

Termisk besiktning av kundanläggningar i fjärrvärmesystem

Teoretisk modell för utvärdering av prestanda hos
kundanläggningar

LUNDS UNIVERSITET

Sofia Wiktorsson

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



Termisk besiktning av kundanläggningar i fjärrvärmesystem

Teoretisk modell för utvärdering av prestanda hos
kundanläggningar

Sofia Wiktorsson

Juni 2018

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

Abstract

District heating systems need to be made more efficient. Lower system temperatures are desirable for the efficiency of the entire system, but it also decreases the temperature-margins that can compensate for faults in the system. Therefore it is crucial to decrease these errors. The majority of the improvement potential is on the customer's side of the system; in the substation or in the building's internal heating system. This area needs attention to increase the efficiency in district heating systems.

The aim of this project is to produce a theoretical model of a district heating substation and examine if said model can discover and identify faults in an actual substation. This will be accomplished by comparing modeled and real return temperatures. The studied substations are newly installed and the thermal inspection is supposed to tell the customers if their instruments are well suited for their task and if they are well functioning, before the warranty expires. The model is mostly based on theoretical and dimensioned data, instead of historical data. This means that the model can tell how the substation theoretically can perform, instead of how it has performed previously, which might already include faults.

The model can discover abnormal return temperatures, but it can not identify the cause on its own and a manual analysis of the output is therefore needed to decide possible causes. To be able to isolate and identify the fault with higher precision, more data measured in the actual substation is needed. It would be helpful to first use another automatized model to do a rough sorting of which substations should then be further investigated by the model produced in this study.

Nyckelord: Fjärrvärmecentral, termisk besiktning, VVC, radiator, tappvarmvatten, kundanläggning, systemtemperatur

Sammanfattning

Fjärrvärmesystem behöver effektiviseras. Lägre systemtemperaturer bidrar till högre effektivitet i hela systemet, men det innebär också mindre temperaturmarginaler, som kan kompensera för fel i systemet. Därför är det viktigt att minska dessa fel. Den största förbättringspotentialen finns på kundens sida av systemet, i fjärrvärmecentraler och i byggnaders interna värmesystem. Detta område behöver uppmärksammas för att öka effektiviteten i hela fjärrvärmesystem.

Målet med denna studie är att ta fram en teoretisk modell av en kundanläggning och utvärdera om denna modell kan upptäcka och identifiera fel hos en verklig kundanläggning. Detta görs genom att de modellerade och uppmätta returtemperaturerna jämförs. De studerade kundanläggningarna är nyinstallerade och den termiska besiktningen är tänkt att kunna undersöka huruvida instrumenten är väl injusterade för sin uppgift och om de fungerar som de ska, före garantitiden för installationen går ut. Modellen bygger till största del på teoretisk och dimensionerad data, istället för historisk data. Detta gör att modellen kan visa hur kundanläggningen borde kunna presteras teoretiskt, istället för hur den tidigare har presterat, då det redan kan ha funnits avvikelser.

Modellen kan upptäcka avvikelser hos returtemperaturen, men den kan inte identifiera orsaken till avvikelserna på egen hand och därför krävs en manuell analys av utdatan för att identifiera möjliga orsaker. För att kunna isolera var avvikelser uppstår och identifiera orsaken med högre precision, behövs mer mätdata från inuti kundanläggningen. Det skulle vara fördelaktigt att först använda en annan automatiserad modell för att göra en grov utsortering av vilka kundanläggningar som sen bör vidare utvärderas av modellen som är framtagen i denna studie.

Förord

Jag skulle vilja börja med att tacka mina tre handledare: Per-Olof Johansson Kallioniemi, Harald Andersson och Henrik Landersjö för stöttning och engagemang under hela mitt examensarbete. De har varit värdefulla bollplank och vi har träffats alla fyra flertalet gånger och haft givande diskussioner.

På E.ON skulle jag vilja tacka Ulf Andersson, Per Wilen och Kristofer Steen för att de har gett mig en inblick i den praktiska biten av fjärrvärmebranschen. Under mitt studiebesök hos Ulf Andersson fick jag en bra överblick av alla komponenter som finns i en fjärrvärmecentral och vad som kan gå fel, samt hur frustrerande det kan vara med ventiler som fastnar. Per Wilen har gett mig tillgång till dokumentation om kundanläggningarna.

Jag skulle vilja tacka Sofia Nivhede, Jessica Englund och Katarina Åkesson för att jag fått ta del av en demo-visning av E.ON:s interna datahanteringsprogram DISA.

Ett stort tack till alla deltagarna under halvtidsseminariet på LTH och min halvtidspresentation på E.ON för värdefull input till mitt arbete, samt till hela våning fem på E.ON för en trevlig och lärorik vår.

Sist, men inte minst, skulle jag vilja tacka min mamma, pappa och David för att ni helt enkelt är bäst.

Nomenklatur och definitioner

Kundanläggning	- Inkluderar kundens fjärrvärmecentral, radiatorsystem och tappvarmvattensystem
VVC	- Varmvattencirkulation
T	- Temperatur
\dot{V}	- Flöde
\dot{Q}	- Effektbehov
VVX	- Värmeväxlare
FC	- Fjärrvärmecentral
s	- Sekundärsida
p	- Primärsida
dim	- Dimensionerad data
f	- Framledning
r	- Returledning
tvv	- Tappvarmvattensystem
rad	- Radiatorsystem

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Introduktion	1
1.2	Syfte och frågeställningar	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Disposition	3
2	Bakgrund	4
2.1	Fjärrvärme	4
2.2	Kundanläggning	6
2.3	Metoder för identifiering av fel hos kundanläggningar	8
2.4	Fel hos kundanläggningar	11
3	Teori	13
3.1	Radiatorsystem	13
3.2	Tappvarmvattensystemet	14
3.3	Värmeväxlare	17
3.4	Dimensionerad data	20
4	Metod	21
4.1	Litteraturstudie	21
4.2	Information om kundanläggningar	21
4.3	Modellering	22
5	Uppbyggnad av modell	24
5.1	Indata och utdata	24
5.2	Radiatorsystem	26
5.3	Tappvarmvatten och VVC	27
5.4	Fjärrvärmecentral	31
5.5	Hela kundanläggningen	33
6	Resultat och analys	35
6.1	E.ON:s besiktning idag	35
6.2	Uppgifter om kundanläggningarna	36
6.3	Möjliga analyser	38
6.3.1	VVC-förluster och dess påverkan på returtemperaturen	39
6.3.2	Avvikelser	40
6.3.3	Överdimensionering	48
6.3.4	Sammanfattning	49

7	Diskussion	50
7.1	Modellen	50
7.2	Förenklingar i modellen	50
7.3	Termisk besiktning	52
7.4	Brister hos kundanläggningar	53
7.5	Metoddiskussion	53
8	Slutsatser	55
9	Fortsatt arbete	57

1 Inledning

Detta kapitel ger läsaren en förståelse för arbetets syfte och kontext. Kapitlet inleds med en introduktion av projektets motiv och bakgrund. Vidare presenteras arbetets syfte, frågeställningar, avgränsningar och rapportens disposition.

1.1 Introduktion

Runt om i världen ställs ökade krav på energisystemet. Det hushålls med resurser, utsläpp minimeras och slösaktiga beteendemönster bryts. Sverige är ett ledande land inom fjärrvärmeutvecklingen och fjärrvärme utgör mer än halva värmemarknaden [1]. Trenden som går mot en mer resurssnål och förnyelsebar energisektor talar för fjärrvärme, då det är en teknik som kan utnyttja resurser som annars skulle gå till spillo. Men att det kommer fler förnyelsebara alternativ till uppvärmning ökar även konkurrensen för fjärrvärme. Effektivare byggnader minskar behovet av uppvärmning, vilket är ännu en utmaning för den storskaliga energiproduktionen som fjärrvärme är. För att möta dessa utmaningar behöver fjärrvärmesystem effektiviseras. Detta görs genom sänkta systemtemperaturerna. I nuläget är typiska framlednings- och returtemperaturen ca 75-95°C respektive 40-50°C [2]. Dessa systemtemperaturer ska utöver förse kunderna med den värme de behöver, även kompensera för alla fel i systemet [2]. Lägre systemtemperaturer innebär mindre marginaler för dessa fel. Genom att utvärdera returtemperaturer kan dessa fel upptäckas och det är den typ av besiktning som kallas termisk besiktning.

Fjärrvärmenät transporterar värme från värmeverk till kunder, där fjärrvärmecentralen för över värmen från nätet till kundens eget uppvärmnings- och tappvarmvattensystem. Det är ofta kunden som äger fjärrvärmecentralen [3] och därför kallas fjärrvärmecentralen tillsammans med kundens interna system en *kundanläggning* i denna studie. Kundenläggningen består av många komponenter och är svåranalyserad för fjärrvärmebolag, eftersom de inte äger den och därför inte har kontroll över den. Detta leder till att det kan uppstå fel av många olika orsaker i kundanläggningen som inte identifieras. För att möjliggöra lägre systemtemperaturer behöver dessa fel minskas.

Kundanläggningen köps och installeras av en tredje part. Denna studie går ut på att undersöka huruvida en teoretisk modell av en kundanläggning kan avgöra om den verkliga kundanläggningen är väl anpassad för sin uppgift och fungerar som den bör, det vill säga om den har en effektiv värmeöverföringsförmåga. Detta kan i så fall senare vidareutvecklas till en tjänst där E.ON kan erbjuda sina kunder en utvärdering av huruvida kunderna har fått en lämplig utrustning och om den fungerar som det ska. Om så inte är fallet bör kunden kunna göra något åt saken innan garantitiden har gått ut.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta examensarbete är att ta fram en teoretisk modell av en kundanläggning, för att jämföra verklig mätdata från E.ON:s kunders kundanläggningar med beräknade värden från modellen. Den teoretiska modellen ska inte bygga på historiska värden, där avvikelser hos returtemperaturen redan kan existera, utan istället utgå från givna dimensionerade värden. Det ska undersökas huruvida denna modell kan urskilja om eventuella för höga returtemperaturer beror på fjärrvärmecentralen eller kundens interna värmesystem. Om modellen klarar detta kan den användas för att identifiera brister hos nyinstallerade kundanläggningar. Den kan då bidra till en uppföljning av installationen av nya kundanläggningar i E.ON:s fjärrvärmenät och bidra till implementeringen av en termisk besiktning, det vill säga en utvärdering av returtemperaturerna. På så sätt ska fel kunna upptäckas inom garantitid. Modellen ska också kunna appliceras på äldre kundanläggningar för en termisk besiktning av även dem.

Frågeställningar som ska besvaras är:

1. Vilken besiktning gör E.ON i nuläget av sina kunders kundanläggningar?
2. Vilken indata finns att tillgå till modellen från E.ON:s insamlade data från kunders kundanläggningar?
3. Är indatan till modellen och modellen i sig tillräckliga för att avgöra om det finns en avvikelse hos kundanläggningen som bör följas upp och vad avvikelsen beror på?
4. Vilka slags analyser av termisk funktion - som kan säga något om prestandan på en nyinstallerad kundanläggning - kan göras genom att jämföra en teoretisk modell av en kundanläggning med verklig mätdata?

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsar sig till att undersöka nyinstallerade kundanläggningar i flerbostadshus, som värms upp av ett radiatorsystem och har en varmvattencirkulation (VVC). Anledningen till att det är nyinstallerade kundanläggningar som studeras är syftet att hitta avvikelser hos kundanläggningarna innan garantitiden är slut. Modellen kan dock appliceras på äldre kundanläggningar för en termisk besiktning av även dem, men då med ett annat syfte än att hitta fel innan garantitiden är slut. De studerade fjärrvärmecentralerna består av två parallellkopplade värmeväxlare, eftersom det är den vanligaste kopplingsprincipen idag.

1.4 Disposition

Rapporten inleds med att läsaren, i kapitel 2, får en bakgrund om fjärrvärme, dess utveckling och framtida utmaningar. Detta ger en grund till varför en termisk besiktning av kundanläggningar kan bidra till ett effektivare fjärrvärmesystem. Kundens behov och kundanläggningen presenteras. De utmaningar som tidigare studier har visat inom felidentifiering hos kundanläggningar, samt hur en bra modell bör vara uppbyggd för att vara praktiskt applicerbar presenteras. Kapitel 3 ger läsaren den teoretiska kunskap som krävs för att kunna förstå den framtagna modellen och studien. I kapitel 4 presenteras studiens metodik. Kapitel 5 presenterar modellens uppbyggnad. Kapitel 6 presenterar hur väl modellen fungerar, samt vilka orsaker till avvikelser hos kundanläggningar som den kan visa. I kapitel 7 diskuteras framtagningen av modellen och de förenklingar som gjorts i den, samt vad modellen kan visa och inte visa. I kapitel 8 presenteras vilka slutsatser som kan dras och där besvaras även frågeställningarna. Avslutningsvis ger kapitel 9 förslag på fortsatt arbete.

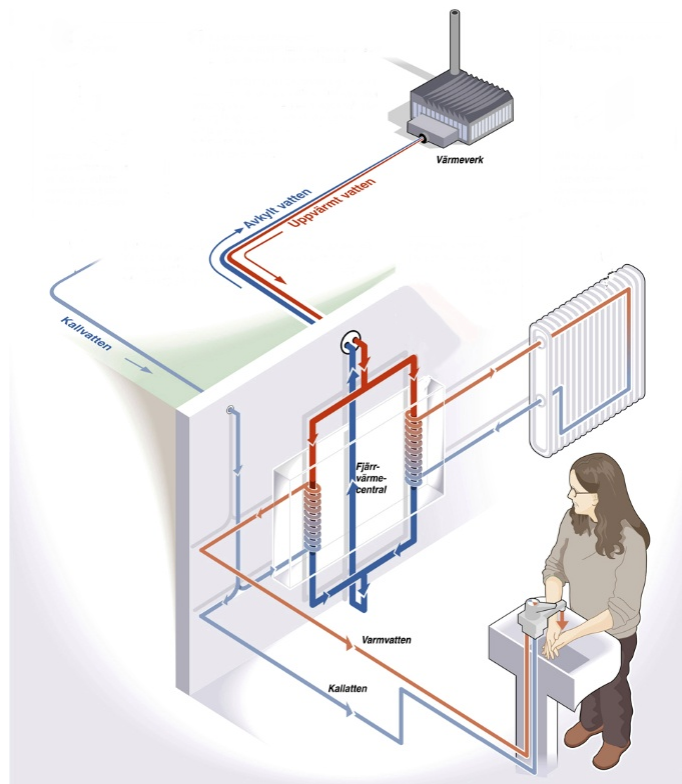
2 Bakgrund

Detta kapitel ger läsaren bakgrunden till denna studie. Det ges en introduktion av fjärrvärme, värmebehov och kundanläggningens funktion och olika delar. Fjärrvärmebranschens framtida utmaningar presenteras och förklarar behovet av en termisk besiktning. Vilka utmaningar som tidigare studier har visat inom felidentifiering hos kundanläggningar presenteras, samt hur en bra modell bör vara uppbyggd för att vara praktiskt applicerbar

2.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme är en resurseffektiv värmeteknik, som förflyttar värme från värmekällor till kunder via ett distributionsnät. Fjärrvärme är vitt utbrett, inte minst i Sverige. I världen finns det 80 000 system och 600 000 km ledningslängd. [3]

I flerbostadshus kan fjärrvärme stå för uppvärmning av byggnaden och tappvarmvatten. Att fjärrvärme är resurseffektivt beror på att stor del av värmekällorna är förnyelsebara eller kommer från resurser som annars skulle gå förlorade [3].



Figur 1: Visar fjärrvärmesystemet. Distributionsnätet transporterar värmen mellan värmeverket och kunden. På kundens sida finns en fjärrvärmecentral som för över värmen till kundens interna värmesystem. [8]

Ett fjärrvärmesystem består av värmekällor, ett distributionsnät, fjärrvärmecentraler och kunders egna värmesystem. Detta visas i Figur 1. Distributionsnätet består av två parallella isolerade rör, en framledning och en returledning (rött respektive blått rör i Figur 1). Värmebäraren, som ofta är varmt trycksatt vatten, transporteras i distributionsnätets framledning till kunden där det kyls ner i fjärrvärmecentralen när värmen förs över till kundens uppvärmningssystem och tappvarmvattenberedning [3]. Det avkylda vattnet på den primära sidan skickas tillbaka i returledningen, som cirkulerar tillbaka till produktionsanläggningarna där det återigen värms upp till framledningen.

Fjärrvärmesystem brukar delas upp i tre generationer och det talas om en kommande fjärde generation. Den generation som är aktuell idag är den tredje, men det finns även rester kvar från de tidigare generationerna, samt antydningar hur utvecklingen mot den kommande fjärde kommer att se ut [4]. I första generationens fjärrvärme, som infördes på 1880-talet, kom stor del av värmen från ångdrivna kraftvärmeverk och därför användes ånga som värmebärare [4]. Ångdistributionsystem innebär stora värmeförluster och därför tog trycksatt hett vatten över som värmebärare i andra generationens fjärrvärmesystem under 1930-talet, men systemtemperaturerna var fortfarande ofta över 100°C [3]. I dagens fjärrvärmesystem är typiska framlednings- och returtemperaturerna ca $75\text{-}95^{\circ}\text{C}$ respektive $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ [2]. Under 1980-talet fick fjärrvärme en stor utbredning, vilket innebär att stora delar av näten som finns idag tillhör tredje generationen. En tydlig trend under fjärrvärmens utveckling har varit sjunkande systemtemperaturer [3]. Till fjärde generationens fjärrvärmesystem är syftet att behålla den tredje generationens bästa sidor och förbättra dess svaga [5].

Idag står fjärrvärmebranschen inför två huvudsakliga utmaningar: ett minskat värmebehov, på grund av mer effektiva byggnader, och konkurrens från annan förnyelsebar energi [2]. För att möta dessa utmaningar behövs effektivisering, vilket kan möjliggöras genom lägre systemtemperaturer. Lägre systemtemperaturer innebär fördelar för både fjärrvärmeproduktionen och distributionen. Det är lätt att nå höga systemtemperaturer med fossila bränslen, men lägre temperaturer gör att fjärrvärme kan ta vara på mer energi som annars skulle gå till spillo [2]. Det öppnar upp för fler möjliga energikällor, som spillvärme från industrier och geotermisk energi, samt ökar möjligheterna för användning av värmelagring och ökar effektiviteten hos rökgaskondensering [5]. För fjärrvärmedistributionen innebär lägre systemtemperaturer lägre värmeförluster, mindre rörexansion, mindre risk för skällning och möjliggör användning av plaströr istället för stålrör [2]. Detta ökar effektiviteten i hela fjärrvärmesystemet [2].

Att fjärrvärme har ansetts vara ett bra alternativ för miljön har gjort att det inte har ställts lika höga krav på effektiviseringar som för andra tekniker [5]. På grund av striktare miljömål och en hårdare konkurrenssituation för fjärrvärme ställs högre

krav på fjärrvärmebolag att optimera sin verksamhet. Kunders inomhustemperatur behöver vara ungefär 20°C och tappvarmvatten 50°C [2]. Att framledningstemperaturen idag är ca $75\text{-}95^{\circ}\text{C}$ kan tyckas överflödigt. Denna höga nivå ska inte bara tillfredsställa kundernas värmebehov, utan även kompensera för fel i systemet och dessutom är uppvärmningssystemen i existerande byggnader vanligtvis byggda för dagens höga temperaturer [2]. I framtiden tros framledningstemperaturen kunna vara ca 50°C [2]. Vid lägre framledningstemperaturer måste även returtemperaturerna sjunka, för att upprätthålla en hög avkylning. Då avkylningen är låg krävs ett högt flöde. Lägre systemtemperaturer minskar temperaturmarginalerna för fel i systemet. För att nå de önskade temperaturnivåerna måste dessa systemfel minskas och komponenterna i fjärrvärmesystemet effektiviseras.

För kunder innebär fjärrvärme en bekväm, kontinuerlig och tillförlitlig värmeleverans. Det krävs ingen panna som tar upp plats eller utsätter byggnaden för en viss brand- och explosionsrisk. Detta kan dock urholka kunders kunskap om hur systemet fungerar, vilket gör att det blir svårare att kritiskt granska sin energianvändning och sitt energibolag. [3]

2.2 Kundanläggning

Figur 1 illustrerar inte bara hur fjärrvärme fungerar. Figurens fokus på kunden visar även att det till stor del är slutanvändaren och dess behov som är centralt för användningen av fjärrvärme. Tidigare har mycket fokus lagts på fjärrvärmenätet och produktionen, eftersom det är de delarna av systemet som fjärrvärmebolagen traditionellt äger och har rådighet över. På kundens sida finns en fjärrvärmecentral, ett uppvärmningssystem och ett tappvarmvattensystem. I denna studie används samlingsnamnet *kundanläggning*. Kundanläggningen ägs ofta av kunden och har därför legat utanför bolagets kontroll [2].

Uppvärmning

Värmetillförseln ska kompensera för värmeförlusterna ut genom byggnadens ytterskal, samt för uppvärmning av eventuell inkommande ventilationsluft [3]. Hur stort värmebehovet är beror främst på utetemperaturen, men också på hur välisolerat huset är. Utöver värmetillförsel från uppvärmningssystemet i byggnaden finns även intern värmetillförsel som värmeförluster från hushållsel, personers kroppsvärme och solinstrålning [3]. Utetemperaturen då den interna värmetillförseln är tillräcklig för uppvärmningen av byggnaden kallas balanstemperatur [3]. Denna är ofta ca 17°C , men i takt med att byggnader effektiviseras kommer denna temperatur att sjunka [6] och därmed också uppvärmningsbehovet. Detta examensarbete studerar flerbostadshus, vars uppvärmningssystem består av radiatorer med vatten som värmebärare.

Radiatorernas framlednings- och returtemperatur beror på den lokala utetemperaturen.

Tappvarmvatten

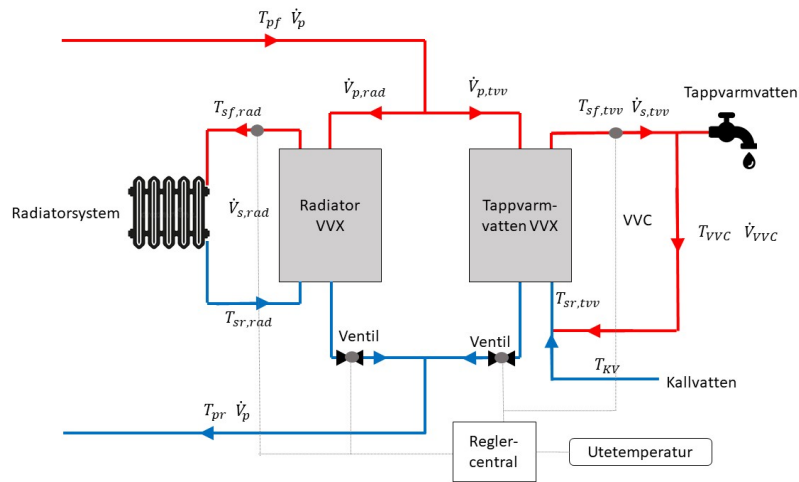
Värmeeffekten för tappvarmvatten beror på sociala aspekter som varmvattenbehov, istället för vilken utetemperatur det är för stunden. En typisk varmvattentemperatur ($T_{s,f,tvv}$) är 55°C , vilket krävs för att uppfylla temperaturkraven för legionella och samtidigt ligger under gränsen för skållning [3]. Legionella är ett släkte bakterier som kan finnas i vattenledningar och som via inandning av aerosoler kan leda till den allvarliga lunginflammationen legionärssjuka och den lindrigare pontiacfebern [7].

Trots att varmvattenbehovet inte direkt beror av utetemperaturen finns det en viss indirekt påverkan. Vårt beteende varierar efter årstider och utetemperaturer, vilket gör att varmvattenbehovet också varierar. Människor kan till exempel duscha varmare när det är kallt ute eller duscha oftare eller mer sällan under sommaren för att de blir svettigare respektive har semester. Studier har visat att det finns en säsongsvariation, som vanligtvis innebär ett högre varmvattenbehov under de kalla månaderna [3]. Eftersom det är en social värmelast är det svårt att säga exakt hur mycket och exakt varför. För vissa individer kan säsongsvariationen även vara den motsatta.

Tappvarmvatten kan värmas upp i en tank genom värmeackumulering, en förrådsberedare, vilket innebär att varmvatten lagras för att vara tillgängligt när det behövs, dock medför det även att varmvatten kan ta slut. I flerbostadshus (och även i nya kundanläggningar till små hus) värms tappvarmvatten dock upp i en genomströmningsberedare, vilket är en värmväxlare med genomströmmande flöde som motsvarar behovet. Denna metod ställer höga krav på kundanläggningens regleringsförmåga, eftersom tappvarmvattnet varierar snabbt och mycket, till skillnad från uppvärmningsbehovet av en byggnad. För att minska väntetiden på varmvatten kan lite varmvatten ständigt cirkulera i ledningarna. Att det ständigt cirkulerar varmt vatten i ledningarna gör att det finns en del värmeförluster [3]. 50°C är kravet på lägsta temperaturnivån i varmvattencirkulationen, för att minimera risken för legionella [7]. Ett konstant flöde finns i varmvattencirkulationen (VVC) som i början är 55°C , men som sjunker till 50°C [7]. Varmvattencirkulationen blandas med kallvatten innan det återvänder till värmväxlaren.

Fjärrvärmecentralen

Fjärrvärmecentralens funktion är att föra över värme från fjärrvärmenätet till byggnadens eget uppvärmnings- och tappvarmvattensystem, reglera värmeförsel efter behov samt stänga av flödet vid driftstörningar [3].



Figur 2: En principiell illustration av en kundanläggning

Fjärrvärmecentralen består av flera olika komponenter. Figur 2 ger en översiktlig bild av en parallellkopplad fjärrvärmecentral. Den har vanligtvis två värmeväxlare, en för radiatorsystemet och en för tappvarmvattensystemet, temperaturgivare som mäter framlednings-, retur- och utetemperaturen och flödesmätare som mäter primära och sekundära flöden. Denna data används i regleringssystemet som reglerar flödet och framledningstemperaturen till radiatorsystemet efter behov. Utöver dessa komponenter finns kablar, ventiler, tryckmätare, cirkulationspumpar och rör. Det är alltså ett komplext system där många komponenter måste vara synkade. [9]

En fjärrvärmecentral kan kopplas antingen med en parallellkoppling eller en kaskadkoppling. Parallellkoppling är det som beskrivs ovan och visas i Figur 2. Kaskadkoppling innebär att värmeväxlarna eller kretsarna på den sekundära sidan kopplas på ett visst sätt för att öka avkylningen. En kaskadkoppling är mer avancerad och kräver fler komponenter än en parallellkoppling. Tidigare har detta komplexa system varit lönsamt, eftersom temperaturnivåerna var högre och det gick att få ut mer av en ökad avkylning, men i takt med sjunkande temperaturnivåer blev kaskadkopplingen mindre och mindre lönsam och idag är det vanligare med parallellkoppling. Detta motiverar examensarbetets avgränsning till att modellera och studera parallellkopplade fjärrvärmecentraler. [3]

2.3 Metoder för identifiering av fel hos kundanläggningar

I takt med ökad effektivisering och sänkta systemtemperaturer minskar marginalerna för fel i fjärrvärmesystemet. Det behövs göras förbättringar hos kundanläggningar för att nå lägre systemtemperaturer. Att hitta avvikelser och identifiera dess orsaker är viktigt eftersom icke fungerande kundanläggningar leder till inkorrekt fakturering och onödigt hög energiförbrukning. För att överhuvudtaget kunna avgöra om fel finns och för att kunna fakturera kunder rätt behöver mätningarna som görs

vara korrekta. Det är också viktigt för att reglersystemet ska fungera som det ska, eftersom regleringen i kundanläggningen bygger på mätvärden. Det blir också ökade krav på att hålla koll på förbrukningen, vilket kräver korrekta mätningar. [9]

Trots att metoder för felsökning av kundanläggningar har studerats i över 20 år är det bara ett fåtal metoder som används. Vissa framtagna metoder är lovande men är för komplexa för att användas i stor skala. Andra metoder kräver data som generellt inte finns att tillgå. [9]

Anledningen till att metoderna som tas fram är för komplexa är att det helt enkelt är en väldigt komplicerad process att identifiera fel i kundanläggningar. Värmelaster varierar på ett sätt som är svårt att förutse, utrustningen som är installerad idag är till för debitering och reglering och inte för att identifiera fel och det finns väldigt många möjliga orsaker till felet eftersom det finns många komponenter som kan gå sönder eller ändra beteende över tid [9].

Moderna energistyrningssystem har integrerat alarm och varningsfunktioner och verktyg för datavisualisering som används av operatörerna för att upptäcka fel. Vanligtvis tas det fram gränser manuellt för accepterat flöde, temperatur eller energianvändning för att upptäcka avvikelser. Detta är riskabelt då för lösa gränser kan leda till att fel går oupptäckta, medan för hårda gränser kan innebära falska alarm, vilket kan bli dyrt och tidskrävande att hantera. Därför används ofta lösa gränser och fel går därmed oupptäckta och kunder debiteras för högt. Att kunderna inte får det de betalar för kan ge oönskade effekter på hela fjärrvärmebranschen. Det behövs automatiserade metoder som kan implementeras i det existerande fjärrvärmesystemet. Detta krävs också för att nå upp till ökade krav på minskad energiförbrukning och möjlighet att hålla koll på förbrukning. [9]

Kundanläggningen ägs ofta inte av fjärrvärmebolaget, utan av kunden [9]. Därför är information från den sekundära sidan av fjärrvärmecentralen ofta inte tillgänglig för energibolaget och fel upptäcks inte förrän sent. Kunden upptäcker ett fel först när det gått så långt att dess komfort påverkas, vilket kan vara långt efter felet har haft betydande påverkan på resten av fjärrvärmesystemet. En typisk mätare består av två temperaturgivare, en flödesmätare och en dator som beräknar energianvändningen på den primära sidan av värmeväxlaren [9]. Detta ger mätvärden för framlednings och returtemperaturen, flödet och energianvändningen på den primära sidan.

Baskrav för att en metod för felidentifiering ska kunna implementeras storskaligt i ett fjärrvärmesystem är följande [9]:

- Bara bero på information och mätningar som vanligtvis finns tillgängligt
- Ska underlätta för att hitta fel och orsak
- Ska innebära ett minimalt behov av mänskligt involverande efter implementering.

Om dessa baskrav inte uppfylls kräver metoden för stora investeringar för att bli användbar i praktiken. Det är det som är problemet med många framtagna metoder.

Målet med felidentifiering är att hitta avvikelser och dess orsak innan de gör stor skada. Tre nyckelprocesser i denna process är [16]:

1. Upptäcka fel: upptäcka att det finns en avvikelse
2. Isolera fel: isolera var avvikelsen sker
3. Identifiera fel: identifiera orsak till avvikelsen

Efter detta behövs det tas ställning till vilken åtgärd som ska göras.

Metoder för felidentifiering kan delas in i tre kategorier beroende på vad de är baserade på: kvalitativa, kvantitativa och historiska. Både kvalitativa och kvantitativa bygger på fysikaliska samband, men skillnaden är att kvantitativa modeller bygger på kvantitativa matematiska samband som bygger på fysiken kring processen medan kvalitativa bygger på kvalitativa samband hämtade från kunskap och erfarenhet av fysiken [16]. Den tredje gruppen bygger på historisk data.

- **Kvantitativ modell:** Användningen av kvantitativa modeller ökade då komplexiteten av regleringssystemet och användningen av datorer ökade [16]. Fördelen med denna typ av modell är att den bygger på fysikaliska lagar och när den är välgjord ger den det mest korrekta svaret [16]. Det går att växla mellan att modellera ett fungerande och icke fungerande system genom att ändra de kvantitativa parametrarna [16]. Nackdelar med denna typ av modell är att den kan vara komplex, kräva mycket beräkningar och arbete och den kräver ofta mycket data, som ibland inte finns tillgänglig [16]. Det går dock att göra kvantitativa modeller mindre komplexa genom att använda förenklade fysikaliska samband och göra välmotiverade antaganden.
- **Kvalitativ modell:** Kvalitativa modeller utgår också från fysikaliska samband, men istället för att utgå från kvantitativa parametrar och statistik bygger de på erfarenhet. Istället för att ge kvantifierbar utdata, ger en kvalitativ modell en benämning på hur resultatet ska tolkas, till exempel över eller under en bestämd gräns. Fördelar med denna typ av modell är att den passar bra för att hantera mycket data, är enkel att ta fram och applicera och det är lättare att resonera kring resultatet då det presenteras med en benämning istället för siffror. I vissa fall behövs inte exakta siffror på indata och parametrar för att kunna ge ett resultat. Nackdelar med denna typ av modell är att den är specifik för ett system eller process, det kan bli för mycket förenklingar och det krävs en expert för att ta fram dem. Dessa modeller är lättare att implementera i verkligheten, då de innebär genvägar och förenklingar och andra modeller kan vara för tidskrävande och för dyra för att faktiskt komma till användning. [16]

- **Historiskt baserade modeller:** Denna typ av modell använder sig av historisk data för att beräkna eller uppskatta hur ett system bör fungera. Detta görs med hjälp av till exempel sannolikhetslära [16]. En historiskt baserad modell skulle kunna tas fram med *machine learning*. *Machine learning* består av algoritmer som automatiskt upptäcker mönster hos stora mängder empirisk data [17]. Eftersom energibehov från fjärrvärme beror på sociala faktorer och är svårt att förutse har *machine learning* blivit ett attraktivt verktyg för att kunna ta tidigare beteenden i beaktning [17]. Det är viktigt att utvärdera algoritmerna som används efter hur känsliga, korrekta och precisa resultat de ger.

