



LUND UNIVERSITY

Reglering av värmesystem i flerbostadshus med individuell värmemätning

Dahlblom, Mats; Jensen, Lars

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Dahlblom, M., & Jensen, L. (2011). *Reglering av värmesystem i flerbostadshus med individuell värmemätning*. (TVIT; Vol. TVIT--11/3006). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Reglering av värmesystem i flerbostadshus med individuell värmemätning

Slutrapport för forskning med
stöd från CERBOF, ID 00055

Mats Dahlblom
Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/3006



CERBOF

Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Reglering av värmesystem i flerbostadshus med individuell värmemätning

Slutrapport för forskning med
stöd från CERBOF, ID 00055

Mats Dahlblom

Lars Jensen

© Mats dahlblom och Lars Jensen, 2011
ISRN LUTVDG/TVIT--11/3006--SE(95)
ISSN 1652-6783
ISBN 978-91-85415-05-2

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Summary

Indoor temperatures in multifamily houses are indirectly controlled by the outdoor temperature. The radiator supply temperature is a function of the outdoor temperature. This control principle can not take into account for disturbances from people, electric appliances, airing, sun, and air leakage due to wind. A control setting with a suitable margin can avoid complaints, but may result in overheating and airing.

The obvious control principle with direct control of indoor temperature has been tested with good result in 1978. The exhaust air temperature was used as a measure of the indoor temperature.

LKF, Lund community housing company, has installed individual metering of heating costs using the indoor temperature in each flat. The research project aim was to use these temperature measurements and to test the control principle and compare the energy saving versus normal control and no individual metering of heating costs. The normal control has been extended with a limited proportional correction of the supply temperature.

The extended control gives a more constant indoor temperature, which is appreciated by the maintenance personnel. A comparison between 2009/2010 and 2011 shows that the heating cost is larger than the control group due to higher indoor temperature caused by limited extended control, low gain and improper selection of desired indoor temperature at start up.

The study has been performed with financial support from CERBOF - the Centre for Energy and Resource Efficient Construction and Facilities management.

Förord

Denna rapport är resultatet av ett forskningsprojekt som har löpt under 2½ år och som har genomförts i samarbete mellan Installationsteknik LTH och LKF, där VS-tekniker Mats Olsson varit ansvarig för LKF's del i projektet. Även företagen CompWell som byggt mätsystemet anslutet till Com Hem's befintliga kabel-tv-nät, Schneider Electric vars utrustning svarar för den normala regleringen av varmvattentemperatur och uppvärmning samt Lunds Energi AB som förser fastigheterna med fjärrvärme har bidragit med arbete.

Projektets syfte har varit att spara energi genom en förbättrad värmereglering. Den förbättrade regleringen, i rapporten kallad "utökad reglering", åstadkoms genom att utnyttja det system för individuell debitering av värme som mäter varje lägenhets alla rumstemperaturer och utnyttjar dessa för att korrigera den framledningstemperatur som bestäms av utetemperaturen.

Normalt regleras värmesystem i flerbostadshus som en funktion enbart av utetemperaturen. Detta regelsätt kan inte kompensera för störningar från personer, elektriska apparater, sol, vädring och vindpåverkan. Denna brist kompenseras ofta med att hålla en högre framledningstemperatur för att undvika klagomål på för låga innetemperaturer. Detta ökar risken för övertemperaturer och därmed vädring och ökad energianvändning.

Studien har genomförts med stöd från CERBOF – Centrum för energi- och resurseffektivitet i byggnade och förvaltning.

Lund november 2011

Mats Dahlblom och Lars Jensen

Innehåll

Summary

Förord

Innehåll.....	3
1 Inledning.....	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte	6
1.3 Metod och genomförande.....	6
1.4 Avgränsningar	7
2 Beskrivning av reglering	9
2.1 Normal reglering	9
2.2 Utökad reglering för objekt 1-10.....	9
2.3 Känslighetsanalys.....	10
3 Individuell värmemätning och debitering	13
3.1 Grundprinciper för individuell värmemätning	13
3.2 LKF's system för komfortvärme	14
3.3 EU-direktiv och regler i Sverige.....	16
4 Beskrivning av försöksobjekten	17
4.1 Reglerkurvor för objekt 1-10.....	22
5 Analys av inomhustemperaturer.....	29
5.1 Dygnsmedelvärden för ute- respektive innetemperatur.....	29
5.2 Innetemperaturens utetemperaturberoende	35
6 Analys av driftstatistik.....	49
6.1 Analys av energi för uppvärmning och varmvatten	52
6.2 Analys av energi för uppvärmning	53
6.3 Huvudslutsats	53
7 Diskussion och slutsatser.....	55
7.1 Mätdata tillgänglighet.....	55
7.2 Driftserfarenheter, utbyggnad och framtida drift	55
7.3 Slutsatser	55
7.4 Fortsatt forskning	56
8 Referenser.....	57

Appendix A – Korrektion av rumstemperatur	59
Appendix B – Huvudförsöksgrupp.....	63
Objekt 1-3: Snödrivan	63
Objekt 4: Byalaget.....	64
Objekt 5: Riksdagen	65
Objekt 6: Spjället och Pottugnen	66
Objekt 7: Regeringen.....	67
Objekt 8: Regnbågen	68
Objekt 9: Labben	69
Objekt 10: Solisten	70
Appendix C – Kontrollgrupp 1	71
Objekt 11: Modersmålet 1	71
Objekt 12: Fiolen.....	72
Objekt 13: Lövsångaren 5-8 och Väster 2:24.....	73
Objekt 14: Mjölet, Dalby.....	74
Objekt 15: Rådhusrätten 1 – 4.....	75
Objekt 16: Östertull	76
Objekt 17: Grödan	77
Objekt 18: Eddan.....	78
Objekt 19: Pilelyckan	79
Objekt 20: Ljungen, Dalby	80
Appendix D – Kontrollgrupp 2	81
Objekt 21: Dikes- o Sandryggen	81
Objekt 22: Svarvaren 34.....	82
Objekt 23: Molnet	83
Objekt 24: Excellensen 1 och Statsministern 1	84
Objekt 25: Snäckan 2	85
Objekt 26: Jägaren 1	86
Objekt 27: Kungsgårdarna.....	87
Objekt 28: Boplatsen	88
Objekt 29: Snödrivan 2.....	89
Objekt 30: Jägaren 2.....	90
Appendix E – Reglerinställningar	91
Tabell E.1 Brytpunkter för reglerkurva	
Tabell E.2 Nattsänkning och pumpstopp	
Tabell E.3 Börvärden, förstärkning och begränsningar.	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Innetemperaturen i de flesta flerbostadshus med vattenburen radiatorvärme regleras idag indirekt genom att reglera framledningstemperaturen till radiatorsystemet efter någon funktion av utetemperaturen. Denna enkla reglerprincip har använts i över hundra år. Principen tillämpades under den första halvan av 1900-talet av att pannskötaren manuellt ställde framledningstemperaturen efter vad utetemperaturen kunde förväntas att bli framöver. Samma reglerprincip automatiserades i mitten av 1900-talet, när fjärrvärme eller oljeeldning infördes, genom att mäta ute- och framledningstemperatur och reglera framledningstemperaturen till ett framräknat värde. Nackdelen är att den inte tar hänsyn till värmetilskott från sol, människor och hushållsel eller till varierande ventilation orsakad av vind, vädring och självdrag. Det gäller att finna en lämplig inställning som genomgående ger innetemperaturer över klagogränsen. Väl tilltagna marginaler medför dock att vädring används för att reglera temperaturen, vilket ökar värmeförbrukningen.

Termostatventiler kan bara till en del minska övertemperaturer, eftersom det finns vissa brister på grund av värmeöverledning mellan radiatorsystem och termostatventilens känslkropp och för hög övre inställningsgräns. Temperaturen i ett rum måste stiga till den övertemperatur som känslkroppen har innan ventilen stänger helt för värmetilförseln.

Om innetemperaturen mäts, kan hänsyn tas till dessa störningar. Metoden med att reglera efter innetemperatur görs för småhus med en enda temperaturgivare. Ett skäl till att detta inte görs i flerbostadshus är att det är kostsamt att mäta innetemperaturen i ett stort antal lägenheter. Att reglera direkt efter innetemperaturen i flerbostadshus med vattenburen värme tillämpas idag dock i ett begränsat antal fastigheter där innetemperaturen då mäts med ett litet antal givare i ett fåtal lägenheter i en fastighet. Metoden har testats och finns avrapporterad för ett åttavåningshus i Malmö (Jensen och Lange, 1982) och för tre husgrupper i Lund (Hedin och Jensen, 1983). Innetemperaturen mättes dock inte direkt utan indirekt som frånluftstemperaturen för samtliga frånluftsfläktar. Denna är ett viktat medelvärde för temperaturen i kök, badrum och toaletter och kan därför avvika något från lägenhetens vardagsrum och sovrum. Försöksresultaten visade att det var möjligt att reglera frånluftstemperaturen i flera försöksbyggnader med obetydliga avvikelser. Detta innebar samtidigt att radiatortemperaturen varierade kraftigt och under dagtid kunde bli mycket låg vid stora gratisvärmetilskott. En del boende klagade då på att radiatorerna var kalla trots att lägenhetstemperaturen var normal. Detta problem med för kalla radiatorer löstes med att begränsa framledningstemperaturen nedåt och tillåta mindre temperaturavvikelser uppåt.

Metoden med reglering av innetemperaturen har analyserats med mätdata och finns dokumenterad i Hedin (1989). Olika mätdata i form av timvärden för trapphusvisa frånluftstemperaturer och veckomedelvärden för lägenheter behandlades i båda fallen för flera huskroppar med ett gemensamt värmesystem. En grundlig kovariansanalys visade att med reglering av innetemperaturen kunde den gemensamma temperaturvariationen elimineras men givetvis inte den individuella variationen, som kunde vara förhållandevis stor. Något som den gemensamma regleringen heller inte kan eliminera är konstanta skillnader mellan olika lägenheter. Konstanta skillnader kan åtgärdas genom injustering och i en del fall med individuell rumsreglering med radiatortermostatventiler. De individuella variationerna kan tänkas minska om individuell mätning och debitering av värmekostnaden införs, vilket ökar besparingsmöjligheterna för den gemensamma regleringen av värmesystemet. Att utjämna konstanta skillnader mellan lägenheter behöver dock inte vara eftersträvarvärt, olika individer önskar olika varmt och med en individuell mätning och debitering är detta istället ett sätt att tillfredsställa skilda önskemål och behov.

Ett annat sätt att skatta innetemperaturen i en byggnad är med mätningar av fram- och returledningstemperaturer för värmesystemet och utetemperaturen under vissa förutsättningar. Exempel på att detta är möjligt har visats i Hedin och Jensen (1983) för ett begränsat antal mätdata.

En grundligare och säkrare utvärdering är möjlig att genomföra med tillgång av innetemperaturer för samtliga rum i ett flerbostadshus.

De regulatorer som används för att reglera innetemperaturen behöver inte vara standardprodukter utan det är möjligt att basera regleringen på en enklare värmebalansmodell för byggnaden och värmesystemet. En avvikelse i innetemperatur kan räknas om till en avvikelse i energiinnehåll för byggnaden och som i sin tur för värmesystemet kan räknas om till en ändring i effekttillförsel under ett givet längre tidsintervall efter vilket rätt innetemperatur skall uppnås. Uppdateringen av effekttillförseln sker med ett kortare tidsintervall, vilket innebär att tidshorizonten till rätt innetemperatur ständigt flyttas framåt i tiden. Denna princip ger ett bra reglerförlopp.

1.2 Syfte

Projektets syfte är att minska energianvändningen och skapa ett jämnare inneklimat genom en utökad reglering av värmesystemet. Den utökade regleringen sker genom att, utöver att styra på utetemperatur, utnyttja den mätning av innetemperaturer som sker i alla rum i samtliga lägenheter i det system för individuell mätning och debitering av värmekostnader som fastighetsägaren använder. Systemet för individuell värmemätning baserat på innetemperatur kan enkelt ange hur många lägenheter som är kallare än en viss temperaturgräns eller hur många lägenheter som är kallare än önskad temperatur. De boende kan med termostatventiler ställa in önskad maximal temperatur för varje rum. Principen är att rådande och önskade temperaturer utnyttjas för att bestämma hur framledningstemperaturen till det gemensamma värmesystemet skall regleras. Risken för övertemperaturer och därav onödig vädring minskar. En jämnare och lägre innetemperatur på 1 °C ger en 8% lägre energianvändning för uppvärmning i Sydsverige.

1.3 Metod och genomförande

I projektet har tre försöksgrupper av bostadsbyggnader använts. Grupperna innehåller vardera 10 objekt i varierande ålder, storlek, isolerstandard, utförande, etc., från enstaka flervåningsbyggnader till grupp- eller radhusområden. Grupperna benämns huvudförsöksgrupp, kontrollgrupp 1 respektive kontrollgrupp 2. Objekten i huvudförsöksgruppen har individuell värmemätning och debitering enligt komfortvärmepincipen och framledningstemperaturen korrigeras baserat på rådande inomhustemperatur. I kontrollgrupp 1 har objekten ingen individuell värmemätning och regleringen är traditionell, dvs framledningstemperaturen baseras enbart på rådande utomhustemperatur. Slutligen, objekten i kontrollgrupp 2 har individuell värmemätning och debitering på samma sätt som huvudförsöksgruppen, medan regleringen av framledningstemperaturen sker traditionellt, dvs på samma sätt som i kontrollgrupp 1, Tabell 1.1.

Tabell 1.1 Sammanställning av försöksgrupper

<i>grupp</i>	<i>individuell mätning och debitering</i>	<i>reglering</i>
huvudförsöksgrupp	ja	$T_{fram} = f(T_{ute}) + g \cdot (T_{inne} - T_{ir})$
kontrollgrupp 1	nej	$T_{fram} = f(T_{ute})$
kontrollgrupp 2	ja	$T_{fram} = f(T_{ute})$

Insamling av temperaturer från 10 st objekt, vardera med mellan 1 och ca 50 huskroppar, och med sammanlagt närmare 1200 lägenheter i LKF's bestånd, har pågått sedan januari 2010.

LKF har bidragit med sitt bostadsbestånd och med eget arbete i forskningsprojektet. Även företagen CompWell som byggt mätsystemet anslutet till Com Hem's befintliga kabel-tv-nät, Schneider Electric vars utrustning svarar för den normala regleringen av varmvattentemperatur och uppvärmning samt Lunds Energi AB som förser fastigheterna med fjärrvärme har bidragit med arbete.

I kapitel 2 beskrivs de tio objektens reglering under den behandlade mätperioden med den utökade regleringen och en känslighetsanalys för hur regleringen förbättras med ökande förstärkning.

