

Termiska energimätare - Validering av mätvärden
Thermal energy meters - Validation of
measurement values

Statistiskt underlag för beteende av termisk energimät punkter



Mohammed Abujayyab

Juni 2022

Abstract

Climate change is an important topic in many countries. Sweden with other countries are involved in a number of agreements with the aim of reducing the impact of climate change. The Paris Agreement adopted in 2015 is one such agreement.

In Sweden, several authorities work directly or indirectly with this to achieve the desired climate goals. The authorities control the relationship between different actors involved in the production and distribution of thermal energy.

The quality of equipment used for measuring thermal energy use and billing information is also regulated by authorities such as SWEDAC, the National Board of Housing, Building and Planning and the Energy Market Inspectorate.

Within the EU, it is the Energy Efficiency Directive that generally requires that invoicing of customers' thermal energy use is based on actual energy consumption.

In Sweden, the Energy Market Inspectorate has implemented this through the regulation EIFS 2014: 2. In the event of deficiencies in the reading of measured values from thermal energy meters, missing values shall be estimated using an appropriate method.

At present, values are estimated by energy suppliers in many different ways. To alleviate and address the concerns this entails, SIS 2016 started the technical committee TK 601 to create an industry standard with a focus on validating and recalculating thermal energy measurement data in a standardized way. In addition to facilitating the actual handling, TK 601 includes the work of creating faith and greater trust between energy suppliers and their customers.

A simple mathematical model is created for measuring points based on historical measured values from thermal energy meters. The model only depends on the outdoor temperature. Using the model, thermal energy consumption is estimated for an entire month.

A simple mathematical model is created for measuring points based on historical measured values from thermal energy meters. The model only depends on the outdoor temperature. Using the model, thermal energy consumption is estimated for an entire month.

To assess how good the estimation is, the statistical measures coefficient of determination and an economic measure called "quota" are used.

More parameters are taken into account by modeling more models for the same measuring point after the measured values have been sorted according to day and night once and for weekdays and weekends another time. Then both sorts are combined to estimate the same month using the energy signature obtained from each modeling. Finally, modeling is applied to just over a thousand measuring points to obtain a

II

statistical basis that provides an idea of whether this type of modeling is reliable for thermal energy suppliers and their customers.

It turns out that with the help of the energy signature model, a good result is achieved. Above all, there is a low risk of the customer being overcharged, which is very positive because it is of the utmost importance to avoid overcharging.

The energy supplier assesses whether the model is suitable to use as a basis for charging at each measuring point.

Sammanfattning

Klimatförändringen är ett viktigt ämne i många länder. Sverige har gått tillsammans med många andra länder i olika avtal med syfte att minska klimatförändringens påverkan. Parisavtalet som antogs 2015 är ett sådant avtal.

I Sverige arbetar flera myndigheter direkt eller indirekt med detta för att uppnå de önskade klimatmålen. Myndigheterna styr relationen mellan olika aktörer som är involverade i produktion och distribution av termisk energi.

Även kvalitén på utrustning som används för uppmätning av termisk energianvändning och faktureringsinformation regleras av myndigheter så som SWEDAC, Boverket och Energimarknadsinspektion.

Inom EU är det Energieffektiviseringsdirektivet som övergripande ställer krav på att fakturering av kundernas termiska energianvändning grundas på faktisk energiförbrukning.

I Sverige har Energimarknadsinspektionen implementerat detta genom föreskriften EIFS 2014:2. Vid brister i avläsning av uppmätta värden från termisk energimätare ska saknade värden estimeras med hjälp av en lämplig metod.

I dagsläget estimeras värden av energileverantörer på många olika sätt. För att underlätta och komma till rätta med bekymren detta medför startade SIS 2016 tekniska kommittén TK 601 för att skapa en branschstandard med fokus på att validera och efterberäkna termiska energimätdata på ett standardiserat sätt. Förutom att underlätta för själva hanteringen ingår det i TK 601 arbetet att skapa tillit och ett större förtroende mellan energileverantörer och deras kunder.

En enkel matematisk modell skapas för mätpunkter utifrån historiska uppmätta värden från termisk energimätare. Modellen beror bara på utomhustemperatur. Med hjälp av modellen estimeras termisk energiförbrukning för en hel månad.

För att bedöma hur bra estimeringen är används statistikmåttet determinationskoefficient och ett ekonomiskt mått som här kallas för "kvot".

Fler parametrar tas hänsyn till genom att modellera för samma mätpunkt fler modeller efter att mätvärdena har sorterats enligt dag och natt en gång och till vardag och helg en annan gång. Sedan kombineras båda sorteringar för att estimeras samma månad med hjälp av energisignatur som fås från varje modellering. Slutligen tillämpas modellering på drygt tusen mätpunkter för att få fram ett statistiskt underlag som ger en bild av om denna typ av modellering är pålitlig för termisk energileverantörer och deras kunder.

IV

Det visar sig att med hjälp av modellen energisignatur uppnås ett gott resultat. Framförallt är det låg risk för att kunden blir överdebiterad, vilket är mycket positivt eftersom det är av största vikt att undvika överdebitering.

Energileverantören bedömer om modellen är lämplig att använda som grund för debitering vid respektive mätpunkt.

Terminologilista

Följande terminologi är definierade enligt tekniska bestämmelser F:104 från energiföretagen Sverige [1].

Energimätare:	Enhet bestående av delenheter integreringsverk, flödesgivare och temperaturgivare.
Certifierad mätare:	Mätare som genomgått bedömning av överensstämmelse och uppfyller kraven i det europeiska mätinstrumentdirektivet (MID).
Flödesgivare:	Mäter det momentana flödet och omvandlar det till en utsignal
Flödesmätare:	Flödesgivare med räkneverk
Förstagångsverifiering:	Provning vid tillverkning för att säkerställa uppfyllande av kraven i typgodkännandet.
Integreringsverk:	Räknar ut energiförbrukningen med hjälp av inmätt data från flödesgivare och temperaturgivare.
Kalibrering:	Kalibrering är en jämförelse mellan en referens (mätnormal) och den mätare som ska kalibreras. Justering av mätare ingår ej.
MID:	MID 2014/32/EU Mätinstrumentdirektivet.
Revision:	Åtgärder som vidtas, granskning och erforderlig service, som gör det sannolikt att mätaren mäter inom tillåtna felgränser ytterligare en utesittningstid.
Återkommande kontroll:	En kontroll som utförs för att bestämma mätarens felvisning. Denna kontroll av mätare (intagsprov) utförs före revision eller skrotning

Teckenförklaring

TVV	Tappvarmvatten	
VVC	Varmvattencirkulation	
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut	
GDPR	General data protection regulation	
T_b	Balanstemperatur konstantvärde efter brytningspunkt	[°C]
ES	Energisignatur eller effektsignatur	
T_{fram}	Vattentemperatur i framledningslinje	[°C]
T_{retur}	Vattentemperatur i returledningslinje	[°C]
$\Delta\theta$	Temperaturdifferensen på temperaturer i fram- och returledningslinjerna. Differensen kallas också ΔT	
R^2	Determinationskoefficient	
Q	Termisk energi	[kWh]
MID	Europeiska mätinstrumentdirektivet	
SWEDAC	Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll	
$R_{ledning}$	Elektriskt motstånd på ledning som ansluten till temperaturgivare	[Ω]
RTD	Motståndstemperaturdetektor (Resistance Temperature Detector)	
α	Temperaturkoefficient	[$\Omega/^\circ\text{C}$]

Figurer

2.1	Avfallstrappa för energi och material utnyttjande [15]	6
2.2	Bränslefördelning som används i fjärrvärmesystem [17]	7
2.3	En principiell illustration av en kundcentral och några av dess komponenter [20]	9
2.4	Vattendensitetens som funktion av vattentemperatur	10
2.5	Specifika värmekapacitet som funktion av vattentemperatur	10
2.6	Exempel på en mekanisk flödesmätare med dess inre delar.	12
2.7	Mekanisk mätare för två olika flödes intervall	13
2.8	Närmare bild på nominella flöden för båda flödesmätarna och MID certifikatet.	13
2.9	Schematisk skiss över elektromagnetisk flödesmätare [27]	14
2.10	En enkel skiss över ultraljudsflödesmätare med två transduktorer och ett antal ultraljudsspeglar [29]	14
2.11	Ultraljud flödesmätare rör med ultraljudsspeglar in i rör.	15
2.12	Två flödesmätare med två olika storlekar tillsammans med integreringsverket och temperaturgivare.	16
2.13	Approximativt Linjär relation mellan temperatur och motstånd på temperaturgivare Pt100 [31]	17
2.14	Temperaturgivare är kopplat till Wheatstone Bridge.	18
2.15	Omskiss för Wheatstone Bridge krets i figur (2.14).	20
2.16	Kontrollanläggning i kontroll laboratorium för kalibrering av flödesgivare.	22
2.17	Vattenbad med tre olika temperaturer: 40, 70 och 90°C.	24
2.18	Två elektriska motstånd används för integreringsverk kalibrering	24
2.19	Godtyckliga värden och dess medelvärdes linje med energisignatur modell	25
3.1	Observerade datapunkter för termisk energiförbrukning med några uteliggare punkter	31
3.2	Standard normalfördelning	32
3.3	Figur(3.1) efter uteliggare borttagning	33
3.4	Observerade data för termisk energiförbrukning mot utomhustemperatur	34
3.5	Observerade data för termisk energiförbrukning mot utomhustemperatur med modellering av energisignatur	34
3.6	Minsta kvadratfelet med varierande brytningspunkt	35
3.7	Termisk energiförbrukning för helgdagar (röd) och vardagar(grön)	37
3.8	Termisk energiförbrukning för dagtid (gul) och nattetid(svart)	38
4.1	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för fjorton månader	44

4.2	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar	45
4.3	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar	45
4.4	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för dagtid	45
4.5	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för nattetid	46
4.6	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar natt	46
4.7	SSStatistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar dag	46
4.8	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar natt	47
4.9	Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar dag	47
4.10	Statistik för kvot för hela fjorton månader	47
4.11	Statistik för kvot efter vardag- och helgsortering	48
4.12	Statistik för kvot efter dag- och nattsortering	48
4.13	Statistik för kvot efter dag- och nattsortering samt vardagar och helgsortering	48
4.14	Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till vardagar och helgdagar	49
4.15	Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till dag- och nattetid	49
4.16	Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid	50
4.17	Kvoten utifrån estimering utan sortering och med sortering till vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid	50

Tabeller

2.1	Densitet och specifik värmekapacitet som funktion av temperatur. . . .	10
2.2	Antal minskande år för termisk enerimätare beroende på andel som inte klarar mäta inom fel visningsintervall [34]	23
3.1	Brytningspunkt, lutning, determinationskoefficient och kvot för tio mätpunkter	36
3.2	Determinationskoefficient för hela fjorton månader, vardagar och helgdagar samt kvoten för estimering utan sortering (kvot(1)) och med sortering för vardagar och helgdagar (kvot(2))	38
3.3	Determinationskoefficient och kvot för hela fjorton månader utan och med sortering till dagtid och nattetid för tio mätpunkter, kvot (1) och (2) för utan respektiv med sortering till dag- och nattetid	39
3.4	Determinationskoefficient och kvot för hela fjorton månader utan och med sortering till dagtid och nattetid samt vardagar och helgdagar . .	40
4.1	Medelvärde och standardavvikelse för determinationskoefficient och kvot efter olika sorteringar.	44

Innehåll

Abstract	I
Sammanfattning	III
Terminologilista	V
Teckenförklaring	VII
Innehållsförteckning	XIII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Energieffektiviseringsdirektiv (EED)	1
1.2 Syfte och frågeställning	3
1.3 Avgränsningar	4
2 Teori	5
2.1 Fjärrvärmesystem	5
2.1.1 Varför fjärrvärme?	5
2.2 Kundcentralen	8
2.2.1 Vattnets värmekapacitet och densitet	9
2.3 Termisk energimätare	10
2.3.1 Flödesmätare	11
2.3.2 Temperaturgivare	16
2.3.3 Integreringsverket	20
2.4 Kalibrering	21
2.4.1 Kalibrering av flödesgivare	21
2.4.2 Kalibrering av temperaturgivare och integreringsverket	23
2.5 Ekvationer	25
2.5.1 Regressionsanalys och statistik	25
2.5.2 Chauvenets kriterium	27
2.5.3 Minimering av risk för överdebitering	27
3 Metod	29
3.1 Indata	29
3.2 Termisk eneriförbrukning	30
3.3 Datafiltrering (Identifiera outliers)	30
3.3.1 Borttagning av uteliggare	31
3.4 Energisignatur	33
3.4.1 Linjärregression	33

3.4.2	Brytningspunkt	34
3.5	Olika metoder för estimering av en månad	35
3.5.1	Estimering utan sortering	35
3.5.2	ES och estimering med vardag och helg sortering	37
3.5.3	ES och estimering med dag och natt sortering	38
3.5.4	ES och estimering med dag och natt samt vardag- och helgsortering	39
3.5.5	Statistiskt underlag	41
4	Resultat	43
5	Diskussion	51
6	Slutsats	53
A	Modellering och estimering för 14 månader	59
B	Efter sortering till vardagar och helgdagar	63
C	Efter sortering till dag och natt	67
D	Efter både sorteringar	71
E	Exempel på data som används för beräkning	79

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Atmosfären runt jorden består bland annat av gaser som håller kvar värmen från inkommande solstrålning. Detta fenomen, som benämns växthuseffekten, har skapat jämnare temperatur, vilket har gett lämpliga förutsättningar för liv på jorden. De vanligaste växthusgaserna är koldioxid (CO_2), metan (CH_4) och dikväveoxid (N_2O). Under 1900-talet ökar emellertid människans aktiviteter mängden växthusgaser dramatiskt, vilket bidrar till att efterhand alltmer förstärka växthuseffekten [2]. Detta medför ökad global medeltemperatur som ger upphov till klimatförändringar med höjd havsnivå och extremväder. Även om de lokala effekterna varierar mellan olika områden innebär global uppvärmning allvarliga konsekvenser för både människor och natur enligt Världsnaturfonden [3].

1.1.1 Energieffektiviseringsdirektiv (EED)

För att bromsa utsläppen av gaser som förstärker växthuseffekten har Sverige gått med EU:s klimat- och energipaket. Under åren som har gått har EU-kommissionen med jämna uppdaterat ramverket (EED Energieffektiviseringsdirektivet). Den 14 juli 2021 lades det åter igen fram ett nytt förslag. Enligt det uppdaterade förslaget förväntas medlemsländerna minska nettoutsläppen med 55 procent till 2030 jämfört med 1990. Utöver EU:s klimatmål har Sverige valt att satsa på ett eget nationellt klimatmål, men Sveriges klimatmål följer i första hand EED [4].

EED innehåller krav på många olika områden som berör energibranschen. Direktivet ställer bland annat krav på att energibolagens fakturering av kunder grundas på faktisk förbrukning och användning. Detta gäller såväl el och gas som termisk energi, men i detta projekt hanteras endast termisk energi [5].

EED kräver att redovisning till värmekunder gällande energiförbrukning ska presenteras för kunderna på ett lättillgängligt sätt. Genom att förtydliga för kunderna hur deras energianvändning ser ut förväntas kunderna bli mer medvetna om att de aktivt kan påverka förbrukningen och därmed minska den [6].

Som en del av arbetet med att implementera EED i svenska regelverk författade Energimarknadsinspektionen föreskriften EIFS 2014:2 (Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om mätning, rapportering och debitering av levererad värmeenergi). Förutom redovisning av faktisk energileverans till kund uppdelat på dygn, vecka, månad och år ställer Energimarknadsinspektionen även krav på hanteringen av bristande mätvärden och rapportering av dessa till kund [5].

Energimarknadsinspektionen har dock lämnat öppet för energibranschen att ta fram egna lösningar för validering och efterberäkning. Dessa lösningar måste kunna redovisas för kunden. Så väl energibolagen som deras kunder upplever osäkerhet kring vilka lösningar som är lämpligast [7].

Skogström¹ menade att vid en del tillfällen har diskussioner uppstått när en fastighetsägare med fastigheter i olika energibolagsområden har uppmärksammat att de olika energibolagen har olika tillvägagångssätt för att efterberäkna vid brister. Detta har medfört försämrat förtroende för energibolagen, vilket i sin tur har lett till ytterligare osäkerhet hos energibolagen. En del energibolag har ibland valt att helt enkelt avstå från att fakturera den beräknade kostnaden. Ett sådant agerande kan fungera utan någon större inverkan på energibolaget och dess övriga kunder om det endast sker i mycket begränsad omfattning. Däremot är det inte hållbart vid stora störningar som involverar många kunder. Risken är överhängande att fördelningen av kostnader i slutändan drabbar både energibolaget och andra kunder, vilket ger en orättvis hantering.

På grund av situationen lyfte energibolagen önskemål om att hitta en gemensam lösning för hantering vid behov av efterberäkning och validering. För att underlätta och komma till rätta med bekymren startade SIS 2016 tekniska kommittén TK 601 för att skapa en branschstandard med fokus på att validera och efterberäkna termiska energimätdata på ett standardiserat sätt. Förutom att underlätta för själva hanteringen ingår det i TK 601 arbetet att skapa tillit och ett större förtroende mellan energibolagen och deras kunder [7].

I början av januari år 2022 publicerades första utgåvan av denna standard (SS 143000:2022 Termiska energimätare — Validering av mätvärden²)

Men att hantera all mätdata manuellt kräver mycket tid, kunskap och resurser. Detta födde ett behov av att automatisera och effektivisera processen i största möjliga mån. För att genomföra detta behövs matematiska modeller utvecklas och testas statistiskt med verkliga mätdata. Insamlade mätdata från de termiska energimätarna är givetvis nödvändig och energibolagen har redan denna mätdata. Därutöver behövs andra parametrar som till exempel utomhustemperatur, vilket oftast fås genom SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut). Det kan mycket väl tänkas att andra parametrar kommer att visa sig vara av stor vikt för att uppnå optimalt resultat.

Byggnadens användningsområde, konstruktion och geografiska placering kommer förmodligen inverka på något vis. Med detta som bakgrund startades detta projekt för att skapa ”matematiska modeller” för praktiskt tillämpbara metoder för validering och efterberäkning.

¹Marie Skogstrom, ordförande i SIS/TK601, SIS/TK407, presenterar Sverige i CEN/TC176 och teknisk expert på One Nordic Mätteknik AB (labbesök 11 februari 2022).

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet är att skapa en matematisk modell s.k. energisignatur (ES) utifrån historiska värden, så att med hjälp av ES kan estimering och validering av termisk energiförbrukning beräknas som funktion av utomhustemperatur. Valideringen ska vara anläggningsspecifik, det vill säga anpassad till anläggningens beteende och förutsättningar. Dessutom undersöks statistisk underlag om hur bra den typ av modellering är. I tillägg till vad tidigare nämnts ska även följande frågeställning besvaras:

- Varför behövs en modell för estimering av termisk energi?
- Vilka begränsningar kan finnas vid fjärravläsning av termisk energimätare?
- Blir det bättre modell om vardagens- och helgens energiförbrukning separeras och modelleras var för sig? (Med andra ord blir det bättre anpassning om energiförbrukning separeras och modelleras till två modell var för sig. Människors beteende och därmed konsumtionen av termisk energi förändras under vardagar och helger eller dag och natt?)
- Är energisignatur med en enkel linjär regression en lämplig metod för estimering av termisk energiförbrukning för alla typer av anläggningar?
- Vilka anläggningar är det lämpligt att estimeras värden för med hjälp av energisignatur?
- Vad kan det vara anledning för att energisignatur modeling inte är en metod som kan estimeras energiförbrukning för alla byggnader?
- Hur säkert är det att uppskatta termiska energiförbrukning för kunden med hjälp av modelleringen?
- Vad kan göras för att minimera risk för överdebitering?
- Räcker det med den enkla linjär regression modellen för att lösa problemet?
- Hur kan den enkla linjär regression modellen utvecklas så att metoden blir lämplig för flera typer av byggnader eller finns det kanske andra metoder som kan vara bättre lämpade för vissa typer av byggnader?

1.3 Avgränsningar

För att skapa en modell som ger energiförbruknings värde så nära verkliga värde som möjligt krävs att hänsyn tas till alla teoretiska parametrar som påverkar termiska energiförbrukning, vilket medför en väldigt komplicerad modellering. I detta arbete modelleras termisk energiförbrukning som beroende funktion av utomhustemperatur. Utomhustemperaturen bör mätas i byggnadens närområdet där kundcentral är installerad. Orsaken till detta är på grund av utomhustemperaturvariationerna från ett område till ett annat. Idag är detta sällan möjligt. Istället hämtas timvärde för utomhustemperatur från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). Dessvärre saknas det ibland några timmars värde på utomhustemperatur. Normalt sker detta vid mindre än 0,1 procent av timvärdena.

Dessutom saknas ibland värden på energiförbrukning. Dessa saknade värden brukar sträcka sig över en eller några timmar. Att interpolera energiförbrukning för någon enstaka timme kan vara en lösning för att komplettera data, dock väljs här att ta bort alla motsvarande värden som saknas från utomhustemperaturdatan.

2 Teori

I detta avsnitt presenteras varför fjärrvärmesystem har blivit ett alternativ för byggnadsuppvärmning. Avsnittet tar även upp systemoptimering och grundläggande kunskap om termisk energimätare och dess teoretiska funktionsprinciper. I avsnittet finns dessutom information om validering och estimering baserad på beräkning av saknade värden från termisk energimätare. Detta kommer att hjälpa läsaren att förstå varför det behövs estimering av energiförbrukningsvärden, samt varför störningar kan hindra kommunikation och därmed fjärravläsning av värden direkt från termisk energimätare.

2.1 Fjärrvärmesystem

Energifrågan har varit en viktig fråga i hela världen. Inte minst i Sverige som är ett kallt land, vilket gör att det är högre krav på husuppvärmning till en rimlig temperatur som passar människor. Enligt Folkhälsomyndighetens rekommenderade riktvärde på temperatur inomhus bör den inte långvarigt understiga 18°C [8]. Medelvärde på utomhustemperatur under perioden mellan 1860 - 2016 räknas från 35 svenska stationer ligger mellan $4\text{-}5^{\circ}\text{C}$ enligt Andersson [9].

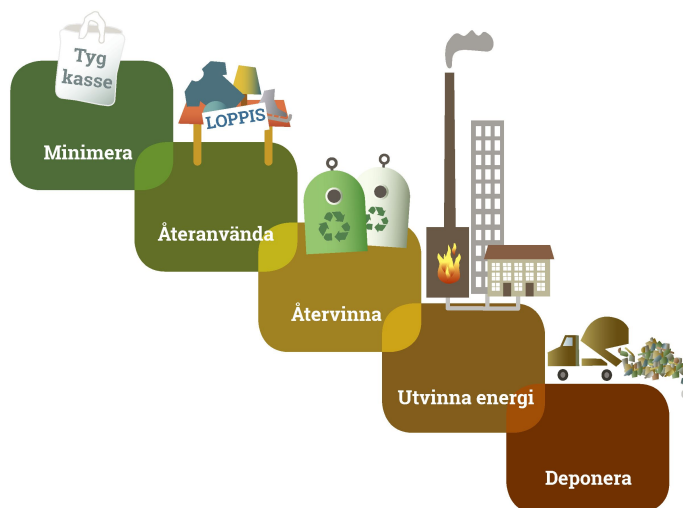
För att värma upp byggnader eller få tillgång till tappvarmvatten (TVV) är det möjligt att göra på olika sätt. Exempel på alternativ kan vara värmepump, ved- eller gaspanna, solenergi eller ett kombinationssystem av dessa. Frågan som ställs i detta sammanhang kan vara varför fjärrvärme?

2.1.1 Varför fjärrvärme?

I november 2010 har riksdag utredningstjänst (RUT) fattat beslut att i största möjliga mån ersätta biomassa som används som bränsle för produktion av fjärrvärme med spillvärme [10]. Ett exempel på spillvärme är värmen som genereras från kraftverk för elektricitetsproduktion. Termisk verkningsgrad på en stor kraftverk är mindre än 60 procent [11]. Resten är värme som inte används till något annat om den inte utnyttjas till exempel i fjärrvärmesystemet för att byggnadsuppvärmning. Vidare hävdar Rydegran att totala ökningen av verkningsgraden upp till mer än 90 procent kan uppnås om även tillförd spillvärme utnyttjas som termisk energikälla för byggnadsuppvärmning, vilket i sin tur bidrar till effektivisering av bränsleförbrukning och därmed utnyttja resurser på ett effektivt sätt [11] [12].

Dessutom bidrar fjärrvärme (FJV) inte bara för att öka verkningsgraden på kraftverket, men också för att återvinna materialens energi när det är svårt att återvinna själva materialet [12]. På så sätt undviks avfallsdeponering som kan vara en utsläppskälla för metangas som har stark växthusgaseffekt [13]. Metangas är 34 gånger starkare växthusgas än vad koldioxid är [14]. Bilden här nedan är avfallstrappa som visar steg-

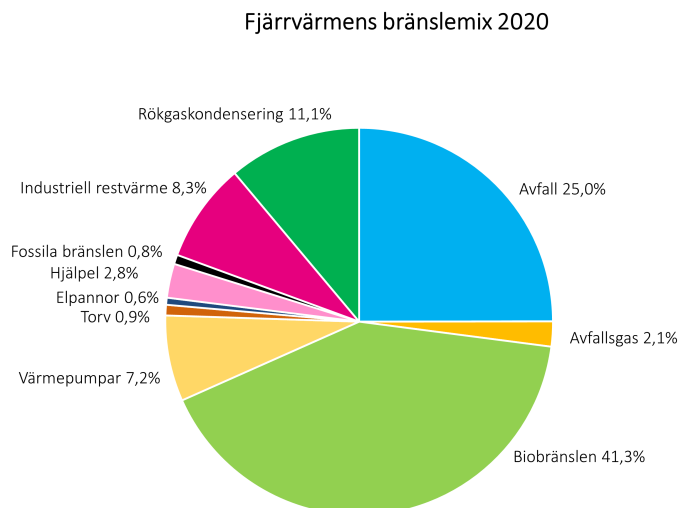
vis hur avfall kan utnyttjas istället för avfallsdeponering. Bästa sätt för miljöbesparing är att minimera avfallsmängden. Om det inte går att minimera avfall bör använde material återanvändas eller återvinnas för att bespara material och därmed miljö. Material som inte återanvändas eller återvinnas kan skapa ett miljöproblem. Istället kan dessa material vara resurs till energi genom att använda det som bränsle i värmeverket. Detta i sin tur minskar avfallsmängder som går till deponering. Deponering tar plats och skadar miljön [15].



Figur 2.1: Avfallstrappa för energi och material utnyttjande [15]

Följande diagram, figur(2.2) visar andelen av olika värmekällor för fjärrvärme år 2020 som användes för värmeproduktion som distribuerades i fjärrvärmesystem. Diagrammet är hämtat från Energiföretagen Sverige vars medlemmar producerar, distribuerar, lagrar och säljer fjärrvärme [12]. Gemensamt för fjärrvärmeproduktion utnyttjas värme som redan har producerats inom industrin, det vill säga återvunnen energi, eller värmeverk med förnybara energikällor som är miljövänliga. I många fall är det en kombination av olika lösningar. Dessa motsvarar nära 90 procent av bränslet. Mindre än 1 procent är fossila bränslen, vilket belastar miljön mindre och därmed begränsar påverkan av växthusgaser [16]. Werner och Sköldberg skriver att användning av termiska energi från fjärrvärme som energikälla för uppvärmning minskar kraftigt även utsläppen av svavel (S) och kväveoxider (NO_x) [17].

Fjärrvärme är ett tryggt försörjningssystem på många sätt. Ett av de sätten är att systemet är motsatsen till andra system som, till exempel solenergi som är helt beroende av vädret samt solstrålningens styrka. Ett annat sätt är att den stora delen av bränsle som används i fjärrvärme (nästan 90 procent) är anting spillvärme eller avfall. Spillvärme är värme som genereras från till exempel kraftvärmeverket, pappersindustri, eller andra industrier, vilket i sin tur inte är direkt beroende av tillförda fossila bränslen.



Figur 2.2: Bränslefördelning som används i fjärrvärmesystem [17]

På samma sätt används avfall som produceras i hushåll eller restprodukter från skogsindustrin som inte har andra användningsområden än fjärrvärme, enligt avfallstrappan i figur(2.2).

Efter en kort presentation om fjärrvärme och varför det betraktas som miljövänlig och ett tryggt system för bygnadsuppvärmning, introduceras det grundläggande principer som är bakom kundcentralen, termisk energimätare. I tillägg till tekniska aspekten lyfts även regler, forskrifter och bestämmelser som myndigheter kräver och Sveriges energiföretagen kommer överens om.

Energieffektiviseringsdirektivet ställer bland annat krav på att energibolagens fakturering av kunder grundas på faktisk förbrukning och användning. Det lägger större ansvar på företag som levererar termisk energi att debitering är rätt eller så nära verkliga konsumtion som möjligt när värden saknas från termisk energimätare. I följande kapitel (2.2 Kundcentralen) kommer presenteras mer teori om kundcentralen och termisk energimätare.