Fördelar med denna typ av modell är att den kan användas för system och processer som inte har välutvecklade framtagna fysikaliska samband, den passar för att hantera mycket data, ofta behövs det inte mycket kunskap om systemet och den är ofta inte allt för tekniskt komplex. Nackdelar är att det behövs mycket data både från fungerande och icke fungerande system, ofta går det inte att extrapolera längre än vad det finns tillgänglig data för och modellerna är specifika till ett system. [16]

Fjärrvärmebolag behöver ändra sitt sätt att jobba med felidentifiering. Barriärer som behöver korsas är kunskapsbrist, interna problem då stora delar av företaget involveras och överlappande arbetsområden för säljare och tekniker [2]. Det krävs samarbete mellan flera olika expertiser och en förståelse för att ett kontinuerligt arbete med att identifiera fel skulle påverka hela fjärrvärmesystemets effektivitet [2]. För att nå de låga temperaturer som önskas till den fjärde generationens fjärrvärme krävs en utveckling inom detta område, både genom kunskapsutveckling och genom mer noggranna mätningar.

2.4 Fel hos kundanläggningar

En kundanläggning består av många olika komponenter, vilket innebär att det finns många möjliga orsaker till de avvikelser som uppstår. I fjärrvärmecentralen kan det vara ventiler, flödesmätare och temperaturgivare som inte fungerar som de ska eller felaktig installation av kundanläggningen och tillhörande instrument. Värmeväxlare, ventiler och rör kan läcka. Det kan även uppstå avvikelser i radiatorsystemet och tappvarmvattensystemet. Alla dessa fel kan påverka kundanläggningens effektivitet på flera sätt. [9]

Timvärden, som mätvärden idag ofta är, är inte tillräckliga för att hitta vissa fel och gör det också svårt att isolera tappvarmvattenanvändningen då den sker under korta stunder och är svår att förutse. Detta gör att mätvärden delvis är stokastiska och bidrar till att försvåra processen för att ta fram korrekta modeller för felidentifiering av kundanläggningar. [9]

Avvikelser hos kundanläggningar kan delas upp i tre kategorier [2]:

- Fysiska avvikelser, orsakade av till exempel läckor och som påverkar kunders komfort genom undermålig uppvärmning eller brist på varmvatten
- Kända avvikelser, men med oidentifierad orsak på grund av att det är för tidskrävande att identifiera dem
- Avvikelser som behöver nya metoder för att kunna identifieras. Inkluderar fel orsakade av mänskliga faktorer, som felinställningar

Den första kategorin är den som fått uppmärksamhet i fjärrvärmeindustrin och de som kan upptäckas vid E.ON:s tekniska besiktning och servicebesök, men för att kunna sänka systemtemperaturerna och öka hela fjärrvärmesystemets effektivitet bör de två senare kategorierna tas an. För det krävs automatiska kontinuerliga kontroller av kundanläggningar. [2]

I Gadds och Werners studie [2] visade det sig att 74% av de undersökta fjärrvärme-centralerna hade något typ av fel. Om systemtemperaturerna inte hade behövt kompensera för dessa fel hade framlednings- och returtemperaturen kunnat vara 70°C respektive 35°C istället för 75-95°C respektive 40-50°C som de är idag. Eftersom felen kompenseras av höga systemtemperaturer märker inte kunderna en minskad komfort på grund av felen. Men med minskande temperaturmarginaler ställs högre krav på systemet för att kundens komfort ska upprätthållas. Då det ställs högre krav på systemet krävs en kontinuerlig automatisk kontroll av kundanläggningen, för att finna fel snabbt och spara arbetstimmar då service kan fås vid behov istället för vid förutbestämda tider. Dessa kontroller bör inte bara fokusera på kundernas komfort, vilket normalt är fallet idag, utan även fjärrvärmesystemets effektivitet i sin helhet.

3 Teori

Detta kapitel ger en kundanläggnings fysiska samband och egenskaper. Det ger en beskrivning av de tekniska förutsättningar som arbetet bygger på och ger den kunskap som krävs för att förstå och dra nytta av arbetet.

I denna studie består kundanläggningen av en fjärrvärmecentral, ett radiator-system och ett tappvarmvattensystem. Byggnadens uppvärmningsbehov beror på utetemperaturen, eftersom radiatorsystemet ska kompensera för de värmeförluster som sker ut genom byggnadens ytterskal. Hur stora dessa värmeffluster är beror på skillnaden mellan utetemperatur och önskad innetemperatur, samt hur välisolerat byggnaden är. Värmebehovet till tappvarmvattenberedningen beror på varmvattenbehovet, som beror på sociala aspekter som beteenden och är därför svårt att förutse. I denna studie är fjärrvärmecentralerna parallellkopplade och har två värmeväxlare, en till radiatorsystemet och en till tappvarmvattensystemet. Framledningstemperaturen till de båda värmeväxlarna är samma och bestäms av fjärrvärmebolaget. Hur stort flödet till varje värmeväxlare är beror på hur stort uppvärmnings- respektive tappvarmvattenbehovet är.

3.1 Radiatorsystem

Radiatorsystemet ska tillföra värme till byggnaden för att kompensera för värmeförluster genom ytterskalet och förse byggnaden med en god termisk komfort. Värmeöverföring från radiatorsystemet till luften sker genom strålning, ledning och konvektion [11]. Eftersom värmeöverföringen sker till en gas är värmeöverföring genom ledningen försumbar [11]. Alltså gäller följande för värmeöverföringen från en radiator:

$$\dot{Q}_{rad} = \dot{Q}_{strålning} + \dot{Q}_{ledning} + \dot{Q}_{konvektion} \approx \dot{Q}_{strålning} + \dot{Q}_{konvektion} \quad (1)$$

Strålningen och konvektionen kan sammanfattas med en radiatorexponent, n , som är individuell för varje radiator, men brukar variera mellan 1.1 och 1.4 [10].

Truschel har kommit fram till att ett lämpligt värde att ansätta n till är 1.33 och därför är det detta värde som används även i denna studie [10]. Vid användning av radiatorexponenten blir ekvationen för radiatorsystemets värmeeffekt:

$$\dot{Q}_{rad} = U_{rad}A_{rad} \cdot LMTD^n \quad (2)$$

Där den logaritmiska medeltemperaturen, $LMTD$, är:

$$LMTD = \frac{(T_{s,f} - T_{inne}) - (T_{s,r} - T_{inne})}{\ln \frac{T_{s,f} - T_{inne}}{T_{s,r} - T_{inne}}} \quad (3)$$

Ett annat sätt att beskriva värmeeffekten är [12]:

$$\dot{Q}_{rad} = \rho \dot{V}_s c_p (T_{s,f} - T_{s,r}) \quad (4)$$

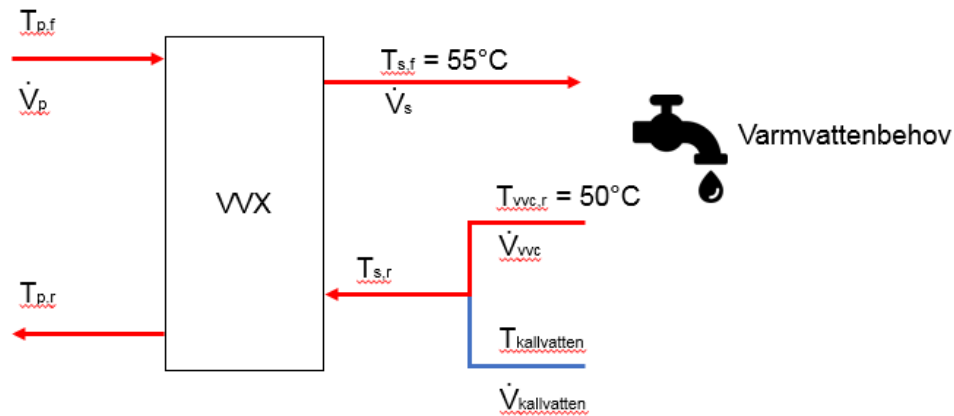
Där	\dot{Q}_{rad}	=	Radiatorsystemets värmeeffekt till byggnaden [kW]
	U_{rad}	=	Radiatorsystemets värmegenomgångskoefficient [kW/m ² , °C]
	A_{rad}	=	Radiatorsystemets totala värmeöverföringsarea [m ²]
	$LMTD$	=	Radiatorsystemets logaritmiska medeltemperaturdifferens [°C]
	n	=	Radiatorexponent (=1.33)
	$T_{s,f}$	=	Framledningstemperatur till fjärrvärmecentralens sekundärsida [°C]
	$T_{s,r}$	=	Returtemperatur från fjärrvärmecentralens sekundärsida [°C]
	T_{inne}	=	Önskad inomhustemperatur [°C]
	\dot{V}_s	=	Flöde på den sekundära sidan av fjärrvärmecentralen, här radiatorsidan [m ³ /s]
	ρ	=	Fjärrvärmevattnets densitet (=985 kg/m ³)
	c_p	=	Fjärrvärmevattnets specifika värmekapacitet (≈ 4.18 kJ/kgK)

Ekvation 2 och 4 bildar tillsammans ekvationssystemet:

$$\dot{Q}_{rad} = \begin{cases} [UA]_{rad} \cdot LMTD^n \\ \rho \dot{V}_s c_p (T_{s,f} - T_{s,r}) \end{cases} \quad (5)$$

3.2 Tappvarmvattensystemet

Tappvarmvattensystemet visas i Figur 3. Den sekundära returtemperaturen tappvarmvattensystemets värmeväxlare är en blandningstemperatur av VVC:n och inkommande kallvatten. Hur stort VVC-flödet är har stor inverkan på blandningstemperaturen eftersom det avgör hur stor del av det inkommande sekundära flödet som är ca 10°C och hur stor del som är 50°C.



Figur 3: En principiell skiss över en tappvarmvattenkrets och dess värmeväxlare.

Effektbehovet för uppvärmningen av VVC och kallvatten i värmeväxlaren kan beräknas med följande ekvation:

$$\dot{Q}_{vv} = \rho \dot{V}_s c_p (T_{s,f} - T_{s,r}) \quad (6)$$

Där det sekundära flödet och returtemperaturen beräknas med:

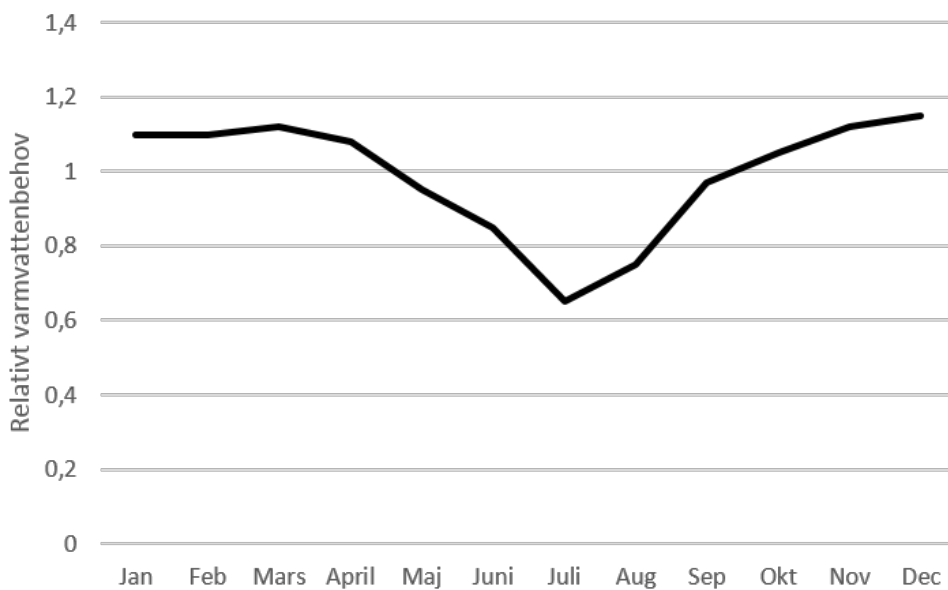
$$\dot{V}_s = \dot{V}_{vvc} + \dot{V}_{kallvatten} \quad (7)$$

$$T_{s,r} = \frac{T_{kallvatten} \dot{V}_{kallvatten} + T_{vvc} \dot{V}_{vvc}}{\dot{V}_{kallvatten} + \dot{V}_{vvc}} \quad (8)$$

Effekten som krävs för att värma upp tappvarmvatten är inte helt oberoende av årstid och utetemperatur. Temperaturen på kallvattnet varierar över året, beroende på var det kommer ifrån. Om det tas från grundvattnet är temperaturen näst intill konstant, men om sjövattnet används finns det en lätt säsongsvariation i temperaturen [3]. Den genomsnittliga årliga kallvattentemperaturen brukar vara ca 10°C [13].

Tappvarmvattenlast

Figur 4 visar varmvattenbehovets säsongsvariation. Den är framtagen från två olika studier Werner (1984) och Aronsson (1996) [3].



Figur 4: Varmvattenbehovets säsongsvariation i form av ett medelvärde av två olika studier: Werner (1984) och Aronsson (1996).

VVC

Varmvattencirkulation i byggnader finns för att nå kortare väntetid för varmt vatten. VVC innebär att det finns ett konstant flöde av varmvatten i ledningar, vilket medför oundvikliga värmeförluster. I Energimyndighetens kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus (2015) varierar VVC-förlusterna mellan 2.3 och 28 kWh/m²,år. Det finns inte någon tydlig koppling mellan byggår och vilka byggnader som har större förluster. I studien var det två nybyggda byggnader som hade störst VVC-förluster. En bidragande orsak till att nya byggnader kan ha höga VVC-förluster kan vara att det ställs högre krav på kort väntetid, som idag är max 10 sekunder jämfört med de tidigare 30 sekunderna. Det finns även ibland krav på att det ska ske individuella mätningar av varmvattenanvändning. Detta görs ofta möjligt genom att rör för varmvatten och kallvatten dras till de olika tappställena i respektive lägenhet från ett rörschakt i anslutning till trapphuset. För att minska väntetiderna installeras det en VVC-ledning mellan schaktet och tappstället, vilket ger ökade VVC-förluster. Lägre hus innebär längre ledningar per uppvärmd golvyta jämfört med höga hus. Vilket också ger högre förluster i kWh/m²,år. [14]

Isolering av VVC-rör kan göra stor skillnad. Ett rör med diametern 15 mm kan ha en femtedel så stora värmeförluster om det isoleras med en 20 mm rörskål av mineralull och en tiondel så stora om det isoleras med en 100 mm rörskål av mineralull, jämfört med ett oisolerat rör [14].

För nya byggnader brukar 4 kWh/m²,år användas som schablonvärde för VVC-förluster [14]. I Energimyndighetens kartläggning av flerbostadshus ligger dock bara

ett hus under detta värde. Ändå ligger detta schablonvärde över 1-2 kWh/m²,år, som anses vara möjligt med dagens teknik [15].

Värme från VVC-förluster skulle kunna tänkas bidra till uppvärmningen av huset, istället för att gå förlorade. Men ofta är det bara en väldigt liten del av förlusterna som byggnader kan ta vara på. Värmeförlusterna går istället vanligtvis ner i marken från rörschakten, eller via ventilationen ut från taket [14].

Hur stort VVC-flödet behöver vara beror på hur stora värmeförlusterna från VVC-rören är. Ju större förluster, desto högre flöde för att kunna upprätthålla tillräckligt hög temperatur på vattnet.

Värmeförluster från VVC:n skulle kunna mätas genom att kundanläggningens effektbehov, då det varken sker någon uppvärmning eller tappning av varmvatten, mäts. När detta sker är generellt inte möjligt att exakt avgöra, men troligtvis infaller det under en sommarnatt då temperaturen är tillräckligt hög för att ingen uppvärmning ska ske och boende sover och inte använder något tappvarmvatten. VVC-flödet kan med denna metod beräknas med följande ekvation:

$$\dot{V}_{vvc} = \frac{\dot{Q}_{min}}{\rho c_p (T_{sf} - T_{vvc})} \quad (9)$$

- Där \dot{V}_{vvc} = VVC-flöde [m³/s]
 \dot{Q}_{min} = effektbehov då det varken sker någon uppvärmning eller varmvattenanvändning [kW]
 T_{sf} = varmvattnets temperatur (den sekundära framledningstemperaturen) (= 55°C)
 T_{vvc} = VVC:ns temperatur (= 50°C)

3.3 Värmeväxlare

Värmeöverföringen i fjärrvärmecentraler sker via värmeväxlare, en för radiatorsystemet och en för tappvarmvattensystemet.

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{Q}_{vvx,rad} + \dot{Q}_{vvx,tvv} \quad (10)$$

Den överförda värmeeffekten mellan primär- och sekundärsidan i en värmeväxlare beräknas med [12]:

$$\dot{Q}_{vvx} = U \cdot A \cdot LMTD \quad (11)$$

- Där \dot{Q}_{vwx} = Överförd värmeeffekt i värmeväxlaren [kW]
 U = Värmeöverföringskoefficienten [$\text{kW}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$]
 A = Värmeöverföringsarea [m^2]
 $LMTD$ = Logaritmisk medeltemperaturdifferens

Den logaritmiska medeltemperaturdifferensen för en värmeväxlare är [12]:

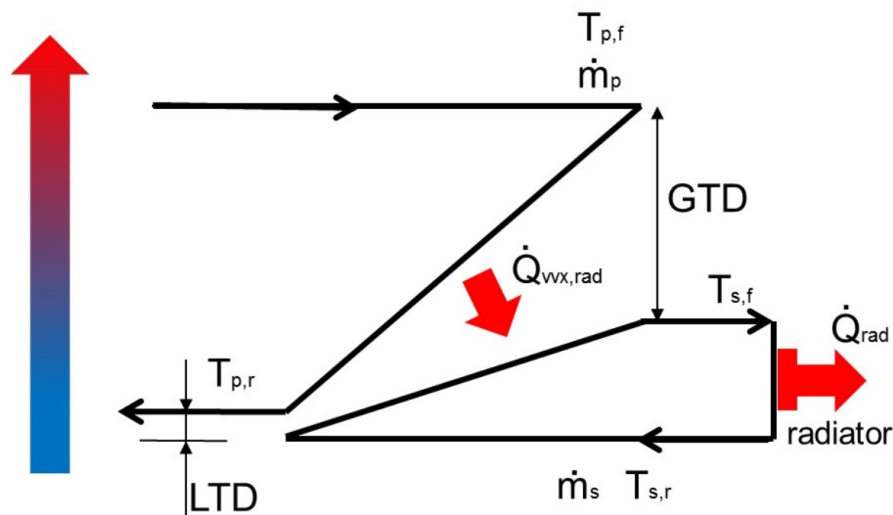
$$LMTD = \frac{GTD - LTD}{\ln \frac{GTD}{LTD}} \quad (12)$$

$$GTD = T_{p,f} - T_{s,f} \quad (13)$$

$$LTD = T_{p,r} - T_{s,r} \quad (14)$$

- Där $T_{p,f}$ = Framledningstemperatur till fjärrvärmecentralens primärsida [$^\circ\text{C}$]
 $T_{s,f}$ = Framledningstemperatur till fjärrvärmecentralens sekundärsida [$^\circ\text{C}$]
 $T_{p,r}$ = Returtemperatur från fjärrvärmecentralens primärsida [$^\circ\text{C}$]
 $T_{s,r}$ = Returtemperatur från fjärrvärmecentralens sekundärsida [$^\circ\text{C}$]

Figur 5 illustrerar värmeöverföringen från fjärrvärmenätet till radiatorsystemet i en värmeväxlare och de olika temperaturerna nämnda ovan.



Figur 5: Värmeöverföring från fjärrvärmenätet till radiator-systemet och från radiatorsystemet till byggnaden

Ekvation 13 och 14 insatt i Ekvation 12 blir:

$$LMTD = \frac{(T_{p,f} - T_{s,f}) - (T_{p,r} - T_{s,r})}{\ln \frac{T_{p,f} - T_{s,f}}{T_{p,r} - T_{s,r}}} \quad (15)$$

I Ekvation 11 beror värmeöverföringen på $LMTD$, värmeöverföringskoefficienten U och värmeöverföringsarean A . Arealen är konstant och värmeöverföringskoefficienten består av en konstant och en flödesberoende del. Värmeöverföringsarean och den konstanta delen av värmeöverföringskoefficienten bildar värmeväxlarens värmeöverföringskonstant K . Tillsammans med den flödesberoende delen av U kan då värmeövergången skrivas som Ekvation 16 [12]:

$$\dot{Q}_{vwx} = \frac{1}{\frac{1}{(\rho\dot{V}_p)^p} + \frac{1}{(\rho\dot{V}_s)^p}} \cdot K \cdot LMTD \quad (16)$$

- Där \dot{V}_p = Flödet på fjärrvärmecentralens primärsida [m^3/s]
 \dot{V}_s = Flödet på fjärrvärmecentralens sekundärsida [m^3/s]
 ρ = Vattens densitet ($\approx 985 \text{ kg}/\text{m}^3$)
 p = En konstant ($=0.75$)
 K = Värmeväxlarens värmeöverföringskonstant

Om inga värmeförluster sker kan värmeöverföringen i värmeväxlaren också beräknas genom [12]:

$$\dot{Q}_{vwx} = \rho\dot{V}_p c_p (T_{p,f} - T_{p,r}) \quad (17)$$

- Där c_p = Fjärrvärmevattnets specifika värmekapacitet ($\approx 4.18 \text{ kJ}/\text{kgK}$)

Ekvation 16 och 17 bildar tillsammans ekvationssystemet:

$$\dot{Q}_{vwx} = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{(\rho\dot{V}_p)^p} + \frac{1}{(\rho\dot{V}_s)^p}} \cdot K \cdot LMTD \\ \rho\dot{V}_p c_p (T_{p,f} - T_{p,r}) \end{cases} \quad (18)$$

Som går att se i Figur 2 slås de primära returflödena från kundanläggningens båda värmeväxlare ihop till ett gemensamt primärt returflöde. De två flödena har olika temperaturer och tillsammans får de en blandningstemperatur som blir kundanläggningens gemensamma returtemperatur:

$$T_{retur} = \frac{\dot{V}_{vwx,rad} T_{rad,retur} + \dot{V}_{vwx,tvv} T_{tvv,retur}}{\dot{V}_{vwx,rad} + \dot{V}_{vwx,tvv}} \quad (19)$$

3.4 Dimensionerad data

Varje fjärrvärmecentral är inställd på ett temperaturprogram, som anger framlednings- och returtemperaturerna på den primära och sekundära sidan, effektbehovet och det primära och sekundära flödet ($T_{p,f}, T_{p,r}, T_{s,f}, T_{s,r}, \dot{Q}, \dot{V}_p$ och \dot{V}_s) för radiatorsystemets värmeväxlare vid den dimensionerade utetemperatur och för tappvarmvattnets värmeväxlare vid maximalt flödesbehov för tappvarmvatten. Detta temperaturprogram finns i kundanläggningens specifikation och skrivs ut som $T_{p,f} - T_{p,r}/T_{s,r} - T_{s,t}$, eller exempelvis 100-36.2/35-55 för radiatorsystemets värmeväxlare och 60-20/55-10 för tappvarmvattensystemets värmeväxlare.

Den dimensionerade utetemperatur, T_{dim} , är den lägsta utetemperatur som tas i beaktning vid framtagning av den dimensionerade värmeeffekten för uppvärmning i en byggnad [18]. E.ON använder -15°C som sin dimensionerade utetemperatur i Malmö [19] och det är denna temperatur som används i denna studie.

Maximalt flödesbehov för tappvarmvatten innebär att allt tappvarmvatten används och blandningstemperaturen eller den sekundära returtemperaturen är 10°C . Detta infaller generellt aldrig, men det är det man utgår ifrån vid dimensioneringen.

Med hjälp av kundanläggningens temperaturprogram kan egenskaper för dess två värmeväxlare och tillhörande radiatorsystem beräknas.

Både radiatorsystemets värmegenomgångskoefficient och värmeöverföringsarea antas vara konstanta. De kan beräknas med hjälp av radiatorsystemets temperaturprogram och Ekvation 2:

$$[UA]_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad, T_{dim}}}{LMTD_{T_{dim}}^n} \quad (20)$$

Där $\dot{Q}_{rad, T_{dim}}$ = Effektbehovet för radiatorsystemet vid T_{dim} [kW]
 $LMTD_{T_{dim}}$ = Logaritmiska medeltemperaturdifferensen vid T_{dim}

Värmeväxlarnas värmeöverföringskonstanter, K , kan beräknas med fjärrvärmecentralens temperaturprogram och Ekvation 16:

$$K = \frac{\dot{Q}_{T_{dim}} \cdot \frac{1}{(\rho\dot{V}_p)^p} + \frac{1}{(\rho\dot{V}_s)^p}}{LMTD_{T_{dim}}} \quad (21)$$

Där $\dot{Q}_{T_{dim}}$ = Effektbehovet vid T_{dim} [kW]
 $LMTD_{T_{dim}}$ = Logaritmiska medeltemperaturdifferensen vid T_{dim}
 K = Värmeväxlarens värmeöverföringskonstant

4 Metod

Detta kapitel beskriver de använda metoderna i arbetet. De består av en litteraturstudie, en modelluppbyggnad och studiebesök.

4.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes för att få den kunskap som krävs för att bygga en modell av en kundanläggning, samt besvara Frågeställning 4: *Vilka slags analyser av termisk funktion - som kan säga något om prestandan på en nyinstallerad kundanläggning - kan göras genom att jämföra en teoretisk modell av en kundanläggning med verklig mätdata?*

Gadd och Werner (2015) och Averfalk och Werner (2017) gav en inblick i vilka utmaningar fjärrvärmeindustrin står inför och hur fokus behöver läggas på kundanläggningen för att uppnå de förändringar som behövs. Gadd och Werner (2015), Brambley och Katipamula (2004), Idowu (2018) och Sandin (2012) gav en inblick i processen att identifiera fel hos kundanläggningar, samt vad det skulle innebära för hela fjärrvärmesystemet om felidentifikationer kan göras på ett effektivt sätt. Detta besvarar Frågeställning 4: *Vilka slags analyser av termisk funktion - som kan säga något om prestandan på en nyinstallerad kundanläggning - kan göras genom att jämföra en teoretisk modell av en kundanläggning med verklig mätdata?*

Wollerstrands (1997) doktorsavhandling gav en teoretisk grund för en kundanläggnings fysiska egenskaper. Denna kunskap ligger till grund för studiens teoretiska modell.

4.2 Information om kundanläggningar

För att kunna besvara Frågeställning 1: *Vilken besiktning gör E.ON i nuläget av sina kunders kundanläggningar?* gjordes ett studiebesök hos en av E.ON:s tekniker. En genomgång av fjärrvärmecentralspecifikationer och sammanställd information om E.ON:s kunder gav svar till Frågeställning 2: *Vilken indata finns att tillgå till modellen från E.ON:s insamlade data från kunders kundanläggningar?*

För att få en inblick i hur E.ON besiktigar sina kunders kundanläggningar i nuläget gjordes ett studiebesök vid ett serviceärende hos en av E.ON:s kunder. Studiebesöket ägde rum den 11 april 2018 och bestod av en intervju av servicetekniker Ulf Andersson, samt utförande av ett serviceärende under uppsyn. Efter mötet besvarades kompletterande frågor av Per Wilen, teknisk samordnare på E.ON Energilösningar AV, via mail. Detta gav information för att kunna besvara Frågeställning 1: *Vilken besiktning gör E.ON i nuläget av sina kunders kundanläggningar?*

Uppgifter som finns tillgänglig från E.ON sammanställs från E.ON:s specifikationer för sina kunders fjärrvärmecentraler och mätdata från E.ON:s interna datahanteringssystem DISA. I vissa fall finns ytterligare information i form av energikartläggningar av byggnader, dessa finns dock bara tillgänglig för en av de studerade kundanläggningarna. De sammanställda uppgifterna gav ett svar till Frågeställning 2: *Vilken indata finns att tillgå till modellen från E.ON:s insamlade data från kunders kundanläggningar?*

4.3 Modellering

En teoretisk modell av en kundanläggning togs fram för att kunna besvara Frågeställning 3: *Är indatan till modellen och modellen i sig tillräckliga för att avgöra om det finns en avvikelse hos kundanläggningen som bör följas upp och vad avvikelsen beror på?* och Frågeställning 4: *Vilka slags analyser av termisk funktion - som kan säga något om prestandan på en nyinstallerad kundanläggning - kan göras genom att jämföra en teoretisk modell av en kundanläggning med verklig mätdata?*

En kundanläggnings fysiska egenskaper och samband sammanställdes med hjälp av litteraturstudien. Indatan till den teoretiska modellen kommer från de dimensionerade värdena i fjärrvärmecentralers specifikationer, samt E.ON:s insamlade mätdata. Mätdata för framledningstemperaturen och uttemperaturen användes som indata i modellen, eftersom de är oberorende av kundanläggningens prestation. Resten av mätdata användes senare vid jämförelsen med verkligheten.

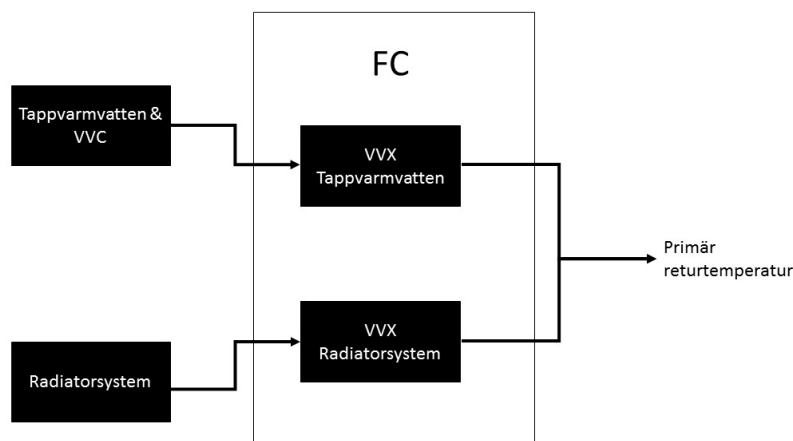
Modellen togs fram i programmet R-studio. Excel kan också användas, vilket innebär att fler kan använda modellen eftersom fler har tillgång till Excel. Trots det användes R-studio i denna studie, eftersom det programmet ansågs smidigare då det är stora datamängder som analyseras. För att fler ska kunna använda modellen gjordes ett användargränssnitt i Excel, som gör att användaren inte behöver ändra något i koden i R-studio, och därför inte behöver kunna det språket. Användaren använder Excel för att hantera alla in- och utdata, men behöver ha R-studio installerat för att köra modellens kod.

Modellen används för att utvärdera sex olika nyinstallerade kundanläggningar i denna studie. Anledningen till att de sex analyserade kundanläggningarna väljs ut är att det är de kundanläggningar som fås tillgång till från E.ON, som är nyinstallerade och som anses ha tillräcklig och trovärdig mätdata för en jämförelse mellan teoretisk modell och verklig kundanläggning. Modellen utvärderas genom att de simulerade returtemperaturerna jämförs med uppmätta returtemperaturer på tim- och dygnsbasis för samma kundanläggning under samma år. Jämförelsen sker genom en manuell analys och resultatet från denna analys besvarar Frågeställning 3: *Är indatan till modellen och modellen i sig tillräckliga för att avgöra om det finns en avvikelse hos kundanläggningen som bör följas upp och vad avvikelsen beror på?*

Det kompletterar även svaret till Frågeställning 4: *Vilka slags analyser av termisk funktion - som kan säga något om prestandan på en nyinstallerad kundanläggning - kan göras genom att jämföra en teoretisk modell av en kundanläggning med verklig mätdata?*

5 Uppbyggnad av modell

Detta kapitel beskriver uppbyggnaden av den teoretiska modellen av en kund-anläggning. Indata och utdata presenteras.



