dessutom behövs ett distributionsnät som kopplar samman värmekällan med behovet och förflyttar värmen. Lämpliga värmekällor kan till exempel vara värme producerad i värmeverk, kraftvärme, spillvärme från industri samt geotermisk värme [3]. Ett lämpligt värmebehov, även kallad last, är till exempel byggnadsuppvärmning samt TVV-beredning i bostäder och lokaler. En kund är någon som har ett värmebehov, till exempel en villaägare, en industri eller en bostadsförening [3]. Figur 2 visar en förenklad bild av ett fjärrvärmesystem där värmekällan genom ett distributionsnät, här illustrerat av pilar, binds ihop med en kund.



Figur 2. Grundprincipen för fjärrvärmesystem.

Fjärrvärme har historiskt genomgått förändringar vad gäller värmekällor och distribution. System med fjärrvärme infördes redan i slutet av 1800-talet i USA och Tyskland då man för första gången såg möjligheten att utnyttja värme från ångdrivna kraftvärmeverk för att förse kunder med värme. Detta var också grunden till *första generationens fjärrvärmeteknik* [3]. Tekniken byggde på att ånga transporterades i isolerade ställedningar i betongkulvertar fram till kunden där ångan kondenserades och avgav sin värme. Kondensatet transporterades därefter tillbaka till anläggningen där det återigen värmdes upp. Detta system medförde emellertid höga värmeförluster och höga underhållskostnader vilket ledde till att denna teknik i de flesta fall fasades ut. Idag används ångsystem endast i delar av ett fåtal städer såsom Paris, New York och Köpenhamn.

På 1930-talet utvecklades så småningom *andra generationens fjärrvärmeteknik*. Denna byggde på att förflytta värme med trycksatt vatten, ofta med temperaturer över 100 °C. Likt första generationens fjärrvärme transporterades mediet i isolerade ställedningar i betongkulvertar [3]. Denna teknik dominerade fram till 1970-talet och är fortfarande en del av många fjärrvärmenät, bland annat nätet i Malmö-Burlöv [5].

På 1970-talet introducerades *tredje generationens fjärrvärmeteknik* vilket är den dominerande tekniken idag. Denna kännetecknas av lägre temperaturer i näten, en framtemperatur mellan 80-100 °C och en returtemperatur på 40-50 °C [5]. Ledningarna är ofta direktförlagda vilket innebär att

de inte ligger i en kulvert utan direkt i marken. Mediarören är gjorda i stål med en isolering av polyuretanskum (PUR) omgivet av en plastmantel [3].

2.2 Fjärde generationens fjärrvärme

Begreppet *fjärde generationens fjärrvärmeteknik* introducerades på ett IEA-seminarium i Reykjavik år 2007. Syftet var att förnya fjärrvärmetekniken för att möta omvärldens och marknadens framtida villkor [6]. Det finns inga klart fastställda gränser för högsta fram- och returtemperatur i nätet utan 4GFV definieras lite olika i olika studier och rapporter [4], [6], [7], [8]. Baserat på dessa rapporter används i denna studie definitionen att fjärde generationens fjärrvärme innebär fram- och returtemperaturer på 55 °C respektive 25 °C eftersom det faller inom det intervall av nättemperaturer som är vanligt förekommande i ovan nämnda studier och rapporter. Dock är dessa endast vägledande temperaturer, ramen för 4GFV kommer visa sig vara större.

Genom att sänka temperaturerna för fram- och returledningen erhålls flera fördelar [3], [9]:

- Minskade värmeförluster
- Minskade materialkostnader då lägre temperaturer i nätet medför möjlighet att använda andra billigare typer av material
- Möjlighet att integrera lågvärdig spillvärme från exempelvis industrier
- Ökad verkningsgrad för pumpar
- Ökad verkningsgrad för värmeverk med rökgaskondensering
- Ökad verkningsgrad för ångbaserad kraftvärme. Detta beror dock på hur kraftverket är konstruerat

Försök inom 4GFV finns än så länge endast i ett fåtal områden, bland annat i Danmark och Sverige [6]. Olika demonstrationsprojekt som ligger inom ramen för 4GFV redogörs för mer utförligt i kapitel 5.

2.3 E.ON

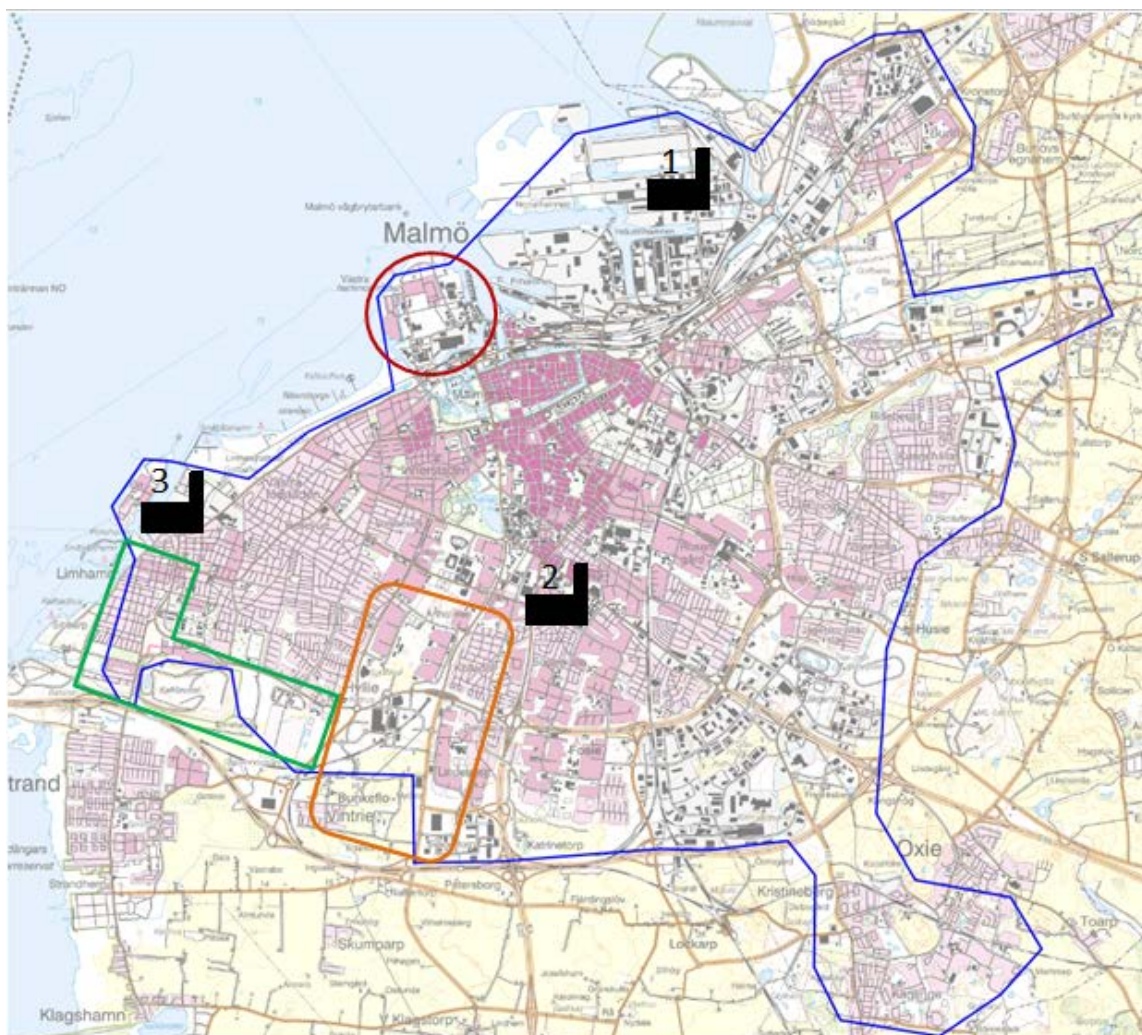
År 1906 bildades det Sydsvenska Kraftaktiebolaget och företaget fokuserade främst på att producera el genom vattenkraft från ån Lagan. Under de kommande decennierna expanderade verksamheten och omfattade verksamhet i Skåne, Blekinge och södra Småland. På 1960-talet började Sydsvenska Kraftaktiebolaget att intressera sig för kärnkraft vilket ledde till att de var först med att driftsätta Sveriges första kommersiella kärnkraftverk i Oskarshamn. År 1977 bytte företaget namn till Sydkraft och år 2001 köpte det tyska företaget E.ON AG majoriteten av Sydkraft. Företaget bytte namn till E.ON Sverige AB år 2005 [10].

Idag är E.ON ett privatägt internationellt energibolag som producerar, distribuerar och säljer energi. Bolaget har sitt huvudsäte i Essen i Tyskland och bolaget har idag cirka 50 underkoncerner i Europa och USA och omsatte 625 miljarder kr år 2014. Koncernen E.ON Sverige är ett integrerat och helägt dotterbolag till E.ON med huvudkontor i Malmö. Koncernen består av 30 dotterbolag i Danmark och Sverige och har i dagsläget runt 3 300 anställda och omsatte 34 miljarder kronor år 2014 [11]. E.ON Värme Sverige AB (EVS) är ett dotterföretag till E.ON Sverige och är den största privata aktören på den svenska fjärrvärmemarknaden. Företaget äger och driver fjärrvärmenät på drygt 20 orter i Sverige, från Malmö i söder till Sollefteå i norr. År 2015 producerade företaget 5,3 TWh värme och hade runt 460 anställda [12].

Med anledning av energimarknadens nya förutsättningar med mer intermittent och småskalig produktion beslutade ledningen år 2014 att anta en ny strategi. Detta ledde till att E.ON år 2016 delades i två delar. Traditionell och storskalig energiproduktion förflyttades till de nystartade företaget Uniper och nya E.ON fokuserar på innovativa kundlösningar, förnybar energi och distribution av el genom smarta elnät [11].

2.4 Malmö-Burlövs fjärrvärmenät

Fjärrvärmenätet i Malmö och Burlövs kommuner började byggas 1951. Sedan dess har det byggts ut i etapper och består idag av 62 mil ledningar som förser 90 % av byggnadsbeståndet i området med värme. Det maximala tillåtna trycket är 16 bar och maximal tillåten framtemperatur är 120 °C. Totalt är cirka 12 000 kunder anslutna varav 7 500 villor och dessa har ett maximalt effektbehov på cirka 900 MW. Den blå markeringen i Figur 3 visas utsträckningen av Malmö-Burlövs fjärrvärmenät. I stadsdelen Hyllie (orange markering) har det byggts så kallad temperaturdynamisk fjärrvärme. Det bygger på en framtemperatur från 110 °C ner till 65 °C och att byggnaderna då kan ge en returtemperatur på 30 °C [13]. Data från byggnader i Hyllie och Limhamn (grön markering) användes som indata i studien. Varvsstaden där simuleringarna gjordes ligger inom det rödmarkerade området.



Figur 3. Den blå linjen markerar gränsen för Malmö-Burlövs fjärrvärmenät där omkring 90 % av alla byggnader är anslutna. Det röda området är Västra Hamnen, det gröna är Limhamn och det orangea är Hyllie. De svarta figurerna är produktionsanläggningar. Bilden erhöles från EVS med egna tillägg.

2.5 Varvsstaden

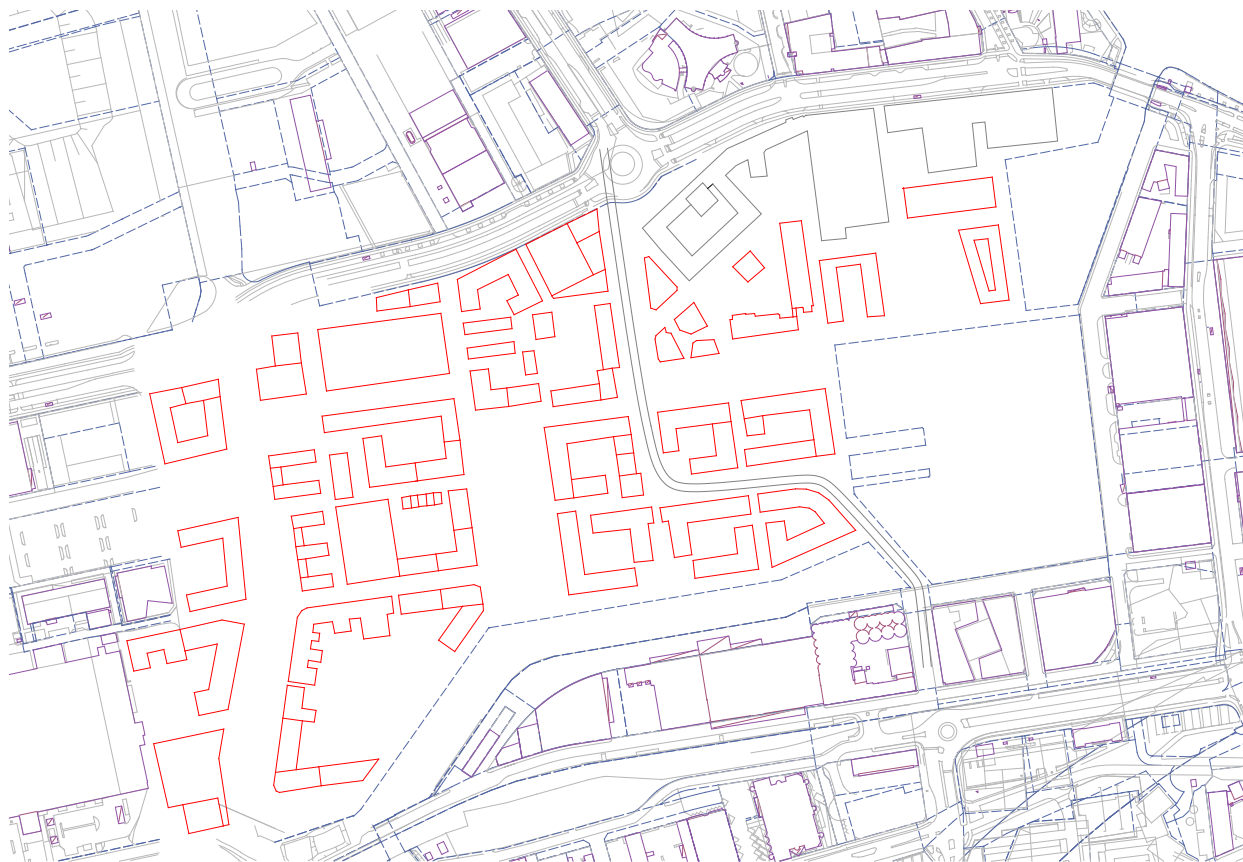
Varvsstaden ligger i sydöstra delen av Västra Hamnen mellan Stora Varvsgatan, Skeppsgatan och Öresund, en bild över området visas i Figur 4. Området har tidigare varit industriområde med framförallt Kockums gamla skeppsvarv som huvudsaklig aktör [14].



Figur 4. Bild över Västra Hamnen där det röda inringade området visar Varvsstaden idag [15].

Området är ännu i planeringsstadiet och enligt utvecklingsplanen från Malmö Stads Stadsbyggnadskontor är målet att *“Varvsstaden blir en attraktiv stadsdel med tydlig identitet inom hållbar och nyskapande stadsutveckling”*. I utvecklingsplanen presenteras en möjlig implementering av den strategiska planen (Figur 5) vilken dragningen av nätet i simuleringarna baserades på. Området kommer att bestå av 40 byggnader av varierande storlek och funktion, varav en del är befintliga byggnader. De flesta av byggnaderna kommer innehålla både bostäder och verksamheter och vara så kallade kombihus. Enligt utvecklingsplanen ska alla nybyggda byggnader byggas i enlighet med aktuella certifieringssystem med låg energiförbrukning enligt Miljöbyggprogram SYD (MBS). Byggnaderna kommer ha ett brett bostadsutbud med olika lägenhetsstorlekar och lokaler med varierande verksamhet. Fyra av byggnaderna är helt eller delvis parkeringshus och tre stycken är skolor eller förskolor. Cykelstråk kommer att finnas i både nord-sydlig och öst-västlig riktning. En spårväg är även tänkt att anläggas genom området i nord-sydlig riktning och gångstråk kommer att finnas genom hela området. En strategi för att uppnå energimålen i området är att lokalt producera

el och värme med hjälp av solceller och solfångare. Solstudier visar att det finns en generell god solmiljö [15].



Figur 5. Utvecklingsplanen för Varvsstaden där de röda byggnaderna representerar nybyggnad. Bilden erhöles från EVS där information om byggnadernas placering erhöles från Utvecklingsplanen för Varvsstaden.

2.6 Miljökvalitetsmål

Bland de 16 miljömål som Sveriges riksdag har beslutat om handlar ett om att skapa en god bebyggd miljö. För att uppnå detta har MBS utvecklats och antagits i Malmös och Lunds kommuner [16]. MBS riktar sig främst till byggherrar som ska bygga byggnader på kommunal mark, men målsättningen är att MBS dessutom ska användas vid byggnation av icke kommunal mark. MBS innehåller krav på följande sex kärnområden: energi, fuktsäkerhet, inomhusmiljö, urban biologisk mångfald, byggnadsakustik och trafikbuller. Dessa kärnområden bedöms efter tre olika miljöklasser från A till C där Miljöklass C har lägst krav men fortfarande något hårdare än de lagstadgade och Miljöklass A har de hårdaste kraven. Miljöklasserna inom kärnområdet energi utgår från Boverkets Byggregler (BBR) och utöver detta kravspecifikationer från Sveriges Centrum för Nollenergihus (SCNH) eller SIS-standarderna SS 24300-1 och SS 24300-2 om Byggnaders energiprestanda från Swedish Standards Institute (SIS) [16].

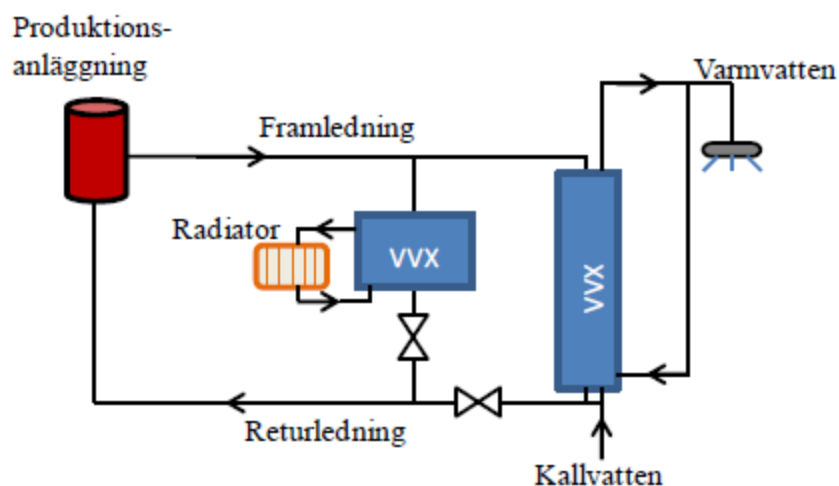
3. Teknik och ekonomi

Detta kapitel ger en mer ingående beskrivning av de tekniska och ekonomiska förutsättningar som studien bygger på och ger den grundkunskap som krävs för att ta till sig studien. I kapitlet beskrivs hur fjärrvärme fungerar samt dess tekniska parametrar och komponenter. Dessutom redogörs för hur problem med bakterien *legionella* påverkar fjärrvärmesystemets utformning. Slutligen beskrivs ekonomiska parametrar och primärenergifaktorer kopplat till fjärrvärme.

3.1 Distribution av fjärrvärme

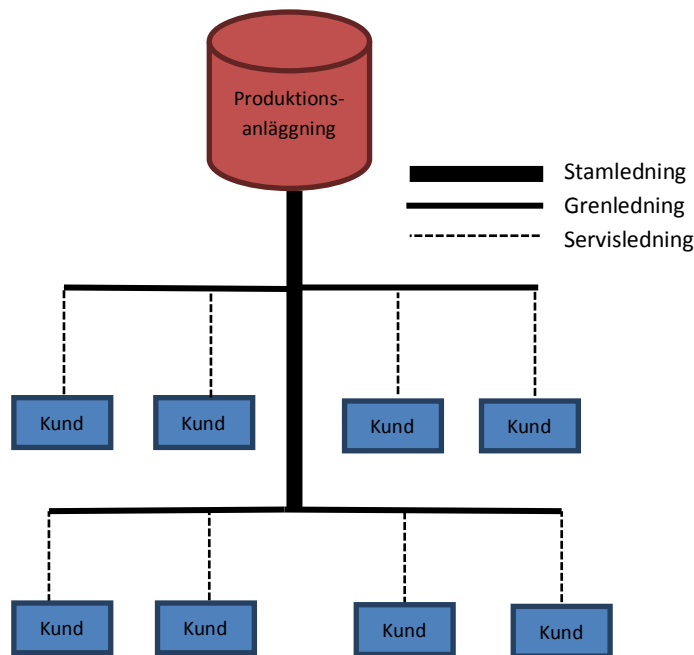
Fjärrvärmevattnet transporteras i ett slutet system i välisolerade ledningar under ett tryck på maximalt 16 bar och, beroende på årstid och väder, med en framtemperatur på mellan 70-120 °C. Detta gäller traditionellt för andra och tredje generationens fjärrvärme, men även andra tryck och temperaturer förekommer. Fjärrvärmenät är i Sverige traditionellt uppbyggda av ett tvårörssystem vilket består av en framledning och en returledning. Vattnet leds genom en framledning till en fjärrvärmecentral i varje byggnad där värmen överförs till de husinterna systemen [17]. Fjärrvärmevattnet kommer efter att ha passerat fjärrvärmecentralen att få en lägre returtemperatur och ett lägre tryck än i framledningen. Därefter flödar fjärrvärmevattnet i en returledning tillbaka till värmekällan där det värms upp igen [5].

Fjärrvärmecentralen hos kunden kan se olika ut beroende på vilket behov kunden har. Oftast värmer fjärrvärmevattnet upp vatten till husuppvärmning och TVV via separata värmeväxlare. Värmen levereras sedan till respektive system i byggnaden i ledningar dragna från fjärrvärmecentralen till användningsstället [17]. I Figur 6 illustreras en schematisk skiss av en typisk kundanläggning i ett flerfamiljshus på det sätt som fjärrvärme traditionellt sett byggs i Sverige.



Figur 6. Principskiss av en kundanläggning i ett flerfamiljshus [18].

Ledningarna i fjärrvärmenätet brukar delas upp i stamledningar, grenledningar och servisledningar (se Figur 7). En stamledning kan ses som själva motorvägen i fjärrvärmenätet. Servisledningarna är de ledningar som transporterar värme in till byggnaden och grenledningarna är anslutningarna mellan stamledningen och servisledningarna. Stamledningarna har den största diametern eftersom de sedan delar upp flödet mellan grenledningarna och vidare till servisledningarna.



Figur 7. Skiss över ett fjärrvärmenät med olika ledningstyper.

3.2 Tekniska parametrar

Effektbehov och nätreglering

Tidigare beskrevs att fjärrvärme levereras genom framledningen till kunden där den lämnar av en del av sin värme och sedan skickas tillbaka genom en returledning. Värmeeffekten som levereras till en kund kan beskrivas med ekvation 1:

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_f - T_r) \quad (1)$$

$$P = \text{effekt [kW]}$$

$$\dot{m} = \text{massflöde [kg/s]}$$

$$c_p = \text{specifik värmekapacitet för vatten [kJ/(kg \cdot K)]}$$

$$T_f = \text{framtemperatur [K]}$$

$$T_r = \text{returtemperatur [K]}$$

Som synes i ekvation 1 finns tre parametrar som styr hur stor effekt som levereras. Den specifika värmekapaciteten, c_p , är konstant för en viss temperatur och ändras endast marginellt med temperaturen vilket gör att den kan ses som en konstant oavsett temperatur. Därav beror den levererade effekten P av massflödet $\dot{m}$ genom värmeväxlaren i kundens fjärrvärmecentral och av avkylningen i värmeväxlaren, det vill säga skillnaden mellan T_f och T_r , ofta benämnt ΔT . Avkylningen i kundens värmeväxlare varierar med framtemperaturen i fjärrvärmevättnet och det momentana effektbehovet. Det momentana effektbehovet är den värme som behövs i ett visst ögonblick för uppvärmning och tappning av varmvatten och beror ofta på utomhustemperaturen och individuella vanor. För att klara effektleveransen till kunderna kan nätet regleras av värmeleverantören på två olika sätt. Det ena sättet är med hjälp av flödet vilket kallas för *flödesreglering*. Detta används ofta då lasten är upp till ungefär 50 % av den totala maximala lasten och innebär att effekten regleras genom att ändra massflödet, $\dot{m}$. Denna typ av reglering är möjlig upp till en viss gräns eftersom tryckförlusterna i ledningarna ökar med högre flöden. Detta kommer att förklaras närmare i

nästkommande avsnitt. Dessutom finns ofta även gränser för högsta hastigheter i ledningarna som måste tas hänsyn till. Enligt EVS:s riktlinjer bör hastigheten i servisledning inte överstiga 1 m/s, hastigheten i grenledningar 2 m/s och hastigheten i stamledningen 3 m/s. Högre hastigheter kan medföra erosionsskador samt ljudproblem [5]. När flödet har nått den övre gränsen för vad som är möjligt i ledningen börjar nätet istället regleras genom *temperaturreglering*. Då ökas temperaturen i produktionsanläggningen så att framtemperaturen ökar och därmed även avkylningen eftersom skillnaden mellan T_f och T_r blir större. Detta medför att dimensionerna på ledningarna kan hållas nere. Utan temperaturreglering måste pumparbetet ökas när det är kallare utomhus och därmed hade det behövts större dimensioner i ledningarna för att hålla trycken och hastigheterna på rätt nivåer. Om endast flödesreglering tillämpas kan det eventuellt skapa problem under sommarhalvåret då lasten är liten. Detta gör att hastigheten på vattnet sjunker och med det ökar de relativa värmeförlusterna [5].

Tryck

Ovan nämndes det att ökade hastigheter i ledningarna ger ökade tryckförluster. Detta beror på att summan av statiskt och dynamiskt tryck är konstant enligt Bernoullis strömningsekvation för inkompressibla fluider, förutsatt att markhöjden är konstant (ekvation 2). Den första termen utgör vätskans statiska tryck, den andra termen det dynamiska trycket och den tredje är höjdtrycket [19].

$$p + \rho \cdot \frac{v^2}{2} + \rho gh = \text{konstant} \quad (2)$$

p = tryck [Pa]

ρ = densitet [kg/m^3]

g = gravitationskonstanten [m/s^2]

v = hastighet [m/s]

h = höjd [m]

Det är viktigt att trycket inte överstiger det maximala trycket för vad ledningar och andra komponenter är klassade för eftersom det kan orsaka materiella skador och i vissa fall personsador. Detta är även reglerat enligt föreskrifter från Arbetsmiljöverket [20]. Det får heller inte bli för lågt tryck eftersom det då kan uppstå ångbildning i högpunkter, pumpar och reglerventiler som då skadas [5].

Differenstrycket definieras som tryckskillnaden mellan fram- och returledningen. Trycket i framledningen måste alltid vara högre än trycket i returledningen då det är tack vare differenstrycket som vattnet flödar framåt i rätt riktning i ledningen eftersom att vattnet drivs från ett högt till ett lågt tryck. Ett tillräckligt högt differenstryck är även nödvändigt för att kundens värmeväxlare ska kunna leverera önskad effekt. Den grundläggande formeln för tryckfall för en fluid i en ledning lyder:

$$\Delta p = \frac{-\lambda \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{d \cdot 2} \quad (3)$$

Δp = tryckförlust i en ledning [Pa]

λ = friktionsfaktor

L = ledningslängd [m]

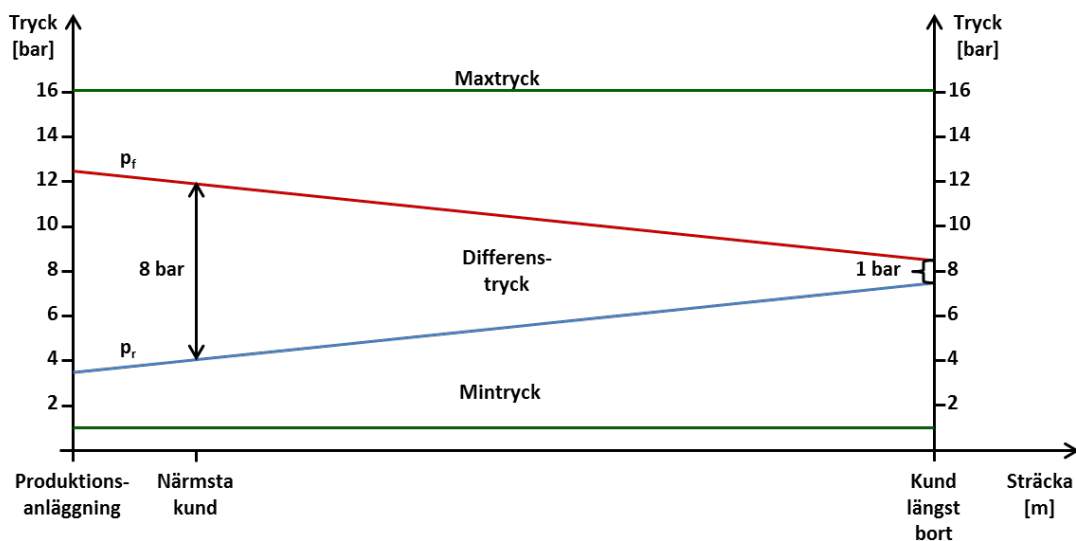
$\rho = \text{densitet [kg/m}^3\text{]}$

$v = \text{hastighet [m/s]}$

$d = \text{ledningsdiameter [m]}$

Som synes i ekvation 3 beror tryckfallet på flera faktorer som bland annat friktion mot mediarörets väggar, vätskans densitet och diametern på röret. Tryckförlusterna ökar kvadratisk med hastigheten, vilket ger skäl för att hastigheter i ledningarna inte bör bli för höga. Vidare är differensstrycket inte lika stort i hela fjärrvärmenätet eftersom tryckförlusterna ökar med längden av ledningarna. Med andra ord så har en punkt längre från produktionsanläggningen ett lägre differensstryck eftersom trycket fallit mer i framledningen än för en punkt nära produktionsanläggningen. På samma sätt blir trycket i returledningen högre med ökat avstånd från produktionsanläggningen eftersom det sjunker på vägen tillbaka. Sammantaget gör detta att differensstrycket är lägre längre bort från produktionsanläggningen. Problem med för låga differensstryck kan därför uppstå i de perifera delarna av fjärrvärmenätet [3].

Svensk fjärrvärme rekommenderar att differensstrycket för en fjärrvärmecentral hos kunden bör ligga mellan 1 och 6 bar, då kundens fjärrvärmecentral kräver minst 1 bar för flöde genom värmeväxlaren och ljudproblem kan uppkomma vid högre differensstryck [21]. Enligt de tekniska bestämmelserna för Malmö-Burlövs nät kommer differensstrycket hos kunden att ligga mellan 1 och 8 bar (se Figur 8) [13]. För att upprätthålla ett tillräckligt högt differensstryck används distributionspumpar som pumpar upp framledningsvattnet [5].



Figur 8. Ett exempel på en tryckkon i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät, bild erhållen från EVS.

Pumpeffekt

Effekten som behövs för pumparna i nätet beräknas enligt [22]:

$$P = \frac{H \cdot Q \cdot \rho \cdot g}{\eta} \quad (4)$$

$P = \text{pumpeffekt [W]}$

$H = \text{pumphöjd [m]}$

$Q = \text{flöde [m}^3/\text{s]}$
 $\rho = \text{densitet [kg/m}^3\text{]}$
 $g = \text{gravitationskonstanten [m/s}^2\text{]}$
 $\eta = \text{verkningsgrad}$

Värmeförluster

När fjärrvärme distribueras i ledningar förloras en del av värmen i fjärrvärmevattnet till omgivningen. Därför måste den totala värmeförlusten i ett system motsvara kundernas behov samt värmeförlusterna i distributionsnätet. I fjärrvärmenät anges ofta den relativa värmeförlusten vilket definieras som den årliga värmeförlusten i relation till den årliga värmeförlusten från tillförsel-enheterna [3]. Hur stora värmeförlusterna är beror på flera faktorer såsom konduktiviteten i fjärrvärmeledningen inklusive isoleringen, ledningskonfiguration, temperatur i fram- och returledningen, omgivningens temperatur samt linjetätheten. Med linjetäthet menas hur stor värmemängd som säljs till kunderna i förhållande till den totala längden distributionsledningar i nätet.