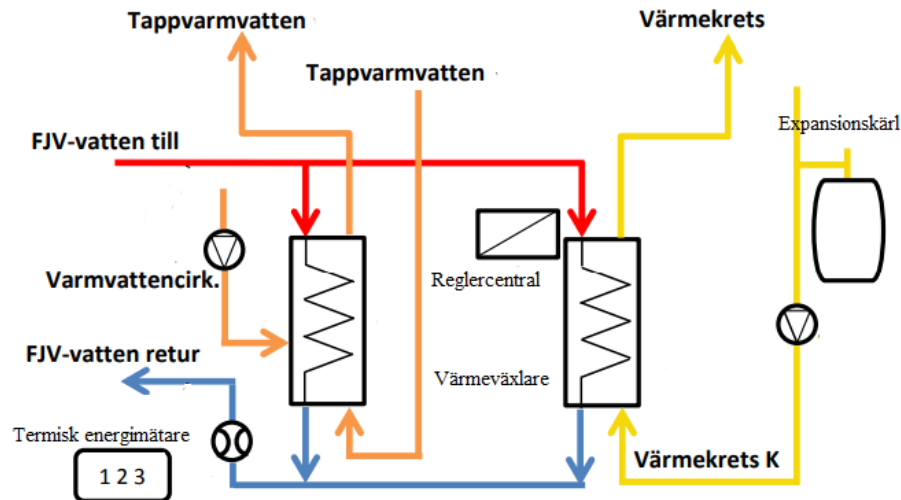
2.2 Kundcentralen

Kundcentralen är den del av fjärrvärmesystemet som är värmeövergång mellan leverantörssidan och kundsidan. Den placeras hos kunden på åtkomlig plats så att service och underhåll är lätt att utföra när fel uppstår eller när service behöver utföras. Förutom cirkulationspumpar och styrventiler ingår det normalt inte fler rörliga mekaniska delar i en kundcentral, vilket minskar behovet av underhållstillfällen och förlänger kundcentralens livslängd. Värme distribueras från energileverantörens primärsida till kundcentralen via framledningen som transporterar energibärare som normalt är vatten med högre temperatur än returledningen. Typiska framlednings och returledningstemperatur ligger i intervallen 75-95°C respektive 40-50°C [18]. Genom rätt dimensionering och styrning kan returledningstemperaturen sänkas till 30°C, vilket är önskvärt. Värme överförs genom värmeväxlare till sekundärsidans cirkulerande vatten och därefter förs värme in i huset genom radiatorer eller till tappvarmvatten (TVV). TVV bör vara under 65°C för att undvika risk för skällning. Varmvattencirkulationen får inte understiga 50°C för att säkerställa att ingen tillväxt av legionellabakterierna sker [19]

Grundläggande komponenter som ingår i kundcentralen är värmeväxlare, flödegivare, temperaturgivare, expansionskärl, reglerventiler och avstängningsventiler. Detta förenklade schema här nedan visar exempel på en typ av inkoppling av fjärrvärmekundcentralen och några av dess komponenter, se figur(2.3). Den röda linjen i figuren motsvarar primärframledningen med högsta temperaturen in i kundcentralen som går till två värmeväxlare. Värmeväxlaren till vänster värmer upp både varmvattencirkulationen(VVC) och tappvarmvattnet (TVV), medan värmeväxlaren till höger värmer upp vattnet som går till varmvattencirkulation (VVC). För att vattnet ska kunna cirkulera runt i huset med rätt tryck används expansionskärlet och cirkulationspumpar. Dessutom används det en styrutrustning som reglerar inomhustemperatur i byggnaden utifrån utomhustemperatur. Den önskade inomhustemperatur kan ställas in som börvärde från kundcentral. Det värdet är utgångspunkt för styrsystemet som med hjälp av reglerventiler styr så att ärvärdet är så nära som möjligt börvärdet. På detta sätt hålls inomhustemperaturen stabil och konstant hela tiden [20].

Slutligen ingår det också utrustning som används för att mäta värden för beräkning av energiförbrukning under en viss tid. Dessa är flödegivaren, temperaturgivareparet och integreringsverket, vilka tillsammans bildar en termisk energimätare. Termisk energimätare har bland annat som uppgift att mäta termisk energikonsumtion som sker under en viss tid och sedan skicka värden genom kommunikation för att lagras i fjärrvärmeleverantörens databas [20].Fjärrvärmeleverantör använder de värden som debiteringsgrund.

Flödegivaren har som uppgift att mäta vattenvolymen som transporteras genom kundens fjärrvärmecentral på primärsidan. Temperaturdifferensen ($\Delta\theta$) räknas ut genom att ta skillnaden mellan fram- och returledningens temperaturer ($T_{fram} - T_{retur}$). Dessa temperaturer fås från temperaturgivarna momentant och registreras av integreringsverket. Integreringsverket har som uppgift att registrera uppmätta värden, räkna fram energiförbrukning och lagra information i register. Därefter överförs registrets information till den termisk energileverantörens databas via lämplig kommunikationsut-



Figur 2.3: En principiell illustration av en kundcentral och några av dess komponenter [20]

rustning. följande ekvation [21] används för att räkna ut termisk energi i timmen.

$$Q = \rho V C_p \Delta T \quad (2.1)$$

Där:

Q: Energimängden	[kW]
ρ : Vattendensitet	[kg/m ³]
\dot{V} : Vattenvolym som passerar under en viss tid	[m ³ /s]
C_p : Specifikvärmekapacitet	[kJ/kgK]
ΔT : Temperaturdifferensen ($T_{fram} - T_{retur}$)	[K]

Expansionskärl är den enhet som absorberar volymökning när det expanderar i rör och radiator så att trycket blir rätt och jämnt fördelat i alla enheter in i byggnaden [22]. Hastigheten på vattnet bestäms av kundcentralens dimensionering och styrsystemets inställningar. I kundcentralen överförs vattnets värme från primärsidan till sekundärsidan med hjälp av värmeväxlaren. Efter värmeväxlaren transporteras det avsvalnade vattnet tillbaka till kraftvärmeverket via returledningen för att återigen värmas upp. Hela processen bildar en sluten krets av vattencirkulation [23].

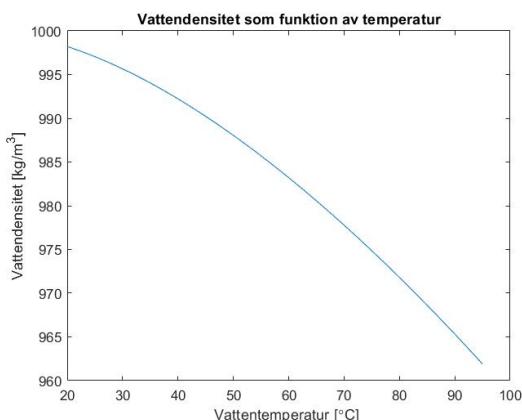
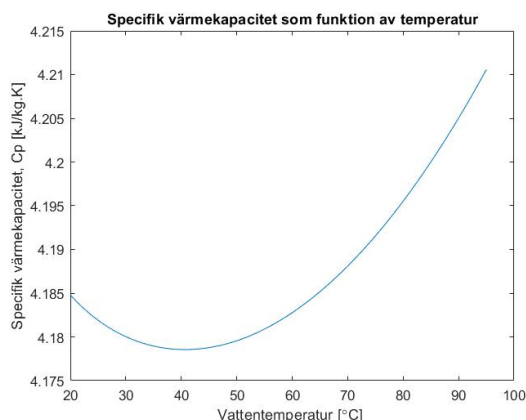
2.2.1 Vattnets värmekapacitet och densitet

Vattnets värmekapacitet och densitet kan fås fram med hjälp av tabeller eller mjukvara. Ett sådant program som är anpassat för vatten är XSTREAM som kan installeras och användas av ett beräkningsprogram som till exempel MATLAB för extra noggrannhet [24]. Detta kan göras trots att densiteten varierar med ungefär 3 procent i intervallen 40-95°C där den operativa temperaturen för fjärrvärme ofta ligger. Skillnaden mellan C_p :s för minsta respektive högsta temperatur är mindre än 0.766 procent. Följande tabell visar vattnets specifika värmekapacitet och densitet vid temperaturerna 40°C och 95°C uträknat av programmet MATLAB. Figurerna (2.4) och (2.5)

Tabell 2.1: Densitet och specifik värmekapacitet som funktion av temperatur.

Temperatur [°C]	Densitet [kg/m^3]	Specifik värmekapacitet [kJ/kgK]
40	992.2237	4.1786
95	961.8945	4.2106

visar hur vattnets densitet och specifika värmekapacitet beter sig som funktion av temperatur.

**Figur 2.4:** Vattendensitetens som funktion av vattentemperatur**Figur 2.5:** Specifika värmekapacitet som funktion av vattentemperatur

2.3 Termisk energimätare

Termisk energimätare är normalt utformade för att mäta antingen värmeenergi eller “kylaenergi” (bortförd värmeenergi). Emellertid finns det termisk energimätare som är bifunktionella, vilket innebär att dessa mätare kan mäta både värmeenergi och “kylaenergi” (bortförd värme). Termisk energimätare består av tre delar: flödesgivare, temperaturgivarepar och integreringsverk. Beroende på deras konstruktion delas de in i kompletta, kombinerade eller hybrida termisk energimätare. Enligt standard SS-EN 1434 definieras komplett termisk energimätare som en mätare vars alla delar är integrerade med varandra och får inte delas på något sätt under drift eller kalibrering. Alla delarna har ett gemensamt certifikatnummer, det vill säga gemensamt typgodkännande. Det är tvärtom för kombinerad energimätare, det vill säga de olika sammansatta delarna har separat certifikatnummer. Dessutom kan delarna kalibreras var för sig. Precis samma princip gäller vid kalibrering av hybrida energimätare som inte får delas under drift. Däremot har dessa mätare samma certifikatnummer på både flödesgivare och integreringsverk. Temperaturgivareparet har emellertid ett eget certifikatnummer [25].

Inom branschen används även begreppet kompakta termisk energimätare. Denna benämningen är egentligen inte definierad i någon standard eller föreskrift, vilket de andra är. Uttrycket är endast en beskrivning av att den termiska energimätaren är monterad som en enhet (kompakt ihopbyggd), enligt Skogström.

Det är höga myndighetskrav på att debitering ska vara rätt och grundas på rätta värden på verklig energiförbrukning för kunden. Högre fakturering blir orättvist för kunden och lägre debitering påverka fjärrvärmeleverantörens ekonomiska resultat. Därför ställer direktivet bland annat krav på att energibolagens fakturering ska grundas på faktisk energiförbrukning. Detta gäller även estimering av värden för energiförbrukning vid brister. Det som avgör om faktiska energiförbrukning är rätt uppmätt är hur korrekt energimätare fungerar. Därför ska varje ny debiteringsmätare för hushållsförbrukning, näringsidkare och lätt industri vara MID certifierad och uppfylla krav enligt gällande utgåva av standard SS-EN 1434 [25]. Dessutom ska dessa mätare uppfylla svenska revisions kraven som framgår av SWEDAC:S författningssamling [26]. Läsaren hänvisas till tekniska bestämmelser F:104 från energiföretagen för mer detaljerat beskrivning om kraven som termisk energimätare måste uppfylla.

I resten av detta kapitel (2.3 Termisk energimätare) diskuteras det närmare de olika delar som energimätare består av, kalibrering av delarna som får separeras under kalibrering. Där presenteras även teoretiska teknologi bakom funktionsprinciper för flödesmätare som inte nödvändigtvis används inom fjärrvärme för hushållsförbrukning, utan är också lämpliga att använda i andra applikationer inom industri.

2.3.1 Flödesmätare

Flödesmätare har som uppgift att mäta volymflöde på vatten som passerar in i kundcentralen med en viss noggrannhet. Felgräns för flödesmätarens noggrannhet regleras av myndighetskrav (SWEDAC STAFS 2007:2) och skiljer sig från en till en annan mätare beroende på gällande typgodkännande. Det tillämpas olika teknologier för flödesmätare tillverkning. Exempel på sådana teknologi kan vara ultraljuds, elektromagnetisk eller mekanisk. Här förklaras kort teori bakom funktionssättet för några typer av flödesmätare som är lämpliga för olika område och fördelar och nackdelar med dem. Dock fokuseras här mest på ultraljudsflödesmätaren som är den dominerande på marknaden.

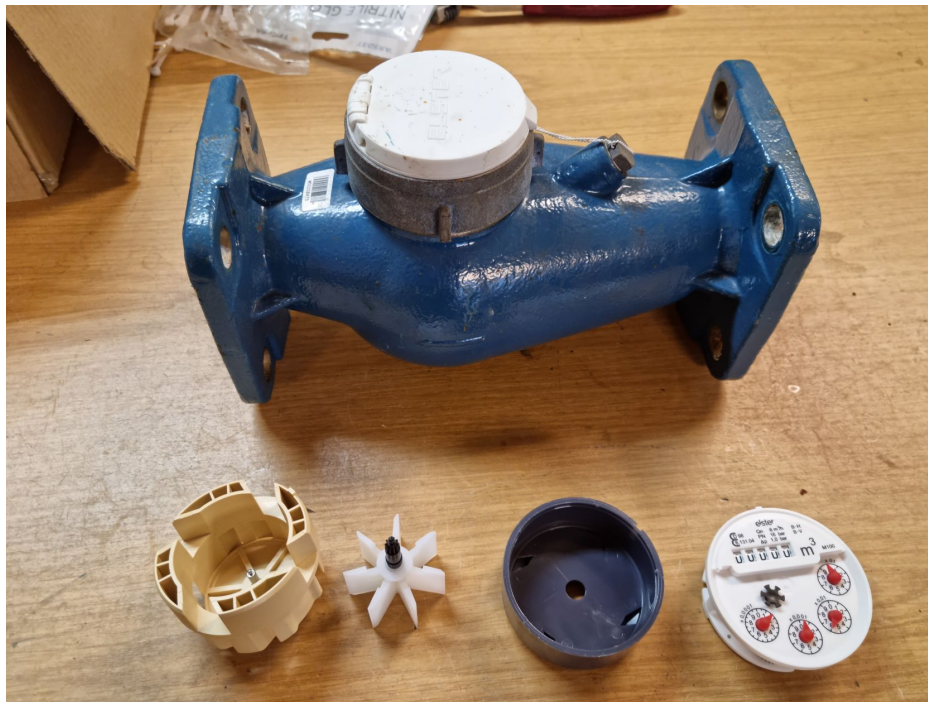
Mekanisk flödesmätare

Mekanisk flödesmätare är en mätare som har mekaniska rörliga delar precis som namnet antyder. Den har uppfunnits av Reinhard Woltman på 1800-talet. Inne i mätaren finns det multipel bald som suspenderar på kugghjul. Blad roterar proportionellt med flödets hastighet. Antal varv per tidsenhet kan detekteras av någon modul med hjälp av elektriskt eller magnetisk signal. Räknare som mottar signaler räknar ut rotationshastighet och därmed kan flödets hastighet räknas ut.

Mekanisk mätare är en pålitlig och noggrann mätare till en viss gräns för både gas- och vätskeflödesmätning. Emellertid kan stora partiklar eller smuts fastna i mätaren och därmed påverka mätningen. Eftersom den består av mekaniska och delvis rörliga delar är den utsatt för slitage och behov av underhåll och service. Det finns olika typer av mekanisk flödesmätare. Turbinmätare, singel- och flerstråliga vinghjulsmätare och Woltman-mätare. Vinghjulsmätare har nästan fasats ut för användning av termisk

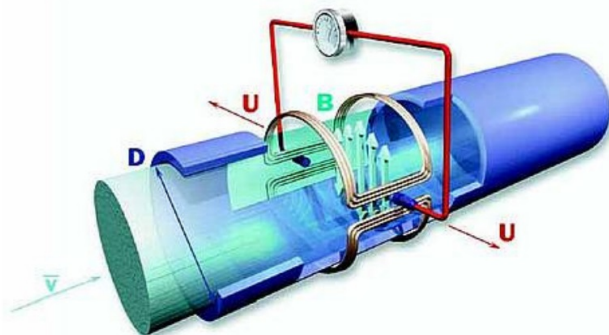
energimätning för debitering. Ett exempel på mekanisk mätare visas i figur(2.6).

Flödesmätare för termisk energi är alltid specificerad till ett visst intervall av flöde. Mekaniska flödesmätare som består av rörliga delar har betydligt mindre flödesområde (intervall) än de statiska flödesmätarna. För att uppnå största möjliga noggrannhet vid flödesmätning med mekaniska flödesmätare justeras flödesmätaren in för att främst klara medel och höga flöden. Dessa har inte förmåga att klara de låga startflöden som statiska mätare klara. Därför är det extra viktigt att välja lämplig mätare så att den passar förväntat flödesintervall enligt Skogström. Om en mekanisk mätare ska användas för flödesmätning inom ett extra stort intervall är det svårt att hitta en mekanisk mätare som täcker hela intervallet med god mätnoggrannhet. En lösning på detta problem kan vara att ha två flödesmätare som fungerar tillsammans på olika intervall. Exempel på en sådan mekanisk mätare visas i figur¹ (2.7). Dessa flödesmätare består av två stycken parallellt ihopkopplade flödesmätare. En större och en mindre. Så länge flödet inte överstiger den mindre flödesmätarens kapacitet används endast denna mätare. När flödet blir för högt för den mindre mätaren öppnas ventilen till den större mätaren varvid båda mätarna mäter.. MID certifikat och nominell flöden står i en närmare bild för båda mätare ($Q_{n1} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ och $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$) bilden till höger i figur(2.8).



Figur 2.6: Exempel på en mekanisk flödesmätare med dess inre delar.

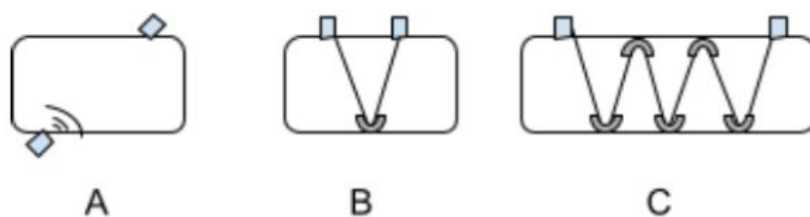
¹Bilderna i figurerna (2.6), (2.7), (2.8), (2.11), (2.12) och (2.16) är tagna från volymlaboratorium på One Nordic mätteknik AB



Figur 2.9: Schematisk skiss över elektromagnetisk flödesmätare [27]

Ultraljud flödesmätare

Ultraljudsmätare tillhör också gruppen statistiska mätare. Ultraljud är en typ av mekaniska vågor som har olika tillämpningar inom olika områden bland annat inom flödesmätning. Denna typ av vågor är inte känsliga för de elektriska och magnetiska fälten som vanligen förekommer i mätarens omgivning. Dessutom består ultraljudsflödesmätare inte av några rörliga delar, vilket i sin tur förlänger den tekniska livslängden och minskar behovet av underhåll och service. Det finns inte heller risk för att stora partiklar som kan påverka mätnoggrannheten fastnar inuti mätaren. Dessa egenskaper tillsammans med ett stort flödesintervall medför flera fördelar, vilket innebär att mätarna är lämpliga i de flesta tillämpningar vid termisk energimätning, [28].



Figur 2.10: En enkel skiss över ultraljudsflödesmätare med två transduktorer och ett antal ultraljudsspeglar [29]

Principen bakom funktionssättet för ultraljudsflödesmätare är att båda transduktorer fungerar som sändare och mottagare för ultraljudsvågor. När den ena skickar vågor, är den andra mottagare och registrerar tiden som vågorna tar tills de mottas. Eftersom ultraljud är mekaniska vågor och beter sig på ett mekaniskt sätt kommer ultraljudsvågorna som skickas medströms ta kortare tid att komma fram till den andra transduktor än den tiden det skulle ta om ultraljudsvågorna hade gått samma sträcka men motströms. Det blir två olika relativa hastigheter på ultraljud för med- respektive motströmsflöden. Tidsskillnaden det tar på samma ljudväg men olika riktningar är alltså proportionellt mot flödes hastigheten. Denna princip är grundprincipen för ultraljudsflödesmätare. Dess värre kan det finnas gasbubblor i vätskan, vilket kan påverka mätnoggrannheten. För att minska bubblornas påverkan används ultraljudsspeglar som reflekterar vågorna i flödesröret så att större volym av röret täcks. Figur (2.10, A) visar diagonal placering på transduktorer utan några speglar placerade. I figur(2.10, B) är det en spegel som skapar två ljudvägar, medan i figur(2.10, C) är det fem speglar som skapar sex ljudvägar [28]. Bilden här nedan visar en flödesmätare med ultraljudsspeglarna. I figur (2.12) visas en bild på två termiska energimätare med två olika storlekar av ultraljudsflödesgivare.



Figur 2.11: Ultraljud flödesmätare rör med ultraljudsspeglar in i rör.



Figur 2.12: Två flödesmätare med två olika storlekar tillsammans med integreringsverket och temperaturgivare.

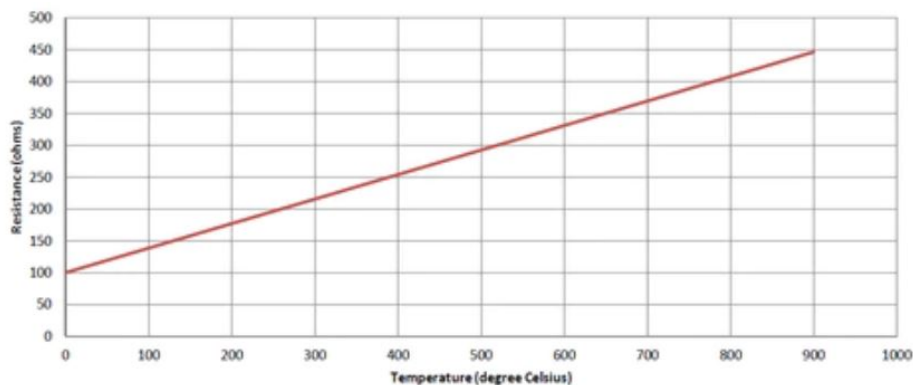
2.3.2 Temperaturgivare

Framledning och returledning temperaturer i kundcentral behöver mätas för att beräkna temperaturdifferensen som används med energiförbrukning varje timme enligt ekvation (2.1). Detta görs normalt med hjälp av temperaturgivare som består av ett par två exakt lika långa kablar med samma tvärsnittsarea. De ska också ha samma MID certifikat nummer och får inte sedan paras med andra kablar, för att de är parade med varandra för att uppnå bästa noggrannhet som möjligt. Normalt sätt tillverkas ett stort parti av temperaturgivare av en fabrikant med en viss tolerans. Varje temperaturgivare har en avvikelse från önskad noggrannhet. De paras ihop så att alla temperaturgivare har så litet skillnad som möjligt på deras avvikelser. På detta sätt uppnås noggrannare temperaturdifferensen för att avvikelser försvinner med subtraktion av temperaturerna, vilket också är anledning på varför de inte får delas senare [1].

Kablarna är anslutna till temperaturgivare som tillverkas av platina (Pt). Platina är en metall med god konduktivitet för ström precis som alla andra metaller på grund av fri-elektroner som moln runt dess atomer. Den är ett tungt ämne som används i fler industriområde som tillverkning av bilkatalysator för att minska effekt på avgaser som kommer ut från förbränningsmotorer [30]. Kablarna kopplas med i rör med framledningstemperatur och rör med returledningstemperatur. Se kopplingschema för kundcentral i figur(2.3).

Platina är ett material som dess elektriskt motstånd ändras approximativt linjärt med temperatur. Det vill säga att motståndet på platina ökar med positiv temperaturändring. Figur (10) visar platina resistans som funktion av temperatur. Om en stativ metal värmas i den ena sidan höjs dess temperatur, vilket ger extra energi till

elektroner på den sidan att röra på sig. De rör sig mot den kalla sidan av stativet. Detta i sin tur skapar spänning mellan sidorna på grund av ojämna fördelning för elektroner. Enligt Ohms lag $V = IR$, där V är spänning, I är ström och R är ledning motstånd, om ström är konstant så blir spänning direkt proportionellt mot motståndet. Eftersom platinas elektriska resistansen ändras linjärt med temperaturändring så mängden av spänning kan lätt tolkas till aktuella temperatur.



Figur 2.13: Approximativt Linjär relation mellan temperatur och motstånd på temperaturgivare Pt100 [31]

Temperaturgivare Pt100 har för 0°C motstånd på ca. 100.39Ω . Medan temperaturgivare Pt1000 har motstånd vid 0°C på 1003.9 . När temperatur ökar med 1°C ökar motstånd för temperaturgivare Pt100 med ca. $0.39 \Omega/^{\circ}\text{C}$ medan ca. $3.9 \Omega/^{\circ}\text{C}$ för Pt1000 temperaturgivare. Det innebär att användning av temperaturgivare Pt1000 ger bättre upplösning än temperaturgivare Pt100. Detta i sin tur ökar noggrannhet och ger fler decimaler(ATP). Temperaturkoefficient är hur mycket stiger motstånd på ledning om temperaturen stiger en grad celsius. Denna parameter skiljer sig från ett material till ett annat. Temperaturkoefficient för ett material kan beräknas med att ta skillnad mellan materialets motstånd vid 100°C och 0°C dividerat med temperaturskillnaden för respektive motstånd, enligt följande formel [32]

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 - 0} \quad (2.3)$$

Mätning av elektriskt motstånd

Som det har tidigare nämnts består temperaturgivare av två likadana kablar som också har samma längd, area och tillverkade från samma material, Ekvation (2.4) visar parametrar som påverkar ledning motstånd [33]:

$$\alpha = \frac{\rho l}{A} \quad (2.4)$$

Där:

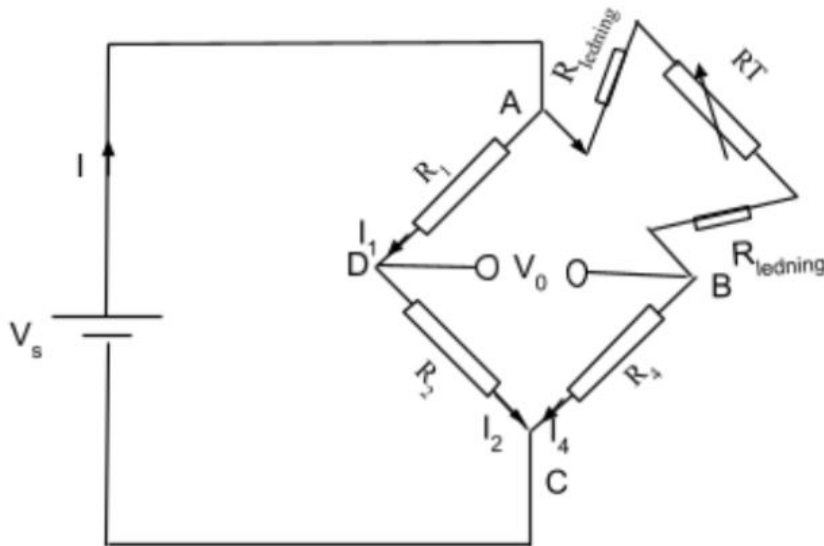
ρ Resistivitet

l : Kabellängd

A : Kabels tvärsnittarea

Temperaturgivare som används i kundcentral för fjärrvärme har som uppgift att mäta temperaturdifferensen mellan framledningstemperatur och returledningstemperatur. Temperaturdifferensen används för att beräkna energiförbrukning under en viss tid. För att få reda på vad temperaturdifferensen är, ska elektriskt motstånd mäts i båda temperaturgivare. Sedan tolkas motståndsvärde från varje temperaturgivare till motsvarande temperatur enligt diagrammet i figur(2.13). Dock motstånd är ett ganska litet värde, vilket blir svårare att mäta. Ett sätt att mäta motståndet på är att koppla kablarna till "Wheatstone Bridge". Figur(2.14) visar en "Wheatstone Bridge" krets för två-ledare temperaturgivare [32]. I kretsen kan spänningskälla (V_s) vara en 12V batteri eller en annan spänningskälla. Strömmarna I_1 , I_2 och I_4 går i respektive motstånd R_1 , R_2 och R_4 . De två elektriska motstånd tillsammans med temperaturgivare motstånd definieras här som R_x . Alla tre motståndarna är kopplade i serie därför:

$$R_x = 2R_{ledning} + RT \quad (2.5)$$



Figur 2.14: Temperaturgivare är kopplat till Wheatstone Bridge.