Figur 6: Modellens uppbyggnad.

Figur 6 visar hur den teoretiska modellen är uppbyggd. Den är uppdelad i tre delmodeller, likt en kundanläggning: ett radiatorsystem, ett tappvarmvattensystem och en fjärrvärmecentral med dess två parallellkopplade värmeväxlare. Modellen av radiatorsystemet tar fram hur framlednings- och returtemperaturen till radiatorerna beror på utetemperaturen. Det blir indata till modellen av tillhörande värmeväxlare tillsammans med fjärrvärmesystemets verkliga framledningstemperaturer och utetemperaturer under ett år. Modellen av tappvarmvattensystemet tar fram en veckoprofil av varmvattenbehovet och applicerar den på det aktuella året. Denna ger returtemperaturen från tappvarmvattensystemet varje timme under året, som används i tillhörande modellerad värmeväxlare på liknande sätt som för radiatorsystemet. De båda värmeväxlarnas returtemperaturer viktas och ger kundanläggningens gemensamma returtemperatur.

5.1 Indata och utdata

Indatan till modellen kommer från kundanläggningens specifikation där temperaturprogrammet för uppvärmning står angivet. Det anger indata för kundanläggningens egenskaper, som:

- Dimensionerad $T_{p,f}$ för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}

- Dimensionerad $T_{p,r}$ för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}
- Dimensionerad $T_{s,f}$ för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}
- Dimensionerad $T_{s,r}$ för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}
- Dimensionerad \dot{Q} vid T_{dim}
- Dimensionerad \dot{V}_p för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}
- Dimensionerad \dot{V}_s för fjärrvärmecentralens två värmeväxlare vid T_{dim}

Fastighetens uppvärmda yta finns i ett Excel-ark med data rörande den aktuella fastighetens energiförbrukning. Dock finns den uppvärmda arean bara att tillgå för en av de studerade kundanläggningarna.

Mätdata från temperaturgivarna i kundanläggningarna är momentanvärden, det vill säga att temperaturen mäts vid ett tillfälle varje timme istället för att vara en medeltemperatur. Från E.ON:s interna datahanteringsprogram DISA erhålls timvärden för:

- Framledningstemperatur (momentanvärde) [$^{\circ}\text{C}$]
- Returtemperatur (momentanvärde) [$^{\circ}\text{C}$]
- Utetemperatur (centraliserat momentanvärde) [$^{\circ}\text{C}$]
- Total primär flödesvolym under en timme [l]
- Totalt energibehov under en timme [kWh]

Till modellen används framledningstemperaturen och utetemperaturen som in-data, eftersom det är faktorer som inte beror på kundanläggningens prestation och inte kan påverkas i den studerade processen. Resten av datan används som referensvärden då den teoretiska modellen jämförs mot den verkliga kundanläggningen. Returtemperaturen räknas om till ett medelvärde istället för ett momentant värde. Eftersom returtemperaturen kan skifta snabbt är detta nödvändigt för att få ett mer korrekt värde. Detta behövs inte göras för framledningstemperaturen och utetemperaturen, som skiftar långsammare och därför kan momentanvärden likställas med medelvärden. Det totala primära flödet och energibehovet räknas om till genomsnittligt flöde [m^3/s] respektive genomsnittligt effektbehov [kW].

För alla kundanläggningar används samma:

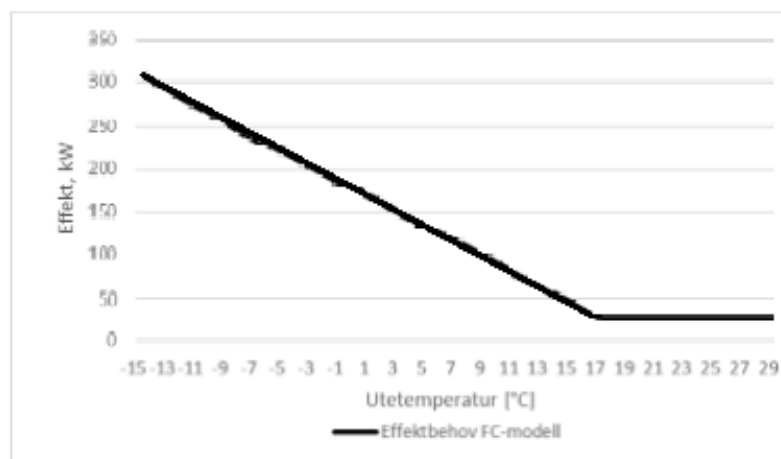
- Dimensionerad utetemperatur ($= -15^{\circ}\text{C}$) [19]
- Balanstemperatur ($= 17^{\circ}\text{C}$) [3]

- Rumstemperatur (= 20°C)

En djupare beskrivning av varje delmodell följer, i den ordning som de körs i programmet.

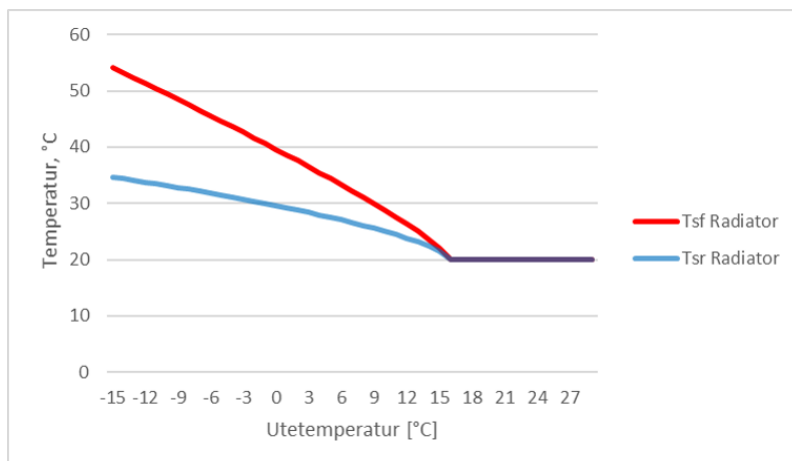
5.2 Radiatorsystem

Effektsignaturen för radiatorsystemet tas fram då effektbehoven vid den dimensionerade utetemperaturen och vid balanstemperaturen är kända. Effektbehovet för uppvärmning vid den dimensionerade utetemperaturen beräknas med hjälp av temperaturprogrammet och Ekvation 4. Effektbehovet för uppvärmning vid balanstemperaturen är noll, eftersom definitionen av balanstemperaturen är att det då inte finns något uppvärmningsbehov. Figur 7 visar modellens effektsignatur för Kundanläggning 1. Denna effektsignatur inkluderar effektbehovet för beredning av tappvarmvatten, vilket innebär att det konstanta effektbehov vid balanstemperaturen och högre temperaturer är effektbehovet för tappvarmvattenberedning.



Figur 7: Den totala effektsignaturen för den modellerade kundläggningen (Kundanläggning 1)

Utdata från modellen av radiatorsystemet är dess värmekurvor; hur framlednings- och returtemperaturerna beror på utetemperaturen, vilket kan beräknas med Ekvationssystem 5. Värmekurvorna för Kundanläggning 1:s radiatorsystem visas i Figur 8. In och utdata till modellen för radiatorsystemet syns i Tabell 1. Radiatorsystemets framlednings- och returtemperaturer används som indata till modellen av radiatorsystemets värmeväxlare.



Figur 8: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer (Kundanläggning 1)

Tabell 1: Indata och utdata till en modell av ett radiatorsystem.

Modell av ett radiatorsystem	
Indata:	Utdata:
- Dimensionerad $T_{s,f}$ för maxeffekt [°C]	- $T_{s,f}$ beroende på utetemperaturer [°C]
- Dimensionerad $T_{s,r}$ för maxeffekt [°C]	- $T_{s,r}$ beroende på utetemperaturer [°C]
- Dimensionerad \dot{V}_s (konstant) [l/s]	Effektöverdimensionering i %

5.3 Tappvarmvatten och VVC

Tappvarmvattenlast

Framtagningen av modellens tappvarmvattenlast bygger på en historiskt baserad modell, som använder mätvärden av den faktiska användningen. Detta beror på att tappvarmvattenlasten är en social last. Tappvarmvattenbehovet beror på sociala faktorer, som människors beteenden och vanor, istället för uppmätta utetemperaturer. Därför är det svårt att ta fram en generell tappvarmvattenlastprofil som gäller för alla fastigheter. Det finns inte heller någon uppmätt data för hur mycket varmvatten, som personerna i just den aktuella byggnaden använder vid varje ögonblick. Därför används den mätdata som finns för kundens totala effektbehov vid varje timme under året. Detta effektbehov ska under stora delar av året räcka till både uppvärmning och tappvarmvatten, men under de varmare månaderna behövs generellt minimal

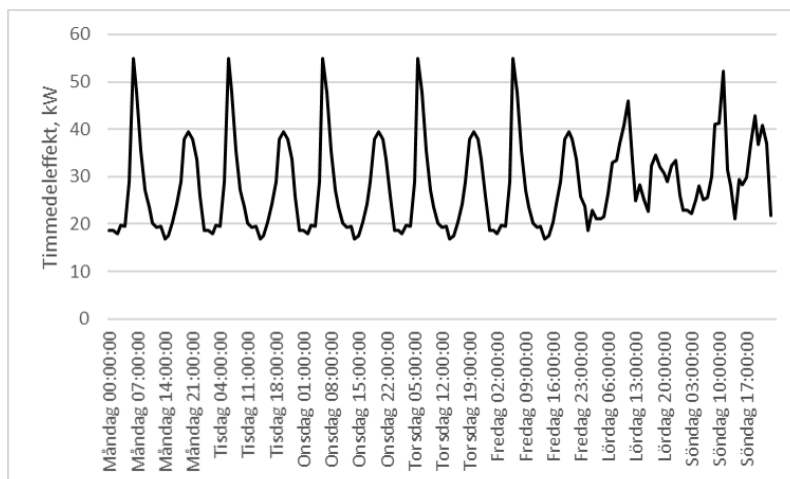
uppvärmning av byggnader. På så sätt kan effektbehovet för tappvarmvatten isoleras.

Den använda lasten är ett medelvärde av värmelasterna under utvalda veckor under året. Sexton veckor under de varma månaderna granskas. Veckorna under slutet av juni, hela juli och början av augusti undviks, eftersom det är vanliga semesterveckor, vilket innebär ett annorlunda beteende som påverkar tappvarmvattenlasten och gör att den inte är representativ för hela året. De övriga veckornas genomsnittliga utetemperatur och tappvarmvattenlastprofil studeras för att hitta de veckor som behöver minst uppvärmning och har mest regelbunden varmvattenanvändning. Det visar sig att vecka 25, 33 och 35 har högst utetemperatur då varmvattenanvändningen ser ut att vara de veckor som har mest representativt effektbehov för tappvarmvattenlasten under det studerade året. Detta kan dock variera från år till år och från fastighet till fastighet. Modellen är dock uppbyggd för att alltid använda dessa veckor då den annars behövs justeras för varje ny kundanläggning som ska studeras. Värmelasterna justeras enligt säsongsvariationen som visas i Figur 4. Det beräknas en genomsnittlig vardag av alla valda vardagar och en genomsnittlig helg av alla valda helger. Detta varmvattenmönster förs över till alla årets dagar och justeras igen efter säsongsvariationen i Figur 4.

Indata och utdata för modellen av tappvarmvattenbehovsprofilen visas i Tabell 2. Kundanläggning 1:s tappvarmvattenlastprofil för en vecka visas i Figur 9.

Tabell 2: Indata och utdata till en modell för framtagning av tappvarmvattenbehov

Modell av en profil av tappvarmvattenbehov	
Indata:	Utdata:
- \dot{Q} effektbehov som timvärden under väl valda veckor, då uppvärmningsbehovet är minimalt [kW] - Faktorer för säsongsvariation i tappvarmvattenbehov	- \dot{Q}_{vv} effektbehov för varmvatten, timvärden under ett år [kW]



Figur 9: Kundanläggning 1 - Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka

VVC

För att kompensera för VVC-förlusterna är effekten för tappvarmvattenberedning lite högre än behovet hela tiden. Hur mycket högre kan identifieras genom att ta reda på effektbehovet då det varken sker någon uppvärmning eller tappning av varmvatten. Detta borde inträffa under en sommarnatt. Effektbehovet under sommarnatts studeras för att hitta tillfällen då det troligtvis varken sker någon uppvärmning eller tappning. Då identifieras värmeförlusterna från VVC-rören.

VVC-förlusterna räknas om till kWh/m²,år för att kunna utvärderas. Om de anses vara för höga kan en lägre förlust väljas som indata till modellen för att visa hur systemet hade fungerat med en lägre värmeförlust. Den VVC-förlust som används i så fall är 1.5 kWh/m²,år, eftersom det anses vara möjligt med den teknik som finns idag.

VVC-flödet beräknas med Ekvation 9. Indata och utdata till VVC-modellen visas i Tabell 3.

Tabell 3: Indata och utdata till en modell av en VVC.

Modell av en VVC	
Indata:	Utdata:
- \dot{Q}_{min} effektbehov då det varken sker någon uppvärmning eller varmvattenanvändning [kW] - $T_{s,f}$ varmvattnets temperatur (= 55°C) - T_{vvc} varmvattencirkulationens temperatur (= 50°C)	- \dot{V}_{vvc} VVC-flöde [m ³ /s]

Tappvarmvattensystemet

Då tappvarmvattenlasten och VVC-flödet är bestämt kan hela tappvarmvattensystemet modelleras.

Det som saknas för att beräkna den sekundära returtemperaturen (blandningstemperaturen) med Ekvation 8 är kallvattnets flöde. Ekvation 7 och 8 sätts in i Ekvation 6 och \dot{V}_{kv} bryts ut. Detta görs för varje timme under året, vilket ger timvärden för kallvattenflödet.

Då kan det sekundära flödet beräknas med Ekvation 7 och sen kan den sekundära returtemperaturen, eller blandningstemperaturen (blandning av kallvatten och VVC) beräknas med Ekvation 8.

Modellen är uppbyggd för att kunna hantera en säsongsvarierande kallvattentemperatur. Dock antas kallvattentemperaturen vara 10°C året runt i denna studie, eftersom inga exakta kallvattentemperaturer finns att tillgå.

I Tabell 4 syns indata och utdata till modellen för tappvarmvattensystemet. Från modellen fås en sekundär returtemperatur och flöde till tappvarmvattensystemets värmeväxlare.

Tabell 4: Indata och utdata till en modell av ett tappvarmvattensystem.

Modell av ett tappvarmvattensystem	
Indata:	Utdata:
<ul style="list-style-type: none"> - \dot{Q}_{tvv} effektbehov för varmvatten, timvärden under ett år [kW] - T_{kv} kallvattentemperatur beroende på månad och geografisk placering [$^{\circ}\text{C}$] - $T_{s,f}$ varmvattnets temperatur (= 55°C) - T_{vvc} varmvattencirkulationens temperatur (= 50°C) - \dot{V}_{vvc} VVC-flöde [m^3/s] 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{s,r}$ timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - $\dot{V}_{s,f}$ tappvarmvattnets framledningsflöde till tappställe [m^3/s]

5.4 Fjärrvärmecentral

Modellen har två värmeväxlarmodeller, en för radiatorsystemets värmeväxlare och en för tappvarmvattnets. De är väldigt lika, förutom värmeväxlarnas egenskaper så som värmeegenomgångskoefficient och värmeöverföringsarea.

Den primära returtemperaturen och det primära flödet löses ut ur Ekvationssystem 18 med hjälp av den numeriska lösningsmetoden Newton-Raphson-metoden.

Indata och utdata för modellen för radiatorsystemets och tappvarmvattensystemets värmeväxlare visas i Tabell 5 respektive 6.

Tabell 5: Indata och utdata till en modell av ett radiatorsystems värmeväxlare.

Modell av ett radiatorsystems värmeväxlare	
Indata:	Utdata:
<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionerad $T_{p,f}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad $T_{p,r}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad \dot{V}_p för maxeffekt [l/s] - Dimensionerad $T_{s,f}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad $T_{s,r}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad \dot{V}_s (konstant) [l/s] - $T_{s,f}$ beroende på utetemperaturer [$^{\circ}\text{C}$] - $T_{s,r}$ beroende på utetemperaturer [$^{\circ}\text{C}$] - \dot{V}_s (konstant) [l/s] - Utetemperatur, timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - $T_{p,f}$, timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{p,r}$ timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - \dot{V}_p timvärden under ett år [m^3/s]

Tabell 6: Indata och utdata till en modell av ett tappvarmvattenssystems värmeväxlare

Modell av ett tappvarmvattenssystemets värmeväxlare	
Indata:	Utdata:
<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionerad $T_{p,f}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad $T_{p,r}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad \dot{V}_p för maxeffekt [l/s] - $T_{s,f}$ varmvattnets temperatur (= 55°C) - Dimensionerad $T_{s,r}$ för maxeffekt [$^{\circ}\text{C}$] - Dimensionerad \dot{V}_s för maxeffekt [l/s] - $T_{s,r}$ timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - $\dot{V}_{s,f}$ tappvarmvattnets framledningsflöde till tappställe som timvärden under ett år [m^3/s] - $T_{p,f}$, timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - \dot{Q}_{tvv} effektbehov för varmvatten, timvärden under ett år [kW] 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{p,r}$ timvärden under ett år [$^{\circ}\text{C}$] - \dot{V}_p timvärden under ett år [m^3/s]

5.5 Hela kundanläggningen

Den sammanslagna returtemperaturen från kundanläggningen beräknas med hjälp av Ekvation 19. Indata och utdata visas i Tabell 7.

Tabell 7: Indata och utdata till en modell av sammansättningen av en fjärrvärmecentral

Modell av en fjärrvärmecentral	
Indata:	Utdata:
<ul style="list-style-type: none"> - $T_{p,r,rad}$ primär returtemperatur från radiatorsystemets värmeväxlare, timvärden under ett år [°C] - $\dot{V}_{p,rad}$ primärt flöde i tappvarmvattensystemets värmeväxlare, timvärden under ett år [m³/s] - $T_{p,r,tvv}$ primär returtemperatur från radiatorsystemets värmeväxlare, timvärden under ett år [°C] - $\dot{V}_{p,tvv}$ primärt flöde i tappvarmvattensystemets värmeväxlare, timvärden under ett år [m³/s] 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{p,r}$ primär returtemperatur från hela kundanläggningen, timvärden under ett år [°C] - $T_{p,r}$ primär returtemperatur från hela kundanläggningen, dygnsmedelvärden under ett år [°C]

För att kunna jämföra modellens returtemperatur med verkligheten beräknas den uppmätta momentana returtemperaturen om till en verklig timmedelreturtemperatur. Eftersom framledningstemperaturen varierar långsamt antas den momentana vara samma som medelframledningstemperaturen. Mätdata för effektbehov anges i energibehov per timme, vilket blir samma som en medeleffekt under den timmen. Flödet anges i använd volym och kan räknas om till ett medelflöde. Då kan den verkliga timmedelreturtemperaturen beräknas med:

$$T_{p,r,verklig} = T_{p,f,verklig} - \frac{\dot{Q}_{verklig}}{\rho \dot{V}_{p,verklig} c_p} \quad (22)$$

6 Resultat och analys

Detta kapitel presenterar arbetets resultat. Resultaten från den teoretiska modellen av en kundanläggning jämförs med de verkliga kundanläggningarna.

6.1 E.ON:s besiktning idag

E.ON genomför idag en teknisk besiktning av de olika komponenterna innan kundcentralen sätts i drift [21]. Exakt vilka kontroller som görs beror på vad kunden har för överenskommelse med andra parter som utfört installationen [21]. Det som vanligtvis kontrolleras är [21]:

- **Primärledning**
 - Provtryckning
 - Rördragning
 - Isolering
 - Avluftningsledning
 - Golvbrunn
 - Filter
- **Elinstallation**
 - Framdragen el
- **Värmemätning**

Efter värmepådrag står E.ON för service av kundanläggningen. Idag erbjuder E.ON tre olika servicepaket till sina fjärrvärmekunder [22]. De innebär att en servicetekniker kommer och ser över kundens kundanläggning antingen en eller två gånger om året [22]. Det tredje servicepaketet kallas toppservice och då ingår service en gång om året, men dessutom en veckovis granskning av returtemperaturerna. Den granskningen går till på så vis att veckans returtemperaturer jämförs med förra veckans för att undersöka om det uppstått några avvikelser som bör följas upp [22]. Denna toppservice är en historiskt baserad metod för att hitta avvikelser och görs manuellt.

6.2 Uppgifter om kundanläggningarna

De uppgifter som E.ON har för varje kundanläggning är samlad i en fjärrvärme-centralsspecifikation. Den är dock inte för någon av de studerade kundanläggningarna fullständigt ifylld, utan saknar uppgifter. Specifikationen innehåller följande punkter (där ej ifyllda uppgifter står som kursiva):

- **Datum för värmepådrag**
- **Basuppgifter:**
 - Fastighetsbeteckning
 - Anläggningsadress
 - *Anläggningsnummer (ej ifylld)*
 - Förbrukningsställe
 - *Kategori/Verksamhet (ej ifylld)*
 - Kundansvaring
- **Uppgifter om anläggningen**
 - Datum för provtryckning och vem som utfört den
 - *Anslutningsvärde, kW (ej ifylld)*
 - Expansionssystem
 - Värmemätare (storlek)
 - Värmeväxlare (märke och effekt)
 - Dimensionerad data inklusive temperaturprogram
- **Uppgifter om fastigheten:**
 - *Debiteringseffekt (ej ifylld)*
 - Värmeförbrukning (MWh/år)
 - *Uppvärmad yta (ej ifylld)*
 - *Antal lägenheter (ej ifylld)*
- **Rörläggare**
- **Övrig information till mätavdelningen**

Av denna information används den dimensionerade datan och temperaturprogrammet som indata i modellen. Denna indata finns sammanställd för de sex studerade kundanläggningarna i Tabell 8. Uppvärmad yta och antal lägenheter skulle kunna användas vid framtagning av VVC-flödet, men dessa uppgifter finns inte dokumenterade i specifikationerna. För en av de studerade kundanläggningarna finns dock en energikartläggning för byggnaden, där uppvärmd area finns dokumenterad. Detta dokument är dock inget som generellt finns tillgängligt för kundanläggningarna.

Tabell 8: Visar de sex studerade kundanläggningarnas dimensionerade data

Kundanläggning	Dimensionerad data					
	Rad			TVV		
	\dot{Q} , kW	\dot{V} , l/s	Temp.-prog. °C	\dot{Q} , kW	\dot{V} , l/s	Temp.-prog. °C
1	280	1.18/3.38	95-36.2/35-55	188	1.12/1.00	60-18.9/10-55
2	110	0.72/1.34	100-61.9/60-80	122	0.68/0.65	65-21.1/10-55
3	200	0.74/1.6	100-33/30-60	188	1.03/1.00	65-20.4/10-55
4	31	0.18/0.5	90-47/45-60	103	0.64/0.55	60-21/10-55
5	30	0.16/0.66	100-44.1/44-55	104	0.58/0.55	65-21.5/10-55
6	105	0.44/1.57	100-40.7/39-55	151	0.84/0.8	65-21.2/10-55

E.ON samlar in mätvärden från sina kundanläggningar. Dessa finns tillgängliga i deras interna datahanteringsprogram DISA och består av:

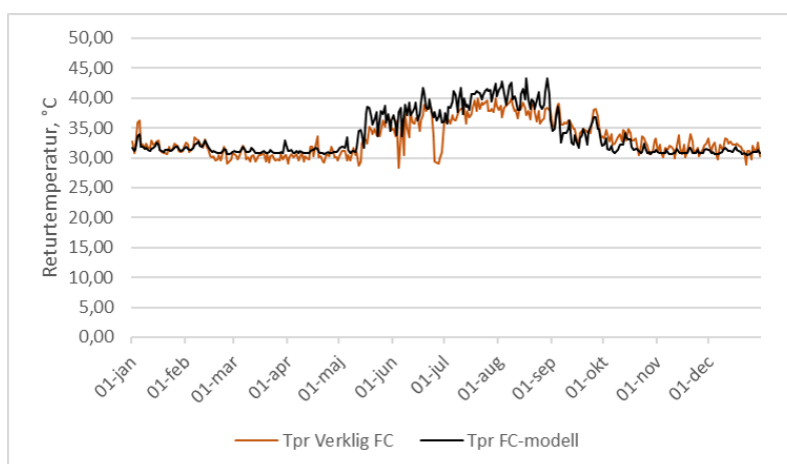
- $T_{p,f}$: momentanvärde varje timme
- $T_{p,r}$: momentanvärde varje timme
- T_{ute} : momentanvärde varje timme från en centraliserad temperaturgivare som gäller för hela fjärrvärmesystemet
- V_p : volym vatten som passerar på den primära sidan under varje timme
- $Q_{p,f}$: energibehovet under varje timme

Av denna information används framledningstemperaturen och utetemperaturen som indata i modellen. Framledningstemperaturen, volymen och energibehovet används för att ta fram en medelreturtemperatur som den modellerade returtemperaturen jämförs med.

6.3 Möjliga analyser

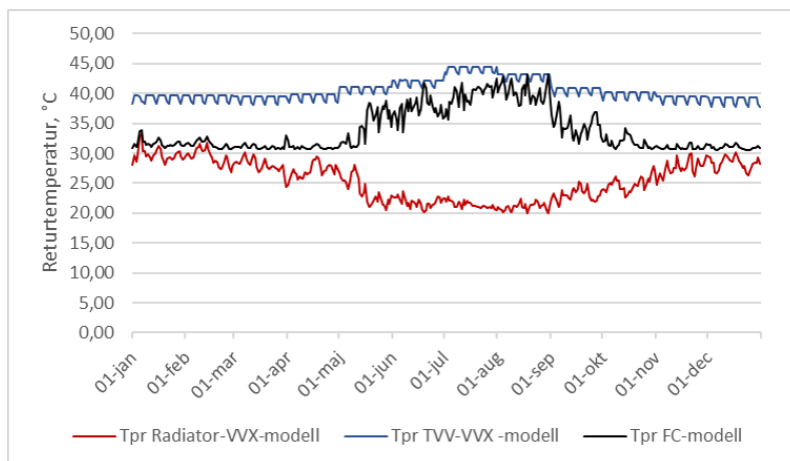
Den teoretiska modellen kan upptäcka avvikelser i den uppmätta returtemperaturen. I följande avsnitt diskuteras avvikelserna och vad de kan bero på. Fullständig utdata från de sex studerade kundanläggningarna finns i Bilaga 1-9.

Figur 10 visar kundanläggning 1:s modellerade och verkliga returtemperatur. De överensstämmer väl, med några undantag. Under våren är returtemperaturen för modellen något högre än den verkliga. Detta kan bero på en hög solinstrålning under vårmånaderna, som inte är medräknad i modellen. Under sommaren sker några dippar i den verkliga returtemperaturen, vilket troligtvis beror på lokala temperaturdippar som kan ske vid till exempel regn eller blåst. Dessa väderfenomen finns inte med i modellen, eftersom utetemperaturen som finns i indatan är samma för hela fjärrvärmesystemet.



Figur 10: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 1)

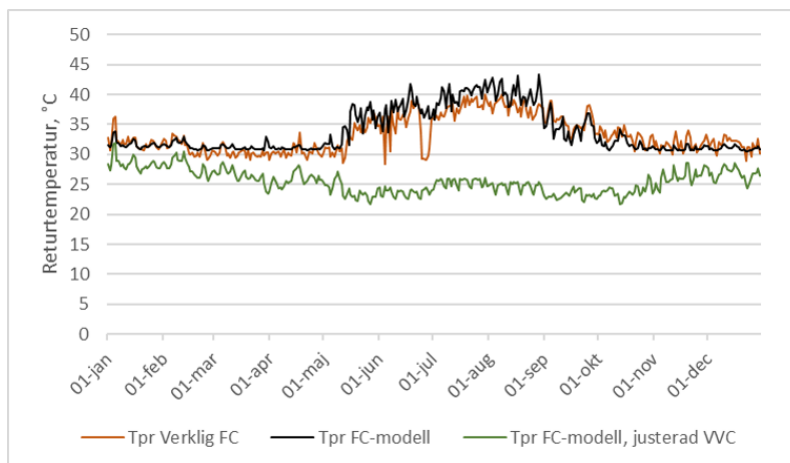
Figur 11 visar dygnsmedelvärden för returtemperaturerna från radiatorsystemets och tappvarmvattnets värmeväxlare och den viktade gemensamma returtemperaturen som den modellerade kundanläggningen returnerar under det studerade året. Returtemperaturen från värmeväxlaren för tappvarmvatten är så pass mycket högre än radiatorsystemets värmeväxlare, att den har avgörande betydelse för de ofta höga returtemperaturerna som inträffar under sommaren, då flödet i radiatorsystemets värmeväxlare i stort sett är obefintligt. Den viktade gemensamma returtemperaturen beror då till största del på tappvarmvattnets värmeväxlare.



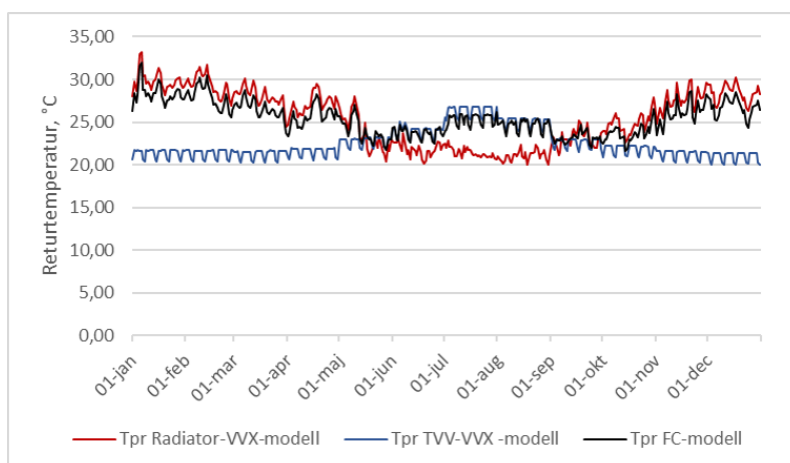
Figur 11: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiatorsystemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 1)

6.3.1 VVC-förluster och dess påverkan på returtemperaturen

För utvärdering av VVC-förluster behövs uppgift om uppvärmd area, för att kunna jämföra med ett referensvärde per areaenhet. I denna studie finns den uppvärmda arean bara att tillgå för en av de sex studerade kundanläggningarna. Enligt modellen har Kundanläggning 1 8.72 kWh/m²,år i VVC-förluster. Om dessa VVC-förluster istället hade varit 1.5 kWh/m²,år, som borde vara möjligt med dagens teknik, hade besparingar kunnat göras. Figur 12 visar Kundanläggning 1:s returtemperatur enligt verklig mätdata och modellen med den ursprungliga VVC-förlusten och med justerad VVC. Returtemperaturen från modellen då VVC-förlusten är låg är betydligt lägre, speciellt under sommaren. Detta beror på den låga returtemperaturen från tappvarmvattnets värmeväxlare då VVC-flödet är lågt, vilket syns i Figur 13, som visar de två värmeväxlarnas returtemperatur samt den gemensamma returtemperaturen då VVC-flödet är lågt.



Figur 12: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från den verkliga respektive modellerade kundanläggningen, grön kurva är modellen med justerad VVC (Kundanläggning 1)



Figur 13: Justerad VVC - Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiatorsystemets och tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt från hela kundanläggningen (Kundanläggning 1)

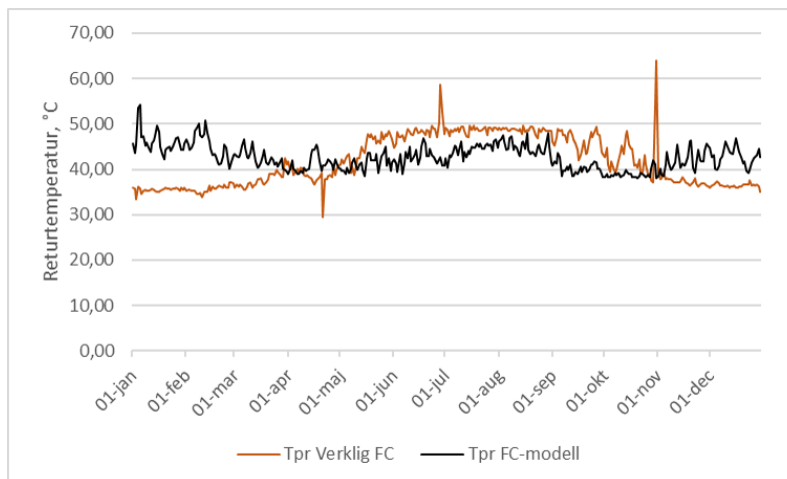
6.3.2 Avvikelser

Här följer exempel på avvikelser som identifierats hos de studerade kundanläggningarna.