Värmeflödet från en ensam isolerad ledning kan beräknas enligt ekvation 5 [3]:

$$P_{hl} = K \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot (t - t_a) = 2 \cdot \lambda \cdot \pi \cdot L \cdot (t - t_a) / \ln(D/d) \quad (5)$$

$P_{hl} = \text{värmeflöde [W]}$
 $K = \text{total värmegenomgångskoefficient [W/(m}^2\text{K)]}$
 $d = \text{rörens ytterdiameter [m]}$
 $L = \text{rörlängd [m]}$
 $t = \text{varm fluidtemperatur inuti röret [K]}$
 $t_a = \text{omgivande temperatur [K]}$
 $\lambda = \text{isoleringens värmekonduktivitet [W/(mK)]}$
 $D = \text{isoleringens ytterdiameter [m]}$

Som synes i ekvation 5 är värmeförlusterna proportionella mot värmegenomgångskoefficienten, K. Värmegenomgångskoefficienten varierar för olika material och varierar även med ledningsdiametern och isoleringstjockleken. I ekvation 5 framgår även att värmeförlusterna ökar med temperaturskillnaden mellan fluiden och omgivande temperatur, det vill säga $t - t_a$. Mot bakgrund av detta, kan värmeförlusterna begränsas genom att låga temperaturer i ledningarna samt en låg total värmegenomgångskoefficient [3].

Dimensionering av ledningarna

När ett område ska dimensioneras är det många faktorer som ska tas i beaktande. Viktigast är vilket värmebehov kunderna har, vilka tryck och temperaturer som planeras, differenstrycket, flödes-hastighet i ledningen samt hur området kommer se ut. Vidare påverkar även hur systemet ska regleras och huruvida det finns planer på ytterligare utbyggnad i framtiden. Det är fördelaktigt att hålla så små dimensioner som möjligt i ledningarna på grund av ekonomiska skäl. Det som tekniskt begränsar vilka dimensioner som minst kan användas beskrivs ovan och är antingen maximal hastighet eller maximala tryckförluster och därmed differenstryck.

Ledningarna dimensioneras så att fjärrvärmenätet ska kunna tillgodose kundernas värmebehov. Olika sorters kunder har olika grundbehov beroende på vilken sorts aktivitet som fjärrvärmen avser försörja. Till exempel har bostäder och lokaler, exempelvis kontor, olika effektuttag och användningsmönster. Maxuttaget baseras på den maximala användningen av värme för både uppvärmning och TVV. Men det är sällan som maximal uppvärmning sker samtidigt som alla tappkranar är fullt öppna i alla byggnader. Detta gör att det verkliga effektbehovet är lägre än det maximalt möjliga behovet. Detta kallas sammanlagring och beräknas ligga omkring 80 % av maximalt effektbehov. Vidare beror kundens effektuttag på värmebehovet som i sin tur beror av utomhustemperaturen. Vid kallare utomhustemperaturer är uppvärmningsbehovet betydligt högre än vid varmare utomhustemperaturer då det knappt existerar [5]. Även TVV-användningen varierar något med utomhustemperaturen, dock inte lika mycket som uppvärmningen [3]. På grund av lägre utomhustemperaturer blir därför effektuttaget totalt sett högre på vintern än på sommaren. När ett fjärrvärmenät dimensioneras utgår man från en så kallad dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) som i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät är DVUT - 16 °C [5]. Det är den lägsta utomhustemperaturen vid vilken fjärrvärmesystemet ska kunna leverera tillräcklig effekt för att tillgodose alla kunder med värme [5].

3.3 Legionella

Legionella är namnet på en bakteriefamilj som finns naturligt i vatten och sjöar i hela världen. Namnet härstammar från en händelse år 1976 i Philadelphia då 182 krigsveteraner, eller legionärer som de även kallas, insjuknade i en allvarlig lunginflammation [23]. Orsaken var en tidigare okänd bakterie som fick namnet *Legionella pneumophila* och sjukdomen kom att kallas legionärsjuka. Sedan dess har man påvisat cirka 50 arter av legionella varav hälften kan orsaka infektioner hos människor [23]. Legionella kan orsaka två sorts sjukdomar: legionärsjuka som är en typ av lunginflammation och pontiacfeber som orsakar influensaliknande symptom [24]. Smittning sker genom inandning av vattendimma innehållande legionellabakterier [25]. Därav är det viktigt att begränsa legionellabakterier i tappvarmvatten då människor kan smittas vid till exempel duschning.

Bakterierna är vilande vid temperaturer under cirka 20 °C och förökar sig mellan 20-45 °C. Optimalt är stillastående vatten runt 38°C. Vid 48 °C börjar legionella avdödas och avdödningstakten ökar med högre temperaturer. Andra faktorer som spelar roll för legionellatillväxten är pH, tiden med gynnsamma förhållanden samt strömningshastigheten för vattnet. Legionella behöver tid för att föröka sig och trivs därför i låga strömningshastigheter. Även biofilm där legionella kan föröka sig i en skyddad miljö är gynnsam för tillväxten [23].

Förebyggande åtgärder

En metod för att döda bakterierna är att hålla en hög temperatur på vattnet. I Tabell 1 visas hur lång tid som krävs för att döda 90 % av legionellabakterierna vid olika temperaturer [26].

Tabell 1. Tid vid en viss temperatur som krävs för att döda 90 % av legionellabakterierna.

Temperatur	Tid för att avdöda 90 % av legionellabakterierna [26]
50 °C	80-110 minuter
55 °C	20 minuter
60 °C	2 minuter

På senare år har man även hittat alternativa metoder för avdödning av legionella, bland annat behandling med UV-ljus, ozon och kemiska bekämpningsmedel [26]. Sanering med UV-ljus är en metod som blivit allt vanligare i TVV-system. Metoden bygger på att UV-lampor installeras i TVV-systemet och bestrålar ett område och när bakterierna utsätts för ljuset dör de. Ett problem med UV-strålning är att bakterierna endast dödas i den punkten som bestrålas. Området som bestrålas bör därför vara placerat så nära tappstället som möjligt för att förhindra tillväxt efter bestrålningen. Då behandling med UV-ljus kräver att alla områden bestrålas för att avdöda bakterier används sällan UV-behandling som enda saneringsmetod utan snarare som ett komplement, till exempel i badanläggningar då dessa är extra utsatta för legionellaspridning [26].

Svenska bestämmelser

I Sverige måste Boverkets byggregler (BBR) användas vilket resulterar i att bestämda temperaturer måste upprätthållas i TVV. Följande regler finns för att förebygga legionellaspridning i alla varmvatteninstallationer samt för att förebygga risken för skållning [27]:

- Varmvattentemperaturen måste vara lägst 50 °C vid varje tappställe i byggnaden.
- Om det finns en varmvattencirkulationsledning i byggnaden, måste vattentemperaturen i hela denna vara som lägst 50 °C.
- Temperaturen får inte överstiga 60 °C vid något tappställe på grund av risk för skållning.

Detta innebär att temperaturen ut från varmvattenberedaren måste vara högre än 50 °C eftersom det sker värmeförluster på vägen. Hur mycket högre avgörs bland annat av ledningarnas längd, diameter och materialegenskaper (se ekvation 5).

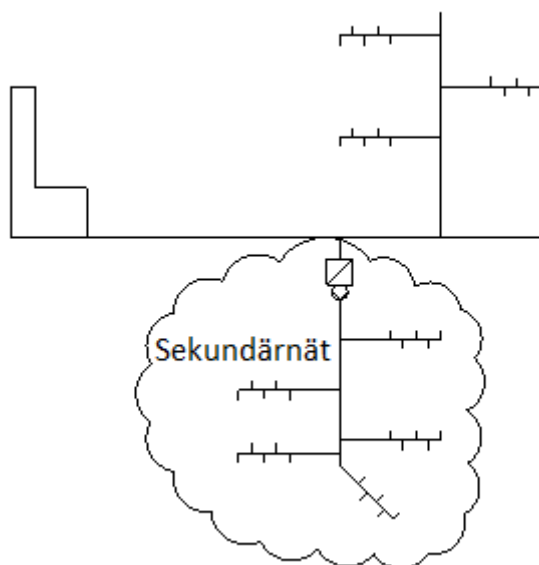
I andra länder gäller inte dessa krav utan ofta utgår det från den tyska standarden DVGW 551. Denna standard anger inga krav på lägsta temperatur vid tappstället om vattenvolymen i varmvattenledningarna på sekundärsidan, exklusive värmeväxlare, inte överstiger 3 liter [28].

3.4 Komponenter i fjärrvärmesystem

För att transportera värmen ut till kunderna består ett fjärrvärmesystem av en mängd sammankopplade tekniska komponenter. Nedan presenteras de som kommer påverka utformningen av ett 4GFV-nät.

3.4.1 Integrering av sekundärnät med primärnät

Ett fjärrvärmenät kan vara antingen ett primärnät eller ett sekundärnät. Ett primärnät innebär att nätet är direkt inkopplat till produktionsanläggningen. Ett sekundärnät är inkopplat på primärnätet genom en inkopplingsanordning som kan vara en värmeväxlare eller en shuntgrupp. Detta gör att sekundärnätet kan drivas vid en annan temperatur eller ett annat tryck än primärnätet. I Figur 9 illustreras en produktionsanläggning till vänster och ett inringat sekundärnät som är ihopkopplat med primärnätet genom en värmeväxlare.

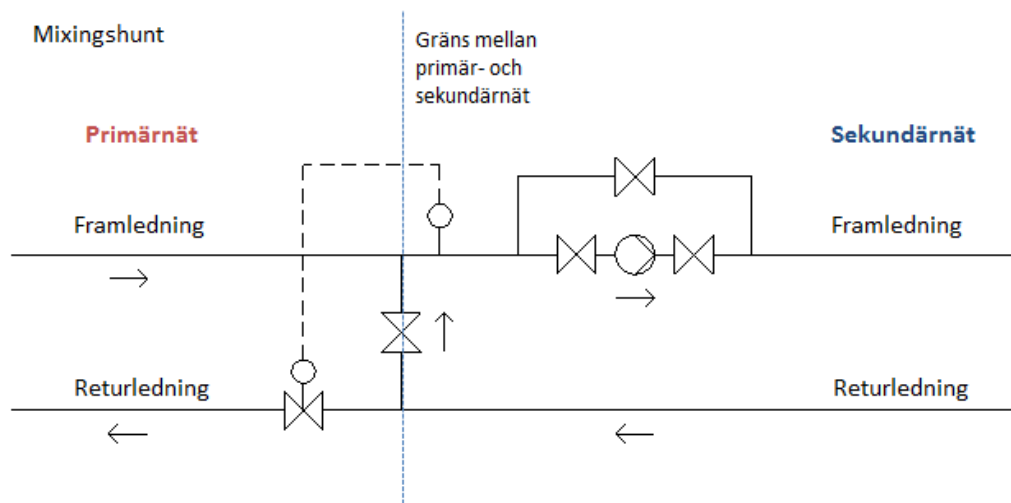


Figur 9. Ett primärnät med ett inkopplat sekundärnät.

Eftersom 4GFV drivs vid lägre nättemperatur än konventionell fjärrvärme kan ett 4GFV-nät få sitt värmebehov försett både från lokal lågtempererad produktion och/eller från primärnätet. Alltså behövs ingen egen värmekälla utan värmekällan till det sekundära 4GFV-nätet kan vara ett befintligt primärt nät. Eftersom 4GFV-nätets tryck, temperaturer och flöde skiljer sig från primärnätets behovs någon slags inkoppling som kan reglera dessa parametrar. I följande del beskrivs och analyseras tre sådana inkopplingar: mixingshunt, trevägsshunt och värmeväxlare.

Mixingshunt

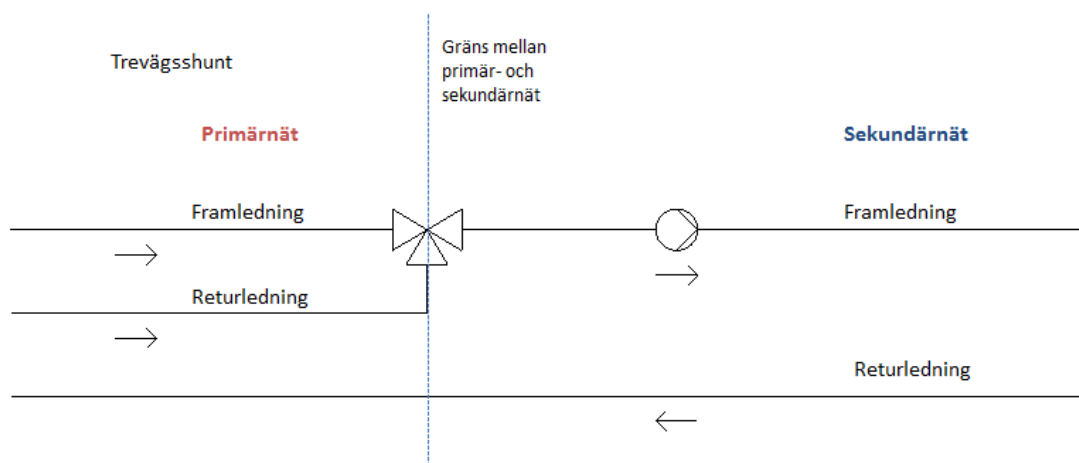
En mixingshunt är en komponent som kan användas för att blanda flöden från olika ledningar. Vid integrering av ett sekundärnät med ett primärnät kan en mixingshunt användas för att koppla ihop primärnätets framledningsflöde med sekundärnätets returledningsflöde. Dessa kombinerade flöden bildar framledningsflödet i sekundärnätet (se Figur 10) [7]. Eftersom returledningsflödet i sekundärnätet, som har lägre tryck, används som en del av framledningsflödet i sekundärnätet, kan det behövas pumpkraft för att få ett tillräckligt högt framledningstryck efter shunten för att få ett tillräckligt differenstryck. Om däremot trycket i framledningen från primärnätet är tillräckligt högt kan detta tryck vara tillräckligt för hela sekundärnätet [29]. Denna lösning har dessutom en säkerhetsaspekt som måste beaktas. Om målet är att komma ner i både tryck och temperatur för att kunna använda andra material i ledningarna så måste det bevisas att primärnätets högre tryck och framtemperatur inte kan påträffas i det lågtempererade nätet. Detta kräver mer besiktning vilket kan bli kostsamt [29].



Figur 10. Integration av ett sekundärnät med ett primärnät genom en mixingshunt. Bild från EVS.

Trevägshunt

En trevägshunt liknar till stor del en mixingshunt. Skillnaden är att ett trevägsvalv används för att blanda primärnätets fram- och returledningsflöden vilka sedan tjänar som framledningsflöde i sekundärnätet. På så sätt kan primärnätets returledningsvatten återanvändas i sekundärnätet och vid behov spetsas med primärnätets framledningsvatten. Processen illustreras i Figur 11. Eftersom primärnätets returledningsvatten återanvänds och kyles ytterligare erhålls även sänkta returtemperaturer för primärnätet, vilket är ett generellt mål för fjärrvärmedistribution. Denna lösning kräver att det är tillräckligt höga flöden i returledningen [7]. Dessutom är trevägskopplingar känsliga, de kräver underhåll, går lätt sönder och har stora strypförluster. Detta medför en risk och de anses därför opålitliga i stora system. En annan nackdel med denna lösning är att den är långsiktigt osäker eftersom sekundärnätet dimensioneras utifrån primärnätets returledning. Eftersom strävan för 4GFV är sänkta returtemperaturer kan detta medföra problem i framtiden om primärnätets returtemperatur skulle bli för låg [29].

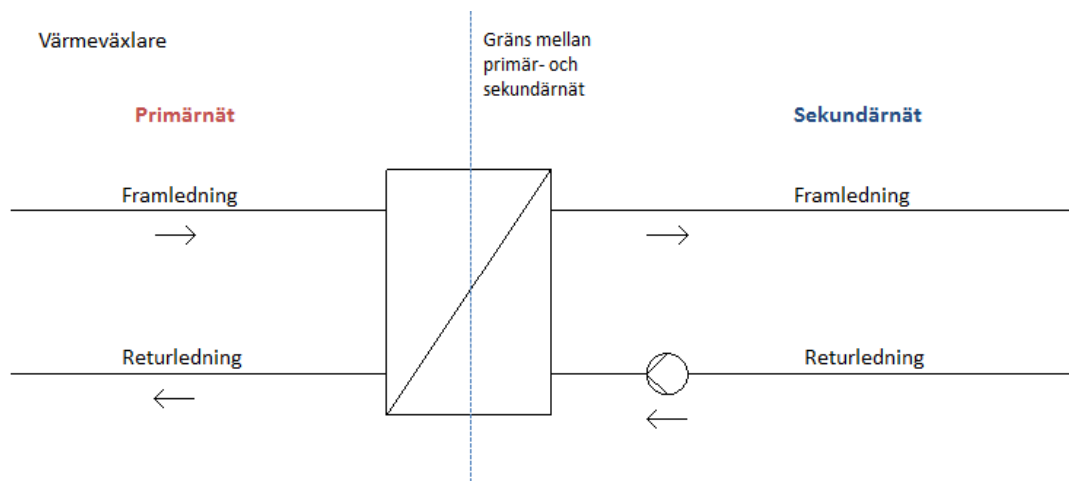


Figur 11. Integration av ett sekundärnät med ett primärnät genom en trevägshunt. Bild från EVS.

Värmeväxlare

Genom att integrera sekundärnätet och primärnätet med en värmeväxlare fungerar sekundärnätet som ett helt slutet system (se Figur 12). Detta innebär att material anpassade till andra tryck och temperaturer kan användas i sekundärnätet utan några säkerhetsrisker. En värmeväxlare kan kopplas

antingen till primärnätets framledning eller till returledningen, beroende på vilken framtemperatur som är önskvärd. Med denna lösning lägger man även till ett bypass som kan leda vattnet mellan primär- och sekundärnätet förbi värmeväxlaren utifall att det förekommer läckor i sekundärnätet. På så sätt försäkras ett tillräckligt flöde samtidigt som man undviker att använda tappvatten i sekundärsystemet vilket kan orsaka korrosionsskador. Då en värmeväxlare hydrauliskt avskiljer de två slutna systemen kommer pumpkraft att behövas för få ett tillräckligt högt differenstryck i sekundärsystemet. Om en värmeväxlare ska användas krävs också att man kommer ner i tillräckligt låga returtemperaturer i sekundärnätet. En nackdel blir annars att returtemperaturen i primärnätet blir något högre då värmeväxlare används istället för en shunt.



Figur 12. Integration av ett sekundärnät med ett primärnät genom en värmeväxlare. Bypass-ledningen är inte utritad. Bild från EVS.

3.4.2 Ledningar

De ledningar som används för fjärrvärmedistribution idag är till största delen inom ramen för tredje generationens fjärrvärmeteknik. De har oftast en liknande uppbyggnad där varmvatten transporteras i ett mediarör som är omslutet av någon sorts isolering som skyddar mot värmeförluster. Isoleringen är i sin tur omgiven av ett mantelrör som utgör en skyddande barriär, ofta av högdensitetspolyeten, PE. De flesta ledningar är prefabricerade och levereras färdiga till anläggningsplatsen. I den tredje generationens fjärrvärme är styva stålledningar den vanligaste typen [3]. Den andra sorten är plastledningar som kan vara både styva och flexibla. Dessa används idag i vissa fjärrvärmenät, men är framförallt vanliga vid transport av kallare vatten, så som fjärrkyla, kallvatten och avlopp. Ytterligare ledningstyper finns, så som flexibla stål- eller kopparledningar. Dessa kommer dock inte beskrivas vidare i den här rapporten på grund av att de är dyrare och inte lika vanliga.

Mediarör av stål

Stålledningar har ett isoleringslager bestående av polyuretanskum (PUR) som skummas direkt på mediaröret. PUR har god isoleringsförmåga, är hållfast och stabilt även för de högsta temperaturer som används i ett fjärrvärmenät då det kan tåla temperaturer upp till 130 °C. Ett åtsittande plastmantelrör av högdensitetspolyeten omsluter isoleringen som skydd. Ibland placeras ett diffusionstätt membran, vanligtvis aluminiumfolie, på insidan av mantelröret för att minska gasutbyte mellan isoleringen och den omgivande luften som annars försämrar isoleringsförmågan [3]. På grund av att det förekommer en viss materialutvidgning av stålledningarna när de fylls med det varma fjärrvärmevattnet kan inte schakten där ledningarna ligger fyllas igen så fort anläggningen är

klar. Ledningarna måste istället varmförläggas, vilket innebär att de fylls med varmt vatten till halva drifttemperaturen innan de täcks. Stålleddningar med PUR-isolering är en ledningstyp som använts och vidareutvecklats under lång tid och är därför säkert och välbeprövat. Dessutom tål stålleddningar högt tryck och höga temperaturer.

Mediarör av plast

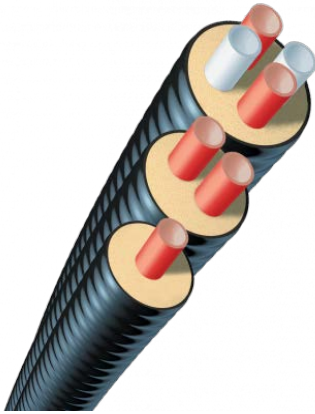
Plastledningar används främst i mindre fjärrvärmenät och i sekundärnät i Sverige, men i Danmark är de vanligare och används även som servisledningar i större nät. De tål oftast inte lika höga tryck och temperaturer som ledningar med mediarör av stål, men undantag finns. Plastledningarna är lättare och ofta flexibla vilket är en stor fördel vid anläggningen. De kan transporteras på trummor och kräver färre skarvar tack vare längre leveranslängder vilket ger en förkortad anläggningstid. Grävarbetet underlättas eftersom rörgraven kan vara smalare tack vare färre skarvar och om det skulle stötas på hinder i marken kan ledningarna läggas runt dessa [3]. Eftersom plastledningar vid uppvärmning plastiskt deformeras istället för att utvidgas så som stålleddningar gör kan kallförläggning utnyttjas. Sammantaget sänker detta anläggningskostnaderna eftersom tiden och antalet moment reduceras [30].

Plastledningar har tack vare de lägre framtemperaturer de är anpassade för en hög hållbarhet vilket ger en ökad livslängd och därmed innebär en god ekonomisk investering [31]. Lägre friktion i ledningarna medför även reducerade tryckfall [3]. Det finns olika typer av flexibla plastledningar beroende på materialet i mediaröret och isoleringen. Vilka dimensioner som finns och vilka tryck och temperaturer de är anpassade för skiljer sig också från tillverkare till tillverkare. Det som huvudsakligen begränsar den övre diametern är att trumman på vilken ledningen transporteras max får vara 2-2,5 meter i diameter för att inte behöva transporteras som bred last vilket är dyrt. På grund av att det kan finnas övre begränsningar i tryck och temperatur kan plastledningar inte alltid oproblematiskt anslutas direkt till ett primärnät med högre klassning i tryck och temperatur. Därför kan det i framtiden bli svårt att bygga ut nät med plastledningar eftersom trycket då inte kommer kunna vara tillräckligt högt för att försörja ytterligare kunder. Plastledningar är billigare än stålleddningar i klenare dimensioner men för mediarör av polymert material är dragfastheten liten vilket betyder att för stora diametrar måste vägg tjockleken vara större vilket minskar flexibiliteten och ökar materialkostnaden. Därför passar mediarör av polymert material bäst för små diametrar [3].

I fjärrvärmevattnet bör löst syre i största möjliga mån undvikas eftersom det orsakar korrosion av stålet som är det vanligast förekommande materialet för fjärrvärmeledningar. Polymera material utgör ingen effektiv barriär mot syrediffusion från luften till fjärrvärmevattnet vilket därför kan skapa problem om plastledningar kopplas ihop med ett huvudnät som har stålleddningar. Detta har tidigare varit ett problem och därför har mediarör av plast fått dåligt rykte. Detta kan lösas genom att applicera ett membran på insidan eller utsidan av mediaröret. Membranet har även fördelen att det förlänger ledningarnas livslängd eftersom det utgör en skyddande barriär. Det vanligaste membranet är en film gjord av etylvinylalkohol, EVOH. En metallfolie är den minst permeabla, men kan vara känslig för temperaturcykler [3], [30].

Det vanligaste materialet för mediarör av plast är tvärbunden polyeten (PEX). Att det är tvärbundet minskar benägenheten för materialet att deformeras vid höga temperaturer. Detta medför även att de inte kan svetsas ihop med bibehållna egenskaper utan måste presskopplas vid sammanfogning

[3]. Tryckklasserna brukar vara 6 eller 10 bar med maximala temperaturer runt 80 °C och en vanlig högsta drifttemperatur för en kort tid på 95 °C [32], [33], [34]. Isoleringen kring mediaröret kan skilja sig åt. Precis som för konventionella stålledningar kan PUR [33] (se Figur 13) användas. Andra material är polyeten av låg densitet eller cellplast [34], [32]. Vanligtvis är den omgivande plastmanteln korrugerad för extra flexibilitet [33], [34].



Figur 13. PEX-ledningar från Maxitherm med PUR-isolering [33].



Figur 14. Flexibel PE-ledning från Maxitherm med PUR-isolering [35].

PE-ledningar är gjorda av samma material som normalt sätt används för mantelröret, högdensitetspolyeten (se Figur 14). Dessa kan svetsas, men tål inte lika höga temperaturer som PEX utan ligger i spannet -20 °C till 40 °C. Dock klarar de lika höga tryck som vanliga stålledningar, 16 bar. Dagens användningsområde är främst inom fjärrkyla, dricksvatten och avlopp. De flexibla PE-ledningarna har precis som de andra plastledningarna en övre begränsning i diameter, men de finns i större dimensioner av den styva typen [35], [36].

Konfiguration

Hur ledningarna är anlagda och hur de är placerade i isoleringen kan skilja sig åt. I Sverige är singelledningar den vanligaste konfigurationen där framledningsvattnet och returledningsvattnet transporteras i mediarör med individuell isolering och skyddsmantel. På senare år har det blivit allt vanligare med ledningar av twin-typ. Det innebär att de två mediarören sitter i en gemensam isolering och att en ledning istället för två anläggs. Fördelen med denna konfiguration är att värmeförlusterna minskar och rörgraven kan göras smalare eftersom bara en ledning anläggs [31], [37]. Trots detta är singelledningar vanligast i Malmö tack vare att de är betydligt enklare att anlägga och svetsa. Om twinledningarna är styva vrider sig mediarören lätt i förhållande till varandra [38]. Flexibla ledningar av twin-typ är enklare att anlägga, men de är stelare än singeltypen vilket gör att de inte finns i lika stora dimensioner. För tillfället är twinledningar i stål stoppade för utbyggnad. Stoppet beror på att framledningsröret rör sig mer än returledningsröret på grund av materialutvidgning vilket skapar sprickor i ledningen [5].

3.4.3 Fjärrvärmecentraler

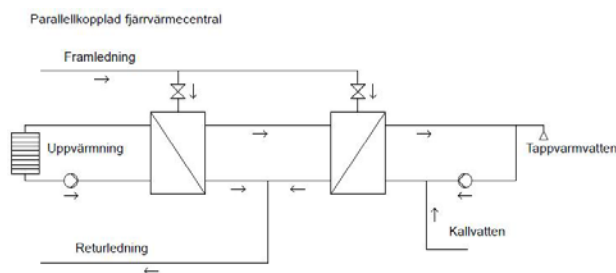
Fjärrvärmecentralens uppgift är att föra över den värme kunden behöver från fjärrvärmesystemet till det byggnadsinterna systemet. I Sverige är det oftast byggnadsägaren som äger fjärrvärmecentralen men även andra ägandeförhållanden existerar [3]. Centralerna är utformade olika beroende på vilken sorts byggnad de ska försörja. Även distributionen inom byggnaden skiljer sig åt. I Sverige är det

vanligaste att varje enfamiljshus har en egen fjärrvärmecentral och flerbostadshusen har en central fjärrvärmecentral som försörjer hela byggnaden. Då flerfamiljshus har en gemensam fjärrvärmecentral kan varmvattenledningarna från centralen ut till de olika lägenheterna bli ganska långa. Om vattnet i ledningarna är stillastående mellan varmvattentappningarna kommer framledningsvattnet att svalna av vilket leder till att det tar lång tid innan det varma vattnet når fram till tappstället när vatten sedan tappas. Dessutom ökar risken för legionella i systemet. För att motverka detta cirkulerar varmvatten i ledningarna även då tappningar inte sker. Detta kallas för varmvatten-cirkulation (VVC) och används i de flesta flerfamiljshus [5]. En annan lösning är ett system med en lägenhetscentral i varje lägenhet. Detta gör att tappvarmvattnet produceras närmare tappstället vilket medför att en lägre temperatur kan hållas i framledningsvattnet samt att VVC inte behövs [3], [7]. Det finns dock problem med lägenhetscentraler. Då ledningar behöver dras till varje lägenhet kan det bli problem kring ägarförhållanden för de byggnadsinterna rören och ansvarsfrågor vid ett husinternt läckage är svårbedömt och kan bli fjärrvärmeföretagets skyldighet. Kostnader för värmeförlusterna från dessa rör kommer fjärrvärmebolaget få betala för och det blir dyrare installationskostnader för kunderna. Individuella centraler ger dessutom dålig avkylning på grund av att de till skillnad från en byggnadsgemensam fjärrvärmecentral används mer oregelbundet [5].

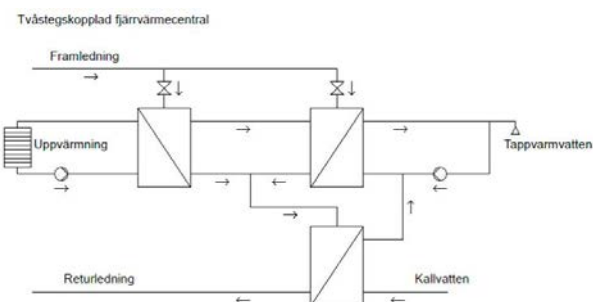
Vilken framtemperatur som bör hållas i fjärrvärmenätet beror mycket på vilket behov kunderna har vilket i sin tur beror på vilken utrustning som finns installerad i husen. För att kunna implementera 4GFV bör den högsta framtemperaturen som behövs vara så låg som möjligt. Lägre framtemperaturer innebär dock lägre avkylning hos kunden. Detta medför att flödet måste ökas för att erhålla samma effekt hos kunden, vilket i sin tur kräver större ledningsdimensioner men också större värmeväxlare. Därför kommer den temperatur som väljs i framledningen kräva olika egenskaper hos kundens fjärrvärmecentral [4].

Kopplingsprinciper i centralen

I Sverige är den indirekt kopplade fjärrvärmecentralen den vanligaste vilket innebär att fjärrvärmevattnet från värmeproduktionen inte är samma vatten som används för uppvärmning eller TVV. Vattnet som används i byggnaden blir istället uppvärmt av fjärrvärmevattnet i värmeväxlare där flödena går motströms för att uppnå maximal värmeöverföring. TVV och uppvärmningsvattnet värms separat i olika värmeväxlare. Fjärrvärmevattnet kallas för primärsidan medan vattnet för uppvärmning och TVV ligger på andra sidan värmeväxlaren och kallas sekundärsidan [3]. Vid en indirekt inkoppling beror värmeavgivning på vilken kopplingsprincip som används i fjärrvärme-centralerna. I Sverige var tvåstegskopplingen länge den dominerande kopplingsprincipen men på senare tid har parallellkopplingen blivit allt vanligare (se Figur 15 och Figur 16). En parallellkopplad fjärrvärmecentral har två värmeväxlare, en för TVV och en för uppvärmning. Tvåstegskopplingen bygger på samma princip men där förvärms tappvarmvattnet i ytterligare en värmeväxlare av flödet från de båda andra värmeväxlarna [3].



Figur 15. Parallellkopplad fjärrvärmecentral.