Om Wheatstone Bridge krets är i balans innebär det att V_0 är lika med noll. Vilket betyder att spänning i punkt B är samma som i punkt D och därmed strömmen som går i motståndarna (1) och (2) är samma. På samma sätt är strömmen som går i motståndarna (x) och (4) samma. Med ekvationer:

$$I_1 = I_2 \quad (2.6)$$

$$I_x = I_4 \quad (2.7)$$

$$\frac{V_{DC}}{V_{AD}} = \frac{V_{BC}}{V_{AB}} \quad (2.8)$$

Ekvation (2.8) skrivs om med hjälp av Ohms lag ($V = IR$):

$$\frac{I_2 R_2}{I_1 R_1} = \frac{I_4 R_4}{I_x R_x} \quad (2.9)$$

Ekvation (2.6) och (2.7) kombinerat med ekvation (2.9) ger:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_4 \quad (2.10)$$

Ekvationer ovan är lämpliga bara om Wheatstone Bridge i balans, alltså när spänning V_0 är lika med noll. Detta är bara ett fall och inte alltid. För att R_x varierar med temperaturändring. En generell lösning som träffar alla fall kan bestäms. Först omskissas figur(2.14) till figur (2.15) och väljs en referensnod med spänning är lika med noll, se längst ner i figur (2.15). I den nya figur ses att det är tre parallella branscher: Spänningskälla (V_s), motståndarna R_1 och R_2 och motståndarna R_x och R_4 . Motståndarna i varje bransch är seriekopplade, därför fördelas spänning över dessa beroende på dess värde [32]. Med spänningsfördelning fås:

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.11)$$

$$\frac{V_b}{V_c} = \frac{R_4}{R_x + R_4} \quad (2.12)$$

Nod (c) har samma spänning som spänningskälla (V_s). Sedan tas differensen mellan ekvation (2.11) och (2.12). Spänningskillnad mellan punkt a och b kan sättas till V_{ab} :

$$V_{ab} = V_c \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_x + R_4} \right) \quad (2.13)$$

Ekvationen ovan, ekvation (2.13) är generell lösning som okända motstånd (R_x) bestäms med hjälp av. Det vill säga att man kan komma fram till tillfälliga lösningen som tidigare härletts i ekvation (2.10). Detta kan göras om det antas att förutsättning för Wheatstone Bridge balans. Alltså spänning i punkterna a och b är lika, det innebär att V_{ab} är noll. Med ekvationer:

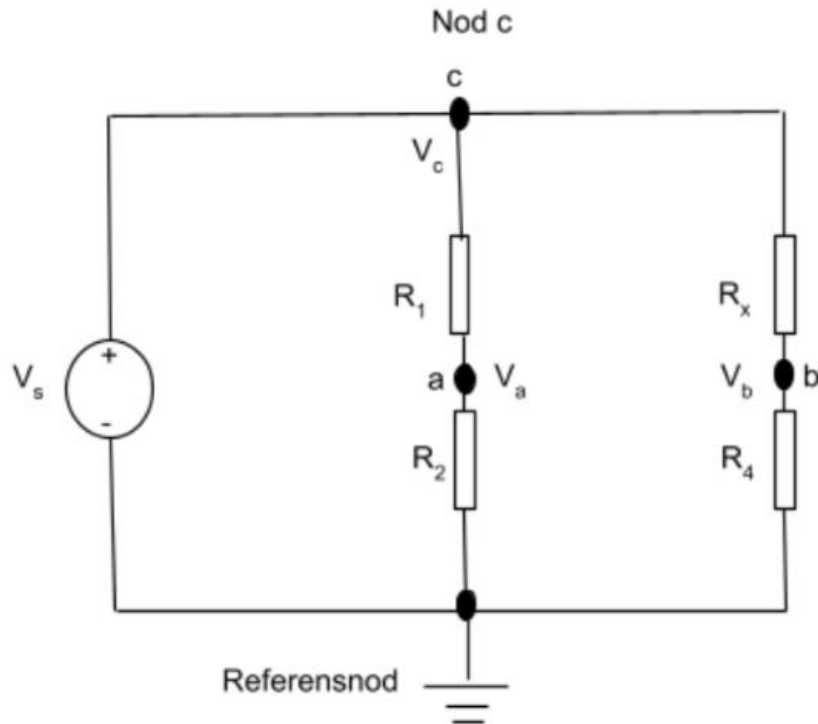
$$V_c \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_x + R_4} \right) = 0 \quad (2.14)$$

$$V_c \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_x + R_4} \right) \quad (2.15)$$

$$R_2 R_x + R_2 R_4 = R_1 R_4 + R_2 R_4 \xrightarrow[\text{(ibådasidor)}]{(R_2 R_4)} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_4 \quad (2.16)$$

Vilket är samma ekvation som tidigare fås med Wheatstone Bridge balans [32]. Observera ekvation! (2.10)

Motståndet R_x är definierat i ekvation (2.5). Det innebär att ledningarnas motståndarna också är inkluderade med i R_x . Detta ger inte exakta resultat som på platina motstånd som varierar beroende på temperatur enligt figur(2.13). Detta blir problem om absolut temperatur är intressant. Dock efterfrågas här om temperaturdifferensen. Om temperaturgivare är kopplade som två lednings temperaturgivare så blir den inte lämpligt för absolut temperaturmätning (kopplingschema i figur(2.14)). Istället kan detta lösas med tre eller fyra lednings temperaturgivare. I detta styck begränsas till två ledning temperaturgivare [32].



Figur 2.15: Omskiss för Wheatstone Bridge krets i figur (2.14).

2.3.3 Integreringsverket

Grundteori om flödesmätare och temperaturgivare har introduceras i tidigare stycken. Integreringsverket är sista del som ingår i termisk energi mätare. Den har som uppgift att samla data som mottas från både flödesmätare och temperaturgivare och räkna fram mängden av termisk energi som används under en viss tid. Därefter registreras värden i dess register och skickas till leverantörsdatabas för att lagras. Det är viktigt att flödesmätare, temperaturgivare är kompatibla med varandra. Med andra ord frekvensen som används för att skicka data från flödesmätare, temperaturgivare och integreringsverket ska vara samma för att beräkning av termisk energi ska vara rätt. Om de använder olika frekvenser, blir det svårt att de kommunicerar med varandr, enligt Skogström.

2.4 Kalibrering

Tidigare har det presenteras vad komponenter av termisk energimätare har som uppgift och hur de fungerar ihop för att mäta termisk energi. Här fokuseras istället på energimätarens noggrannhet, hur kalibreras flödesmätare och temperaturgivare och översiktligt föreskrifter och bestämmelser som följs vid termisk energimätare kalibrering.

Termisk energimätare är precis som andra tekniska enheter som har en viss livslängd. När livslängden har passerat, kan det finnas risk att termisk energi mätare inte mäter inom önskat felvisning interval. Det betyder att de kan då mäta termisk energi med större fel. Därför utförs kalibrering på dessa. Enligt Energiföretagen Sverige definieras kalibrering som “ jämförelse mellan en referens (mätnormal) och den mätare som ska kalibreras. Justering av mätare ingår ej” [1]. Jämförelse mellan termisk energimätare utförs hos ackrediterat kontrollorgan eller kontrollab. Där finns det lämpliga utrustning och kompetenta personal för att utföra det.

Kalibrering kan även utförs innan termisk energimätare skrotas. Det vill säga efter den har använts hela teknisk livslängd. Syftet med det är att undersöka om teknisk livslängd stämmer enligt tillverknings specifikation. Återkommande kontroll kan också göras för att kontrollera om energimätarens felvisning är fortfarande inom godkända intervall. Denna kontroll kan även kallas intagsprov som utförs innan revision eller skrotning. Revision är en kontroll som utförs för nya termisk energimätare. Nya termisk energimätare kan kalibreras vid inköp. Syftet med det är att försäkra att nya inköp av termisk energimätare uppfyller kraven som leverantör står för och kunden förväntar sig. Om inköp av termisk energimätare är stort och kalibrering vill utförs är det svårt och kostsamt att prova var och en av energimätare. Ett sätt att undersöka om termisk energimätare mäter inom tillåtna felvisning intervall är att slumpvis välja ett antal av stora partier. Med andra ord att slumpvis stickprov plockas av stora partier. Enligt Energiföretag Sveriges bestämmelser ska antal flödesgivare 20 procent av partier och inte mindre än 50 stycken. För temperaturgivare och integreringsverket ska det vara 10 procent av partier och inte understiger 25 temperaturgivarepar eller integreringsverk [34].

2.4.1 Kalibrering av flödesgivare

Bilden här nedan visar en ställning som används för flödesgivarekalibrering från en volymlab. Där observeras att ett antal flödesgivare är seriekopplade med varandra och båda sidorna är parallellkopplade tillsammans. Till Vänster försörjer varmvattenbehållare med (ca. 40°C). På sluttet (till höger) är det en vattenbehållare som sitter på en noggrann våg för att mäta vikten. Precis efter behållare finns det en flödesmätare som kallas master flödesmätare (syns inte i bilden). Denna är en referens flödesmätare som kalibreras mot vattenvikt vid en viss temperatur. Vattendensitet vid en viss temperatur används för att beräkna volymen och jämförs med resultatet som master flödesmätare visar. Båda resultat ska vara så nära med stor noggrannhet.



Figur 2.16: Kontrollanläggning i kontroll laboratorium för kalibrering av flödesgivare.

Vatten cirkuleras med hjälp av en pump genom alla mätare från och till behållare. Med hjälp av en enhet ökas tryck för att säkerställa minimal luftmängd in i röret och fylla hela röret med vatten. För att uppnå bästa förutsättningar för bra resultat på mätning. Flödesmätare som syns i bilden fungerar med ultraljudsteknologi. Med hjälp av en elektronikmodul som har ultraljudkälla och pulsräknare, skickas ultraljudsvågor in i flödesmätare med en bestämt upplösning. Det vill säga en viss antal vågor motsvarar en viss vattenvolym. Upplösning kan justeras med hjälp av dator enligt önskemål. Ju mindre upplösning på ultraljudsvågorna desto noggrannare resultat. Med upplösning här menas att ett viss volym motsvarar ett visst antal ljudvågor.

Under kalibrering körs det olika stora flöde för att se till att flödesmätare klarar att mäta inom hela dess mätintervall den är designat för, med en viss noggrannhet. Resultat brukar vara bättre för stora flöden än små flöden. Dock ska felvisning godkännas upp till viss gräns. Enligt Energiföretagen Sverige ska flödesmätare mäta med felvisning inom intervallet ± 2 procent. Dessutom ska livslängden på flödesmätare som inte klarar mäta inom felvisning intervall minskas beroende på antalet flödesmätare som inte mäter inom godkännande felvisning.

Livslängden ska minskas minst ett år om det visar sig att 6.6 procent av flödesmätare som kontrolleras inte mäter inom godkännande felvisning interval enligt Energiföretagen Sverige. Tabel (2.2) visar antal år som ska minskas av livsläng för motsvarande andel flödesmätare som inte klarar mäta inom felvisning interval.

Tabell 2.2: Antal minskande år för termisk enerimätare beroende på andel som inte klarar mäta inom fel visningsintervall [34]

Andel [%]	Antal år ska livslängd minskas minst med
6.6 - 10	Minst ett år
10.1 - 20	Minst två år
20.1 - 30	Minst tre år
30.1 - 40	Minst fyra år
40.1 - uppåt	Minst fem år

2.4.2 Kalibrering av temperaturgivare och integreringsverket

Kalibrering² av temperaturgivare görs vanligtvis direkt efter tillverkning hos myndigheten Swedac. Denna kalibrering kallas engångsvarifiering. Syftet med det är att de nya tillverkade temperaturgivare blir godkända och kan säljas i marknaden som en produkt. Under engångsvarifiering blir temperaturgivare utsatta till varierande hårda förutsättningar med höga temperaturer och fukt för att säkra att temperaturgivarepar kommer klara sin uppgift med temperaturmätning under livslängden med godkända felvisningsintervall. Om fabrikanter behöver ändra eller modifiera produkten ska en ny engångsvarifiering göras för den nya produkten påstår Skogström.

Vanlig kalibrering kan utföras i ackrediterat kalibreringslaboratorium eller kontrollorgan. Återkommande (intagsprov) utförs innan revision eller skrotning. Denna kontroll utförs för att undersöka mätarens noggrannhet under drift eller innan skrotning. Enligt Swedac ska temperaturgivarens och integreringsverkets utesittningstid längst vara tio år [1]. Bilden här nedan visar vattenbad där kontrolleras temperaturgivarepar under kalibrering för olika temperaturer (40, 70 och 90°C).

²Bilderna (2.17) och (2.18) är tagna i värmelaboratorium på One Nordic mätteknik AB



Figur 2.17: Vattenbad med tre olika temperaturer: 40, 70 och 90°C.

Integreringsverk kalibreras genom att kopplas med en känd varierande motstånd som motsvarar ett temperaturgivarepar med varierande temperatur. Från figur(2.13) observera att ett visst motstånd motsvarar en viss temperatur för något material. I Bilden nedan (till vänster) visar två motstånd som är också kalibrerade för att ge rätt motstånd för motsvarande temperatur. Framför dessa är integreringsverket kopplad för att provas.



Figur 2.18: Två elektriska motstånd används för integreringsverk kalibrering

2.5 Ekvationer

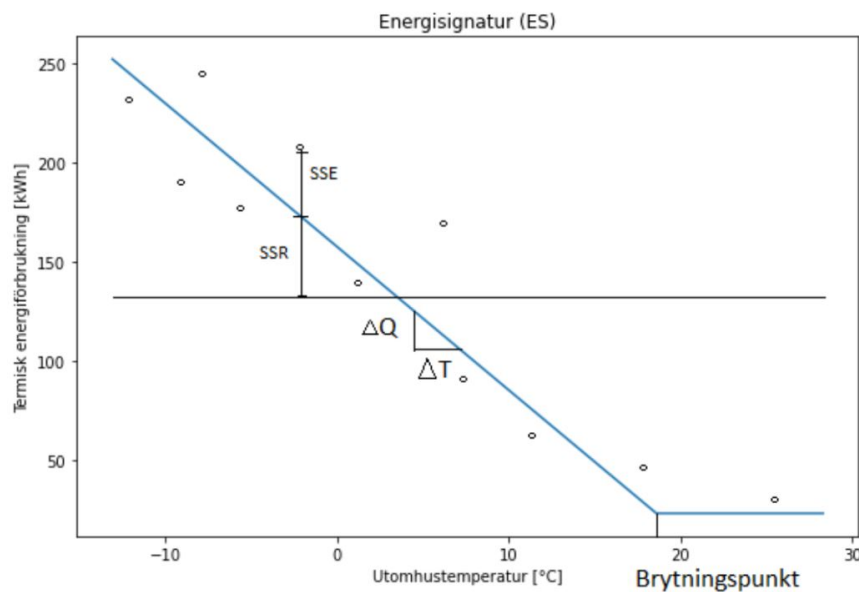
2.5.1 Regressionsanalys och statistik

Här introduceras ekvationerna som används för att bygga modellen energisignatur för mätpunkter. En perfekt modell är den modell som alla verkliga punkter ligger precis på modellens linje. En sådan modell är i stort sätt omöjlig att uppnå i många verkliga applikationer i synnerhet om det som beskrivs av modellen beror på många faktorer som inte lätt att beskriva exakt med ekvationer. Exempel på sådana faktorer är vindhastighet och solstyrka på en byggnad under en viss timme. Detta är bland annat en orsak att det ska finna fel (ϵ_i) mellan modellens värden och verkliga värden. En ekvation som beskriver alla verkliga punkter med hjälp av modellens ekvation:

$$f(x) = \begin{cases} kx + m + \epsilon_i & x \leq T_b \\ kT_b + m + \epsilon_i & x > T_b \end{cases}$$

Där k är lutning eller riktning på linjen innan brytningspunkt. Linjen efter brytningspunkt är horisontell, det vill säga dess lutning är noll. Den har samma lodräta värdet som brytningspunkt. m är en konstant och T_b är balanstemperatur (temperaturen vid brytningspunkt). Felet (ϵ_i) observeras i figur (2.19) som lodräta avståndet mellan punkten för verklig förbrukning och estimeringsvärde (värdet på energisignatur). Energisignatur modellen kan beskrivas med följande ekvationssystem [35]:

$$f(x) = \begin{cases} kx + m & x \leq T_b \\ kT_b + m & x > T_b \end{cases}$$



Figur 2.19: Godtyckliga värden och dess medelvärdes linje med energisignatur modell

Modell kan bedöms om den är bra med hjälp av ett mått. Exempel på mått är minsta kvadratfel eller korrelationskoefficient i kvadrat (determinationkoefficient)[36]. Minsta kvadratfelet definieras enligt ekvationen nedan som summan avstånd mellan det verkliga värdet och linjär regression linjen i kvadrat:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.17)$$

Determinationskoefficient (R_2) definieras:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (2.18)$$

$$SST = SSR + SSE \quad (2.19)$$

Där SST är kvadratsumman av totala avstånd mellan verkliga värde och medelvärde horisontella linjen. SSR är kvadratsumman av avstånd mellan linjär regression och medelvärde linjen, med ekvationer :

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.20)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2.21)$$

Sätt in ekvation (2.19) i ekvation (2.18) och sedan skriv om den med hjälp av ekvationerna (2.20) och (2.21):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.22)$$

Följande ekvationer används för beräkning av linjens riktning och konstanten för linjär anpassning [37]. Där k är riktningkoefficient och m är konstanten i linjens ekvation ($y = kx + m$). x_i och y_i är utomhustemperatur respektiv energiförbrukning i detta sammanhang.

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.23)$$

$$m = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.24)$$

2.5.2 Chauvenets kriterium

Det är en kriterium för att identifiera uteliggare punkter som resulteras av mätfel eller de punkter som inte normalt tillhör till rimligt mätintervall. Följande ekvationer presenterar teori bakom Chauvenets kriterium [38]. Med ekvation (2.25) räknas standardavvikelse (σ) [39], där N är antal mätvärden. \bar{x} är medelvärde som kan beräknas med hjälp av ekvation (2.26).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} \right)^2} \quad (2.25)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.26)$$

Ekvationen nedan används för att beräkna t-värde för att identifiera eventuellt om det finns uteliggare värde, genom att omvandlar till standard normalfördelning [39]:

$$t = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\sigma} \quad (2.27)$$

Här beräknas sannolikhet för värden som statistiskt bör tillhör till rätta mätvärden inom konfidensintervall [39]:

$$Prob(t_s, \sigma) = \frac{1}{2\pi} \int_{-t}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (2.28)$$

n är sannolikhet som värdet bedöms med hjälp av för att betraktas som uteliggarepunkt ($n < 0.5$). Det vill säga $[1 - Prob(t_s, \sigma)]$ Sannolikhet är sannolikheten att ett värde är minst lika långt från medelvärdet som uteliggare punkt [38].

$$n = N[1 - Prob(t_s, \sigma)] \quad (2.29)$$

2.5.3 Minimering av risk för överdebitering

För att undvika eller minimera risken för överdebitering för värmekunder sänkas energisignatur ner med värde som kallas för modellens absolutfel (e) så att debiteringsgrundande (y_{dp}) värde blir som följande ekvation(SIS 143000:2022) [7]:

$$y_{dp} = \begin{cases} \hat{y} - e & y_{dp} > 0 \\ 0 & y_{dp} \leq 0 \end{cases}$$

Värdet på e kan beräknas med följande ekvation:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}|}{n} - \frac{r}{2} \quad (2.30)$$

Där:

Där:

n : antal mätningstillfällen under anpassningsperioden.

i : mätpunkten under en viss timme

\hat{y} : värde från energisignatur

y : uppmätt värde från termisk energimätare

r : mätarens lägsta upplösning. Här sätts detta värde till noll

Ekvationen nedan räknar hur stort andel av verklig termisk energiförbrukning är estimerings värden (för en månad) [7]

$$kvot = \frac{\sum_{i=1}^n y_{dp}}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (2.31)$$

3 Metod

I föregående kapitel (2.Teori) har det presenterats grund teori bakom termisk energimätare och lite om standard, regler och föreskrifter. Det har även ansetts att termisk energimätare spelar en avgörande roll för att debitering av termisk energiförbrukning ska vara rätt, både för värmekunder och termisk energileverantör. Värden som fås från termisk energimätare beskriver inte bara termisk energiförbrukning under en viss timme. Ibland kan de användas för att skapa ett mönster på hur verklig termisk energiförbrukning ser ut. Med hjälp av ett sådant mönster kan mätpunktsbeteende ger information om hur konsumtion av termisk energi bli beroende på en eller fler faktorer. Ett sådant mönster underlättar att bygga ett modell som med en viss noggrannhet kan estimeras termisk energiförbrukning när värden saknas från energimätare. Ett exempel på sådant modell kallas energisignatur eller effektsignatur. Energisignatur är ett enkelt modell som liknar "hockeyklubba"

I detta kapitel presenteras metoden som används för att modellera energisignatur. Dessutom används energisignatur för att estimeras värden som sedan jämförs med verkliga termisk energiförbrukning. För att veta hur bra energisignatur modellering är, används ett determinationskoefficient som statistiskt mått, medan används det ett annat ekonomiskt mått för att säkra om energisignatur modell är tillräckligt bra för att användas för estimering av saknade värden. Med andra ord om värden som estimeras kan användas som debiteringsunderlag.

Dessutom appliceras energisignatur modellering på många mätpunkter. Modellering för varje mätpunkt byggs utifrån dess historisk data som samlas in från termisk energimätare och lagras i leverantörsdatabas. Syftet med det är att ha statistiskt underlag som visar hur bra och säker denna typ av modellering är och eventuellt om den kan användas för debitering med mindre risk för överdebitering.

3.1 Indata

Data som används i detta arbete hämtas från databas där det lagras värden från termisk energimätare varje timme för varje mätpunkt. Där lagras också vattnets volymmängden som passerar i kundcentralens primärsidan, temperaturdifferensen ($\Delta\theta$) mellan fram- och returtemperatur linjerna och mätarställning (MST) på termisk energi. MST är det värdet som registreras och visas i integreringsverkets skärm. Detta värde är ackumulerat beräknat värmeenergi oftast i enheten MWh. Mätarställning (MST) ökar hela tiden så länge termisk energimätare är i drift. Det finns även andra värden som lagras, till exempel status på mätvärden. De värden användas inte här i beräkningar, utan sparas i databas för att de har någon betydelse på mätvärde kvaliteten. De används bland annat för datahantering. De är snarare en kod som ges för att visa på vilket sätt data har lagrats i databas. Exempelvis om värden kommer direkt från energimätare eller interpoleras. Värden som behövs för att utföra beräkningar i detta

arbete är datum och tid när mätvärden registreras, termisk energi som integreringsverket registrerar under drift. En bild på värden som hämtas visas i figuren under bilaga E för en godtycklig mätpunkt.

Inhämtat data från databas i detta arbete är värden under perioden 15 månader för drygt tusen mätpunkter för att undersöka statistisk underlag för termisk energiförbrukning estimering. Data hämtas från och med 1 november 2020 till 31 januari 2022 för alla mätpunkter. Ibland saknas värden på mätarställning. Isåfall tas motsvarande värden bort och modellering för mätpunkter utförs för resterande data.

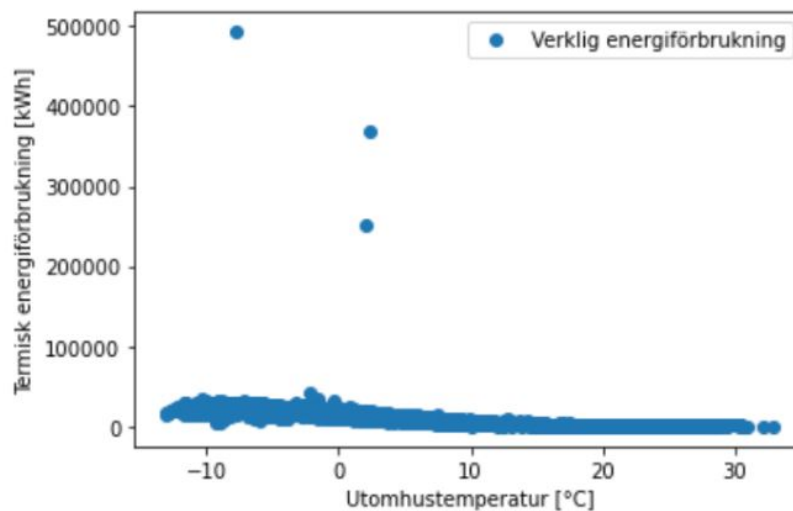
Termisk energiförbrukning, beror bland annat på utomhustemperatur på grund av värmeförlust från byggnader. Modellering i detta arbetet tar bara hänsyn till utomhustemperatur som oberoende variabel. Ju större temperaturskillnad mellan inomhustemperatur och utomhustemperatur, desto större potential för värmeöverföring från byggnaden till omgivning.. Utomhustemperatur mäts på plats där termisk energimätare är, dock hämtas dessvärre inte värden i databasen för varje plats där mätpunkt existerar. Istället hämtas data för utomhustemperatur som approximation från SMHI sidan för motsvarande perioder. Samma temperaturvärden används för alla mätpunkter oberoende på platsen. Utomhustemperatursvärden är mätt från en mätstation i Stockholm. Stationens nummer är 98230 [40].

3.2 Termisk eneriförbrukning

Värden på termisk energi som sparas i databas är mätarställning (MST). MST-värde ökar ständigt så länge termisk energimätare i drift. Modellen som ska byggas av utomhustemperatur och termisk energiförbrukning. För att beräkna energiförbrukning tas differensen mellan varje mätarställning värde och dess föregående värde för tidigare timme. Om differensen räknas för två värden som är efter varandra och däremellan har varit ett tomt värde som tas bort, blir värdet troligen för stort. Detta i sin tur visar falskt värde på termisk energiförbrukning under denna timme. Energiförbrukning värde blir för stort för motsvarande timme och följer därmed inte mönstret. De värden identifieras och tas bort med hjälp av Chauvenets kriterium [38]. Om uteliggare värden inte tas bort blir det svårt att uppnå en bra modell med hjälp av energisignatur (ES). För att spridning på punkterna blir större från ES. För att uppnå bättre resultat på modellering och därmed estimering av saknade värde från termisk energimätare tas uteliggare värden bort. Följande avsnitt (3.3 Datafiltrering) förklaras närmare hur uteliggare punkter identifieras enligt Chauvenets kriterium.

3.3 Datafiltrering (Identifiera outliers)

Uteliggare (Eng: outliers) är de värden som inte ligger inom ett rimligt intervall som mätpunkts värde oftast förväntats att befinna sig. Outliers ligger bort från ett tydligt mönster som observeras om många värden på termisk energiförbrukning plottas under en viss period mot utomhustemperatur. Följande figur visar data för en mätpunkt med uteliggare punkter som inte är inom eller ens nära vanlig termisk energiförbrukning.



Figur 3.1: Observerade datapunkter för termisk energiförbrukning med några uteliggare punkter

Uteliggare punkter som inte följer en tydlig mönster bör tas bort. De är oftast resultat på fel uppmätta värden från termisk energimätare eller felberäknat termisk energiförbruknings värde på grund av el eller kommunikations avbrott mellan energimätare och leverantörsdatabas. Att ha kvar de och användas i modellering ger dålig modellering med låg determinationskoefficient (R^2). En sådan modellering ger inte bra värden på estimering eller validering, vilket minskar förklaringsgrad på modellen och skapar större osäkerhet vid estimering. Om uteliggare punkter ligger ovanför modellen, dras modellen uppåt (högre värde på estimeringsvärden), vilket ökar värden på estimeringen. Ökande estimeringsvärden leder till större risk för överdebitering för FJV-kunder.

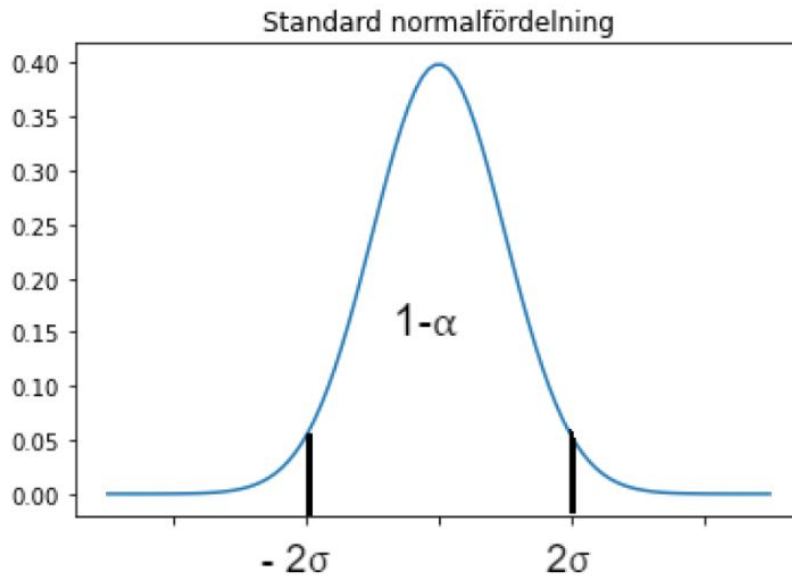
Däremot om MST-värde från termisk energimätare är samma under fler timmar, beräknas termisk energiförbrukning till noll. I verkligheten innebär det att värmeenergi överförs inte längre från primärsidan till sekundärsidan i kundcentralen. Det kan bero på att kunden stängs av FJV. De här värden (nollorna) betraktas som en del av mätpunkternas beteende. De tas därför inte bort och behållas som vanliga värden på verklig termisk energiförbrukning. I detta arbetet accepteras värden som är större eller lika med noll förutom extrema värden som betraktas som uteliggare. Följande avsnitt (3.3.1) presenterar metoden för borttagning.

3.3.1 Borttagning av uteliggare

Här förklaras metoden för identifiering av uteliggare punkter som är önskvärt att ta bort för att uppnå bättre förklaringsgrad på modellen. Det finns fler sätt att undersöka om observerade data är uteliggare. Här väljs Chauvenets kriterium.