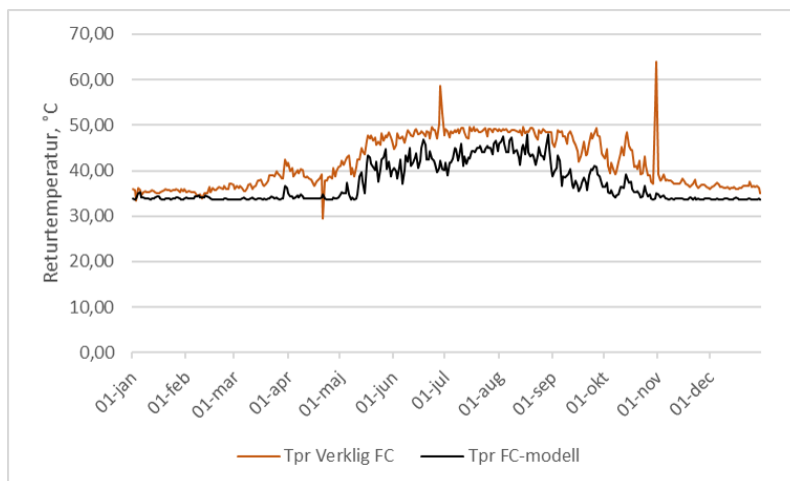
Misstänkt feldokumenterad dimensionering

Kundanläggning 2 är, liksom alla studerade kundanläggningar i denna studie, nyinstallerad och finns i en nybyggd fastighet. Enligt E.ON:s specifikation för kundanläggningen och Tabell 8 är radiatorsystemet dimensionerat för 100-61.9/60-80,

vilket innebär att vid den dimensionerade utetemperaturen är framlednings- och returledningstemperaturen 100°C respektive 61.9°C på primärsidan och 80°C respektive 60°C på sekundärsidan. Detta är inte ett temperaturprogram som vanligtvis används i nya byggnader, utan är vanligare för äldre fastigheter. I figur 14 syns tydligt att modellen och verkligheten skiljer sig från varandra. Eftersom den verkliga kundanläggningen följer det vanliga mönstret med högre returtemperatur på sommaren och modellen ser ut ha en ovanligt hög returtemperatur på vintern och ovanligt låg på sommaren är det troligtvis modellen som inte stämmer. Detta tyder på att det temperaturprogram som radiatorsystemet är inställt på enligt E.ON:s specifikation inte är samma som i verkligheten. Figur 15 visar returtemperaturen då temperaturprogrammet i modellen har justerats till ett mer sannolikt program: 100-36.2/35-55. Modellen och verkligheten stämmer då mer överens, men är inte identiska, vilket kan bero på fler fel i specifikationen eller något annat oidentifierat fel hos kundanläggningen.

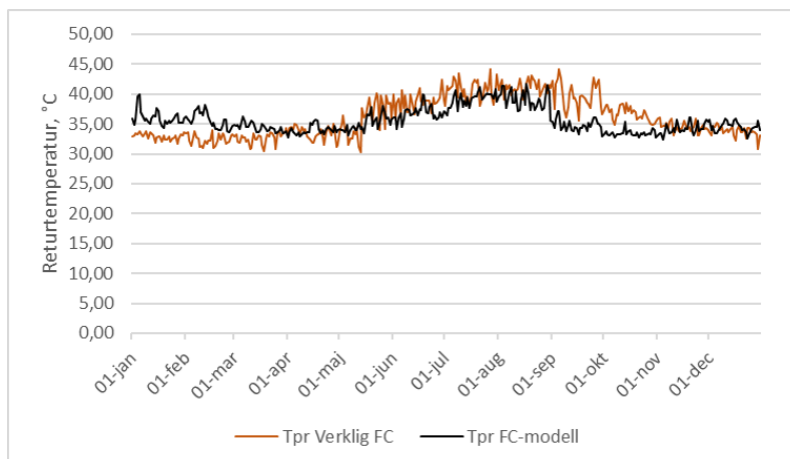


Figur 14: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 2)



Figur 15: Justerat temperaturprogram - Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 2)

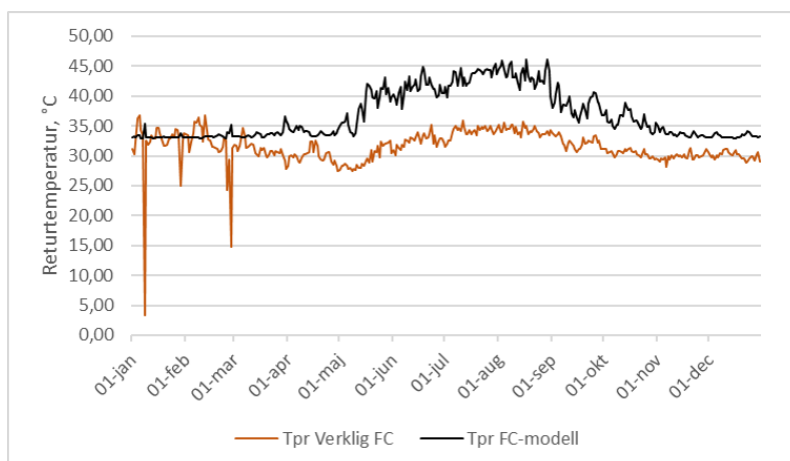
Ett annat exempel på när kundanläggningen misstänks vara inställt på ett annat temperaturprogram än vad som finns dokumenterat hos E.ON är Kundenläggning 5. Dess temperaturprogram till radiatorsystemet är angivet till 44-55, se Tabell 8, vilket innebär en låg avkyllning i radiatorsystemet jämfört med de andra studerade kundanläggningarna, vars avkyllning i radiatorsystemet är ca 15-30°C vid den dimensionerade utetemperaturen. En låg avkyllning kräver ett högt flöde, vilket gör att returtemperaturen från radiatorsystemet får en större inverkan på den slutliga returtemperaturen. I Figur 16 syns att returtemperaturen för modellen är högre än den verkliga mätdatan under vintern och lägre under sommaren. Det tyder på att radiatorsystemet har en större inverkan på returtemperaturen i modellen än i verkligheten, vilket stämmer överens med det misstänkta höga flödet som följd av en låg avkyllning. I verkligheten har radiatorsystemet mindre påverkan på returtemperaturen, vilket leder till misstankar om att avkyllningen är större i det verkliga radiatorsystemet än i det modellerade.



Figur 16: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 5)

Otillräcklig information om fastighet

En av undersökta kundanläggningen ser ut att fungera över alla förväntningar, eftersom returtemperaturen under sommaren är lägre än vad som borde vara möjligt i detta fall, se Figur 17.



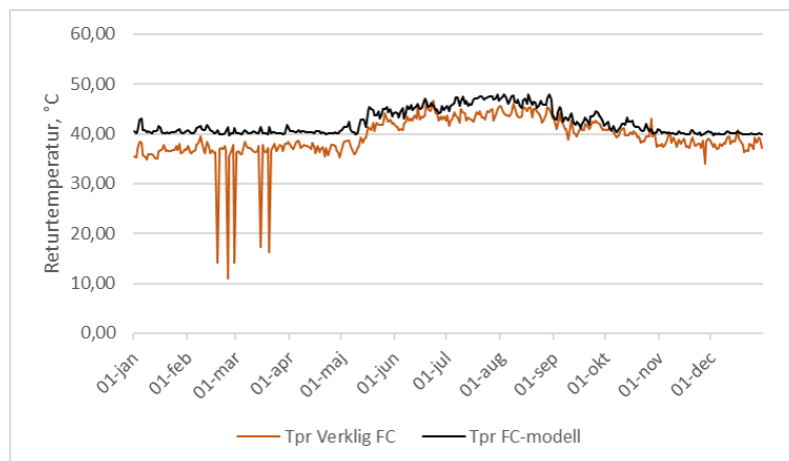
Figur 17: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 3)

Eftersom det är tappvarmvattnet som har störst påverkan på returtemperaturen under sommaren tyder det på att det är i den processen som något inte stämmer. Den verkliga kundanläggningen i Figur 17 påminner om den modellerade kundanläggningen med lågt VVC-flöde i Figur 10, fast med något högre returtemperatur mitt under sommaren. Detta tyder på att Kundenläggning 3 i verkligheten kan

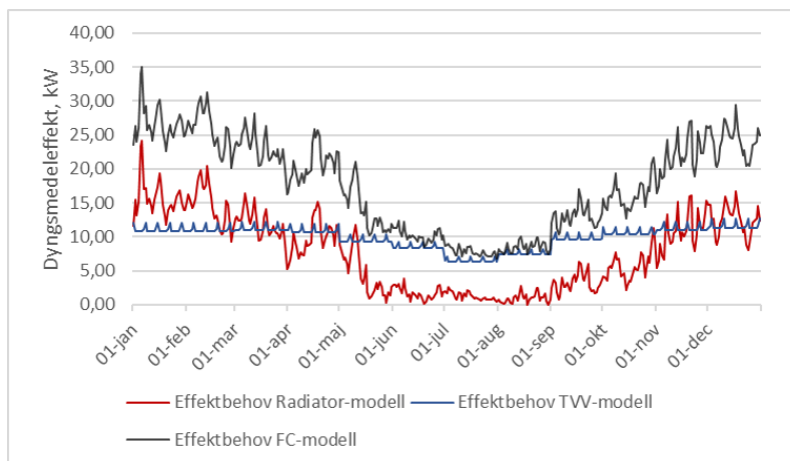
ha någon annan uppvärmningsteknik, som värmer upp en del av VVC-flödet. Eventuella andra uppvärmningssätt än fjärrvärme finns inte dokumenterade hos E.ON, men den informationen behövs för att kunna göra en mer korrekt termisk besiktning.

Fel i modellens tappvarmvattenlast

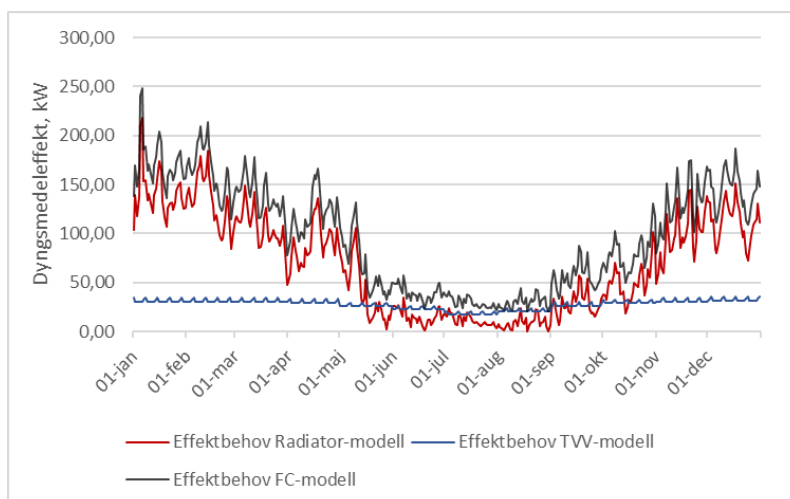
Figur 18 visar Kundanläggning 4:s modellerade och verkliga returtemperaturer som dygnsmedelvärden under ett år. Modellens returtemperaturer är högre än den verkliga mätdata. I Figur 19 syns att effektbehovet för tappvarmvatten är högt i förhållande till effektbehovet för radiatorsystemet, jämfört med hur samma förhållande ser ut för Kundanläggning 1 och 3 i Figur 20 respektive 21. Detta tyder på att modellen har ett högt flöde till tappvarmvattensystemets värmeväxlare, vilket gör att den höga returtemperaturen därifrån får större inverkan på den totala returtemperaturen från kundanläggningen, som syns i Figur 22. Det vill säga att modellens tappvarmvattenbehov inte stämmer med verkligheten. För att kunna göra en rimlighetsbedömning av tappvarmvattenanvändningen behövs uppgifter om hur stor byggnaden är eller hur många som bor där. Det höga tappvarmvattenbehovet i förhållande till uppvärmningsbehovet skulle även kunna bero på att byggnaden är väl isolerad och därför har ett lågt uppvärmningsbehov istället för ett ovanligt högt tappvarmvattenbehov.



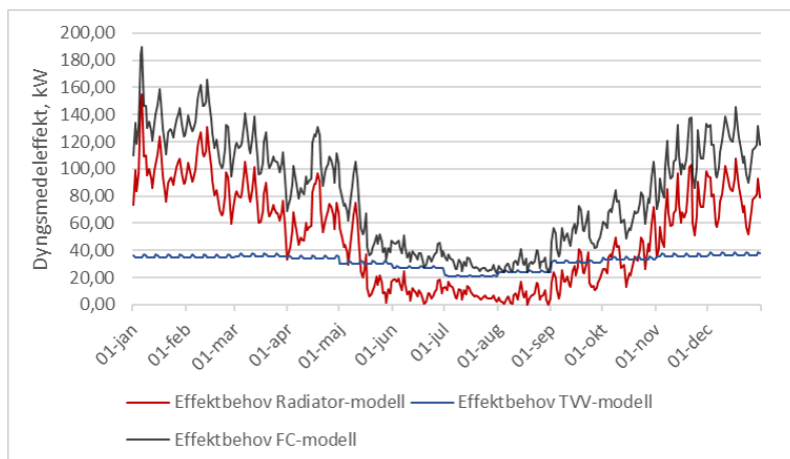
Figur 18: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 4)



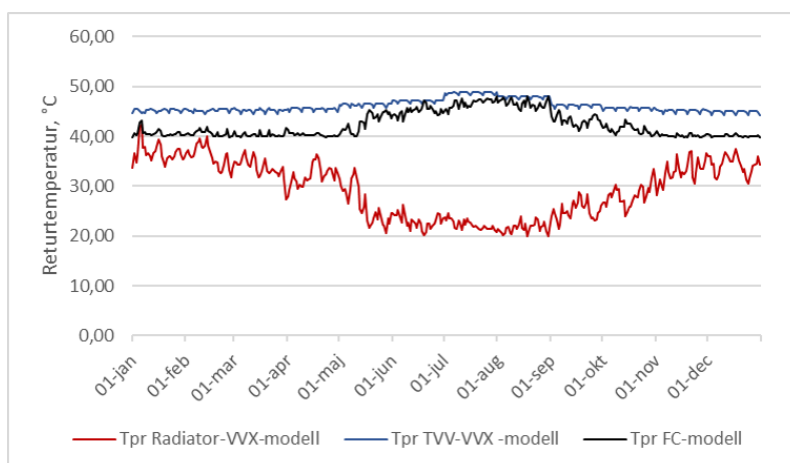
Figur 19: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 4)



Figur 20: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 1)

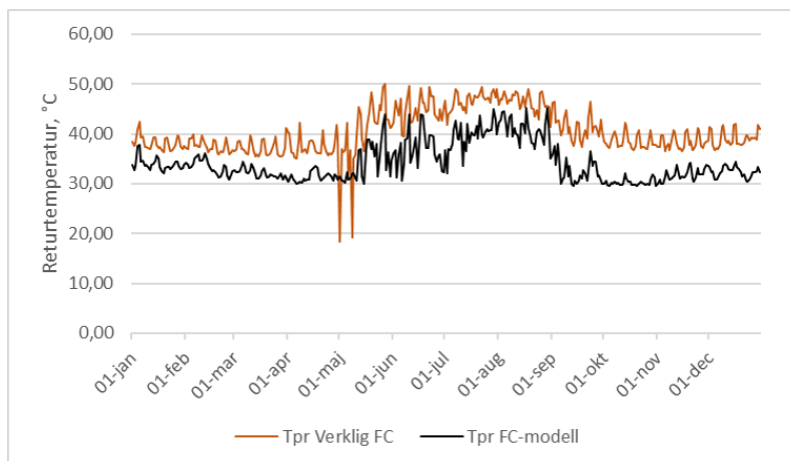


Figur 21: Dygnsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 3)

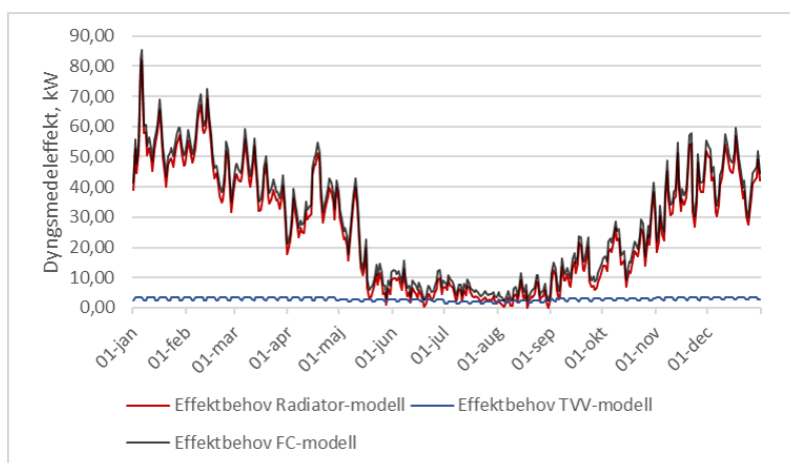


Figur 22: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiatorsystemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 4)

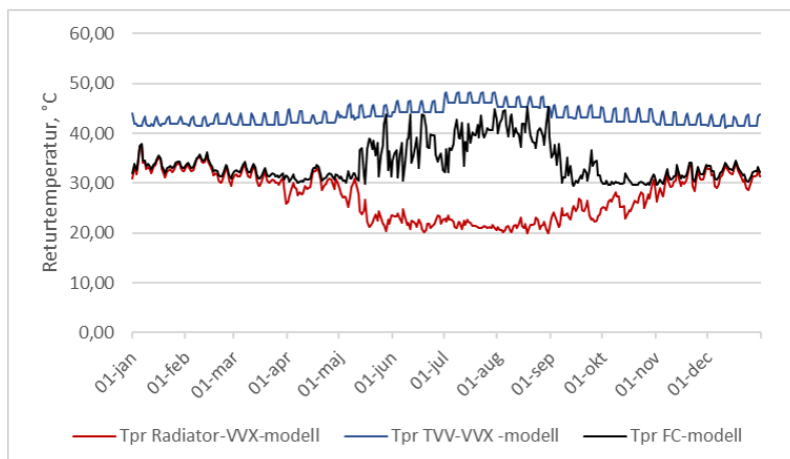
För Kundenläggning 6 är fallet tvärtom än för Kundenläggning 4. Figur 23 visar att modellens returtemperatur är lägre än den verkliga kundanläggningens. Figur 24 visar att den modellerade kundanläggningen har ett lågt effektbehov för tappvarmvatten i förhållande till uppvärmning. Detta gör att det är ett lågt flöde i modellens värmeväxlare för tappvarmvatten, vilket innebär en lägre påverkan på den gemensamma returtemperaturen, se Figur 25. Den lägre returtemperaturen från radiatorsystemets värmeväxlare drar då ner den modellerade gemensamma returtemperaturen. Detta verkar inte ske i lika stor utsträckning i den verkliga kundanläggningen, vilket tyder på att modellens tappvarmvattenbehov är lägre än i verkligheten.



Figur 23: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år (Kundanläggning 6)



Figur 24: Dygnsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 6)

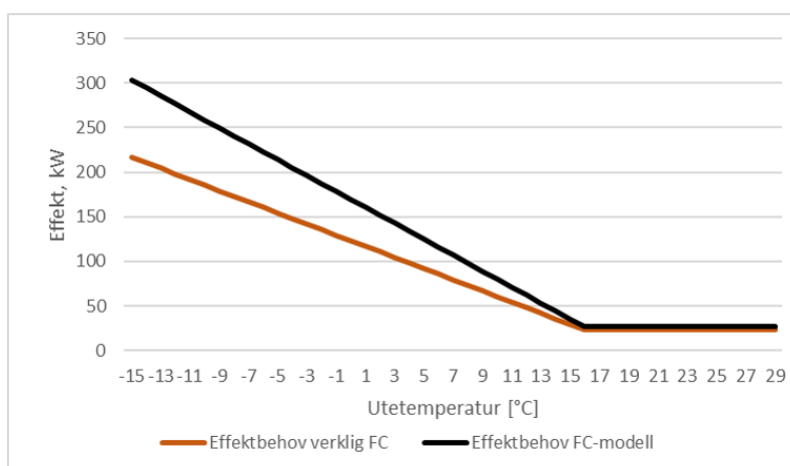


Figur 25: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiatorsystemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 6)

6.3.3 Överdimensionering

Genom en jämförelse av effektsignaturen för modellen och verklig mätdata kan effektöverdimensionering identifieras. Effektöverdimensionering innebär att vid en viss utetemperatur är kundanläggningen dimensionerad för att behöva en effekt som är högre än vad som verkligen behövs.

Figur 26 visar Kundenläggning 1:s modellerade och verkliga effektsignatur. Tabell 9 visar de sex studerade kundanläggningarnas effektöverdimensionering, som varierar mellan 14-68%.



Figur 26: Effektsignaturen för den verkliga respektive modellerade kundanläggningen (Kundanläggning 1)

Tabell 9: visar hur mycket överdimensionerade de studerade kundanläggningarna är

	Effektöverdimensionering
Kundanläggning 1	34 %
Kundanläggning 2	65 %
Kundanläggning 3	17 %
Kundanläggning 4	14 %
Kundanläggning 5	31 %
Kundanläggning 6	68 %

6.3.4 Sammanfattning

Tabell 10 visar en sammanfattning av vilka brister som modellen påvisat hos studerade kundanläggningar, samt vilka brister som påvisats hos modellen.

Tabell 10: Sammanfattning av de sex studerade kundanläggningarna

	Kommentar
Kundanläggning 1	- Modellen och verklig mätdata stämmer bra överens, med undantag för misstänkt påverkan från lokalt väder. - Identifierade höga VVC-förluster.
Kundanläggning 2	- Misstänkt feldokumenterad dimensionering
Kundanläggning 3	- Bristfälling dokumentation av byggnadens värmesystem, misstänkt annan uppvärmningsteknik för VVC:n
Kundanläggning 4	- Misstänkt fel vid framtagning av modellens tappvarmvattenbehov
Kundanläggning 5	- Misstänkt feldokumenterad dimensionering
Kundanläggning 6	- Misstänkt fel vid framtagning av modellens tappvarmvattenbehov

7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras arbetets resultat och metoder. Den framtagna modellen, dess förenklingar och styrkor och brister diskuteras.

7.1 Modellen

Huruvida en teoretisk modell av en kundanläggning kan upptäcka avvikelser hos verkliga kundanläggningar undersöks i denna studie. Modellen som tas fram kan klassas som en kvantitativ modell, då den bygger på kända fysikaliska samband. Den typen av modell är ofta korrekta, men även komplex. Den verkliga mätdata jämförs huvudsakligen inte med en modell som är uppbyggd på historisk data, som ofta är fallet idag då man till exempel jämför med föregående vecka eller använder sig av *machine learning*. Modellen ger ett kvantifierat svar, istället för att avgöra om utdata ligger över förutbestämda generella gränser för vilka temperaturer och energibehov som anses vara accepterade, som skulle kategoriseras som en kvalitativ metod.

En så korrekt och teoretisk modell som möjligt önskas uppnås, för att på så sätt kunna ge ett korrekt uttalande till kunder om huruvida deras utrustning är fungerande nog för dess uppgift. Modellen kan lätt användas på olika kundanläggningar, med en liten justering av indata. Indata kan även justeras för att se hur systemet beter sig då det är mer eller mindre väl fungerande än ursprungsläget. På så sätt kan kunden få en klar bild av vilka förbättringar en justering skulle innebära. Detta innebär dock en komplex modell som kräver en analys om vad avvikelser beror på. Användning av en kvalitativ metod innebär ofta förenklingar och grova gränsdragningar och därmed ett mindre korrekt svar, men den är också mindre komplex. En historiskt baserad modell jämför med hur systemet fungerat tidigare, vilket också innebär en mindre komplex modell, men då kan vissa fel inte identifieras eftersom de kanske redan existerade vid den referenspunkt som används.

7.2 Förenklingar i modellen

I modellen görs en rad förenklingar, trots att den är kvantitativ. Det är svårt att ta fram teoretiska värden på aspekter som är svåra att kvantifiera, som till exempel lokalt väder, solinstrålning, värmeförluster, beteende och användning av andra uppvärmningsmetoder. Det görs antaganden för att kunna ta hänsyn till vissa av dessa parametrar, men vissa utelämnas helt.

För att ta hänsyn till beteende kring tappvarmvattenanvändning används ett inslag av en historiskt baserad modell, eftersom modellens tappvarmvattenbehovsprofil beror på utvalda sommarveckors uppmätta effektbehov. Då används historisk data, som har valts ut för att ge en så realistisk bild som möjligt av de boendes

beteende kring tappvarmvatten, eftersom det är svårt att ta fram teoretiska värden på detta beteende. Svagheten med detta antagande är att personers beteende varierar. Det skulle kunna vara så att just den vecka som har valts är fler hemma eller bortresta än vad som är representativt, eller att de boende duschar mer eller mindre. Men eftersom det saknas mätdata som isolerar tappvarmvattenanvändningen och att det inte går att ta fram en generell tappvarmvattenbehovsprofil, eftersom alla människors beteende är olika och varierar, är detta en nödvändig förenkling i nuläget. Faktorer som att folk kan vara bortresta kompenseras en aning av faktorn för säsongsvariation. Det visar sig att två av de sex kundanläggningarna troligtvis har bristfälligt modellerade tappvarmvattenbehov. Det behövs utvecklas ett sätt att välja ut vilka veckor som bör användas som mall för tappvarmvattenbehovet för var och en av kundanläggningarna, istället för att de är standardiserade för alla kundanläggningar. Detta skulle även göra att veckorna som används inte är samma oavsett vilket år som studeras.

De värmeförluster som analyseras är VVC-förluster, eftersom det är de som påverkar systemet mest. Dessa tas också fram med hjälp av en historiskt baserad metod. Några gånger under ett år, troligtvis under sommarnätter, borde det finnas en tidpunkt då det varken förekommer någon tappning av vatten eller uppvärmning av byggnaden. Vid dessa tillfällen finns det ändå ett visst effektbehov hos kunderna för att kompensera för värmeförluster. Detta effektbehov identifieras och sätts in i den kvantitativa modellen som en VVC-förlust. Värdet kan justeras för att se hur ett system med mer eller mindre VVC-förluster skulle bete sig. Detta ger kunden ett kvitto på de besparingar som bättre isolerade ledningar skulle innebära. Dock kan VVC-förlusterna bara jämföras mot referensvärden för en av de sex studerade kundanläggningarna, eftersom referensvärdet beror av den uppvärmda arean, som det saknas uppgifter om för de andra kunderna. Ett alternativ då det saknas uppgifter om uppvärmd area, skulle kunna vara att låta referensvärdet bero på uppvärmningsbehov eller tappvarmvattenanvändning, istället för uppvärmd area. Energibehovet för uppvärmning och tappvarmvattenanvändning borde motsvara en ungefärlig storlek på byggnaden.

Lokalt väder, solinstrålning och andra uppvärmningsmetoder tas inte med i modellen, utan är felkällor som bör tas i åtanke med analys av resultatet. Solinstrålning finns det ingen data om och är svårt att kvantifiera. Andra uppvärmningsmetoder finns inte fullständigt dokumenterat eller tillgängligt. Detta visar på att energibolag behöver mer dokumentation om sina kunder för att kunna göra en korrekt analys av deras system. Utetemperaturen tas från en mätare som är samma för hela fjärrvärmesystemet och eftersom systemet är stort är det rimligt att den inte helt stämmer överens med den som är vid den analyserade kundanläggningen. Utetemperaturen kan variera snabbt och lokalt på grund av vindar och regn.

Det behövs mer fullständig mätdata från kundanläggningarna än vad som finns

att tillgå i nuläget. I mätdata tillgänglig från E.ON saknas vissa timvärden. För att fylla dessa luckor används en historiskt baserad modell i form av linjär regression. Den indata som påverkas av detta är framledningstemperaturen och utetemperatur. Men eftersom framledningstemperaturen inte skiftar så snabbt borde det inte ha någon större inverkan och i utetemperaturens fall finns det redan andra felkällor som påverkar mer. Resten av datan används som referenspunkt vid jämförelse av modellen och verkligheten och påverkar inte modellen mer än indirekt vid jämförelsen.

7.3 Termisk besiktning

Baskrav för att kunna göra en praktiskt applicerbar termisk besiktning är att modellen endast får bero på tillgänglig data och mätningar, den ska underlätta för att hitta avvikelser och dess orsaker och den ska innebära minimalt behov av mänskligt involverande. Enbart denna studiens modell fyller inte alla dessa baskrav. Den bygger enbart på tillgänglig data och mätningar, eftersom det har gjorts en del antaganden och förenklingar. Den underlättar för att hitta avvikelser, men för att identifiera orsaken krävs det mänskligt involverande och en manuell analys. Detta innebär att enbart denna modell inte kan användas för en praktisk applicerbar termisk besiktning i stor skala. Den skulle kunna kombineras med en kvalitativ modell i form av till exempel gränser för vilka returtemperaturer som är acceptabla, som skulle på ett snabbare och automatiskt sätt kunna sortera ut vilka kundanläggningar som inte lever upp till dessa krav. De som sorteras ut som oacceptabla kan vidare analyseras med denna studiens framtagna verktyg. Processen för att hitta avvikelser (upptäcka avvikelser, isolera avvikelser och identifiera orsak till avvikelser) skulle då se ut på så vis att en automatisk förenklad kvalitativ modell sorterar ut vilka som har avvikelser som bör vidare analyseras och sen används denna studiens mer kvantitativa modell med hjälp av mänsklig närvaro i den manuella analysen för att identifiera vad som skulle kunna vara orsaken. För att lättare kunna hitta orsaken behöver avvikelser isoleras, vilket kräver mer mätdata på kundens sida. Mätdata för alla framlednings- och returtemperaturer till värmeväxlarna på den sekundära sidan skulle göra att det finns fler referenspunkter och lättare att avgöra var det går fel någonstans.

Studiens huvudsyfte är att kunna upptäcka avvikelser hos nyinstallerade kund-anläggningar inom garantitid. Det kan modellen göra, med en viss reservation för dess brister. Modellen kan avgöra om E.ON bör kontakta kunden och säga att något inte stämmer med den nya kund-anläggningen och att kunden bör kontakta den tredje part som installerat utrustningen för en reklamation. För att hjälpa sina kunder att avgöra om de har betalt för en rätt injusterad utrustning behöver E.ON inte nödvändigtvis kunna avgöra exakt vad felet beror på.

7.4 Brister hos kundanläggningar

Tappvarmvattensystemet har större påverkan på returtemperaturen än radiatorsystemet under de varma månaderna. Lägre VVC-förluster innebär lägre returtemperatur från tappvarmvattensystemets värmeväxlare, som leder till en lägre gemensam returtemperatur, speciellt under sommaren då tappvarmvattnets returtemperatur har störst påverkan. Att byggnader blir mer och mer välisolerade innebär att uppvärmningsdelen i kundanläggningen kommer minska. Lägre andel av det totala flödet går då till radiatorsystemet. Istället får tappvarmvattensystemets returtemperatur större påverkan på den gemensamma returtemperaturen, även på vintern. Att bara isolera byggnaders skal skulle alltså innebära energibesparingar för uppvärmning, men om returtemperaturen från tappvarmvattensystemet är så hög som den är för de studerade kundanläggningarna i detta arbete, kommer det innebära högre gemensamma returtemperaturer.

Korrekta mätningar är avgörande för att kundanläggningens reglersystem ska fungera, för en korrekt debitering av kunden och för att kunna hitta avvikelser. I nuläget finns det ofta bara timvärden i mätdatan, vilket kan göra att vissa avvikelser inte upptäcks. Mer kontinuerlig data skulle ge en mer grundlig termisk besiktning. Det finns många komponenter i kundanläggningen som kan orsaka avvikelser. Detta komplexa system behöver fler mätpunkter för att kunna isolera avvikelser. Mer kontinuerlig data än timvärden skulle ge en bättre bild av det komplexa systemet och minska behovet av antaganden av hur det oförutsägbara energibehovet varierar. Men eftersom det ofta är kunderna som äger kundanläggningen är det ofta de som kommer behöva betala för den mer komplexa utrustningen. Kunskapen om varför den behövs måste vidarebefordras från teknikerna via säljarna till kunden. Detta innebär att hela energibolaget behöver inkluderas och förstå vikten av detta arbete, samt att prissättningen säkerställer kundens nytta av lägre returtemperaturer och att kunden är informerad om denna nytta. Detta kan vara en utmaning och omställning för många företag.