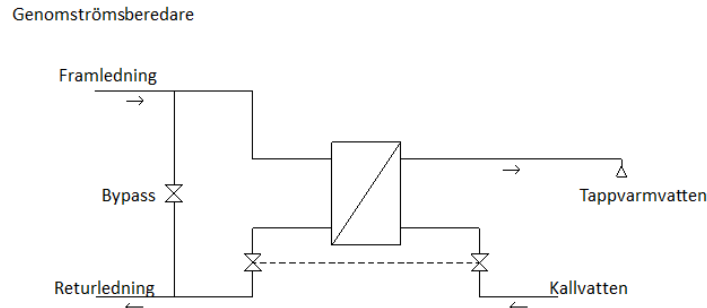
Figur 16. Tvåstegskopplad fjärrvärmecentral.

Vid direktkoppling används istället fjärrvärmevattnet direkt i byggnaderna. Detta ger lägre temperaturförluster eftersom vattnet inte tappar temperatur i en värmeväxlare, dock innebär det en säkerhetsrisk om det skulle ske en läcka i byggnaden. Fjärrvärmenätet har en högre tryckklass än ett byggnadsinternt system vilket utgör en risk för personskador eftersom det varma vattnet läcker ut vid ett högre tryck än det annars skulle haft. Då sekundärnätet kontinuerligt spädmatas med nytt fjärrvärmevatten från primärnätet för att kompensera för mindre läckage i fjärrvärmeledningarna kommer en läcka i en byggnadsintern ledning bli svår att upptäcka med potentiellt stora vattenskadorna som följd. Precis som vid lägenhetscentraler är det även oklart vems ansvar det är vid byggnadsinterna läckor.

Tappvarmvatten

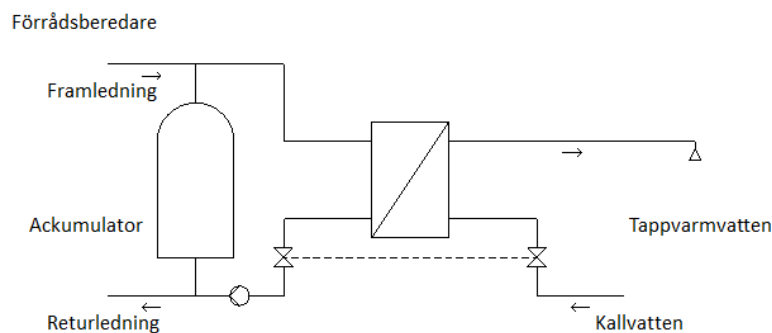
TVV är ett av de två kundbehov som är utgångspunkten för systemvalen i den här studien. Det är viktigt att kunderna får ett tillräckligt varmt TVV utan att skålla sig samtidigt som föreskrifterna för att motverka legionella måste följas. Det finns flera olika lösningar genom vilka bostäder förses med TVV. Genomströmningsberedare där vattnet värms momentant i ögonblicket det behövs är den vanligaste lösningen för TVV-beredning i Sverige, principen visas i Figur 15 och Figur 16 [37]. Detta system kan även användas i nät med lägre temperaturer, men det ställer högre krav på värmeväxlarens effektivitet för att erhålla samma effekt. Ytterligare en lösning är att använda lokala förrådsberedare med en lagringstank vilket är vanligt i Danmark [7].

En genomströmningsberedare har en momentan TVV-beredning (se Figur 17). Ett bypass finns installerad för att låta ett litet flöde gå förbi värmeväxlaren när det inte förekommer tappningar under perioder då det inte finns något uppvärmningsbehov, detta för att hålla upp flödet och därmed framtemperaturen före värmeväxlaren. Ett bypass leder dock till att returtemperaturen i fjärrvärmenätet blir något högre. För ett lågtempererat nät kommer avkylningen i värmeväxlaren bli lägre än för ett konventionellt nät. Detta medför att flödet måste öka och för att då inte få för stora tryckförluster i värmeväxlaren är det viktigt med en väl designad fjärrvärmecentral vad gäller ledningar och komponenter. Det är dessutom mycket viktigt att styrventilen fungerar korrekt för att få en låg returtemperatur och tillräckligt varmt TVV. En genomströmningsberedare har en högre momentan värmelast än förrådsberedaren vilket kräver en servisledning med större diameter [7].



Figur 17. Genomströmningsberedare för TVV.

En förrådsberedare kan ses som en genomströmningsberedare med en ackumulatortank (se Figur 18). En fördel med förrådsberedare är lägre effekttoppar och dämpade svängningar i effektuttag mellan perioder med och utan varmvattentappning. Förrådsberedare kan därför designas efter lägre värmelaster och därmed ha en klenare servisledning. Med en ackumulatortank underlättas även inkoppling av solfångare i systemet. I konventionella fjärrvärmecentraler sitter tanken till en förrådsberedare på värmeväxlarens sekundärsida och innehållet består av kundens TVV [3]. Men på grund av risken för legionella kan tanken placeras på primärsidan istället och laddas med fjärrvärmevattnet. I detta fall värms tappvarmvattnet upp av fjärrvärmevattnet som lagrats i tanken och processen drivs av en pump. Generellt tar en förrådsberedare mer plats än en genomströmningsberedare på grund av ackumulatortanken. Tanken bör även vara välisolerad för att minska värmeförluster [7].



Figur 18. Förrådsberedare anpassad för lågtempererade nät.

3.4.4 Uppvärmning

Det andra värmebehovet i en byggnad är det för uppvärmning av ytor. Uppvärmningssystemet väljs normalt helt av bostadsägaren vilket gör att fjärrvärmeföretaget inte kan säga att ett visst system måste användas för att det passar bäst till de tänkta leveranstemperaturerna. Eftersom framtidens energiutveckling är oviss krävs ett flexibelt fjärrvärmesystem som kan försörja alla sorters uppvärmningsbehov. Nedan presenteras de metoder som kan användas för uppvärmning av fjärrvärmeanslutna byggnader och som krävs för förståelse för de kommande systemvalen enligt 4GFV.

Radiatorer

Byggnader som idag är fjärrvärmeanslutna har ofta ett radiatorsystem för uppvärmning [39]. Vanligtvis placeras radiatorerna under fönstren för att förhindra kallras [29], [3]. Radiatorer i

befintliga hus är ofta överdimensionerade av två orsaker, dels att de från början överdimensionerades och dels att det i efterhand har tillkommit energibesparande åtgärder av byggnaden. Detta innebär att vid en eventuell introduktion av lägre temperaturer behåller radiatorsystemet sin funktionalitet. Vilken framtemperatur som radiatorsystemet kräver beror på hur radiatorerna är konstruerade och inkopplade [40], men brukar ligga mellan 45-75 °C [41], [42]. Därför är det svårt att säga hur låga framtemperaturer som är möjliga utan att värmeåtergivningen försämras.

Golvvärme

En uppvärmningsmetod som blivit allt vanligare är golvvärme. Tack vare att golvvärme drivs med låga temperaturer passar metoden väldigt bra för lågtempererad fjärrvärme [7]. Boverkets byggregler gäller för Sverige och säger att det minst ska vara 16 °C och kan begränsas till högst 26 °C [43]. En nackdel med golvvärme är att det är kostsamt att anlägga då det krävs mycket rördragning vilket gör att det är mer aktuellt vid nybyggnationer [29].

Luftburen värme med värmebatteri

Luftburen värme bygger på påtvingad konvektion där luft värms upp i ett värmebatteri och leds genom ett ventilationssystem i husskalet. I Europa är metoden vanlig i kontorshus där det finns ett stort ventilationsbehov, men ovanlig i bostadshus. I Nordamerika är den däremot vanlig i alla sorters hus [3].

Uppvärmning i lågenergihus

Byggreglerna för lågenergihus skärps hela tiden vilket gör det svårt att säga vad som kommer att gälla i framtiden. När fönster blir effektivare och inte släpper igenom lika mycket värme är det exempelvis inte längre nödvändigt med ett radiatorsystem eftersom det inte finns något kallras att förhindra. Lågenergihus är i behov av ventilation eftersom den äldre principen med självdrag genom huset orsakar värmeförluster. Ventilationsluften utifrån behöver värmas, något som gör att luftburen värme blir intressant i detta fall. Antingen kan den ingående luften växlas mot den utgående i en värmeväxlare, men den kan då inte komma upp i samma temperatur som den önskvärda inomhustemperaturen eftersom det sker temperaturtapp i värmeväxlingen. Det andra alternativet är att den värms upp, ytterligare eller delvis, med elektricitet eller fjärrvärme. Till det första alternativet med endast värmeväxling kommer det då behövas tillsättas extern värme utöver den luftburna och eftersom radiatorer inte kommer vara nödvändiga är golvvärme ett bra alternativ. Till det andra alternativet kan det tänkas att luftburen värme kommer vara tillräckligt för att täcka uppvärmningsbehovet, men att golvvärme kan installeras som extra värmekälla under kalla dagar eller för förhöjd värmekomfort [29].

3.4.5 Värmepump

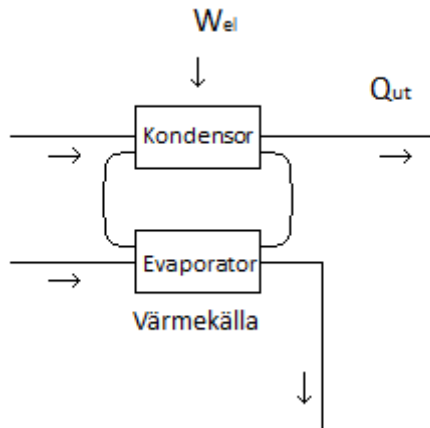
En värmepump används för uppvärmning och kan därför användas som värmekälla i ett fjärrvärmenät eller verka lokalt för att täcka värmebehovet hos en kund. Värmepumpen drivs med hjälp av ett mekaniskt arbete (W) för att "lyfta" värme från ett medium till ett annat. Resultatet blir då att mediet som värme transporteras bort ifrån blir kallare och det andra blir varmare. Det mekaniska arbetet består av att ett arbetsmedium pumpas mellan en förångare och en kondensor där det tar upp respektive släpper ifrån sig värme [44] (se Figur 19). Värmepumpens verkningsgrad kallas för Coefficient of Performance (COP) vilket är förhållandet mellan den erhållna värmen från värmepumpen och den elektricitet som krävs för att driva den (ekvation 6).

$$COP = \frac{Q_{ut}}{W_{el}} \quad (6)$$

COP = coefficient of Performance

Q_{ut} = värme från värmepumpen [J]

W_{el} = arbete för att lyfta värmen från den kalla till den varma delen [J]



Figur 19. Schematisk bild över en värmepump.

3.5 Ekonomi

Investeringskalkylering

Innan ett beslut fattas om att göra en investering i ett fjärrvärmesystem görs vanligen en ekonomisk bedömning. Investeringskalkylering kan utföras för att undersöka investeringens lönsamhet och företag använder ofta olika metoder inför ett investeringsbeslut [45]. Tre vanliga metoder som används i denna studie är nuvärdesmetoden, internräntemetoden samt återbetalningstiden. För att kunna ge en förståelse för metoderna ges först en kort redogörelse för de ingående komponenterna:

Grundinvesteringen (G) beskriver utbetalningarna i samband med investeringen, som till exempel kostnader för kulvertar, produktionsanläggning, distributionspumpar och installation.

Kalkylperioden (n) avser den tid som det är ekonomiskt meningsfullt att använda investeringen.

Kalkylräntan (i) är av företaget en fastställd ränta som beskriver avkastningskravet på det satsade kapitalet. Kalkylräntan tar bland annat hänsyn till både den ränta till vilket företaget kan låna kapital, inflation samt räntan för företagets alternativa möjligheter att placera kapital.

Restvärdet (S) beskriver investeringens värde vid kalkylperiodens slut.

Inbetalningsöverskottet (a) definieras som inbetalningar minus utbetalningar. Inbetalningar avser intäkter som investeringen genererar, som till exempel intäkter från kunder i form av köpt fjärrvärme. Utbetalningar avser de kostnader som investeringen medför, som till exempel drift och underhållskostnader.

Nuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden beräknar investeringens nuvärde vilket kan förklaras som investeringens framtida kostnader och intäkter omräknat i dagens värde. Nuvärdet för en investering kan beskrivas enligt följande:

$$NV = -G + \frac{S}{(1+i)} + \sum_{k=1}^n \frac{a}{(1+i)^k} \geq 0 \quad (7)$$

G = grundinvesteringen

S = restvärdet

i = kalkylräntan

a = inbetalningsöverskottet

n = kalkylperioden

Internräntemetoden

En annan metod vid investeringskalkylering är internräntemetoden. Till skillnad från nuvärdesmetoden är internräntemetoden oberoende av kalkylräntan. Istället beräknar internräntemetoden den räntestats som genererar kapitalvärdet 0. Samma ekvation som (7) används fast istället löses internräntan (i_i) ut.

$$NV = 0 = -G + \frac{S}{(1+i_i)} + \sum_{k=1}^n \frac{a}{(1+i_i)^k} \geq 0 \quad (8)$$

Om internräntan (i_i) är större än kalkylräntan (i) är investeringen lönsam. Ju högre internränta som erhålls, desto mer lönsam investering.

Återbetalningstiden

Återbetalningstiden för en investering anger efter hur lång tid en investering har betalat tillbaka grundinvesteringskostnaden. Detta beräknas genom kvoten av grundinvesteringen och investeringens inbetalningsöverskott:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{G}{a} \quad (9)$$

Avkastningskrav

De ovanstående metoderna genererar mätetal som används vid den ekonomiska bedömningen. Mätetalen jämförs med avkastningskrav som företaget har för att en investering ska genomföras. Avkastningskraven som E.ON har för respektive metod presenteras i Tabell 2. För både nuvärdes- och internräntemetoden gäller det att ju högre värde som genereras desto högre avkastning. För återbetalningstiden är det tvärt om, ju kortare återbetalningstid desto lönsammare investering.

Tabell 2. E.ON:s avkastningskrav för en fjärrvärmeinvestering räknat från 2016.

Nuvärde av hela kalkylen	>0
Internränta efter skatt, nom.	>7,3
Återbetalningstid	<2040

Prismodeller

Priset som kunden betalar för den köpta fjärrvärmen bestäms av fjärrvärmeföretaget och olika företag har olika prismodeller. Det finns flera faktorer att ta hänsyn till vid uppbyggnaden av en prismodell, bland annat att det ska vara prisvärt för kunden samtidigt som det genererar intäkter till fjärrvärmeföretaget. E.ON har olika fjärrvärmepriser beroende på var i landet kunden befinner sig samt beroende på om kunden är en företagskund eller en privatkund [46] [47]. I kategorin företagskund ingår bostadsrättsföreningar samt industrier och övriga företag och i kategorin privatkunder ingår fristående villor och bostäder. I Tabell 3 och Tabell 4 presenteras fjärrvärmepriser för E.ON:s kunder i Malmö-Burlöv.

Tabell 3. Prismodell för småhus.

Småhus	
Grundpris	4025 kr/år
Energipris	69 öre/kWh

Tabell 4. Prismodell för företag.

Företag	
Effektpris	94,00 kr/kWh
Flödespris	2,86 kr/m ³
Energipris december-mars	58,70 öre/kWh
Energipris april-maj, oktober-november	38,90 öre/kWh
Energipris juni-september	17,00 öre/kWh

Som synes i Tabell 3 består kostnaden för en småhusägare av en grundkostnad samt en energikostnad. Energidelen avser den förbrukade fjärrvärmen månadsvis multiplicerat med energipriset. Kostnaden för företagskunder (Tabell 4) är summan av effektkostnaden, flödeskostnaden samt energikostnaden. Effektkostnaden avser den högsta uppmätta dyngsmedeleffekten under förbrukningsmånaden multiplicerat med effektpriset. Flödeskostnaden är det totala uppmätta flödet under förbrukningsmånaden multiplicerat med flödespriset. Eftersom flödet varierar beroende av framtemperaturen enligt ekvation 1 korregerar E.ON det uppmätta flödet genom en flödeskorrektionsfaktor. Denna korrigering sker för en rättvis debitering eftersom vissa delar av fjärrvärmenätet har lägre framtemperaturer på grund av att de ligger längre bort från produktionsanläggningarna och de kunderna kommer därför få ett högre flöde för att leverera en viss effekt (ekvation 1). Flödeskorrektionsfaktorn beräknas som:

$$\text{Flödeskorrektionsfaktor} = -0,02 \times (T_{\text{fram,månadsmedel}} - 60 \text{ °C}) + 0,02 \quad (10)$$

I ekvation 9 framgår att en lägre framtemperatur ger en total sett lägre korrektionsfaktor och därmed ett lägre flödespris.

3.6 Primärenergi

Primärenergianvändningen för en energibärare beskriver hur mycket primära energiresurser som krävs under dess livscykel, vilket är från utvinning till levererad energienhet. Eftersom utvinning och produktionssätt skiljer sig åt mellan olika energislag kan en levererad kWh kräva olika mycket primärenergi. En primärenergifaktor (PEF) är ett mått på energislagets resurseffektivitet och beskriver hur mycket primärenergi som krävs för att producera en energienhet av en energibärare. PEF definieras som kvoten mellan total tillförd energi och den nyttiggjorda energin enligt ekvation 11 [48].

$$PEF = \frac{\text{tillförd energi}}{\text{nyttig energi}} \quad (11)$$

Bränslen i form av avfall och spillvärme har ofta en PEF under 1. Detta beror på att energiinnehållet i avfall allokeras till ursprungsprodukten vilket gör att den totala tillförda energin blir väldigt liten. För förnybara energikällor räknas inte energin som finns fritt flödande, så som vind och sol, som tillförd energi [49]. Därför får i regel fjärrvärme med hög andel avfall och spillvärme samt förnybara energikällor en PEF under 1.

Marginalen definieras som den el som produceras på marginalen för att producera en enhet till och denna definieras som den el som produceras i det kraftverk som vid det tillfället är dyrast att använda [50]. Marginalen har därför en högre PEF än exempelvis förnybara energikällor. Marginalen varierar dock från år till år och från årstid till årstid. Tillgången i vattenmagasinen och efterfrågan på elen är exempel faktorer som påverkar vilken el som ligger på marginalen. Därför är det svårt att fastställa en egentlig PEF för marginalen och hur marginalen bör miljövärderas [50]. Dock är ett ofta förekommande antagande att marginalen har en PEF som kolkondens [51] vilket även utgås från i denna studie.

Ofta används PEF som schablontal för att räkna ut primärenergien för en jämförelse mellan energibärare genom att PEF multipliceras med den nyttiggjorda energin för respektive energibärare:

$$\text{Primärenergi} = PEF * \text{nyttig energi} \quad (12)$$

4. Metod

Detta kapitel beskriver hur metoden för studien ser ut. Den består av en litteraturstudie, en modelluppbyggnad, simuleringar samt ekonomiska och resursmässiga analyser.

Litteraturstudie och systemval

Initialt gjordes en övergripande litteraturstudie om fjärrvärme och dess tekniska parametrar. Denna tjänade som grund till kapitel 2, Bakgrund, samt kapitel 4, Teknik och ekonomi. Läroboken *Fjärrvärme och fjärrkyla* av Frederiksen och Werner [3] utgjorde ett betydande material för denna del av litteraturstudien då boken gav en bra översiktlig bild av ämnet. I nästa steg gjordes en mer ingående litteraturstudie om 4GFV specifikt. Denna ämnade besvara frågeställning 1: *"Vilka systemlösningar finns i dagsläget inom ramen för 4GFV?"*. Litteraturstudien baserades på material från demonstrationsprojekt, konferenser och forskning om 4GFV. Denna del av litteraturstudien resulterade i kapitel 5 där fem demonstrationsprojekt av 4GFV presenteras. De fem projekten valdes utifrån möjlighet att applicera i Malmö, både vad gäller teknik och generella förutsättningar så som utomhustemperatur. Särskilt fokus lades på demonstrationsprojekt i Danmark utfört av bland annat företaget Danfoss samt av forskare från Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Detta motiverades av att Danmark ligger i framkant vad gäller lågtempererad fjärrvärme och att det i Danmark idag redan finns tre olika områden som försörjs med lågtempererad fjärrvärme [6]. Även tekniker som idag normalt inte används i konventionell fjärrvärme studerades eftersom sänkta temperaturer i nätet medför möjligheten att använda alternativ teknik med andra material och kopplingsprinciper. Samtal med kunniga från E.ON, Lunds Universitet och från fjärrvärmebranschen gav ytterligare information och bedömning av litteraturstudien. Utifrån litteraturstudien, information om rådande förutsättningar för området Varvsstaden samt vad som ansågs tekniskt möjligt valdes två systemlösningar vilka presenteras i kapitel 6. De temperaturkriterier som ansattes innan kundens fjärrvärmecentral för att klara uppvärmningsbehovet sattes till 40 °C, och för att undvika legionella till 60 °C. De två system som valdes ansågs bäst lämpade med avseende på komfort och temperatur för att undvika legionella. De temperaturer som därmed vore rimliga i fram- och returledningar togs fram ifrån tidigare simuleringar av företaget Danfoss samt i samråd med kunniga yrkespersoner från Alfa Laval och Mälarenergi.

Uppbyggnad av modeller

Efter att utformningen av systemlösningarna hade bestämts bestod nästa steg av att bygga upp modellerna av de två systemlösningarna samt av referenssystemet. De indata som behövdes för näten togs fram för att efterlikna de förhållanden som kommer råda i det planerade området Varvsstaden i Västra Hamnen. Dessa erhöles från EVS, Malmö Stadsbyggnadskontor, SMHI samt i samråd med tillverkare av fjärrvärmekomponenter så som Uponor, Maxitherm och Alfa Laval. Denna del ämnade besvara frågeställning 2: *"Hur ska de två framtagna systemlösningarna utformas mer ingående med avseende på fram- och returtemperatur, material och TVV-lösning?"*. För referenssystemet användes indata från Malmö-Burlövs befintliga nät vad avser fram- och returtemperaturer samt ingående komponenter. En utförlig beskrivning av modellerna och indata presenteras i kapitel 7.

Simulering i NetSim

Nästa fas bestod av att simulera de valda systemlösningarna i området Varvsstaden i Västra Hamnen i Malmö. Detta gjordes med hjälp av simuleringsprogrammet NetSim som är ett program som

används av många fjärrvärmebolag, däribland EVS, för att analysera fjärrvärme- och fjärrkylsystem med hänseende på bland annat temperaturer, tryck, antal kunder och var i nätet kunderna ligger. Via programvaran byggdes ett nät upp genom att ange fjärrvärmeledningarnas dimension och längd. Dessa kopplades ihop i knutar där även en produktionsanläggning eller kund kunde ligga. Produktionsanläggningens framtemperatur, kundernas effekt och returtemperatur samt nivån på tryckhållningen i nätet och differenstrycket i en knut är andra parametrar som matades in i programmet. Simuleringarna gjordes efter en viss utomhustemperatur och genom olika variationskurvor kunde effekter och temperaturer varieras med hur utomhustemperaturen ändrades. Resultatet av simuleringarna visades i tabeller och kartor där olika variabler så som tryck, flöde, hastighet och värmeförluster redovisades [52]. Med hjälp av detta kunde värmeproduktion, värmeförluster och flöden vid olika utomhustemperaturer för respektive system erhållas. Känslighetsanalyser för systemen gjordes för hur flödeshastigheten påverkades av returtemperaturen, hur andra effektvariationer påverkade den årliga värmeproduktionen samt om värmepumparnas COP påverkade värmeförlusterna för det systemval där värmepumpar användes. De olika systemen kunde därefter jämföras sinsemellan. Denna del ämnade besvara frågeställning 3. *”Hur verkar dessa systemlösningar i jämförelse med ett konventionellt fjärrvärmesystem med avseende på värmeförluster, returtemperaturer och flödeshastighet?”*. Det fanns färdiga modeller av Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och stor kunskap om programmet inom EVS vilket motiverade användningen av programmet. Simuleringarna presenteras i kapitel 8.

Ekonomisk kalkyl i OneCalc

För att besvara frågeställningen *”Är dessa två alternativ ekonomiskt lönsamma i jämförelse med ett konventionellt fjärrvärmesystem?”* gjordes ekonomiska beräkningar och analyser i kassaflödeskalkylverktyget OneCalc. Kalkylen används internt inom EVS för att beräkna lönsamheten för en fjärrvärme- eller fjärrkylinvestering. I kalkylen matades produktionskostnader och investeringskostnader in samt parametrarna fram- och returtemperatur, försald fjärrvärmevolym samt värmeförluster.

Investeringskostnaderna inkluderade anläggningskostnader för fjärrvärmeledningarna som togs från EVS:s kulvertkostnadskatalog där kostnader för projektering, byggledning, mark- och byggentreprenad, svetsentreprenad, ledningsmaterial och skarvning ingår. Ledningsmaterialkostnader för ledningarna erhöles från leverantörer. Kulvertkostnaderna finns i fyra kategorier: innerstad, ytterstad, parkmark och exploateringsområde. Varvsstaden är ett nybyggnadsområde och antogs därför vara till hälften av kategorin park och hälften av kategorin ytterstad. Kalkylen förutsätter att kostnader för förorenade jordmassor som kan förekomma i området, då det tidigare var industriområde, inte behöver tas om hand. Investeringskostnaderna inkluderade även kostnader för områdesvärmeväxlare som behövdes för de två valda systemlösningarna och erhöles från Alfa Laval och EVS. Till en av systemlösningarna användes värmepumpar och elvärmare, kostnaderna för dessa erhöles från tillverkaren Nibe. Produktionskostnaderna för fjärrvärmen erhöles från EVS internt. Den försalda fjärrvärmevolymen och värmeförlusterna erhöles från beräkningarna i NetSim. Fjärrvärmepriset erhöles genom EVS:s prismodell som presenterades i avsnitt 3.5. Den ekonomiska livslängden sattes till 40 år och i övrigt användes de schabloner som EVS använder för ekonomiska beräkningar.

Utifrån dessa parametrar beräknade kalkylen investeringens nuvärde, internränta och återbetalningstid som beskrevs i avsnitt 3.5 [53]. Därefter gjordes känslighetsanalyser där kostnader och intäkter varierades för olika framtidsscenario. De ekonomiska resultaten presenteras i kapitel 8.

Primärenergianalys

Den sista frågeställningen, *”Hur skiljer sig dessa systemlösningar i primärenergianvändning jämfört med ett konventionellt fjärrvärmesystem?”*, besvarades med hjälp av primärenergifaktorer (PEF) för Malmö-Burlövs fjärrvärmenät från E.ON:s miljövärden 2015, samt PEF beräknade av Svenska Miljöinstitutet.

Den tillförda energin i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät består av 61 % avfall, 28 % naturgas och resten är spillvärme, flis och spetslast. Sammantaget ger detta en PEF på 0,327 (Tabell 5). Driftselen som idag används inom fjärrvärmenätet är en blandning mellan fossilt, förnybart och kärnkraft vilket ger en primärenergifaktor på 2,08 [54].

Tabell 5. Primärenergifaktorer använda i studien [54], [55].

Primärenergifaktorer	
Malmös fjärrvärme	0,327
El till Malmö-Burlövs nät	2,08
Spillvärme	0
El från vindkraft	0,08
Marginaler, fossil	2,51

I känslighetsanalyserna användes primärenergifaktorer även för spillvärme, vindel och marginaler, hämtade från Svenska Miljöinstitutet, för att beräkna primärenergianvändningen [55]. Som framgår av tabell 5 har spillvärme primärenergifaktor på noll. Detta förklaras med att energin som krävs för produktionen som genererar spillvärmen helt allokeras till ursprungsprodukten. För att räkna med elen som så kallad ”grön el” skulle elen ursprungsmärkas med till exempel vindkraft. Att utföra beräkningar på detta sätt är vanligt idag vilket motiverar valet att använda en PEF för vindkraft. Anledningen att marginaler användes som en parameter i känslighetsanalysen var att den extra elen som behövdes är ett nytt elbehov som idag inte täcks av marknaden. Ett tillagt elbehov kommer istället drivas av marginaler med det produktionssätt som används för att producera en extra enhet el.

5. Översikt över demonstrationsprojekt inom 4GFV

I detta kapitel presenteras fem demonstrationsprojekt inom 4GFV. Syftet med detta kapitel är att tjäna som en grund till systemvalet för studien och att besvara frågeställning 1.

Lystrup, Danmark

I Lystrup, som ligger i utkanten av Århus, har sedan år 2010 40 lågenergiradhus samt en lokal försörjts med lågtempererad fjärrvärme (Tabell 6). Fjärrvärmenätet är ett sekundärnät, integrerat med Lystrups primärnät genom en mixingshunt. Nätet är dimensionerat för ett tryck på maximalt 10 bar, ett lägsta differenstryck på 0,3 bar och med en maximal flödeshastighet på 2 m/s [56].

Tabell 6. Generell information om projektet i Lystrup [56].

Generell information	
Land	Danmark
Stad	Lystrup
Typ av byggnader	Enfamiljshus
Antal byggnader	40
I drift sedan år	2010

Tabell 7. Teknisk information om projektet i Lystrup [6], [56].

Teknisk information	
Energiprestanda	Lågenergihus
Värmebehov	43,1 kWh/m ² ,år
A _{Temp}	4 115 m ²
Integrering med primärnät	Mixingshunt
Ledningstyper	Plast, stål
Konfiguration	Twin
Uppvärmning	Radiatorer, golvvärme
TVV-krav	45°C
Uppmätt fram- och returtemperatur	52,7/34,1 °C

Som syns i Tabell 7 består ledningarna av både plast och stål; 82 % av totalt 723 meter ledning utgörs av flexibla PEX-ledningar och resten utgörs av stålledningar [36]. Fram- och returtemperatur från och till mixingshunten designades till 55/25 °C. För att klara legionellaproblematiken har man utgått från den tyska standarden DVGW 551, vilket gör att temperaturen vid tappstället kan vara så låg som 45 °C (se Tabell 7). Både genomströmnings-beredare och förrådsberedare förekommer i detta projekt. Förrådsberedaren har en dimensionerad last på 3 kW och genomströmningsberedaren har en last på 32 kW [56]. Husen värms upp med radiatorer samt golvvärme i badrummen. Uppvärmningen sker via direkt inkoppling av fjärrvärme-vattnet.

Mätningar från 2011 visade att den verkliga värmeanvändningen uppgick till 53,1 kWh/m² och år, det vill säga 23 % högre än beräknat. Vidare visade mätningarna att inomhustemperaturen var 2-4 °C varmare än vad danska byggregler säger, 22-24 °C istället för 20 °C. Primärnätets framtemperatur varierade mellan 60-80 °C med en genomsnittlig temperatur på 67,4 °C och sekundärnätets framtemperatur låg på 52,7 °C [56]. Den verkliga returtemperaturen, baserat på 2011 års data, uppgick till 34,1 °C istället för det dimensionerade 25 °C. De relativa värmeförlusterna uppgick till 17 % [56]. De höga värmeförlusterna kan delvis förklaras av den låga genomsnittliga linjetätheten på 1 GJ/m vilket kan jämföras med ett typiskt svenskt fjärrvärmenät på 12 GJ/m [6].

Höje Taastrup, Danmark

I Höje Taastrup som ligger strax utanför Köpenhamn försörjs sedan år 2011 ett område av lågtempererad fjärrvärme. Området omfattar 75 tegelvillor, byggda 1997-1998. Innan nätet

driftsattes var samtliga hus redan fjärrvärmeanslutna till ett sekundärnät. Sekundärnätet hade höga värmeförluster, 38-44 %, vilket var huvudmotivet till att omforma systemet till ett lågtempererat nät. Tabell 8 och Tabell 9 visar samma parametrar som Lystrup fjärrvärmenät som jämförelse.

Tabell 8. Generell information om projektet i Höje Taastrup [7].

Generell information	
Land	Danmark
Stad	Höje Taastrup
Typ av byggnader	Enfamiljshus
Antal byggnader	75
I drift sedan år	2011

Tabell 9. Teknisk information om projektet i Höje Taastrup [7].