Kapitel 3 ägnas åt att beskriva en av förutsättningarna för detta projekt, nämligen den individuella värmemätningen, dels generellt och dels det system, kallat komfortvärme, som används av LKF i huvudförsöksgruppen och kontrollgrupp 2.

Alla trettio objekt i huvudförsöksgruppen och de båda kontrollgrupperna beskrivs kortfattat i Kapitel 4, där också energidata för tidigare år är redovisade. Alla trettio objekt beskrivs mer detaljerat med

en sida med bild, text och situationsplan i Appendix B för huvudförsöksgruppen, I Appendix C för kontrollgrupp 1 samt i Appendix D för kontrollgrupp 2.

I Kapitel 5 redovisas i avsnitt 5.1 dygnsmedelvärden för utetemperatur och innetemperatur för perioderna januari – mars 2010 och 2011. I avsnitt 5.2 analyseras dessa data hus för hus för de båda perioderna, bland annat anpassas en regressionslinje för innetemperaturen som funktion av utetemperaturen.

Statistik för energianvändning, såsom fjärrvärme, gas, el till värmepumpar, etc., vattenanvändning, och fastighetsel för alla 30 objekten i de tre grupperna för åren 2009, 2010 samt januari-september 2011 har erhållits från LKF. Denna statistik analyseras i Kapitel 6.

I Kapitel 7 ges några kommentarer om datatillgänglighet, en sammanställning av slutsatser och några kommentarer om fortsatt forskning.

Bearbetning, analys och redovisning av data har genomgående genomförts med datorprogrammet Matlab.

1.4 Avgränsningar

Datamängden för huvudförsöksgruppen omfattar mer än 10^8 rumstemperaturer per år. Beräkningar har därför begränsats till att endast omfatta dygnsmedelvärden och rumsmedelvärden för varje objekt i huvudförsöksgruppen. Det finns en mer detaljerad redovisning i Jensen (2010) som avser dygnsmedelkurvor och spridning i rumstemperatur för första halvåret 2010.

Dygnsmedelvärden för innetemperaturen redovisas för månaderna januari, februari och mars för 2010 och 2011 samt även som funktion av utetemperaturen.

Driftstatistik omfattande energi för uppvärmning och varmvatten, fastighetsel och vattenanvändning för 2009, 2010 och januari – juni 2011 har analyserats. För jämförelse av värmeenergi mellan åren har graddagar för Lund använts. Genomgående är det köpt energi som analyserats. De flesta objekt är fjärrvärmeanslutna, naturgas används i fyra objekt varav ett i kombination med solvärme. I fem objekt med fjärrvärme finns även frånluftsvärmepumpar, vars elanvändning i fyra fall är separerad från fastighetselen och därmed ingår i den redovisade värmeenergin.

Det normala styr- och övervakningssystemets loggning av olika driftsvärden av t ex fram- och returtemperatur har inte utnyttjats här.

2 Beskrivning av reglering

2.1 Normal reglering

Framledningstemperaturen till vattenburna radiatorsystem styrs efter en reglerkurva och utetemperatur. Den ideala reglerkurvan är en något krökt kurva som normalt definieras som ett antal linjära sammanhängande segment bestämda av ett antal brytpunkter.

Alla använda reglerkurvor för de tio objekten i huvudförsöksgruppen redovisas i Figur 4.1-10 samt siffermässigt i Tabell E.1 i Appendix E.

Den normala reglerfunktionen kan förenklas skrivas som $T_{fram,norm} = f(T_{ute})$.

2.2 Utökad reglering för objekt 1-10

Den utökade regleringen enligt ekvation (2.1) – (2.4) innebär att den befintliga reglerkurvan korrigeras med den avvikelser mellan uppmätt rumsmedeltemperatur och önskad dito multiplicerad med en förstärkning. Den uppmätta rumsmedeltemperaturen är i detta fall beräknad på samtliga rumsgivare med en enkel viktning, där vardagsrummen ges dubbel betydelse, men med den använda programvaran kan man välja att istället basera den på enbart vardagsrum eller på ett givet antal rum över eller under en given temperaturgräns.

Korrektionen av reglerkurvan ΔT motsvarar en proportionell återkoppling från innetemperaturen. Om förstärkning är stor, kan felet mellan mätt och önskad innetemperatur blir marginell. Denna proportionella reglering har alltid ett reglerfel.

$$\Delta T = -g \cdot (T_i - T_{ir}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.1)$$

$$T_{fram,korr} = T_{fram,norm} + \Delta T_{max} \quad \Delta T > \Delta T_{max} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.2)$$

$$T_{fram,korr} = T_{fram,norm} + \Delta T \quad \Delta T_{min} < \Delta T < \Delta T_{max} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.3)$$

$$T_{fram,korr} = T_{fram,norm} + \Delta T_{min} \quad \Delta T < \Delta T_{min} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.4)$$

där

g	förstärkning (-)
T_i	beräknad innetemperatur (ärvärde) för ett objekt, omräknad till nivån 1.2 m
T_{ir}	innetemperaturens referensvärde (börvärde)
$T_{fram,korr}$	korrigerad framledningstemperatur ($^\circ\text{C}$)
ΔT_{max}	största höjning av framledningstemperatur ($^\circ\text{C}$)
$T_{fram,norm}$	normal framledningstemperatur ($^\circ\text{C}$)
ΔT_{min}	största sänkning av framledningstemperatur ($^\circ\text{C}$)

Om en summerande, integrerande återkoppling införs blir reglerfelet i princip noll, med risken för instabil reglering ökar och ett litet konstant fel i innetemperatur kan under längre tid leda till stora korrektioner av framledningstemperaturen.

Förstärkningen, g , har under den period denna rapport redovisar varit lika med 10 i sju av tio fall samt 1 i övriga tre fall, vilket innebär att när den beräknade medeltemperaturen inomhus var 0.1°C högre än börvärdet så sänktes framledningstemperaturen med 1°C . På motsvarande sätt höjdes framledningstemperaturen med 1°C om medeltemperaturen inomhus var 0.1°C lägre än börvärdet för innetemperaturen. Som mest korrigerades framledningstemperaturen med $\Delta T_{max} = 5^\circ\text{C}$ respektive $\Delta T_{min} = -5^\circ\text{C}$. Denna begränsning infördes för att undvika att få låga radiatortemperaturer som skulle kunna ge klagomål på kalla radiatorer. För objekten i de båda kontrollgrupperna har ingen korrektion av framledningstemperaturen gjorts på detta sätt. Siffervärden för den utökade reglering redovisas i tabell E.3 i Appendix E.

2.3 Känslighetsanalys

Hur den utökade regleringen påverkar och minskar känsligheten för felaktigt valda reglerkurvor skall undersökas här. Det går att visa att innetemperaturen blir en linjär funktion av utetemperaturen enligt (2.5) nedan om en byggnads värmebehov är en linjär funktion av temperaturskillnaden mellan inne och ute, om ett radiatorsystems värmeavgivning är en linjär funktion av temperaturskillnaden mellan radiator och inne samt om framledningstemperaturen är en linjär funktion av utetemperaturen enligt en förenklad reglerkurva med ett enda segment

$$T_i(t) = k \cdot T_u(t) + l \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.5)$$

Fallet med rätt vald reglerkurva innebär att $k = 0$ och $l = T_{ir}$ (önskad innetemperatur). Om reglerkurvans lutning är felaktig, blir innetemperaturen utetemperaturberoende. Om den ideala reglerkurvan parallellförskjuts blir innetemperaturen konstant för låg eller hög oberoende av utetemperaturen.

Hur innetemperaturen beror på utetemperaturen kan beskrivas med en enkel modell för en byggnads värmebalans utan annan värmeförsörjning enligt ekv (2.6).

$$0 = Ah \cdot (T_r - T_i) - Q \cdot (T_i - T_u) \quad (\text{W}) \quad (2.6)$$

Parameter Ah (W/K) motsvarar radiatorsystemets specifika värmeavgivning och parametern Q (W/K) motsvarar byggnadens specifika värmebehov för både transmission, ventilation samt luftläckage. Radiatorsystemets temperatur regleras (något förenklat eftersom framledningstemperatur regleras) enligt följande samband, där den tredje termen är den utökade regleringen:

$$T_r = k_r \cdot T_u + l_r - g \cdot (T_i - T_{ir}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.7)$$

Efter insättning av ekv (2.7) i (2.6) erhålles

$$T_i = \frac{(Q + Ah \cdot k_r) \cdot T_u + Ah \cdot (l_r + g \cdot T_{ir})}{Q + Ah \cdot g + Ah} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.8)$$

ur vilken parametrarna k och l kan identifieras enligt nedan

$$k = \frac{Q + Ah \cdot k_r}{Q + Ah \cdot (1 + g)} \quad (-) \quad (2.9)$$

$$l = \frac{Ah \cdot (l_r + g \cdot T_{ir})}{Q + Ah \cdot (1 + g)} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.10)$$

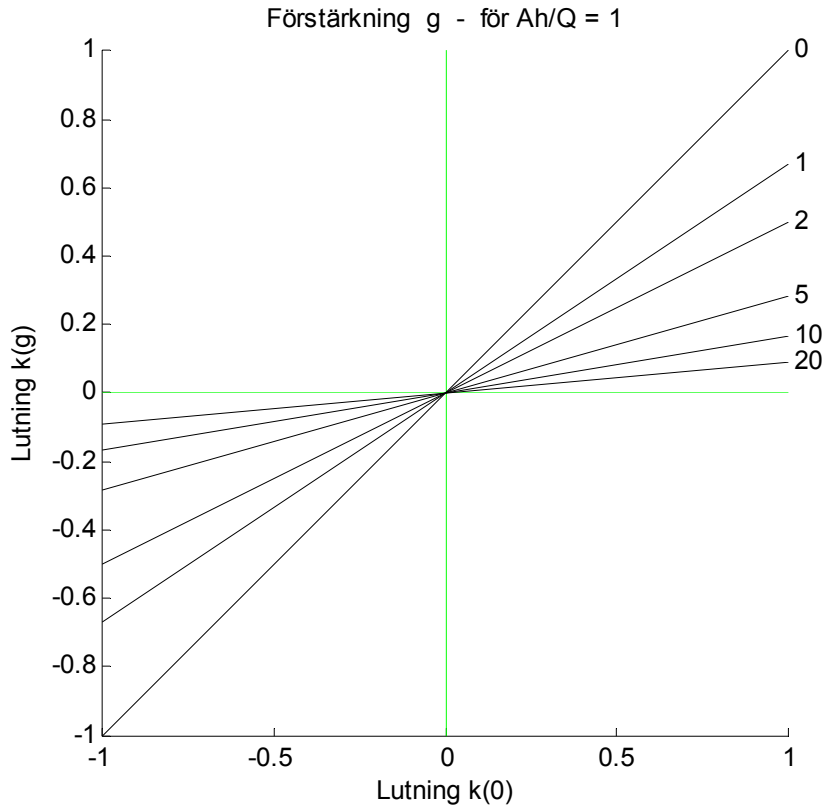
Den perfekta regleringen utan något utetemperaturberoende bestäms av att $k = 0$ med ekv (2.9) vilket ger $k_r = -\frac{Q}{Ah}$.

Hur mycket lutningen k ändras med den utökade regleringen kan uppskattas med uttrycket (2.9) där parametrarna Ah och Q är av samma storleksordning. Den relativa förbättringen eller kvoten q mellan lutningen med återkoppling ($g > 0$) och lutningen utan återkoppling ($g = 0$) kan skrivas som följer:

$$q = (Q + Ah) / (Q + Ah(1 + g)) \quad (-) \quad (2.11)$$

Hur mycket lutningen k ändras kan beräknas med sambandet (4.8) och med uppgifter på kvoten Ah/Q . Om dimensionerande inne- och utetemperatur är 20°C respektive -20°C blir kvoten Ah/Q 0.75 och 1.25 för en medelradiatortemperatur på 50°C respektive 70°C . Detta motsvarar radiatorsystem dimensionerande som $55/45^\circ\text{C}$ respektive $80/60^\circ\text{C}$.

I Figur 2.1 redovisas lutning $k(g)$ vid utökad reglering som funktion av lutning $k(0)$ utan utökad reglering och förstärkning för kvoten $Ah/Q = 1$ och förstärkningarna $g = 0, 1, 2, 5, 10$ respektive 20 .



Figur 2.1 Lutning vid utökad reglering som funktion av lutning utan utökad reglering och förstärkning.

Hur mycket det konstanta felet $l - T_{ir}$ i innetemperaturen vid utetemperaturen 0°C kan beräknas med hjälp av (2.10), vilket efter förenkling ger

$$l - T_r = \frac{Ah \cdot l_r - (Q + Ah) \cdot T_{ir}}{Q + Ah \cdot (1 + g)} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.12)$$

Felet minskar på samma sätt som för lutningen k med en faktor q enligt (2.11).

Om Ah sätts lika med Q fås förenklingen:

$$q_{Ah=Q} = 1 / (1 + g/2) \quad (-) \quad (2.13)$$

Förstärkningen $g = 10$ har använts vilket enligt (2.13) minskar lutningen k och felet $l - T_{ir}$ med en faktor $1/6$.

En kommentar till korrektionstermen enligt (2.1) är att den har olika inverkan beroende på om radiatorsystemet är ett äldre 80/60-system eller ett nyare 55/45-system. Förstärkningen 10 för 80/60-system motsvaras av förstärkningen 6 för 55/45-system. Dimensionerande temperaturskillnad mellan radiatortemperatur och innetemperatur är 50°C respektive 30°C för de två fallen.

3 Individuell värmemätning och debitering

En förutsättning för detta projekt är det system för individuell mätning och debitering av värme som finns i delar av LKF's lägenhetsbestånd. I detta kapitel beskrivs grundprinciperna för hur individuell mätning kan anordnas, LKF's system samt något om de regler som omgärdar individuell mätning och debitering.

3.1 Grundprinciper för individuell värmemätning

Huvudsakligen finns det två olika principer för att mäta värme, antingen genom att direkt mäta tillförd energi till varje lägenhet, totalt eller per radiator, eller genom att mäta uppnådd temperatur i lägenheten, centralt eller rum för rum. Det senare kallas komfortmätning. De båda principerna har var och en sina fördelar och nackdelar. Resultatet påverkas av värmeflödet genom både ytter- och innerväggar, det vill säga mellan lägenheter. Det kan också påverkas avsiktligt eller oavsiktligt av de boende.