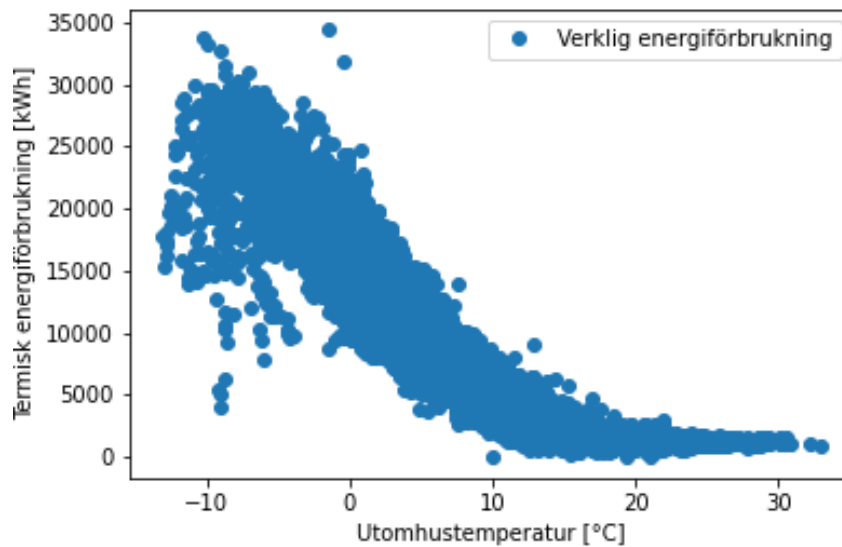
Först räknas ut standardavvikelse och medelvärdet på observerade data enligt ekvationerna (2.25) respektive (2.26) [39]. För att identifiera uteliggare ska standardavvikelse antalet som motsvarar gränser för sannolikhetsbandet runt medelvärdet beräknas. Med

andra ord beräkning av gränserna som värden inte sannolikt att överstiga. Detta görs genom att omvandla världen från en normalfördelning till standardnormalfördelning. Ekvation(2.27) beräknar de gränserna som är (t) respektiv $(-t)$. Där x_i är största värde på termisk energiförbrukning som misstänks att det är uteliggarevärde. \bar{x} är medelvärde och (σ) är standardavvikelse. Enligt normalfördelningsteori är hela område under normalfördelningsgrafens lika med en. Området från -2σ till 2σ , det vill säga området som kallas $(1-\alpha)$ i figuren nedan, täcker ca. 95 procent av sannolika värden. Resten är 5 procent. De är i stort sätt ovanliga värden för termisk energiförbrukning.



Figur 3.2: Standard normalfördelning

Sedan används de normala sannolikhetsstabellerna eller statistiska funktioner i python för att bestämma sannolikheten för att ett maximumvärde kommer att inträffa minst så långt ifrån medelvärdet (\bar{x}). Beräkningar kan göras med hjälp av ekvation (2.28). Slutligen beräknas sannolikhet för t-värdet som beräknat med hjälp av ekvation (2.27) som är förväntat att bli minst bort ifrån medelvärdet (\bar{x}). Detta kan göras med hjälp av ekvation (2.29). Om $(n < 0.5)$ ska värdet då tas bort annars accepteras värdet. Denna procedur upprepas med näst störst värde och så vidare tills n blir större än 0.5. Alla stegen ska upprepas inkluderat första steget. Det vill säga medelvärdet (\bar{x}) och standardavvikelse (σ) också ska beräknas efter varje gång ett värde tas bort[38]. När uteliggare i figur (3.1) tas bort fås följande figur:



Figur 3.3: Figur(3.1) efter uteliggare borttagning

3.4 Energisignatur

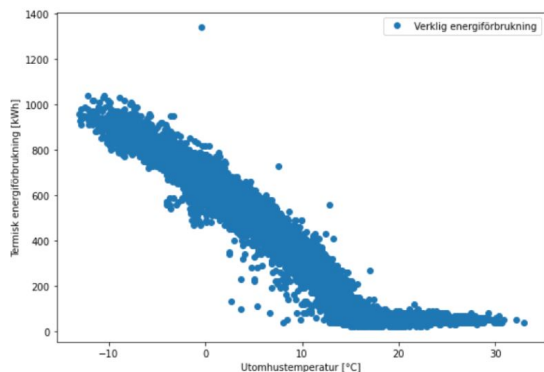
Modellen som ska användas är ES som visas i figur(2.19). Den består av två delar. Varje del är en linje med en viss lutning, men gemensamt punkt som kallas brytningspunkt. Brytningspunkt är den punkten som också kallas balanstemperatur. Efter denna punkten blir termisk system (byggnad) temperaturoberoende. Det vill säga oavsett hur mycket stiger utomhustemperatur efter (T_b) kommer termisk energiförbrukning vara exakt samma enligt modellen. I verkligheten varierar termisk energiförbrukning upp och ned kring denna horisontell linje. Termisk energiförbrukning används till exempel till tappvarmvatten som är inte beroende på utomhustemperatur. I första delen av modellen är det en linje med negativ lutning. Detta förklarar principen för värmeöverföring. Med andra ord om det blir kallare ökar temperaturskillnad mellan inomhustemperatur och utomhustemperatur. Detta ökar potentialen och därför blir termisk energiförbrukning högre [41].

Lutning på linjen betyder hur stor extra energimängden behövs om utomhustemperatur ändras en grad celsius under förutsättningar att inomhustemperatur är konstant under en viss tid. Det kan också betyda hur mycket ökar/minskar värmeförlust från byggnaden om utomhustemperatur minskar/ökar en grad celsius. Negativ lutning betyder att värmeförlust ökar med minskande utomhustemperatur [41].

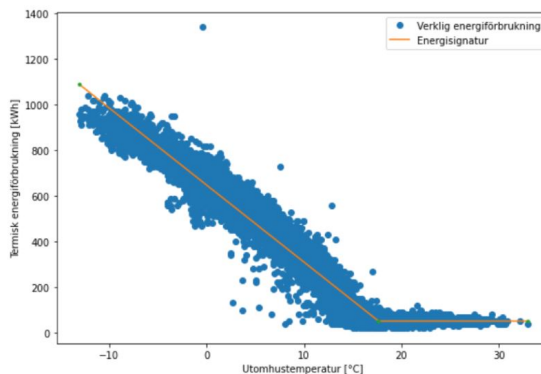
3.4.1 Linjärregression

Linjär regression är en typ av modellering som utförs med hjälp av en rak linje för att beskriva verklig data eller observerade mätdata. I detta arbetet används python som program för att utföra alla beräkningar och modellering. Figuren här nedan visar att det finns en tydlig linjär relation mellan termisk energiförbrukning och utomhustemperatur fram till en viss gräns (brytningspunkt). Detta leder till att en enkel

linjär regression kan vara en lämplig metod för modellering av energisignatur. För att bestämma bästa linje med lutning för första delen av energisignatur (innan brytningspunkt) ska denna linjen vara tillräckligt nära alla punkter. Det finns flera mått som förklarar denna egenskap. Determinationskoefficient och minsta kvadratfelet är exempel på sådana mått.



Figur 3.4: Observerade data för termisk energiförbrukning mot utomhustemperatur



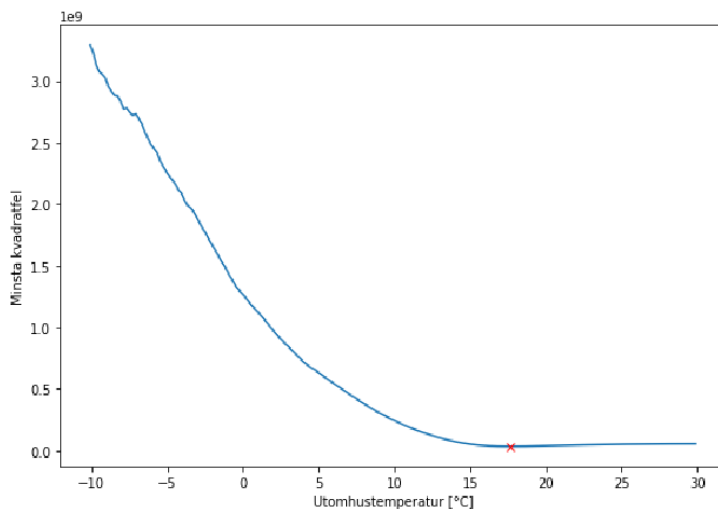
Figur 3.5: Observerade data för termisk energiförbrukning mot utomhustemperatur med modellering av energisignatur

En linje kan alltid definieras med en riktning (lutning) och godtycklig punkt på linjen. Första delen av energisignatur är en sådan linje med en ekvation $y = kx + m$. Där k och m är godtyckliga konstanter. Bästa anpassningslinje är tillräckligt nära till alla punkter. Det vill säga $\sum_{i=1}^n \epsilon_i$ i ekvationssystem i stycken (2.5.1) är minimum. Med andra ord summan av absolut avstånd mellan modellen och verklig observerade punkter är kortast möjligt. Detta kan undersöks med hjälp av minsta kvadratfelet $(y_i - \hat{y}_i)^2$. Minsta kvadratfelet är kvadratiska summan av alla avstånd mellan verkliga punkter och dess motsvarande värde på energisignatur. För att identifiera denna linjen beräknas konstanterna k och m med hjälp av ekvationerna (2.23) respektiv (2.24). Determinationskoefficienten (R^2) är ett mått på hur bra linjär regression anpassar observerade data (från termisk energimätare). Bästa möjliga anpassnings determinationskoefficient ges av $R^2 = 1$. Sådan anpassning är bäst och betyder att alla punkter ligger exakt på linjen [39]. I verkligheten är R^2 mindre än ett. Determinationskoefficient beräknas med hjälp av ekvation (2.22). Detta här gäller bara för första delen av energisignatur. Här nedan förklaras hur brytningspunkt väljs för att komma fram till bästa modellering av energisignatur.

3.4.2 Brytningspunkt

Brytningspunkt spelar en viktig roll på modellering av energisignatur. Enligt det som beskrivs tidigare i stycket (3.4.1 Linjär regression) kan bästa linje som bestämmas med hjälp av linjens ekvation genom att beräkna konstanterna k och m . Andra delen efter brytningspunkt ska vara konstant enligt energisignatur utseende. Platsen på brytningspunkt ska vara rätt så att minsta kvadratfelet minimeras, vilket betyder att högsta determinationskoefficient uppnås. Detta kan noteras i ekvation(2.22). Figuren här nedan visar hur minsta kvadratfelet varierar med varierande brytningspunkt. Den

röda kryss på figuren indikerar minsta värdet på kvadratfelet vid motsvarande balanstemperatur (17.64°C).



Figur 3.6: Minsta kvadratfelet med varierande brytningspunkt

3.5 Olika metoder för estimering av en månad

Energisignatur modellering görs här för 14 månader för varje mätpunkt. Det vill säga termisk energiförbrukning och utomhustemperatur hämtas varje timme för 14 månader, sedan modelleras energisignatur med brytningspunkt som ger minsta kvadratfelet. Det ger bästa (högsta) determinationskoefficient (R^2). Detaljerna har förklarats i tidigare avsnitt (3.4 Energisignatur).

Med hjälp av ekvationssystem i avsnitt (2.5.3) och ekvation (2.30) beräknas debiteringsgrundande värde och plottas tillsammans med verklig förbrukning av termisk energi samt estimerings värde från energisignatur för varje mätpunkt. Sedan beräknas kvoten, enligt ekvation (2.31) som visar hur stort andel debiteringsgrundande värde utgör av verklig energiförbrukning för samma månad men tidigare år. Kvoten kan anses som en ekonomisk mått på hur bra estimering är om den används som debiteringsunderlag.

3.5.1 Estimering utan sortering

För att ta hänsyn till ändringar i mätpunkter väljs att göra linjärisering med hjälp av data för fjorton månader. Exempel på sådana ändringar som påverkar mätpunkternas beteende kan vara en värmekund har bytt byggnadens fönster till smarta fönster eller har nyligen installerat solceller och börjat kombinera byggnads uppvärmning med en värmepump. De ändringarna påverkar termisk energiförbrukning från fjärrvärme. I

Tabell 3.1: Brytningspunkt, lutning, determinationskoefficient och kvot för tio mätpunkter

Mätpunkt	Lutning	Brytningspunkt	Determinationskoefficient	Kvot
A	-10.424393	(14.82, 79.36)	0.6393	0.7875
B	-7.863673	(15.22, 28.45)	0.8189	0.8918
C	-18.130414	(16.43, 33.69)	0.9432	0.9817
D	-26.637529	(16.63, 71.10)	0.7925	0.9505
E	-6.255191	(13.62, 54.38)	0.4893	0.7786
F	-23.925238	(15.23, 17.23)	0.9349	0.8606
G	-33.82	(17.64, 51.12)	0.9502	0.9167
H	-8.469103	(12.61, 56.48)	0.7315	0.8152
I	-8.16881	(17.44, 15.6)	0.7484	0.9753
J	-7.466278	(16.23, 29.12)	0.733677	0.91672

båda fall kommer termisk energiförbrukning från FJV att minska. Däremot om kunden inte längre använder värmepump eller har blivit av med sin vedpannan, kommer termisk energiförbrukning från fjärrvärmeleverantör ökar. Därför tas bara 14 månaders period för modellering av ES. Modellering kan också göras med hjälp data för tolv månader, men ibland saknas värden på termisk energiförbrukning för vissa mätpunkter. För att säkerställa att tillräcklig data av termisk energiförbrukning finns för att modellera ES för de mätpunkterna.

Estimering görs för januari månad för att termisk energiförbrukning är högst under bland annat denna månad. Därför blir det viktigt att estimering är rätt för kunden och FJV-leverantör. Med hjälp av metoden som har precis presenterats för modellering av energisignatur plottas observerade data för varje mätpunkt och dess energisignatur. Energisignatur kan identifieras entydigt med en lutning och brytningspunkt. I tabellen här ovan visas lutning, brytningspunkt, determinationskoefficient och kvoten som beräknad med hjälp av ekvation (2.31) information om energisignatur för tio mätpunkter (A-J).

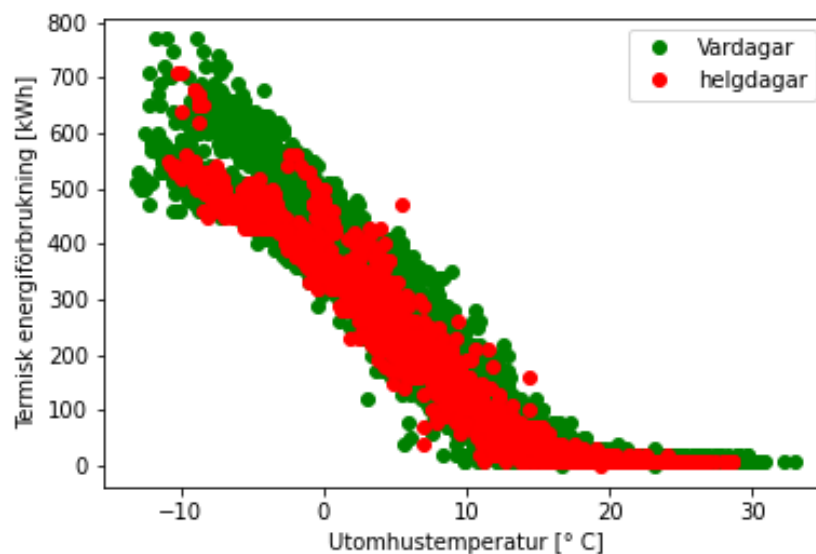
Från figurerna i bilaga A observeras mätpunkterna har olika skalor på y-axel. Det innebär att termisk energiförbrukning varierar beroende på byggnadsstorlek, isolering, ytan och arean som värmeförluster per tidsenhet överförs genom [41]. Mätpunkterna B, E, H, I och J har ungefär liknande termisk energiförbruknings skala. Mätpunkterna D och G är liknande men högre energiförbrukning än andra punkterna. Mätpunkter som har höga determinationskoefficient (R^2) ger oftast bra estimering. För att determinationskoefficient är ett statistisk mått som indikerar hur bra linjär regression är som en modell. Detta i sin tur leder till bra estimering enligt figurerna C, F och G. Motsättningen är det fallet i mätpunkt I. Determinationskoefficient är inte väldigt hög, trots det blir estimeringen ändå bra med bra kvotvärde. Sannolikhet att estimering blir bra hög värde är hög om determinationskoefficient är hög. Det är dock inte nödvändigt att kvoten blir bra högt värde om determinationskoefficient inte är hög.

Estimering för januari månad utifrån fjorton månader i mätpunkt J ger ett högt värde på kvoten. Om kvotvärde är högt betyder det inte alltid att estimering är nära verkliga energiförbrukning. I mätpunkt J till exempel estimering blir lite högre i början

och på sluttet. Debitering linje som är grön i figurerna för estimering har exakt samma mönster som den blåa linjen för estimering. Den här linjen sänker ner estimerings linjen för att undvika överdebitering för FJV-kunden. Vissa figurer som figurerna A och H märks att debiterings linje är lite under rimliga värden för estimeringen.

3.5.2 ES och estimering med vardag och helg sortering

Hitintills Har det bara tagits hänsyn till en oberoende parameteren (utomhustemperatur). Det finns också andra parametrar som människans beteende. Ett exempel på det är människans påverkan av termisk energiförbrukning beroende på vardagar och helgdagar. Figur (3.7) visar färgkod på energiförbrukning för anläggning F beroende på om dagen är vanlig vardag eller helgdag. Figur (3.7) visar att i stort sätt blir termisk energiförbrukning lägre i helgdagar än vardagar fram till balanstemperatur. Tolkning för det kan vara att TVV är samma oavsett utomhustemperatur. Tanken med att sortera energiförbrukning är att få bättre anpassning och därmed högre determinationskoefficient (R^2). Utifrån modelleringar för vardagar och helgdagar estimeras värden för januari månad. Figurerna visas i bilaga B. Följande tabell sammanfattar data för de figurerna



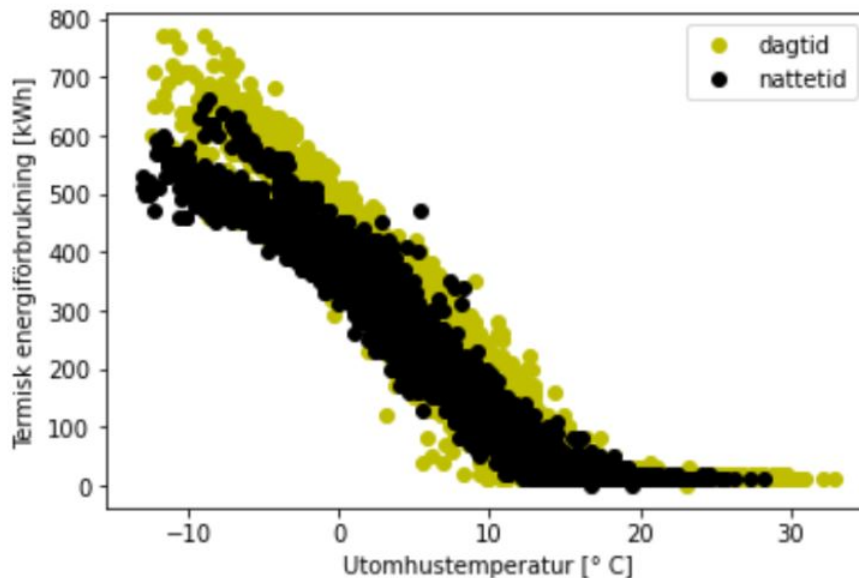
Figur 3.7: Termisk energiförbrukning för helgdagar (röd) och vardagar (grön)

Tabell 3.2: Determinationskoefficient för hela fjorton månader, vardagar och helgdagar samt kvoten för estimering utan sortering (kvot(1)) och med sortering för vardagar och helgdagar (kvot(2))

Mät punkt	$R^2(14 \text{ månader})$	$R^2(\text{vardagar})$	$R^2(\text{helgdagar})$	Kvot(1)	Kvot(2)
A	0.6393	0.6544	0.5725	0.7875	0.7885
B	0.8189	0.8286	0.7764	0.8918	0.8933
C	0.9432	0.9439	0.9405	0.9817	0.9809
D	0.7924	0.7899	0.8087	0.9505	0.9517
E	0.4892	0.5019	0.4334	0.7786	0.7731
F	0.9349	0.9332	0.9519	0.8606	0.8578
G	0.9502	0.9482	0.9590	0.8897	0.8893
H	0.7315	0.740	0.6905	0.8152	0.8155
I	0.7484	0.7474	0.7655	0.9753	0.9694
J	0.7337	0.7456	0.6797	0.9167	0.9168

3.5.3 ES och estimering med dag och natt sortering

Efter sortering för vardagar och helgdagar är det rimligt att göra en sortering för dagtid och natttid. Det är något som kan bero på människors beteende och påverkar termisk energiförbrukning. Figuren här nedan visar att termisk energiförbrukning är högre under dagtid än natttid. Tabell (3.3) visar jämförelse för determinationskoefficient och kvoten innan och efter sortering för dag- och natttid.



Figur 3.8: Termisk energiförbrukning för dagtid (gul) och natttid(svart)

Tabell 3.3: Determinationskoefficient och kvot för hela fjorton månader utan och med sortering till dagtid och nattetid för tio mätpunkter, kvot (1) och (2) för utan respektiv med sortering till dag- och nattetid

Mättpunkt	$R^2(14 \text{ månader})$	$R^2(\text{dagtid})$	$R^2(\text{nattetid})$	Kvot(1)	Kvot(2)
A	0.6393	0.7710	0.6119	0.7875	0.7885
B	0.8189	0.8863	0.80184	0.8918	0.8933
C	0.9432	0.9455	0.9524	0.9817	0.9809
D	0.7924	0.9078	0.8381	0.9505	0.9517
E	0.4892	0.6084	0.4710	0.7786	0.7731
F	0.9349	0.9407	0.9625	0.8606	0.8578
G	0.9502	0.9522	0.9595	0.8897	0.8893
H	0.7315	0.8017	0.7336	0.8152	0.81551
I	0.7484	0.7766	0.7966	0.9753	0.9694
J	0.7337	0.83599	0.7332	0.9167	0.9168

Dagtid definieras här från klockan sju på morgon till klockan fem på kvällen. Tabellen här ovan visar att determinationskoefficient blir högre för alla tio mätpunkter för dagtids energisignatur. För nattetid blir determinationskoefficient bättre bara för mätpunkterna C, D, F, G, H och I. Kvotvärde ändras lite. Det minskar för mätpunkterna C, E, F, G och I och ökar för resterande mätpunkter. I bilaga C kan observeras från figurerna för estimering om de jämförs med motsvarande figurer utan sortering att det blir lite ändring i estimerings linje. Kvotvärde ändras därför lite på grund av den här sorteringen.

3.5.4 ES och estimering med dag och natt samt vardag- och helgsortering

Utifrån tidigare jämförelserna mellan determinationskoefficient utan och med sortering visas en bättre estimering kan uppnås om bättre determinationskoefficient blir högre. Därför görs det båda sorteringar samtidigt för dag och natt samt vardagar och helgdagar. Följande tabell sammanfattar determinationskoefficient och kvoten utan och med båda sorteringar.

Tabell 3.4: Determinationskoefficient och kvot för hela fjorton månader utan och med sortering till dagtid och natttid samt vardagar och helgdagar

Mätpunkt	R^2	R_1^2	R_2^2	R_3^2	R_4^2	K	K_1
A	0.6393	0.5828	0.6542	0.6177	0.8009	0.7875	0.7885
B	0.8189	0.7804	0.8502	0.8061	0.8987	0.8918	0.8933
C	0.9432	0.9471	0.9429	0.9536	0.9464	0.9817	0.9809
D	0.7924	0.8318	0.9163	0.8394	0.9089	0.9505	0.9517
E	0.4892	0.4269	0.5322	0.4811	0.6267	0.7786	0.7731
F	0.9349	0.9686	0.9395	0.9612	0.9480	0.8606	0.8578
G	0.9502	0.9673	0.9593	0.9577	0.9506	0.8897	0.8893
H	0.7315	0.7099	0.7544	0.7382	0.8126	0.8152	0.8155
I	0.7484	0.7858	0.7908	0.7993	0.7807	0.9753	0.9694
J	0.7337	0.6993	0.7908	0.7406	0.8473	0.9167	0.9168

Där:

R^2 : Determinationskoefficient för hela 14 månader

R_1^2 : Determinationskoefficient efter natttid- och helgsortering

R_2^2 : Determinationskoefficient efter dagtid- och helgsortering

R_3^2 : Determinationskoefficient efter natttid- och vardagsortering

R_4^2 : Determinationskoefficient efter natttid- och vardagsortering

K: Kvot för fjorton månader utan sortering

K_1 : kvot efter dag- och natttid sortering samt vardag- och helgsortering

Tabell (3.4) visar värden efter dag- och natttid samt vardagar- och helgsorteringar. Vid jämförelse mellan determinationskoefficient för hela fjorton månader determinationskoefficient för helgdagar och natttid blir värden högre för hälften av mätpunkterna och lägre för de andra. Detta beror på att mindre sprida punkter ger högre determinationskoefficient värde, vilket betyder bättre linjärisering. Detta kan även observeras från figurerna med data och dess energisignatur i bilaga D. Determinationskoefficient efter sortering för dagtid och helgdagar blir bättre för alla mätpunkter, vilket kan vara bra bidrag för bättre estimering och närmare estimeringsvärde till verkliga energiförbrukning. Vid modellering av energisignatur för vardagar natttid blir determinationskoefficient högre för sju av tio mätpunkter. Modellering av energisignatur för natttid och vardagar ger alltid högre determinationskoefficient enligt tabell (3.4).

Kvoten blir högre för fem mätpunkter, men mindre för de andra fem mätpunkterna. Högre värde på kvoten betyder inte alltid att bättre estimering. Mindre värdet på kvoten kan ge bättre estimering om determinationskoefficient blir högre. På så sätt kommer estimering värden bli närmare och simulerar verkliga energiförbrukning på ett bättre sätt. Detta kan observeras vid jämförelse mellan estimeringfigurer i bilaga A och motsvarande i bilaga D.

3.5.5 Statistiskt underlag

Från de tidigare tre tabeller (tabell(3.2), tabell(3.3), tabell(3.4)) för tio mätpunkter blir lite förbättring för determinationskoefficient vid modellering efter några sorteringar för dag och natt eller/ och vardagar och helger. För ta fram statistiskt underlag för de sorteringar som är gjorts tidigare väljs här tillämpning av modellering på många mätpunkter (mer än tusen).

4 Resultat

Här nedan presenteras statistiskt resultat för determinationskoefficient och kvot för alla modelleringar som är gjort. Detta genomförs genom att modellera energisignatur för hela fjorton månaders termisk energiförbrukning. Samma modellering görs efter sortering till vardagar och helgdagars termisk energiförbrukning. En annan modellering dag- och nattetid och sedan integreras båda sorteringar för att modellera fyra energisignaturer och med hjälp av dessa görs estimering för januari månad. Denna procedur upprepas för runt tusen mätpunkter och resultatet presenteras för determinationskoefficient med följande figurer. Figurerna (4.1 - 4.9) visar att determinationskoefficient är approximativ normalfördelade med medelvärde som är uppskjuten till ett värde som är ungefär rund 0.85. Med flera sorteringar blir värdet på determinationskoefficient högre. Det kan observeras i tabell (4.1).

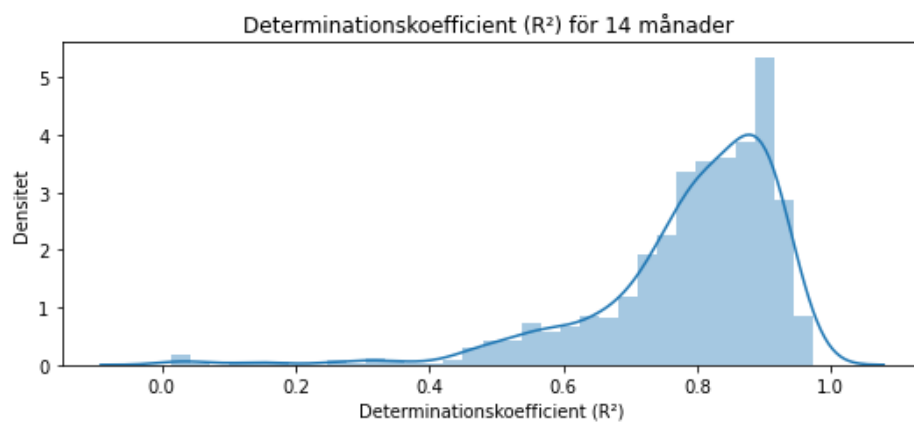
Tabell (4.1) visar att determinationskoefficients medelvärde för hela fjorton månader är ungefär 0,789. Efter olika sorteringar blir medelvärde för determinationskoefficient alltid större. Detta i sin tur bidrar till bättre och noggrannare estimering. Standardavvikelse varierar beroende på varje sortering och blir störst vid kombination av sorteringar till dag- och nattetid samt vardagar och helgdagar. Medelvärdet för determinationskoefficient med alla sorteringar blir också störst.

På grund av högre determinationskoefficient blir värden som estimeras närmare verklig energiförbrukning, vilket kan betraktas som högre bra värde på kvoten. Detta kan noteras i tabell (4.1). Det är inte lika tydligt att märka någon skillnad på kvotvärden från figurerna (4.10 - 4.13), men det kan observeras att flesta kvoten ligger mellan ca. 0.50 och mindre än ett. Om en jämförelse görs mellan figurerna för kvoten, figur(4.10) och figur(4.13) märks att histogram blir lägre för intervallerna som är mindre än 0.5 och större än ett. Det vill säga fler mätpunkter blir inom intervallet 0.5 och mindre än ett efter sortering.