7.5 Metoddiskussion

Litteraturstudien bygger på litteratur med varierande ålder. Den äldre litteraturen används för aspekter som inte anses förändras i en hög takt, som till exempel fysiska samband för värmeöverföring hos värmeväxlare och hur modeller kan kategoriseras som kvantitativa, kvalitativa eller historiskt baserade. Stor del av den studerade litteraturen kommer från Sverige och även flera rapporter är skrivna av samma medförfattare: Sven Werner. Detta beror på att Sverige är framstående inom fjärrvärme och att Werner ansetts vara en pålitlig källa, då han har skrivit kurslitteratur till Lunds Tekniska Högskola. Detta kan dock ge arbeten en viss svensk vinkling.

I modellen borde tappvarmvattenbehovet tagits fram på ett mer individuellt sätt genom att inte ha standardiserade veckor som används för en tappvarmvattenbehovsprofil. Referensvärdet för VVC-förlusterna borde räknats om till att bero av till exempel uppvärmningsbehovet istället för uppvärmd area. Uppvärmningsbehovet kan variera beroende på hur välisolerade byggnaden är, men eftersom alla de sex studerade kundanläggningarna finns i nybyggnationer borde grad av isolering inte variera allt för mycket.

För att kunna säga mer om hur modellen fungerar skulle fler kundcentraler behöva analyseras. Då kan fler brister upptäckas och förbättringspotentialen öka.

Det hade varit intressant att få en inblick i fler fjärrvärmebolag än E.ON och hur de jobbar med termisk besiktning. Detta skulle ge en bättre bild av hela fjärrvärmebranschen och hur hela branschens förbättringspotential ser ut.

8 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras av studien:

- **Besiktning idag:**

E.ON utför i nuläget en fysisk besiktning av kundanläggningarna innan värmepådrag görs. Efter värmepådrag erbjuder E.ON tre olika servicepaket, varav en av dem inkluderar en enkel historiskt baserad utvärdering av returtemperaturerna.

- **Tillgänglig information om kundanläggningar hos E.ON:**

De uppgifter som finns tillgängliga om E.ON:s kunders nyinstallerade kundanläggningar, samt mätdatan som samlas in av E.ON, finns sammanställda i kapitel 7.2. Det finns dock luckor i dokumentationen om kundanläggningarna, flera uppgifter är inte ifyllda och mätdatan är inte helt fullständig. Vissa timvärden saknas eller är märkbart orimliga. Detta ökar osäkerheten i modellen, då dessa mätvärden tas fram med hjälp av linjär regression.

Det behövs förbättrade rutiner vid kontraktsskrivning med kund för att få tillgång till korrekt indata. Mer fullständig och korrekt mätdata skulle även det ge bättre möjligheter för en mer precis termisk besiktning.

- **Modellen**

Den teoretiska modellen av en kundanläggning som tas fram är en kvantitativ modell, med vissa förenklingar och inslag av en historiskt baserad modell. Den kvantitativa modellen gör att den är relativt korrekt och kan jämföra den verkliga kundanläggningen med hur den borde fungera teoretiskt istället för hur den har fungerat tidigare. De historiskt baserade inslagen gör att det går att inkludera en viss beteendeparameter för till exempel tappvarmvattenbehovet. Detta gör att modellen bara beror på data som finns tillgänglig. Det är inte en automatiserad modell utan det krävs mänskligt involverande för att kunna analysera vad avvikelsen kan bero på.

- **Vad visar modellen?**

Modellen kan upptäcka avvikelser hos kundanläggningars returtemperaturer, men inte isolera avvikelsen eller identifiera orsak. Det krävs en manuell analys med mänsklig involvering för att kunna ta fram möjliga orsaker. För att kunna identifiera orsaken till avvikelser på ett träffsäkert sätt, behövs fler referenspunkter i form av mätvärden mellan delprocesserna i kundanläggningen. Då kan avvikelsen isoleras och möjliga orsaker undersökas.

Modellen kan utvärdera VVC-förlusterna för de kundanläggningar där det finns uppgifter om uppvärmd area. Den kan även ta fram hur kundanläggningen

skulle bete sig med ett lägre VVC-flöde om kunden investerar i bättre isolerade rör som leder till att VVC-förlusterna minskar.

- **Vad en termisk besiktning bidrar med:**

En termisk besiktning kan hitta avvikelser hos kundanläggningar i ett tidigt skede. Bättre fungerande kundanläggningar öppnar upp för lägre systemtemperaturer, eftersom det krävs mindre temperaturmarginaler för oidentifierade fel. Lägre systemtemperaturer har fördelar för både fjärrvärmeproduktionen och -distributionen. En termisk besiktning ger fjärrvärmebolagen mer tillgång till de ofta kundägda kundanläggningarna, som annars till stor del är utanför bolagens kontroll. Det ökar också kunskapskommunikationen mellan fjärrvärmebolaget och kunderna, vilket ger kunden kunskap om sin egen förbrukning och hur en effektivare kundanläggning påverkar både kunden och systemet i stort. Att genomföra en termisk besiktning av nyinstallerade kundanläggningar innan garantitiden gått ut gör att kunden kan få ett kvitto på om de betalar för rätt utrustning och kan öka fjärrvärmebolagets trovärdighet gentemot kunden.

- **Förbättringspotential hos kundanläggningar:**

- Lägre VVC-förluster sänker den höga returtemperaturen från tappvarmvattnets värmeväxlare
- Mer fullständig dokumentation om kundanläggningen och byggnaden, i form av till exempel korrekt temperaturprogram och information om andra uppvärmningstekniker
- Mer fullständig och korrekt mätdata
- Fler referenspunkter i form av mätvärden inom delprocesser i kundanläggningen för att kunna jämföra modellen med mätdata vid fler punkter i processen och på så sätt kunna identifiera var eventuella avvikelser uppstår

- **Studiens bidrag till fjärrvärmebranschen**

- En termisk besiktning som inte jämför med historiska referensvärden, där avvikelser redan kan existera. Istället jämförs verklig mätdata med referensvärden som borde vara möjliga enligt teorin.
- Utvärdering av VVC-flödet
- Framtagning av ett verktyg som kan fortsätta utvecklas och bidra till en implementering av en termisk besiktning av kundanläggningar. Detta skulle kunna erbjudas som en tjänst till kunder med nyinstallerade kundanläggningar för att hitta fel i utrustningen eller installationen inom garantitid. Det skulle även kunna erbjudas som en tjänst till alla kunder för att säkerställa att deras kundanläggning fungerar som den ska.

9 Fortsatt arbete

Det hade varit intressant att utvidga studien till fler företag än E.ON, för att få en bild av hur hela fjärrvärmebranschen arbetar med termisk besiktning och därmed se hela branschens förbättringspotential.

Hos den teoretiska modellen av en kundanläggning finns följande förbättringspotential:

- Tar inte hänsyn till lokala väderförändringar och solinstrålning, utan utetemperaturen mäts från en centraliserad temperaturgivare
- Behövs en mer precis metod för att ta fram tappvarmvattenbehovet
- Kan upptäcka avvikelser men inte isolera eller identifiera orsaken på ett träffsäkert vis
- För att VVC-förluster ska kunna utvärderas även för de kundanläggningar som uppgifter för uppvärmd area saknas, skulle VVC-förlusten kunna jämföras med uppvärmningsbehovet, eftersom det borde kunna återspegla byggnadens ungefärliga storlek
- Modellen bör appliceras på fler kundanläggningar för en fortsatt utvärdering
- Automatisering, istället för en manuell analys av avvikelser
 - Felfinnare
 - Analysverktyg

Referenser

- [1] Akhlaghi, Sofia & Carlsson, Sofia (2016) *Mot fjärde generationens fjärrvärme, en fallstudie av möjliga lösningar i Malmö*. Examensarbete på Civilingenjörsnivå, Avdelningen för Energihushållning, Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet
- [2] Gadd, Henrik & Werner, Sven (2015) *Fault detection in district heating substations*. Öresundskraft AB, Helsingborg & School of Business, Engineering and Science, Halmstad University
- [3] Fredriksen, Svend & Werner Sven (2015) *Fjärrvärme och fjärrkyla*. Upplaga 1:2, Studentlitteratur AB, Lund
- [4] Averfalk, Helge (2014) *Morgondagens effektiva fjärrvärme: En beskrivande litteraturstudie*. Magisterexamensarbete på Sektionen för ekonomi och teknik, Bio- och miljösystemforskning, Energiteknik, Högskolan i Halmstad
<http://hh.diva-portal.org/smash/get/diva2:715833/FULLTEXT01.pdf>
(Hämtad 2018-01-23)
- [5] Averfalk, Helge & Werner, Sven (2017) *Essential improvements in future district heating systems*. The 15th International Symposium on District Heating and Cooling. Halmstad Högskola, Sverige. Energy Procedia 116 (2017) 217–225
- [6] Jensen, Lars (2008) *Utetemperaturberoende årsenergibehov, Teoridel*. Rapport TVIT–08/7023, Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet
- [7] Folkhälsomyndigheten (2016) *Sjukdomsinformation om legionellainfektion*.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/legionellainfektion-och-pontiacfeber/>
(Hämtad 2018-05-09)
- [8] Solor Bioenergi *Om vår fjärrvärmeproduktion*.
<http://solorbioenergi.se/fjarrvarme/> (Hämtad 2018-05-14)
- [9] Sandin, Fredrik et al. (2012) *Basic methods for automated fault detection and energy data validation in existing district heating systems*. EISLAB, Luleå Universitet & Södertörns Fjärrvärme, Norsborg
- [10] Trüschel, Anders (2002) *Värmesystem med luftvärmare och radiatorer, Utformningens inverkan på systemets känslighet* Doktorsavhandling, Institutionen för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
- [11] Catalán Solsona, Juan Antonio (2016) *The flow impact on a radiator system*. Mastersuppsats, Energisystem, Gävle Högskola

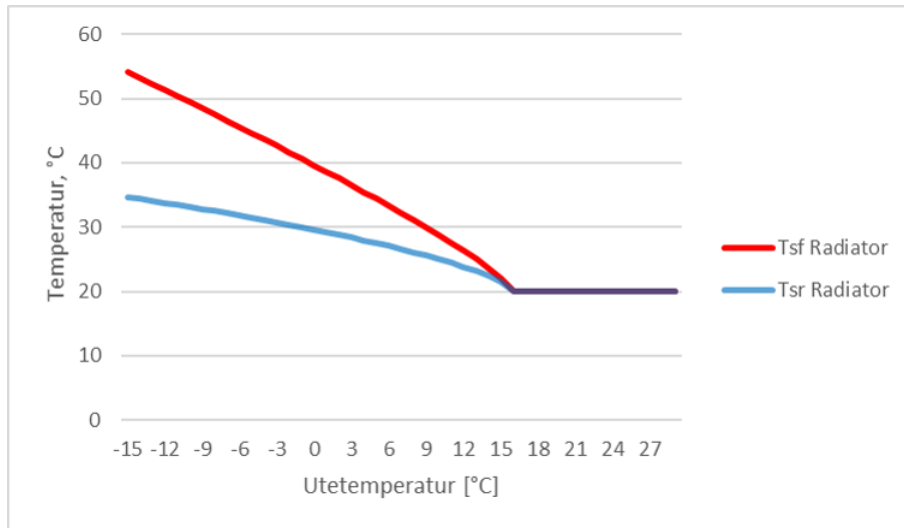
- [12] Wollerstrand, Janusz (1997) *District Heating Substations, Performance, Operation and Design*. Doktorsavhandling, Department of Heat and Power Engineering, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- [13] Olsson, Daniel *Tappvarmvatten i flerbostadshus*. CIT Energy Management AB, Forskningsprogrammet EFFEKTIV, Centrum för Effektiv Energianvändning (CEE), Chalmers.
<https://www.sp.se/sv/index/research/effektiv/publikationer/Documents/Temaraapporter/Rapport\%2003-04.pdf> (Hämtad 2018-05-16)
- [14] Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus (2015) *Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter*.
<http://www.bebostad.se/library/1893/slutrapport-kartlaeggning-av-vc-foerluster.pdf> (Hämtad 2018-05-04)
- [15] Bergqvist, Bengt (2016) *VVC-förluster i kontor och lokaler - mätningar i 11 byggnader*. Energianalys. http://www.energi-miljo.se/sites/default/files/vvc_lokaler_slutrapport_20161129.pdf (Hämtad 2018-05-04)
- [16] Katipamula, Srinivas & Brambley, Michael R. (2004) *Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems — A Review, Part I*. HVAC&R RESEARCH
- [17] Idowu, Samuel O. (2018) *Applied Machine Learning in District Heating System*. Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden
- [18] Karlsson, Fredrik & Andersson, Cari (2016) *Dimensionerande vinterutetemperatur – DVUT 1981-2010, 310 orter i Sverige*. SMHI, Norrköping
- [19] E.ON Försäljning Sverige AB (2013) *Fjärrvärme från E.ON, lokala anvisningar för Malmö/Burlöv, Norrköping/Söderköping och Örebro/Kumla/Hallsberg*. <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-lokala-regler-fjarrvarmenat-generell.pdf> (Hämtat 2018-05-24)
- [20] *Tabeller och diagram till Energiteknik* <http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/EnergiProcesser/Energiprocesser-ht13/TabellerETP.pdf> (Hämtad 2018-04-05)
- [21] Mailkontakt med Per Wilen, Samordnare Customer & Sales, E.ON Energilösningar AB. 5 juni 2018
- [22] Studiebesök hos Ulf Andersson, servicetekniker på E.ON, den 11 april 2018.

Bilaga 1 - Förklaring av utdata

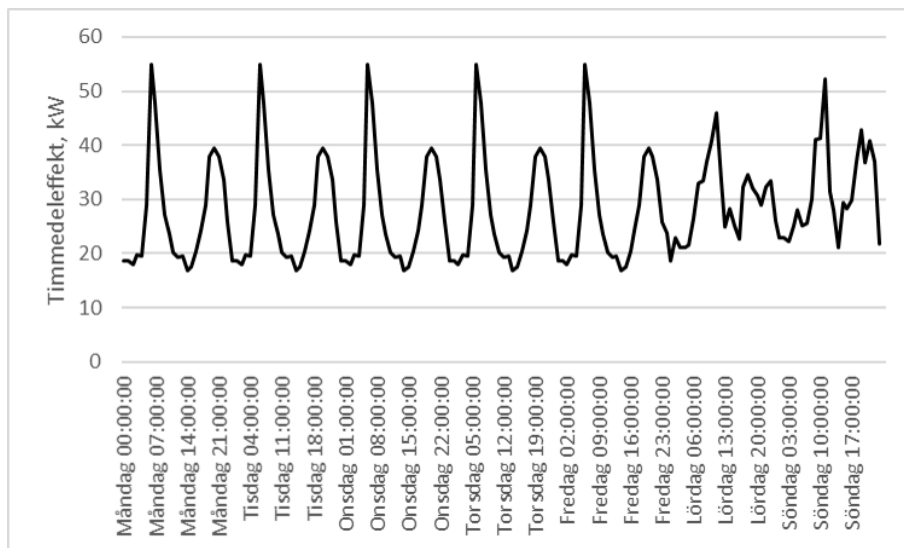
Sex kundanläggningar studeras. Deras verkliga och modellerade temperaturer och effekter syns i Figur 27-100 i Bilaga 2-9.

Kundanläggning 1:	Bilaga 2
Kundanläggning 1, med justerad VVC:	Bilaga 3
Kundanläggning 2:	Bilaga 4
Kundanläggning 2, med justerat temperaturprogram:	Bilaga 5
Kundanläggning 3:	Bilaga 6
Kundanläggning 4:	Bilaga 7
Kundanläggning 5:	Bilaga 8
Kundanläggning 6:	Bilaga 9

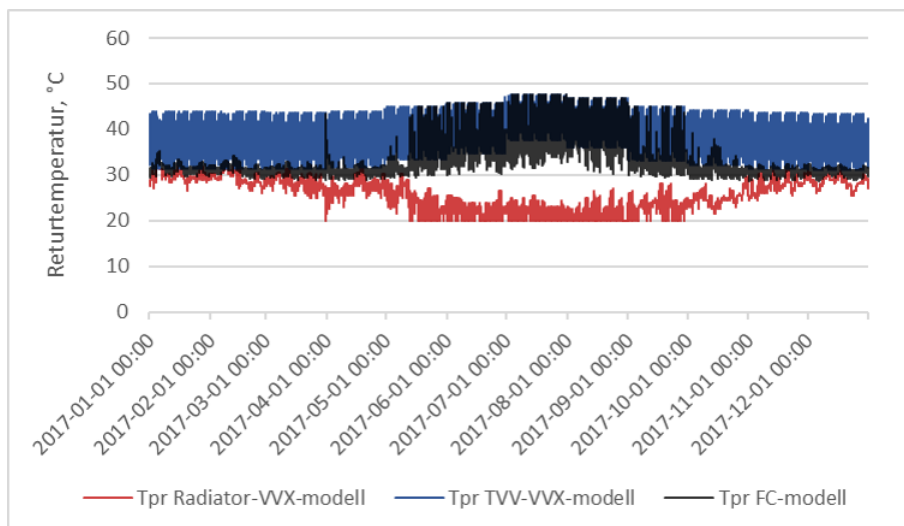
Bilaga 2 - Kundanläggning 1



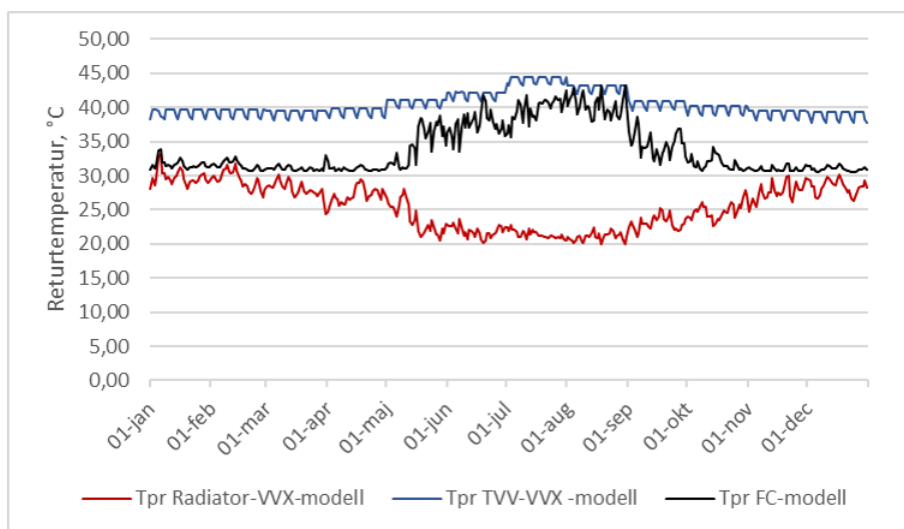
Figur 27: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



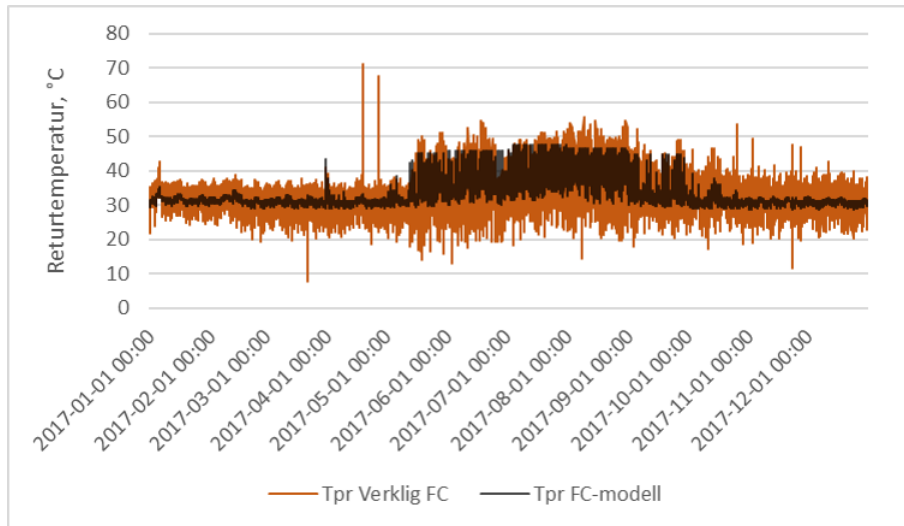
Figur 28: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka



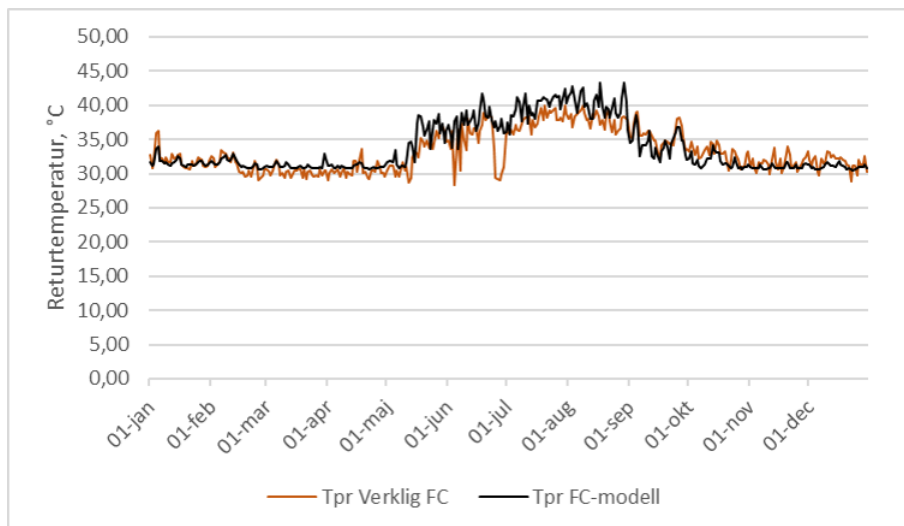
Figur 29: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade fjärrvärmecentralen



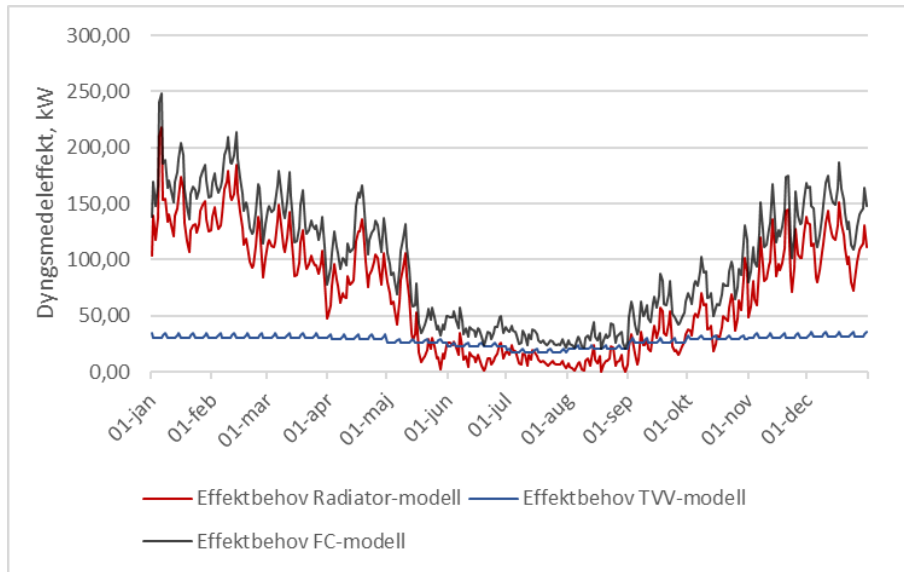
Figur 30: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade fjärrvärmecentralen



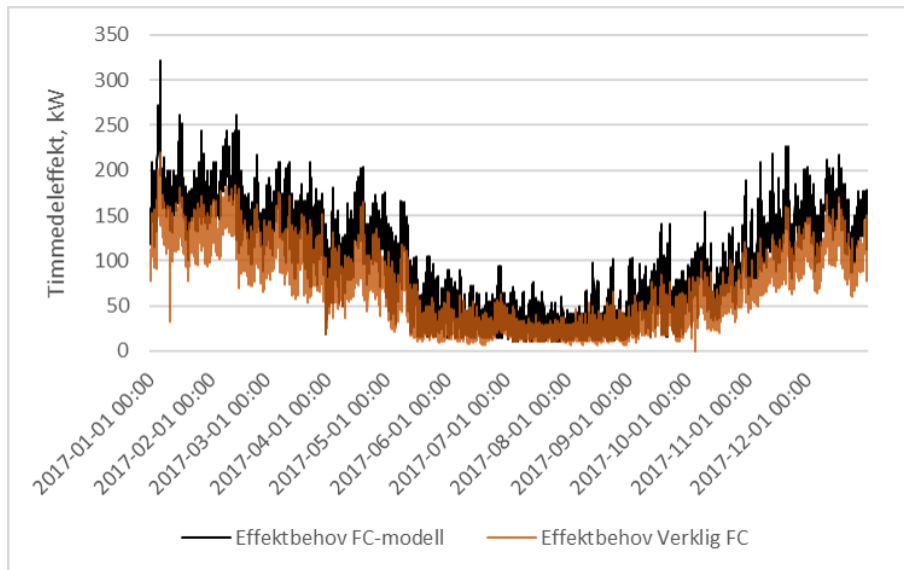
Figur 31: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



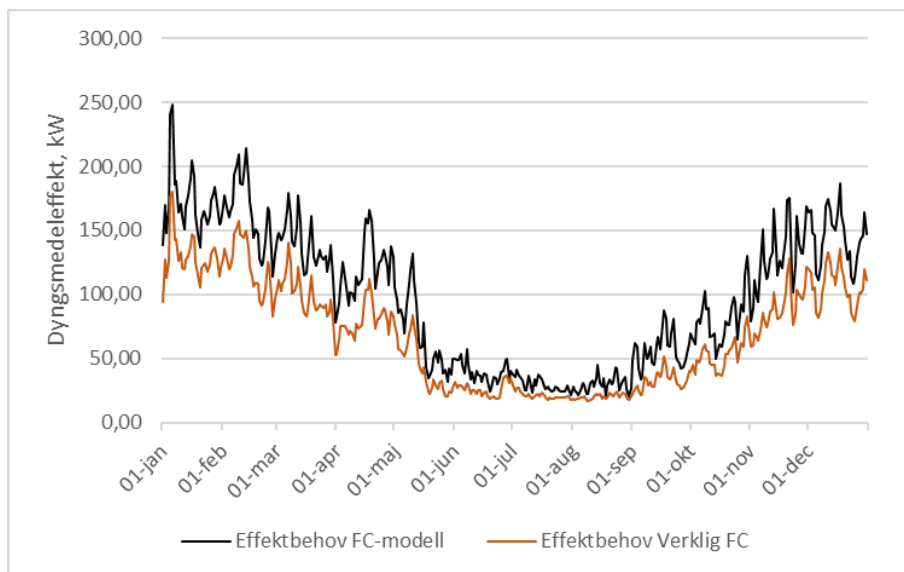
Figur 32: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



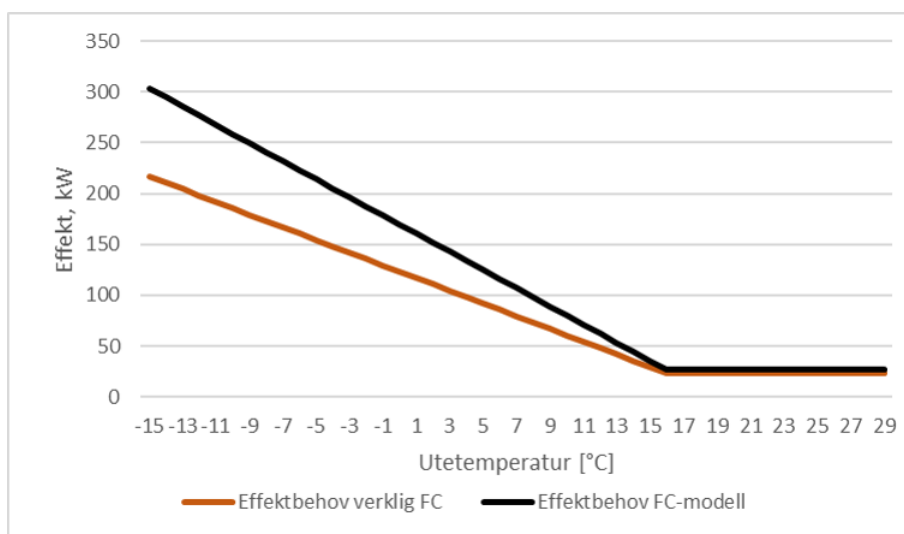
Figur 33: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 34: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

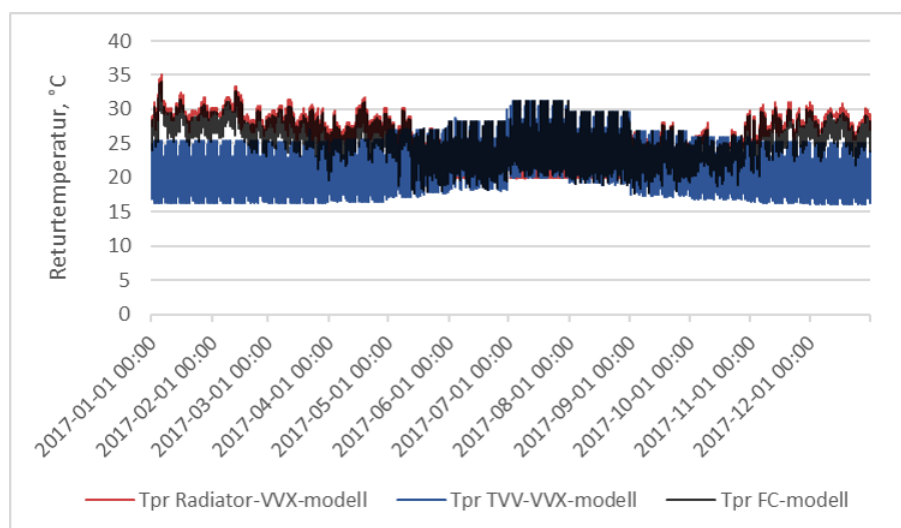


Figur 35: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

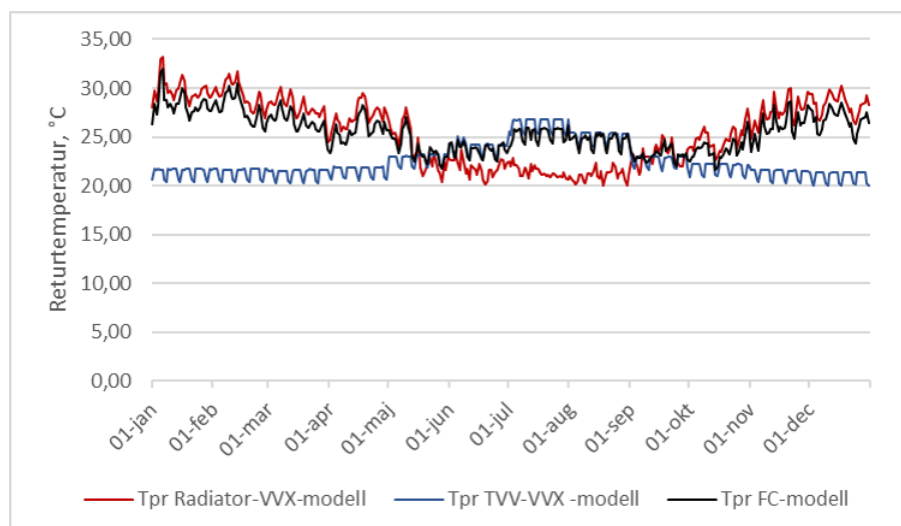


Figur 36: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

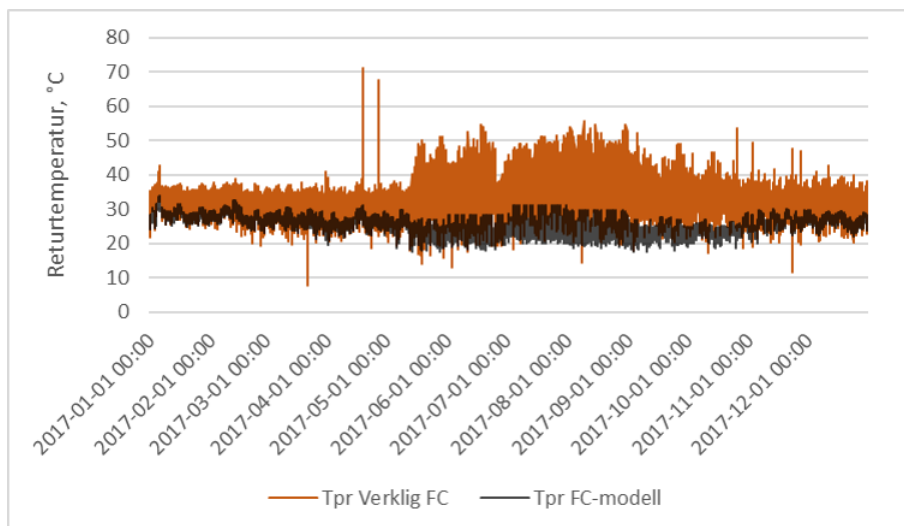
Bilaga 3 - Kundanläggning 1, justerat VVC-flöde