På grund av hur värmesystemet är utformat är det mer eller mindre svårt att mäta levererad värme. Traditionellt i flerbostadshus är stammar dragna från källaren längs fasaderna till översta våningen. Varje stam ansluter till radiatorer i flera lägenheter. Ibland, främst i nyare byggnader, är stammarna istället placerade i centrala schakt varifrån varje lägenhet kan anslutas med egen matarledning. I detta fall är det ganska okomplicerat att mäta tillförd energi till varje lägenhet. En energimätare mäter framledningstemperatur, returtemperatur och flöde varefter levererad energi integreras fram.

I det första fallet, med värmeförsörjning från flera stammar, är det inte praktiskt möjligt att mäta tillförd energi från varje radiator, och då används värmefördelningsmätare på varje radiator. Dessa har traditionellt gjorts som evaporativa fördelningsmätare, som arbetar med en kapillärapull med en vätska som avdunstar på grund av all värmeförsörjning. Den nya generationen fördelningsmätare är elektroniska och registrerar bara värmen från radiatoren, det vill säga värme från andra källor såsom personer, solinstrålning och belysning påverkar inte mätaren.

Fördelningsmätaren måste placeras på rätt höjd på radiatoren och varje mätare måste vid installationen anpassas till radiatorns effekt. Namnet indikerar att de inte mäter den absoluta energimängd som levereras, utan endast används för att fördela kostnaderna för uppvärmning mellan hyresgästerna på ett någotsånär rättvist sätt.

De evaporativa fördelningsmätarna avläses manuellt en gång om året, medan de elektroniska kan läsas på distans med ett radiobaserat system, vilket sänker avläsningskostnaderna. Alternativt kan dessa och andra mätare, såsom vatten- och gasmätare, kommunicera med en kontrollbox i byggnaden, som antingen kan läsas en gång per år med ett "drive-by"-system eller kontinuerligt kan överföras till en databasserver. I detta fall kan all data kontinuerligt hämtas av administratören och om så önskas, av hyresgästerna.

När data har samlats in är nästa steg att fördela värmekostnaden mellan hyresgästerna. Vanligtvis tar man vid kostnadsfördelningen hänsyn till ett antal faktorer, såsom lägenhetens läge i huset, hur stor andel av värmen som ska fördelas baserat på mätning respektive på area, osv.

Vid debitering efter uppnådd temperatur i lägenheten, så kallad komfortmätning, framkommer alltid problematiken med vädring och med värmeförlust från andra källor än värmesystemet. Här förekommer olika sätt att ta hänsyn till detta, t ex genom att extrem vädring som resulterar i låga rumstemperaturer straffas genom att hyresgästen debiteras för full värme, detta för att förhindra att en lägenhet blir utkyld och stjälar värme från grannarna. På motsvarande sätt kan man räkna bort extrema övertemperaturer under ett fåtal timmar, övertemperaturer som kan bero på matlagning, många gäster, etc. Oavsett vilken mätprincip som väljs är det således knappast möjligt att nå full rättvisa.

De hittills mest omfattande undersökningarna av hur vanligt förekommande individuell mätning och debitering av värme är, har på uppdrag av Energimyndigheten genomförts av Lennart Berndtsson. De är redovisade i två rapporter "Utredning angående erfarenheter av individuell mätning av värme och varmvatten i svenska flerbostadshus" (Berndtsson, 1999) och "Individuell värmemätning i svenska flerbostadshus – en lägesrapport" (Berndtsson, 2003).

Individuell kostnadsfördelning baserad på värmemätning förekom en bit in på 1960-talet. I huvudsak användes avdunstningsmätare och enligt Berndtsson (1999) installerades på 1950-talet mätare i ca

200 000 lägenheter. Avläsningskostnaderna ansågs dock för höga och de har sedan länge upphört att användas.

2003 gjordes en sammanställning (Berndtsson, 2003) där ca 150 projekt ingick. I ca 5500 lägenheter debiteras värme och varmvatten individuellt och man bedömde att fram till 2006 skulle totalt över 15 000 lägenheter omfattas. Merparten har mätning både för varmvatten och för värme. Värmemätning sker i 35% av fallen genom mätning av rumstemperatur och i 65% av fallen mätning av tillförd värme, lika fördelat på värmeflödesmätare och radiatormätare.

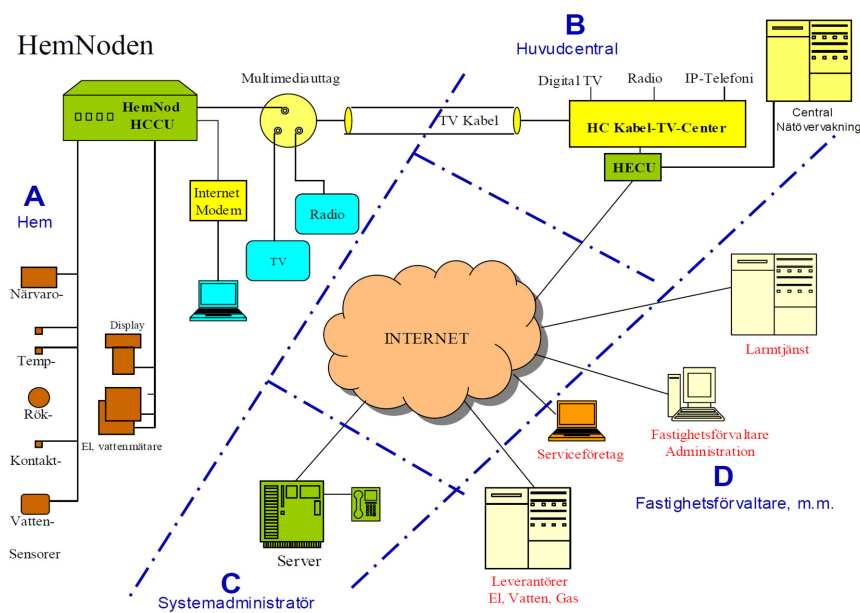
Bernotat (2008) redovisar resultatet av två enkätundersökningar som pekar på att det 2007 fanns individuell mätning och debitering av värmekostnader i närmare 23 000 lägenheter i Sverige. Detta motsvarar ca en procent av det totala lägenhetsbeståndet. I 62% av lägenheterna används temperaturmätning, i 12% radiatormätning och i 26% värmeflödesmätning.

3.2 LKF's system för komfortvärme

Detta projekt är ett samarbete med bland annat Lunds kommunala fastighets AB (LKF) med ett lägenhetsbestånd på ca 8500 lägenheter. De flesta av dessa har varmhyra, vilket innebär att kostnaden för värme och varmvatten ingår i hyran. I en del fastigheter tillämpas kallhyra, vilket oftast beror på att området inte har någon gemensam värmeanläggning, istället finns då vanligtvis frånluftsvärmepumpar eller gaspannor i varje lägenhet. Kostnaden för gas eller el hamnar då direkt på hyresgästen, som har eget abonnemang hos leverantören. I områden med gemensam värmeanläggning har LKF hittills fortsatt närmare hälften av sina lägenheter med ett system för individuell värmedebitering. I detta system ingår 21°C i hyran, vill man ha en högre temperatur får man betala extra och man får pengar tillbaka om man har haft lägre temperatur.

Erfarenheterna från de första lägenheterna var inledningsvis goda med en klimatkorrigerad besparing på 15% för det första bostadsområdet omfattande 72 lägenheter. Erfarenheter från eldnings säsongen 2007/2008 för 3000 lägenheter visade på en mindre besparing på några procent.

För att hantera mätnings- och debiteringssystemet har LKF ett avtal med företaget CompWell. För att mäta rumstemperaturen har givare placerats i sovrummen och vardagsrummet och data skickas fyra gånger i timmen till en centralenhet som sitter i lägenheten. Temperaturgivarna är placerade 2.1 m över golv vid ingången till rummet för att undvika konflikter med möbler och inredning, vilket innebär att den registrerade temperaturen kommer att vara lite för hög för att vara representativ för hur man uppfattar rumstemperaturen och räknas därför om till 1.2 m, vilket är halva rumshöjden i de flesta husen. Se Appendix A.



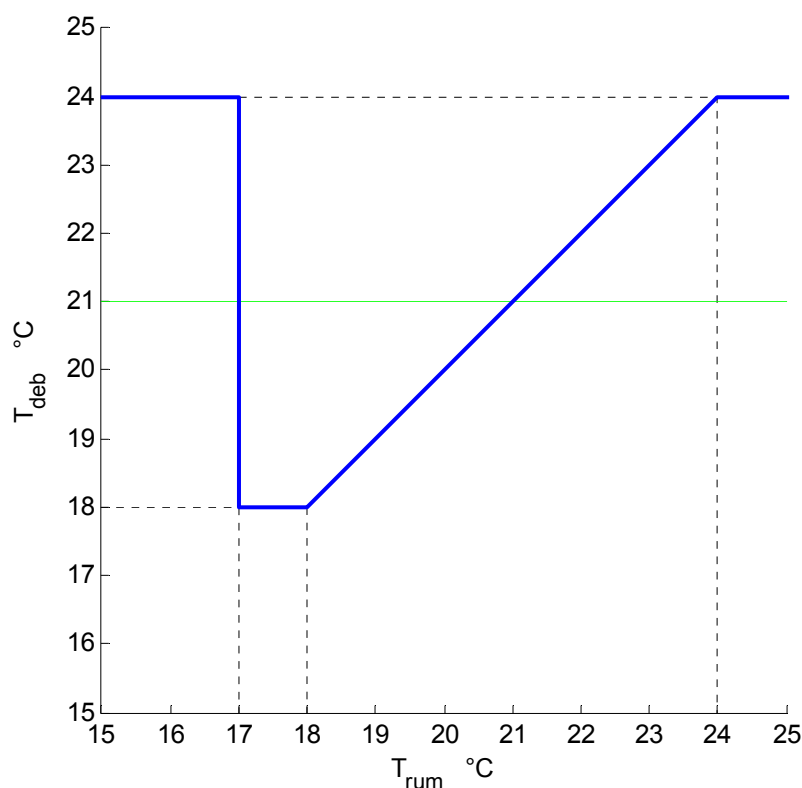
Figur 3.1 Principskiss över CompWells system för individuell värmemätning (källa: CompWell).

Såväl ute- som innetemperaturerna registreras var 15:e minut och lagras på en server som kan nås över internet, se Figur 3.1. Hemnoden med alla tänkbar utrustning (A) visas till vänster i figuren, huvudcentralen för en byggnad eller en grupp av byggnader (B) ansluter till varje hemnod och till kabel-TV, radio, IP-telefon och Internet via en router. Via Internet hanterar systemadministratören hela systemet (C) och slutligen kan leverantörer av vatten, fjärrvärme, el, etc, serviceföretag och förvaltare hämta viss information som behövs för administrationen. Systemet består av sex delar, en central enhet, en knappsats med en display, en temperaturgivare för vardagsrummet och en för varje sovrum, ett inbrottslarm, en brandvarnare och slutligen i princip en givare för utomhustemperatur för varje kvarter.

Den centrala enheten i varje lägenhet är ansluten till Comhems kabel-tv-nät och är placerad nära kabel-TV-uttaget vid trådlös kommunikation, annars i närheten av säkringsskåpet, i vissa fall kombinerat med knappsats och display. Det är möjligt att läsa av temperaturen under senaste dygnet, innevarande månad och säsong (vår eller höst). Med hjälp av termostatventiler på alla radiatorer kan önskad maxtemperatur inomhus ställas in. Som standard är det möjligt att få 21 °C och högst 24 °C. För att utnyttja byggnadens värmetröghet startar uppvärmningen inte förrän utetemperaturen varit under 17 °C i mer än fyra timmar, vilket ska garantera att korta kalla perioder under våren och hösten inte kommer att trigga igång värmesystemet.

Temperaturer registrerade från 1 oktober till 30 april påverkar kostnaden för uppvärmning. Om utetemperaturen överstiger +12 °C när som helst under ett dygn debiteras ingen värme, vilket minskar risken att bli debiterad för höga temperaturer på grund av sol. För att minska risken för att olika aktiviteter, t ex matlagning, skulle öka kostnaden för uppvärmning, räknas de 16 högsta temperaturerna bort när man beräknar medeltemperaturen för debitering. Denna medeltemperatur, även kallad komfortfaktor, beräknas varje natt och lagras i ett värmekonto för varje lägenhet. Den första i varje månad beräknas ett månatligt medelvärde för föregående månad och efter varje säsong beräknas ett totalt medelvärde. Hyresgästerna kan övervaka alla dessa värden på displayen.

För att förhindra nedkylning av en lägenhet, vilket skulle ha påverkat intilliggande lägenheter, debiteras hyresgästen för 24 °C om dygnsmedelvärdet är under 17 °C. Figur 3.2.



Figur 3.2 Debiteringstemperatur som funktion av rumstemperatur.

3.3 EU-direktiv och regler i Sverige

Individuell värmemätning i flerbostadshus är något som sker i allt fler lägenheter idag i Sverige. Det finns ett flertal länder inom EU som i enlighet EU-direktivet redan har infört individuell värmemätning. EU-direktiv 2006/32/EG om effektiv slutanvändning av energi och om energitjänster, artikel 13:

”Medlemsstaterna skall se till att slutförbrukare av el, naturgas, fjärrvärme och/eller fjärrkyla och varmvatten för hushållsbruk, så långt det är tekniskt möjligt, ekonomiskt rimligt och proportionerligt i förhållande till möjliga energibesparingar, har individuella mätare som till ett konkurrenskraftigt pris korrekt visar slutförbrukarens faktiska energiförbrukning och ger information om faktisk användningstid”.

Vidare ska

”Medlemsstaterna se till att fakturering från energidistributörer, systemansvariga för distributionen och företag som säljer energi i detaljistledet när det är lämpligt grundas på faktisk energiförbrukning och presenteras på ett klart och begripligt sätt. Lämplig information skall göras tillgänglig tillsammans med fakturan och ge slutförbrukarna en fullständig redovisning av de aktuella energikostnaderna. Fakturering, grundad på den faktiska förbrukningen, skall ske så ofta att kunderna kan styra sin egen energiförbrukning”.

EU-direktivet föranledde Energieffektiviseringsutredningen (EnEff), som ledde fram till en regeringsproposition. Riksdagen beslutade dock bara om att individuell mätning, inte debitering, av varmvatten och el vid ny- och ombyggnad av flerbostadshus ska ske och att behovet av individuell debitering ska följas av Energimyndigheten. Motsvarande krav beträffande mätning av värme anses inte motiverat bl.a. av skälet att en högre effektiviseringsgrad kan åstadkommas med andra åtgärder.

Enligt den svenska hyreslagen finns inte något juridiskt hinder att införa individuell mätning och debitering av varmvatten- och värmekostnader. Enligt § 19 i hyreslagen (Jordabalken kap 12) får kostnaden för uppvärmning, förseende med varmvatten, elektrisk ström eller avgifter för vatten och avlopp, påföras hyresgästen efter individuell mätning. En övergång från hyra inklusive värme till hyra exklusive värme kräver dock en villkorsändring i hyreskontrakten, vilket i sin tur kräver en omförhandling och en ny hyressättning där det ska framgå hur värmekostnaderna ska fördelas.