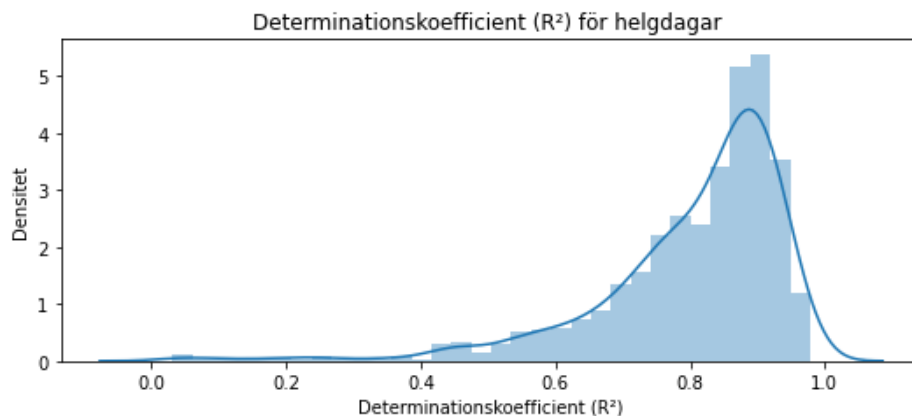
Ett annat sätt att presentera resultat är boxplot. Den kallas även "box and whisker diagram". Boxplot visar visualiserar resultat översiktligt. Den gröna linjen i mitten är medianlinje. Det vill säga antal värden som är högre än median linje är samma antal värden som är under denna linje. Ringarna som är utanför är uteliggare punkter. I figur (4.14) noteras att värden på determinationskoefficient är högre för helgdagar. I figur (4.15) blir determinationskoefficient högre efter sortering för båda nattetid och dagtid. Med båda sortering är värden på detminationskoefficient högre. Figur (4.17) visar att kvoten blir högst med båda sorteringar (vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid).

Tabell 4.1: Medelvärde och standardavvikelse för determinationskoefficient och kvot efter olika sorteringar.

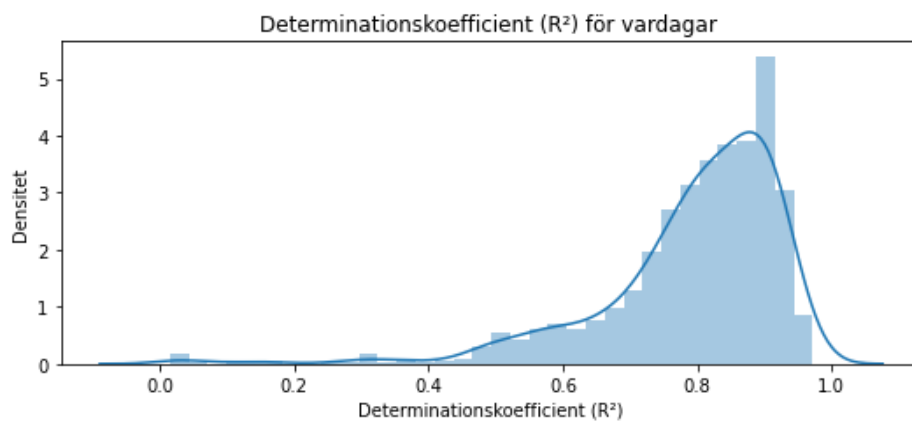
Determinationskoefficient / Kvot	Medelvärde (\bar{x})	Standardavvikelse (σ)
R^2	0.789084	0.141641
R^2 (helgdagar)	0.801574	0.144178
R^2 (vardagar)	0.791849	0.139532
R^2 (dag)	0.84777	0.120834
R^2 (natt)	0.805192	0.143422
R^2 (helgdagar natt)	0.811875	0.146116
R^2 (helgdagar dag)	0.838989	0.133262
R^2 (vardagar natt)	0.806023	0.14059
R^2 (vardagar dag)	0.860883	0.116629
Kvot (14 månader)	0.808117	0.73759
Kvot (helger och vardagar)	0.808573	0.728508
Kvot (dag och natt)	0.834827	0.746092
Kvot (vardagar och helgdagar samt dag och natt)	0.847749	0.749562



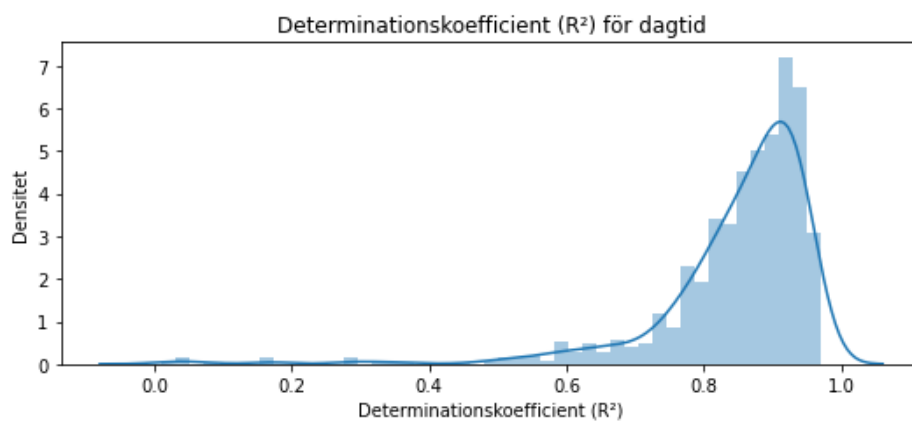
Figur 4.1: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för fjorton månader



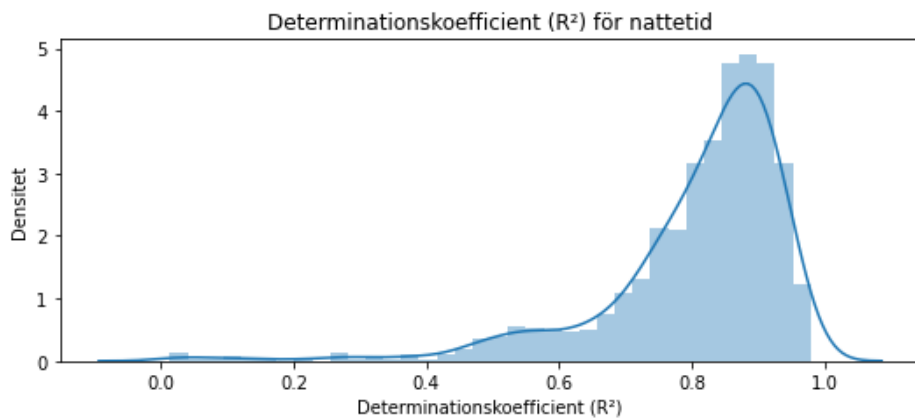
Figur 4.2: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar



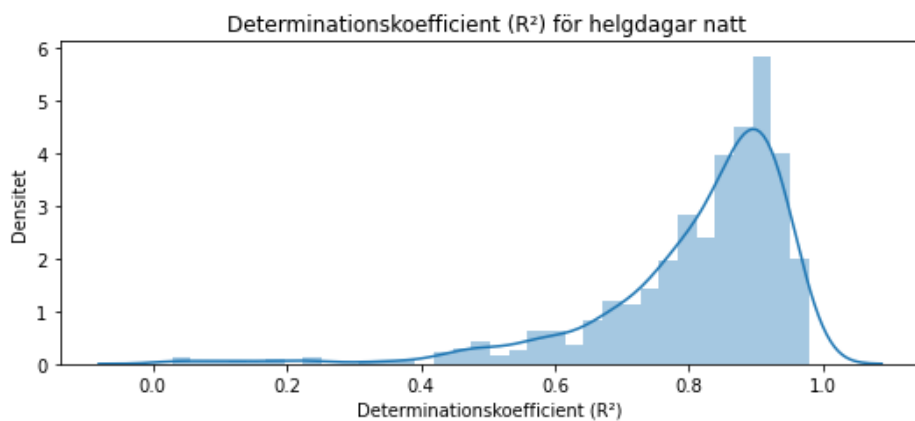
Figur 4.3: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar



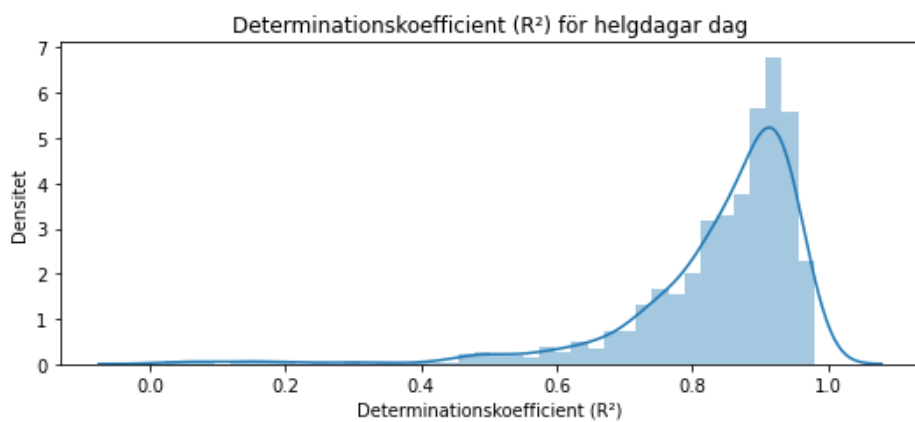
Figur 4.4: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för dagtid



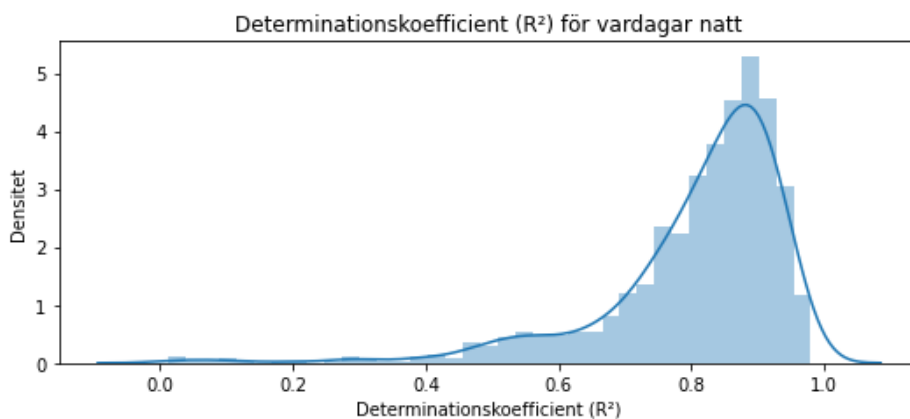
Figur 4.5: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för nattetid



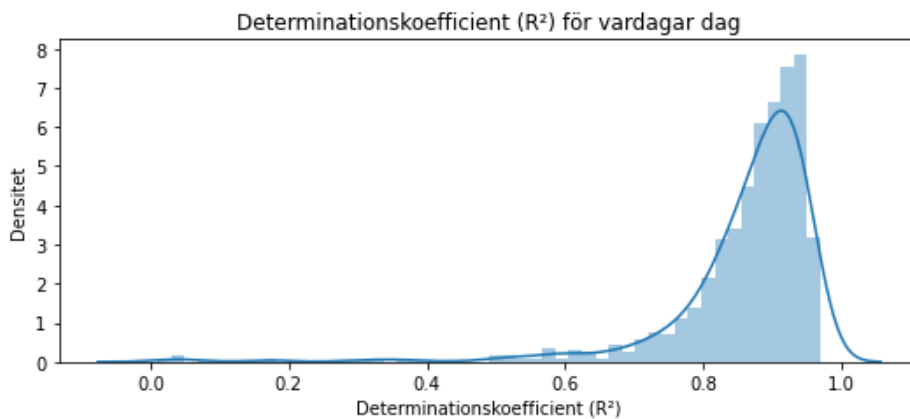
Figur 4.6: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar natt



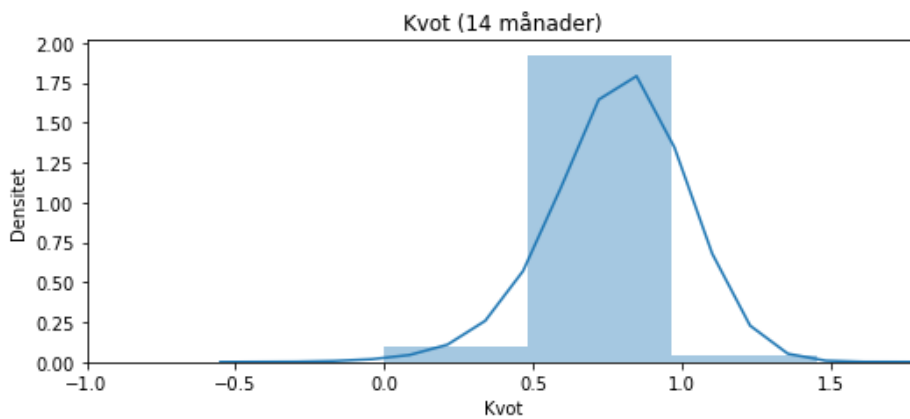
Figur 4.7: SStatistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för helgdagar dag



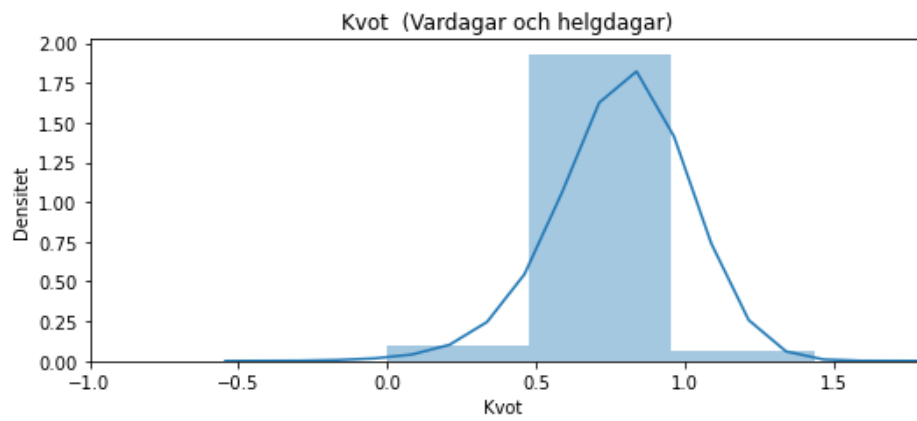
Figur 4.8: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar natt



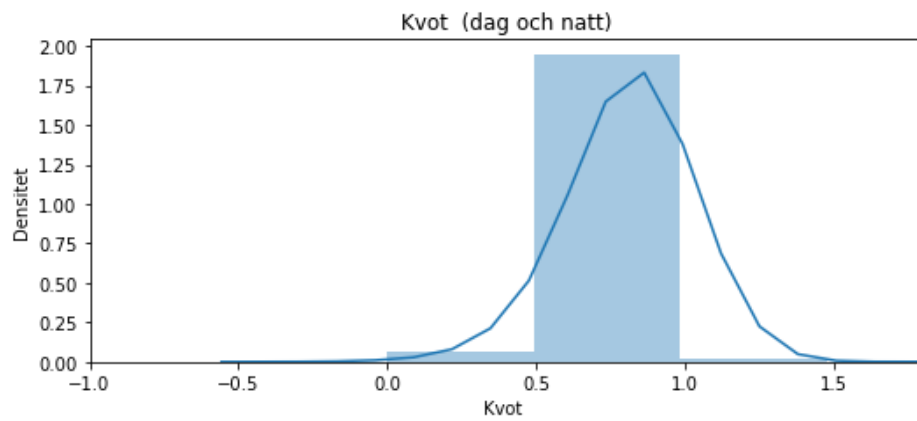
Figur 4.9: Statistik för determinationskoefficient för modellering av termisk energiförbrukning för vardagar dag



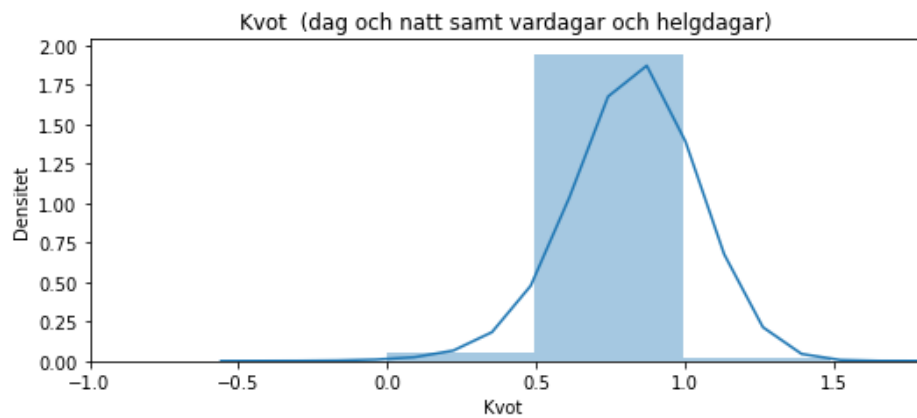
Figur 4.10: Statistik för kvot för hela fjorton månader



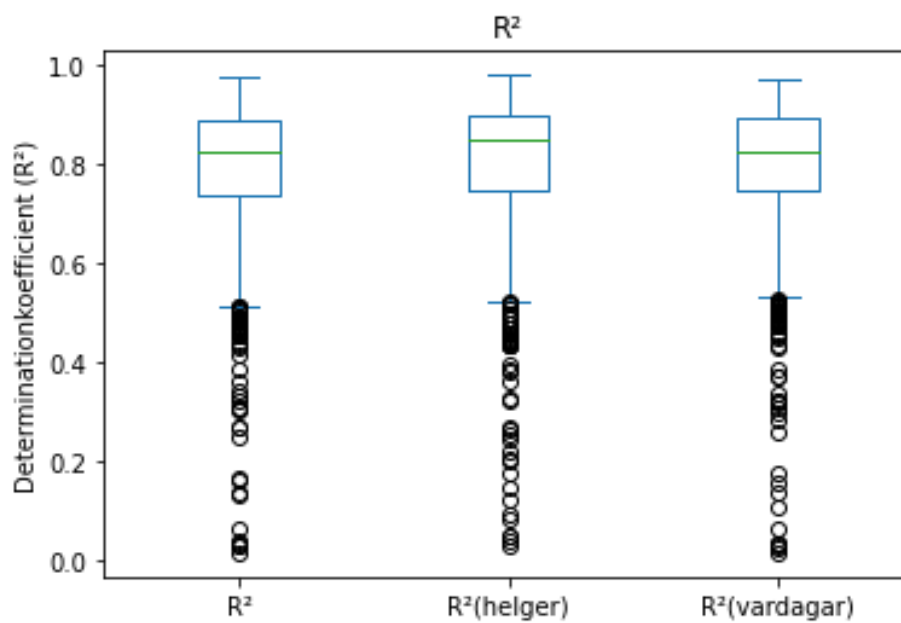
Figur 4.11: Statistik för kvot efter vardag- och helgsortering



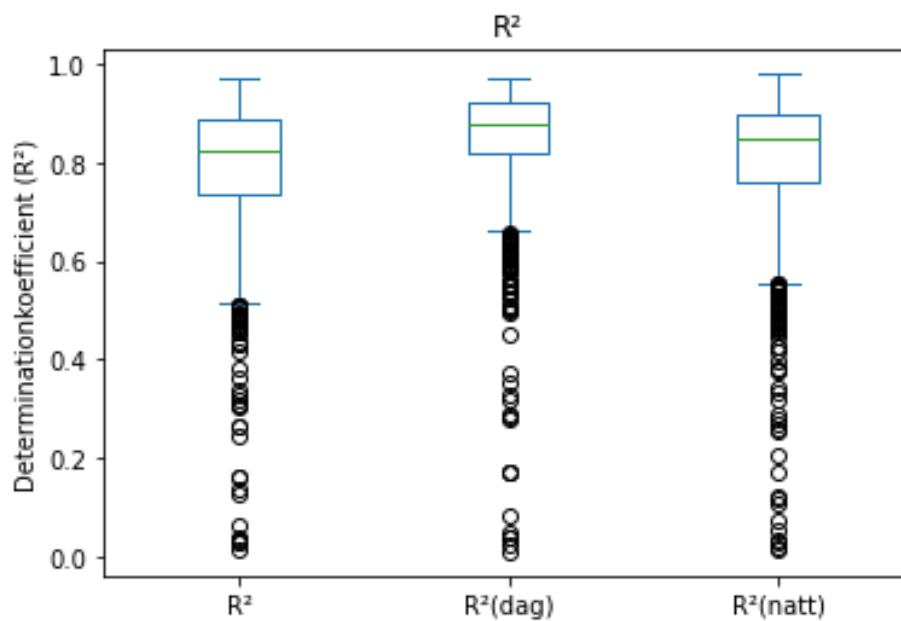
Figur 4.12: Statistik för kvot efter dag- och nattsortering



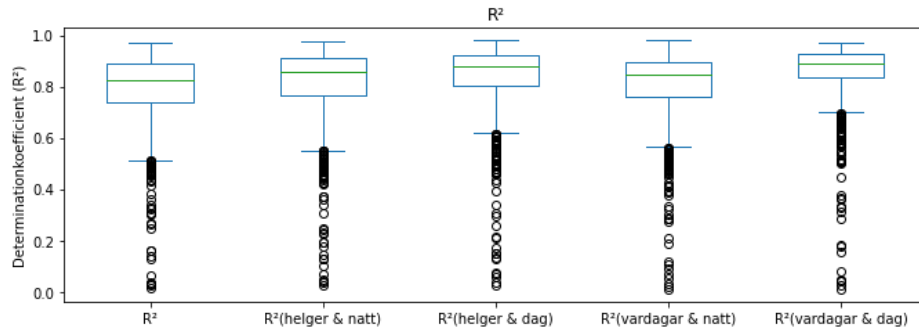
Figur 4.13: Statistik för kvot efter dag- och nattsortering samt vardagar och helgsortering



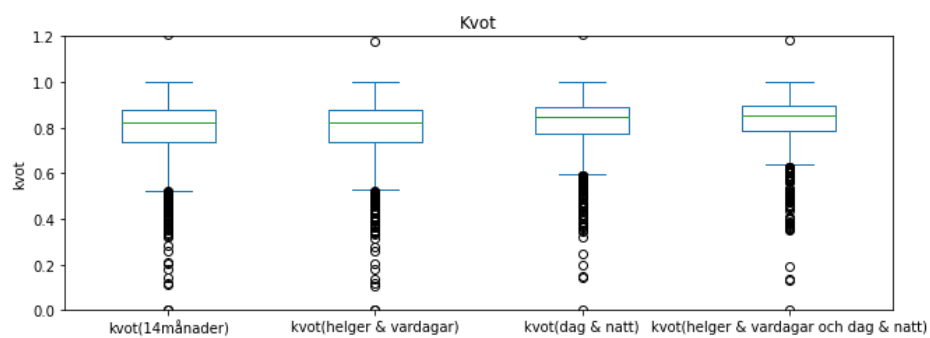
Figur 4.14: Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till vardagar och helgdagar



Figur 4.15: Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till dag- och natttid



Figur 4.16: Boxplot för determinationskoefficient (R^2) utan och med sortering till vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid



Figur 4.17: Kvoten utifrån estimering utan sortering och med sortering till vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid

5 Diskussion

Termisk energimätare spelar en central roll för att mätning på termisk energi ska vara rätt. Även noggrannhet på energimätare är viktig för att debitering ska vara rättvis för värmekunder och termisk energileverantörer. Vid brister i avläsning från termisk energimätare behövs det en modell för att använda för estimerade värden som saknas. Ibland finns värden sparade i termisk energimätarens register som kan hämtas eller läsas manuellt. Det krävs mycket tid och insats att göra det manuellt med tanken på enormt många termisk energimätare som finns. Orsaken till brister kan vara strömavbrott eller problem i kommunikation mellan termisk energimätare och databas för termisk energileverantör där värden lagras timme för timme. Energisignatur är en enkel modell som lätt kan modelleras för validering av termisk energiförbrukning och estimering av saknade värden. Mätfel kan också uppstå och därför är det viktigt att validera om värden som lagras in i databasen är rimliga. Mätfelen uppstår om det finns okompatibel störningskälla i omgivning eller om energimätare inte fungerar som den ska.

Att hitta en modell för estimering av termisk energiförbrukning till bra noggrannhet som passar alla mätpunkter är svårt. Detta beror på att termisk energiförbrukning beror på många faktorer som gör modellen väldigt komplext om alla ska tas hänsyn till. Solstrålning och vindhastighet är exempel på sådana faktorer. Dessutom människans betende spelar ibland en viktig roll på hur termisk energiförbrukning blir i verkligheten. I vanliga fall om en vila tas som ett exempel, vilaägare som bor i jobbar i vardagar troligen mellan klockan åtta på morgon och fyra på eftermiddag. Då blir energiförbrukning lägre och kanske blir mer beroende på utomhustemperatur för att tappvarmvattens förbrukning inte är så hög. Å andra sidan om det gäller en fabrik så är det tvärtom. Fabriken är kanske i drift under vanliga arbetstider. Därför definieras dag tid mellan klockan 07:00 och klockan 17:00.

Samma resonemang gäller vid sortering av termisk energiförbrukning till vardagar och helgdagar. Det visade sig enligt statistikunderlag att modellen blir bättre efter varje sortering och ännu bättre om båda sorteringar kombineras (sortering till vardagar och helgdagar samt dag- och nattetid).

Energisignatur är en enkel modell som bra resultat kan uppnås med hjälp av den för estimering av saknade värden. Dock varierar det hur bra estimering uppnås med hjälp av den. Den passar bra för mätpunkterna som endast använder fjärrvärme för husuppvärmning. Vissa mätpunkter har kombination mellan fjärrvärme och exempelvis vedpanna eller kamin. Isåfall blir det svårt att hitta mönster på hur termisk energiförbrukning beror på utomhustemperatur. Vilket gör det svårt att modellera en energisignatur med bra determinationskoefficient. Exempel på anläggningar som är lämplig att använda energisignatur som modell för estimering och validering av termisk energiförbrukning är skolor eller offentliga byggnader som uppvärmas bara med fjärrvärme. En fabrik som använder fjärrvärme huvudsakligen som tappvarmvatten är exempel mätpunkter som ger dålig determinationskoefficient vid modellering med hjälp av energisignatur. För att förbrukningen av termisk energi då inte beror på

utomhustemperatur.

Enligt statistiska underlag som tas fram utifrån drygt ett tusen mätpunkter visar det sig enligt figurerna (4.10 - 4.13) att det finns väldigt litet risk att kunden blir överdebiterat, vilket är bra och tryggt för kunderna. Dock behöver termisk energileverantör att debitering ska vara så nära verklig energiförbrukning som möjligt för att uppnå bästa möjliga ekonomiska resultat. Data som används i beräkningar och modellering av energisignatur visas inte. Det beror på att filerna innehåller ID-nummer för varje anläggning, vilket ska vara skyddad enligt GDPR.

Energisignatur är en enkel modell, trots det kan ganska bra resultat uppnås och resultat förklaras hur säker modellering är med hjälp av determinationskoefficient och kvotvärde. Determinationskoefficient är viktigast mått på hur bra estimering är. Kvoten ger en bild på hur debiterings andel kan uppnås med god säkerhet. För att resultatet visar att risken för överdebitering för kunderna är litet. Ibland visar det sig att kvoten är ett lurigt värde. Kvoten kan vara ett stort värde men inget som stämmer med i verkligheten om determinationskoefficient inte tillräckligt hög.

Energisignatur kan bli modifierad genom att ändra lutning på andra konstanta delen till en del med lutning. Andra parametrar kan också tas med i modellering. Istället för enkel linjär regression kallas det multipel linjär regression. Det betyder att flera parametrar är inblandade. Modellen blir då mer komplicerad men en vidare studie bör göras för att undersöka om det bättre resultat uppnås med hjälp av sådana metoder. Det finns även flera sätt och idéer för nya modeller. Ett av dessa är att modellera en kurva istället för linjär relation mellan utomhustemperatur och termisk energiförbrukning.

6 Slutsats

Sammanfattningsvis visar studien att energisignatur är en enkel modell som kan används för validering termisk energiförbrukning och estimering av saknade värden vid brister i mätning. Resultatet för estimering varierar från en mätpunkt till en annan beroende på betende av anläggning. Vissa anläggningar som skolor använder endast fjärrvärme till uppvärmning. Sådana byggnader är lämpliga till att modellera dess termisk energiförbrukning med hjälp av energisignatur. Hög determinationskoefficient kan även uppnås med energisignatur för sådana byggnader. Detta leder till bra rätt värde på kvoten.

Modellering av energisignatur är inte bara en modell som används för att estimeras saknade värden på termisk energiförbrukning. Modellen är också nyttigt för kunderna för att följa upp deras energikonsumtion. Detta i sin tur bidrar till att kunderna försöker effektivisera deras konsumtion av energi genom att byta till smarta fönster, isolera huset med bättre isolering. Det har även blivit krav från energieffektiviseringsdirektivet att tydligt redovisa för kunden beräknade värden på termisk energiförbrukning vid brister.

Termisk energimätare är avgörande för rätt debitering. Tack vara utveckling och ständigt tillämpning av nya teknologier för att förbättra förmågor hos termisk energimätare. Vid brister i mätning är det möjligt för leverantör med moderna databas att få larm eller signal från mätare. Åtgärden utförs så så fort som möjligt. Det innebär att om termisk energimätare stråler, kommer det inte vara så lång tid innan problemet åtgärdas. Med andra ord risken för saknade värden minimeras. I värsta fall om problem uppstår kan estimeringsvärden redovisas till kunden med mycket hög säkerhet att debitering är rättvis till kunden och risken är väldigt lågt att kunden betalar för mycket.