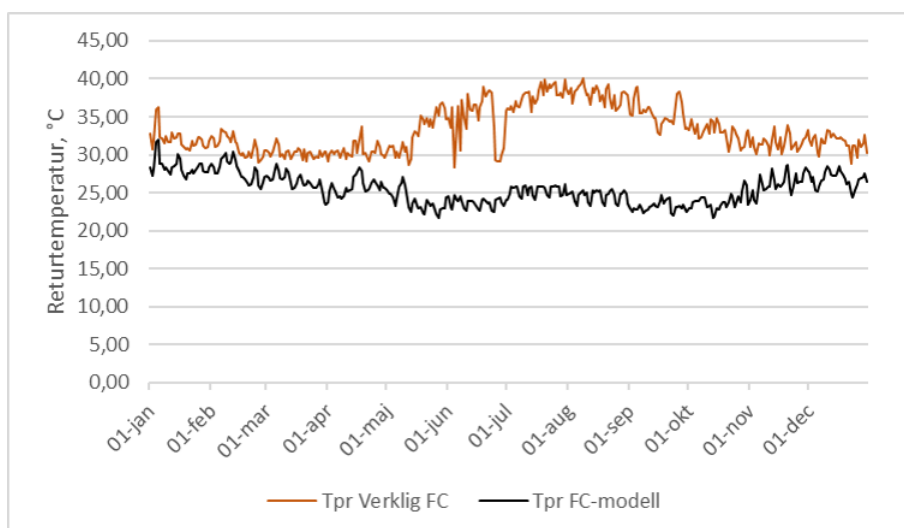
Figur 37: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmewäxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen



Figur 38: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmewäxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

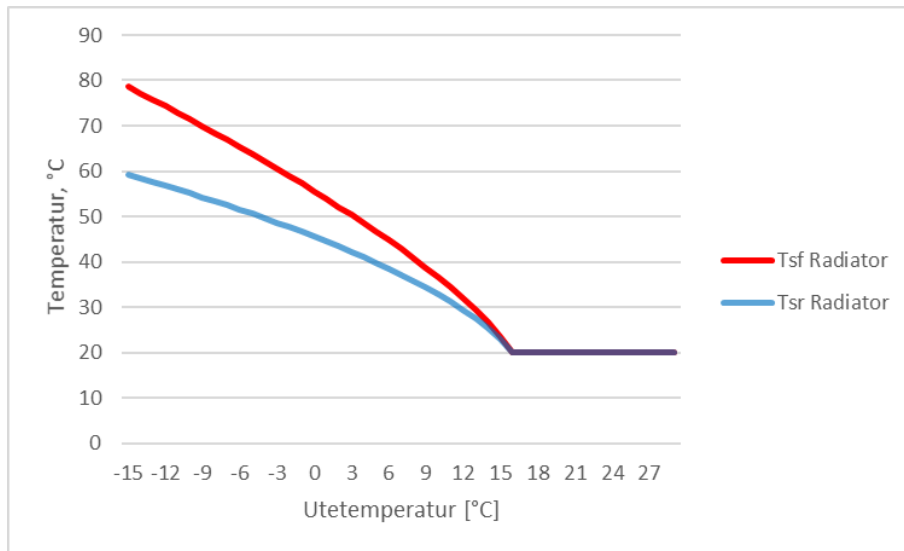


Figur 39: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år

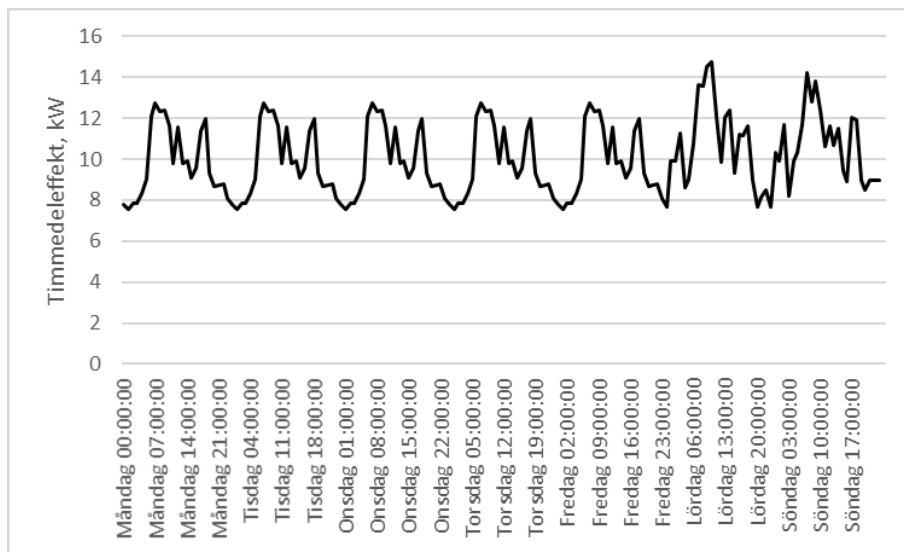


Figur 40: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år

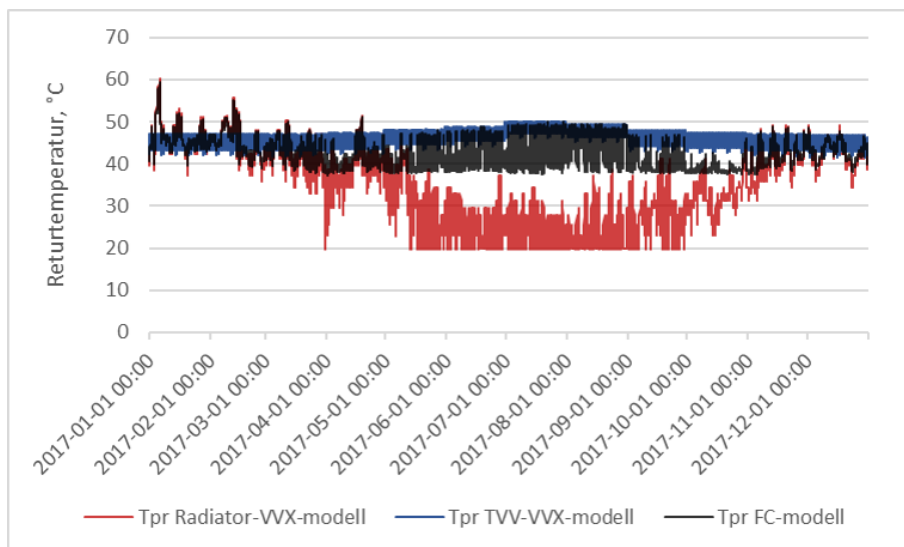
Bilaga 4 - Kundanläggning 2



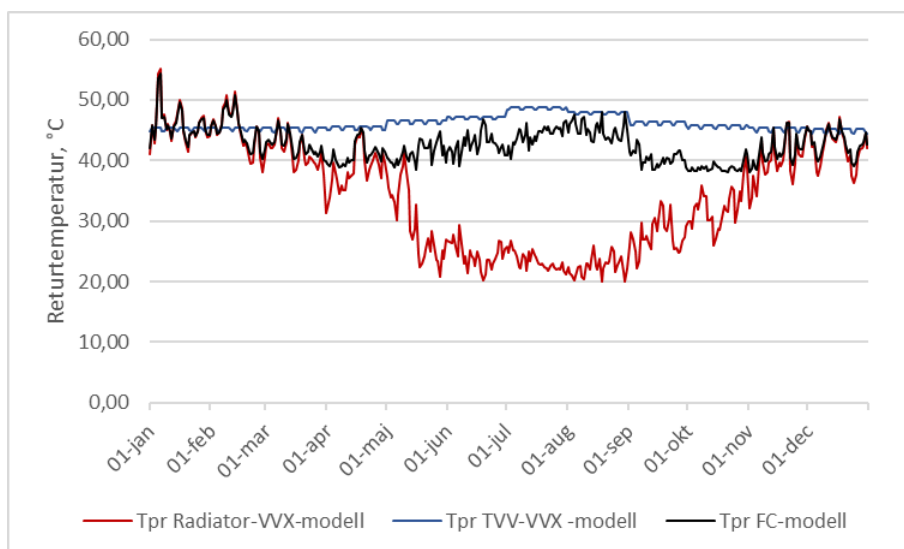
Figur 41: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



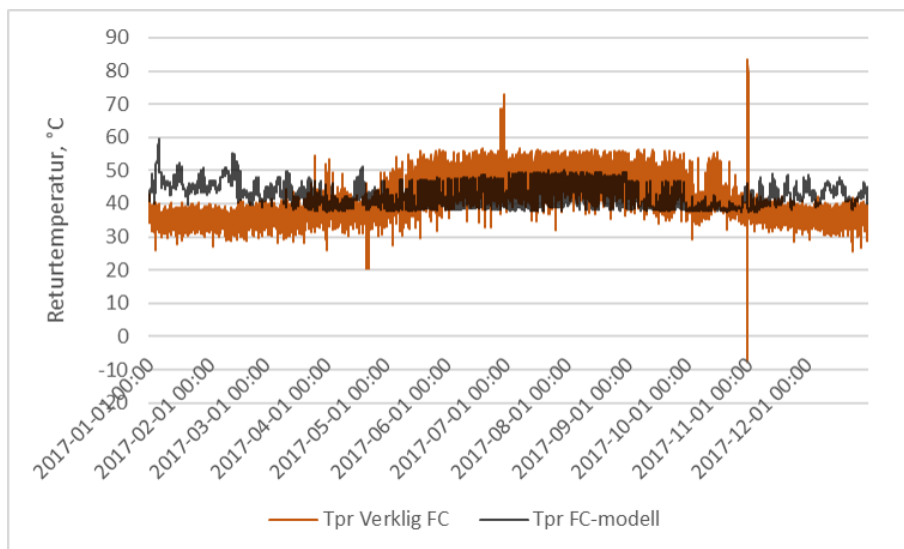
Figur 42: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka



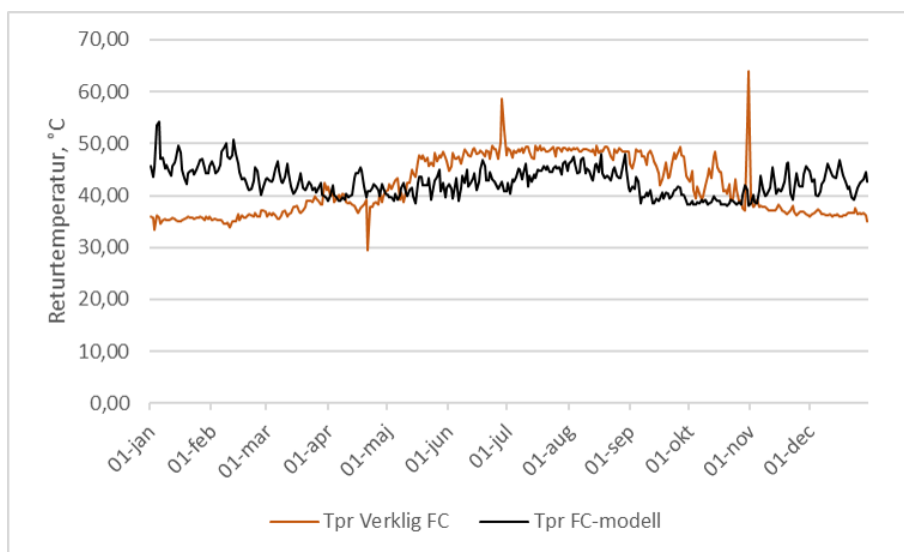
Figur 43: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen



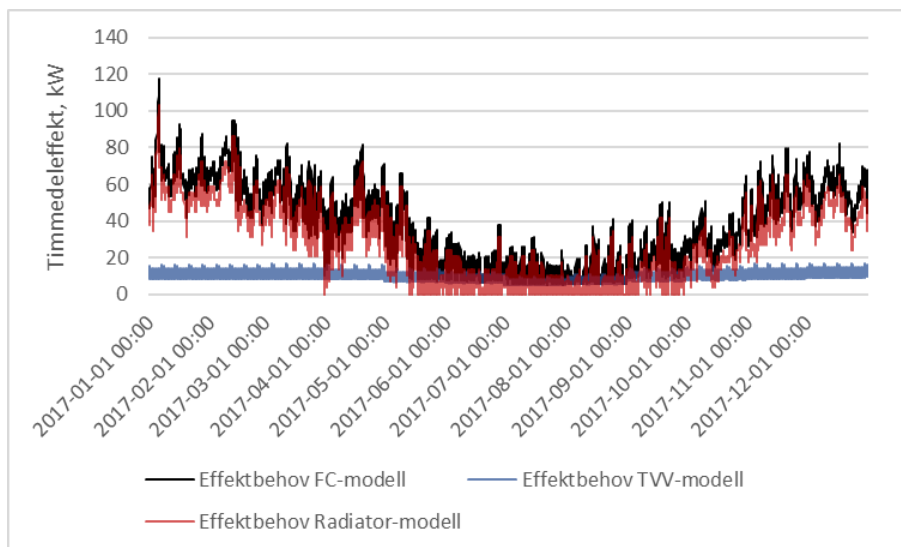
Figur 44: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen



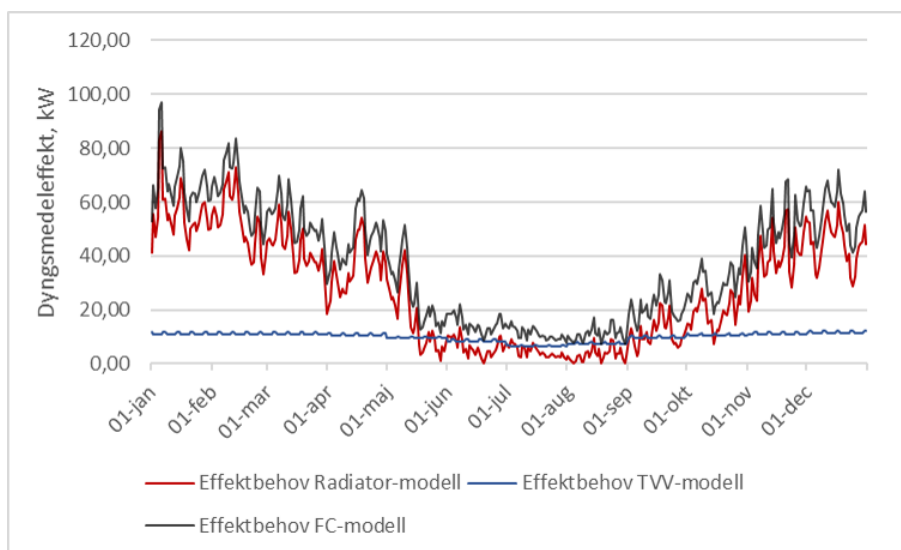
Figur 45: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



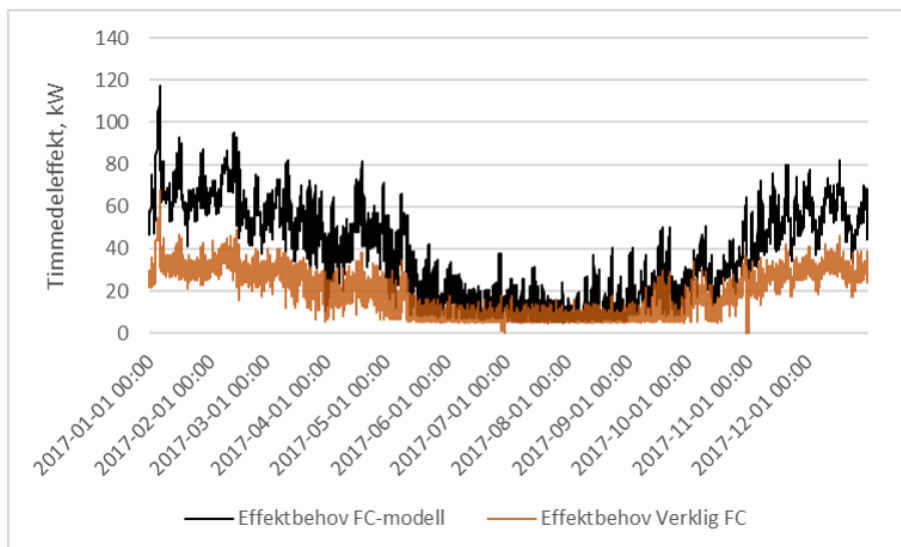
Figur 46: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



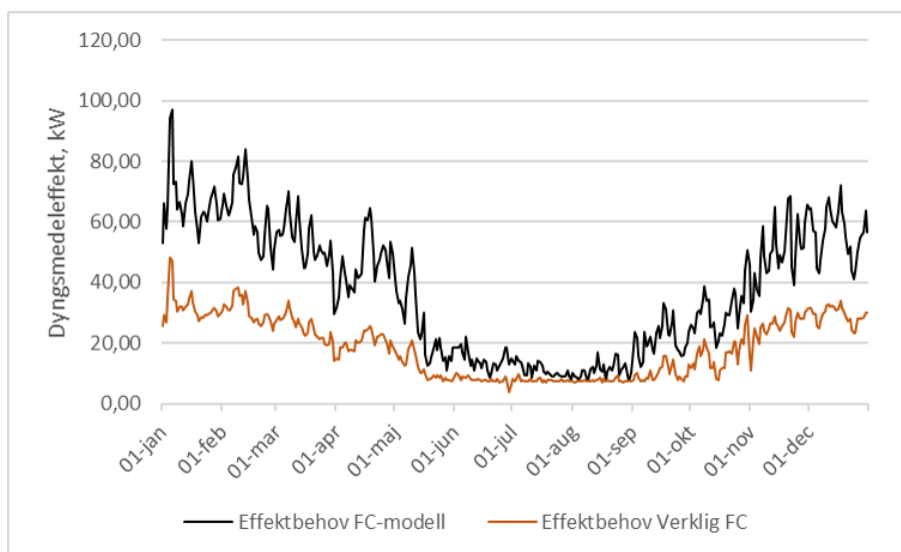
Figur 47: Timmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



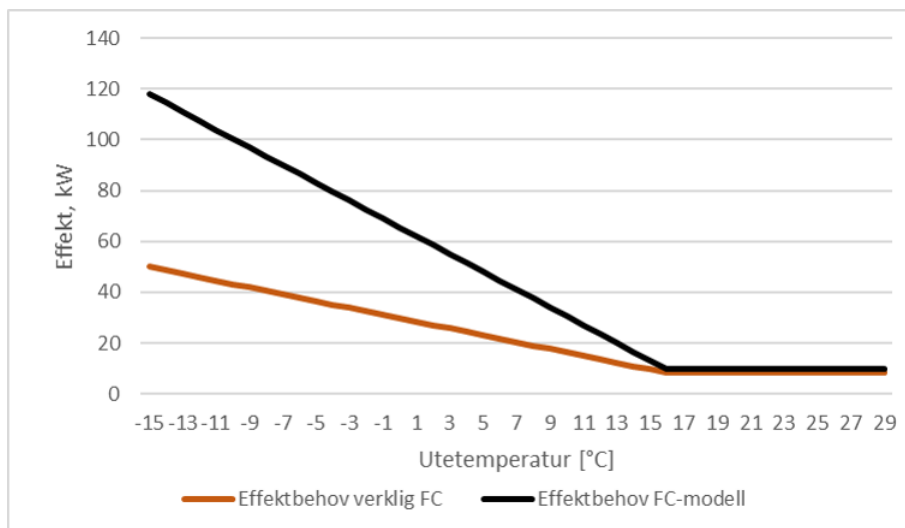
Figur 48: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 49: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

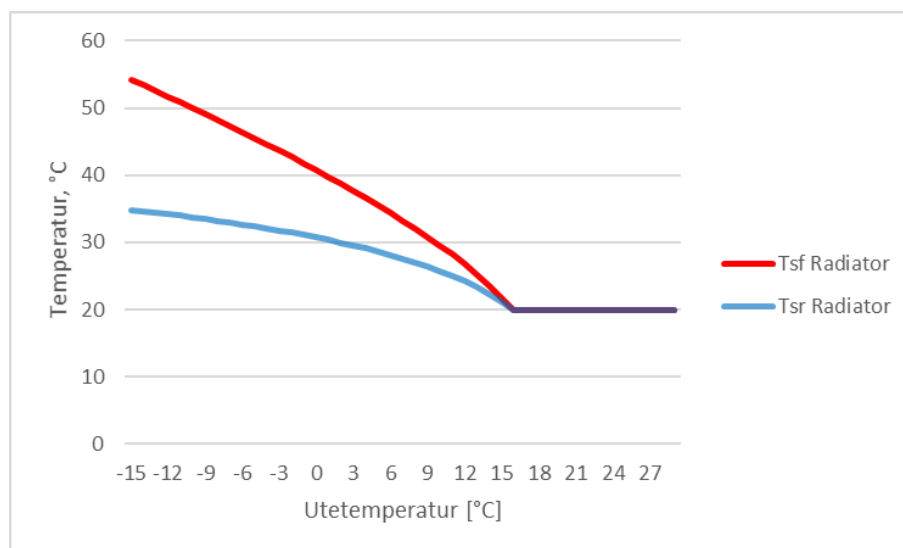


Figur 50: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

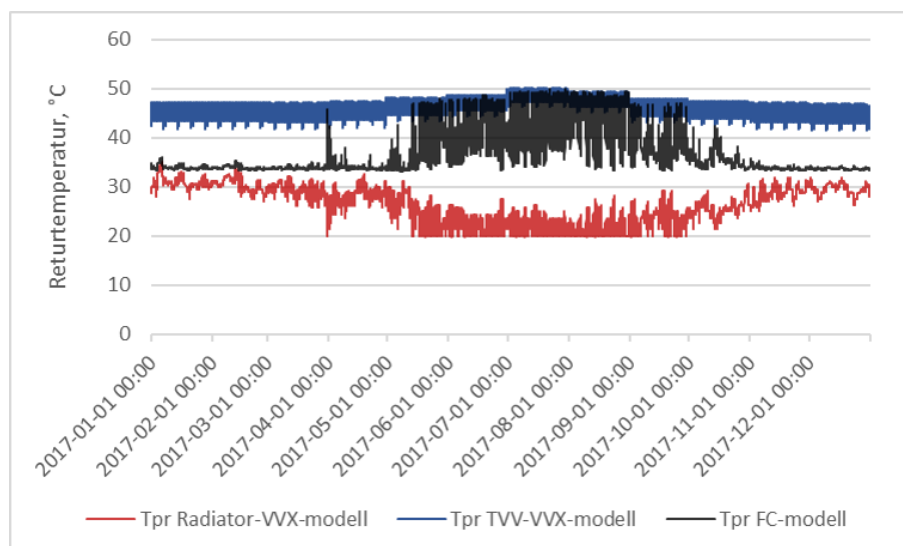


Figur 51: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

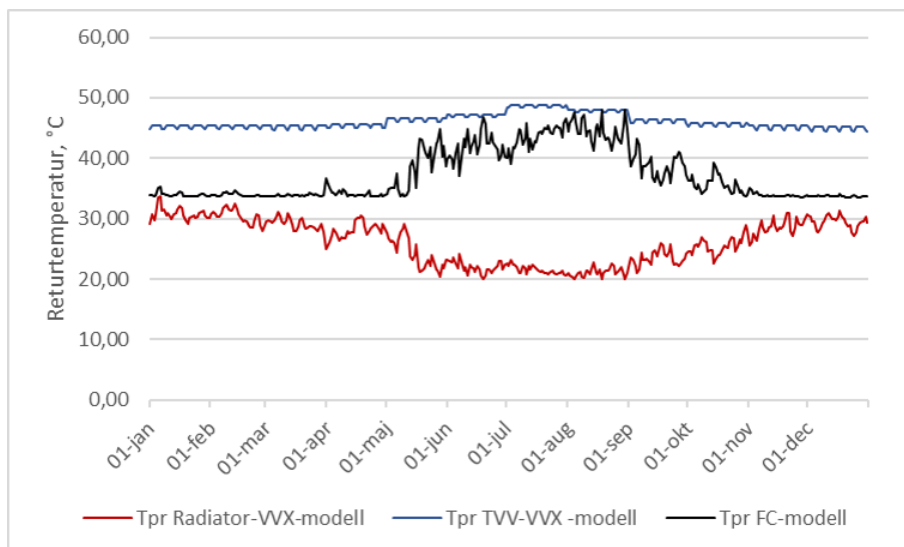
Bilaga 5 - Kundanläggning 2, justerat temperaturprogram



Figur 52: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer

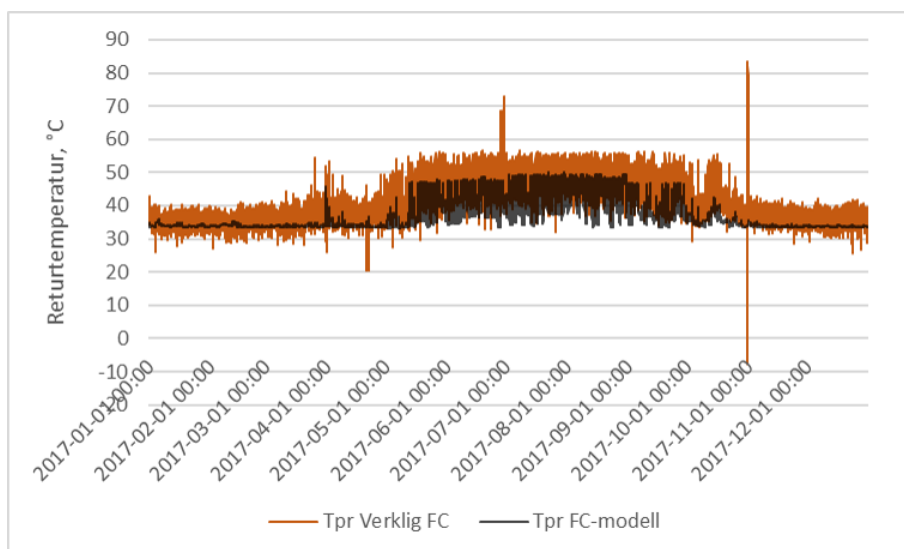


Figur 53: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattenssystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

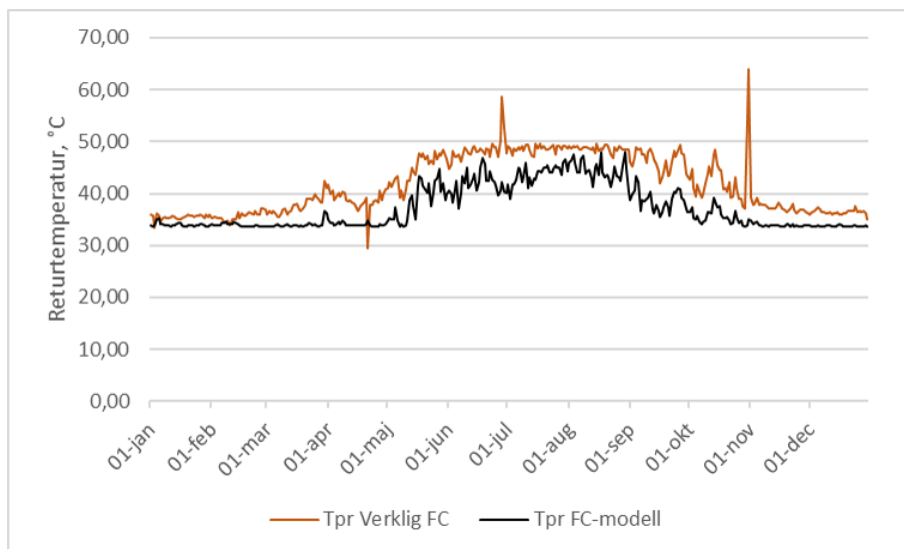


Figur 54: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

6

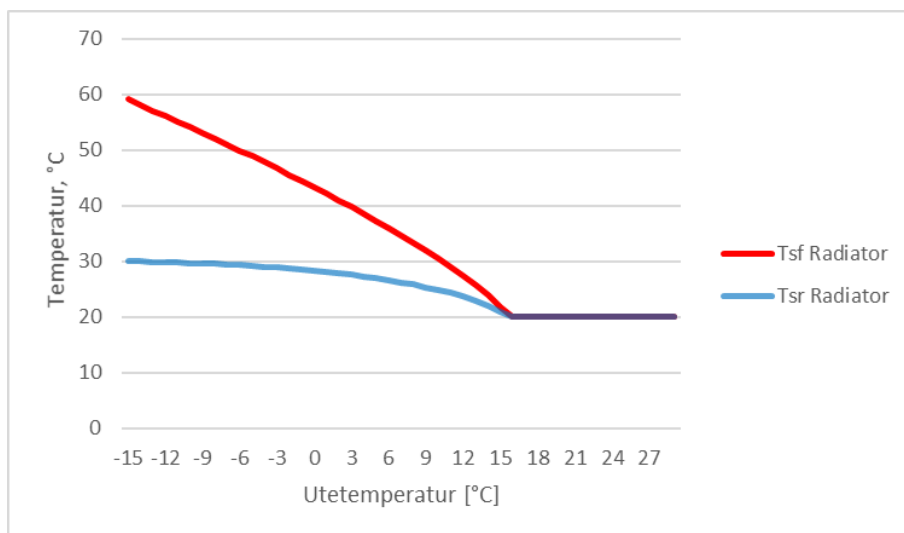


Figur 55: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år

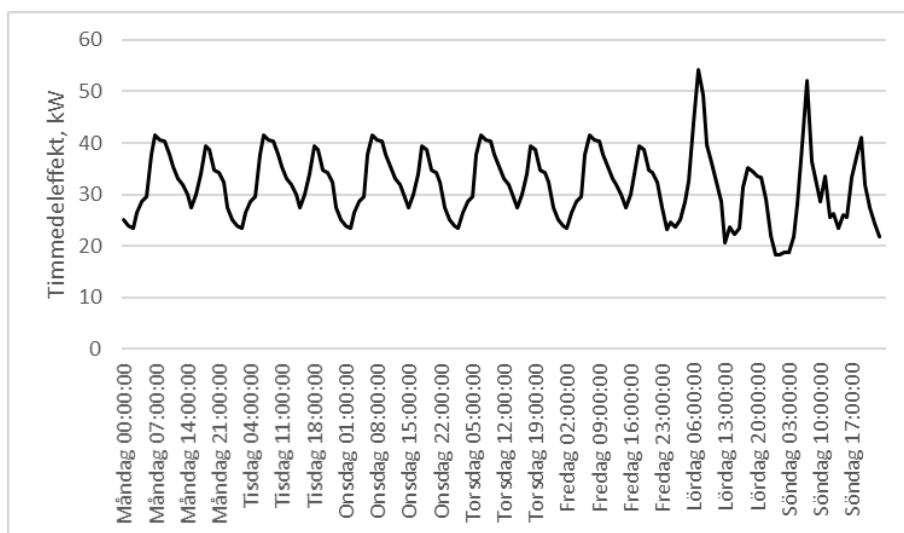


Figur 56: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år

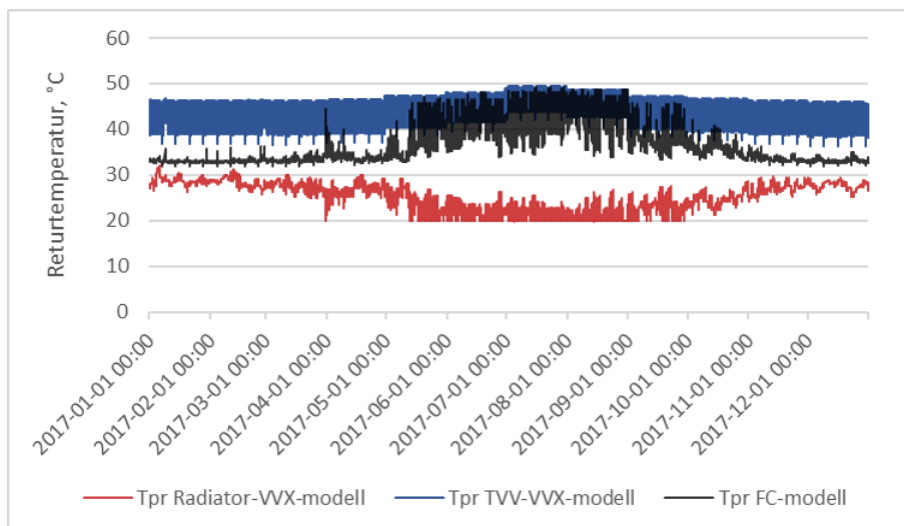
Bilaga 6 - Kundanläggning 3



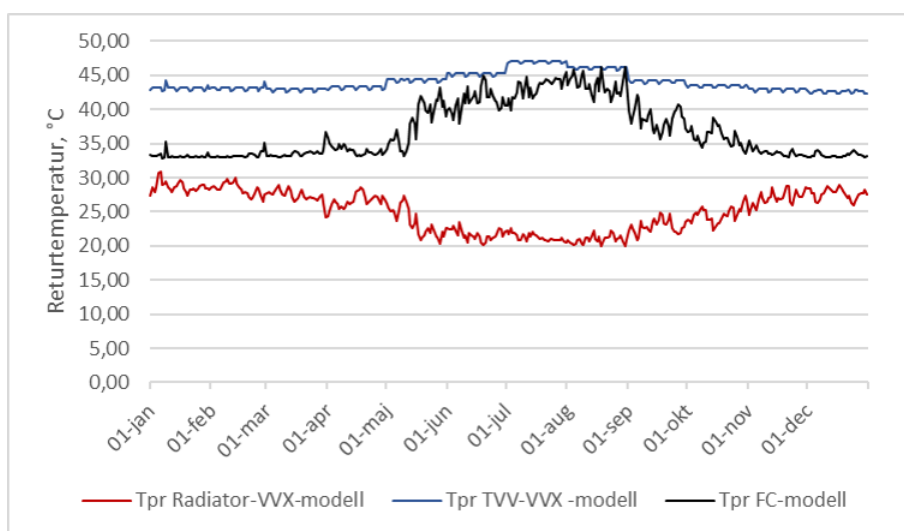
Figur 57: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