I Sverige har man således bedömt att det fortfarande inte är visat att det är ekonomiskt försvarbart, varför obligatorisk individuell mätning och debitering inte har införts. I Tyskland har det varit praxis länge och obligatoriskt sedan 1981, i Schweiz och Danmark lagfäst sedan 1999 samt i Österrike sedan 1992. Erfarenheterna från Tyskland är att energibesparingar på 10-20% kan förväntas.

På sikt kan man förvänta sig att det blir vanligare med individuell värmemätning och sannolikt kommer en stor andel att vara av typen ”komfortvärme” som alltså medger att den förutom underlag för debitering kan utnyttjas för reglering värmeförseln.

4 Beskrivning av försöksobjekten

Objekten som ingår i studien är indelade i tre grupper; huvudförsöksgrupp med objekt 1-10, kontrollgrupp 1 med objekt 11-20 och kontrollgrupp 2 med objekt 21-30, Tabell 4.1 – Tabell 4.3. Varje grupp innehåller tio objekt, i de flesta fall bestående av flera huskroppar. Objekten i de olika grupperna är valda så att de ska vara någorlunda jämförbara grupperna emellan, Tabell 1.1. Varje grupp beskrivs i appendix B, C och D med bild, text och situationsplan.

Tabell 4.1 Grunddata för objekt i huvudförsöksgrupp

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>antal hus</i>	<i>antal lgh</i>	<i>antal rum</i>	<i>BOA+LOA m²</i>	<i>medelarea m²/lgh</i>
1	1965	Snödrivan-sydväst	2	24	83	2096	87.3
2	1965	Snödrivan-norr	1	75	198	5150	68.7
3	1965	Snödrivan-öster	1	130	301	8017	61.7
4	1973	Byalaget, Dalby	6	118	257	7796	66.1
5	1992	Riksdagen	14	92	269	7786	84.6
6	1963	Spjället o Pottugnen	10	276	780	19162	69.4
7	1995	Regeringen	11	85	265	6705	78.9
8	1989	Regnbågen	14	133	383	10391	78.1
9	1965	Labben	4	72	216	5908	82.1
10	1986	Solisten	53	172	496	12704	73.9

Tabell 4.2 Grunddata för objekt i kontrollgrupp 1

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>antal hus</i>	<i>antal lgh</i>	<i>antal rum</i>	<i>BOA+LOA m²</i>	<i>medelarea m²/lgh</i>
11	1992	Modersmålet	23	104	296	9466	91.0
12	1993	Fiolen	23	136	382	10911	80.2
13	1979	Lövsångaren o Väster	10	414	885	26719	64.5
14	1982	Mjölet, Dalby	16	122	364	10049	82.4
15	1968	Rådhusrätten	25	494	1616	48807	98.8
16	1985	Östertull	14	132	370	10792	81.8
17	1956	Grödan	4	131	254	7890	60.2
18	1972	Eddan	14	323	854	22450	69.5
19	1947	Pilelyckan	8	112	256	6984	62.4
20	1965	Ljungen, Dalby	12	160	404	10747	67.2

Tabell 4.3 Grunddata för objekt i kontrollgrupp 2

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>antal hus</i>	<i>antal lgh</i>	<i>antal rum</i>	<i>BOA+LOA m²</i>	<i>medelarea m²/lgh</i>
21	1959	Dikes- och Sandryggen	2	163	462	12244	75.1
22	1985	Svarvaren 34	1	7	20	549	78.4
23	1999	Molnet	5	29	97	2389	82.4
24	1992	Excellensen, m fl	12	190	525	15704	82.7
25	2007	Snäckan	4	66	165	4138	62.7
26	1974	Jägaren 1	20	229	495	15446	67.4
27	1990	Kungsgårdarna	15	114	304	9263	81.3
28	1986	Boplatsen	25	100	286	7214	72.1
29	1998	Snödrivan 2	2	58	160	4059	70.0
30	2006	Jägaren 2	4	21	64	1686	80.3

Graddagskorrigerad energi för uppvärmning och varmvatten redovisas i tabell 4.4 – 4.6 för de tre försöksgrupperna och i Figur 4.1 uppdelat på graddagskorrigerad värme och skattad varmvattenenergi för 2009 och 2010 samt skattad för 2011 för de tre försöksgrupperna. Tappvatten och fastighetsel redovisas på samma sätt i Figur 4.2 respektive Figur 4.3.

Tabell 4.4 Energianvändning (kWh/m²/år) för uppvärmning och varmvatten, huvudförsöksgrupp.

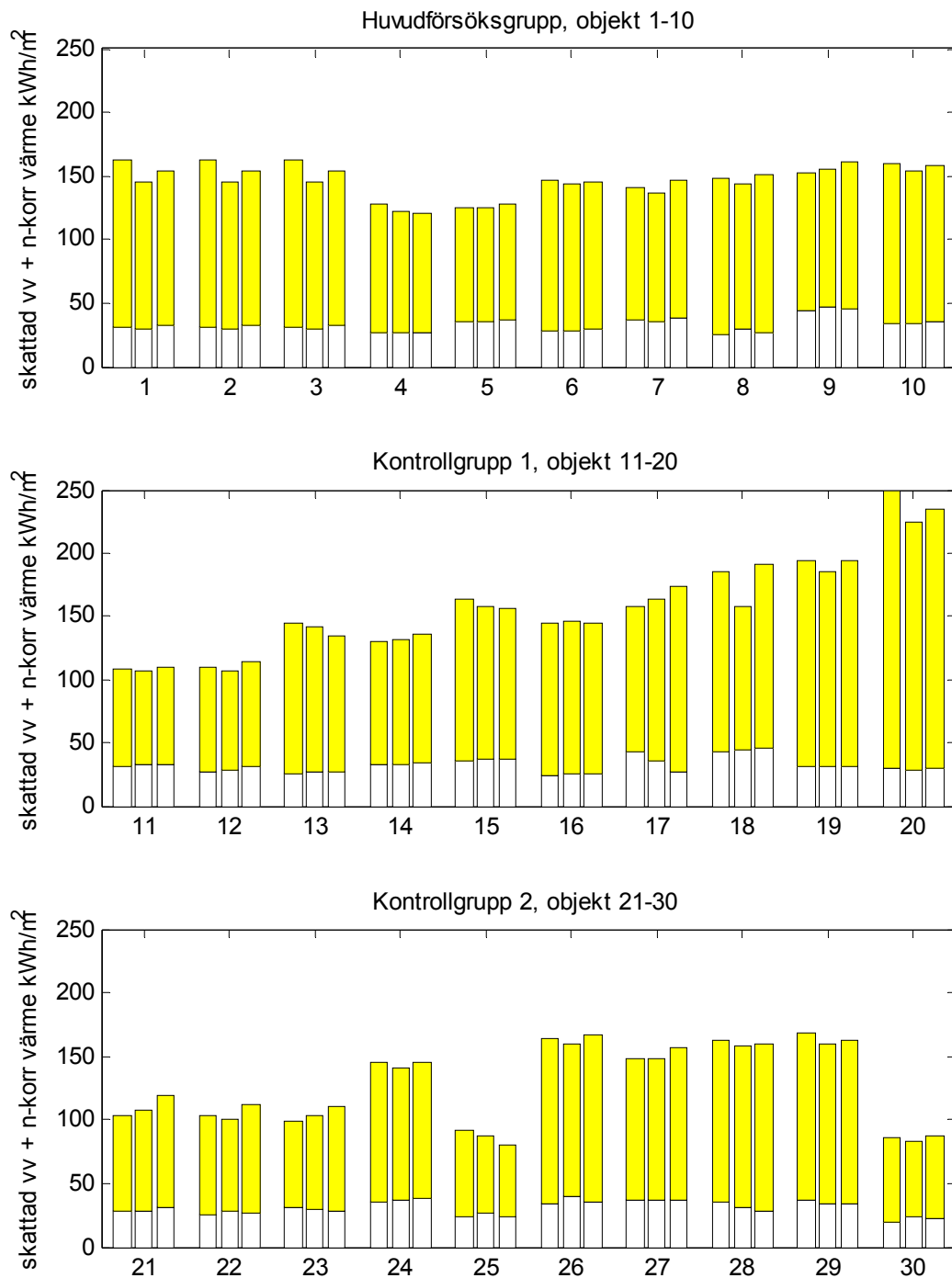
<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>ventila-</i> <i>tionstyp</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2009</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2010</i>
1	1965	Snödrivan-sydväst	2096	fjv/vp	FVP	155	163
2	1965	Snödrivan-norr	5150	fjv/vp	FVP	155	163
3	1965	Snödrivan-öster	8017	fjv/vp	FVP	155	163
4	1973	Byalaget, Dalby	7796	gas/sol	F	122	137
5	1992	Riksdagen	7786	fjv	FTX	121	139
6	1963	Spjället o Pottugnen	19162	fjv	F	140	161
7	1995	Regeringen	6705	fjv	F	135	153
8	1989	Regnbågen	10391	fjv	F	142	162
9	1965	Labben	5908	fjv	F	147	172
10	1986	Solisten	12704	fjv	F/FTX	153	172

Tabell 4.5 Energianvändning (kWh/m²/år) för uppvärmning och varmvatten, kontrollgrupp 1.

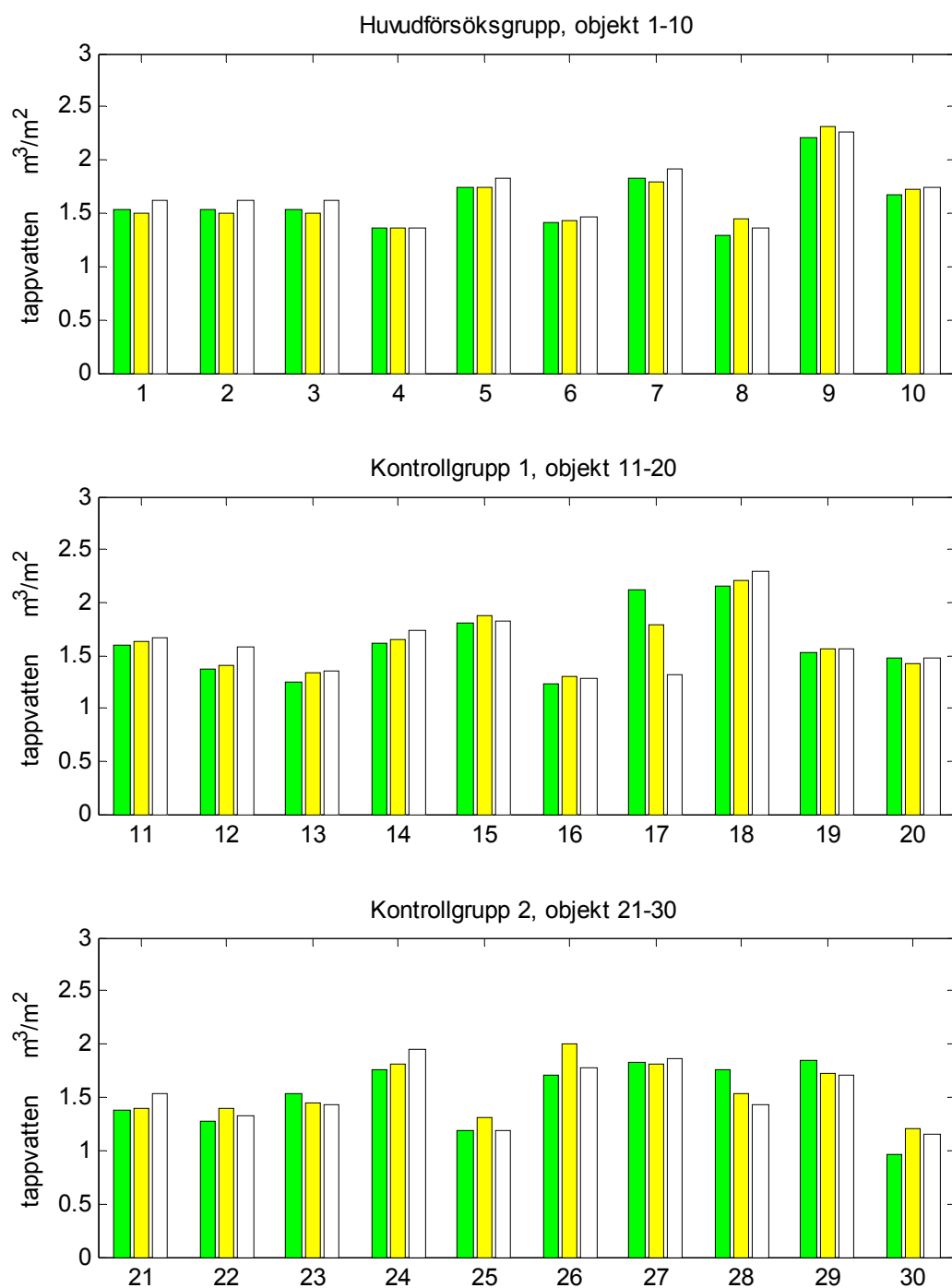
<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>ventila-</i> <i>tionstyp</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2009</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2010</i>
11	1992	Modersmålet	9466	gas	FTX	104	118
12	1993	Fiolen	10911	gas	FTX	105	118
13	1979	Lövsångaren mfl	26719	fjv	F	138	160
14	1982	Mjölet, Dalby	10049	fjv	F/FTX	124	147
15	1968	Rådhusrätten	48807	fjv	F	156	177
16	1985	Östertull	10792	fjv	F/FTX	138	164
17	1956	Grödan	7890	fjv	S	152	184
18	1972	Eddan	22450	fjv	F	177	176
19	1947	Pilelyckan	6984	fjv	F	185	209
20	1965	Ljungen, Dalby	10747	gas	F/S	237	254

Tabell 4.6 Energianvändning (kWh/m²/år) för uppvärmning och varmvatten, kontrollgrupp 2.