Verkliga energiförbrukningen i verkligheten är okänd. Om estimering ska göras för någon mätpunkt ska värden hämtas för motsvarande månad för tidigare år för jämförelse mellan termisk energiförbrukningen i verklighet och värden som estimeras. Här finns det risk att tidigare år är kallare eller varmare, vilket kan avvika från riktiga värden. Debiteringslinjen (gröna linjen i estimerings figurere) ibland avviker den mycket från estimeringslinje. Det beror på att variation av termisk energi förbrukning under en hel månad. De hade kanske varit mindre om estimering är gjort bara för en vecka eller lite kortare period än en hel månad.

Det visar sig också att ta hänsyn till människors beteende under olika tider på dagen och även vardagar och helger ger bättre och högre värden på båda determinationskoefficient och kvotvärde. Det är därför en god metod att använda för att öka noggrannhet på estimering. Det är också bra att tänka på träningsdata som används för modellera energisignatur. Data bör vara lagom så att det finns tillräckligt värden på termisk energiförbrukning som ger en tydligt mönster på hur anläggning beter sig. Däremot är det inte alltid bra att använda för mycket data för längre period. Med det uppdateras estimering kontinuerligt. Om kunden har börjat använda en annan metod för

husuppvärmning bör det uppdateras för att uppnå bättre resultat på estimering.

Nya kunder saknar historisk data för att kunna bygga en modell för estimering. Om det blir brister i mätning och inte kan läsa värden från mätare kan det vara lämpligt att hitta en liknande kund i kategori och skala på termisk energiförbrukning för att utgå ifrån för att estimerade saknade värden från mätare. Detta kan vara en grov estimering, dock finns det möjlighet för senare korrektion.

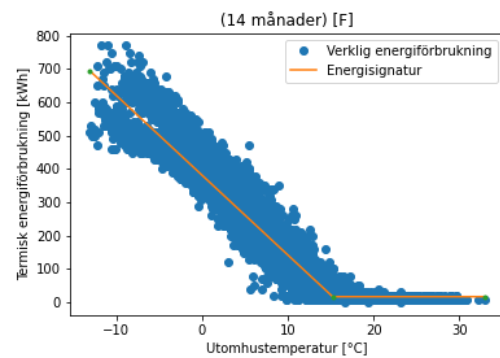
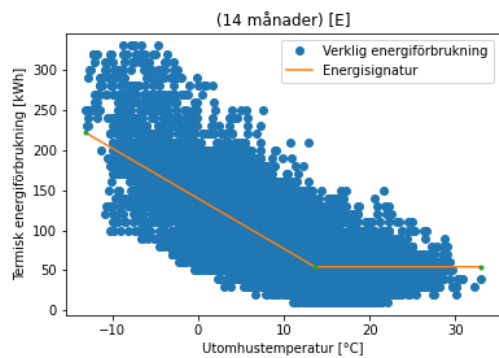
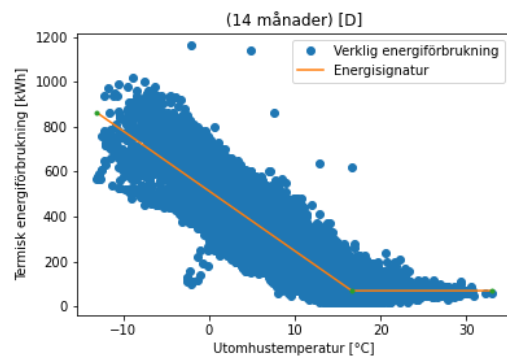
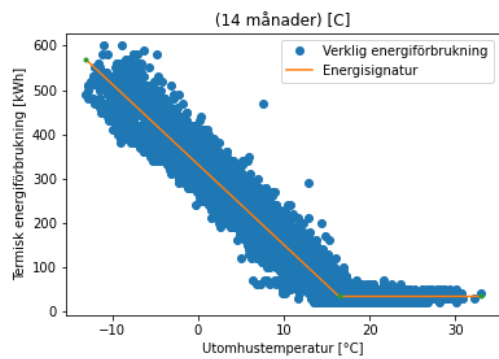
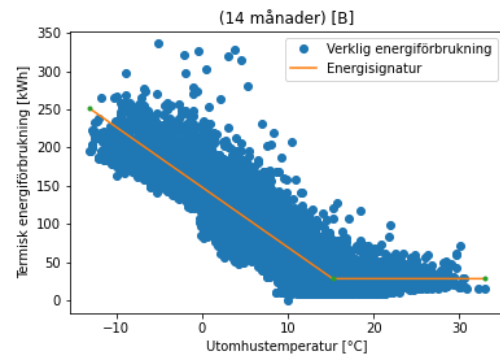
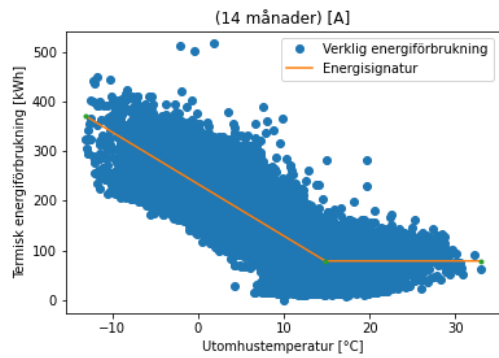
Litteratur

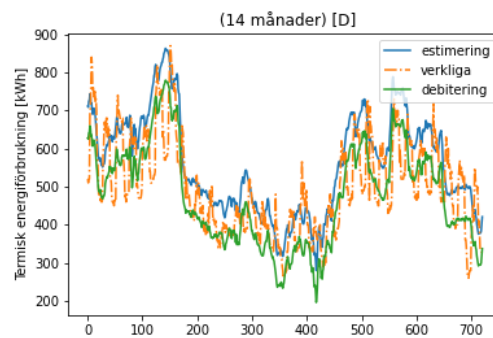
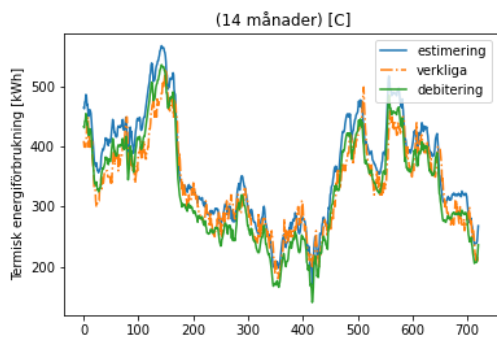
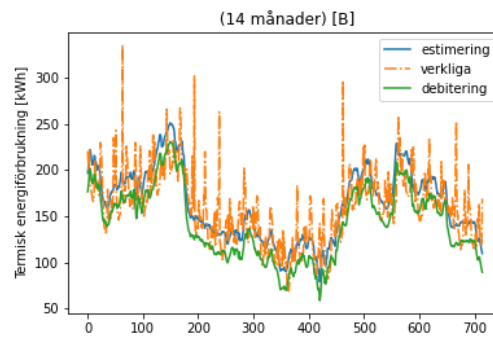
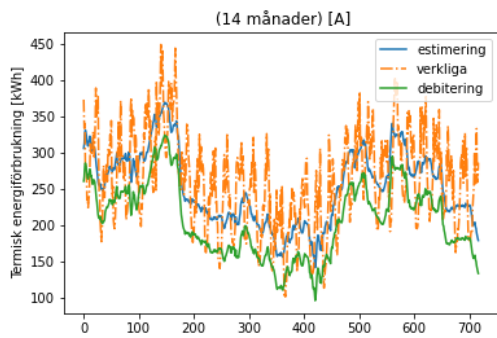
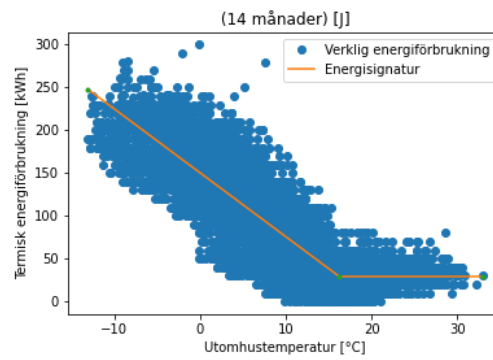
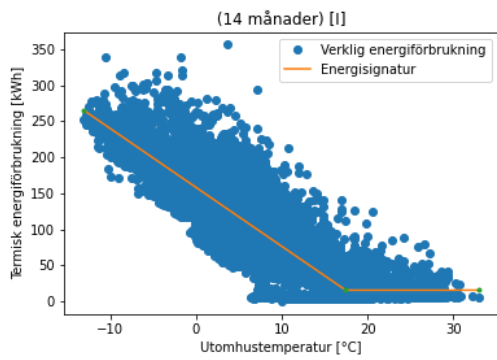
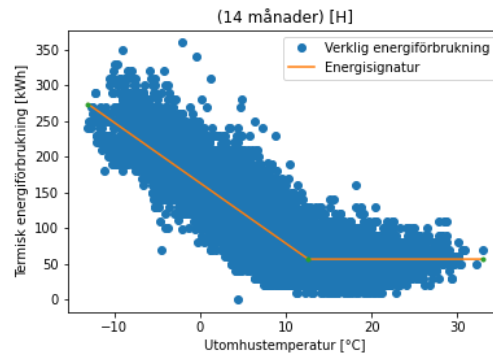
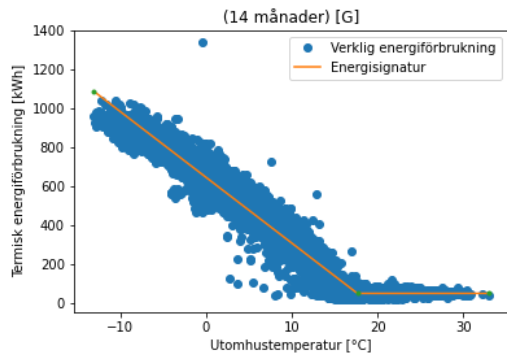
- [1] Energiföretagen Sverige (2021). *Tekniska bestämmelser F:104 vers 2.1 från Energiföretagen*. URL: <https://www.energiforetagen.se/forlag/fjarrvarme/f104-energimatare-for-termisk-energi/>. (05.04.2022).
- [2] Naturvårdsvärket. *Växthuseffekten förstärks*. URL: [https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/darfor-blir-det-varmare/vaxthuseffekten-forstarks/#:~:text=V%C3%A4rmeenergin%20i%20retur%20fr%C3%A5n%20atmosf%C3%A4ren&text=Det%20%C3%A4r%20denna%20extra%20uppv%C3%A4rming,bidrar%20till%20v%C3%A4xthuseffekten%20kallas%20v%C3%A4xthusgaser](https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/darfor-blir-det-varmare/vaxthuseffekten-forstarks/#:~:text=V%C3%A4rmeenergin%20i%20retur%20fr%C3%A5n%20atmosf%C3%A4ren&text=Det%20%C3%A4r%20denna%20extra%20uppv%C3%A4rming,bidrar%20till%20v%C3%A4xthuseffekten%20kallas%20v%C3%A4xthusgaser.). (10.02.2022).
- [3] Världsnaturfonden (WWF). *Klimatförändringarna går allt snabbare*. URL: https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar/?gclid=Cj0KCQjwqPGUBhDwARIsANNwjV5vRSDwPZl11sK9GGMg3C-OmVcaAg23EALw_wcB. (08.02.2022).
- [4] Sveriges Riksdag. *Fakta-pm om EU-förslag 2020/21:FPM134 : COM (2021) 558*. URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/fakta-pm-om-eu-forslag/direktivet-om-energieffektivitet-eeed_H806FPM134. (24.03.2022).
- [5] lagen.nu. *Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om mätning, rapportering och debitering av levererad värmeenergi (fjärrvärme); EIFS 2014:2*. URL: <https://lagen.nu/eifs/2014:2>. (12.03.2022).
- [6] European Commission. *Energy efficiency directive*. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en#:~:text=\)2018%2F844.-,The%202012%20energy%20efficiency%20directive,1086%20Mtoe%20of%20final%20energy..](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en#:~:text=)2018%2F844.-,The%202012%20energy%20efficiency%20directive,1086%20Mtoe%20of%20final%20energy..) (07.03.2022).
- [7] European Commission. *SIS/TK 601 (Termisk energi - validering av mätvärden)*. URL: <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk600699/sistk601/>. (17.03.2022).
- [8] Folkhälsomyndigheten (2022). *Kalla förhållanden inomhus*. URL: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/>. (28.02.2022).
- [9] Andersson S. (2015). *Sveriges klimat, igår och idag*. Stockholm: SMHI. URL: https://www.klimatanpassning.se/polopoly_fs/1.119920!/Sandra%20Andersson_Sveriges%20klimat%20ig%C3%A5r%20och%20idag. (02.03.2022).
- [10] Andersson J. (2015) Andersson Jan R. *Kärnkraftens spillvärme i fjärrvärmeproduktion (Rapport 2010/ 11: N257)*. Stockholm: Sveriges Riksdag. URL: https://riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/motion/karnkraftens-spillvarme-i-fjarrvarmeproduktion_GY02N257-. (03.03.2022).
- [11] Cengel Y. Boles M. *THERMODYNAMICS An Engineering Approach*. 8th edition s.(79, 589). McGraw-Hill Education, 2015. ISBN: 978-0-07-339817-4.

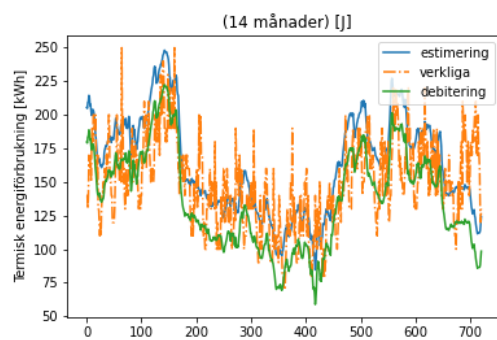
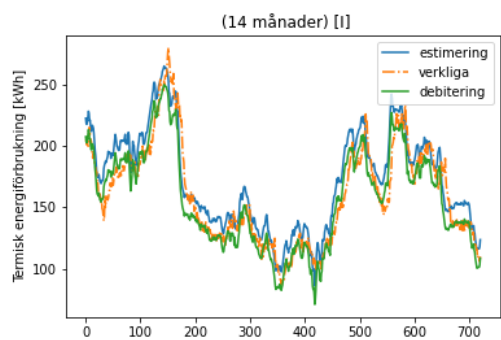
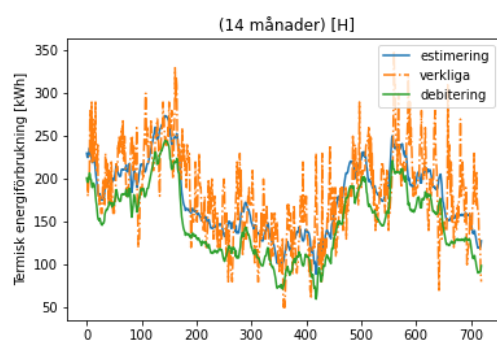
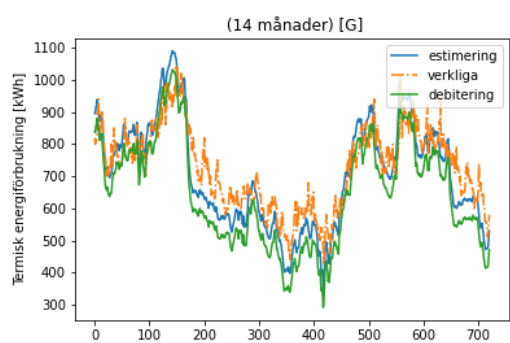
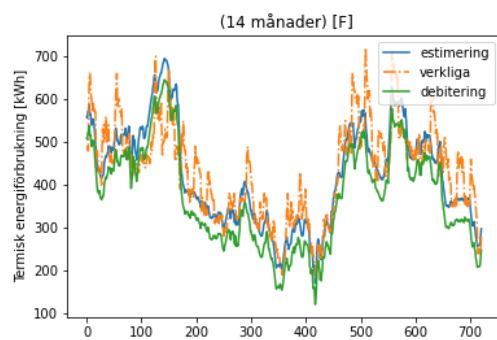
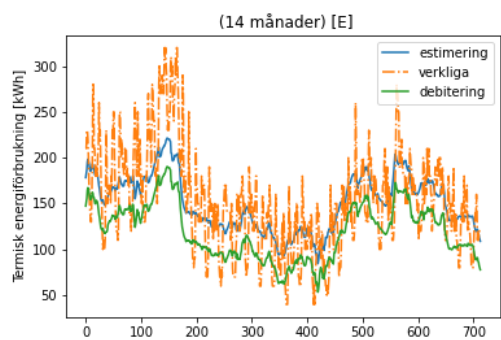
- [12] Rydegran E.(2021). *Kraftvärme*. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/kraftvarme/>. (31.03.2022).
- [13] Thedéen K. (2007). *Gaspotentialen i en deponi, idag och i en framtid*. URL: https://stud.epsilon.slu.se/11776/1/thedeen_k_171017.pdf. (10.04.2022).
- [14] Naturskyddsföreningen (2022). *Vad är koldioxidekvivalenter?* URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vaxthuseffekten/>. (10.03.2022).
- [15] Naturskyddsföreningen (2022). *Avfallstrappan*. URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/>. (10.03.2022).
- [16] Rydergran E.(2022). *Fjärrvärmeproduktion*. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmeproduktion/>. (31.03.2022).
- [17] Sköldberg H. (Rapport 2007:4) Werner S. *Fjärrvärmens omvärld, beskrivning av kunskaps- och forskningsläge*. URL: <https://docplayer.se/13528561-Fjarrvarmens-omvarld-beskrivning-av-kunskapsoch-forskningslage-rapport-i-2007-4.html>. (11.03.2022).
- [18] Wiktorsson S. (2018). *Termisk besiktning av kundanläggningar i fjärrvärmesystem. LUP Student Papers : Lund University Libraries*. URL: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8952494>. (19.03.2022).
- [19] Nilsson K. (2015). *Avkylningens ekonomiska inverkan på lönsamheten vid byte av fjärrvärmekundcentral*. URL: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8952494>. (23.03.2022).
- [20] Tengqvist H. (2013) Nilsson C. *Kategorisering av fjärrvärmekunder utifrån användarmönster. Lund: Lund University Publications*. URL: <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/3994147>. (24.03.2022).
- [21] Cengel Y. Boles M. *THERMODYNAMICS An Engineering Approach. 8th edition s.(876)*. McGraw-Hill Education, 2015. ISBN: 978-0-07-339817-4.
- [22] Tengqvist H. (2013) Nilsson C. *Kategorisering av fjärrvärmekunder utifrån användarmönster. Lund: Lund University Publications*. URL: <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/3994147>. (24.03.2022).
- [23] Wiktorsson S. (2018). *Termisk besiktning av kundanläggningar i fjärrvärmesystem*. URL: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8952494>. (28.03.2022).
- [24] Holmgren (2007). *XSteam, Thermodynamic properties of water and steam*. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9817-x-steam-thermodynamic-properties-of-water-and-steam>. (29.03.2022).
- [25] Holmgren (2007). *Heat meters - Part 1: General requirements*. URL: <https://www.sis.se/en/produkter/metrology-and-measurement-physical-phenomena/thermodynamics-and-temperature-measurements/heat-calorimetry/ssen14341/>. (02.04.2022).
- [26] Holmgren (2007). *Värmeenergimätare*. URL: <https://www.swedac.se/amnesomraden/varmeenergimatare/>. (12.04.2022).
- [27] Jibert J. (2010). *Mechanical flow meters*. URL: [Frnyelseprojektavfildesmtaretillbensinpumpar LundUniversityPublications:Lund](https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8952494). (02.04.2022).

- [28] Johnsson S.(2018). *Energisystemanalys vid Tekniska verkens kraftvärmeverk*. URL: <http://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1259949&dswid=704>. (09.04.2022).
- [29] Magnusson D.(2016). *Flödesmätning i smörjoljesystem med bärbar ultraljudsmätare Underlag till en arbetsinstruktion*. URL: http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?faces-redirect=true&aq2=%5B%5B%5D%5D&af=%5B%5D&searchType=LIST_LATEST&sortOrder2=title_sort_asc&query=&language=sv&pid=diva2%3A955965&aq=%5B%5B%5D%5D&sf=all&aqe=%5B%5D&sortOrder=author_sort_asc&onlyFullText=false&noOfRows=50&dswid=-3269. (07.04.2022).
- [30] Wallander W. (2019). *Tekniska bestämmelser F:104 vers 2.1 från Energiföretagen*. URL: [Observingphasechangesinrealtimewithultrathinironoxidesurfaces.LUPStudentPaper.LundUniversityLibraries](http://observingphasechangesinrealtimewithultrathinironoxidesurfaces.lupstudentpaper.lunduniversitylibraries). (11.04.2022).
- [31] ATP. *ATP. What is a Resistance Temperature Detector (RTD)?* URL: <https://atp-instrumentation.co.uk/blogs/articles/what-is-a-resistance-temperature-detector-rtd>. (18.04.2022).
- [32] Rizzoni G. och Kearns J. *Principles and Applications of Electrical Engineering. 14 uppl. s. (782- 786, 64 - 65)*. McGraw-Hill Education, 2016. ISBN: 978-981-4577-41-0.
- [33] Rizzoni G. och Kearns J. *Principles and Applications of Electrical Engineering. 14 uppl. s. (49- 50)*. McGraw-Hill Education, 2016. ISBN: 978-981-4577-41-0.
- [34] Swedac. *STAFS 2007:2 - Swedacs föreskrifter och allmänna råd om återkommande kontroll av vatten- och varmemätare*. URL: <https://www.swedac.se/dokument/swedacs-foreskrifter-och-allmanna-rad-om-aterkommande-kontroll-av-vatten-och-varmematare/>. (18.04.2022).
- [35] Wahlqvist M. *Modellering av energisignatur för flerbostadshus*. URL: <http://eprints.sparaochbevara.se/954/1/FULLTEXT01.pdf>. (18.05.2022).
- [36] Su X. Yan X. *Linear regression Analysis- Theory and Computing. s. (9- 19)*. World Scientific Publishing Co. Pte Ltd, 2009. ISBN: 978-981-283-410-2.
- [37] Hoffmann J. *Linear Regression Models- Applications in R. s. (50- 54)*. Taylor Francis Group, an informa business, 2009. ISBN: 9780367753689.
- [38] Kirkup L. *Data Analysis with Excel- An Introduction for Physical Scientists. s. (180- 188)*. THE PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, 2009. ISBN: 0 521 79337 8.
- [39] Englund G. Grandell J. Holst L. Blom G. Enger J. *Sannolikhetsteori och Statistikteori med tillämpningar. s. (228, 143 och 146)*. 2005. ISBN: 978-91-44-02442-4.
- [40] Swedish Meteorological och Hydrological Institute (SMHI). *Ladda ner meteorologiska observationer*. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airtemperatureInstant,stations=all,stationid=98230>. (18.02.2022).
- [41] Wahlqvist M. *Modellering av energisignatur för flerbostadshus*. URL: <http://eprints.sparaochbevara.se/954/1/FULLTEXT01.pdf>. (18.05.2022).

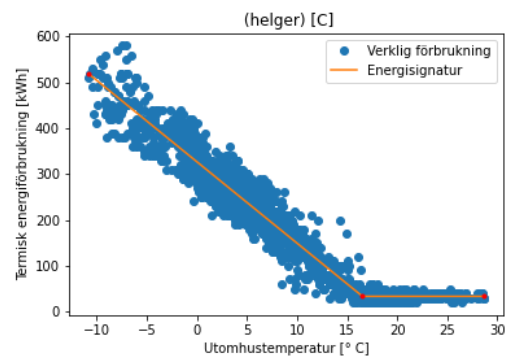
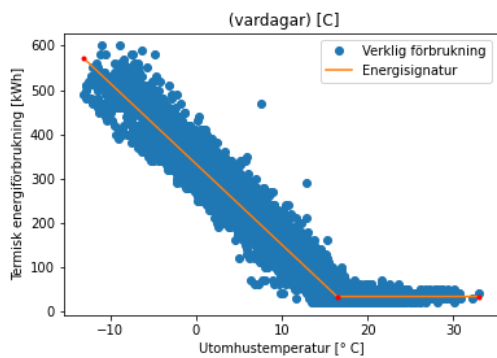
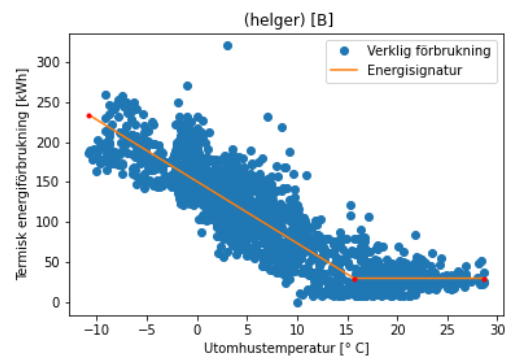
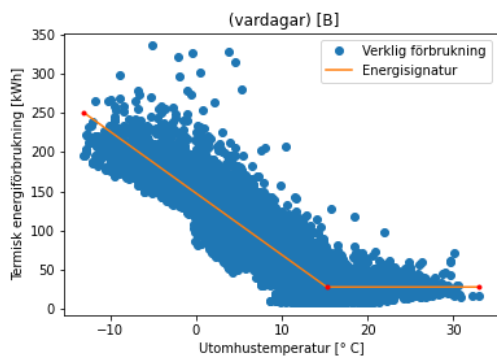
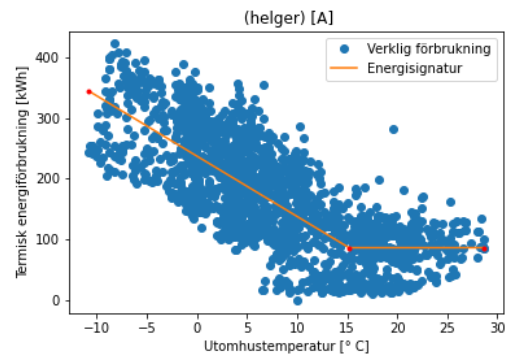
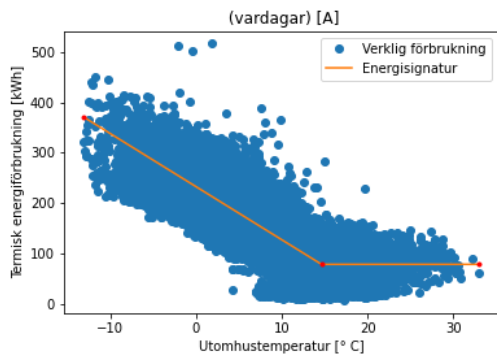
A Modellering och estimering för 14 månader

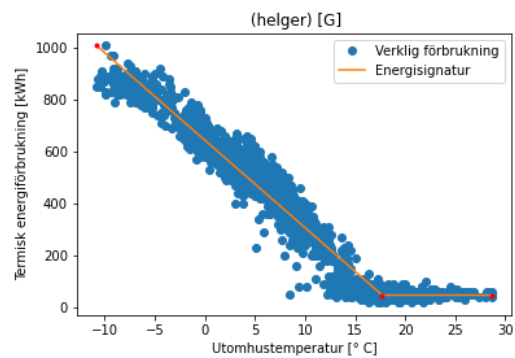
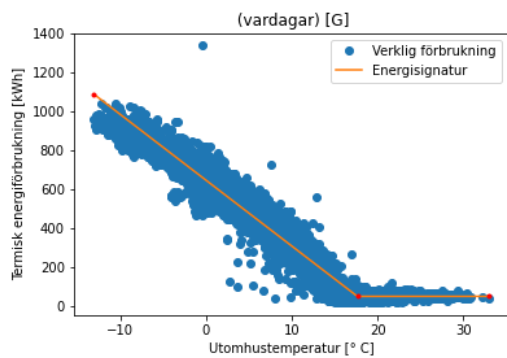
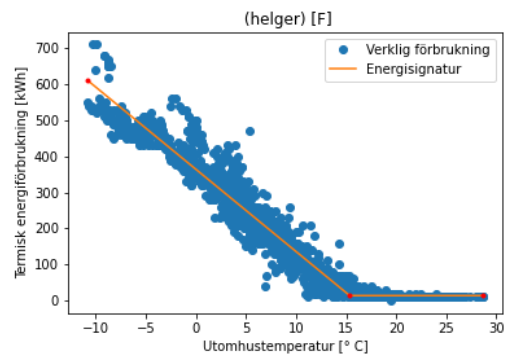
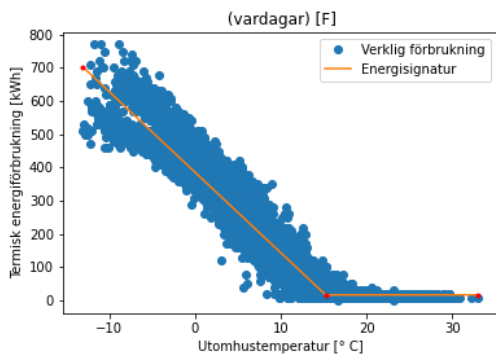
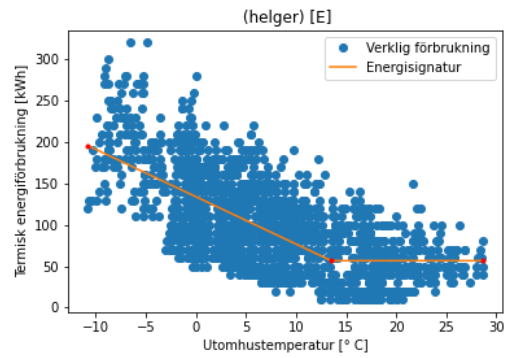
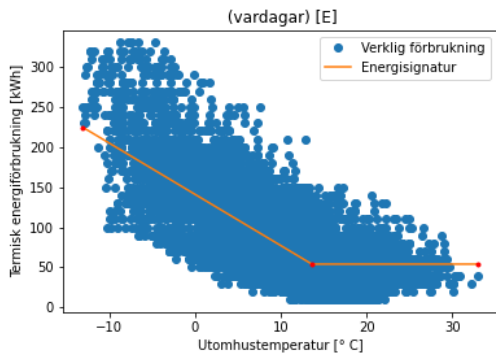
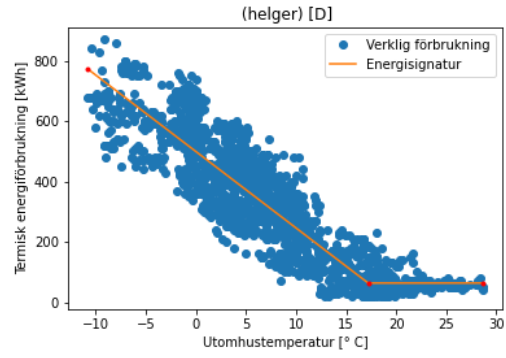
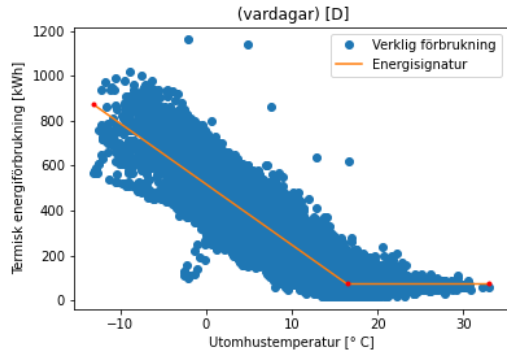