Teknisk information	
Energiprestanda	Normalhus
Värmebehov	94 kWh/m ² ,år
A _{Temp}	11 230 m ²
Integrering med primärnät	Trevägsshunt
Ledningstyper	Plast, stål
Konfiguration	Twin
Uppvärmning	Golvvärme
TVV-krav	45 °C
Uppmätt fram/och returtemperatur	55/40 °C

Nätet är dimensionerat för ett maximalt tryck på 10 bar, ett lägsta differenstryck på 0,3 bar och har en maximal flödeshastighet på 2 m/s [7]. Cirka hälften av ledningarna är av stål och hälften av flexibla PEX-ledningar. Villorna är 110-212 m² stora och har golvvärme. Samtliga villor är försedda med en fjärrvärmecentral med en genomströmningsberedare med en kapacitet på 32,2 kW. Som synes i Tabell 9 är TVV-kravet 45 °C. Legionellasäkerhet upprätthålls liksom i Lystrup genom den tyska standarden som begränsar vattenvolymen mellan värmeväxlare och tappställe till 3 liter. Uppvärmningen sker indirekt via en värmeväxlare i fjärrvärmecentralen. Ett fåtal hus har VVC eftersom dessa har badrum som ligger på andra sidan huset i förhållande till fjärrvärmecentralen.

Mätdata från 2012 visar att sekundärnätets fram- och returtemperatur har varit 55 °C respektive 40 °C (Tabell 9). Mätdata visar även att det sker ett temperaturfall på 2 °C mellan mixingshunten och fjärrvärmecentralerna, vilket förklaras med värmeförluster i ledningarna. Totalt beräknas värmeförlusterna ha minskat från 40 % innan omformningen till 13 % [7]. Medeltemperaturen i primärnätets fram- och returledning var i snitt 80 °C respektive 48 °C.

Västerås, Sverige

Energibolaget Mälarenergi i Västerås har gjort omfattande satsningar att försörja nybyggda bostäder med lågtempererad fjärrvärme. Detta har hittills realiserats i sju bostadsområden som totalt omfattar 13 600 kunder varav 11 700 av dessa är småhus [57]. Samtliga sju system är sekundärnät, anslutna till primärnätet genom en värmeväxlare [6]. Näten är dimensionerade för en fram- och returtemperatur på 60/30 °C med möjlighet att öka framtemperaturen till 65 °C vid behov. Tabell 10 och Tabell 11 visar information om områdena. Om endast ett streck visas betyder det att information ej erhållits.

Tabell 10. Generell information om LTFV-nätet i Västerås [57]. Med ”-” menas att ingen information har hittats.

Generell information	
Land	Sverige
Stad	Västerås
Typ av bostäder	En- och flerfamiljshus
Antal bostäder	13 600 varav 11 700 villor
I drift sedan	-

Tabell 11. Teknisk information om LTFV-nätet i Västerås [57] [6].

Teknisk information		
Energiprestanda	Lågenergi- och passivhus	
Värmebehov	60 kWh/m ² , år	
A _{Temp}	4 800 m ²	
Integrering med primärnät	Värmeväxlare	
Ledningstyper	Plast (PEX)	
Konfiguration	-	
Uppvärmning	Radiatorer, golvvärme	
TVV-krav	50 °C	
Uppmätt fram- och returtemperatur	64/40,1 °C ¹	

Uppvärmning sker genom radiatorer och golvvärme och en del byggnader som är av passivhustyp har endast fjärrvärmeanslutna luftbatterier som uppvärmningssystem [6]. För att öka värmeförsäljningen är tanken att även vitvaror ska kunna försörjas med fjärrvärme. Ledningarna består av mediarör av PEX och isolering av cellplast (EPS) från Elgocell. Flerbostadshusen har lägenhetsfjärrvärmecentraler vilket innebär att varje lägenhet har en egen central vilket gör att VVC inte är nödvändig. För att minimera rördragning så har en lösning testats där radiatorer, luftbatteri, komfortgolvvärme och vitvaror är anslutna till en gemensam värmekrets som arbetar med konstant framtemperatur. Linjetätheten i näten är i snitt är 2,5 GJ/m [6]. I Tabell 11 framgår att framtemperaturen har hållit sig inom ramen för den dimensionerade framtemperaturen men att returtemperaturen i snitt var 10 °C högre än den dimensionerade returtemperaturen.

Danfoss, Danmark (simuleringsstudie)

Det danska företaget Danfoss har bedrivit ett forskningsprojekt i syfte att utvärdera olika lösningar där en simulerad bostad försörjs med lågtempererad så kallad ”Ultralågtempererad fjärrvärme” (se Tabell 12). Framtemperaturen på fjärrvärmevattnet antas vara 40 °C, vilket anses tillräckligt för att klara uppvärmningsbehovet. En tillräckligt hög temperatur på TVV erhålls genom att värma upp framledningsvattnet till 53 °C, med antingen en mikrovärmepump eller en elvärmare [58] .

¹ Baserat på ett av sju bostadsområden eftersom data från endast ett område fanns tillgänglig.

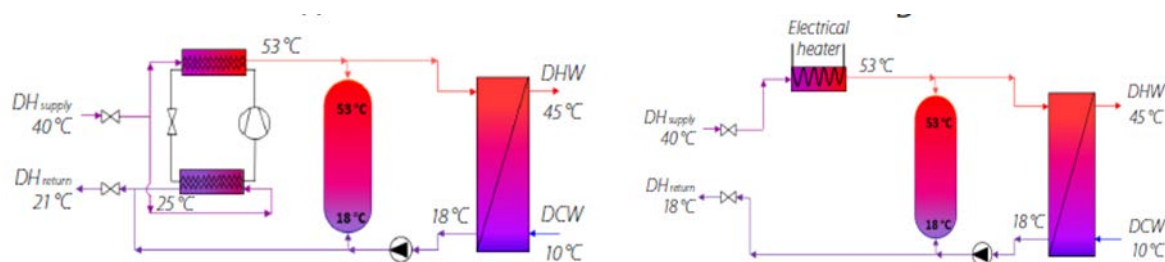
Tabell 12. Generell information om projektet av Danfoss [58]. Med "-" menas att ingen information har hittats.

Generell information	
Land	Danmark
Typ av byggnad	Enfamiljshus
Antal byggnader	1
Driftsättning	Endast teoretisk studie

Tabell 13. Teknisk information om projektet av Danfoss [58].

Teknisk information	
Energiprestanda	Lågenergihus
Värmebehov	36,3 kWh/m ² , år
A _{Temp}	159 m ²
Linjetäthet	-
Ledningstyper	-
Konfiguration	-
Uppvärmning	Golvvärme
TVV-krav	45 °C

Fjärrvärmen ska försörja en fristående villa klassad som ett lågenergihus enligt danska regler, vilket ger ett värmebehov på 36,3 kWh/m², år (Tabell 13). Huset antogs endast värmas upp av golvvärme eftersom detta anses som det mest lämpliga lösningen för 4GFV [58]. För att möta krav på TVV har systemet designats för att kunna leverera en framtemperatur på 40-45 °C beroende på om tappstället är placerat i köket eller badrummet. Studien analyserar och presenterar flera olika konfigurationer med mikrovärmepump och elvärmare varav två lösningar presenteras i Figur 20 [58].



Figur 20. Ultralågtempererad fjärrvärme i kombination med mikrovärmepump (A) till vänster samt ULTFV med elvärmare (B) till höger.

I Alternativ A flödar det 40-gradiga framledningsvattnet till fjärrvärmecentralen där det delas upp i två flöden. Det första flödet leds in i värmepumpens kondensor i vilken det värms upp till 53 °C. Det andra flödet leds in i värmepumpens evaporator. Det tjänar som värmekälla för värmepumpen och kyls till 25 °C. Det uppvärmda vattnet lagras sedan i en ackumulatortank där det skiktas. När varmvattenkranen öppnas flödar fjärrvärmevattnet till en värmeväxlare där det växlas mot TVV. Vattnet från evaporatorn blandas sedan med returvatten från värmeväxlaren och leds till returledningen. Alternativ B bygger på samma princip som alternativ A förutom att värme tillgodoses med elvärmare istället för värmepump. I denna lösning blir den slutgiltiga returtemperaturen från TVV den temperatur som returvattnet får efter att det växlats mot TVV i värmeväxlaren.

Flöde, effekt och verkningsgrad med avseende på exergi samt tankens volymbehov har analyserats och presenteras i Tabell 14. Exergi beskriver den potentiella mängden arbete som kan utvinnas ur ett system. Verkningsgraden med avseende på exergi tar då hänsyn till mängden arbete som tillförs systemet. Samma slutprodukt erhålls för båda systemen (A och B) men i system B tillförs mer el, vilket innebär mer utnyttjbart arbete, då systemet drivs av direktverkande el och A drivs av en värmepump. Detta resulterar i att B får lägre verkningsgrad med avseende på exergi, eftersom det krävs mer utnyttjbart arbete för att uppnå samma slutresultat. På samma sätt får systemet med värmepumpen som använder mindre elektricitet högre verkningsgrad med avseende på exergi,

eftersom denna lösning använder mindre elenergi, det vill säga utnyttjbart arbete, för att uppnå slutresultatet. Som synes i Tabell 14 har lösning A ett högre fjärrvärmeflöde än lösning B.

Tabell 14. Resultat av beräkningar för utralågtempererad fjärrvärme i kombination med värmepump/elvärmare. Data är hämtat från [58].

	A	B
Fram/returtemperatur	40/21 °C	40/18 °C
FV flöde, primärsida	0,0236 kg/s	0,0139 kg/s
Effekt (endast el) (W)	142 W	749 W
COP	5,3	1
Verkningsgrad, exergi	0,43	0,14
Volymbehov tank (l)	128 l	128 l

Danfoss/Odder, Danmark

I ett projekt utfört av Danfoss realiseras alternativ B från föregående avsnitt. Ultralågtempererad fjärrvärme med en framtemperatur på 40 °C i kombination med elvärmare försörjer 5 bostäder med värme (Tabell 15) [59].

Tabell 15. Generell information om det ultralågtempererade fjärrvärmesystemet i Odder [59].

Generell information	
Land	Danmark
Stad	Odder
Typ av byggnader	Enfamiljshus
Antal byggnader	5

Tabell 16. Teknisk information om det ultralågtempererade fjärrvärmesystemet i Odder [59]. Med "-" menas att ingen information har hittats.

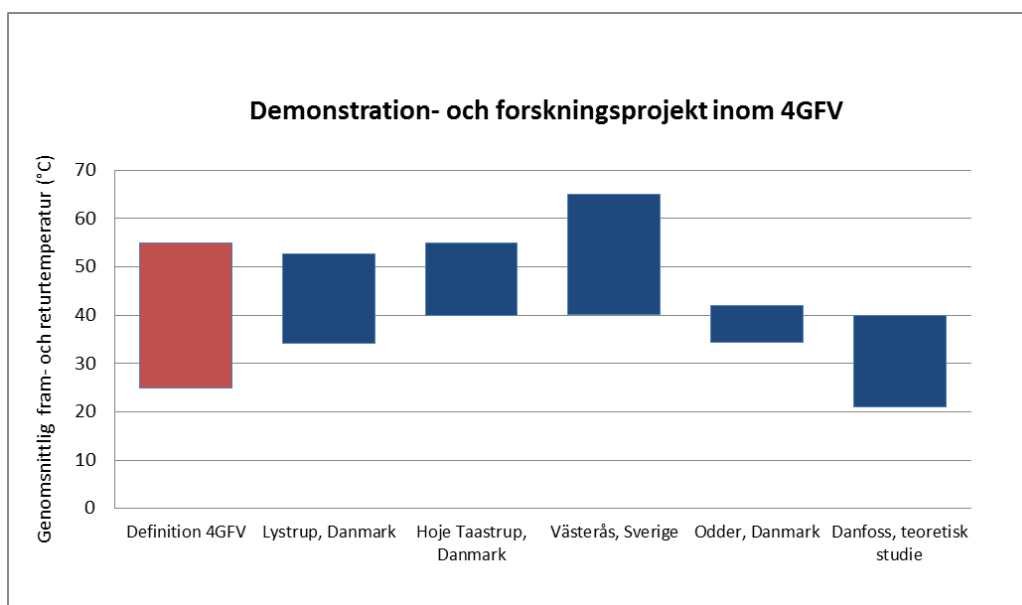
Teknisk information	
Energiprestanda	Lågenergihus samt äldre hus
Värmebehov	Blandat, för lågenergihus: 67 kWh/ m ² ,år
A _{Temp}	600 m ²
Linjetäthet	-
Ledningstyper	-
Konfiguration	-
Uppvärmning	Golvvärme, fåtal radiatorer
Tappvarmvattenkrav	45 °C
Uppmätt fram- och returtemperatur	42/ 34,4 °C

Elvärmaren har en maximal effekt på 11 kW. Mätningar under 11 månader visade att lösningen fungerade och att inga klagomål från de boende förekom [59]. Den genomsnittliga fram- och returtemperaturen uppgick till 42 respektive 34,4 °C (Tabell 16). Andelen elenergi till varmvattenberedning uppgick till 30 % av totala energin till TVV-beredning vilket är 7 procentenheter högre än det teoretiska värdet som ligger på 23 %. Skillnaden förklaras med långa tomgångsperioder vilket gör att värmeväxlaren för fjärrvärmens kyls ner vilket ledde till ökat elbehov för TVV [59].

Analys

4GFV definieras i denna rapport som en fram- och returtemperatur på maximalt 55/25 °C. Därmed uppfyller endast Danfoss simuleringsstudie med värmepump/elvärmare kriterierna för 4GFV vilket illustreras i Figur 21. Detta är dock endast en teoretisk studie och har bara realiserats i liten skala vilket gör att det blir svårt att säga hur detta system hade fungerat i verkligheten. Emellertid har den realiserade lösningen i Odder en fram- och returtemperatur på 42/34,1 °C vilket skiljer sig en del från den teoretiska studien, speciellt i returtemperatur, där denna lösning antas få en fram- och returtemperatur på 40/18 °C.

I Figur 21 framgår att samtliga danska projekt uppfyller 4GFV-kriteriet för framtemperatur; samtliga har en framtemperatur under 55 °C. Däremot når dessa system inte ner i tillräckligt låg returtemperatur för att klassas som 4GFV. Av de danska projekten når projektet i Lystrup närmst definitionen på 4GFV med en fram- och returtemperatur på 53/34,1 °C.



Figur 21. Sammanställning av de studerade projektens temperaturnivåer och avkylning.

En viktig skillnad mellan de danska systemen och det svenska är TVV-kravet. I samtliga danska system utgår från regler som möjliggör 45 °C vid tappstället. Enligt de svenska nuvarande reglerna ska temperaturen vid tappstället samt i VVC:n vara 50 °C. Den lägre temperaturen för de danska systemen blir en förutsättning för att de kan ha en framtemperatur i fjärrvärmenätet under 55 °C. Dessutom är samtliga danska system fristående villor som inte behöver VVC, vilket också blir en bidragande faktor till lägre framtemperatur.

Projektet i Västerås av Mälarenergi är det projekt som i Sverige har kommit längst när det gäller 4GFV. Dock innebär den genomsnittliga framtemperaturen på 64 °C och den genomsnittliga returtemperaturen på 40,1 °C att de är högre än definitionen för 4GFV.

6. Systemval

Detta kapitel beskriver de två 4GFV-systemlösningar som valdes ut samt ett referenssystem. Syftet med detta kapitel är att ge en bakgrund för nästkommande kapitel där indata och parametrar till simuleringsmodellerna beskrivs.

Fjärrvärmen har två användningsområden hos kunden: TVV respektive byggnadsuppvärmning. Dessa användningsområden har olika grundkrav med avseende på temperaturen på framledningsvattnet. Därför valdes två alternativ där respektive grundkrav är drivande, en systemlösning med lågtempererad fjärrvärme (LTFV) samt en med ultralågtempererad fjärrvärme (ULTFV). De båda lågtempererade systemen antogs vara sekundärnät med en områdesvärmeväxlare som växlar in värme från det befintliga nätet i Malmö-Burlöv.

1. Systemlösning med lågtempererad fjärrvärme (LTFV)

För systemlösningen LTFV var det dimensionerande temperaturkravet att TVV skulle försörjas vilket innebär att Boverkets temperaturkrav för att upprätthålla legionellasäkerhet måste uppfyllas. Detta innebär i sin tur att tappvarmvattnet på kundens sida lägst måste vara 50 °C vid alla tappställen och om det finns en VVC-krets måste hela kretsen ha en temperatur på lägst 50 °C. För ha en god marginal till att säkerställa minst 50 °C vid tappstället och VVC:n bestämdes att framtemperaturen lägst kunde vara 60 °C då temperaturfall sker längs vägen.

Av de studerade projekten i kapitel 5, var det endast projektet i Västerås som utgick från Boverkets krav då resterande projekt hade krav som tillät lägre temperatur vid tappstället. Detta motiverade att ansätta en framtemperatur i linje med detta projekt. Vidare visade mätningarna från Västerås en genomsnittlig fram- och returtemperatur på 64/40,1°C. För att säkerhetsställa minst 60 °C i framledningen hos kunden ansattes därför 65 °C i inkopplingspunkten mot primärnätet. Returtemperaturen ansattes till 35 °C som eftersom en bättre avkylning än i Västerås förutsattes.

Vad gäller teknisk utformning utgicks från snarlik teknik som används idag. Skillnaden var att andra ledningsmaterial kunde användas tack vare de lägre fram- och returtemperaturerna jämfört med konventionella fjärrvärmesystem. Vanligtvis används stålledningar i fjärrvärmesystem men med de ansatta fram- och returtemperaturerna kunde istället ledningar av plast användas. Mer specifikt användes plastledningar av typen PEX, eftersom denna typ klarar en framtemperatur på 65 °C. Dock fanns inte PEX-ledningar i de allra största dimensionerna som krävdes i nätet, vilket gjorde att PEX-ledningar endast kunde användas som servisledningar och som mindre distributionsledningar. För de större distributionsledningarna användes därför konventionella stålledningar. Endast singelledningar valdes eftersom twinledningar inte finns på marknaden i stora dimensioner, och att det är svårt att vid anläggning blanda twin- och singelledningar.

För denna systemlösning har vilken typ av fjärrvärmecentral som används i byggnaderna ingen betydelse då fjärrvärmeföretagen inte äger den och kan kontrollera dess utformning. En parallellkopplad fjärrvärmecentral med genomströmningsberedare är det vanligaste alternativet på den svenska marknaden idag och kan därför antas användas. I Tabell 17 sammanfattas systemets huvudsakliga parametrar.

Tabell 17. Parametrar för LTFV-systemet.

Fram/returtemperatur	65/35 °C
Ledningar	Mestadels PEX-ledningar. Vid större dimensioner stålledningar.
Ledningskonfiguration	Singel
TVV-lösning	Tillräcklig temperatur på fjärrvärmevattnet
Integrering med primärnät	Områdesvärmexlare

2. Systemlösning med ultralågtempererad fjärrvärme (ULTFV)

Denna systemlösning innebär att komfortkraven för uppvärmningen av byggnaderna bestämde temperaturen på framledningsvattnet. Vidare medförde detta att nätets framtemperatur dimensionerades utifrån att uppvärmningen i byggnaderna skulle tillgodoses vilket inte kräver lika höga temperaturer som TVV. Från Danfoss studie beskriven i kapitel 5 togs inspiration att använda en värmepump eller en elvärmare i kombination med en ackumulatortank lokalt i byggnaderna för att tillgodose ett legionellasäkert TVV. För ULTFV användes värmepumpar för att förse flerbostadshus med TVV likt lösning A och för villorna användes elvärmare likt lösning B. Att använda elvärmare i villor istället för värmepumpar motiverades av att värmepumpar i så små dimensioner som villorna behövde inte finns på marknaden.

De två lösningarna i kapitel 5 ansågs ha en möjlig fram- och returtemperatur på 40/21 °C samt 40/18 °C då värmepump eller elvärmare användes för respektive system. Vad gäller framtemperatur antogs att denna kunde vara i linje med den i Danfoss studie. För att ha en marginal att kunna leverera 40 °C hos kunden ansattes 41 °C som framledningstemperatur på grund av värmeförluster som leder till temperaturfall i nätet. Vad gäller returtemperatur antogs även att denna kunde vara i linje med studien av Danfoss. Eftersom ULTFV-systemet hade både elvärmare och värmepumpar ansågs en returtemperatur som låg mellan 18 och 21 °C möjlig. Detta resulterade i en total systemreturtemperatur på 20 °C [58], [60].

Vad gäller distributionsmaterial valdes uteslutande plastledningar av PE-typ. Detta motiverades av att dessa är billigare än PEX-ledningar och de ansatta fram- och returtemperaturer på 41/20 °C möjliggjorde detta. Endast singelledningar valdes av samma anledning som för LTFV-systemet.

TVV-lösningen med en värmepump/elvärmare och en ackumulatortank installerades direkt i anslutning till värmexlaren för TVV i kundens fjärrvärmecentral. Precis som för LTFV kan det antas att en parallellkopplad central används. TVV-lösningen kommer då att ägas av fjärrvärmeföretaget för att en fullgod värmelösning med ingående uppvärmning och TVV ska kunna levereras till kunden. Framledningsvattnet värms av värmepumpen/elvärmaren från 40 °C upp till 60 °C och ackumulatortanken används för att tillgodose TVV vid effekttoppar. Systemets parametrar sammanfattas i Tabell 18.

Tabell 18. Parametrar för ULTFV-systemet.

Fram/returtemperatur	41/20 °C
Ledningar	PE-ledningar
Ledningskonfiguration	Singel
TVV-lösning	Värmepump/elvärmare med ackumulatortank
Integrering med primärnät	Områdesvärmexlare

Referenssystem

De två lågtempererade systemen jämfördes med ett konventionellt fjärrvärmesystem, det vill säga ett sådant system som skulle byggts i idag med tredje generationens fjärrvärme. Referenssystemet byggde på parametrar från dagens nät i Malmö-Burlöv. Malmö-Burlövnätet har en möjlig framtemperatur på upp till 120 °C och en medelreturtemperatur på 48 °C [5]. Ledningarna i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät består till största del av singelledningar av stål. I referenssystemet var nätet i Varvsstaden direkt kopplat till Malmö-Burlövnätet, det var alltså inget sekundärnät. Systemets parametrar sammanfattas i Tabell 19.

Tabell 19. Parametrar för Referenssystemet.

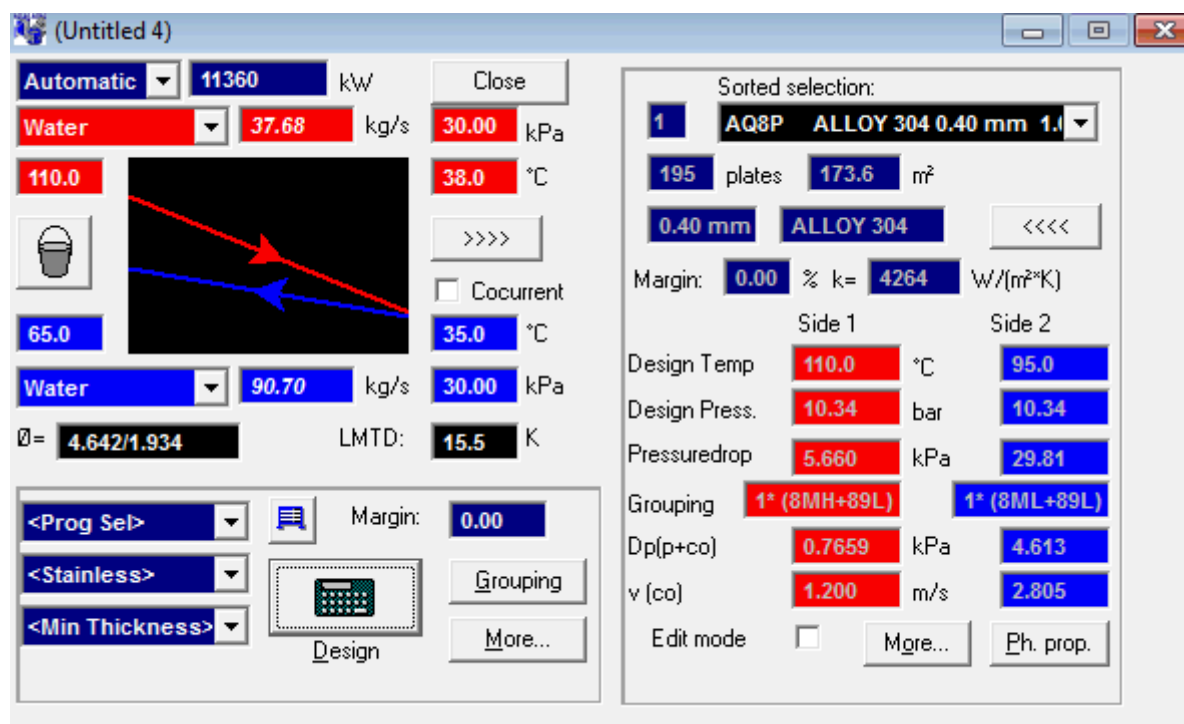
Fram/returtemperatur	120/48 °C
Ledningar	Stålleddningar
Ledningskonfiguration	Singel
TVV-lösning	Tillräcklig temperatur på fjärrvärmevattnet

7. Uppbyggnad av modell

I detta kapitel beskrivs modellupbyggnaden till simuleringarna mer detaljerat. Kapitlet beskriver indata till modellerna samt hur de parametrar som användes i simuleringarna erhöles. Kapitlet avser att besvara frågeställning 2.

7.1 Integrering av sekundärnät

LTFV- och ULTV-systemen integrerades med Malmös primärnät genom en områdesvärmeväxlare medan referenssystemet var en direkt utbyggnad av det befintliga nätet. I själva simuleringarna fungerade dock inkopplingen till Malmö-Burlövs nät som en produktionsanläggning för alla tre systemen eftersom programmet inte kan simulera sekundärnät. Dimensioneringen av värmeväxlaren gjordes istället på andra sätt. Hur de lågtempererade nätens temperaturnivåer fungerar med deras områdesvärmeväxlare diskuterades med Rolf Jönsson på Alfa Laval och testades i beräkningsprogrammet CAS för att se om arrangemangen var tekniskt möjliga. Ett exempel för detta presenteras för LTFV i Figur 22. Där visas i den vänstra delen av figuren det totala effektbehovet som ska överföras genom växlaren i marinblått, primärnätets parametrar i rött och sekundärnätets i blått. Vid högra delen av figuren visas maximalt effektuttag och värmeväxlarens tekniska parametrar. I det stora hela visade beräkningarna att de valda temperaturerna var rimliga för båda systemlösningarna och att värmeväxlarens storlek hamnade inom rimliga gränser [60].



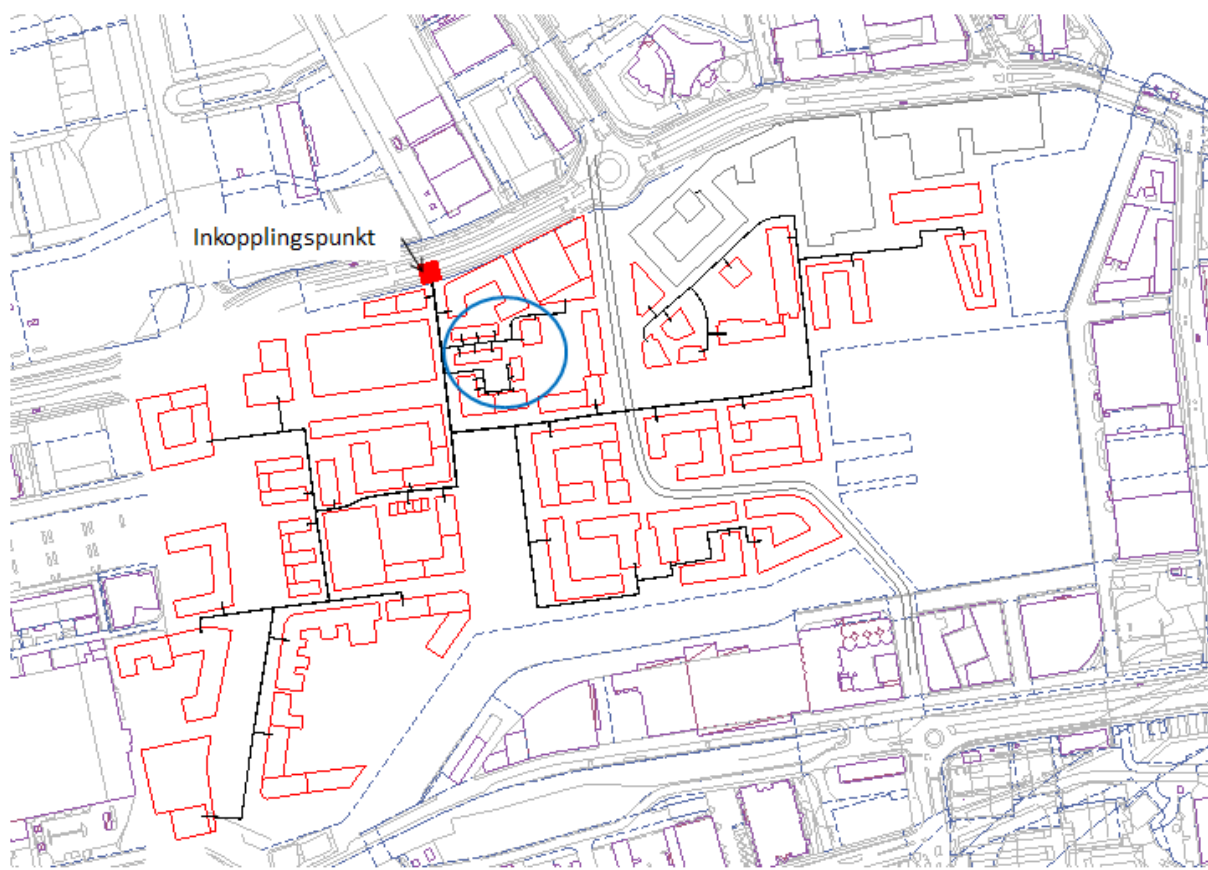
Figur 22. Ett exempel på beräkningar gjorda för värmeväxlaren till LTFV-systemets inkoppling med beräkningsprogrammet CAS [61].

7.2 Nätets utformning

Eftersom Varvsstaden ännu befinner sig i planeringsstadiet användes utvecklingsplanen från Malmö Stadsbyggnadskontor som underlag för var byggnaderna kommer att byggas och utefter detta utformades nätet [15]. Nätet lades på ett så fördelaktigt sätt som möjligt där hänsyn togs till befintlig och kommande infrastruktur (Figur 23). Ledningarna lades om möjligt i gata eller i cykelstråk.

Ledningsdragning under den planerade spårvägen undveks utom i en korsning. Även grönytor undveks och där ledningar var tvungna att läggas i ett grönområde så undveks planerade trädplantor.

I utvecklingsplanen för Varvsstaden finns det endast större byggnader med en blandning av bostäder och verksamhetslokaler. För att bredda projektet och även göra det implementerbart i andra områden byttes fem av kombihusen ut mot 15 villor. Det resulterade i sammanlagt 50 kunder i området. Det dimensionerande effektbehovet för området byggde på effektbehovet för den uppvärmda golvarean. Byggnadernas våningsyta och antal våningar erhöles från kartan i utvecklingsplanen och detta gav en total uppvärmd golvarea på 261 718 m². Antal våningsplan stod angivet i intervall och där valdes det högsta antalet för respektive byggnad för att räkna med maximal utbyggnad av området [15].



Figur 23. Fjärrvärmenätets utformning i Varvsstaden. Kombihusen som byttes ut mot villor ligger inom den blå cirkeln strax nedanför inkopplingspunkten. Bilden erhöles från EVS och information om byggnadernas placering erhöles från Utvecklingsplanen för Varvsstaden.

De tre systemen dimensionerades efter DVUT som i Malmö-Burlövs nät är - 16 °C. Eftersom referenssystemet och de två lågtempererade systemen arbetade under olika temperaturintervall användes olika material i mediärören. I referenssystemet användes uteslutande stålledningar, i LTFV-systemet användes PEX samt stål för större dimensioner och i ULTFV-systemet användes uteslutande PE-ledningar. Den resulterande längden ledning för varje system visas i Tabell 20 fördelade på 4 olika dimensioneringsintervall. Eftersom de lågtempererade systemen fick högre flöden resulterade detta i att även en del ledningar med större dimensioner än referenssystemet behövdes för att klara flödena (se Tabell 20).

Tabell 20. Ledningslängd fördelade på fyra dimensioneringsintervall för de olika systemen.