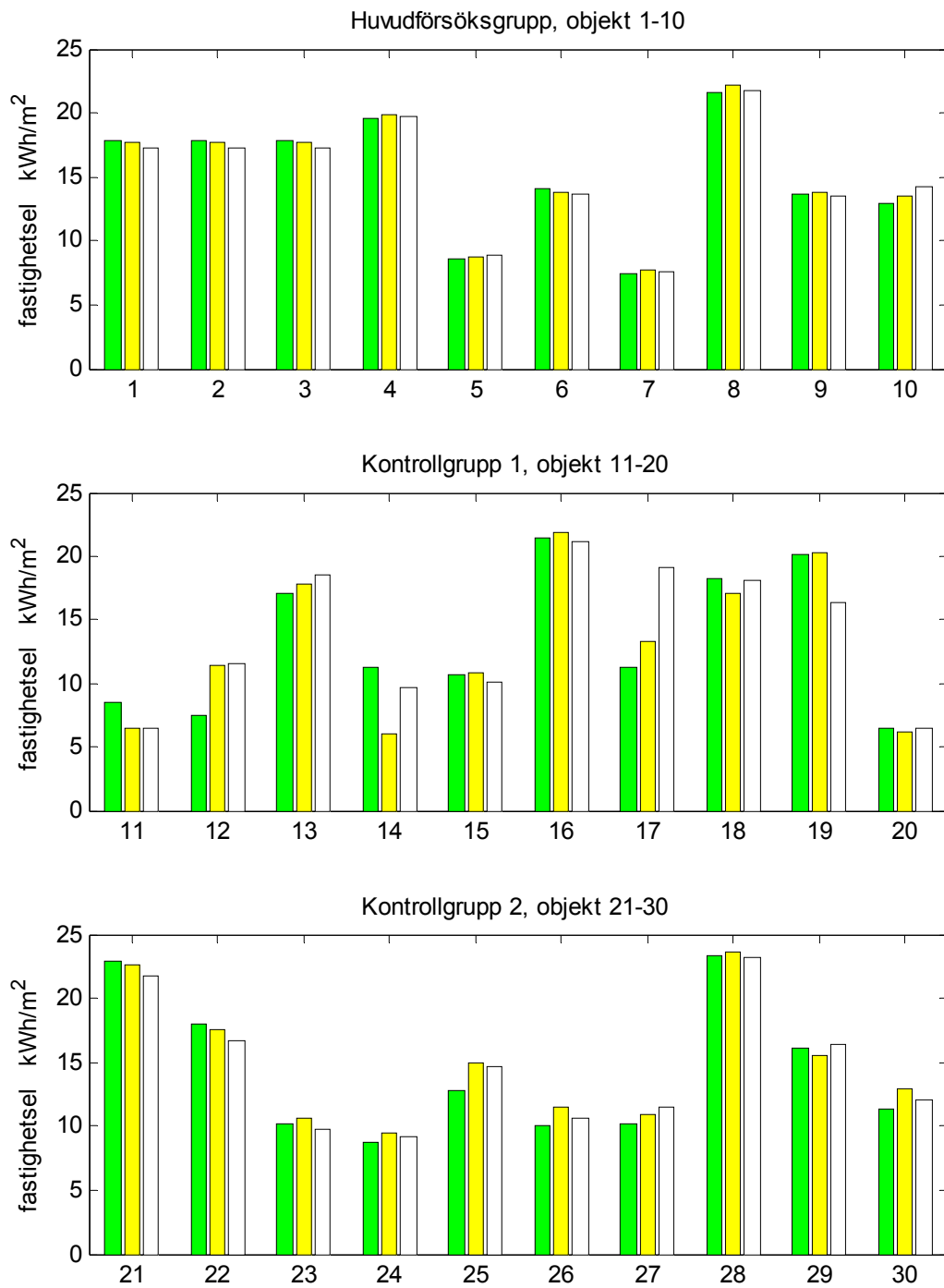
<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>ventila-</i> <i>tionstyp</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2009</i>	<i>kWh/m²</i> <i>2010</i>
21	1959	Dikes- och Sandryggen	12244	fjv/vp	FVP	99	120
22	1985	Svarvaren 34	549	fjv	F	98	111
23	1999	Molnet	2389	fjv	F	96	115
24	1992	Excellensen, m fl	15704	fjv	F	138	157
25	2007	Snäckan	4138	fjv/vp	F	84	98
26	1974	Jägaren 1	15446	fjv	F	157	178
27	1990	Kungsgårdarna	9263	fjv	F	142	165
28	1986	Boplatsen	7214	fjv	F	155	178
29	1998	Snödrivan 2	4059	fjv	F	161	178
30	2006	Jägaren 2	1686	fjv	F	83	92



Figur 4.1 Skattad energianvändning för tappvarmvatten (nedre del) och normalårskorrigerad uppvärmning för 2009 och 2010. För 2011 är årsvärdet uppräknat från jan-juni 2011. (Objekt 1, 2 och 3 har gemensam mätning varför fördelning gjorts på area).



Figur 4.2 Tappvatten (kv+vv) för 2009, 2010 samt 2011. Värdena för 2011 är uppräknade från januari. (Objekt 1, 2 och 3 har gemensam mätning varför fördelning gjorts på area).



Figur 4.3 Fastighetsel för 2009, 2010 samt 2011. Värdena för 2011 är uppräknade från jan-juni. (Objekt 1, 2 och 3 har gemensam mätning varför fördelning gjorts på area).

4.1 Reglerkurvor för objekt 1-10

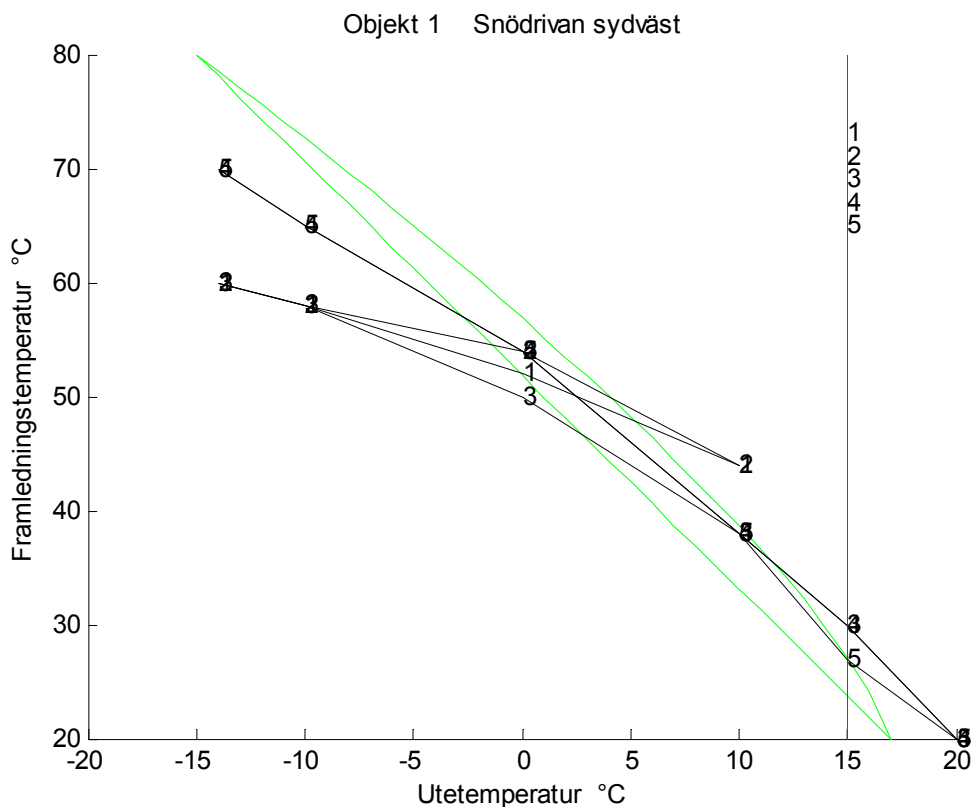
Den ideala reglerkurvan bestäms av att värmeavgivningen för ett radiatorsystem ökar mer än linjärt med ökande temperaturskillnad, eftersom den konvektiva delen ökar på grund av högre lufthastighet förbi radiatorsystemets ytor. Detta innebär att när värmebehovet fördubblas ska framledningstemperaturen relativt inlettemperatur inte fördubblas fullt ut. Det ideala sambandet mellan framledningstemperatur, inlettemperatur och utetemperatur kan skrivas

$$\left(\frac{T_{fram} - T_i}{T_{fram\ dim} - T_{i\ dim}} \right)^n = \frac{(T_{gräns} - T_{ute})}{(T_{gräns} - T_{ute\ dim})} \quad (-) \quad (4.1)$$

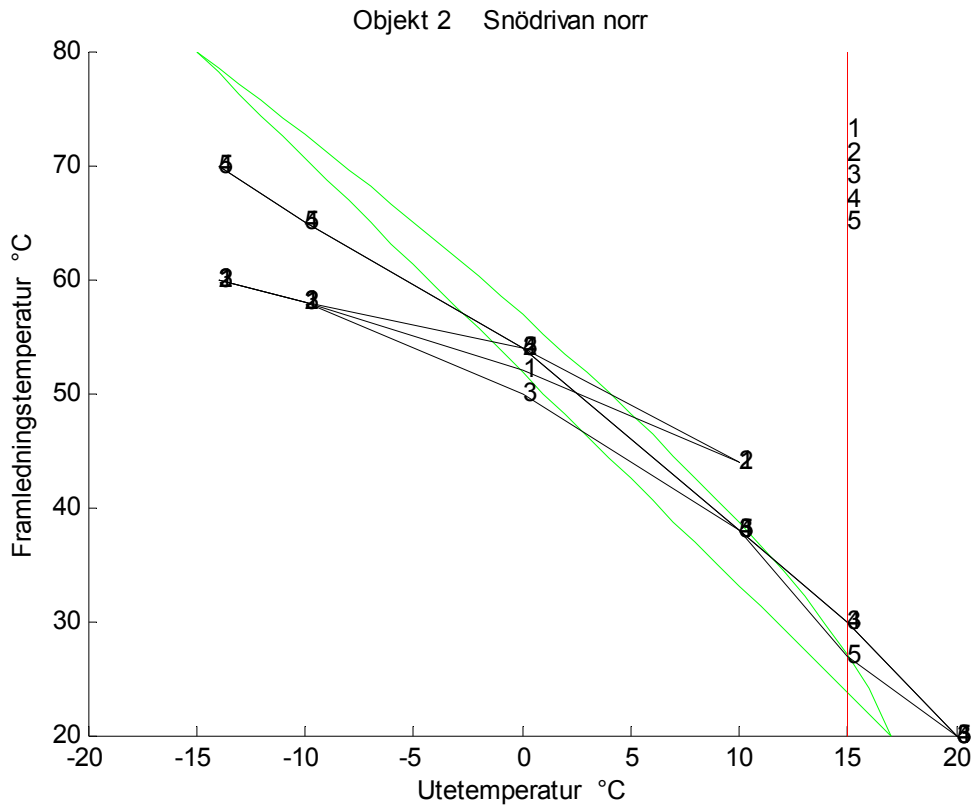
där n radiatorexponenten
 T_{fram} , $T_{fram\ dim}$ framledningstemperatur, normal och dimensionerande
 $T_{gräns}$ byggnadens gränstemperatur
 T_{ute} , $T_{ute\ dim}$ utetemperatur, normal och dimensionerande

De reglerkurvor som använts efter 2009 redovisas i Figur 4.4 – Figur 4.13 och siffervärden med tidpunkter för ändring i appendix E. De ljusa linjerna representerar hur reglerkurvan enligt (4.1) skulle ha sett ut med dimensionerande utetemperatur -15°C och inlettemperatur 20°C och med gränstemperatur 17°C samt radiatorexponenten 1 respektive 1.3. De vertikala linjerna omkring 15°C anger när värmeförseln stängs av genom pumpstopp.

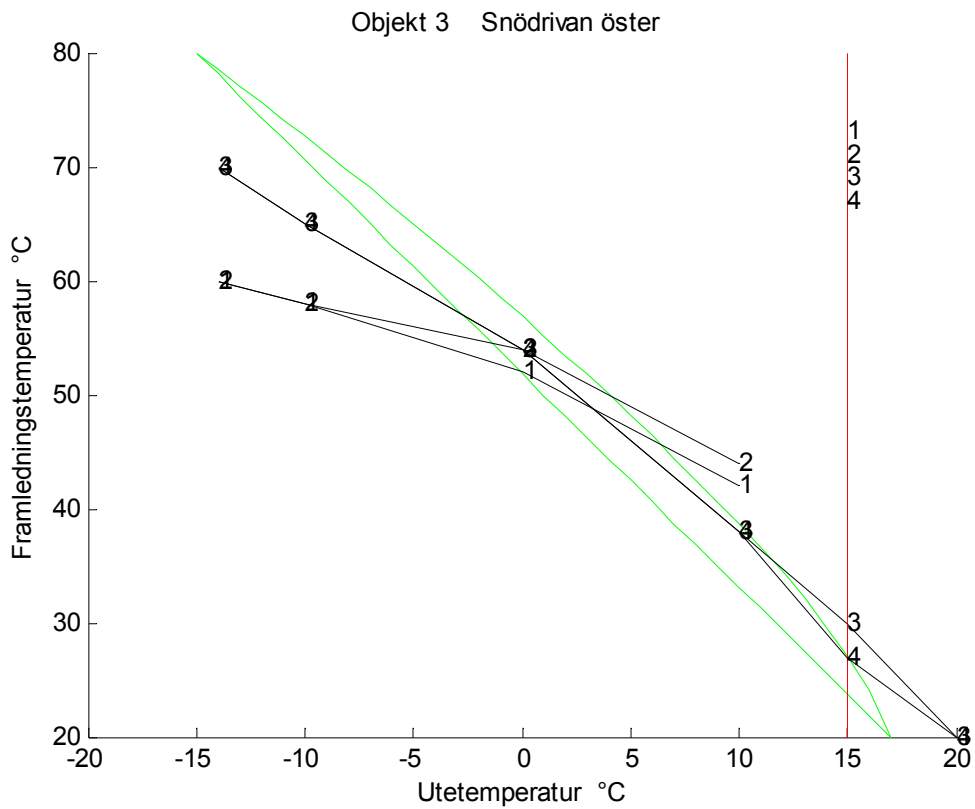
En jämförelse mellan använda reglerkurvor och referenskurvorna visar att använda kurvor oftast ligger något högre, utom vid mycket låga utetemperaturer. Att man vid låga utetemperaturer kan ha en betydligt lägre framledningstemperatur än den dimensionerande framledningstemperaturen är ett tecken på att värmesystemet är överdimensionerat. Ytterligare en iakttagelse är att $T_{gräns}$ i flera fall är anmärkningsvärt hög, nyare välisolerade byggnader torde ha betydligt lägre gränstemperatur.