Figur 58: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka

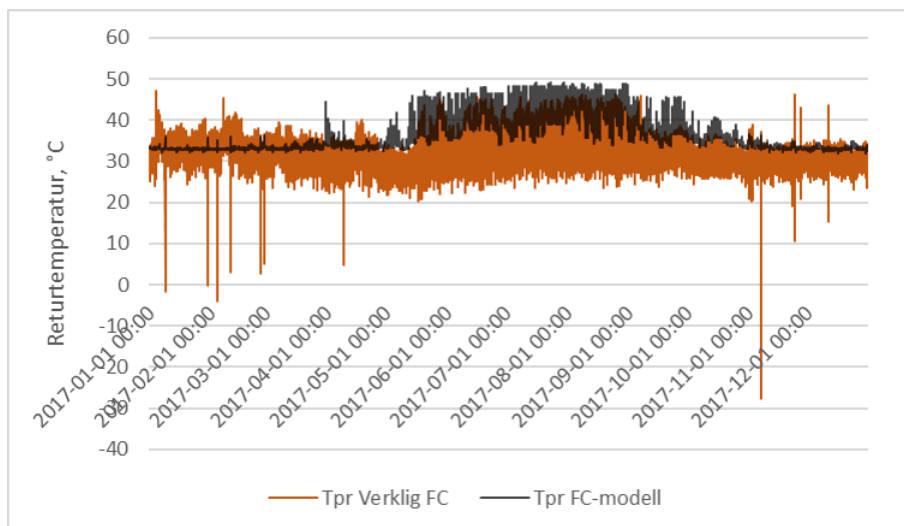


Figur 59: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

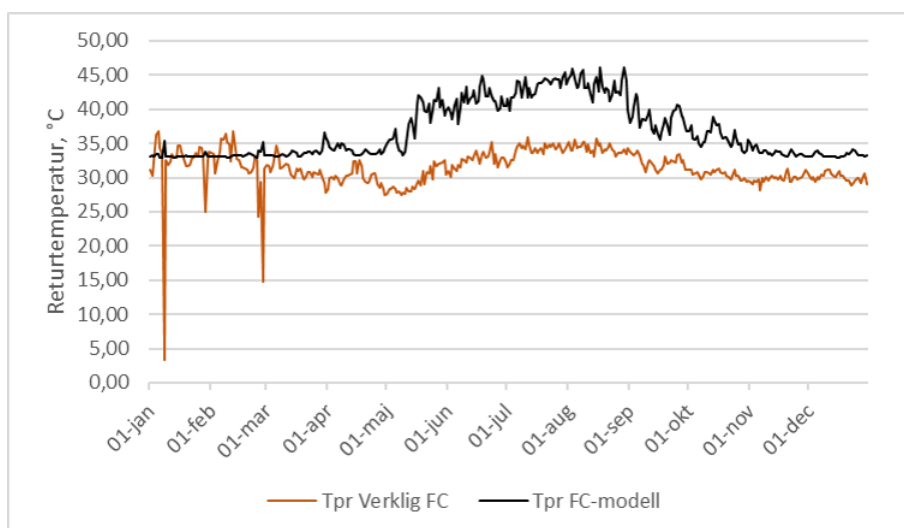


Figur 60: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

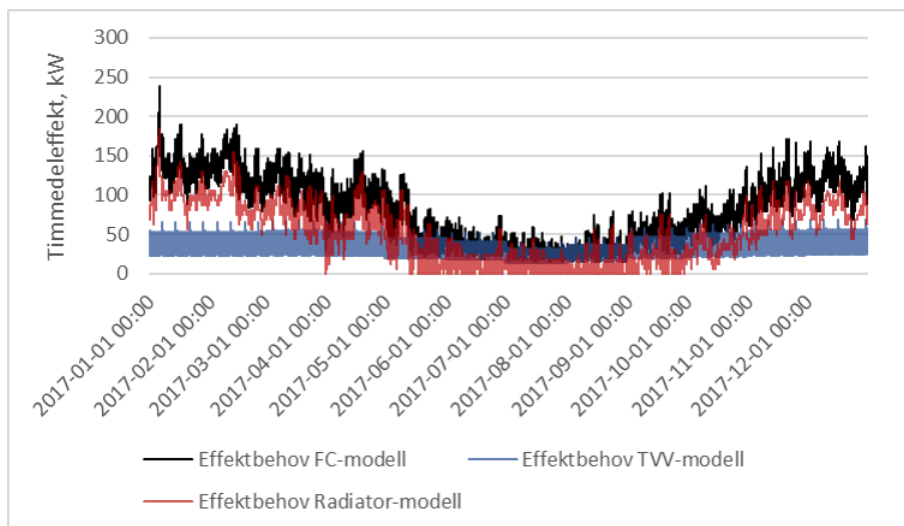
6



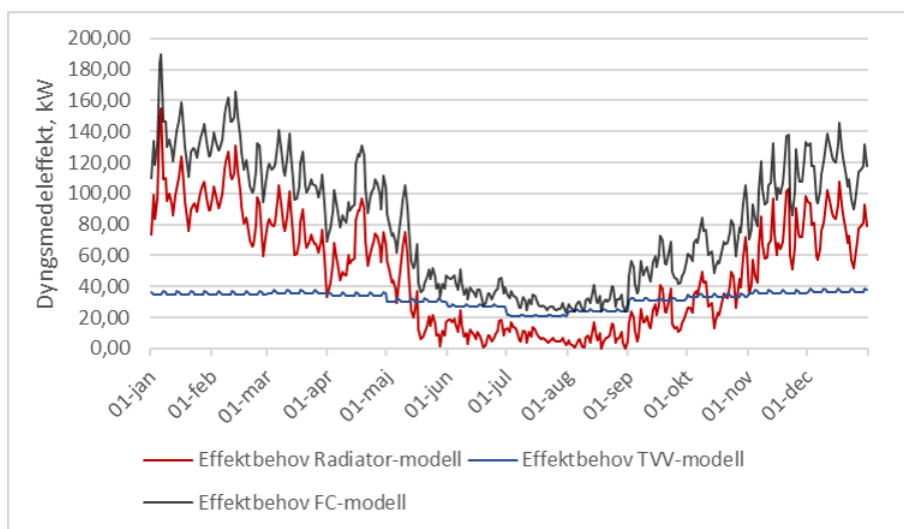
Figur 61: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



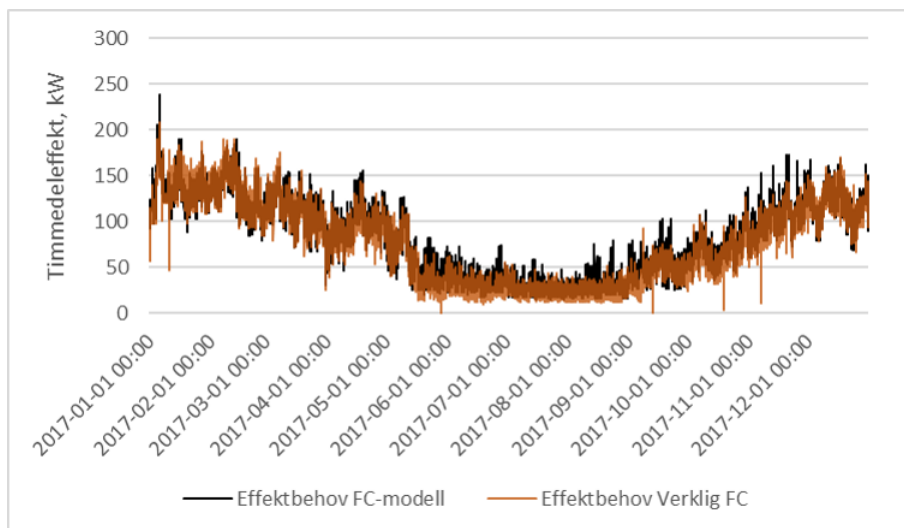
Figur 62: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



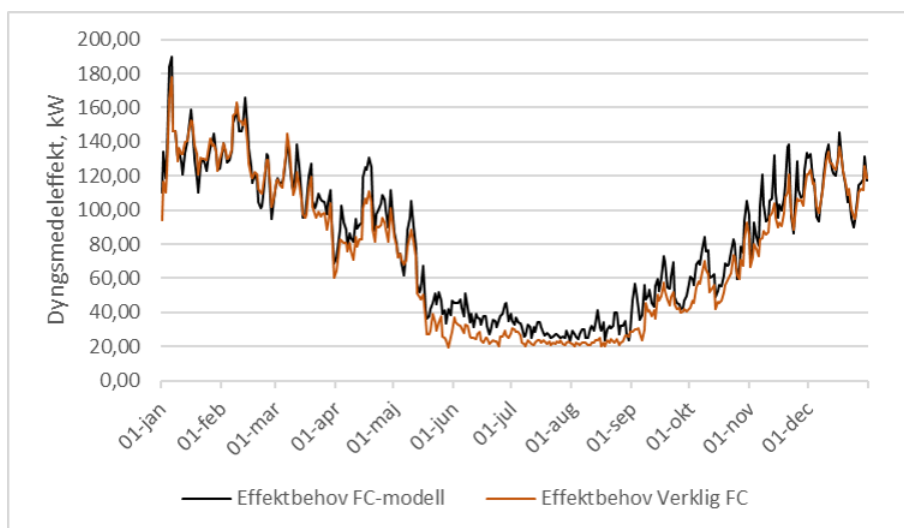
Figur 63: Timmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



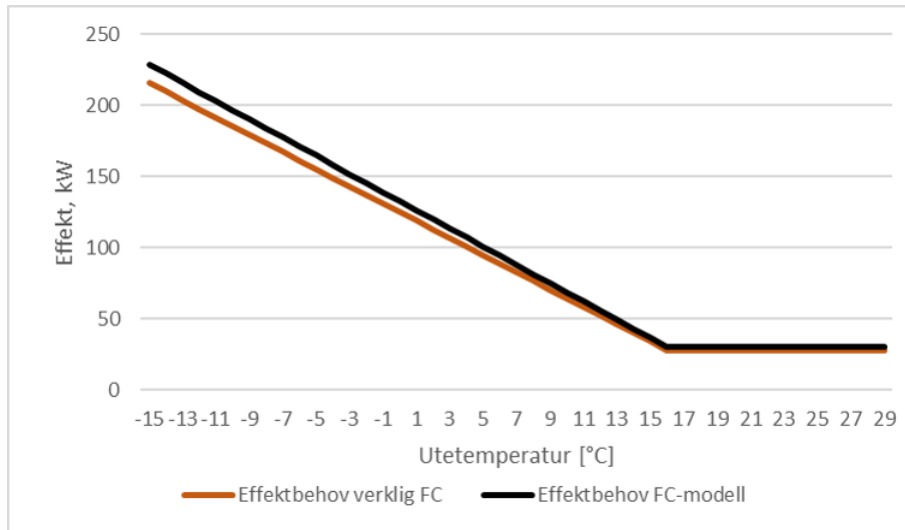
Figur 64: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 65: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

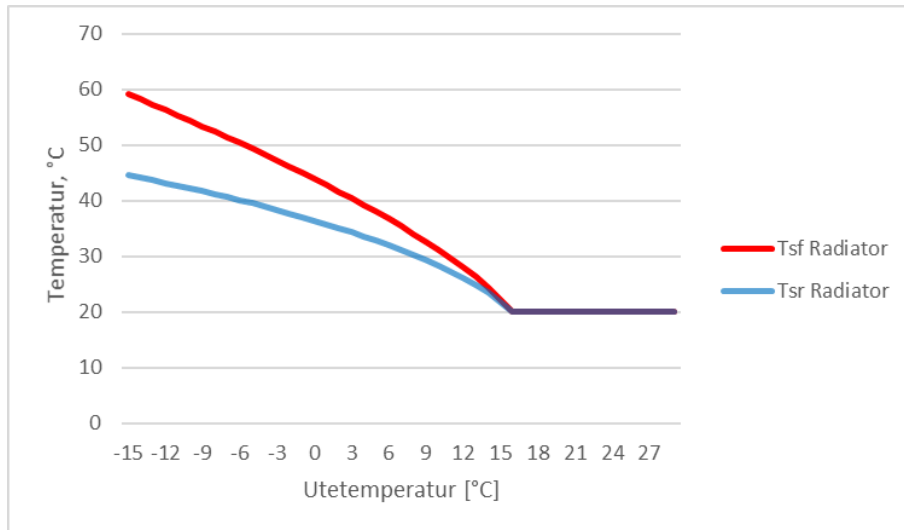


Figur 66: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

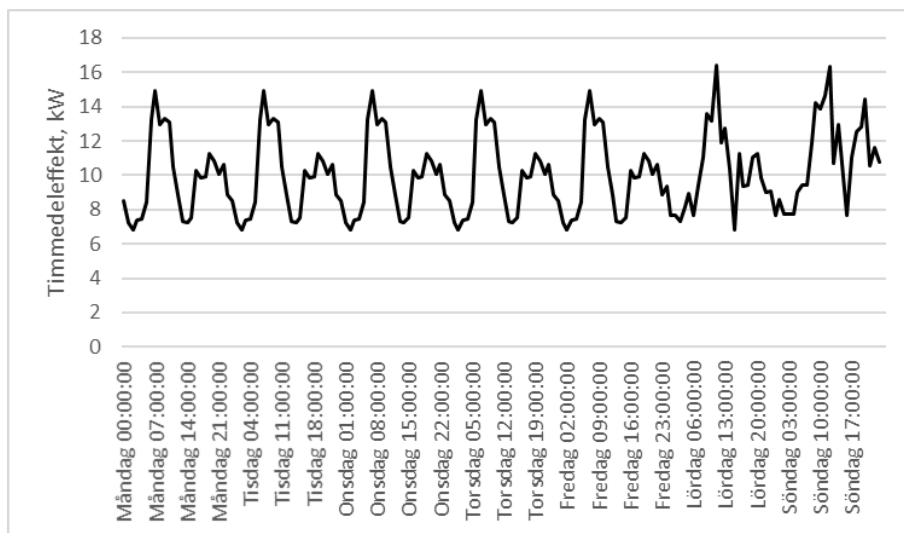


Figur 67: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

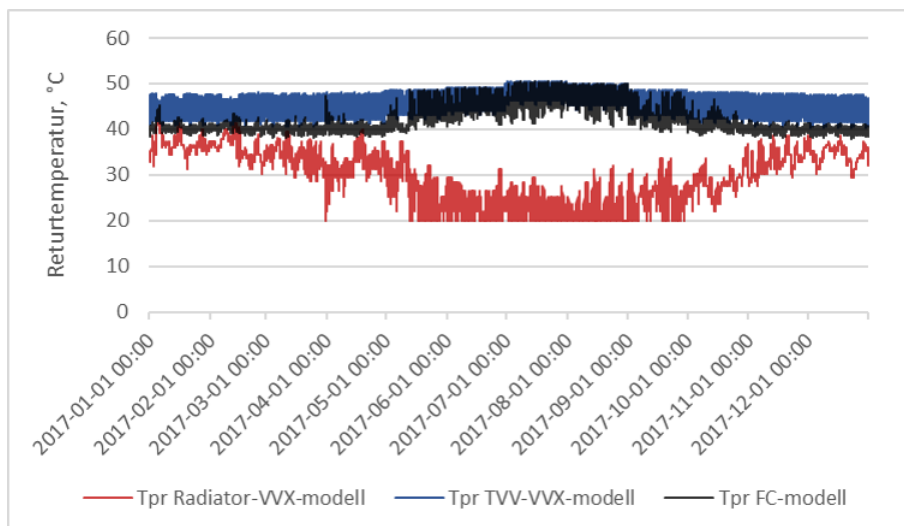
Bilaga 7 - Kundanläggning 4



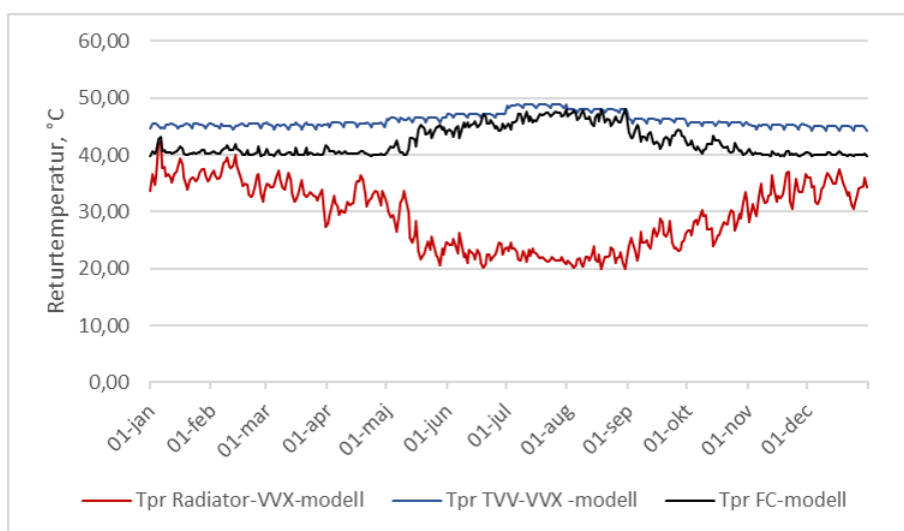
Figur 68: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



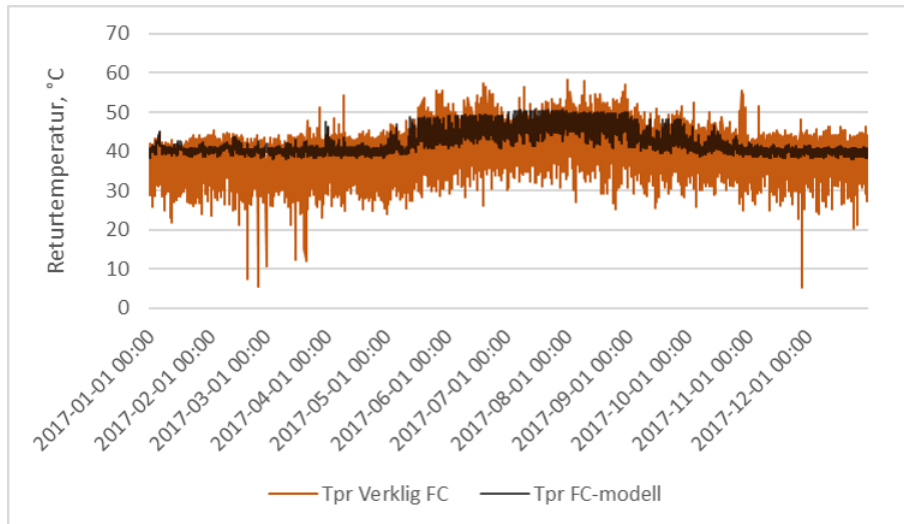
Figur 69: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka



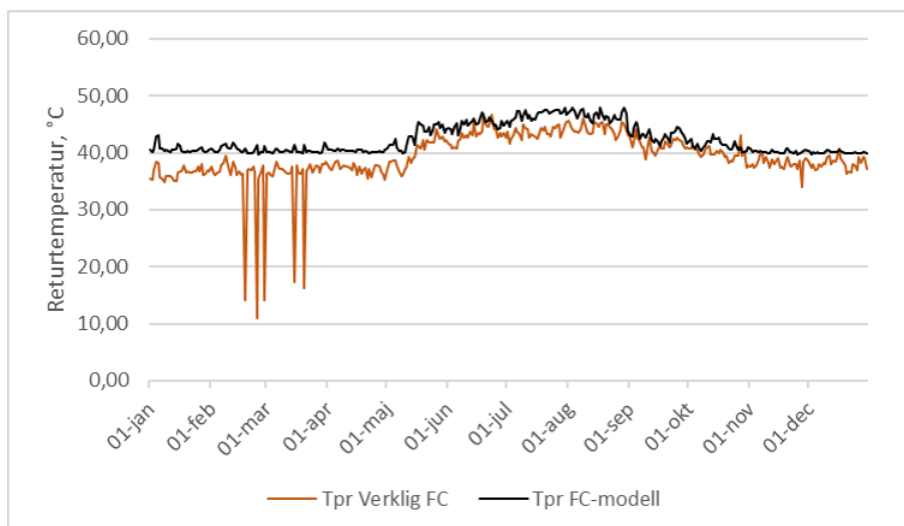
Figur 70: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattenssystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen



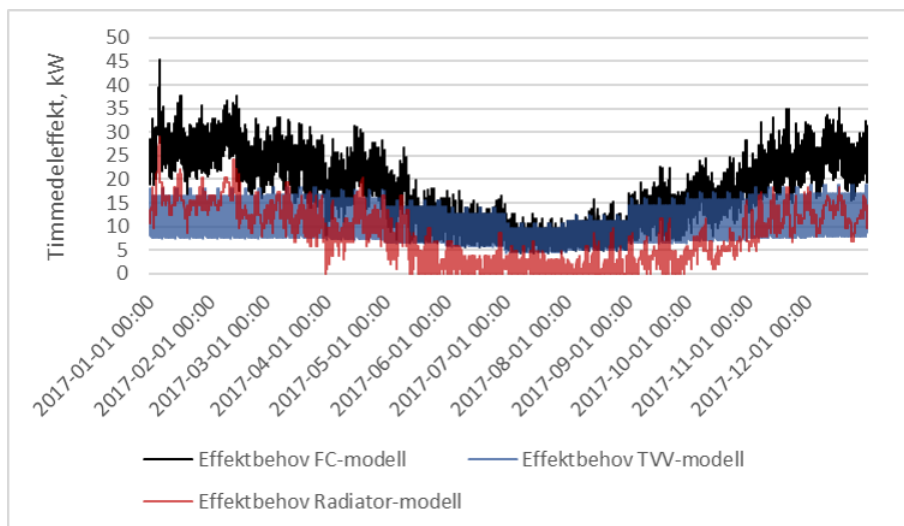
Figur 71: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattenssystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen



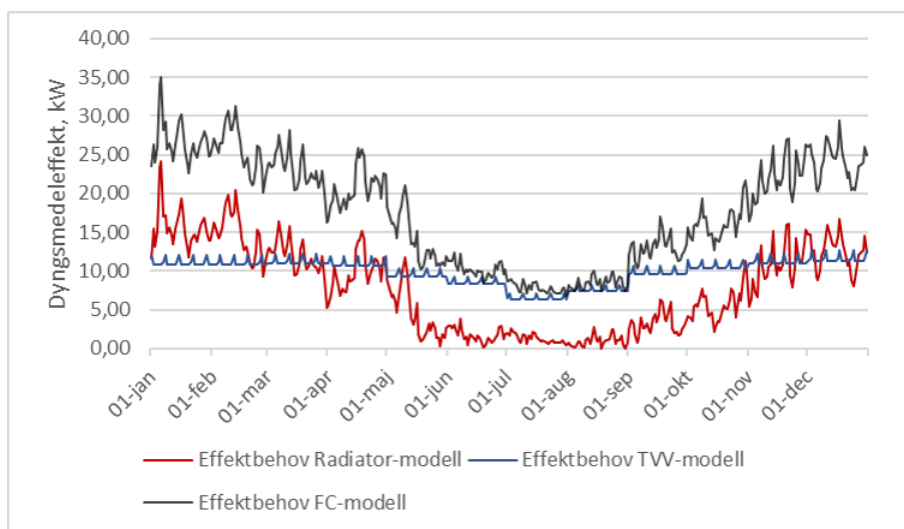
Figur 72: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



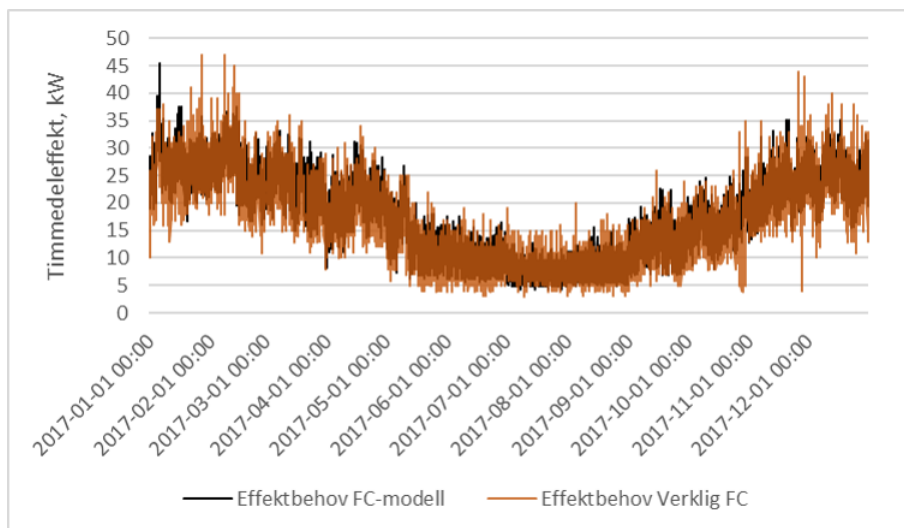
Figur 73: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



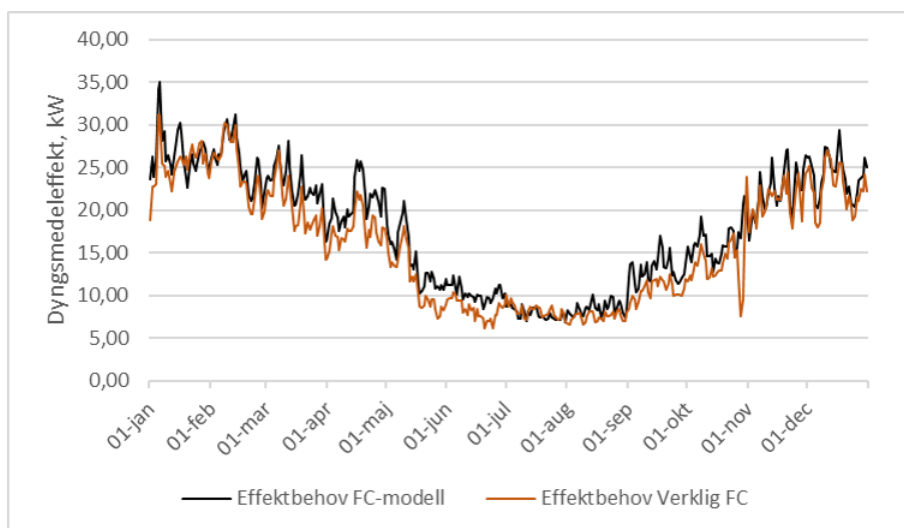
Figur 74: Timmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



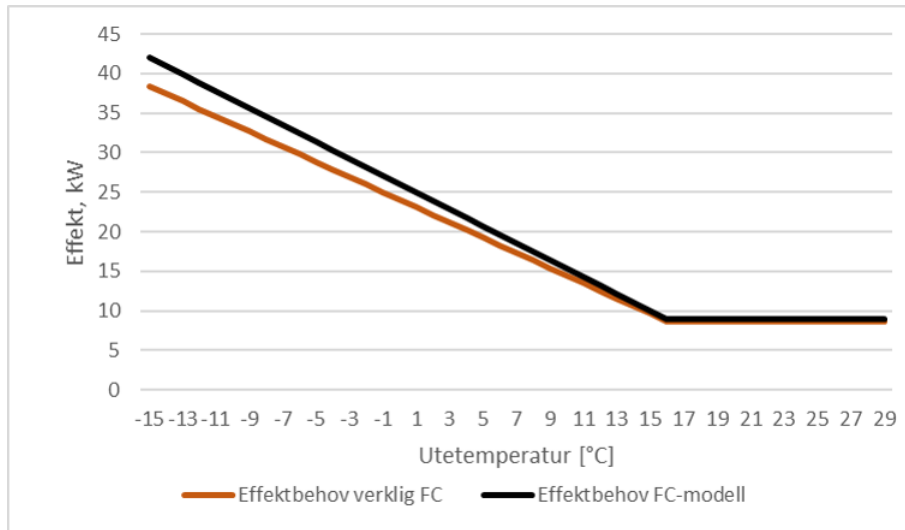
Figur 75: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 76: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