		LTFV	ULTFV	Referens
≤ DN50	m	675	547	1 473
DN65 - DN100	m	1 427	913	784
DN125 - DN200	m	441	753	301
> DN200	m	14	345	0
Total längd ledning	m	2 558	2 558	2 558

Andra parametrar som behövdes för simuleringarna var innerdiameter, ytråhet och värmegenomgångstal och dessa erhöles från produktkataloger. Data för stålledningarna erhöles från producenten Powerpipe [61] medan data för PEX och PE erhöles från Maxitherm och Uponor [33], [34], [35], [36].

Värmeförlusterna varierar med ledningens värmeledningstal enligt ekvation 5 i avsnitt 3.2. Eftersom det skiljer sig något åt för de olika ledningarna påverkar det även värmeförlusterna i systemen då alla har olika ledningstyper. De olika värmeledningstalen för respektive ledning redovisas i Tabell 21. För PEX och PE varierar dessa värden med det lägsta värdet för de små dimensionerna och det högsta för de största dimensionerna.

Tabell 21. Värmeledningstalen för de ledningar som användes i simuleringarna [5], [33], [35], [36].

Typ av ledning	Värmeledningstal [W/(mK)]
Stål	0,35
PEX	0,13 - 0,30
PE	0,11 - 0,20

Vid dimensionering togs hänsyn till högsta tryck, differenstryck och hastighet. Inget av systemen översteg de uppsatta parametrarna för högsta tryck då systemen dimensionerades efter maximal hastighet. Dock fick differenstrycket i anslutningspunkten för referensfallet inte överstiga 3 bar på grund av förutsättningar i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät. För de lågtempererade systemen gäller inte samma bestämmelser för differenstrycket eftersom värmeväxlaren endast överför värme och inte tryck. Detta gjorde att de lågtempererade systemen dimensionerades helt efter den maximala hastigheten i ledningarna.

7.3 Utomhustemperatur och marktemperatur

Eftersom byggnadernas effektuttag och returtemperatur varierar med utomhustemperaturer gjordes flera olika simuleringar med olika utomhustemperaturer. Vidare gjordes simuleringarna både för olika driftsfall med avseende på utomhustemperatur, men också baserat på medeltemperaturen varje månad för att räkna ut värmeförlusterna på årsbasis. Utomhustemperaturerna för driftsfallen och varje månad erhöles utifrån statistik från SMHI med månadsmedel från 2004 till 2015 [62]. De olika driftsfallen som studerades baserades på säsong: vinter, vår/höst samt sommar. Två extremfall studerades också, dessa var extrem vinter och extrem sommar. Det extrema vinterfallet är vid samma temperatur som DVUT. Utomhustemperatur och motsvarande marktemperatur för de olika driftsfallen redovisas i Tabell 22 och samma parametrar för månadsmedel redovisas i Tabell 23.

Tabell 22. Utomhus- och marktemperaturer vid olika driftsfall.

Årstid	Utomhustemperatur [°C]	Marktemperatur [°C]
Extrem vinter, DVUT	- 16	3
Vinter	1	3
Vår och höst	10	8
Sommar	17	8
Extrem sommar	28	8

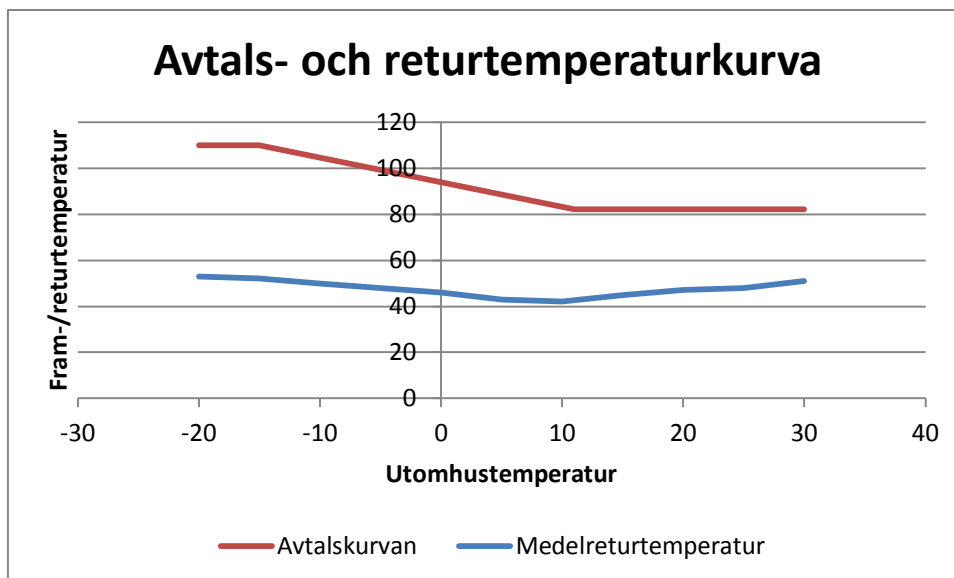
Den omgivande marktemperaturen påverkar hur stora värmeförlusterna i nätet kommer att bli. Ju lägre marktemperatur, desto större skillnad mellan marktemperaturen och temperaturen på det transporterade fjärrvärmevattnet och därmed större värmeförluster (som beskrevs i ekvation 5). EVS:s schablonvärden för marktemperatur användes. Under vinterhalvåret beräknades marken därmed ha en temperatur på 3 °C och på sommaren 8 °C. Gränsen på våren drogs mellan april med en medelutomhustemperatur på 8 °C och maj då medelutomhustemperaturen är 12 °C. Motsvarande gräns på hösten drogs mellan oktober och november då medelutomhustemperaturen går från 10 till 6 °C.

Tabell 23. Utomhus- och driftstemperaturer vid olika månader.

Månad	Utomhustemperatur [°C]	Marktemperatur [°C]
Januari	0	3
Februari	1	3
Mars	2	3
April	8	3
Maj	12	8
Juni	15	8
Juli	18	8
Augusti	18	8
September	14	8
Oktober	10	8
November	6	3
December	2	3

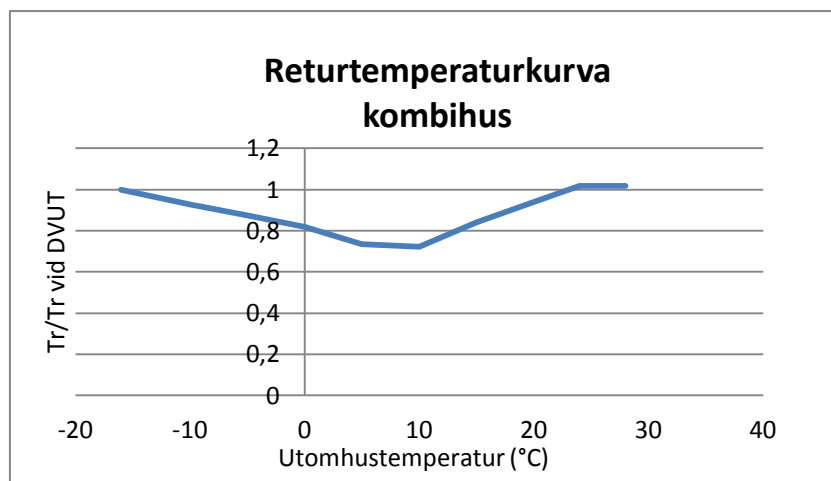
7.4 Fram- och returtemperaturer

Den så kallade avtalskurvan reglerar vilken framtemperatur som ska levereras till Malmö-Burlövs fjärrvärmenät vid en viss utomhustemperatur (se Figur 24). Denna användes som framtemperatur i simuleringarna för referenssystemet. Motsvarande returtemperaturer erhöles från mätdata från dagens fjärrvärmenät vilket också visas i Figur 24 [5].

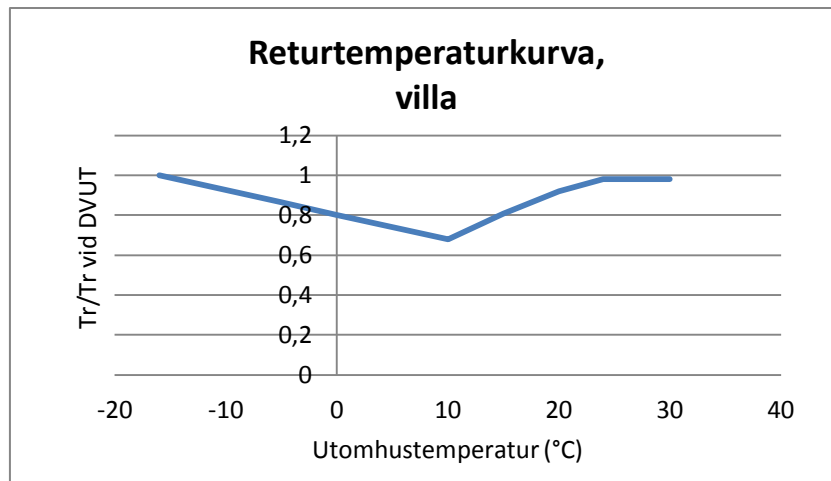


Figur 24. Leveranskurva och returtemperaturer i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät.

Fram- och returtemperaturer för LTFV simulerades med utgångspunkt från de valda parametrarna enligt systemvalen beskrivna i kapitel 6. Framtemperaturen hölls konstant på 65 °C medan returtemperaturerna från byggnaderna varierade med utomhustemperaturen. Hur returtemperaturen för LTFV varierade erhöles för kombihusen från lokaler i Hyllie och flerfamiljshus i Västra hamnen (se Figur 25), och för villorna från villor i Limhamn (se Figur 26). Att utgå från dessa byggnader motiverades av att de är nybyggda hus med hög energiprestanda och ansågs därför kunna leverera låga returtemperaturer. Mätningarna av returtemperaturerna var utförda under 2015. Returtemperaturkurvorna byggde på faktorer för returtemperaturen för motsvarande utomhustemperatur i förhållande till returtemperaturen vid DVUT.

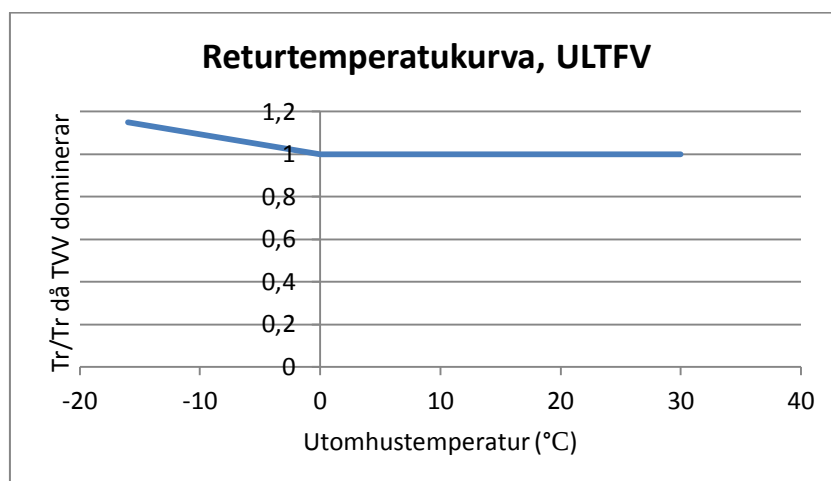


Figur 25. Returtemperaturkurvan för LTFV-systemet för kombihus.



Figur 26. Returtemperaturkurvan för LTFV-systemet för villor.

Returtemperaturkurvan för ULTFV-systemet uppskattades i samråd med EVS [5]. Uppskattningarna baserades på studien från Danfoss [58] och personlig kommunikation med Alfa Laval [60]. Eftersom ULTFV-systemet hade en annorlunda lösning för tappvarmvattnet än de två andra systemen påverkade det returtemperaturen på ett annorlunda sätt. Värmepumpen returnerade ett flöde med konstant temperatur då TVV-användningen är det dominerande värmebehovet eller det enda som försörjs av fjärrvärmes. Endast TVV-användning som värmebehov sker vid varmare utomhustemperaturer vilket gjorde att returtemperaturen sattes som konstant för utomhustemperaturer över 0 °C. Det som begränsar den lägsta möjliga returtemperaturen vid kallare utomhustemperaturer är uppvärmningen eftersom returtemperaturen från en byggnad aldrig kan bli lägre än inomhustemperaturen. Utöver detta tillkommer temperaturtapp i värmeväxlaren. Det gör att returtemperaturen ökade vid kallare utomhustemperaturer vilket kan ses i Figur 27 där den resulterande returtemperaturkurvan för ULTFV presenteras.



Figur 27. Returtemperaturkurvan för ULTFV-systemet.

7.5 Effektbehov byggnader

Maxeffekt

Byggnaderna i Varvsstaden kommer att ha varierande användningsområden vilket kan innebära olika lastprofiler. Detta gjorde det svårt att förutsäga effektbehovet. Miljömålen för området är höga enligt MBS och de nybyggda byggnaderna antogs ha ett värmebehov som motsvarade lågenergihus

vilket är jämförbart med Miljöklass B i MBS. Enligt MBS utgår Miljöklass B från kraven från klass B i SIS-standard SS 24300-2 [16]. MBS specificerar att utgångspunkten för kraven på specifik energianvändning i byggnaderna är de senaste bestämmelserna för BBR. Grundförfattningen som gäller nu är BBR 18 (BFS 2011:6) [63]. Kraven skärps sedan i SIS-standard. I BBR finns det olika bestämmelser för maximal specifik energianvändning vilket skiljer sig något mellan bostäder och lokaler. För att räkna ut effektbehovet multiplicerades kravet för maximal specifik energianvändning från BBR med en faktor från SIS mellan 0,5 och 0,75 [64]. Detta dividerades sedan med 1 000 timmar för att få fram det maximala effektbehovet, se ekvation 13 [5]. Antal timmar med maximalt effektbehov kommer från EVS:s standard för lågenergihus.

$$P_{fastighet} = E_{BBR} [kWh/m^2] \cdot \frac{Faktor_{SIS}}{1000 [h]} \quad (13)$$

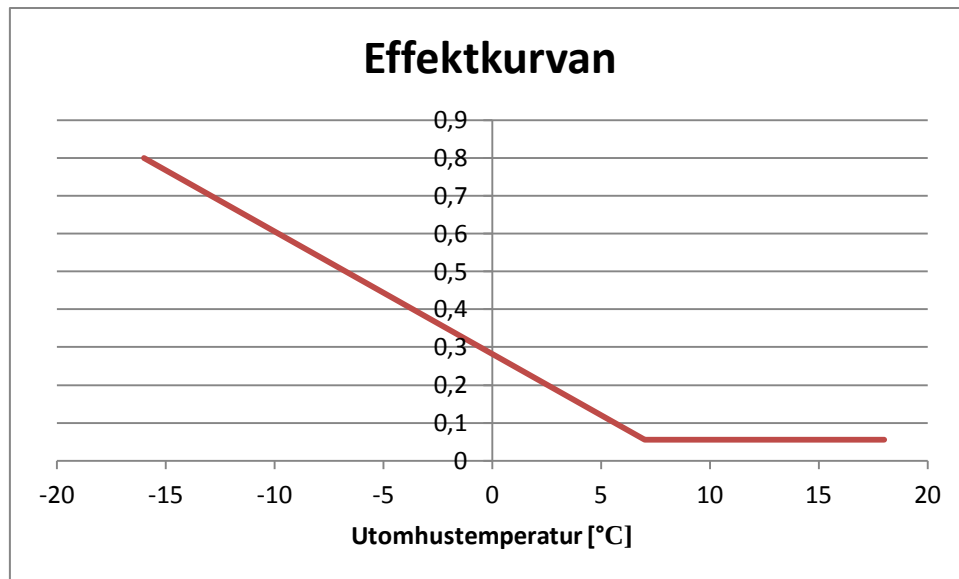
Enligt MBS ska byggnader som innehåller både bostäder och lokaler viktas efter A_{Temp} [16]. Eftersom fördelningen mellan bostäder och lokaler i kombihusen var okänd löstes detta genom en approximation för faktorerna från SIS. Med ett högsta effektbehov på 40 W/m² för byggnaderna uppfylldes kraven för både bostäder och lokaler även om faktorerna skiljer sig åt, detta visas överskådligt i Tabell 24. Med hjälp av arean räknades maxeffekterna för respektive byggnad ut. Dessa varierade i flerfamiljshusen mellan 42 och 914 kW och för villorna mellan 6 och 10 kW.

Tabell 24. Energiförbrukningen, faktorerna och det slutliga effektbehovet för byggnaderna.

	Energiförbrukning från BBR kWh/m ² , år [27]	Faktorer från SIS [64]	Effektbehov W/m ² , år
Bostäder	75	0,53	40
Lokaler	65	0,62	40

Effektkurvan

Eftersom uppvärmningsbehovet minskar med ökande utomhustemperatur minskar likaså effektbehovet med ökande utomhustemperatur. Detta sker fram till en brytpunkt då det inte längre finns något uppvärmningsbehov. TVV står då för hela värmekonsumtionen. Standarderna från SIS säger att tappvarmvattnet står för ungefär hälften av energianvändningen på årsbasis, vilket även bekräftades av EVS [5], [65]. Efter detta konstruerades en effektkurva för de utomhustemperaturer som förekommer i Malmö och vilket uppvärmningsbehov respektive TVV-behov temperaturvariationerna kommer att ge upphov till. Till detta tillkommer en sammanlagring på 80 % som är vad EVS normalt räknar med vid energisystemanalyser (se Figur 28).



Figur 28. Den resulterande kurvan för effekten beroende av utomhustemperaturen.

7.6 Varmvattenlösning till ULTFV-systemet

För att klara legionellakraven vid TVV-beredningen för ULTFV-systemet användes extra uppvärmning lokalt i varje byggnad i kombination med en ackumulatortank. Att ett system med en ackumulatortank valdes var för att värmepumpen eller elvärmaren som höjer temperaturen på vattnet inte ska behöva arbeta konstant och för att täcka de momentana effekttopparna vid stora TVV-behov. Dimensioneringen för tankarna baserades på hur stort TVV-behovet i byggnaden beräknades vara, samt hur behovet normalt sett varierade över ett dygn och över ett år. Schablonvärden från Statens Energimyndighet användes för TVV-användningen i medeltal per person samt hur mycket energi som går åt för att värma TVV [66]. Lägenheternas yta och boyta per person erhöles från E.ON:s tidigare uppskattningar från nybyggda bostäder i Hyllie. Dessa parametrar redovisas i Tabell 25 och Tabell 26. Samtliga byggnader antogs vara flerbostadshus för att inte underdimensionera systemet då flerbostadshus har ett större TVV-behov än lokaler.

Tabell 25. Parametrar för att räkna ut värmebehov för TVV-beredning för flerbostadshus.

Parameter	enhet	värde	källa
$A_{temp/lgh}$	m^2	95	[67]
Antal boende personer _{/lgh}	personer	2,1	[67]
TVV-förbrukning _{/pers}	$m^3/person$	0,06	[66]
Värmebehov _{,TVV/m3}	kWh/m^3	50	[66]
Besparing vattensnål teknik	%	20	[66]

Tabell 26. Parametrar för att räkna ut värmebehov för TVV-beredning för villor.

Parameter	enhet	värde	källa
Vattenförbrukning _{/pers}	$m^3/person$	0,06	[66]
Antal boende personer _{/villa}	personer	4	Eget antagande
Värmebehov _{,TVV/m3}	kWh/m^3	50	[66]
Besparing vattensnål teknik	%	20	[66]

Sedan kunde värmebehovet för tappvarmvattenberedningen beräknas för flerbostadshusen och villorna enligt följande ekvationer:

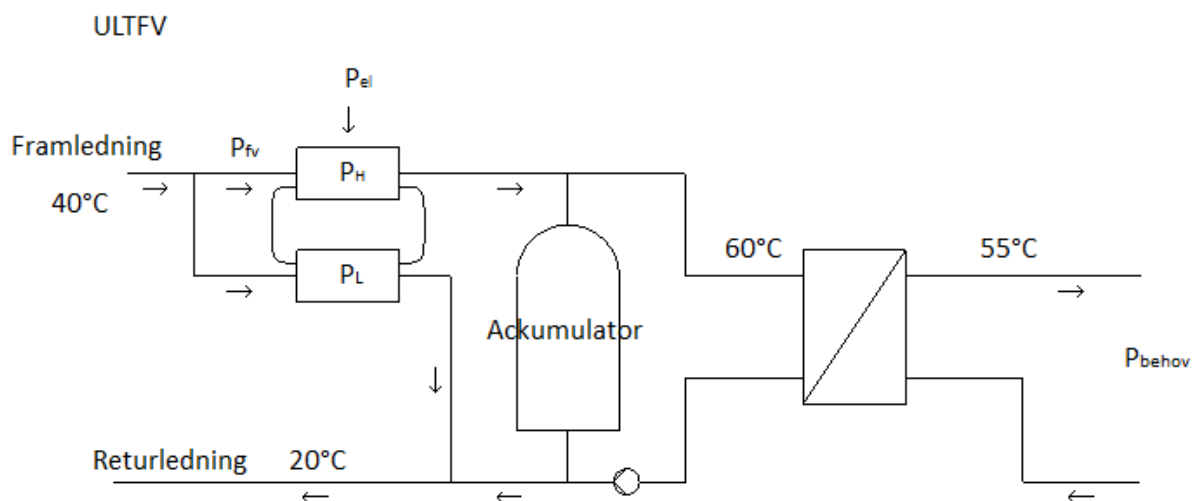
Värmebehov för varmvatten till flerbostadshus

$$= \frac{A_{lgh}}{A_{temp,lgh}} \times pers_{lgh} \times TVV_{förbrukning_{pers}} \times Värmebehov_{m3_{TVV}} \times 0,8$$

Värmebehov för varmvatten till villor

$$= pers_{villa} \times TVV_{förbrukning_{pers}} \times Värmebehov_{m^3_{TVV}} \times 0,8$$

TVV-behovet kommer därmed att täckas dels av fjärrvärmen, dels av externt tillsatt elektricitet i värmepumpen eller elvärmaren. Eleffekten som behövdes tillsätts till elvärmaren är direkt proportionerlig mot temperaturskillnaden mellan fjärrvärmevattnet och temperaturkravet på TVV. Denna effekt beräknades enligt ekvation 1 i avsnitt 3.2 med ett ΔT på 20 °C eftersom det är temperaturskillnaden mellan temperaturkravet på TVV (60 °C) och fjärrvärmevattnet (40 °C). När eleffekten till en värmepump beräknas måste hänsyn även tas till värmepumpens COP enligt ekvation 10 i avsnitt 3.4.5. Fjärrvärmeflödet som försörjer TVV delas då upp i två flöden, ett som tjänar som värmepumpens värmekälla och ett som värms upp i värmepumpen från 40 °C till 60 °C och som sedan värmer upp kundens TVV i en värmeväxlare (se Figur 29).



Figur 29. TVV-lösning för ULTFV med en värmepump.

TVV-behovet hos kunden uppfylls av två delar, dels direkt av fjärrvärmen (P_{fv} , upp till 40 °C), dels av tillskottet från värmepumpen (P_H , de resterande graderna upp till 60 °C) enligt ekvation 14. En del av P_H kommer från fjärrvärme och en del från el.

$$P_{behov} = P_{fv} + P_H \quad (14)$$

Eftersom returtemperaturen var 20 °C utgjorde detta nollnivån för beräkningarna. Effektbehovet för tappvarmvattnet, P_{behov} , erhöles från temperaturskillnaden mellan framtemperaturen 60 °C och returtemperaturen 20 °C enligt ekvation 1, alltså på 40 °C. Det vatten som senare passerar genom värmeväxlaren i kundens fjärrvärmecentral anlände till värmepumpen innehållandes den värme-effekt som existerar mellan 40 °C och 20 °C enligt ekvation 1, alltså på 20 °C. För P_{behov} och P_{fv} är allt annat är lika förutom ΔT som är dubbelt så stort för P_{behov} enligt ekvation 1. Detta betyder att

fjärrvärmens direkt bidrar till hälften av effektbehovet för tappvarmvattnet. Det betyder i sin tur att tillskottet från värmepumpen, P_H , utgör resterande del.

Tillskottet från värmepumpen bestod i sin tur av två delar, värmeeffekt från fjärrvärmens som värmekälla, P_L , och den tillsatta elektriciteten, P_{el} enligt ekvation 15.

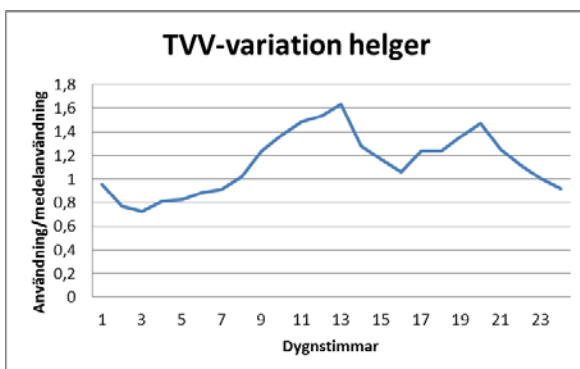
$$P_H = P_L + P_{el} \quad (15)$$

Den tillsatta eleffekten erhöles genom utveckling av ekvation 10 vilket gav ekvation 16. Vanliga COP för värmepumpar när EVS gör simuleringar är 4 vilket användes i simuleringarna av ULTFV.

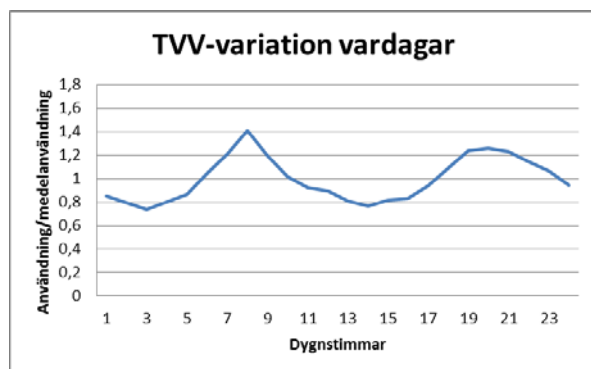
$$P_{el} = \frac{P_H}{COP} \quad (16)$$

Det slutgiltiga fjärrvärmebehovet hos kunden erhöles därmed av det totala effektbehovet subtraherat med den tillsatta externa eleffekten.

För att kunna dimensionera ackumulatortank, värmepumpar och elvärmare behövdes effekttoppar samt variationen för endast TVV-användning. Detta gjordes genom att studera TVV-variationen på dygnsbasis för samma byggnader i Västra Hamnen som användes för returtemperaturkurvan för LTFV. För att särskilja TVV-användning, valdes endast dagar med tillräckligt hög utomhustemperatur vilket kunde motivera antagandet att värmeanvändningen uteslutande utgjordes av varmvattenanvändning. Värden togs från dagar under försommar och sensommar som inte antogs ligga inom semesterperioden. Genom detta antogs alla boende vara hemma och den resulterande kurvan för värmeanvändningen kunde därmed helt allokeras till TVV-användningen. Vardagar och helgdagar skiljdes åt eftersom användningsmönstret i regel ser olika ut. Fyra byggnader användes och tolv datum ansågs ha utomhustemperaturer höga nog för att det inte skulle finnas ett uppvärmningsbehov. Av dessa var åtta vardagar och fyra helgdagar. Värdena angavs som användningen av fjärrvärme under en timme i enheten kWh/h. Kurvornas faktorer erhöles sedan genom medelanvändningen av varmvattnet för husen i förhållande till den dagliga variationen av användningen, detta visas i Figur 30 och 31.



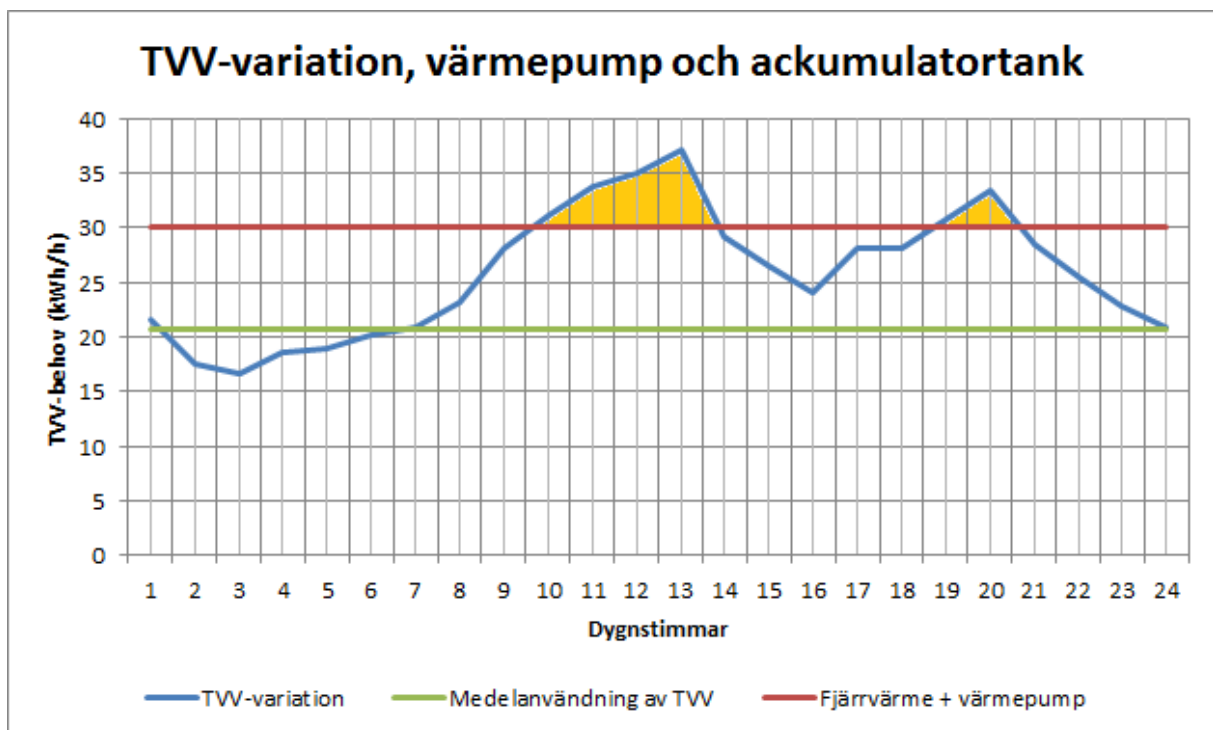
Figur 30. Typkurva för TVV-variation under helgdagar.



Figur 31. Typkurva för TVV-variation under vardagar.

Värmepumpen/elvärmaren och ackumulatortanken dimensionerades med utgångspunkt från att kunna täcka de toppar som sker under morgon och eftermiddag/kväll. Eftersom maxvärdet för TVV-uttag är större för helger än för vardagar valdes helgkurvan för vidare beräkning.

Emellertid varierar även användningen av TVV över året med en något högre användning under vinterhalvåret. För att få den maximala användningen multiplicerades kurvan därför med en variationsfaktor [3]. Samma kurva användes för både villor och flerbostadshus, TVV-användningen antogs vara samma oavsett om man bor i lägenhet eller villa. Värmepumpen valdes för att täcka upp en tillräckligt stor del av varmvattenanvändningen för kombihusen och för att räkna ut storleken på den tillhörande ackumulatortanken användes numerisk integration. En värmepump valdes individuellt till varje byggnad eftersom byggnaderna varierade i storlek och därmed TVV-behovet, samt att värmepumparna hade olika effekter. En ackumulatortank valdes sedan för att täcka upp resterande behov med 20 % marginal. Om det var fler än en värmepump som hamnade inom spannet valdes den kombination av värmepump och tank som hade lägst investeringskostnad. Värmepumpar och ackumulatortankar valdes från Nibes produkter som är vanliga på den svenska marknaden [68], [69]. Villorna hade ett så pass lågt värmebehov att det inte fanns värmepumpar anpassade till så låga behov. En direktverkande elvärmare från Nibe användes istället [70]. Figur 32 visar en exempelgraf för ett av kombihusen där variationen, medelanvändningen för byggnaden, tillskottet från fjärrvärme och värmepump samt ackumulatortanken kan läsas ut. Variationen representeras av den blåa linjen, medelanvändningen av den gröna linjen och tillskott från fjärrvärmens och värmepumpen av den röda linjen. De tidpunkter TVV-användningen överstiger tillskottet från fjärrvärmens och värmepumpen, försörjs behovet också av ackumulatortanken vars storlek representeras av det orangea området i figuren. Dessa behovstoppar inträffar under morgon och kväll då många av de boende är hemma och TVV-användningen är stor. Motsvarande beräkningar gjordes för villorna med elvärmare.