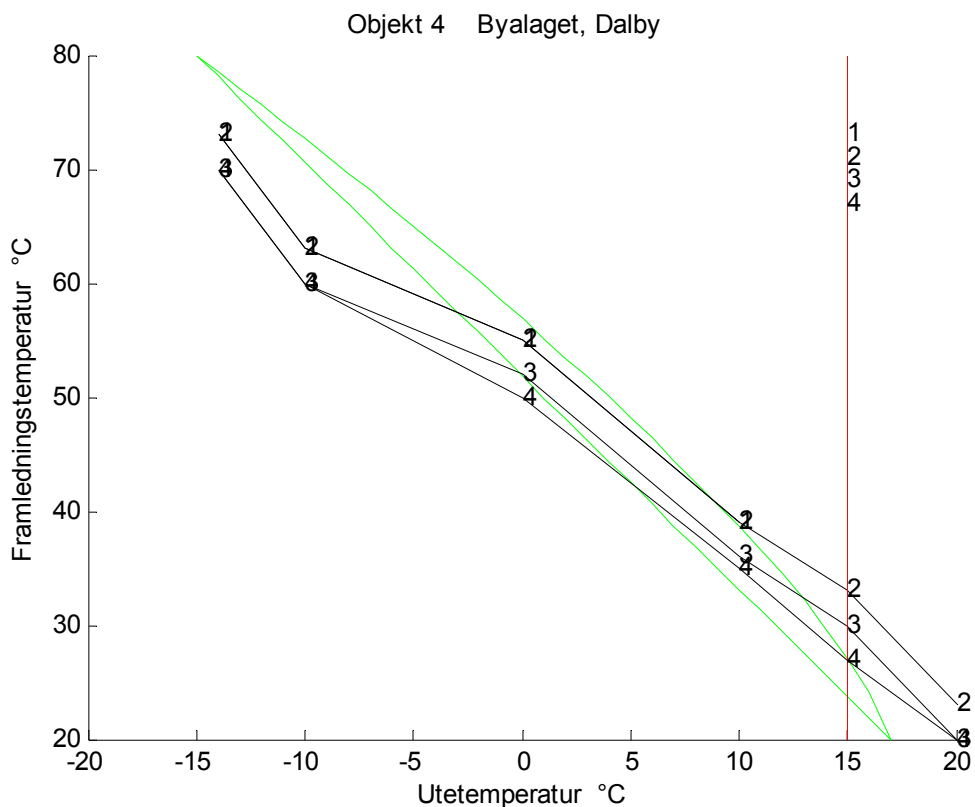
Figur 4.4 Reglerkurvor som använts 2009-2011 för objekt 1, Snödrivan sydväst.



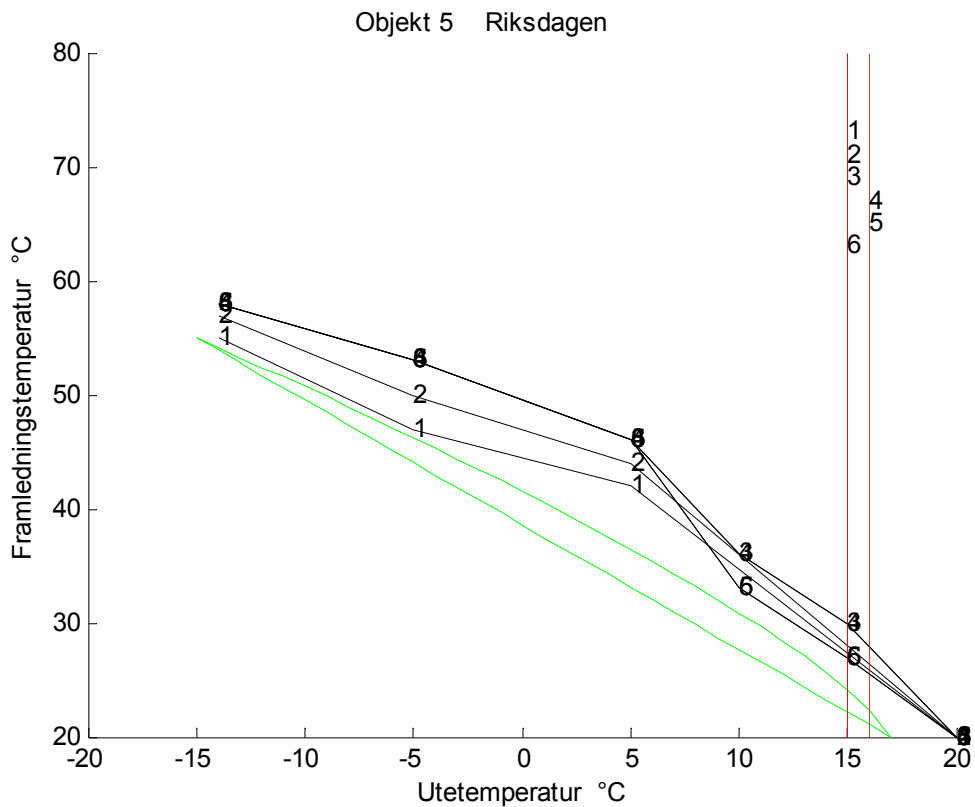
Figur 4.5 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 2, Snödrivan norr.



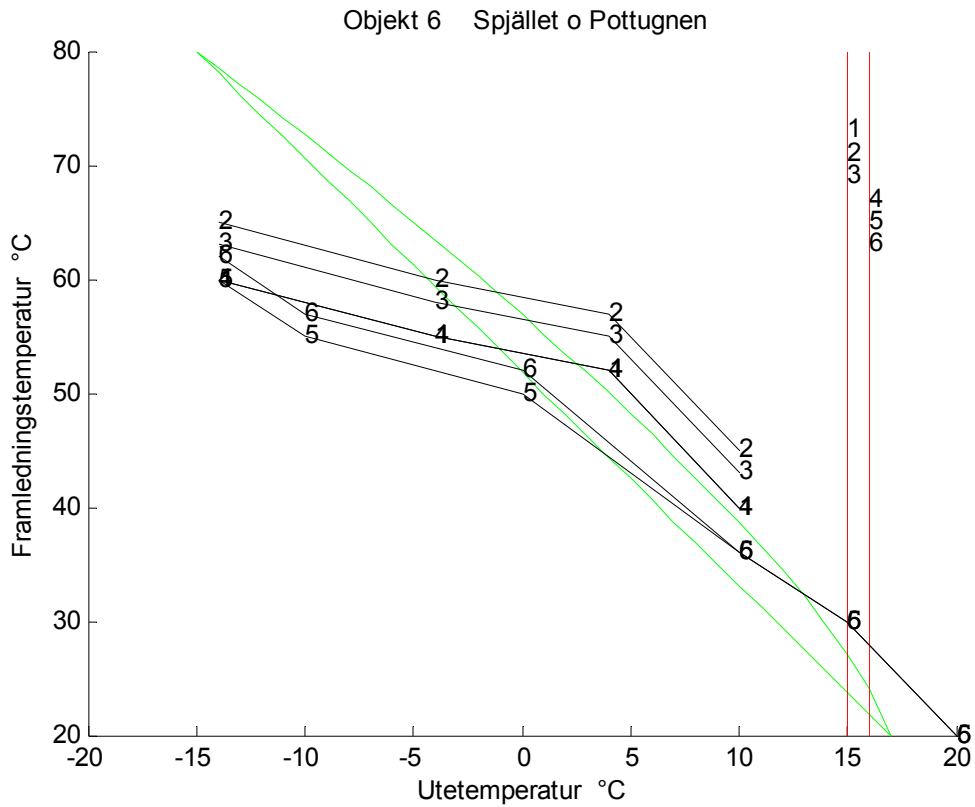
Figur 4.6 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 3, Snödrivan öster.



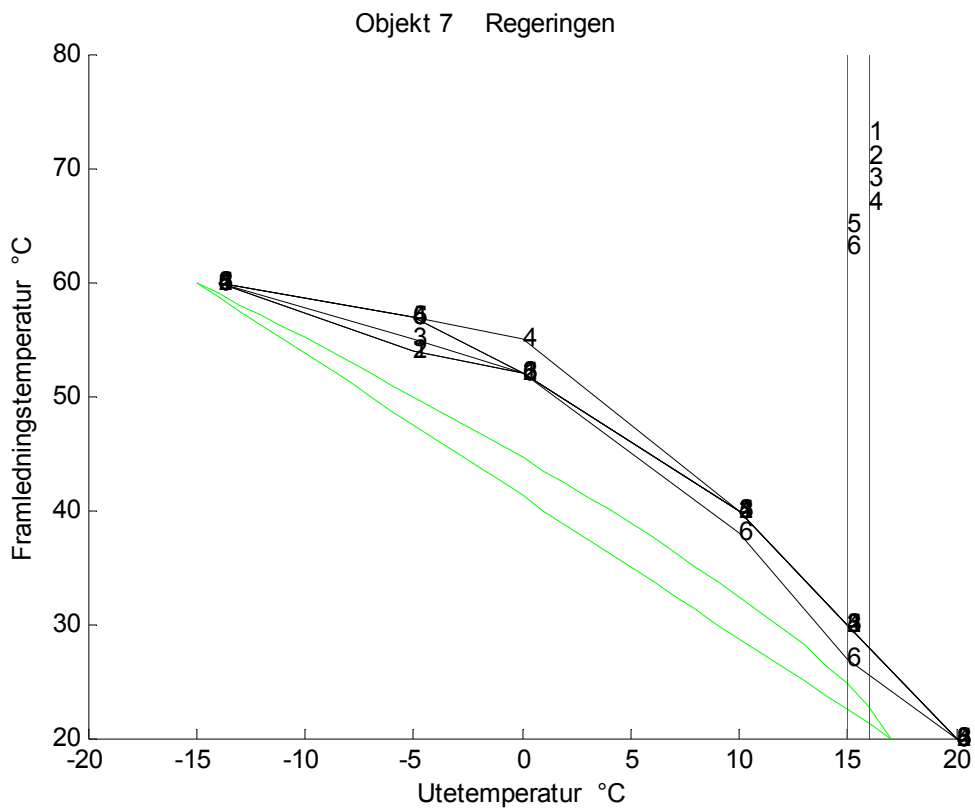
Figur 4.7 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 4, Byalaget, Dalby.



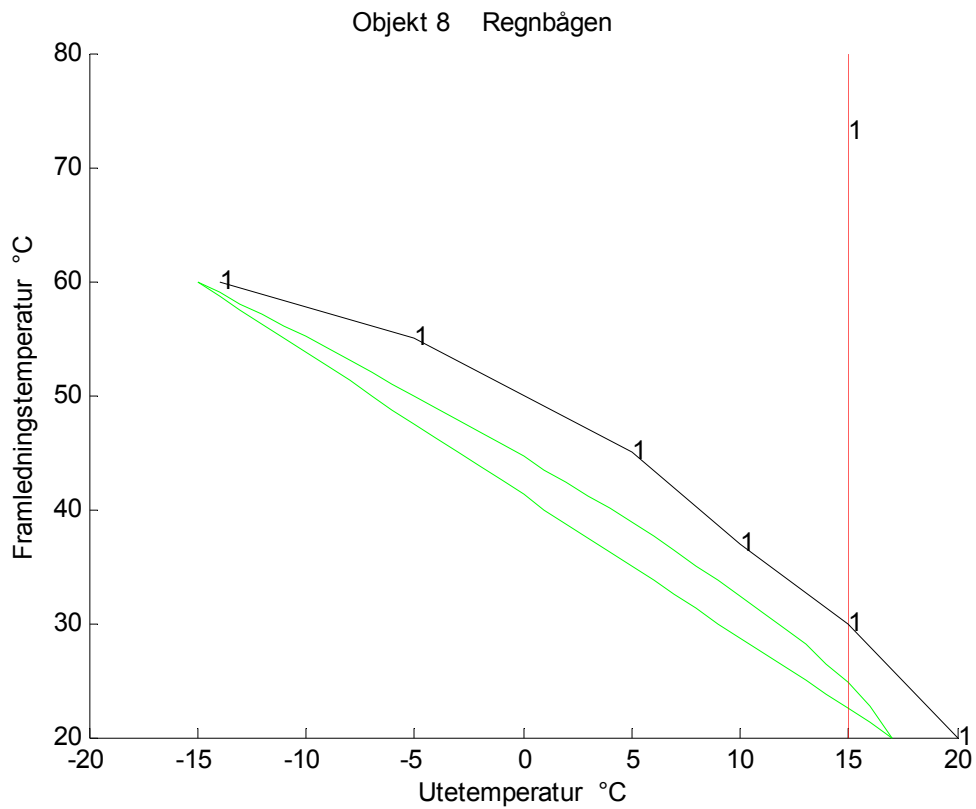
Figur 4.8 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 5, Riksdagen.



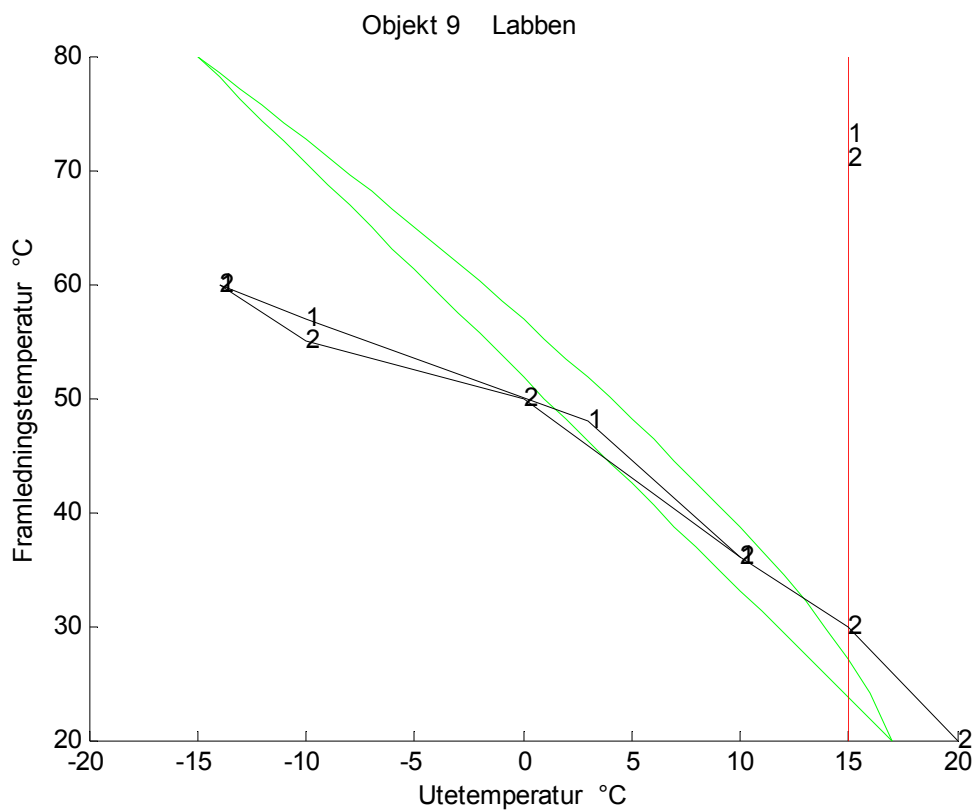
Figur 4.9 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 6, Spjället och Pottugnen.