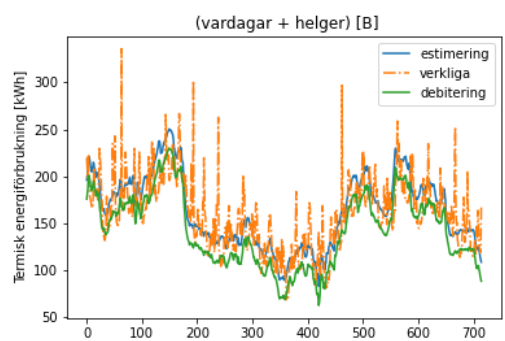
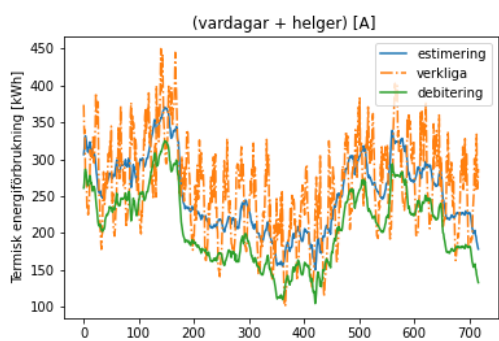
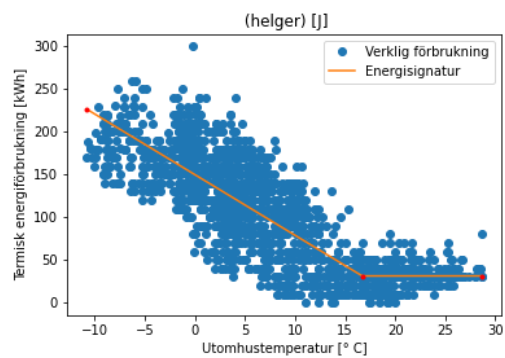
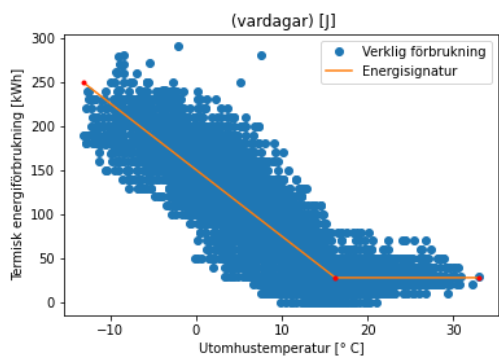
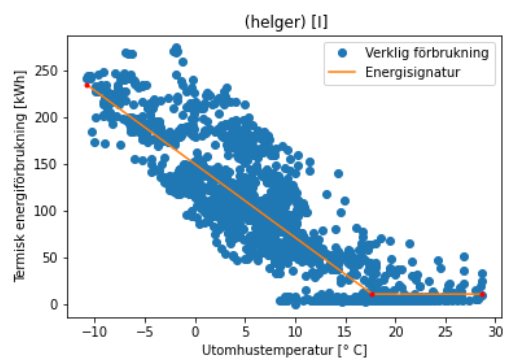
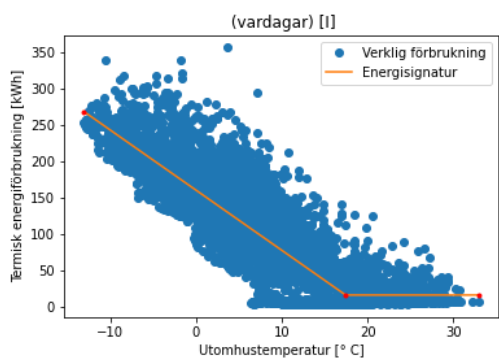
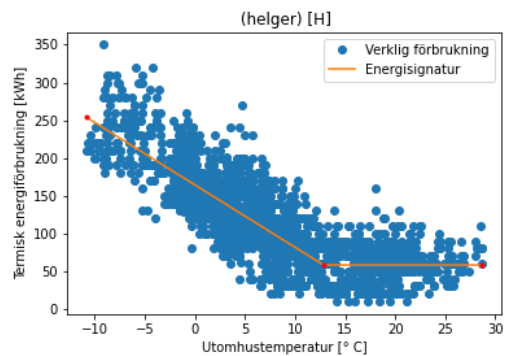
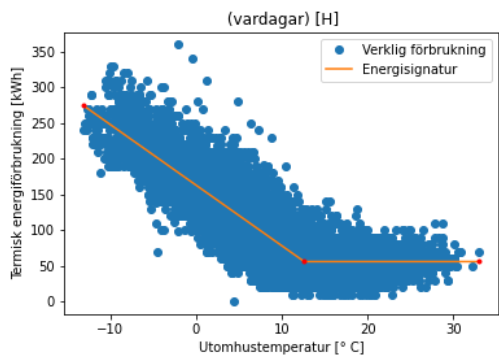


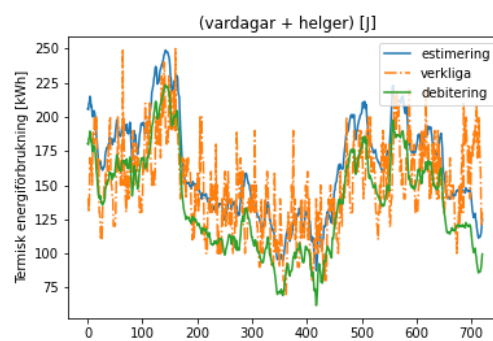
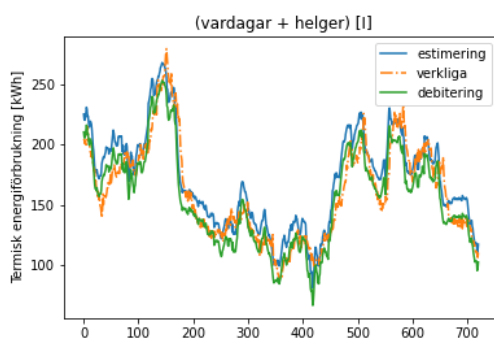
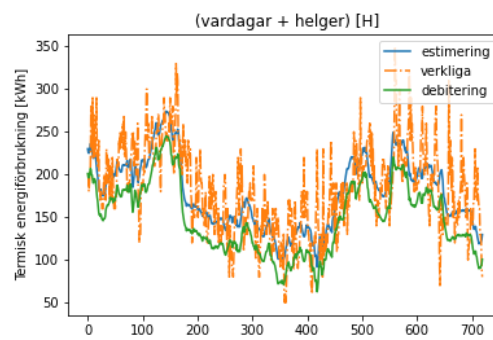
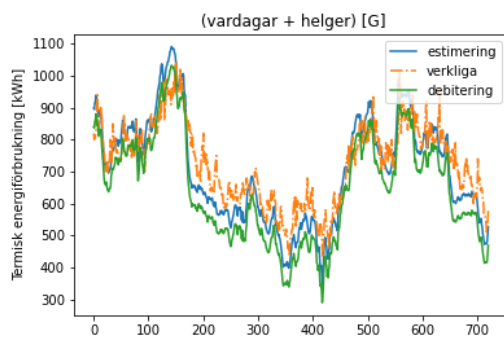
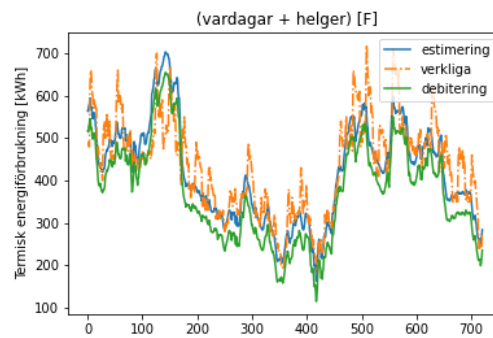
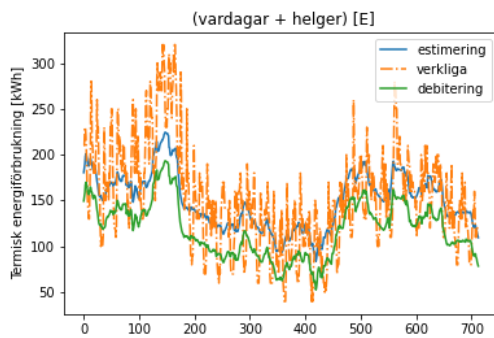
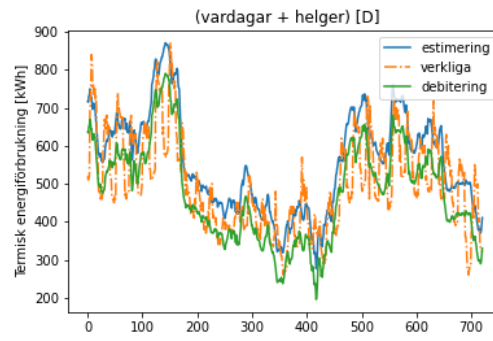
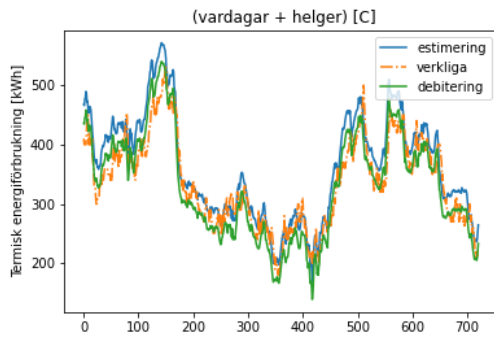


B Efter sortering till vardagar och helgdagar

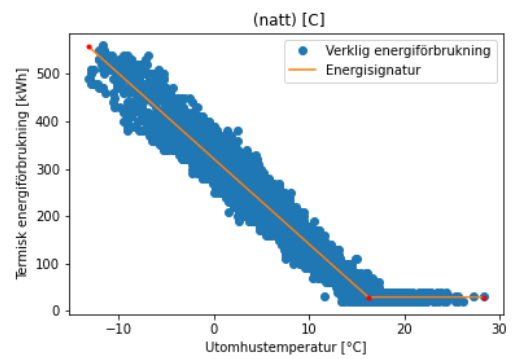
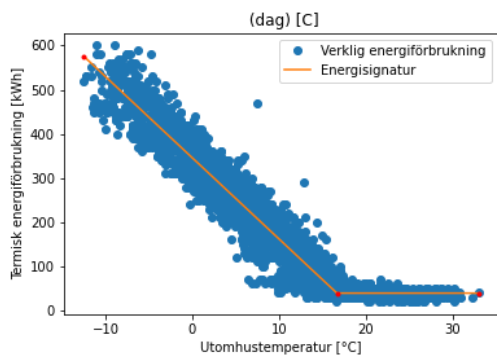
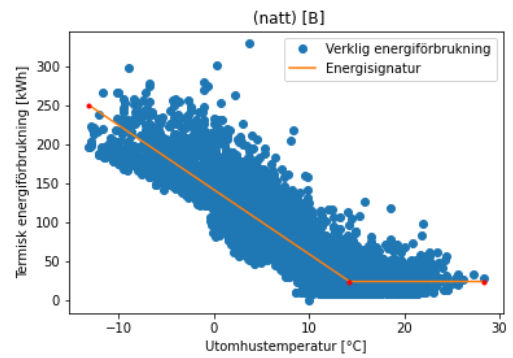
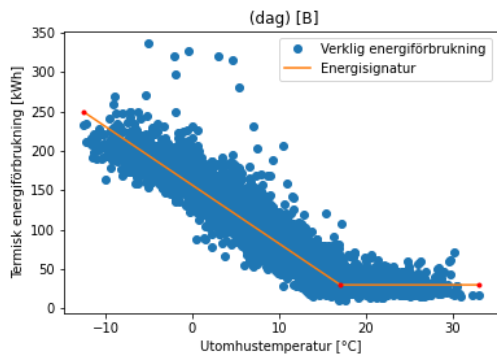
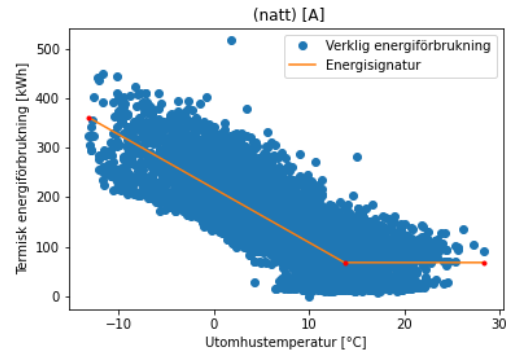
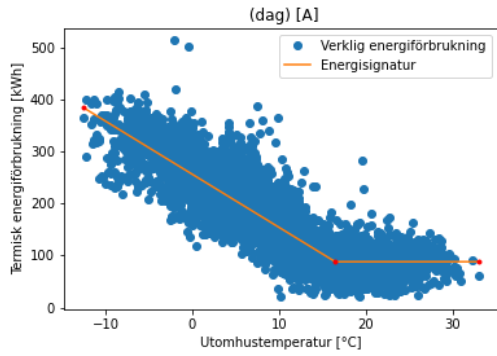


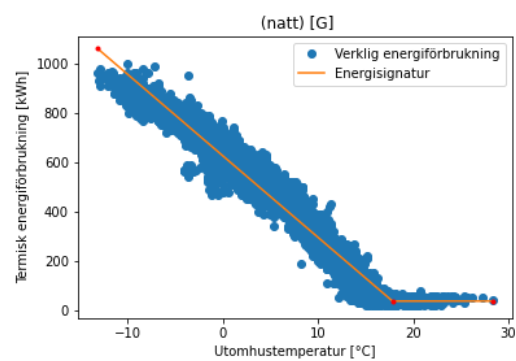
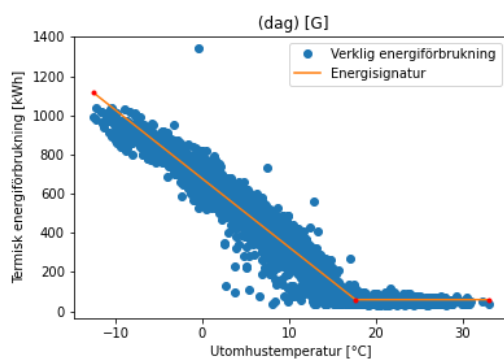
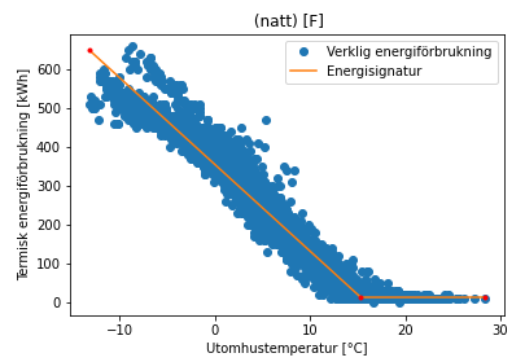
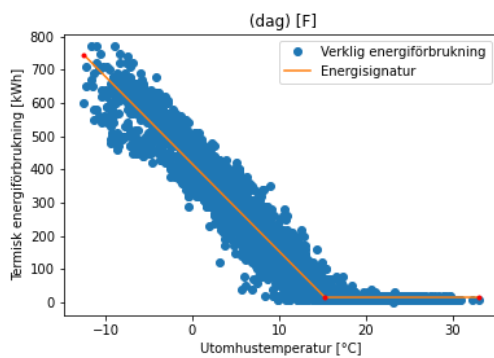
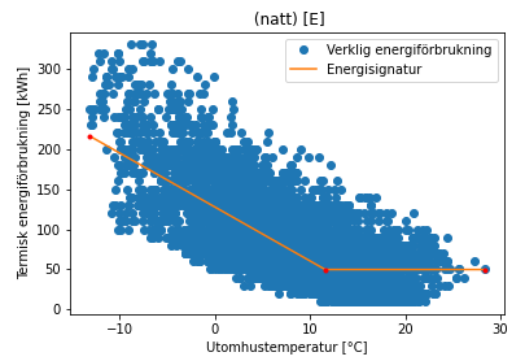
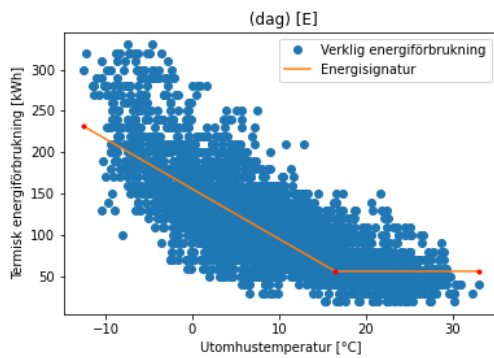
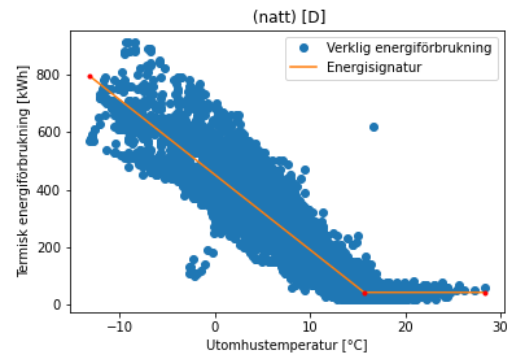
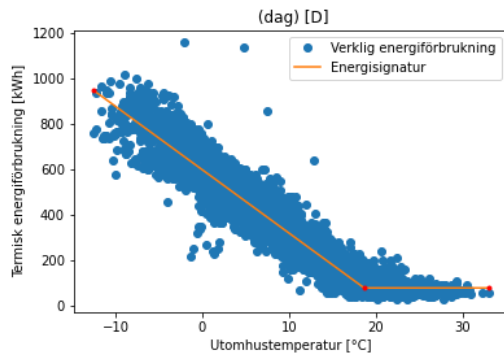


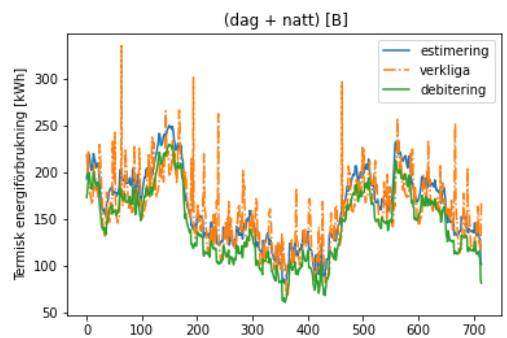
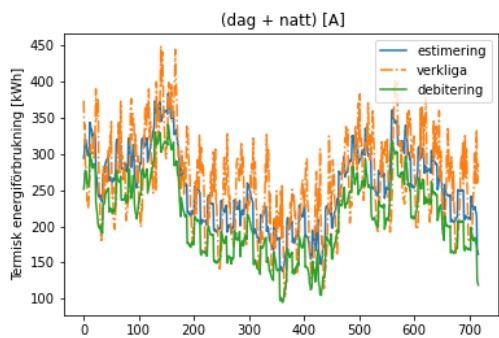
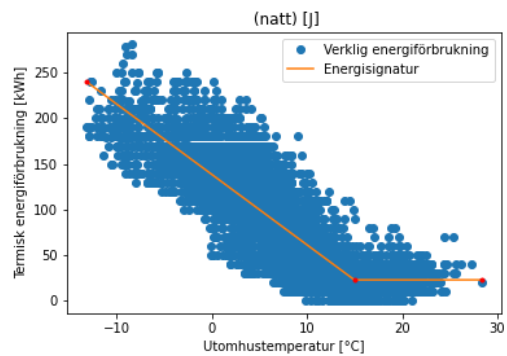
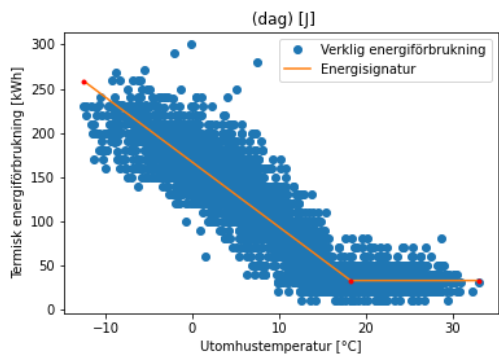
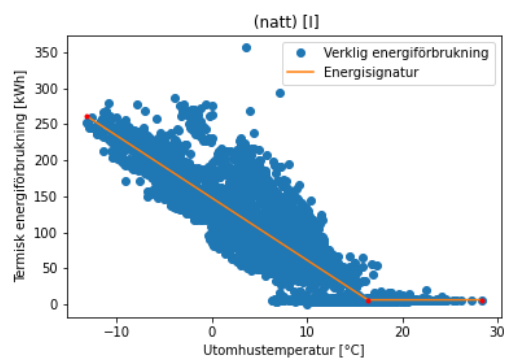
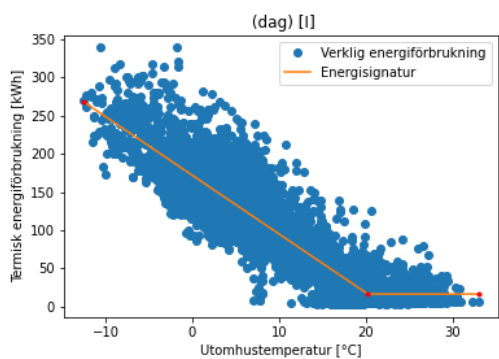
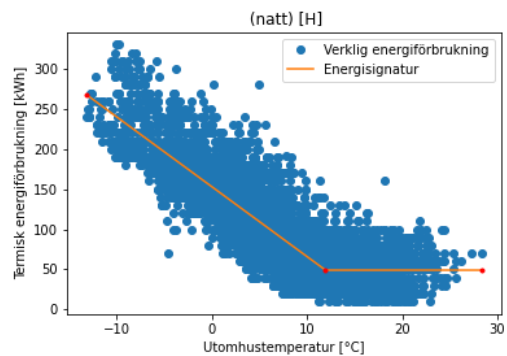
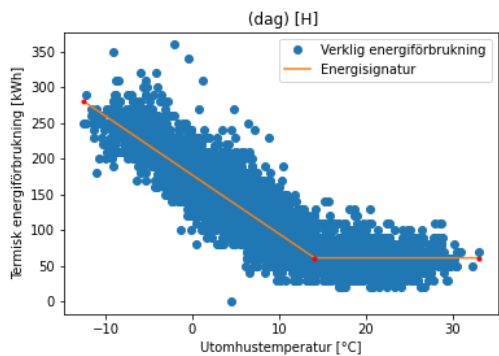


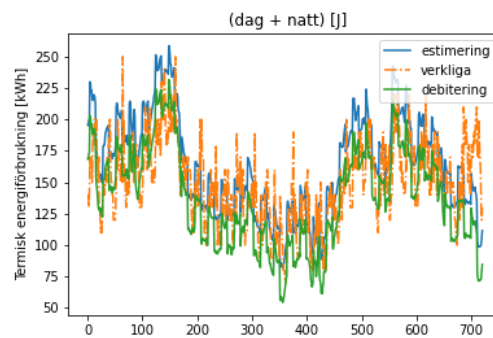
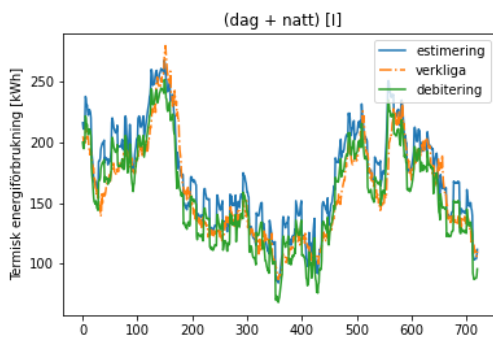
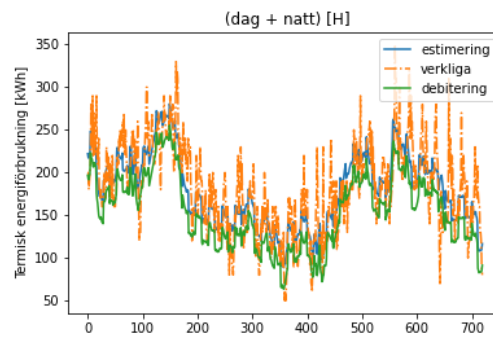
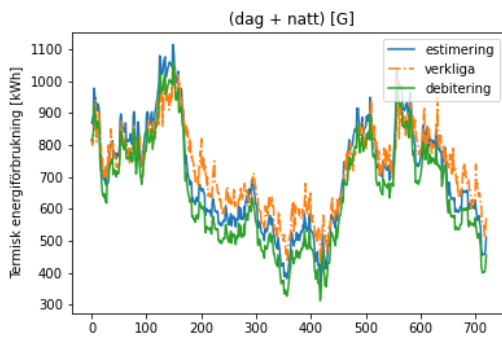
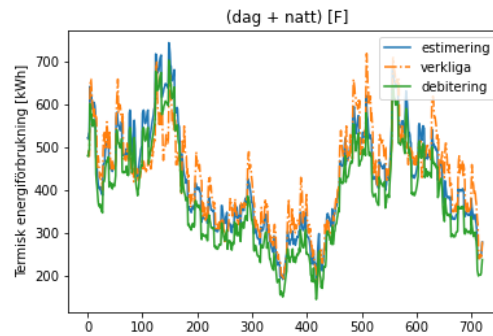
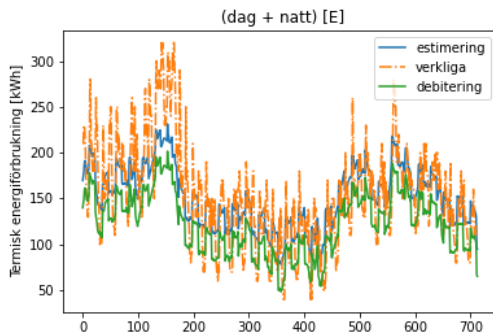
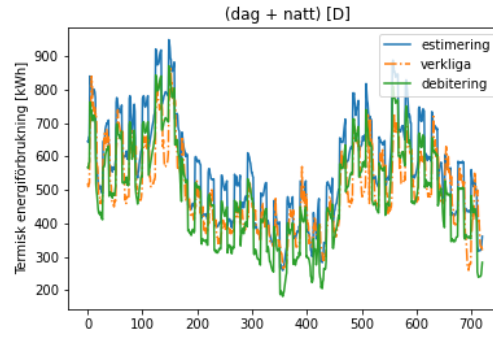
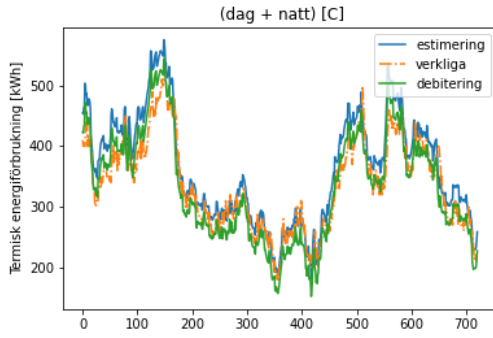