Figur 32. Exempelgraf med TVV-variation, fjärrvärme + värmepump och ackumulatortank (det orangea området).

I Tabell 27 och Tabell 28 redovisas resultatet av beräkningarna med den största och minsta storleken på tanken, de angivna effekterna på värmepumpen/elvärmare, samt det årliga elenergibehovet.

Tabell 27. Högsta/minsta värde av parametrarna A_{temp} , tankstorlek, angiven effekt och elenergibehov/år. Samtliga 35 flerbostadshus omfattas.

Flerbostadshus	Min	Max
A_{temp} (m ²)	1 050	15 480
Tankstorlek (l)	100	900
Angiven effekt värmepump (kW)	2	28
Elenergi till värmepump (kWh/år)	2 796	41 217

Tabell 28. Högsta/minsta värde av parametrarna A_{temp} , tankstorlek, angiven effekt och elenergibehov/år. Samtliga 15 villor omfattas.

Villor	Min	Max
A_{temp} (m ²)	213	372
Tankstorlek (l)	40	40
Effekt elvärmare (kW)	0,3	0,3
Elenergi till elvärmare (kWh/år)	1 752	1 752

8. Resultat och analys

Detta kapitel beskriver studiens olika resultat samt känslighetsanalyser av dessa. I detta kapitel besvaras frågeställning 3, 4 och 5.

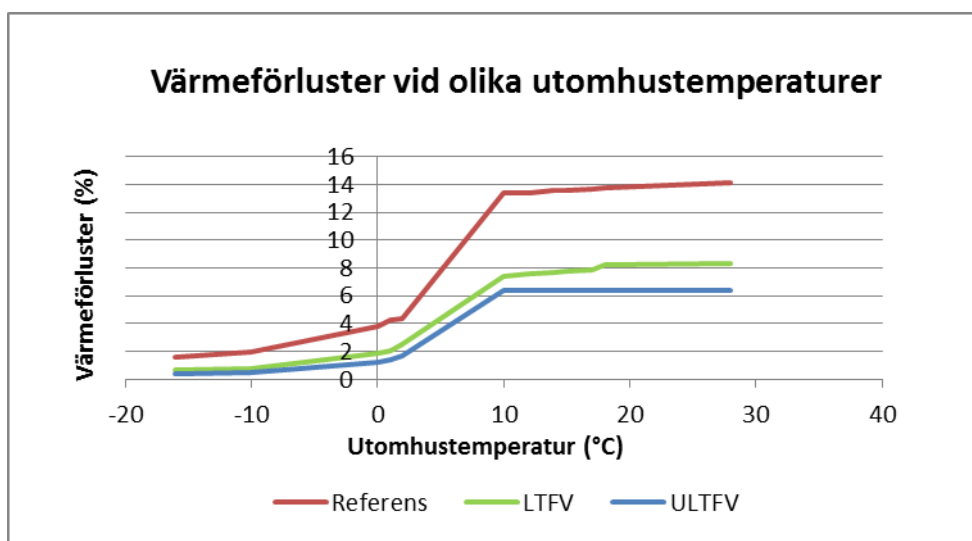
8.1 Resultat från simuleringar

Resultatet från simuleringarna visar att de båda lågtempererade systemen är fullt implementerbara i Varvsstaden och de håller sig inom uppsatta parametrar för ett fjärrvärmenät. Båda systemen hade lägre värmeförluster än referenssystemet (se Tabell 29). Med ULTFV-systemet minskar värmeförlusterna med 63 % och för LTFV med 47 % jämfört med referenssystemet. Detta samband kan härledas från ekvation 5 som förklarar att distributionsförluster ökar med högre fram- och returtemperatur eftersom temperaturskillnaden mot omgivningen blir större.

Tabell 29. Producerad fjärrvärme och förluster för de tre undersökta systemen.

		LTFV	ULTFV	Referens
Årlig producerad fjärrvärme inkl. distributionsförluster	(GWh/år)	12,37	11,51	12,82
Årliga värmeförluster	(GWh/år)	0,50	0,35	0,94
Årlig relativ värmeförlust	%	4,03	3,06	7,39

I samtliga system ökade de relativa distributionsförlusterna med ökad utomhustemperatur (se Figur 33). Detta beror på flera faktorer men framförallt av den lägre linjetätheten på sommaren, det vill säga att mindre fjärrvärme används i förhållande till den totala längden ledning. Detta medför att flödet av vatten i fjärrvärmeledningarna minskar och med det ökar de relativa värmeförlusterna eftersom vattnet får längre tid på sig att avge värme till omgivningen. Att de båda lågtempererade systemen har lägre relativa värmeförluster beror även detta på flera faktorer men framförallt på lägre fram- och returtemperatur enligt ekvation 5.



Figur 33. Värmeförlusternas variation med utomhustemperaturen.

I Tabell 30 presenteras flödena vid de två extremiteterna som undersöktes, -16 °C och 28 °C. ULTFV-systemet nästan tre gånger högre flöde än referenssystemet vid -16 °C, 119,49 kg/s jämfört med 37,91 kg/s, och LTFV har nästan dubbelt så stort på 72,61 kg/s. Detta kan förklaras med

ekvation 1 som beskriver hur den levererade effekten beror på massflödet, $\dot{m}$, och avkylningen, ΔT . Eftersom ULTFV och LTFV arbetar vid ett lägre ΔT än referenssystemet blir massflödet högre för att de lågtempererade systemen ska klara av att leverera samma effekt. Visserligen är effekten vid -16°C för ULTFV-systemet något mindre än LTFV-systemet och referenssystemet tack vare värmepumparna/elvärmarna, men denna skillnad är försumbart vid jämförelse av flöde. Ett högre flöde betyder att ledningsdiameterarna måste bli större och pumparbetet öka, något som ökar kostnaderna. De beräknade flödena i Figur 22 från avsnitt 7.1 som gjordes för värmeväxlarna är något högre än de som presenteras i Tabell 30. Detta beror på att beräkningarna för värmeväxlarna är gjorda för maxeffekt medan flödena i simuleringarna tar hänsyn till sammanlagring.

Tabell 30. Massflöden i kg/s vid extremtemperaturer för samtliga tre system.

	LTFV	ULTFV	Referenssystem
Flöde vid -16°C [kg/s]	72,61	119,49	37,92
Flöde vid 28°C [kg/s]	5,40	7,63	5,16

De lågtempererade systemen kräver extra energitillförsel till distributionspumpar jämfört med referenssystemet. Referenssystemet är ett primärnät och försörjs tryckmässigt av distributionspumparna från Malmö-Burlövs fjärrvärmenät. De lågtempererade systemen är sekundärnät och trycket i framledningen överförs inte med framledningsvattnet genom värmeväxlaren som integrerar primär- och sekundärnät. Denna extra pumpenergi motsvarar 0,048 GWh/år för LTFV-systemet och 0,081 GWh/år för ULTFV-systemet (se Tabell 31). Att det krävs mer pumpenergi i ULTFV-systemet kan förklaras med att detta system har lägre avkylning och får därmed ett högre flöde vilket kräver en större mängd pumpenergi (ekvation 1). För ULTFV fodras dessutom elenergi till värmepumparna och elvärmarna motsvarande 0,71 GWh/år (Tabell 31).

I Tabell 31 framgår att ULTFV-systemet ger mindre mängd levererad fjärrvärme än LTFV- och referenssystemet, 11,16 GWh jämfört med 11,87 GWh. Detta berodde på att ULTFV-systemet till viss del försörjs av elenergi på 0,71 GWh/år. Den totala mängden levererad energi till kunderna är dock lika stor för samtliga system.

Tabell 31. Levererad fjärrvärme samt tillför elenergi och för de undersökta systemen.

		LTFV	ULTFV	Referens
Levererad fjärrvärme till kund exkl. distributionsförluster	(GWh/år)	11,87	11,16	11,87
Total extra tillförd el	(GWh/år)	0,048	0,791	-
- varav el till TVV	(GWh/år)	-	0,71	-
- varav extra el till distributionspump på grund av sekundärnät	(GWh/år)	0,048	0,081	-

8.2 Ekonomi

De ekonomiska beräkningarna visar att ULTFV-systemet innebär högst kostnader för fjärrvärme-företaget och ger minst ekonomisk avkastning och referenssystemet minst kostnader och mest avkastning. Som synes i Tabell 32 har ULTFV-systemet högst grundinvesteringskostnad och referenssystemet lägst. Detta beror främst på att kostnader tillkommer för TVV-beredningen, det vill säga kostnader för ackumulatortankar, värmepumpar och elvärmare samt montering av dessa. För de lågtempererade systemen tillkommer även en kostnad för de områdesvärmeväxlare som integrerar

systemen med Malmö-Burlövnätet (se Tabell 32). De båda lågtempererade systemen har även en högre årliga kostnad än referenssystemet (se Tabell 33). Detta beror på att extra kostnader tillkommer för underhåll av värmeväxlare, pumpning samt TVV-beredning för ULTFV-systemet. Eftersom årliga drift- och underhållskostnader samt elkostnad varierar för varje följande år beroende på kalkylräntan och den beräknade inflationen redovisas endast kostnader för första året.

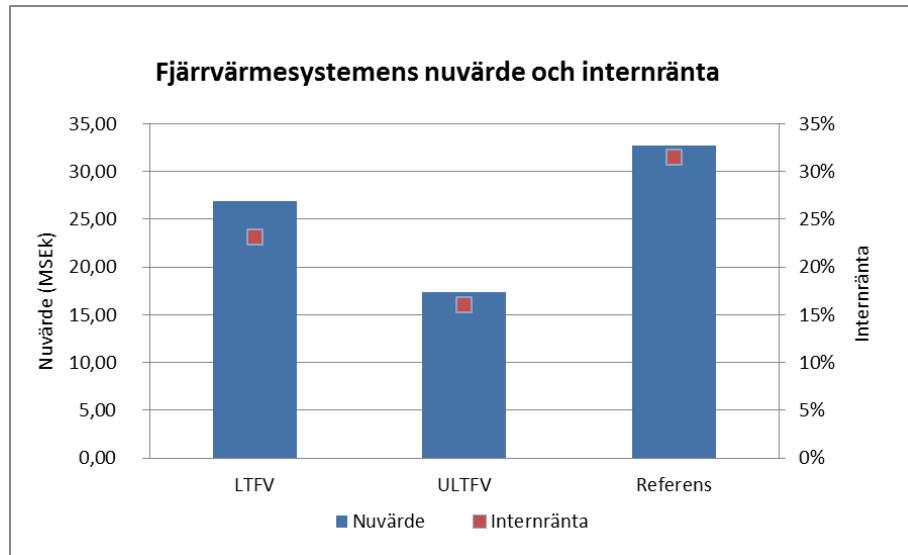
Tabell 32. Grundinvesteringskostnad för de tre undersökta systemen.

	LTFV	ULTFV	Referens	Erhållet från:
Grundinvestering	(kSEK)	22 444	24 281	20 563
- varav kulvertkostnader	10 289	8 246	11 037	EVS:s kulvertkatalog, Powerpipe, Maxitherm, Uponor
- varav inkopplingskostnad till servis	6 750	6 750	6 750	EVS:s schablon
- varav röntgen	-	-	50	EVS:s schablon
- varav TVV-beredning	-	3 291	-	Nibe
- varav 15 % pålägg på ovan delkostnader	2 556	2 744	2 676	EVS:s schablon
- varav kostnad för inkoppling till primärnät	50	50	50	EVS:s schablon
- varav områdesvärmewäxlare	2 800	3 200	-	EVS, Alfa Laval

Tabell 33. Årliga kostnader kopplade till systemen.

	LTFV	ULTFV	Referens	Erhållet från:
Årliga kostnader (år 1)	(kSEK)	318	1 138	182
- Varav drift- och underhållskostnader	282	544	182	EVS:s OneCalc
- Varav elkostnad till distributionspump	36	61	-	E.ON:s elprognos
- Varav elkostnad till TVV	-	534	-	E.ON:s elprognos

Som framgår i Figur 34 är referenssystemet mest ekonomiskt lönsamt i avseende på nuvärde och internränta. Internräntan för detta system var 31,5 % och nuvärdet 33 MSEK. LTFV har en internränta på 23 % och ett nuvärde på 27 MSEK och är därmed mindre lönsamt än referenssystemet. ULTFV har en internränta på 16 % och ett nuvärde på 17,5 MSEK och är därmed minst lönsamt.



Figur 34. Systemens nuvärde (vänster axel) samt internränta (höger axel).

Eftersom de lågtempererade systemen hade högre kostnader medför detta att de får en sämre ekonomisk lönsamhet än referenssystemet. I beräkningarna för systemens nuvärde och internränta användes E.ON:s prismodell för fjärrvärme, beskriven i avsnitt 4.3. Prismodellen är utformad efter konventionell fjärrvärme, likt referenssystemet. Detta gör att fjärrvärmepriset för de lågtempererade systemen blev något lägre vilket blir en bidragande faktor till att de lågtempererade systemen är mindre ekonomiskt lönsamma för fjärrvärmeföretaget. Parametern fjärrvärmepris och prismodell undersöks vidare i känslighetsanalysen i avsnitt 8.3.3 och diskuteras i kapitel 9. Som synes i Tabell 34 har referenssystemet kortast återbetalningstid och ULTFV-systemet längst. Detta förklaras med samma resonemang som för internräntan och nuvärdet.

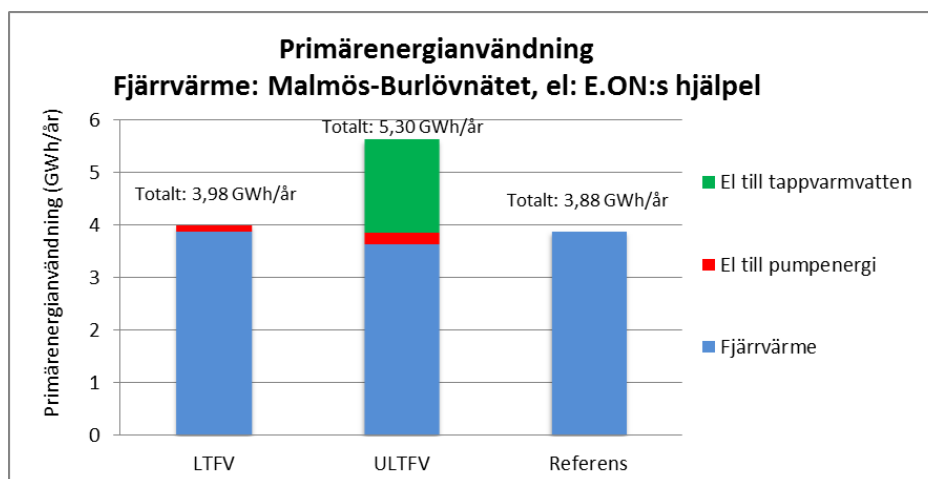
Tabell 34. Återbetalningstiden för de tre undersökta systemen.

	ULTFV	LTFV	Referens
Återbetalningstid antal år/årtal	12/2028	9/2025	7/2023

Emellertid uppfyller samtliga system E.ON:s krav på ekonomisk lönsamhet för att investeringen ska kunna ske. I Tabell 2 i avsnitt 3.4 redovisades E.ON:s krav på avkastning för en fjärrvärmeinvestering. Samtliga system har ett nuvärde över 0 kr (Figur 34), en internränta över 7,3 % (Figur 34) samt en återbetalningstid före 2040 (Tabell 34). Därmed är samtliga system acceptabla i ett ekonomiskt avseende, även om referenssystemet där det mest ekonomiskt lönsamma. En stor möjlighet för lågtempererade system är att integrera lågvärdig spillvärme vilket har en lägre produktionskostnad. Detta är något som undersöks i känslighetsanalysen i avsnitt 8.4.4.

8.3 Primärenergi

Eftersom el och fjärrvärme har olika primärenergifaktorer är det intressant att jämföra de olika systemen ur ett primärenergiperspektiv. I Figur 35 illustreras de olika systemens primärenergianvändning fördelade på energislag. Primärenergifaktorerna för Malmö-Burlövs fjärrvärmenät som presenterades i Tabell 5 i kapitel 4 används för dessa beräkningar. Eftersom den tillförda elen har en högre PEF, 2,08, än fjärrvärme, 0,327, (Tabell 5) medför detta att ULTFV-systemet som har en större andel el i energimixen får en total högre primärenergianvändning än både LTFV och referenssystemet.



Figur 35. Årlig primärenergianvändning för de tre undersökta systemen fördelad på energislag.

8.4 Känslighetsanalys

För att analysera systemens känslighet och hur de beter sig under förändrade omständigheter gjordes känslighetsanalyser med förändringar av parametrarna returtemperatur, effektkurvor, COP för värmepumparna (endast ULTFV), PEF samt marginalproduktionskostnad. Resultaten av dessa känslighetsanalyser presenteras nedan.

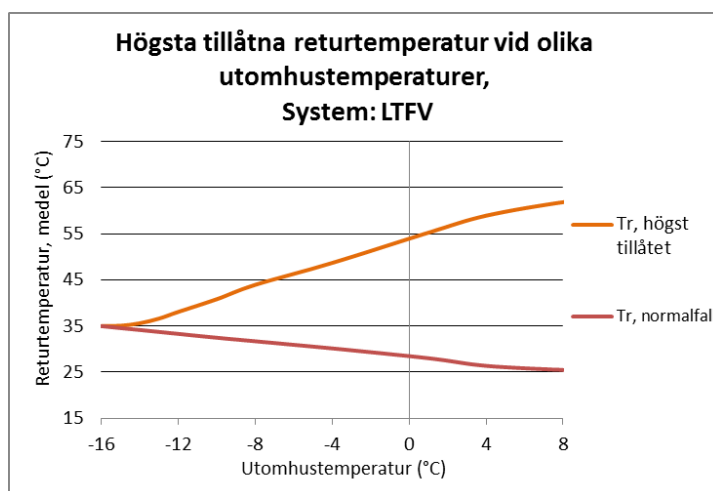
8.4.1 Returtemperaturer

Högre returtemperaturer från kundernas fjärrvärmecentraler än den dimensionerade är en oönskad omständighet då detta ökar kostnaderna för fjärrvärmeföretagen. Eftersom fjärrvärmeföretagen oftast inte äger kundernas fjärrvärmecentraler är detta heller inte något de råder över men försöker styra genom incitament. Vid dimensionering av ett fjärrvärmenät sätts ofta en högsta flödeshastighet som fjärrvärmevattnet inte får överstiga. För att veta hur känsliga systemen är mot höjda returtemperaturer i detta avseende, undersöktes hur mycket medelreturtemperaturen i hela nätet får öka utan att överträda villkoren om den maximala flödeshastigheten samt hur detta varierar med utomhustemperaturen. Beräkningarna gjordes för ökande temperaturer från DVUT. I Figur 36 - Figur 38 illustreras hur mycket medelreturtemperaturen får höjas vid olika utomhustemperaturer utan att villkor om maximal flödeshastighet bryts. "Tr, högst tillåtet" (orange linje) i figurerna avser den högsta tillåtna returtemperaturen med villkor att ledningshastigheterna inte överstiger 1 m/s i servisledning och/eller 2m/s i grenledning. "Tr, normalfall" (röd linje) avser returtemperaturen vid normala omständigheter, det vill säga med ursprungsparametrarna.

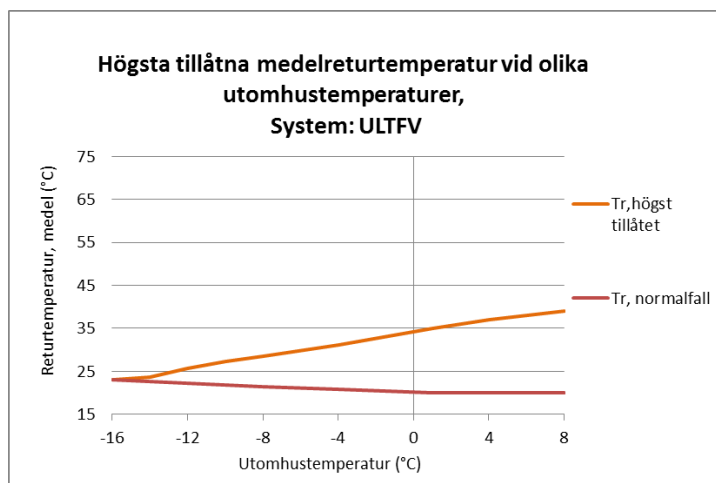
Resultatet av känslighetsanalysen visar för alla system att en ökad returtemperatur framförallt är känsligt vid kalla utomhustemperaturer eftersom skillnaden mellan returtemperaturen vid normalt driftsfall och högsta tillåtna returtemperaturen är lägst under de omständigheterna. Ju högre utomhustemperaturen är, desto större kan returtemperaturerna bli utan att systemet överträder gränserna för högsta hastighet i ledningarna. Detta beror på att nätet är dimensionerat för -16 °C och maxeffektbehovet. Vid en utomhustemperatur på 0 °C har ULTFV en marginal på cirka 15 °C, LTFV cirka 25 °C och referenssystemet nästan 30 °C. Eftersom det sällan blir mycket kallare än så i Malmö visar detta att alla systemen har goda marginaler och klarar ökade returtemperaturer, även om det är upp till en viss gräns. ULTFV har lägst marginaler och är känsligast för ökade returtemperaturer medan referenssystemet har störst marginaler och därmed är mest robust.

För både LTFV- och ULTFV-systemen är skillnaden mellan högsta tillåtna returtemperatur och returtemperatur vid normalt driftsfall minimal vid utomhustemperaturer kring DVUT. Detta ses i figurerna eftersom linjerna nästan tangerar varandra. Med andra ord är dessa system känsligare för höjda returtemperaturer vid riktigt kalla utomhustemperaturer och det är således extra viktigt att returtemperaturerna inte ökar för mycket. Lösningen i Odder som beskrevs i kapitel 5 har en utformning liknande ULTFV som trots dålig avkylning fungerar väl, vilket till stor del beror på att det nästa alltid är varmare än DVUT. Dock är det viktigt att hålla nere returtemperaturerna om utomhustemperaturen skulle sjunka för att inte få problem i ledningarna.

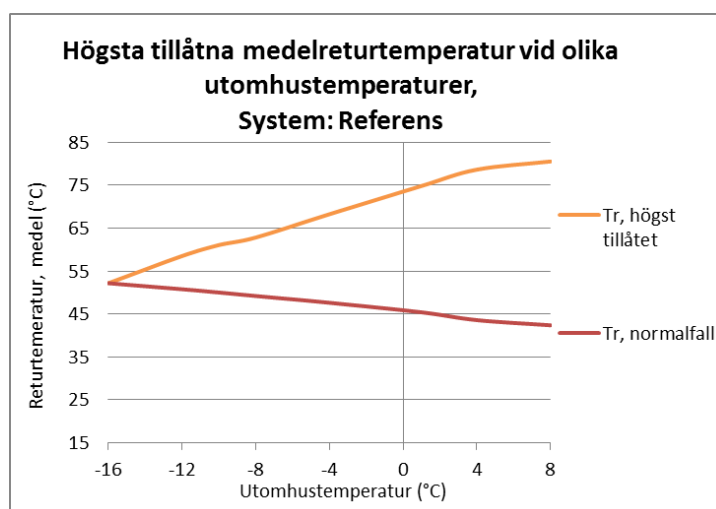
Vid jämförelse av figurerna framgår även att referenssystemet (Figur 38) vid alla utomhustemperaturer har avsevärt större skillnad mellan högsta tillåtna returtemperatur och returtemperaturen vid normalt driftsfall. Referenssystemet är alltså generellt mindre känsligt för höjda returtemperaturer jämfört med de två lågtempererade systemen. Detta beror till viss del på att de lågtempererade systemen endast är dimensionerade utifrån maximal hastighet i ledningarna medan referenssystemet även tar hänsyn till det maximala differenstrycket i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät eftersom det är direktkopplat till detta. Detta resulterar i att ledningsdiametererna i referenssystemet är något större än vad som egentligen hade behövts om endast maximala ledningshastighet hade varit den dimensionerande parametern. Hade referenssystemet däremot anlagts som ett fristående nät med egen produktion hade marginalerna för höjda returtemperaturer sjunkit något.



Figur 36. Högsta tillåtna medelreturtemperatur som funktion av utomhustemperatur förutsatt att flödeshastigheten ej överträder bestämda gränser.



Figur 37. Högsta tillåtna medelreturtemperatur som funktion av utomhustemperatur förutsatt att flödes hastigheten ej överträder bestämda gränser.



Figur 38. Högsta tillåtna medelreturtemperatur som funktion av utomhustemperatur förutsatt att flödes hastigheten ej överträder bestämda gränser.

8.4.2 Effektkurvor

I beräkningarna av producerad fjärrvärme i Tabell 29 i avsnitt 8.1 utgicks det från byggnadernas teoretiska värmebehov och de krav som ska uppfyllas enligt MBS. Det finns dock en risk att byggnaderna inte kommer att uppfylla kraven utan får en högre verklig värmeanvändning. I denna känslighetsanalys beräknas värmebehovet för området med effektkurvor baserade på verkliga byggnader istället för teoretiska krav. Effektkurvorna för flerbostadshus är konstruerade genom data från värmeanvändningen för nybyggda byggnader i Hyllie, Västra Hamnen samt villor i Limhamn. Övriga parametrar är oförändrade.

Tabell 35. Producerad fjärrvärme och förluster för de tre undersökta fallen för effektkurvor tagna från det befintliga nätet. Som jämförelse anges även värdena från ursprungsanalysen inom parentes.

	enhet	LTFV	ULTFV	Referens
Årlig producerad fjärrvärme inkl. distributionsförluster	GWh/år (ursprungligt resultat från tabell 28)	20,90 (12,37)	20,39 (11,51)	21,40 (12,82)
Årliga värmeförluster	GWh/år	0,50 (0,50)	0,33 (0,35)	0,98 (0,94)
Årlig relativ värmeförlust	%	2,40 (4,03)	1,60 (3,06)	4,60 (7,39)

Som synes i Tabell 35 är den årligt producerade fjärrvärmens betydligt större för samtliga system jämfört med grundresultatet. Skulle byggnaderna följa ”verkliga” effektkurvor skulle den årliga förbrukningen av fjärrvärme öka med omkring 60 % i jämförelse med de effektkurvor de är dimensionerade och byggda efter. Dock skulle de relativa värmeförlusterna i fjärrvärmenätet minska, tack vare att en större fjärrvärmeförbrukning kräver ett högre flöde. För fjärrvärmeföretaget innebär detta att mer fjärrvärme kan säljas och mindre relativa förluster sker. Att förbrukningen är högre i verkligheten jämfört med teoretiska krav, kan dock medföra problem om fjärrvärmeföretaget väljer att dimensionera utifrån teoretiska krav istället för verkligheten då detta kan leda till för höga flöden i ledningarna vilket kan leda till att fjärrvärme inte kan levereras till alla kunder i nätet på grund av ökade tryckfall. Dessutom kan höga flöden även orsaka problem med höga ljud samt att ledningarna kan gå sönder.

8.4.3 Varierande COP för värmepumpen i ULTFV-systemet

COP för värmepumpen anger hur mycket värme som kommer från värmekällan och hur mycket el som måste tillföras. Ett högt COP innebär därmed användning av mindre el och mer värme från värmekällan och ett lågt COP tvärtom. För ULTFV-systemet skulle ett högre COP innebära högre fjärrvärmebehov eftersom denna tjänar som värmekälla till värmepumparna. Detta skulle i sin tur öka linjetätheten vilket påverkar värmeförlusterna. Hur mycket COP påverkar värmeförlusterna i nätet presenteras i Tabell 36.

Tabell 36. Årlig relativ värmeförlust för ULTFV då värmepumparnas COP varierar.

	COP 3	COP 4 (grundfall)	COP 5
Årlig relativ värmeförlust (%)	3,07	3,06	3,04

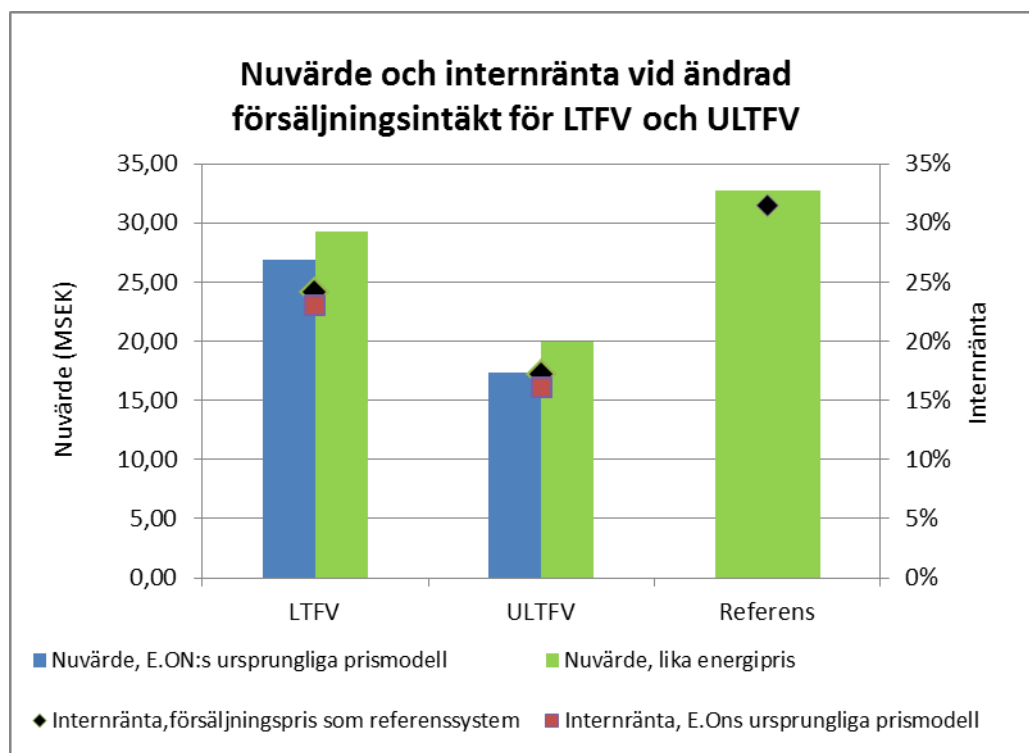
I det ursprungliga resultatet användes ett COP på 4. Som framgår av Tabell 36 ökar värmeförlusterna endast med 0,01 procentenheter då COP ändras till 3. Om COP istället ökas till 5, minskar värmeförlusterna med 0,02 procentenheter. Detta leder till slutsatsen att COP är av mindre betydelse för storleken på värmeförlusterna.