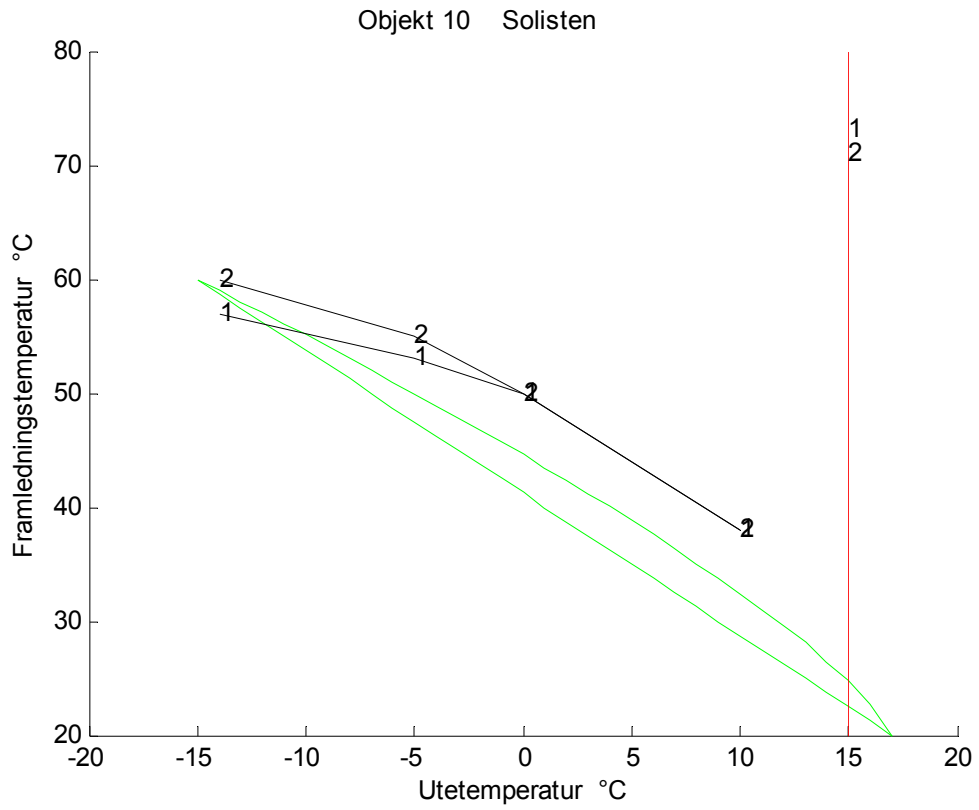
Figur 4.10 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 7, Regeringen.



Figur 4.11 Reglerkurva som använts 2009-2011, för objekt 8, Regnbågen.



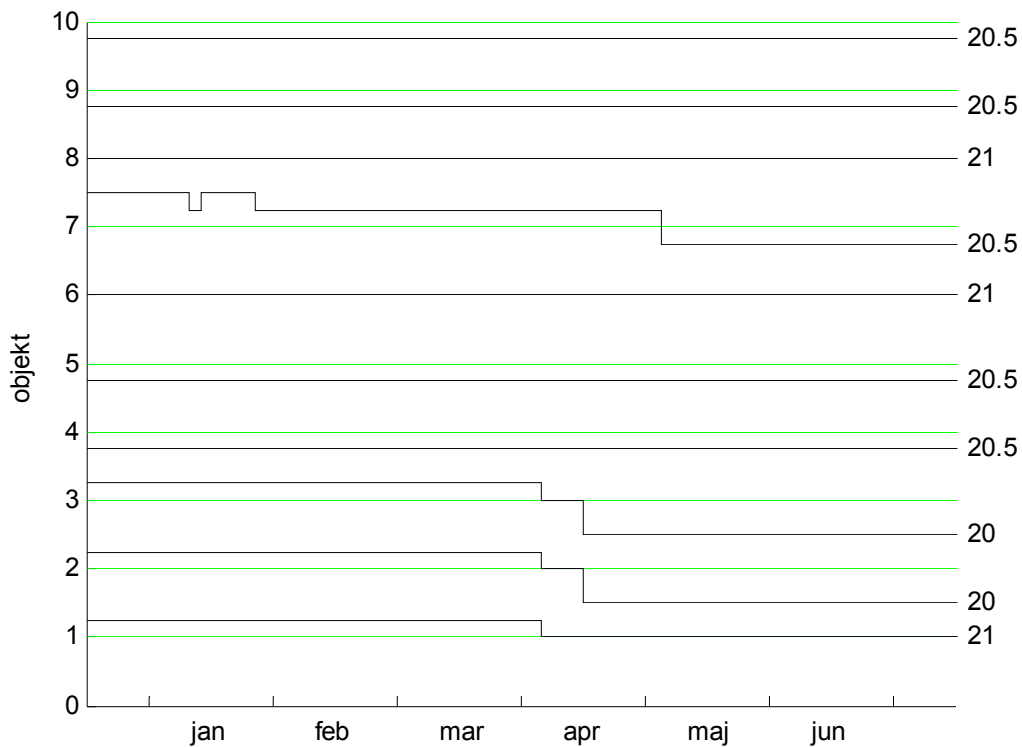
Figur 4.12 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 9, Labben.



Figur 4.13 Reglerkurvor som använts 2009-2011, för objekt 10, Solisten.

Tabell E.3 i Appendix E anger börvärden T_{ir} och valda förstärkningar g , redovisas även i Figur 4.14, som visar att de, utom i ett fall, varit konstanta under månaderna januari, februari och mars. Denna tidsperiod behandlas särskilt i Kapitel 5.

Sänkningen av börvärdet under april med ett fall och under maj med ett fall, Figur 4.14, beror på att den utökade regleringen är begränsad och att börvärdena vid infasningen kan ha blivit för högt satta.



Figur 4.14 Använda börvärden under första halvåret 2011 för de tio objekten, grön linje anger 21°C.

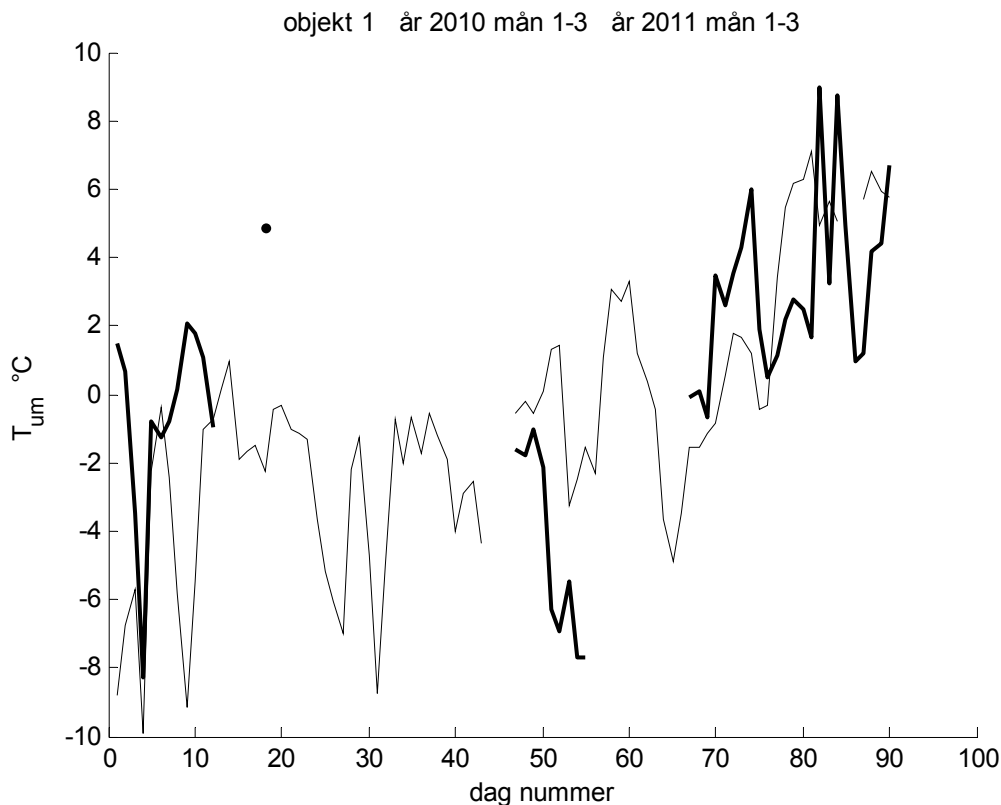
Infasningen av den utökade regleringen har skett med 0.5°C intervall. Börvärdet i början av 2011 är enligt Figur 4.14 för de 10 objekten: 20.5, 21.0, 21.5 och 22.0 i 4, 2, 3 respektive 1 objekt. Avrundningen till 0.5°C innebär ett infasningsfel på $\pm 0.25^\circ\text{C}$, vilket med förstärkningen 10 motsvarar $\pm 2.5^\circ\text{C}$ i framledningstemperatur och omkring $\pm 1^\circ\text{C}$ i innetemperatur.

5 Analys av inomhustemperaturer

I detta kapitel redovisas i avsnitt 5.1 dygnsmedelvärden för utetemperatur och innetemperatur för perioderna januari – mars 2010 och 2011. I avsnitt 5.2 bearbetas dessa data hus för hus för de båda perioderna, bland annat anpassas en regressionslinje för innetemperaturen som funktion av utetemperaturen.

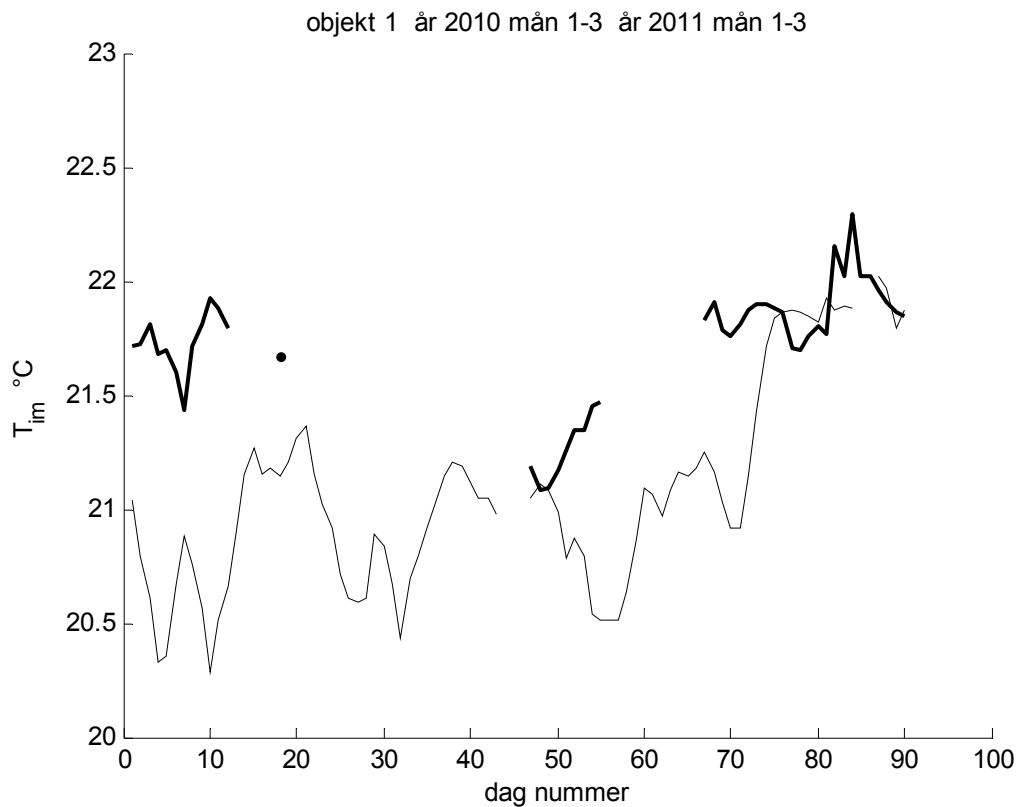
5.1 Dygnsmedelvärden för ute- respektive innetemperatur

I Figur 5.1 redovisas utetemperaturen registrerad med en givare för objekt 1. Tunna linjerna avser år 2010 och feta avser 2011. Här redovisas endast denna utetemperatur eftersom övriga objekt väl följer objekt 1, med undantag av objekt 9 där en något lägre utetemperatur har registrerats, sannolikt beroende på en avvikelse hos givaren. Som tydligt framgår saknas data, för 2010 ett par mindre avbrott och för 2011 två stora avbrott.

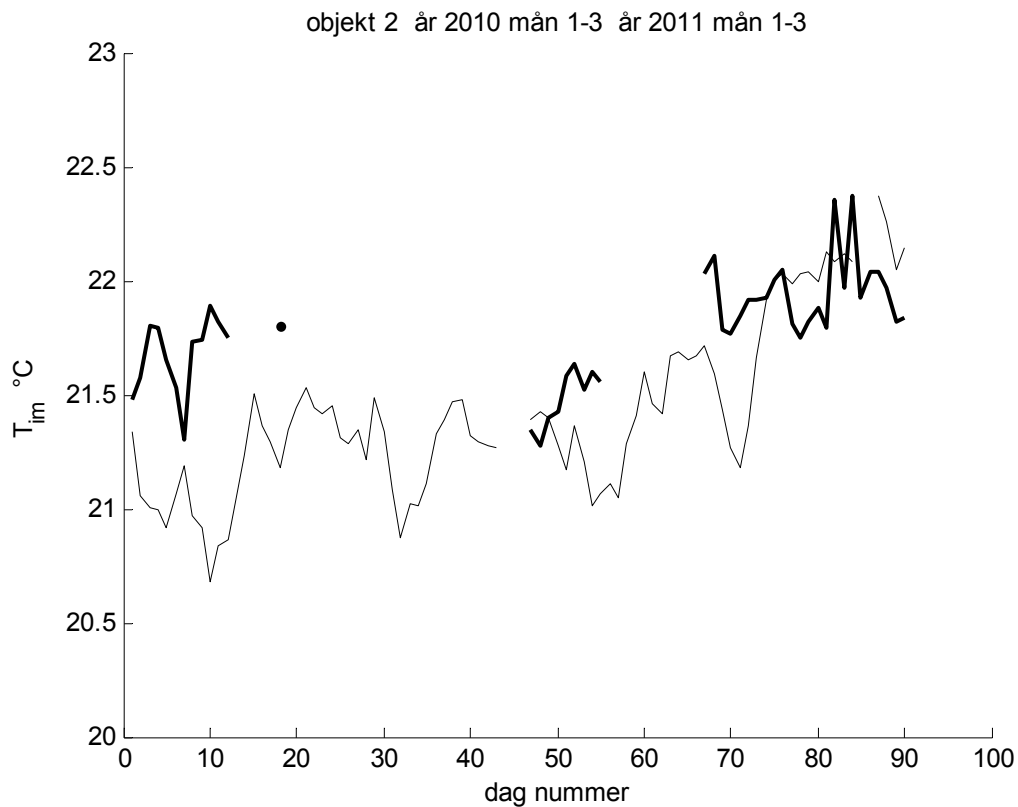


Figur 5.1 Utetemperatur (dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn linje) och 2011 (fet linje). Objekt 1.