C Efter sortering till dag och natt

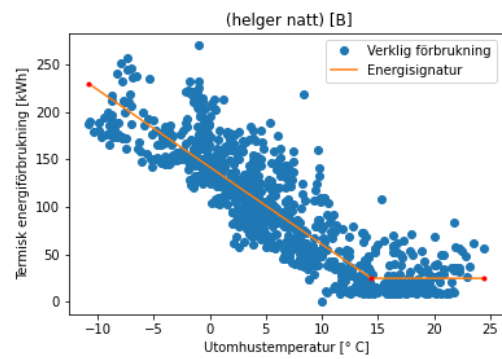
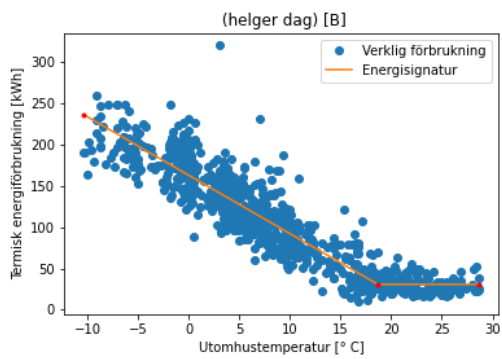
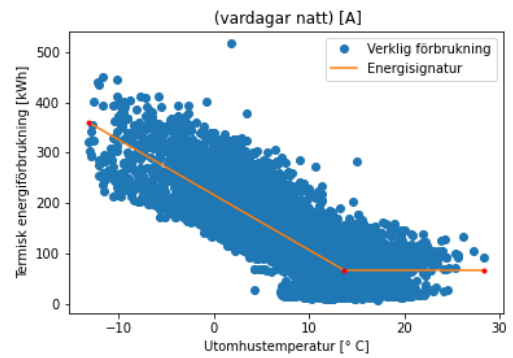
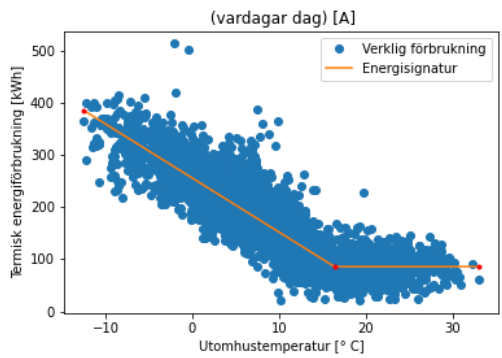
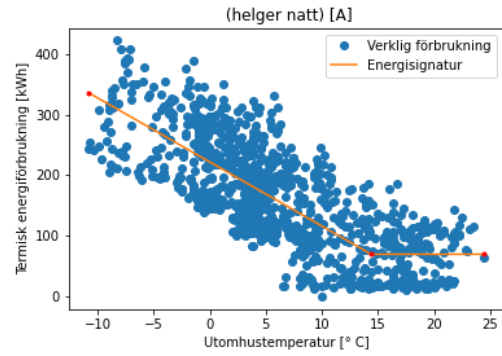
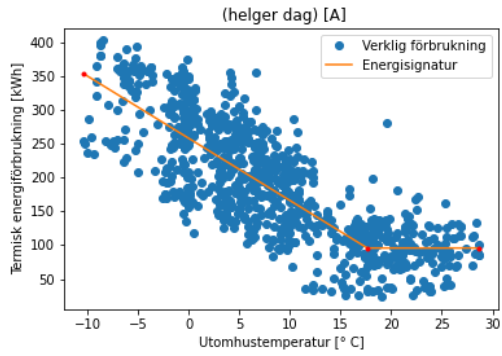


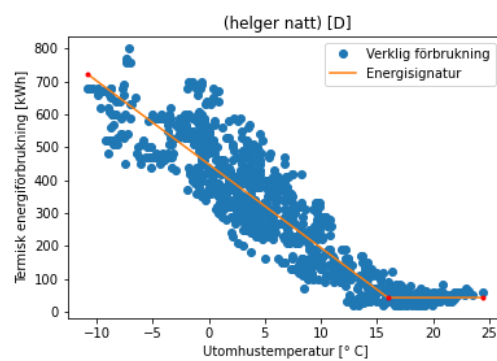
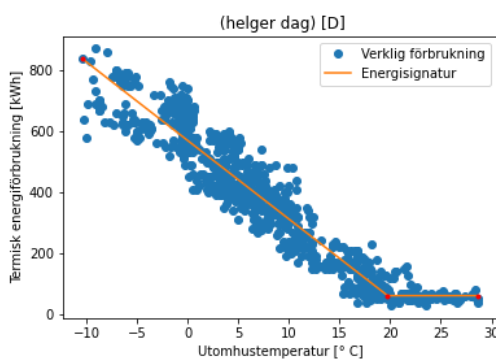
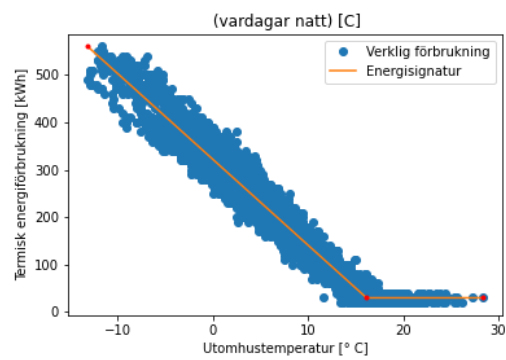
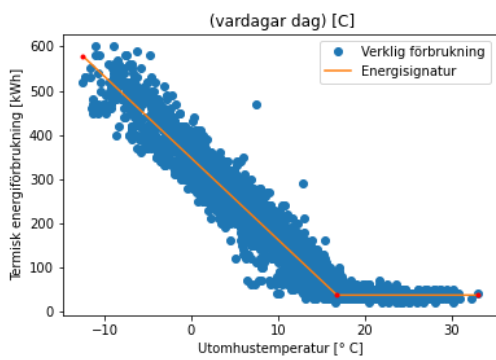
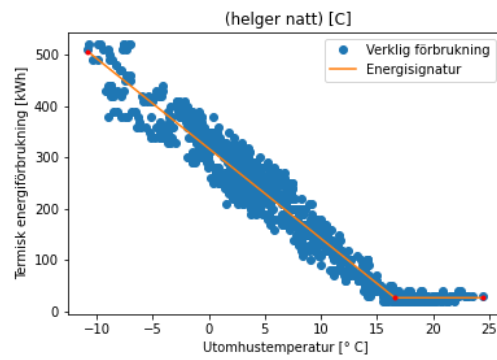
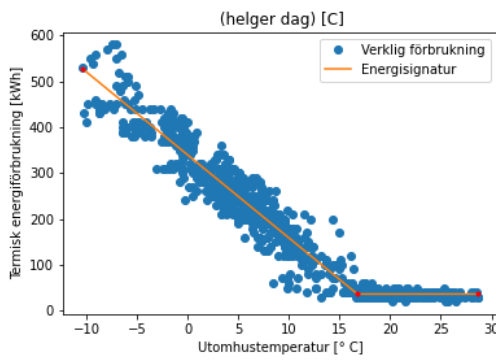
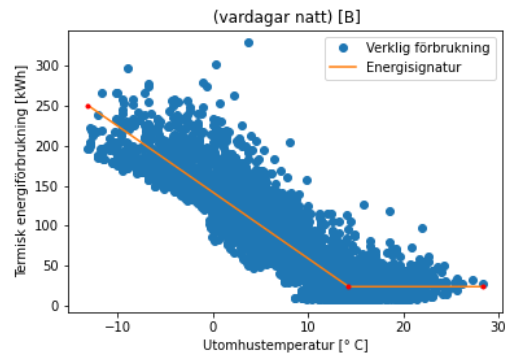
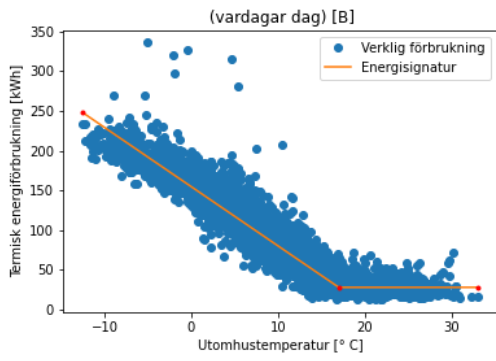


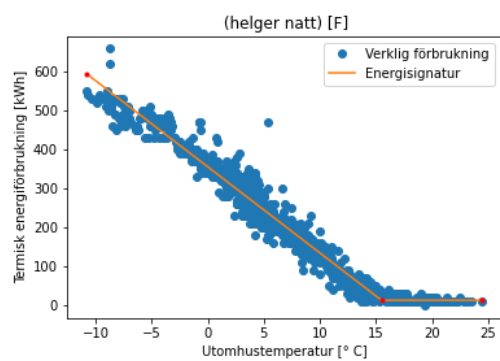
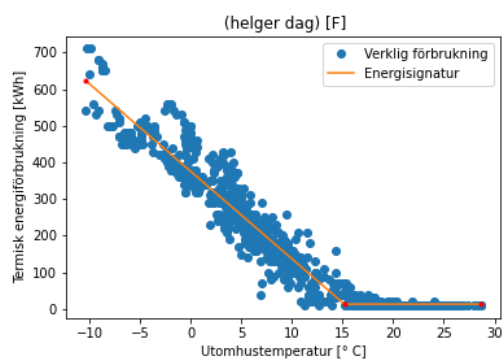
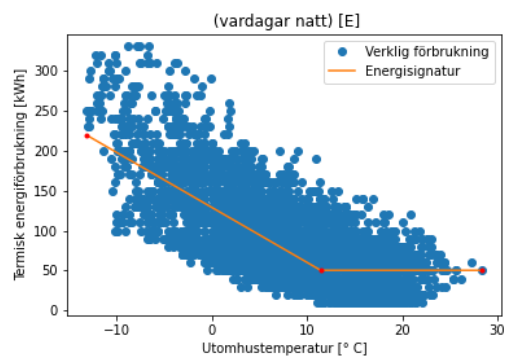
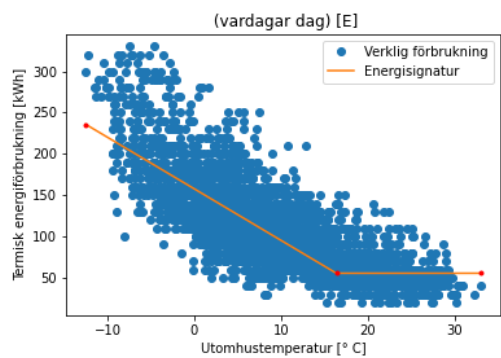
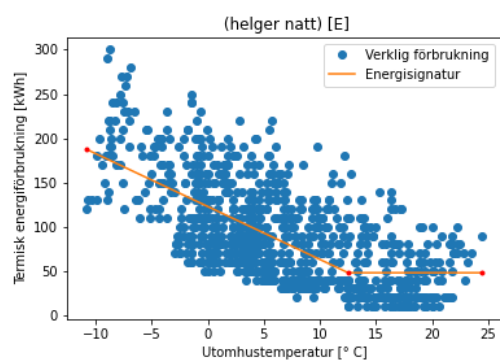
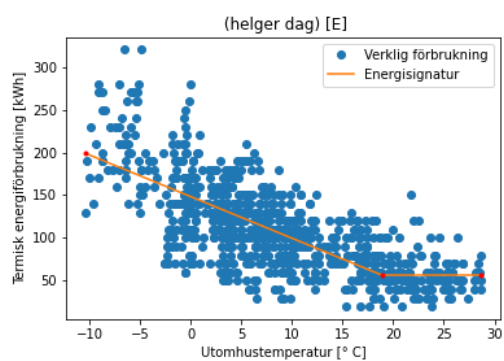
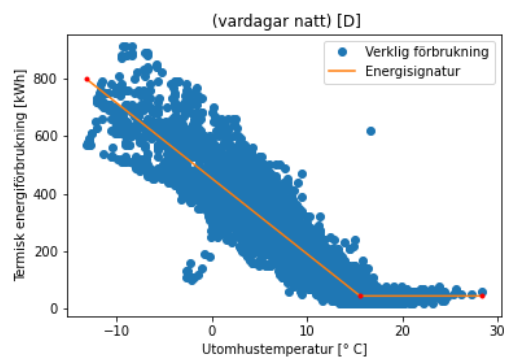
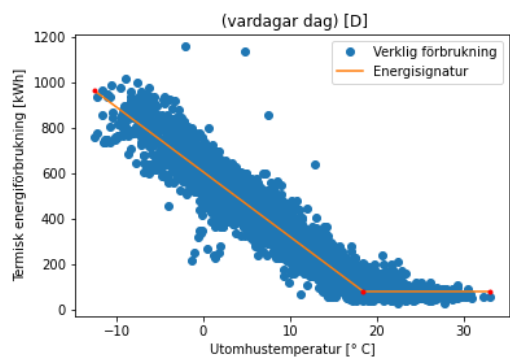


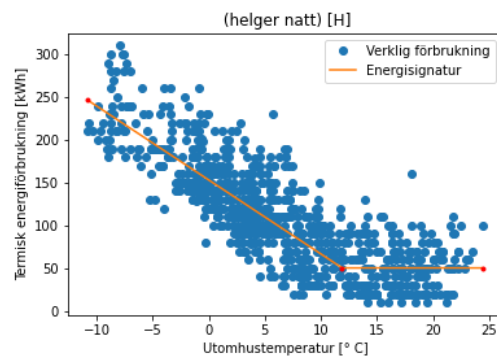
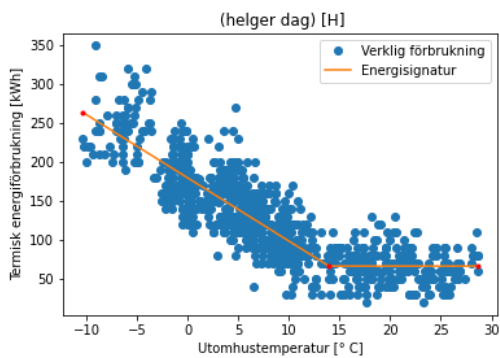
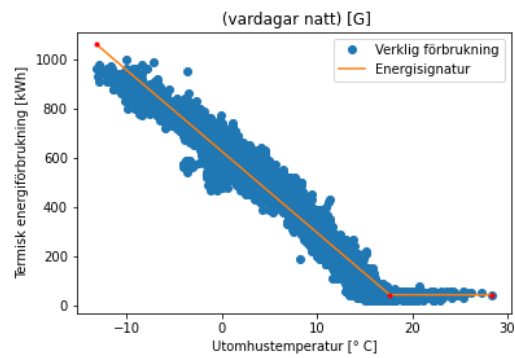
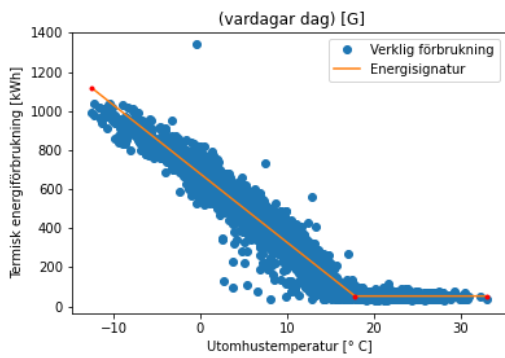
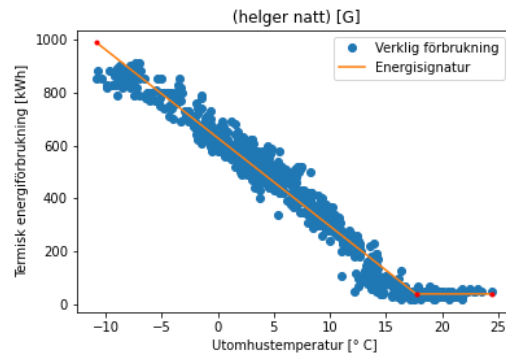
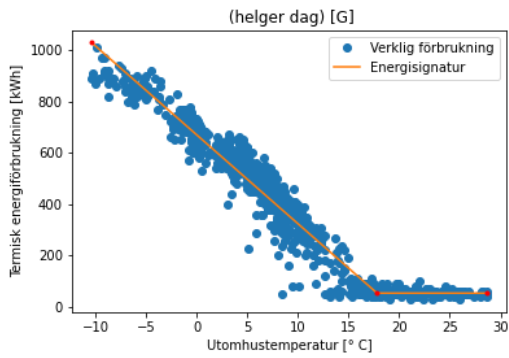
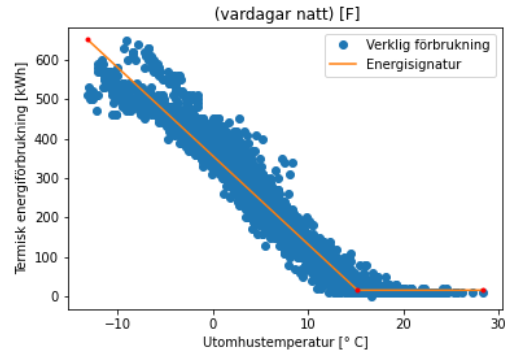
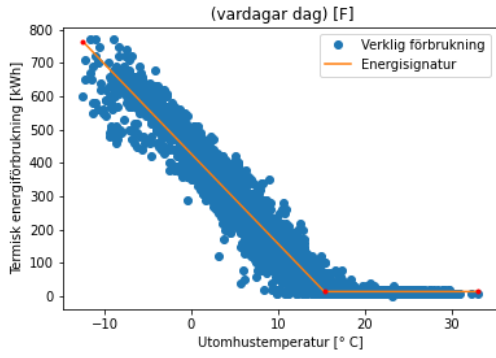


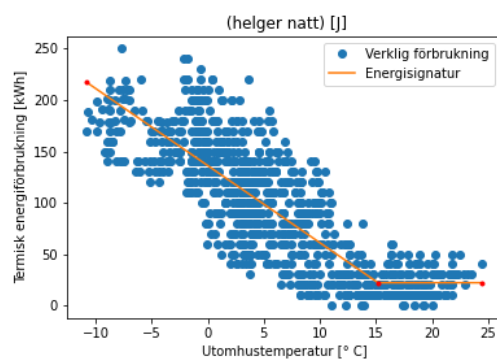
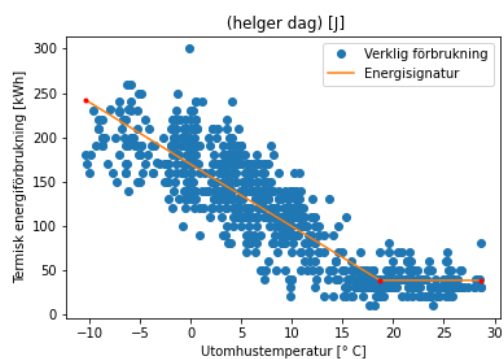
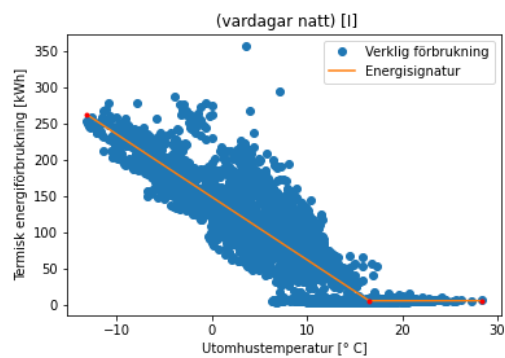
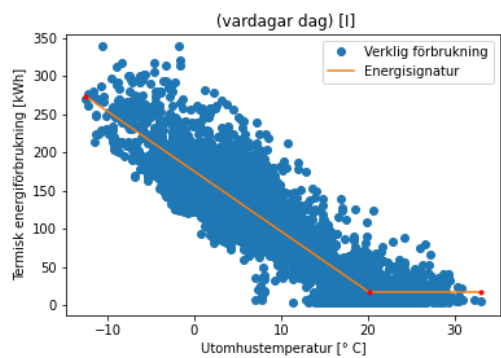
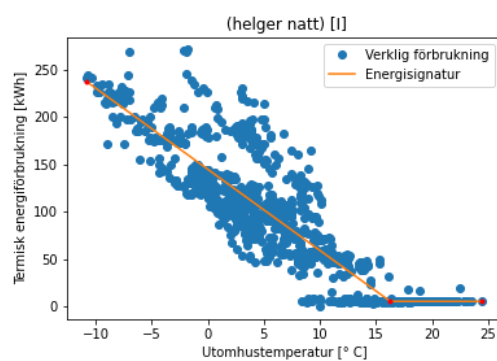
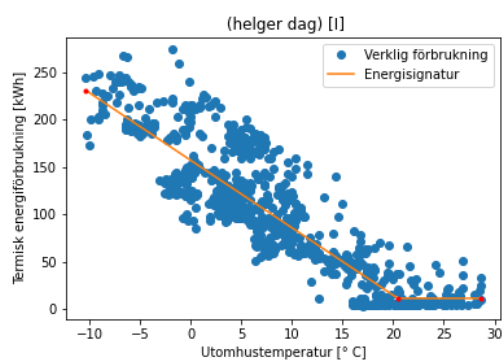
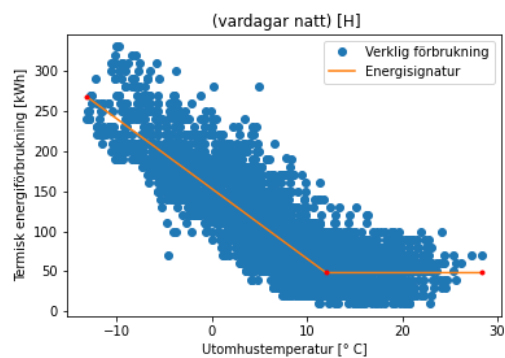
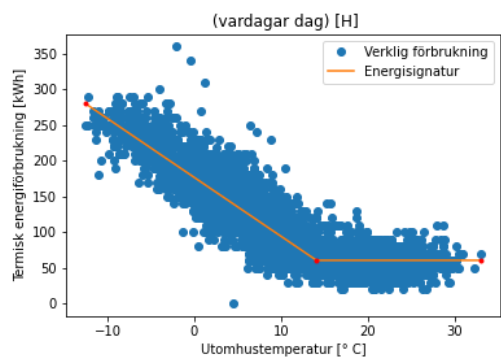
D Efter både sorteringar

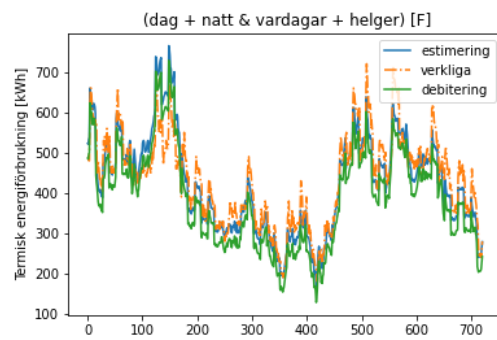
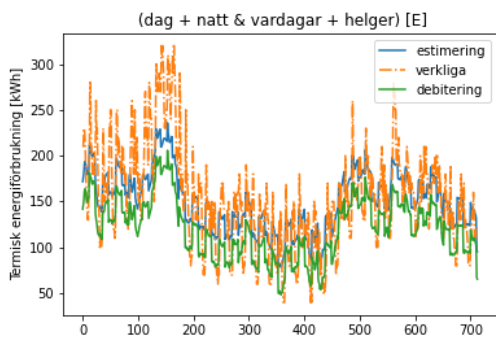
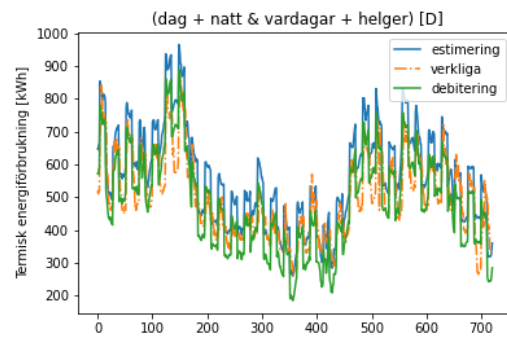
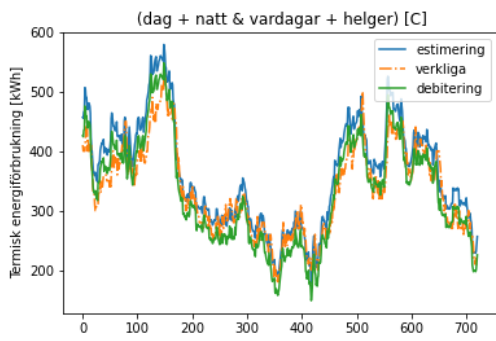
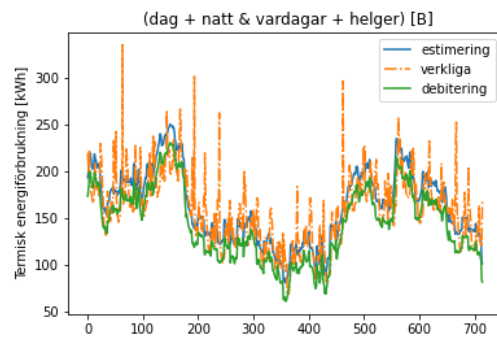
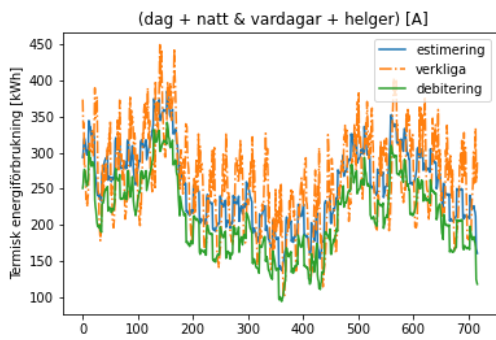
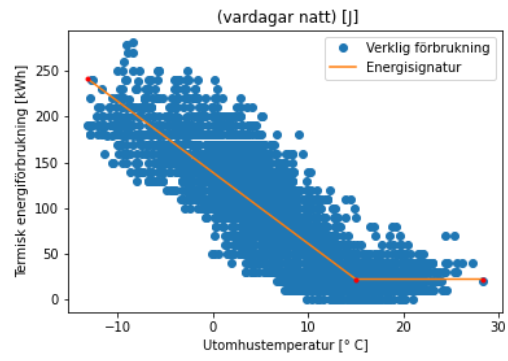
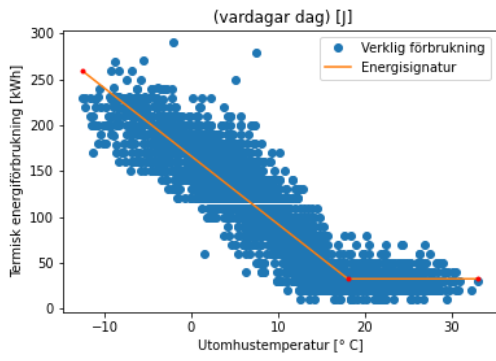


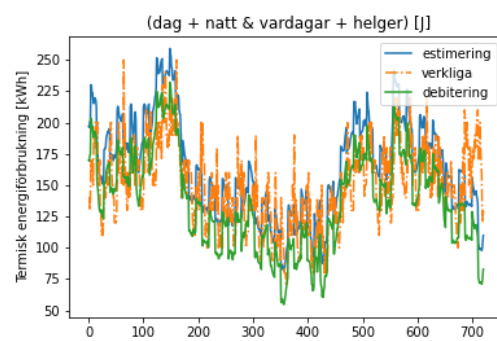
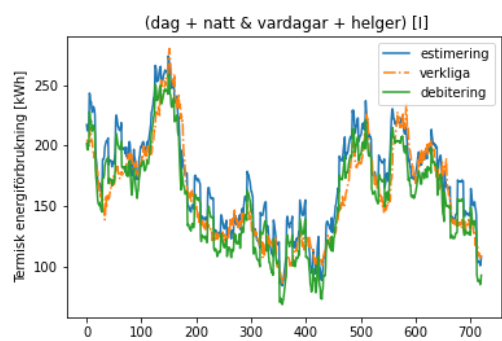
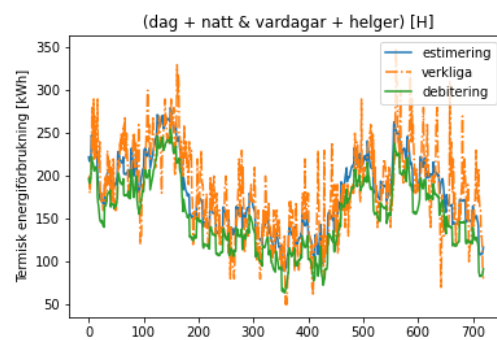
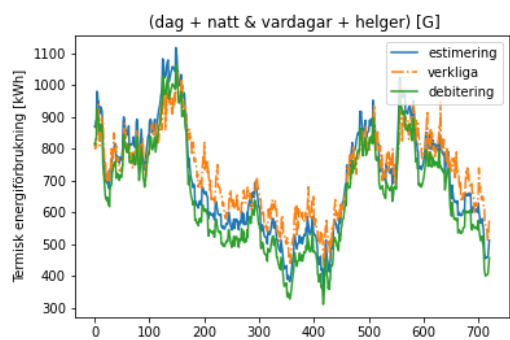












E Exempel på data som används för beräkning

IDNR	Datum	Tim	Value	Status
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	0	23969,39	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	1	23969,58	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	2	23969,74	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	3	23969,9	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	4	23970,05	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	5	23970,2	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	6	23970,35	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	7	23970,59	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	8	23970,87	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	9	23971,12	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	10	23971,39	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	11	23971,75	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	12	23972,16	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	13	23972,56	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	14	23972,98	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	15	23973,36	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	16	23973,73	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	17	23974,1	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	18	23974,46	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	19	23974,8	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	20	23975,05	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	21	23975,28	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	22	23975,52	2
XXXXXXXXXXXXXXXXXX	2020-11-01	23	23975,71	2