8.4.4 Ekonomi

Försäljningspris

Eftersom E.ON:s prismodell har en flödeskorrigering som ger ett minskat pris och därmed en minskad försäljningsintäkt för fjärrvärme med sänkt framtemperatur är det intressant att undersöka det ekonomiska utfallet förutsatt att försäljningspriset för fjärrvärmens vore lika stort för samtliga system. I Figur 39 illustreras internräntan och nuvärdet för de olika systemen, beräknat genom både det ursprungliga försäljningspriset (blå stapel) med flödeskorrigering, samt genom en justerad prismodell där försäljningspriset för fjärrvärmens har ansatts lika för samtliga system (grön stapel). Justeringen har gjorts genom att ansätta samma försäljningspris per MWh i samtliga fall som referenssystemets försäljningspris per MWh. Övriga parametrar är oförändrade. Som synes i Figur 39 ökar både internräntan och nuvärdet för LTFV- och ULTFV-systemen något när försäljningspriset är lika stort som för referenssystemet. LTFV-systemets nuvärde ökar med 8 % från 26,9 till 29,3 MSEK, och ULTFV-systemets nuvärde ökar med 14 % från 17,4 MSEK till 19,9 MSEK. Trots denna korrigering har

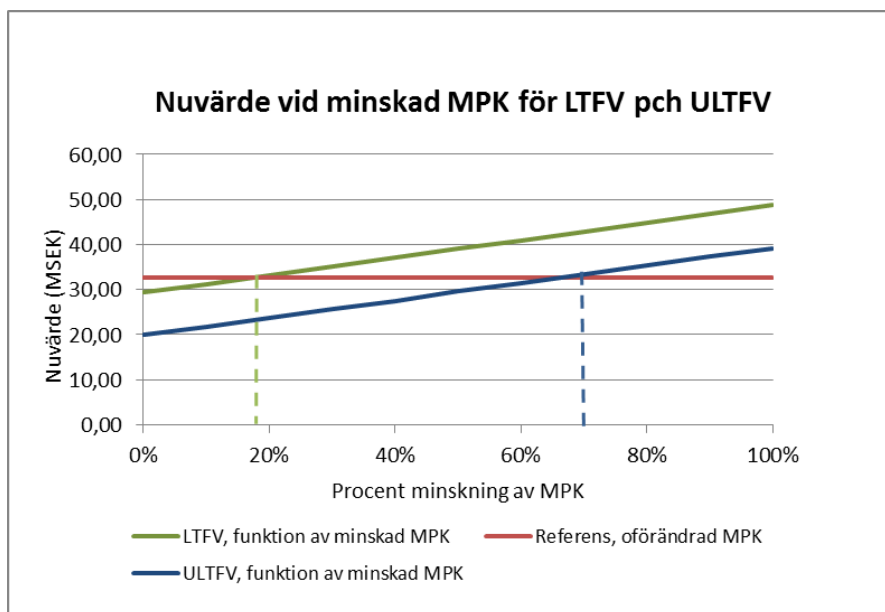
referenssystemet fortfarande både högre internränta och nuvärde och slutsatsen kvarstår att referenssystemet är mest ekonomiskt lönsamt.



Figur 39. Nuvärde och internränta vid samma försäljningspris för fjärrvärme (grön stapel) samt internränta och nuvärde vid olika priser enligt E.ON:s prismodell (blå stapel).

Marginalproduktionskostnad

Marginalproduktionskostnaden (MPK) anger kostnaden för att producera ytterligare en enhet av något. I investeringskalkylen i denna studie är MPK kostnaden som fjärrvärmeföretaget betalar för att producera en extra enhet fjärrvärme. MPK har hämtats från E.ON internt och kalkyleringsresultaten i kapitel 8.2 bygger på en lika stor MPK för samtliga system. Emellertid verkar de lågtempererade systemen vid en lägre framtemperatur, vilket möjliggör integrering av mer lågvärdig spillvärme. Högre andel spillvärme i ett system bidrar även till en lägre MPK eftersom spillvärme ofta har ett lägre pris än andra bränslen. Mot bakgrund av detta är det därför intressant att undersöka hur låg MPK bör vara för att de lågtempererade systemen ska vara lika ekonomiskt lönsamma som referenssystemet. Denna frågeställning har undersökts och redovisas i Figur 40 där nuvärdet för LTFV- och ULTFV-systemet illustreras som en funktion av minskad MPK (grön och blå linje) tillsammans med referenssystemets internränta vid konstant MPK, det vill säga den ursprungliga MPK (röd linje). Samtliga övriga parametrar är oförändrade.



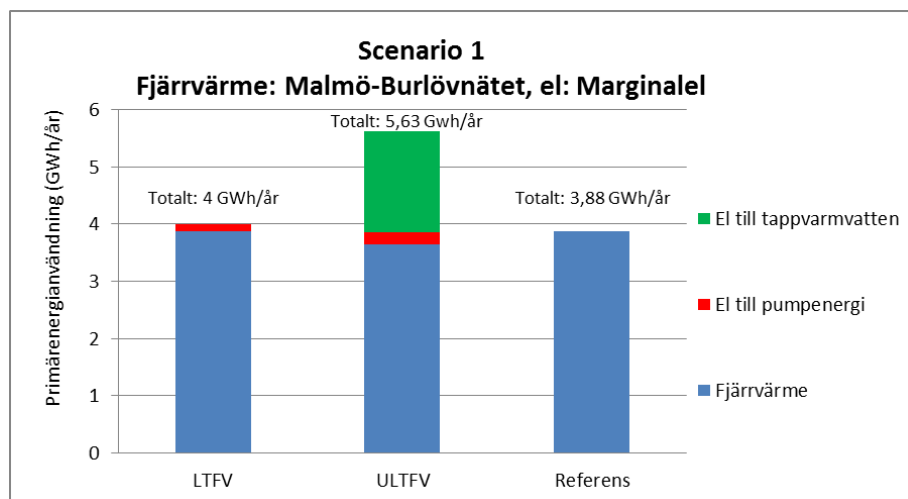
Figur 40. LTFV och ULTFV-systemens nuvärde som en funktion av minskad MPK.

Som synes i Figur 40, når LTFV-systemet samma nuvärde som referenssystemet om MPK för LTFV-systemet minskas med 18 %. Med andra ord måste MPK för LTFV-systemet motsvara 82 % av referenssystemets MPK för att dessa investeringar ska få ett lika högt nuvärde. ULTFV-systemets brytpunkt går vid 67 % minskning av MPK. Det vill säga om MPK för ULTFV-systemet motsvarar 33 % av referenssystemets MPK får investeringen ett lika stort nuvärde som referenssystemet. Om MPK för de lågtempererade systemen skulle minskas med mer än var brytpunkterna är, blir nuvärdet för investeringarna högre än för referenssystemet. Lågtempererad fjärrvärme kan därmed bli mer ekonomiskt lönsamt än konventionell fjärrvärme om produktionskostnaderna kan minskas. För att LTFV ska bli mer ekonomiskt lönsamt än referenssystemet krävs inte en lika stor minskning av MPK som för ULTFV. Men eftersom ULTFV har en lägre framtemperatur än LTFV är möjligheterna att integrera lågvärdig spillvärme större för ULTFV. Därför behöver det inte innebära att LTFV har större chans till ekonomisk lönsamhet än ULTFV. Den kommer istället bero på tillgången av spillvärme och vilken temperatur den spillvärmerna har.

8.4.5 Primärenergi

I avsnitt 8.1 presenterades primärenergianvändningen baserat på PEF:er för fjärrvärme i dagens fjärrvärmenät i Malmö-Burlöv vilket bygger på E.ON:s miljövärden för 2015. I avsnittet framgick att den totala primärenergianvändningen berodde dels på elens PEF och dels på fjärrvärmens PEF. I denna känslighetsanalys undersöks fyra olika scenarier för primärenergianvändningen med varierande PEF för el och fjärrvärme. Elen antas nu vara marginalet eller el från vindkraft och fjärrvärmerna antas vara den fjärrvärme som används i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät idag eller med ursprung från spillvärme. De PEF som används i beräkningarna återfinns i Tabell 5 i kapitel 4.

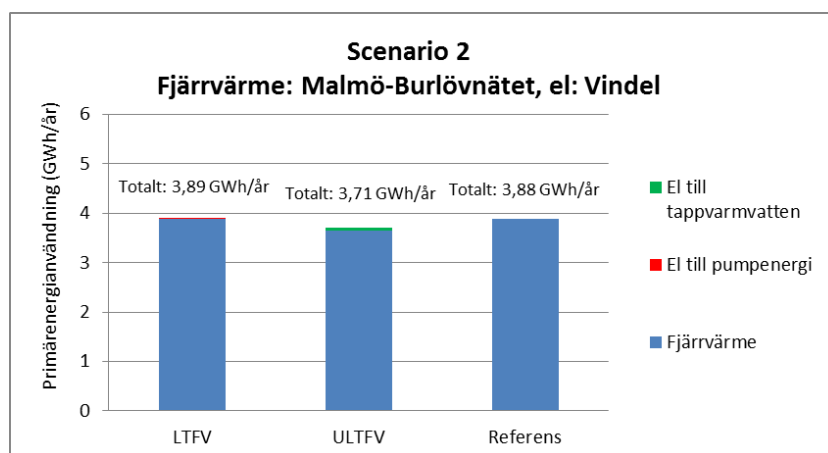
I det första scenariot är PEF för fjärrvärme oförändrad, det vill säga enligt E.ON:s PEF för dagens fjärrvärmenät i Malmö-Burlöv, men elens PEF har bytts ut mot en PEF från marginalet (se Figur 41).



Figur 41. Primärenergianvändning om elens PEF kommer från marginalet.

Om elen byts ut mot marginalet ökar ULTFV-systemets primärenergi från 5,30 GWh/år (Figur 35) till 5,63 GWh/år (Figur 41), det vill säga med 7 %. LTFV-systemet använder inte lika mycket el som ULTFV-systemet vilket gör att skillnaden för detta system inte blir lika markant. LTFV-systemets primärenergi ökar från 3,98 GWh/år till 4 GWh/år, det vill säga med 0,5 %.

I det andra scenariot antas PEF för fjärrvärme vara oförändrad, men elens PEF byts ut mot en PEF från vindkraft beräknad av Svenska Miljöinstitutet (Tabell 5).

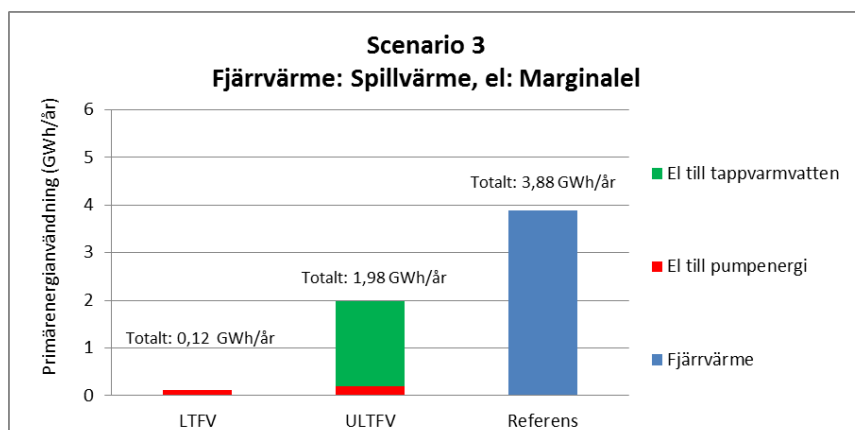


Figur 42. Primärenergianvändning om elens PEF kommer från vindel.

Med vindel som tillför el har ULTFV-systemet lägst total primärenergianvändning (se Figur 42). Primärenergianvändningen för ULTFV-systemet har minskat från 5,30 (Figur 35) till 3,71, det vill säga med 30 %. Primärenergien för LTFV-systemet har minskat från 3,98 GWh/år (Figur 35) till 3,88 GWh/år, det vill säga med 2,5 %.

Den andra parametern som påverkar den verkliga primärenergianvändningen för ett fjärrvärme-system är fjärrvärmens ursprung. De lågtempererade systemen har en lägre framtemperatur vilket möjliggör integrering av lågvärdig spillvärme vilket i sin tur leder till en lägre primärenergianvändning eftersom PEF för spillvärme är noll (Tabell 5).

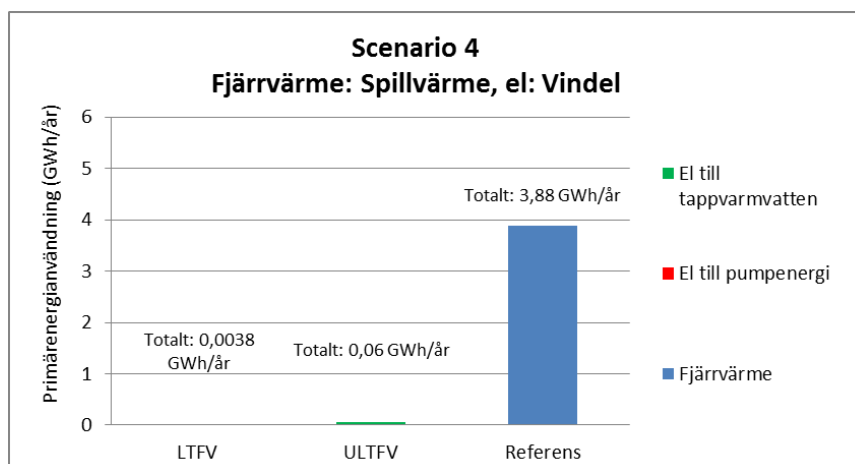
Det tredje scenariot illustreras i Figur 43 där värmetillförseln till de lågtempererade systemen endast kommer från spillvärme och om elens PEF kommer från marginalet.



Figur 43. Primärenergianvändning om elens PEF kommer från marginalet och om värmetillförsel för lågtempererade systemen endast kommer från spillvärme.

Eftersom spillvärme har primärenergifaktor på noll består de lågtempererade systemens totala primärenergi endast av elens primärenergi. Den totala primärenergianvändningen är lägst för LTFV-systemet vilket förklaras med att LTFV kräver mindre el än ULTFV. Primärenergien för LTFV-systemet har minskat med 98 % från 3,98 GWh/år (Figur 35) till 0,12 GWh/år. Vidare har primärenergianvändningen för ULTFV-systemet minskat med 62 % från 5,30 (Figur 35) till 1,98.

Om även elen byts ut mot vindel blir primärenergien för de lågtempererade systemen ännu lägre eftersom vindel har en lägre PEF än marginalet. Som framgår av Figur 44 blir primärenergien för de lågtempererade systemen då nästan noll.



Figur 44. Primärenergianvändning om elens PEF kommer från vindel och om värmetillförsel för lågtempererade systemen endast kommer från spillvärme.

Vid jämförelse av figurerna ovan framgår att elens miljövärdering blir avgörande för vilket system som har lägst primärenergianvändning förutsatt att fjärrvärmens har PEF som Malmö-Burlövs fjärrvärmesät. Om ingen extra spillvärme matas in på de lågtempererade näten och om den extra elen som behövs för de lågtempererade systemen är marginalet så som i det första scenariot, har referenssystemet lägst primärenergianvändning och ULTFV-systemet har högst. Om elen istället antas komma från vindel har ULTFV-systemet lägst primärenergianvändning. Om de lågtempererade

systemen har en värmeförlust som består av 100 % spillvärme är de lågtempererade systemen bättre än referenssystemet ur ett primärenergiperspektiv, oberoende av vilken el som används. Av de lågtempererade systemen får LTFV-systemet lägst primärenergianvändning, eftersom detta system kräver mindre el än ULTFV-systemet. Dock kan det vara missvisande att använda vindel istället för marginalet i primärenergiberäkningar eftersom det inte byggs något nytt vindkraftverk som kan täcka det nya elbehovet. Om elen som används i ett nytt fjärrvärmesystem ursprungsmärks med vindel kommer istället marginalet att flyttas över till en annan användare vilket gör att elsystemet i stort missgynnas. Trots detta används vindelens låga PEF i marknadsföringssyfte för eldrivna produkter eftersom det ger en lägre miljöpåverkan. Detta gäller för ett kortare tidsperspektiv då marknaden inte anpassat sig till det nya behovet. Om en primärenergianalys istället görs för en framtida elmarknad skulle en PEF för vindel kunna vara applicerbar.

Om elen i systemen antas komma från marginalet skulle, för LTFV, 2,5 % av fjärrvärmens behöva komma från spillvärme för att systemet ska ernå lika låg primärenergianvändning som referenssystemet. Motsvarande siffra för ULTFV är 39 % (se Tabell 37). Dock har detta system lägre framtemperatur vilket gör att systemet i jämförelse med LTFV-systemet i högre grad är mottaglig för spillvärme. Om däremot mer spillvärme integreras än vad som visas i Tabell 37, får systemen en lägre total primärenergianvändning och blir därmed mer resurseffektiva. Om istället el med PEF från vindel används, blir ersättningsgraden för båda systemen lägre. Sammantaget visar tabellen lägsta mängd integrerad spillvärme som är nödvändigt i de lågtempererade systemen för att dessa ska vara lika resurseffektiva som konventionell fjärrvärme.

Tabell 37. Hur mycket värmeförlust som måste ersättas med spillvärme för att nå samma primärenergianvändning som referenssystemet.

Elscenario	LTFV	ULTFV
Marginalet	2,5 %	39 %
Vindel	0,26 %	0 %

9. Diskussion

I detta kapitel diskuteras studiens metod och resultat. Vidare utreds vilka faktorer som påverkat metoden och resultaten. Kapitlet avslutas med en diskussion om framtida möjligheter för 4GFV, samt vilka barriärer som finns.

9.1 Metoddiskussion

Litteraturstudien

Litteraturstudien bestod av en studie av fjärrvärme i stort men med tyngdpunkt på 4GFV. I litteraturstudien studerades rapporter och pilotprojekt främst från Europa med fokus på Sverige och Danmark. Dessa bedömdes som mest relevanta då projekt från Sverige har konstruerats utifrån samma förordningar som kommer gälla för en anläggning i Malmö och projekt i Danmark ligger nära geografiskt och därmed har liknande utomhustemperaturer. Andra projekt från länder så som Storbritannien, Kanada och Turkiet studerades översiktligt. Anledningen till att dessa inte togs med i rapporten var att de lösningar som implementerats i dessa projekt hade väldigt skilda förutsättningar och att materialet ofta var bristfälligt.

Gemensamma fjärrvärmetekniska parametrar

Det var många grundparametrar som var samma för de tre studerade systemen. Dessa var fjärrvärmenätets utformning, utomhustemperaturerna för dimensionering och simulering, marktemperaturer, maxeffektbehovet och effektkurvan. Då detta är en jämförelsestudie skulle en ändring av de ovanstående parametrarna vara försumbara för slutresultatet eftersom systemen var konstruerade efter samma grundpremissar.

Traditionellt sett dimensioneras nätet i Malmö-Burlöv efter DVUT på -16 °C vilket valdes i denna studie. En utomhustemperatur på -16 °C förekommer ytterst sällan och man kan därför fråga sig om detta verkligen är en lämplig utomhustemperatur att dimensioner efter. Det förs även en del diskussioner internt inom EVS om en höjning av DVUT och detta har även studerats i [51] där resultatet visade att DVUT skulle kunna höjas då -16 °C så pass sällan förekommer. Dock valdes ändå att utgå från en DVUT på -16 °C eftersom det är vad som gäller i dagens läge. Om EVS anser att det är möjligt att implementera 4GFV inom Malmö-Burlövs nät måste detta konstrueras efter de grundkrav som finns på nätet, varav DVUT är ett av dem. Det är dock inte omöjligt att detta kan komma att ändras i framtiden.

Utomhustemperaturerna som användes i simuleringarna togs från SMHI. SMHI är en statlig svensk myndighet och anses vara en bra källa för detta ändamål. Temperaturerna togs från de senaste 11 åren (2004-2015) och bygger på månadsmedel för Malmö. Statistik finns för år längre bak i tiden, men nyare data valdes på grund av att klimatet står i förändring och att 4GFV kommer implementeras under kommande år. Att använda väderdata från längre bak i tiden bedöms dessutom endast ändra utomhustemperaturen marginellt och därmed även studiens resultat marginellt. De korresponderade marktemperaturerna valdes efter hur simuleringarna i NetSim hos EVS brukar genomföras vilket resulterade i att två olika marktemperaturer användes. Ett annat alternativ hade varit att ha en unik marktemperatur för varje utomhustemperatur. Det hade fått som resultat att värmeförlusterna ändrats något, antingen att de hade minskat eller ökat om ändringen av marktemperaturen inneburit en ökning eller minskning.

Resultaten för värmeförluster och värmeförbrukningen beräknades på årsbasis utifrån utomhus-temperaturer för månadsmedel och inte momentana temperaturer. Det gör att resultatet motsvarar medelförluster och medelbehov som området kan tänkas ha under ett år. I verkligheten så varierar utomhustemperaturen mer, inte bara från dag till dag utan även från timma till timma. Det är då främst uppvärmningsbehovet som kommer ändras med detta då TVV är relativt konstant. Tack vare att byggnaderna är välisolerade kommer det emellertid finnas en viss tröghet mot temperaturförändringar vilket gör att snabba förändringar inte får en stor påverkan på inomhustemperaturen. Detta resulterar i sin tur i att månadsmedel ses som en bra approximation för att göra beräkningarna lätthanterliga.

För att räkna ut maxeffektbehovet i byggnaderna användes bestämmelserna i MBS och Miljöklass B. Enligt Malmö Stad ska byggnaderna byggas enligt MBS vilket gjorde att det ansågs som en god utgångspunkt för att efterlikna planeringen. Det är dock inte specificerat vilken av de tre miljöklasserna som ska användas. En annan miljöklass än B hade varit möjlig att välja istället vilket hade gett ett annat resultat för det totala maxeffektbehovet. Dock innebär Miljöklass A att byggnaderna kommer att klassas som passivhus vilket innebär att de i princip inte har något uppvärmningsbehov och därmed faller idén att testa kunderna för både uppvärmning och TVV. Miljöklass C har hårdare krav än de som gäller i BBR men det ansågs lämpligt att simulera byggnader med ännu högre krav på energianvändning eftersom framtida byggnader antagligen i större mån kommer att uppfylla detta. MBS avser att utgångspunkten för de olika miljökategorierna ska vara antingen SIS eller SCNH. I studien valdes SIS av anledningen att de hade mer lättförståeliga beräkningsmetoder. Visserligen hade man kunnat utgå från SCNH, men eftersom de båda är likvärdiga alternativ i MBS skulle det antagligen inte påverkat resultatet nämnvärt.

Att räkna ut det slutgiltiga maxeffektbehovet för byggnaderna var inte helt lätt eftersom fördelningen mellan bostäder och lokaler i kombihusen var okänd. En alternativ beräkningsmetod hade varit att ha samma SIS-faktor för bostäder och lokaler och anta en fördelning mellan dem båda för kombihusen. Villorna skulle då antas vara 100 % bostäder. Detta hade kunnat ändra det resulterande maxeffektbehovet för området men eftersom de tre systemen oavsett beräkningsmetod skulle haft samma maxeffektbehov skulle det inte påverkat jämförelsen mellan systemen. Det samma gäller för antalet våningar i kombihusen vilket inte är fastställt utan angivet enligt ett intervall. Antalet våningar valdes i överkant i intervallet. Hade ett färre antal våningar valts hade det varit möjligt att gå ner i dimensioner på servisledningarna vilket hade blivit billigare. Detta hade framförallt påverkat LTFV-systemet eftersom detta mestadels består PEX-ledningar men även några stålledningar. Genom att gå ner i dimensioner hade möjligtvis de stålledningar som finns kunnat ändras till PEX-ledningar, vilket hade resulterat i lägre kostnader och därmed en högre lönsamhet för LTFV-systemet. Dock tros det inte ha påverkat lönsamheten så pass mycket att det skulle leda till någon annan slutsats angående ekonomin.

Effektkurvan utformades utifrån från SIS-standarderna, diskussioner med personal på EVS, sammanlagringsfaktorer samt maxbehovet vid DVUT. Både SIS-standarderna och diskussionerna bekräftade att TVV-behovet och uppvärmningsbehovet utgör hälften av värmeanvändningen på årsbasis. Dessa två separata källor ansågs vara en tillräcklig bra grund för att anta denna uppdelning. Sammanlagringsfaktorn erhöles från EVS och anses som en god källa då företaget har god kunskap om energisystemanalyser i Malmö-Burlövs fjärrvärmenät. Att SIS-standarderna utgör bas för effekt-

kurvan medför även att alla energiberäkningar bygger på teoretisk prestanda för byggnaderna, då effektkurvan inte utgår från verkliga värden utan istället standarder för energiprestanda. I känslighetsanalysen, då en effektkurva baserad på verkliga byggnader användes, bekräftades det då energivändningen ökade med 60 %. En annan möjlighet vore att utgå från verkliga effektkurvorna för att få en bättre anknytning till verkligheten och de byggnader som byggs i Malmö idag. Dock hade det medfört att maxeffektbehovet hade behövts ökas vilket inte skulle stämt överens med bestämmelserna i MBS och antagandet om att framtidens bostäder kommer bli energieffektivare.

Fram- och returtemperaturer

Referenssystemets fram- och returtemperaturer är baserade på medelvärden från hela Malmö-Burlövs fjärrvärmenät. Avtalskurvan i Malmö-Burlövs nät som användes för referenssystemets framtemperatur erhöles från data från EVS. Det sker ett visst temperaturtapp i ledningarna från produktionsanläggningarna i Östra Hamnen på vägen till Varvsstaden i Västra Hamnen. Dock är detta temperaturtapp litet, under 1 °C, vilket gör att det anses vara försumbart. Eftersom returtemperaturen är ett medelvärde involverar detta fler olika värden vilket gör att det inte säkert att referenssystemet hade haft samma returtemperatur som medelvärdet. En möjlighet är att referenssystemet i verkligheten hade haft en lägre returtemperatur än medelvärdet eftersom nya byggnaderna kanske hade varit utrustade med nya och effektiva fjärrvärmecentraler. Detta hade framförallt lett till lägre flöden och mindre värmeförluster. Dock är inte alltid fallet att nya byggnader har effektiva fjärrvärmecentraler och bra avkylning, vilket mätvärden från dagens fjärrvärmenät i Malmö-Burlöv visat [5].

LTFV-systemets fram- och returtemperatur ansågs av författarna vara ett rimligt antagande då dessa ligger i linje med demonstrationsprojektet i Västerås. Returtemperaturkurvorna som användes för kombihusen och villorna för LTFV-systemet är olika vilket beror på olika saker, främst på VVC-kretsen som finns i kombihusen men inte i villorna, men även på injusteringen av fjärrvärmecentralerna och om det finns ett bypass installerad. Returtemperaturkurvan för kombihusen är en sammansättning av returtemperaturvariationen för lokaler i Hyllie och flerbostadshus i Västra Hamnen. Detta gjordes eftersom relationen mellan lokaler och bostäder i byggnaderna är okänd. En annan förbrukningsprofil i dessa områden hade kunnat ge ett annat utfall. För villorna användes data från nybyggda villor i Limhamn. En möjlig alternativ metod är att anta samma returtemperaturkurva som för referenssystemet. Men eftersom LTFV-systemet arbetar vid lägre fram- och returtemperatur än referenssystemet och med konstant framtemperatur är det inte säkert att returtemperaturen varierar på samma sätt som i referenssystemet. Eftersom både lokalerna i Hyllie och flerbostadshusen i Västra Hamnen är anpassade för att klara lägre framtemperaturer, i linje med framtemperaturen i LTFV-systemet, samt för att kunna leverera lägre returtemperaturer, ansågs deras returtemperaturvariation mer korrekt. Dock har mätdata visat att dylika byggnader inte alltid uppfyller de krav som ställts på dem ur returtemperatursynpunkt. Detta kan orsaka felaktigheter i de faktorer som genererades för att skapa de olika returtemperaturkurvorna. Ytterligare en metod hade varit att göra en anpassad kurva efter antagna värden likt som den som gjordes för effektkurvan eller använda värden från de pilotprojekt som gjorts i Västerås.

ULTFV-systemets fram- och returtemperaturerna fastställdes utifrån en teoretisk studie med fram- och returtemperaturer på 40/21°C respektive 40/18°C. Emellertid provades en liknande lösning som ULTFV i Odder i Danmark där elvärmare användes för att värma fjärrvärmevattnet till TVV-

beredningen. I denna studie erhöles fram- och returtemperaturer på 42/34,4 °C. Detta indikerar att den antagna returtemperaturen kanske inte hade kunnat erhållas om ULTFV byggdes idag utan ett utfall såsom i Odder kanske vore mer rimligt. Om fram- och returtemperaturerna för ULTFV-systemet ändrats hade studiens resultat fallit ut annorlunda. Framförallt hade en högre returtemperatur resulterat i högre flöden förutsatt att effektbehovet är oförändrat.

TVV-beredning

Normalt sett när värmepumpar och ackumulatortankar dimensioneras finns det större kunskap om byggnaden där de ska användas, kunskap om till exempel hur många lägenheter byggnaden består av, hur stora lägenheterna är och hur många personer de är byggda för. TVV-behovet per person och hur mycket energi som behövs för att värma detta vatten till 60 °C erhöles utifrån schablonvärden. Hur mycket TVV en person använder är självklart individuellt. Hur mycket energi som går åt att värma TVV till tillräcklig temperatur kan även variera från byggnad till byggnad. Mycket beror på VVC-slingans längd som är okänd. I de stora byggnaderna kan det framräknade behovet antas vara mer sannolikt eftersom det bygger det då slås ut på fler personer vilket motiverar att använda en schablonuppskattning. I de mindre byggnaderna samt villorna blir detta mer osäkert. Lägenhetsstorlek och boyta per person erhöles från E.ON, dessa baserades på hur det ser ut i nybyggda lägenheter i Hyllie. Det är ett också ett schablonvärde vilket innebär att det kan variera i verkligheten, men anses vara liknande för de lägenheter som ska byggas i Varvsstaden. Eftersom fördelningen mellan bostäder och lokaler i kombihusen är okänd antogs byggnaderna bestå av 100 % flerbostadshus vid beräkningarna av TVV. Normalt sett har lokaler ett lägre TVV-behov än bostäder, så detta gjordes för att inte underdimensionera systemet.

Byggnaderna från Västra Hamnen som användes för att undersöka TVV-behovet behöver inte vara representativa för de som ska byggas i Varvsstaden. Under de datum för tidig och sen sommar som användes för att undersöka variationen i behovet är det möjligt att uppvärmningsvärme fortfarande används och därför ser TVV-andvändningen större ut än vad den i själva verket är. Det antas att de boende är hemma, men det är möjligt att vissa är bortresta vilket gör att behovet i byggnaderna under dagarna är lägre än normalt. Tre byggnader och tolv datum användes för att generera behovsvariationskurvan. För att erhålla en mer exakt kurva hade fler värden behövt användas, men det fanns det tyvärr inte tillgång till. Det är även möjligt att varmvattenanvändningen skiljer sig åt om man bor i lägenhet eller villa, och även hur många personer som bor i hushållen, men på grund av tidsbrist gjordes bara en kurva. Det bedöms inte ha påverkat resultatet nämnvärt.

Uppställningarna för värmepump/elvärmare i kombination med en ackumulatortank och värmewäxlaren gjordes med inspiration från litteraturstudien. Andra kombinationer är möjliga men dessa valdes för att passa lokala förhållanden och vad som ansågs bäst ur en teknisk synvinkel. Värmepump användes för kombihusen och elvärmare till villorna på grund av att effekterna för dessa motsvarar behovet i respektive byggnad. Det finns dock ett överlapp i effekter vid tillfällena då både värmepump och elvärmare hade kunnat användas vilket hade gjort det möjligt att använda elvärmare till de minsta kombihusen. Om detta istället hade valts som lösning hade mer el och mindre fjärrvärme krävts vilket hade blivit dyrare. Dock har elvärmaren en lägre investeringskostnad än värmepumpen. Det är bara ett fåtal byggnader där detta kunde ha implementerats i den här studien vilket gör att det inte skulle spelat stor roll för resultatet. Eftersom den numeriska integrationen gjordes manuellt är det lätt hänt att det blir fel i uppskattningarna och det är det svårt att säga hur korrekt resultatet

blev. Utöver detta lades det på 20 % som marginal. Detta var ett uppskattat värde från författarna för att täcka eventuella effekttoppar, men det är möjligt att detta inte behövs eller att det skulle behöva var en större marginal. Detta hade i så fall påverkat storleken på tankarna och sålunda investeringskostnaden. Ackumulatortankarna kommer även bidra till ökade värmeförluster. Dessa har inte tagits med i resultatet då de beräknas bli små och därför ha försumbara kostnader.

Ekonomi

För att få fram kostnader för komponenterna i de två systemen, fick en del antaganden göras. Detta berodde på att information om vissa kostnader inte kunde hittas. Framförallt gällde detta för kostnaden för områdesvärmeväxlarna i LTFV- och ULTFV-systemet. Om mer exakt information om kostnaderna hade använts hade det ekonomiska utfallet kunnat vara annorlunda. Dock bedömer vi att detta i slutändan vore en marginell skillnad och att slutsatserna skulle vara oförändrade. Den ekonomiska kalkylen gjordes i verktyget One-Calc som utvecklats på EVS för fjärrvärme och fjärrkyla. Denna ansågs som en enkel och bra metod för att göra en översiktlig ekonomisk kalkyl eftersom den är baserad på sin förankring i investeringar i fjärrvärme och fjärrkyla och utvecklats av personal med erfarenhet från branschen.