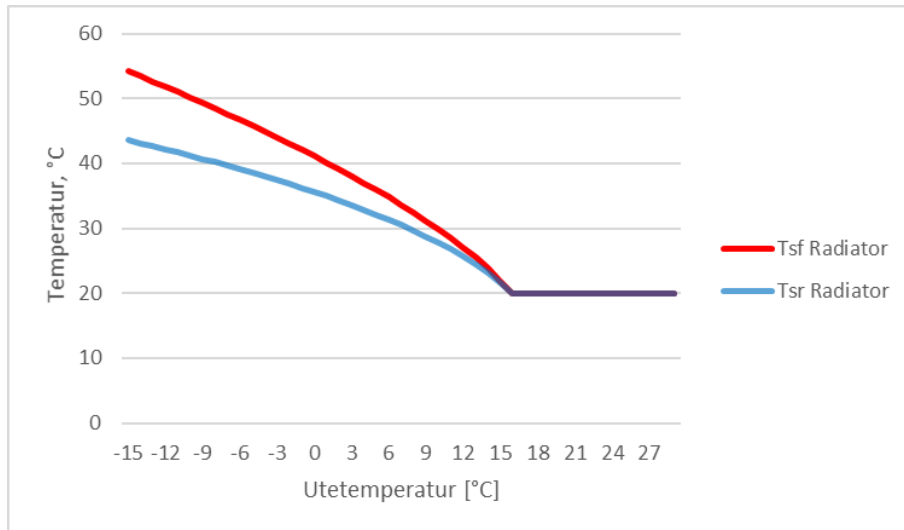


Figur 77: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

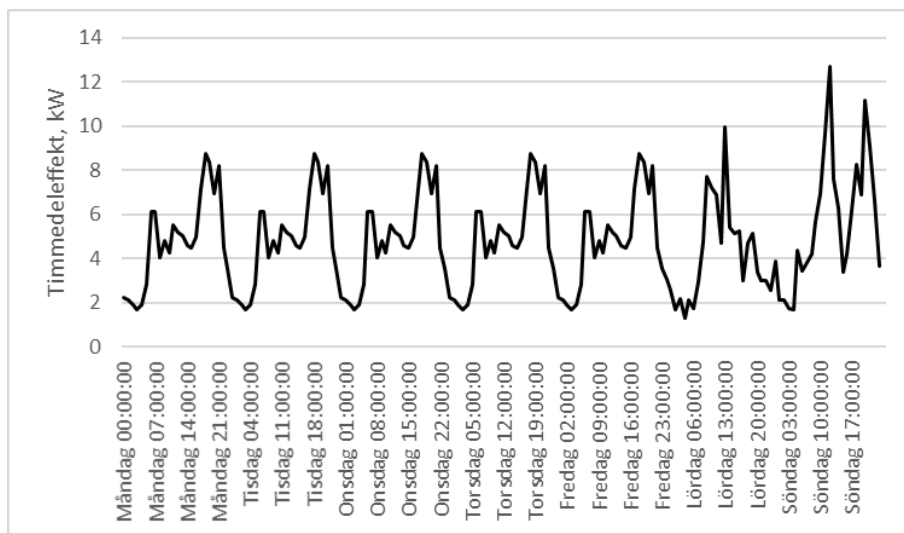


Figur 78: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

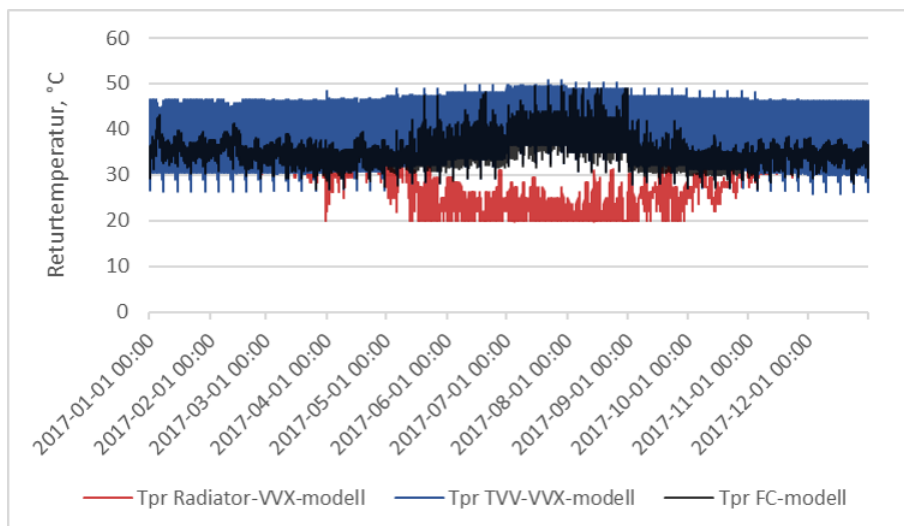
Bilaga 8 - Kundanläggning 5



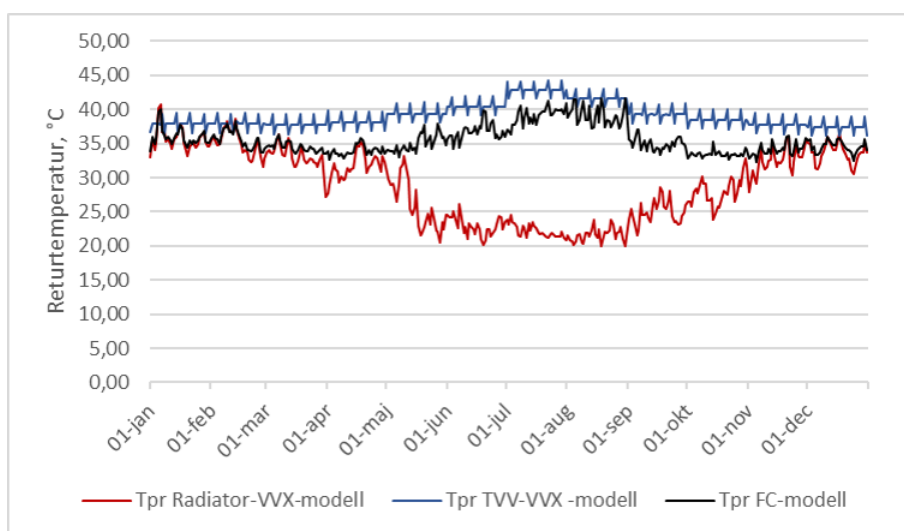
Figur 79: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



Figur 80: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka

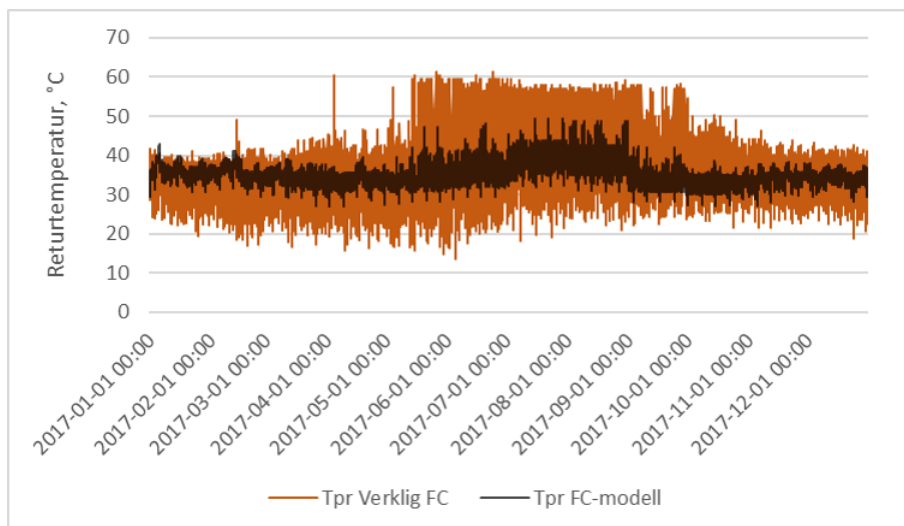


Figur 81: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

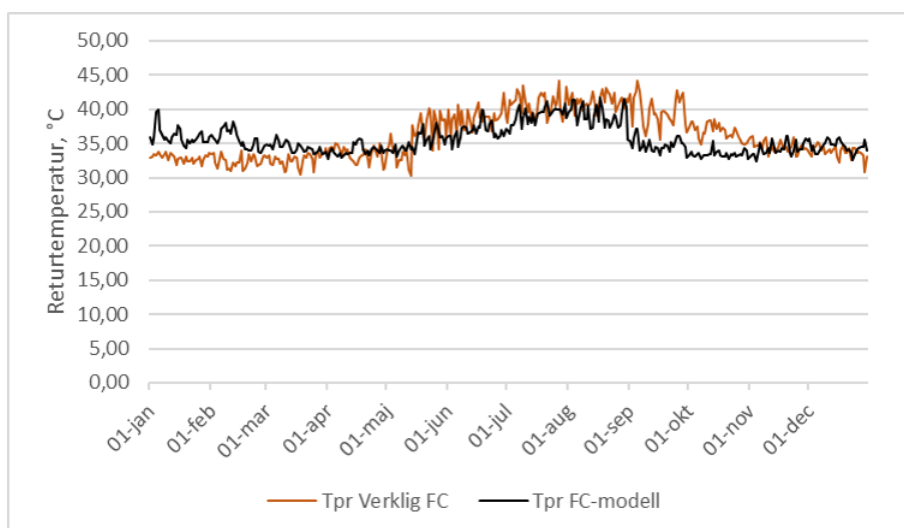


Figur 82: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattensystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

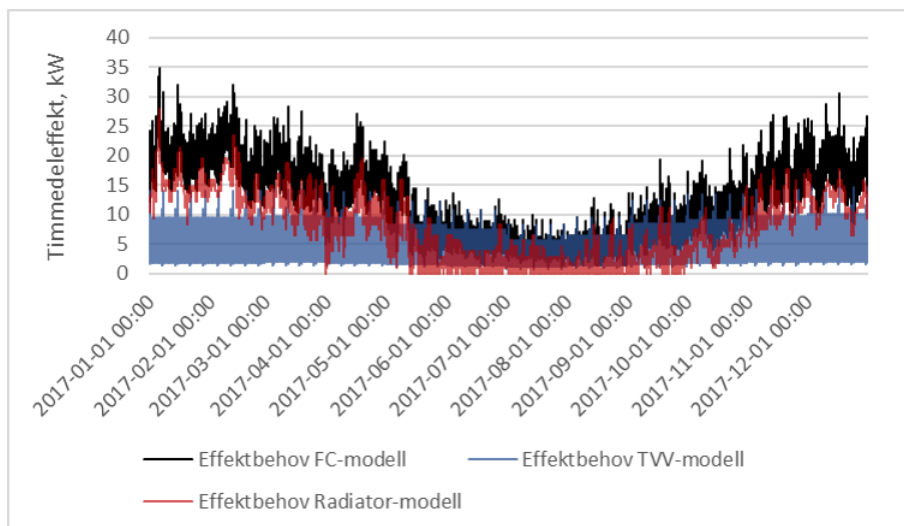
6



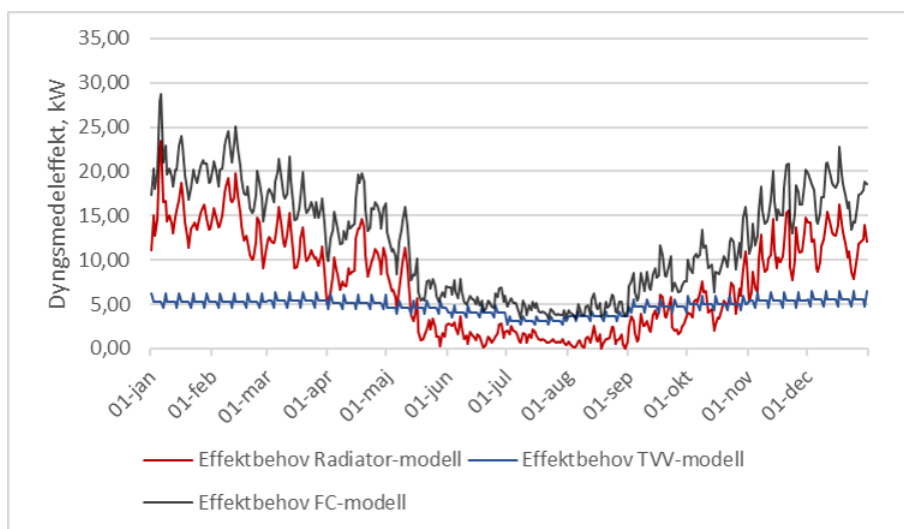
Figur 83: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



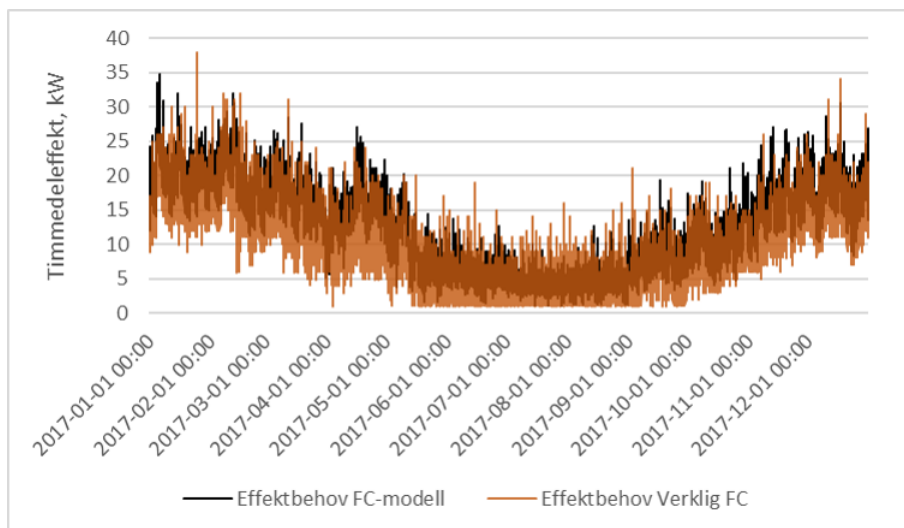
Figur 84: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



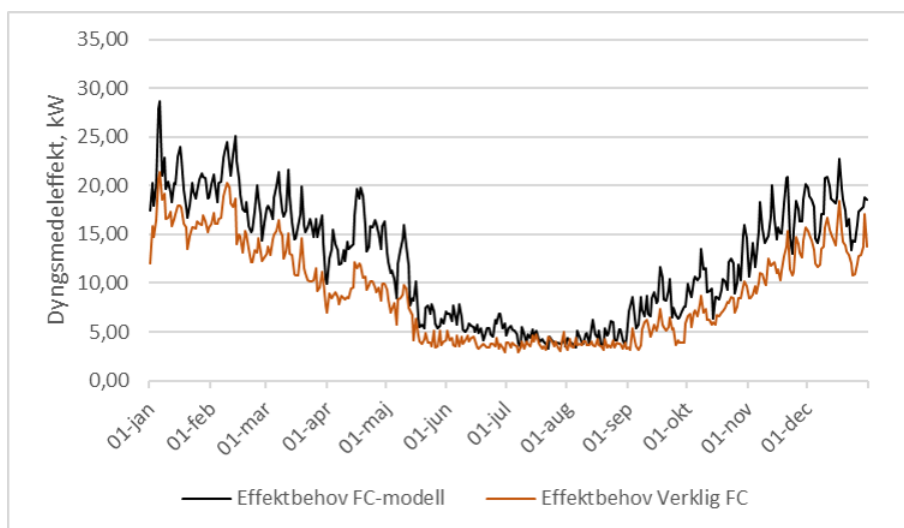
Figur 85: Timmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



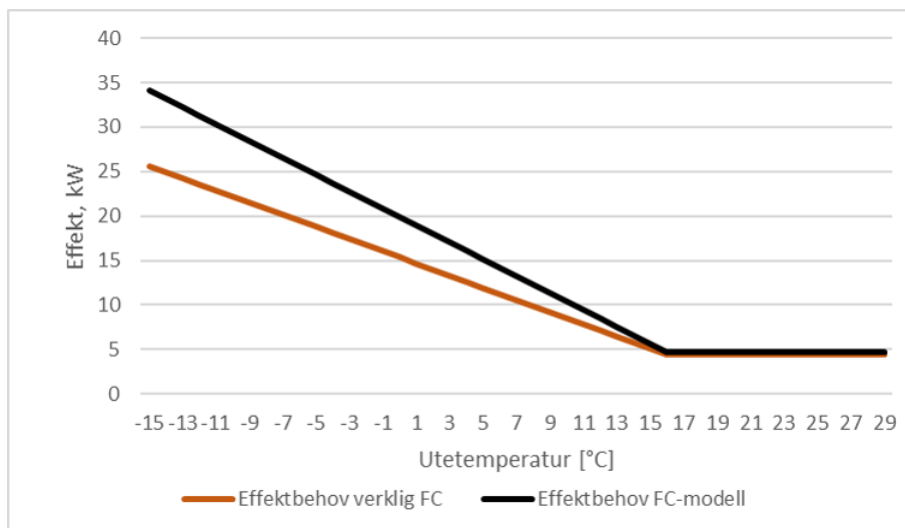
Figur 86: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 87: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

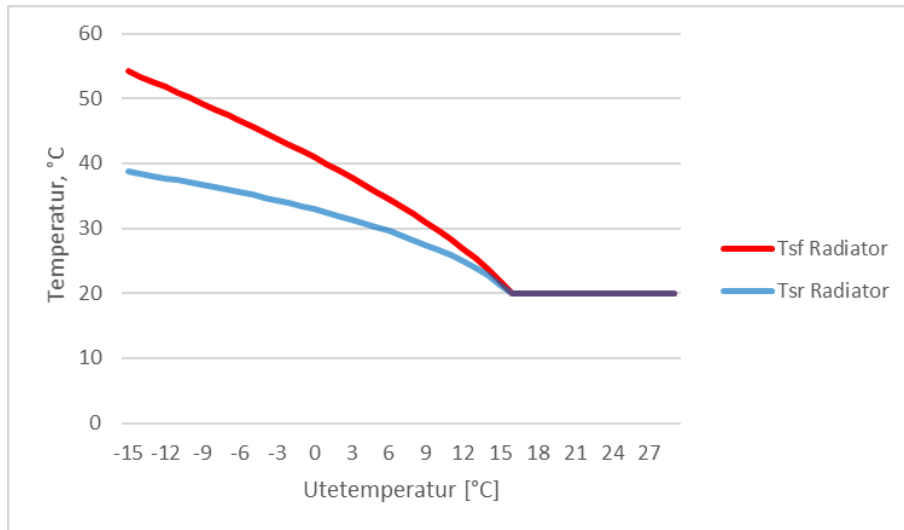


Figur 88: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

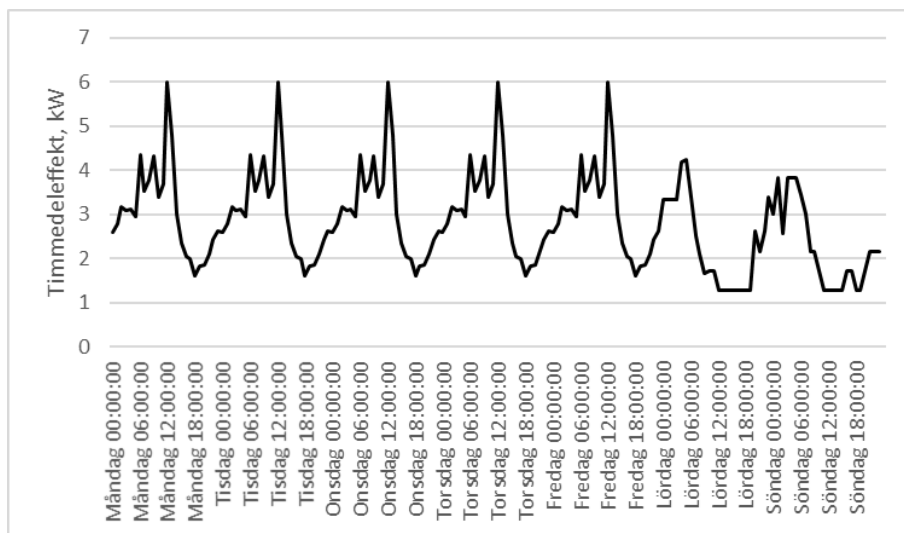


Figur 89: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen

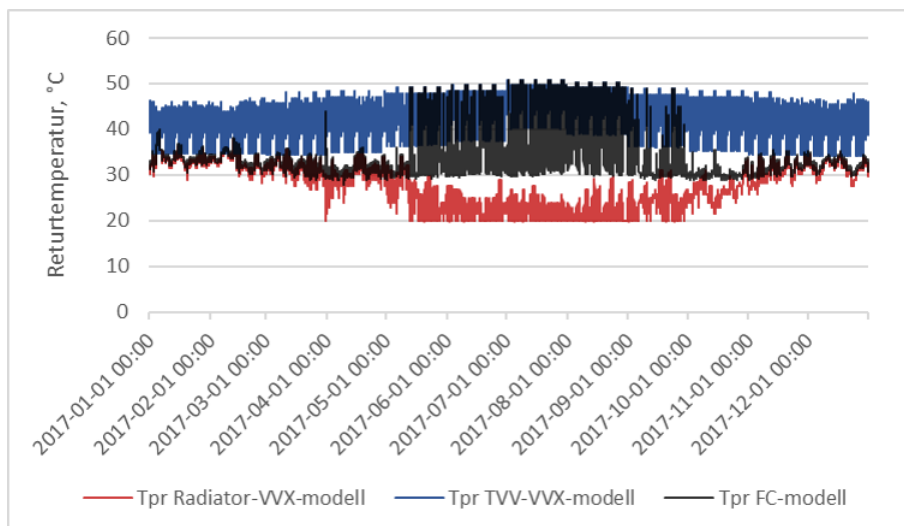
Bilaga 9 - Kundanläggning 6



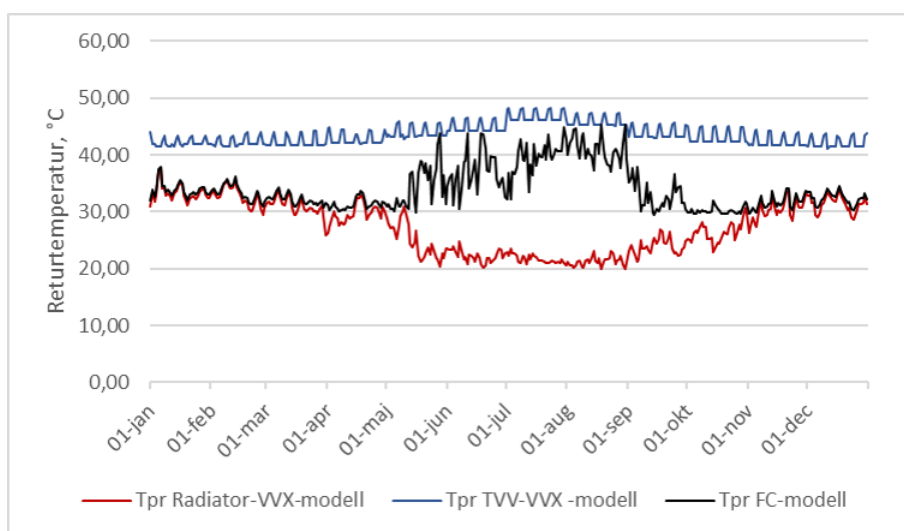
Figur 90: Radiatorsystemets framlednings- och returtemperatur vid olika utetemperaturer



Figur 91: Timmedeleffekten för uppvärmning av tappvarmvatten under en vecka

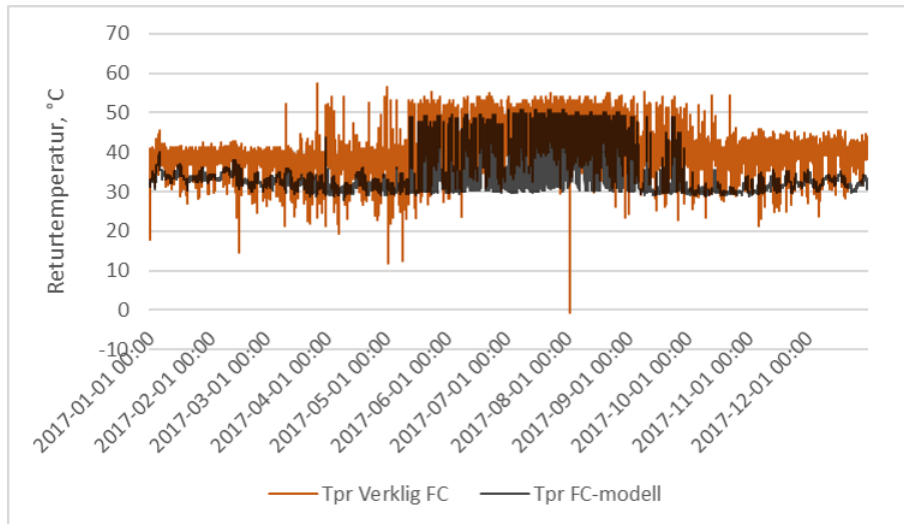


Figur 92: Timmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattenssystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

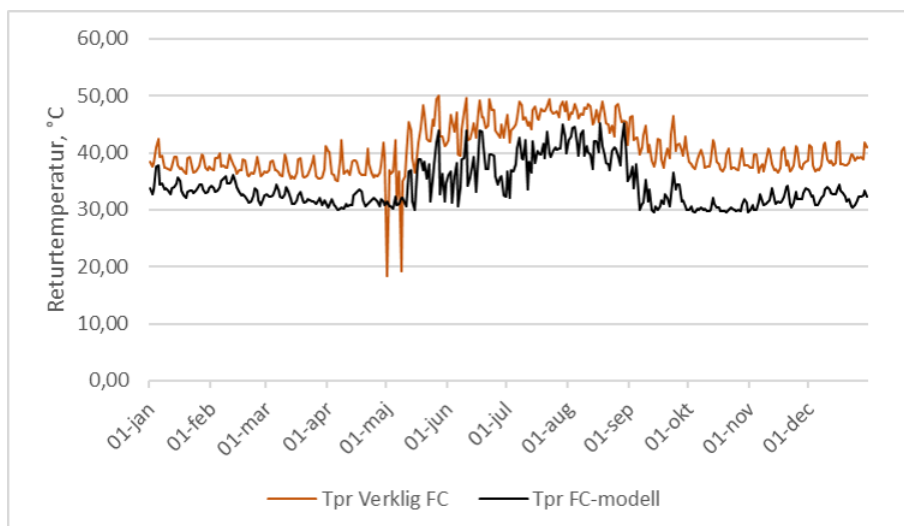


Figur 93: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna från det modellerade radiator-systemets respektive tappvarmvattenssystemets värmeväxlare, samt den viktade returtemperaturen från den modellerade kundanläggningen

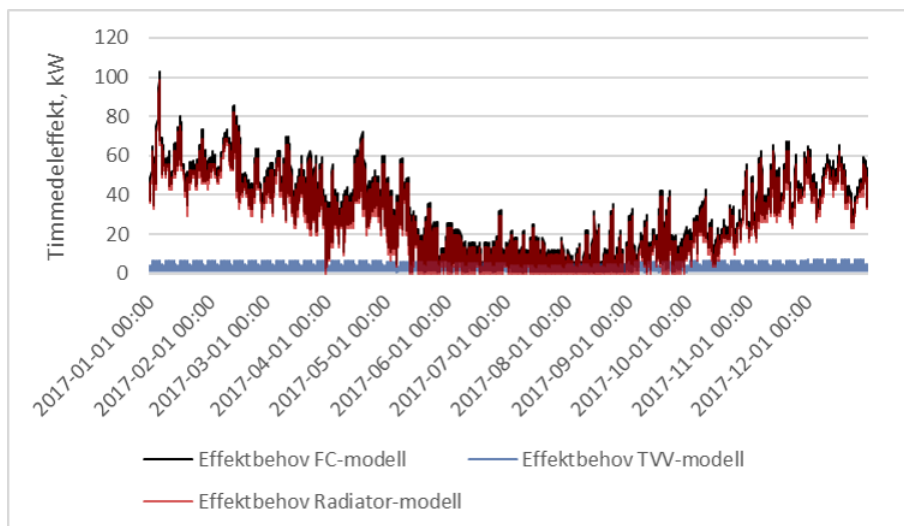
6



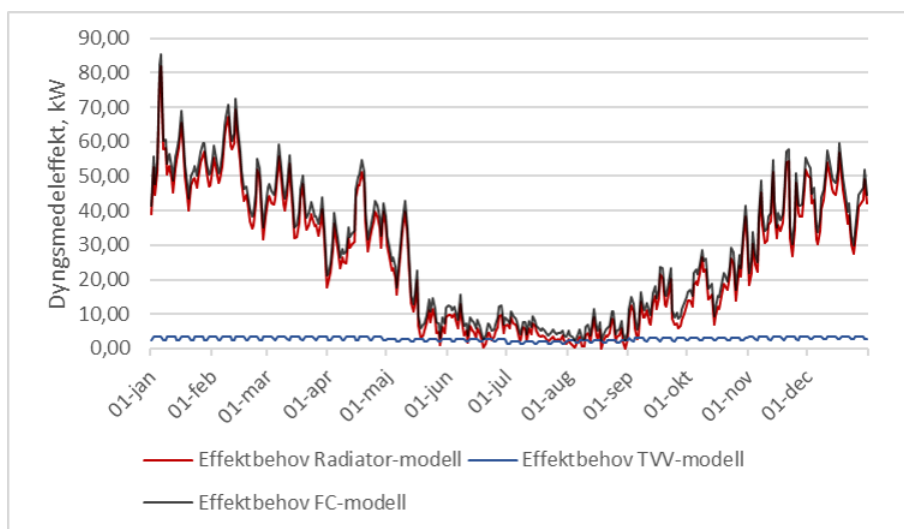
Figur 94: Timmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



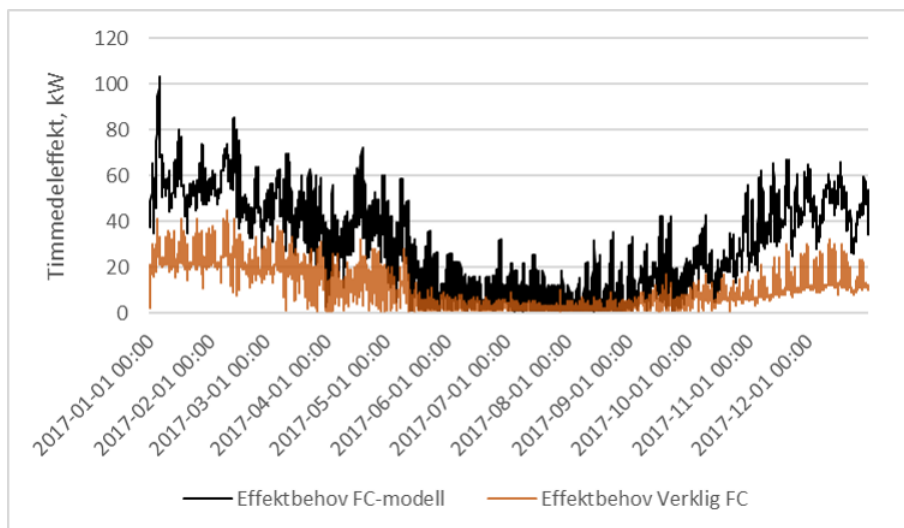
Figur 95: Dygnsmedelvärden av returtemperaturerna som den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen returnerar under ett år



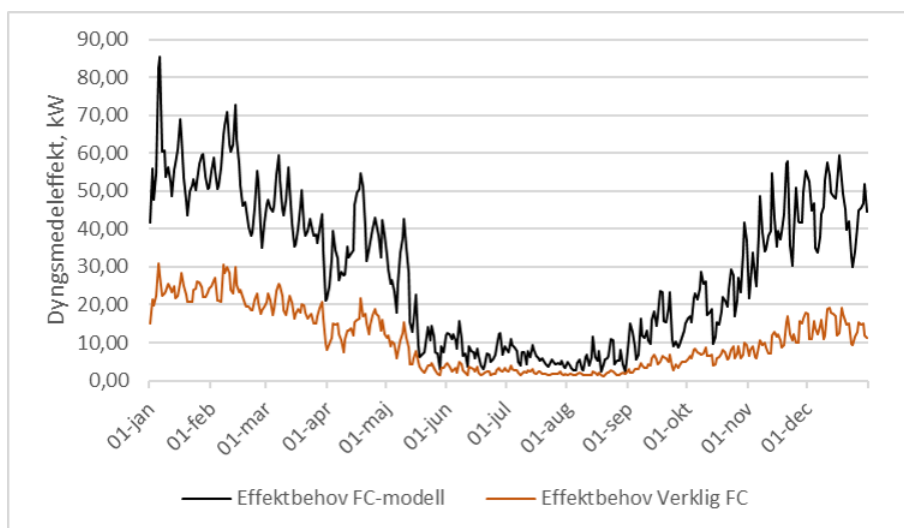
Figur 96: Timmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



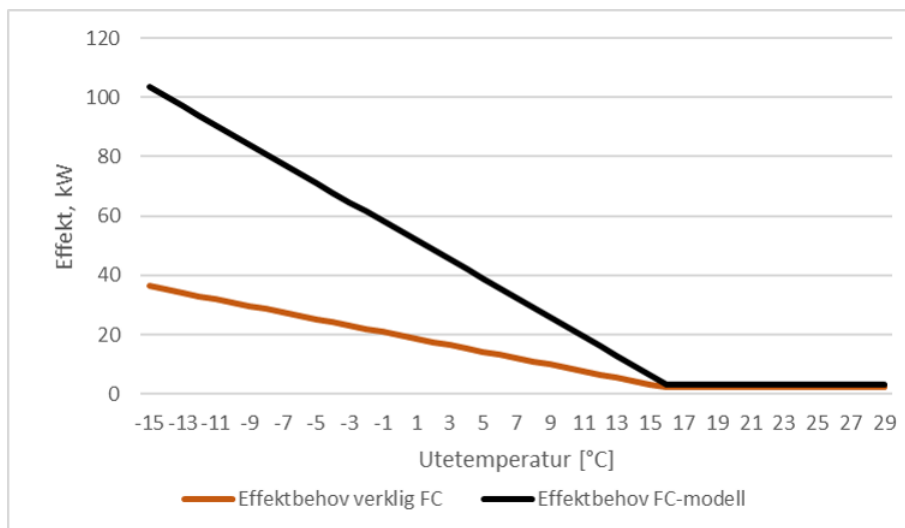
Figur 97: Dyngsmedeleffektbehovet för modellens radiatorsystem respektive tappvarmvattensystems värmeväxlare, samt det totala behovet för hela den modellerade kundanläggningen



Figur 98: Timmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen



Figur 99: Dyngsmedeleffektbehovet för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen



Figur 100: Effektsignaturen för den verkliga respektive den modellerade kundanläggningen