Primärenergi

Vid beräkningen av primärenergianvändningen i resultatet och känslighetsanalysen utgicks från E.ON:s PEF:er samt PEF:er beräknade av Svenska Miljöinstitutet. E.ON:s PEF beräknas utifrån ett medel för hela Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och inkluderar den totala energin som krävs fram till levererad energi till kunden. Eftersom PEF:n är framtagen för hela Malmö-Burlövs fjärrvärmenät och omfattar all produktion och alla förluster, blir det en aning skevt att använda PEF för ett mindre sekundärnät som har mindre förluster. Detta betyder att den verkliga primärenergianvändningen egentligen borde vara något mindre än vad resultaten beskriver. Dessutom har de undersökta systemen olika stora förluster vilket gör att olika PEF:er hade behövts för att ge en mer rättvis bild.

9.2 Resultatdiskussion

Demonstrationsprojekt

En viktig aspekt att ha i åtanke vid analys av Danmarks fjärrvärmenät är deras prissättningssystem och kundernas valmöjlighet av värmesystem. Prismodellen i Danmark är kostnadsbaserad och kunder har inte alltid möjlighet att själva välja uppvärmningssystem. Detta har skapat värmeglesa nät med höga värmeförluster. Lystrups nät har årliga värmeförluster på 17 % och Høje Taastrups nät har värmeförluster på 13 %. Detta kan jämföras med Malmö-Burlövs nät, vilket är ett konventionellt nät med värmeförluster på 12 %. En förklaring till att de danska lågtempererade näten har högre förluster än ett svenskt konventionellt nät förklaras av just av låg linjetäthet och mindre dimensioner på ledningarna. Värmeglesa nät leder i sin tur till höga värmeförluster vilka kunderna får betala för. Detta har lett till att myndigheter har börjat ställa allt hårdare krav på företag att minska sina värmeförluster. Detta motiverar i sin tur användningen av shuntlösningar då detta gör att temperaturtapp i värmeväxlare undviks. Dock ökar pumparbetet, och kostnaden för detta kan till och med överstiga besparingen i värmeförluster.

En del av demonstrationsprojekten bygger på att de anslutna byggnaderna är konstruerade på ett visst sätt och har specialdesignade lösningar. Sådana lösningar kan exempelvis vara vilken fjärrvärmecentral som ska/bör användas, typ av uppvärmningssystem (när det kommer till låga

temperaturer är golvvärme populärt) och sätt att undvika bypass. Ytterligare en lösning är att koppla in vitvaror som är fjärrvärmedrivna (Västerås). Detta gör att det blir enklare att dimensionera fjärrvärmenätet eftersom värmelasten ökar och de låga temperaturer som är målet är lättare att nå. Trots att det kan anses bättre ur ett systemperspektiv är det svårt att i Sverige genomföra i praktiken. Detta då fjärrvärmeföretaget inte kan bestämma hur byggnaderna ska byggas eller vilket uppvärmningssystem som ska väljas. Genom en tidig dialog med andra aktörer på byggmarknaden, så som beställare och byggherrar, kan detta diskuteras, men inte garanteras.

Avkylning

I känslighetsanalysen i avsnitt 8.2 framgick det att både LTFV och ULTFV är mer känsliga för dålig avkylning än referenssystemet. Vid de riktigt låga temperaturerna fanns nästan ingen marginal alls för förhöjda returtemperaturer. Därför blir en god avkylning väldigt viktigt i 4GFV. I E.ON:s fjärrvärmesystem är avkylningen inte något som företaget råder över, utan denna är direkt kopplat till den kundägda fjärrvärmecentralens prestanda. För framtida 4GFV-system kan det därför vara relevant att se över hur kundens avkylning kan förbättras då detta är en extra viktig parameter.

En möjlighet för fjärrvärmeföretagen, som idag inte äger fjärrvärmecentralen, att få inflytande över avkylningen är att ändra ägarförhållandet så att fjärrvärmeföretaget äger fjärrvärmecentralen. På så sätt kan fjärrvärmeföretaget ställa in centralen korrekt och kontinuerligt kontrollera att en god avkylning upprätthålls. Dock skulle detta medföra ökade kostnader för fjärrvärmeföretaget vilket hade behövts kompenseras genom att till exempel öka anslutningskostnaden eller fjärrvärmepriset alternativt sänka produktionskostnaderna. Dessutom skulle det bli krångligt för fjärrvärmeföretaget eftersom fjärrvärmecentralen är placerad i en byggnad som ägs av kunden vilket kan leda till svårigheter vid tillträde vid till exempel service av fjärrvärmecentralen. Å andra sidan kan det från ett kundperspektiv möjligen bli bekvämt att inte behöva köpa fjärrvärmecentralen och serva den.

Ett annat sätt att skapa incitament för förbättrad avkylning är att baka in incitament i prismodellen. En möjlighet är att införa något slags bonussystem för bra avkylning som leder till billigare fjärrvärme för kunden. Ytterligare en möjlighet skulle kunna vara att prismodellen gör att kunden betalar mer för flödet istället för den levererade värmen. Detta förekommer visserligen till viss del i E.ON:s prismodell (avsnitt 3.5) där flödet utgör en del av det totala priset men detta skulle kunna ändras i en riktning så att flödet utgör en större andel av fjärrvärmepriset. Dock bör en sådan förändring ske i en takt så att både marknad och kunder hinner anpassa sig, annars finns en risk att kunder får för höga fjärrvärmepriser och istället byter uppvärmningssystem vilket kan få förödande konsekvenser för fjärrvärmeföretaget. Om ett 4GFV-system skulle medföra att kundinstallationen blir dyrare jämfört med konventionell fjärrvärme på grund av andra värmeväxlare och uppvärmningssystem måste användas, samt medföra att fjärrvärmecentralen tar mer plats, som i ULTFV-systemet, skulle fjärrvärmeföretaget troligen behöva kompensera detta, till exempel med ett lägre fjärrvärmepris. Det kräver i sin tur att billig spillvärme kan köpas. Sammanfattningsvis kanske det är som så att 4GFV behöver en helt egen prismodell.

Temperaturreglering

Analysen visade att riktigt låga utomhustemperaturer och de tillhörande höga värmebehoven resulterar i höga flöden vilket kräver ledningar med grövre diametrar vilket är dyrare. Därför är det fördelaktigt för fjärrvärmeföretagen att kunna temperaturreglera vid höga laster. Det kan dock bli

svårt om mediasören är av plast eftersom de inte klarar en lika hög maximal temperatur som konventionella stålledningar. Men ett sekundärnät kan regleras efter primärnätets temperatur och därmed kan en viss temperaturreglering uppnås. Detta ger möjligheten att ha en framtemperatur upp till vad mediasören klarar samt att tillfälligt stänga av utmatningen av lågtempererad spillvärme vid kalla utomhustemperaturer. I Malmö har en annorlunda DVUT diskuterats och om detta realiserats skulle detta innebära möjligheten att gå ner en dimension i ledningarna. För ett system liknande LTFV med PEX-ledningar skulle det innebära att framtemperaturen vid den nya högre DVUT är 65 °C men vid de få tillfällen då utomhustemperaturen är kallare än så finns det en möjlighet att öka framtemperaturen till 95 °C som är gränsen för vad PEX tål. På så sätt kan man både gå ner i dimensioner samtidigt som man undviker höga flöden. För ett framtida system hade detta kunnat bli en bra kompromiss då värmebehovet vid den "gamla" DVUT ändå kan tillgodoseas, samtidigt som fjärrvärmeföretaget får en ekonomisk vinning i att ha lägre dimensioner.

Spillvärme

Inmatning av lågvärdig spillvärme är en stor drivkraft för aktörer att satsa på 4GFV. Därför blir det särskilt viktigt att beakta var denna spillvärme finns och om ett 4GFV-system bör byggas i anslutning till spillvärmens. En nackdel med ett sådant system blir dock att det blir beroende av denna spillvärme och de producenter som tillhandahåller denna. Detta blir en osäkerhetsfaktor på lång sikt om kunden och spillvärmens av någon anledning försvinner från systemet. 4GFV blir därmed starkt kopplat till och beroende av lågvärdig spillvärme om det ska vara lönsamt. En fördel med att kunna utnyttja lågvärdig spillvärme är att detta är resurseffektivt då mindre värme behöver produceras i kraftverken vilket ger en besparing av bränsle. Då förbränning av bränsle även orsakar andra utsläpp av miljöföroreningar som till exempel NO_x, kan en minskad produktion och därmed minskad förbränning även bidra till andra positiva miljöeffekter då utsläppen minskar.

Visserligen minskar värmeförlusterna för lågtempererade system jämfört med konventionell fjärrvärme men samtidigt ökar pumpenergin på grund av att ett högre flöde måste upprätthållas för att uppnå samma effekt. Extra pumpenergi kräver mer el vilket är både dyrare och har ofta högre primärenergianvändning än värme. Därför är det inte självklart att 4GFV är bättre ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Om däremot tillräckligt mycket spillvärme matas in på det lågtempererade nätet hade det varit lönsamt ur båda dessa perspektiv vilket bekräftades i känslighetsanalyserna.

Ledningar

En viktig skillnad mellan stålledningar och plastledningar är att plast inte är känsligt för syrediffusionens konsekvenser så som stålledningar är eftersom syre leder till korrosion på stålet. Därför fick plastledningar när de introducerades i traditionella stålledningsnät dåligt rykte på grund av att de saknade den nödvändiga syrediffusionsspärren som förhindrar korrosion på stålet. Idag är plastledningarna utrustade med en syrediffusionsspärr, dock kan det bli problem med syrediffusion i otäta skarvar. Om detta skulle ske skulle det orsaka problem i stålrör och växlare. Dock minskar syrediffusionen med temperaturen vilket minskar den möjliga problematiken i lågtempererade nät.

Eftersom stål traditionellt sett är normen i fjärrvärmesystem har stål ett bra pris tack vare fördelaktiga avtal och mängden stålledningar som köps in. Det finns ännu inte sådana avtal för plast vilket gör att de blir dyrare, också på grund av att de inte köps in i lika stora mängder. För att lyckas

med 4GFV är det viktigt att plast blir mer ekonomiskt fördelaktigt och då är investeringskostnaderna en stor del av detta. Anläggningskostnaderna är en av de största ekonomiska posterna då grävningsarbetet är kostsamt, speciellt i jämförelse med materialkostnaden, och då speciellt för små rördimensioner. Fördelen med flexibla plaströr är då att anläggningen blir billigare eftersom rörgraven kan göras smalare och hinder kan undvikas. Ytterligare något som talar för lågtempererade nät med plaströr som kan kallförläggas är att säkerheten är högre vid anläggning. Det är lägre personskaderisk tack vare montage utan heta arbeten och svets och inga öppna schakt krävs.

Legionella

ULTFV-systemet uppnår studiens kriterium för 4GFV eftersom tappvarmvattnet värms upp lokalt med värmepump eller elvärmare. I LTFV-systemet där TVV-kravet är dimensionerande uppnås inte studiens kriterium för 4GFV. Detta beror på att Boverkets regler på att 50 °C vid tappstället och i VVC-slingan måste följas vilket efter värmeförluster och temperaturtapp i värmeväxlare kräver 65 °C i framtemperatur i fjärrvärmenätet. Med bättre teknik skulle det kanske vara möjligt att gå ner till mellan 55 °C och 60 °C i framtemperatur men under 55 °C skulle bli näst intill omöjligt för att klara 50 °C vid tappstället. I Sverige blir legionellakraven därmed en begränsande faktor för att uppnå 4GFV. En annan lagstiftning som tillåter andra metoder än 50 °C vid tappstället för att garantera legionellasäkerhet skulle underlätta införandet av 4GFV. Det finns redan andra lösningar för legionellabegränsning än minst 50 °C i vattnet. Om någon av dessa skulle vara tillåtna hade det varit enklare att nå 4GFV. En annan möjlighet är ha regler som istället begränsar vattenvolymen likt den tyska standarden som danska fjärrvärmeföretag använde sig av, bland annat i Lystrup och Høje Taastrup. I dessa projekt utgås istället från ett komfortkrav på 45 °C vid tappstället. Ytterligare en idé till legionellaavdödning är att ha en framtemperatur på 55 °C under normal drift och att periodvis, exempelvis under natten då TVV-användningen är låg, växla in varmare vatten från primärnätet för att avdöda legionella. På så sätt hade legionellasäkerhet kunnat upprätthållas fast temperaturen vid tappstället periodvis vore lägre än 50 °C.

Värmepump/elvärmare och ackumulatortank i ULTFV

För ULTFV-systemet antogs att fjärrvärmeföretaget äger värmepumparna, elvärmarna och ackumulatortankarna som används för TVV-beredning. Värmepumpar har en ofta högre investeringskostnad än elvärmare men använder inte lika mycket el utan nyttjar mer befintlig värme. Detta är fördelaktigt då elpriset är högt och produktionskostnaden för fjärrvärme är låg. Det är också fördelaktigt ur ett primärenergiperspektiv. Skulle däremot elpriset vara lågt skulle en elvärmare vara mer ekonomiskt fördelaktig tack vare dess lägre investeringskostnad. Ett problem som kan uppstå när en värmepump eller elvärmare används för att värma upp TVV ytterligare är att belastningen på elnätet ökar. Eftersom TVV används främst under dagtid kommer elanvändningen för TVV-beredning öka som mest när under den tid då elnätet redan är ansträngt.

Tillämpning av studien

På grund av att simuleringarna är uppbyggda med parametrar som utgår från Malmös och svenska förhållanden är det svårt att säga om dessa kan implementeras i andra städer och länder. För städer med liknande förhållanden som i södra Sverige och Danmark där ett 4GFV-system ska implementeras i ett nybyggnadsområde av samma storlek är sannolikheten stor att liknande koncept fungerar. På nordligare breddgrader är DVUT lägre men husen är oftast bättre isolerade. Detta är dock parametrar som kommer påverka nätet och det är svårt att avgöra på vilket sätt innan vidare studier

utförts. För andra länder gäller andra bestämmelser med avseende på temperaturkrav för legionella, standarder, byggnadskrav samt andra beteendemönster vilket ändrar förutsättningarna för dimensionering och drift av ett fjärrvärmesystem.

Om E.ON skulle investera i ett lågtempererat fjärrvärmenät idag skulle det inte ge lika stor avkastning som för ett konventionellt nät. Däremot skulle det ge andra mervärde på andra plan som inte är ekonomiska. Som sågs i analysen med primärenergi kan ett lågtempererat fjärrvärmenät ha en lägre primärenergianvändning om tillräckligt mycket spillvärme kan integreras. Om dessutom vindel används till elförsörjningen, sjunker primärenergianvändningen ordentligt. För E.ON:s del kanske en lösning med både vindel och stor andel spillvärme hade varit aktuellt om 4GFV hade realiserats då företaget satsar på att vara miljömässigt hållbara. Dessutom visade det sig att lågtempererad fjärrvärme kan bli ekonomiskt lönsamt om MPK för ett sådant system sänks. Då E.ON:s nya strategi är innovativa kundlösningar, förnybar energi och smarta nät anser författarna att 4GFV passar bra in i denna. Att införa 4GFV i Malmö-Burlöv genom ett demonstrationsprojekt av detta slag skulle vara bra marknadsföring och i linje för vad företaget står för. Det skulle även ge kunskap inom företaget om möjliga implementeringar av 4GFV inför framtida anläggningar.

9.3 Mot framtiden

För framtiden ser många forskare möjligheten till smarta fjärrvärmenät integrerade med smarta elnät och transportsektorn för att skapa ett större system för samverkan mellan energislag. En början till detta är möjligheten att kunna integrera fjärrvärme och fjärrkyla i ett och samma system. Det hade varit möjligt i ett ULTFV-system där värmepumpar används för att höja temperaturen för TVV-försörjningen. Istället för att använda fjärrvärmens framledning som värmekälla används returledningen som därmed kyler den ytterligare. Enligt studien från Danfoss är det då möjligt att uppnå en så pass låg returtemperatur så att den kan användas som fjärrkyla [71]. Dock skulle det innebära att mindre fjärrvärme säljs och mer el krävs. En annan idé för att sänka returtemperaturerna ytterligare är att använda returvattnet i markvärme för idrottsanläggningar och trottoarer. Detta finns redan idag, men det torde ha en stor potential för att utnyttjas mer, speciellt i norra Sverige där vinterhalvåret kräver mycket snöröjning.

Ytterligare ett område som det skrivits mycket om i forskningsrapporter är fjärrvärmeledningar. Plaströr beräknas öka i användning och att det även tas fram plaströr för högre temperaturer än vad som finns idag. Detsamma gäller för twinledningar och andra ledningskonfigurationer så som trippelledningar med två framledningar och möjligheten att ha olika framtemperaturer eller att kunna stänga av en framledning sommartid. Flexibla rör finns i dagens läge bara för mindre dimensioner, och för twinkonfiguration är de ännu mindre. Dessa passar att ha som servisledningar och i villaområden där effektbehovet inte lika stort.

För en utökad 4GFV krävs det en energieffektivisering av befintliga byggnader för att kunna utnyttja de lägre framtemperaturer en utbyggnad medför [31]. I Sverige finns det många byggnader från miljonprogrammets dagar vilka genom renovering skulle kunna anpassas till lägre framtemperaturer. Initiativ måste dock komma från beslutsfattare och politiker för att genomföra en lyckad och genomtänkt omställning med en renovering av byggnader samtidigt med utbyggnad av 4GFV.

Förslag på framtida studier

- Ta fram förslag på ytterligare sätt på hur TVV kan lösas på ett legionellasäkert sätt. Detta har visat sig vara den mest begränsande faktorn för att nå 4GFV idag.
- För Malmös del undersöka möjligheten till en höjning av DVUT. I Malmö-Burlövnätet är utomhustemperaturen extremt sällan - 16 °C, vilket är DVUT. Möjligheten att dimensionera utifrån högre temperaturer medför att mindre ledningsdimensioner kan väljas vilket ger en lägre kostnad.
- Implementering av 4GFV i nordligare breddgrader då DVUT är lägre och byggnader kräver större värmebehov.
- Att i ett område där det skulle vara möjligt att implementera 4GFV undersöka möjligheterna för att integrera spillvärme i nätet.

10. Slutsatser

- Av det studerade demonstrationsprojekten finns i dagsläget inga realiserade fjärrvärmelösningar som helt uppfyller den här studiens kriterium för 4GFV. Danska demonstrationsprojekt ligger i framkant vad gäller temperaturer i enlighet med 4GFV. En faktor som gör det möjligt för dessa projekt att nå dessa temperaturer är att de utgår från ett tappvarmvattenkrav på 45 °C vid tappstället vilket kan jämföras med det svenska kravet på 50 °C.
- Två systemlösningar för 4GFV har studerats, ett lågtempererat fjärrvärmesystem (LTFV), samt ett ultralågtempererat fjärrvärmesystem (ULTFV) och dessa har jämförts med ett referenssystem som utgår från samma parametrar som Malmö-Burlövs fjärrvärmenät idag. Med LTFV-systemet sänks värmeförlusterna med 47 % jämfört referenssystemet och med ULTFV-systemet sänks värmeförlusterna med 63 %. Vid - 16 °C har LTFV-systemet knappt dubbelt så högt flöde som referenssystemet och ULTFV har drygt tre gånger högre. I LTFV- och ULTFV-systemet fordras elenergi motsvarande 50 MWh/år och 800 MWh/år för respektive system med utgångspunkt från de förutsättningar som gavs i denna studie.
- ULTFV-systemet är minst ekonomiskt lönsamt och referenssystemet mest lönsamt. Sämre lönsamhet hos 4GFV-systemen beror främst på högre kostnader för dessa system, både för grundinvesteringen samt årliga drift- och underhållskostnader. Om marginalproduktionskostnaden minskas för 4GFV-systemen, vilket skulle kunna vara möjligt med hög andel spillvärme i bränslemixen, kan de generera lika stor eller större ekonomisk lönsamhet än referenssystemet.
- Vilka primärenergifaktorer den tillförda elen och fjärrvärmen har spelar stor roll när primärenergianvändningen räknas ut. Eftersom bränslemixen i 4GFV-system är svår att förutsäga är det dock svårt att dra någon slutsats om den verkliga primärenergianvändningen i de undersökta systemen.
- Simuleringarna visade att låga returtemperaturer är avgörande för ett välfungerande 4GFV-system. Problem med dålig avkylning ofta hör ihop med kundernas låga incitament att underhålla sina fjärrvärmecentraler för att erhålla en god avkylning. För att förbättra detta är det möjligt för fjärrvärmebolaget att de äger fjärrvärmecentralerna eller inför tillräckligt starka incitament för att uppmuntra kunden till låga returtemperaturer, till exempel genom att prismodellen ändras.
- LTFV-systemet uppfyller inte 4GFV i strikt mening eftersom framtemperaturen är för hög. Framtemperaturen regleras av den svenska lagstiftningen om legionella som kräver minst 50 °C vid tappstället. En annan lagstiftning som skulle tillåta lägre temperatur förutsatt att legionellasäkerhet kan garanteras skulle underlätta för införandet av 4GFV.

11. Litteraturförteckning

- [1] A. Sjöström, "Om fjärrvärme," Svensk Fjärrvärme, Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/>. [Använd 22 02 2016].
- [2] U. Persson, "District heating in future Europe," Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2015.
- [3] S. Frederiksen och S. Werner, Fjärrvärme och fjärrkyla, Lund: Studentlitteratur, 2014.
- [4] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hveplund och B. V. Mathiesen, "4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems," *Energy*, vol. 68, pp. 1-11, 2014.
- [5] H. Landersjö, Energisystemanalytiker, E.ON. [Intervju]. 15 februari 2016.
- [6] P. Laurenburg, "Teknik och forskningsöversikt över fjärde generationens fjärrvärmeteknik," Lunds Universitet, Lund, 2014.
- [7] P. K. Olsen, C. H. Christiansen, M. Hofmeister, S. Svendsen och J.-E. Thorsen, "Guidelines for Low-Temperature District Heating," 2014.
- [8] H. Ibrahim Tol och S. Svendsen, "Effects of boosting the supply temperature on pipe dimensions of low-energy district heating networks: A case study in Gladsaxe, Denmark," *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 324-334, 2014.
- [9] M. Genrup och M. Thern, LTH. [Intervju]. 17 maj 2016.
- [10] A. Åberg, Sydkraft: Ett kraftföretags utveckling under 50 år, Malmö, 1956.
- [11] E.ON, "Företagsfakta," 10 maj 2016. Tillgänglig: <https://www.eon.se/om-e-on/om-foeretaget/foeretsfakta.html>. [Använd 17 maj 2016].
- [12] "E.ON intranät, E.ON Värme Sverige AB," 25 April 2016. Tillgänglig: <http://intra.e-ssi.net/Om-EON/Var-organisation/Bolag/EON-Varme/>. [Använd 11 maj 2016].
- [13] E.ON Försäljning, *Lokala regler*, Malmö: E.ON Försäljning, 2015.
- [14] L.-G. Dahlqvist, PEAB. [Intervju]. 23 mars 2016.
- [15] Stadsbyggnadskontoret Malmö stad, "Utvecklingsplan Varvsstaden," Stadsbyggnadskontoret Malmö stad, Malmö, 2014.
- [16] Malmö stad, Lunds kommun och Lunds Universitet, "Miljöbyggprogram Syd version 2," Malmö Stad, Lunds kommun och Lunds Universitet, 2012.
- [17] A. Sjöström, "Så funkar fjärrvärme," Svensk Fjärrvärme, Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Sa-funkar-fjarrvarme/>. [Använd 25 mars 2016].
- [18] L. Brand och A. Calvén, "Smarta fjärrvärmenät," Examensarbete vid Lunds Universitet, Lund, 2012.
- [19] B. Appelqvist och N. Frössling, Grundläggande strömninglära, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, 1977.
- [20] Arbetsmiljöverket, "Tryckbärande anordningar AFS 1999:4, föreskrifter," 9 Juni 2015. Tillgänglig: <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/tryckbarande-anordningar-afs-19994-foreskrifter/>. [Använd 23 Maj 2016].
- [21] "Certifiering av fjärrvärmecentraler," Svensk Fjärrvärme, 2009.
- [22] Pumpportalen, "Utbildningsmaterial," Pumpportalen.se, 2012.
- [23] Boverket, Smittskyddsinstitutet och VVS-installatörerna, "Tekniska faktorer med risk för samhällsförärvad legionellinfektion," Boverket; Smittskyddsinstitutet; VVS-installatörerna, 2006.
- [24] Boverket, "Legionella och dricksvatten," Boverket, 17 September 2014. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/vatten--avlopp/legionella-och-dricksvatten/>. [Använd 11 februari 2016].
- [25] Boverket, "Har du legionellabakterier i dina vattenledningar?," 2000. Tillgänglig: http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2000/har_du_legionellabakterier_i_dina_vattenledningar.pdf. [Använd 11 februari 2016].
- [26] T. Persson, "Legionella i tappvattensystem," Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2011.
- [27] Boverket, "Boverkets byggregler, kap. 6 Hygien, hälsa och miljö," Tillgänglig: <http://www.boverket.se/globalassets/vagledningar/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-6>. [Använd 11 februari 2016].
- [28] C. H. Christiansen, A. D. Rosa, M. Brand, P. K. Olsen och J. E. Thorsén, "Result and experiences from a 2-year study with measurements on a low-temperature DH system for low energy buildings," Danfoss, Köpenhamn, 2012.
- [29] P. Rosén, *Business Innovation*, E.ON [Intervju]. 19 februari 2016.
- [30] C. Claesson, Fjärrvärme till småhus - litteraturstudie 2003, Chalmers Tekniska högskola, 2003.
- [31] A. Dalla Rosa, H. Li, S. Svendsen, S. Werner, U. Persson, K. Ruehling, C. Felsman, M. Crane, R. Burzynski och C. Bevilacqua, "Towards 4th Generation District Heating: Experience and Potential of Low-Temperature District Heating," 2014.
- [32] Elgocell. Tillgänglig: <http://elgocell.se/produkt/4-rorskulvert-for-varme-PN6-och-varmvatten-PN10>. [Använd 25 april 2016].
- [33] Maxitherm, "PEX-rörskulvert,". Tillgänglig: <http://www.maxitherm.se/vara-produkter/maxitherm-plex-rorskulvert..> [Använd 22 april 2016].

- [34] Uponor. Tillgänglig: <https://www.uponor.se/vvs/system/kulvert/kulvert-for-varme.aspx..> [Använd 26 april 2016].
- [35] Maxitherm, "COOLFLEX Flexibel PE-kulvert," Tillgänglig: <http://www.maxitherm.se/vara-produkter/coolflex-flexibel-pe-kulvert>. [Använd 10 april 2016].
- [36] Maxitherm, "COOLMANT Rakt isolerat PE-rör," Tillgänglig: <http://www.maxitherm.se/vara-produkter/coolmant-rak-isolerat-pe-ror>. [Använd 23 mars 2016].
- [37] H. Pohl, M. Kligman och Carlbro, "Teknikval: Naturformning och distribution," Svensk Fjärrvärme, 2006.
- [38] S. Ringström, Projektledare, E.ON. [Intervju]. 3 Februari 2016.
- [39] P.-O. Johansson, "Temperatureffektiva fjärrvärmesystem," Svensk fjärrvärme, rapport 2012:2, Lund, 2012.
- [40] B. Sandström, Kompendium från Värmepumpskurs EUCERT, Härnösands Mittuniversitet.
- [41] Watt Heating, "Lågtemperatursystem," 1 juni 2009. Tillgänglig: <http://www.wattheating.se/eco-radiator.html>. [Använd 16 juni 2016].
- [42] Purmo, "Panelradiatorer - Purmo Compact [C]," 2016. Tillgänglig: <http://www.purmo.com/se/produkter/panelradiatorer/purmo-compact.htm#tab-tekniska-data>. [Använd 16 juni 2016].
- [43] Boverket, "PBL Kunskapsbanken, en handbok om plan- och bygglagen," Available: <http://www.boverket.se/globalassets/vagledning/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avschnitt-6>. [Använd 15 mars 2016].
- [44] N. Reistad, Energi- och miljöfysik, Lund: Nina Reistad, Fysiska Institutionen, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, 2011.
- [45] P.-H. Skärvard och J. Olsson, Företagsekonomi 100, Malmö: Libe AB, 2003.
- [46] E.ON Försäljning, "Normalprislista fjärrvärme företag," Tillgänglig: <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-malmo-burlov-staffanstorpe-bara-prislista-2016.pdf>. [Använd 16 maj 2016].
- [47] E.ON Försäljning, "Normalprislista fjärrvärme småhus," Tillgänglig: <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-fjarrvarme-prislista-smahus-sverige-2016.pdf>. [Använd 16 maj 2016].
- [48] J. Gode, J. Fredén, I. Adolfsson och T. Ekvall, "Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet, rapport 2013:3," Svensk Fjärrvärme, 2012.
- [49] E. Bergman och J. Persson, "Hållbarhetsanalys av uppvärmningsalternativ," Examensarbete vid Lunds Universitet, Lund, 2014.
- [50] E. AB, *Miljövärdering av el - med fokus på utsläpp av koldioxid*, Stockholm.
- [51] J. Gode, A. Lätt, T. Ekvall, F. Martinsson, I. Adolfsson och J. Lindblom, "Miljövärdering av energilösningar i byggnader," Svenska Miljöinstitutet, Stockholm, 2014.
- [52] Vitec Energy, *Användarmanual NetSim*, Vitec Energy, 2012.
- [53] E.ON Värme Sverige Ab, *One-Calc*.
- [54] E.ON, "Miljö och fjärrvärme," Tillgänglig: <https://www.eon.se/privat/for-hemmet/fjarrvarme/miljo-och-fjarrvarme.html>. [Använd 5 maj 2016].
- [55] J. Gode, F. Martinsson, L. Hagberg, A. Öman, J. Höglund och D. Palm, "Miljöfaktaboken 2011," Värmeforsk, Stockholm, 2011.
- [56] C. Holm Christiansen, A. Dalla Rosa, M. Brand, P. Kaarup Olsen och J. E. Thorsén, "Result and experiences from a 2-year study with measurements on a low-temperature DH system for low energy buildings," Danfoss, Köpenhamn, 2012.
- [57] K. Andersson, *Projektledare, Mälarenergi*, Västerås: Internt material, 2016.
- [58] E. Zvinilaite, T. Ommen, B. Elmegaard och M. L. Frank, "Low temperature DH consumer unit with micro heat pump for DHW preparation," Danfoss, Köpenhamn, 2013.
- [59] M. Brand, O. Gudmunsson och J.-E. Thorsén, "District Heating Substation with Electrical Heater Supplied by 40 °C Ultra-Low District Heating," *EuroHeat&Power*, vol. 13, pp. 43-47, 2016.
- [60] R. Jönsson, *Business Developer, Alfa Laval*. [Intervju]. 22 april 2016.
- [61] Powerpipe, "Kulvertkatalog fjärrvärmerör," Internt material, 2013.
- [62] SMHI, "Klimatdata," SMHI, Tillgänglig: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur>. [Använd 3 mars 2016].
- [63] Boverket, Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>. [Använd 13 Maj 2016].
- [64] Swedish Standards Institute, "SS 24300-2," Swedish Standards Institute.
- [65] M. Rundgren, *Affärsingenjör, E.ON*. [Intervju]. 4 maj 2016.
- [66] Energimyndigheten, "Vattenanvändning i hushåll," Statens Energimyndighet, Eskilstuna, ER 2012:03.
- [67] E.ON, *E.ON:s energibalans för Hyllie*, Malmö: Internt material, 2015.
- [68] Nibe, "Bergvärmepumpar," Tillgänglig: <http://www.nibe.se/produkter/bergvarmepumpar/>. [Använd 20 april 2016].
- [69] Nibe, "Ackumulatortankar," Tillgänglig: <http://www.nibe.se/produkter/ackumulatortankar/>. [Använd 20 april 2016].
- [70] Rinkaby Rör, "Reservdelar och tillbehör till varmvattenberedare," Tillgänglig: <http://www.rinkabyror.se/artiklar/reservdelar-och-tillbehor/varmvattenberedare/>. [Använd 11 Maj 2016].
- [71] Danfoss, "Low temperature DH consumer unit with micro heat pump for DHW preparation," Danfoss, 2013.