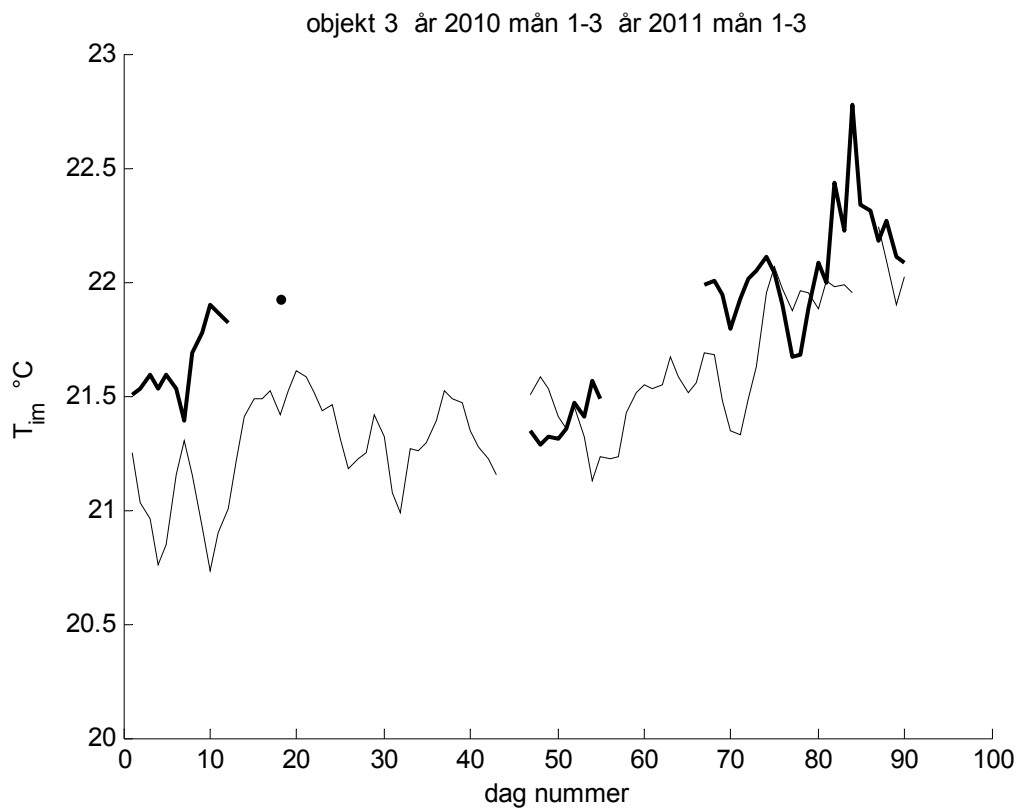
I Figur 5.2 – Figur 5.11 redovisas dygnsmedelvärden för innetemperaturen för objekt 1 – 10. Liksom vid registrering av utetemperaturer saknas det många data för innetemperaturer. Förutom de långa avbrotten har bortfall av givare i ett eller flera rum inom en eller flera lägenheter förekommit. Enligt uppgift från Compwell beror det på att hyresgästen då har kopplat ur hemnoden från kabel-tv-nätet. Vid sådana bortfall lägger Compwells system per automatik innetemperaturen 21°C i mätfilen, vilket innebär att det förekommer ett överskott av 21°C-värden. För att inte få helt missvisande medeltemperaturer i ett objekt har därför detta överskott filterats bort genom att endast behålla så många 21°C-värden som medeltalet av antalet 20.9°C- och 21.1°C-värden.



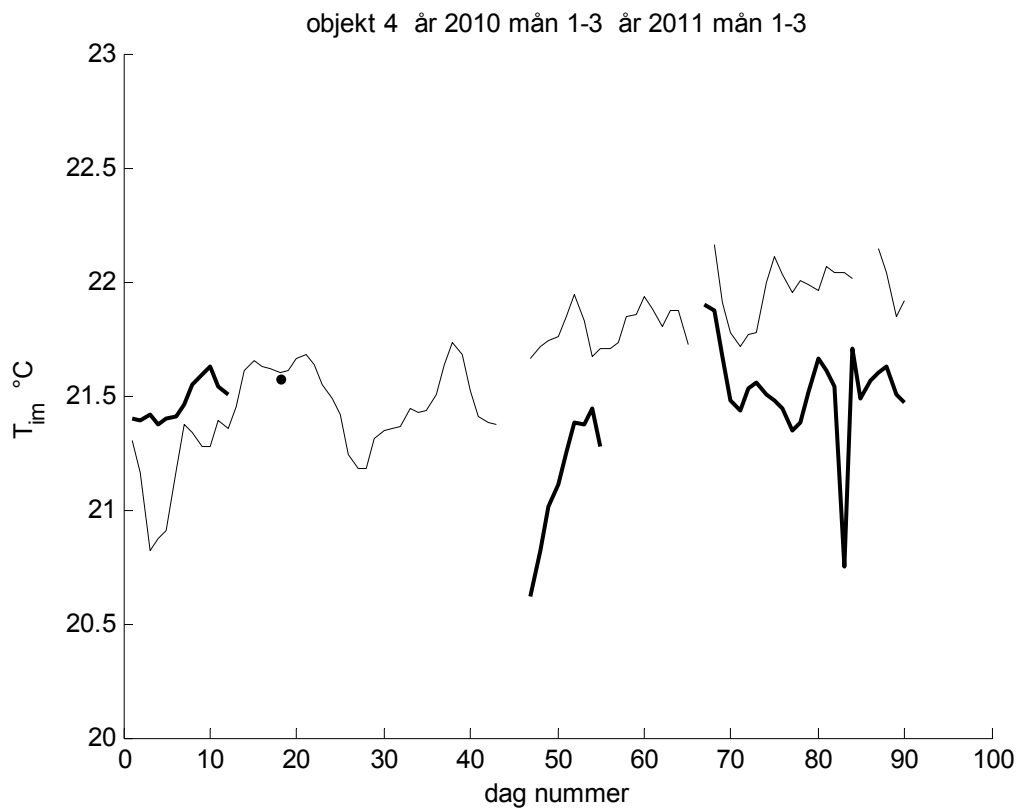
Figur 5.2 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 1.



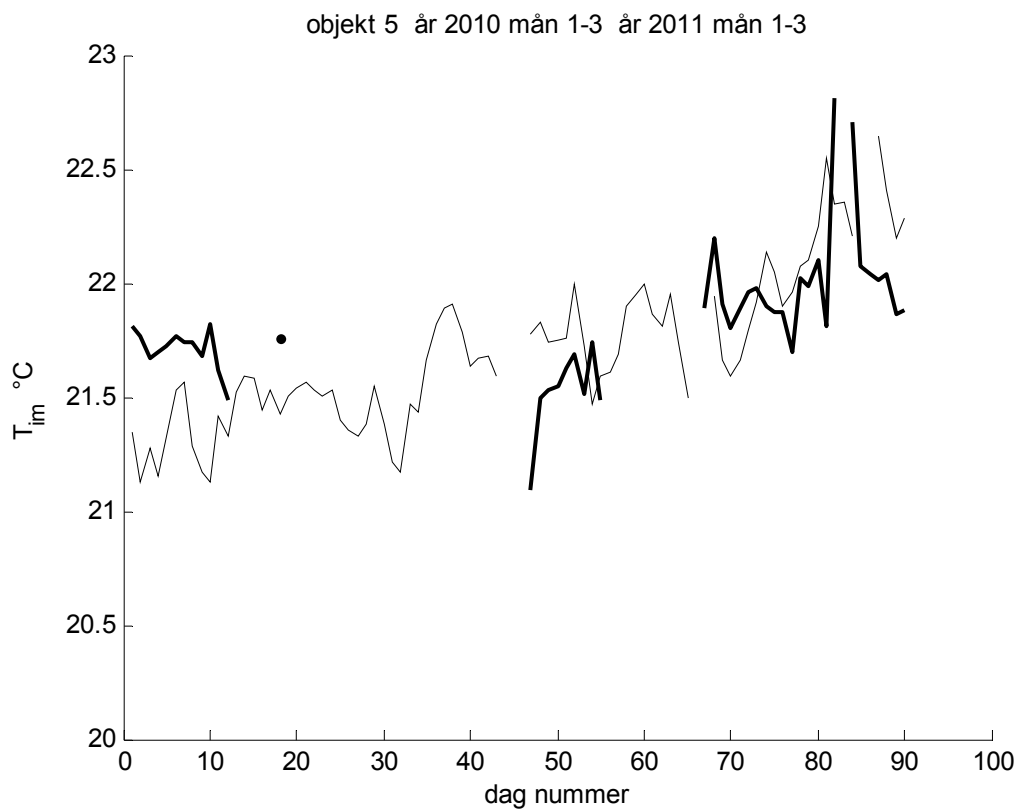
Figur 5.3 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 2.



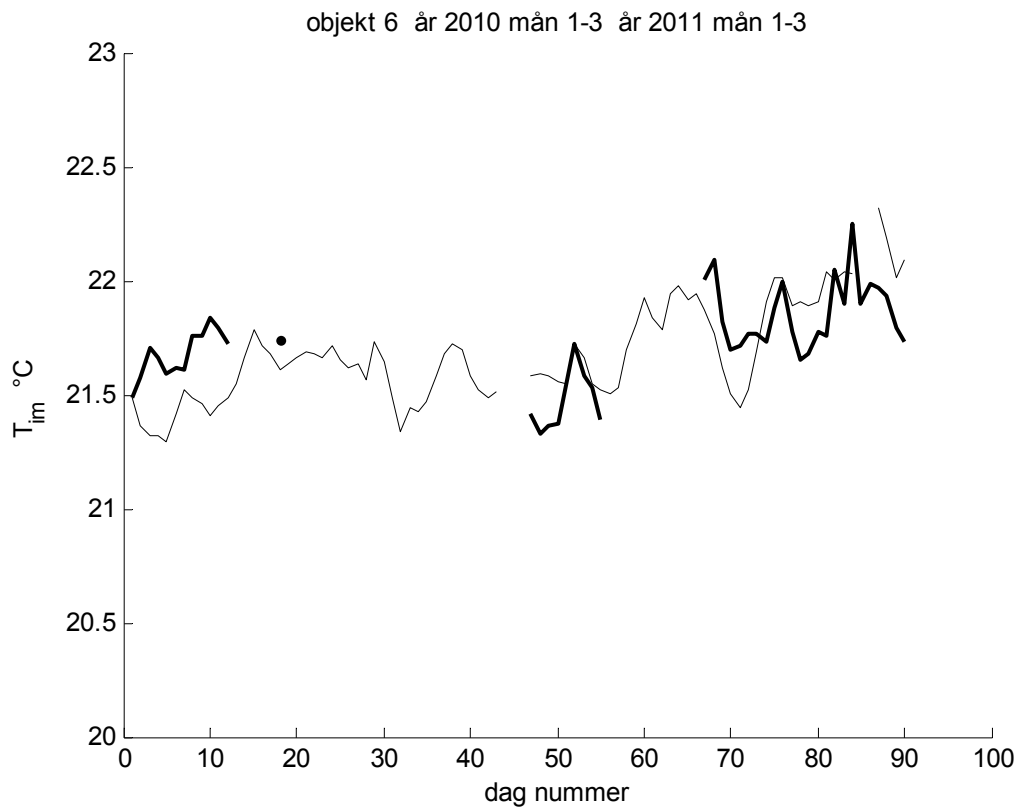
Figur 5.4 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 3.



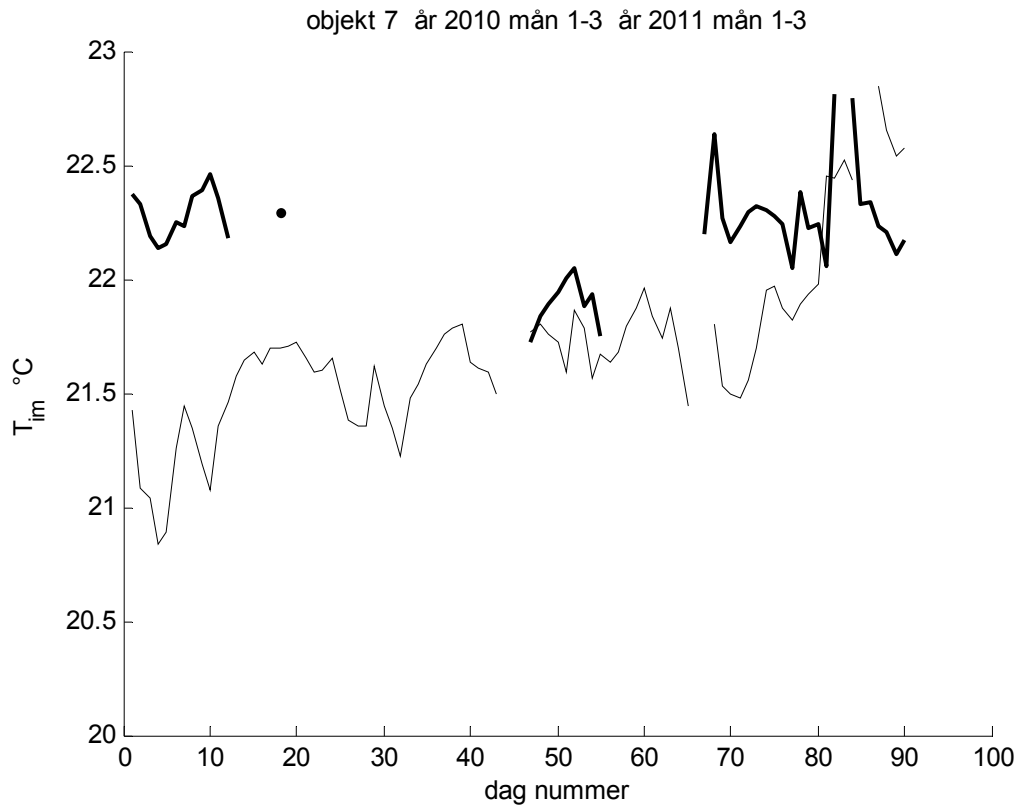
Figur 5.5 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 4.



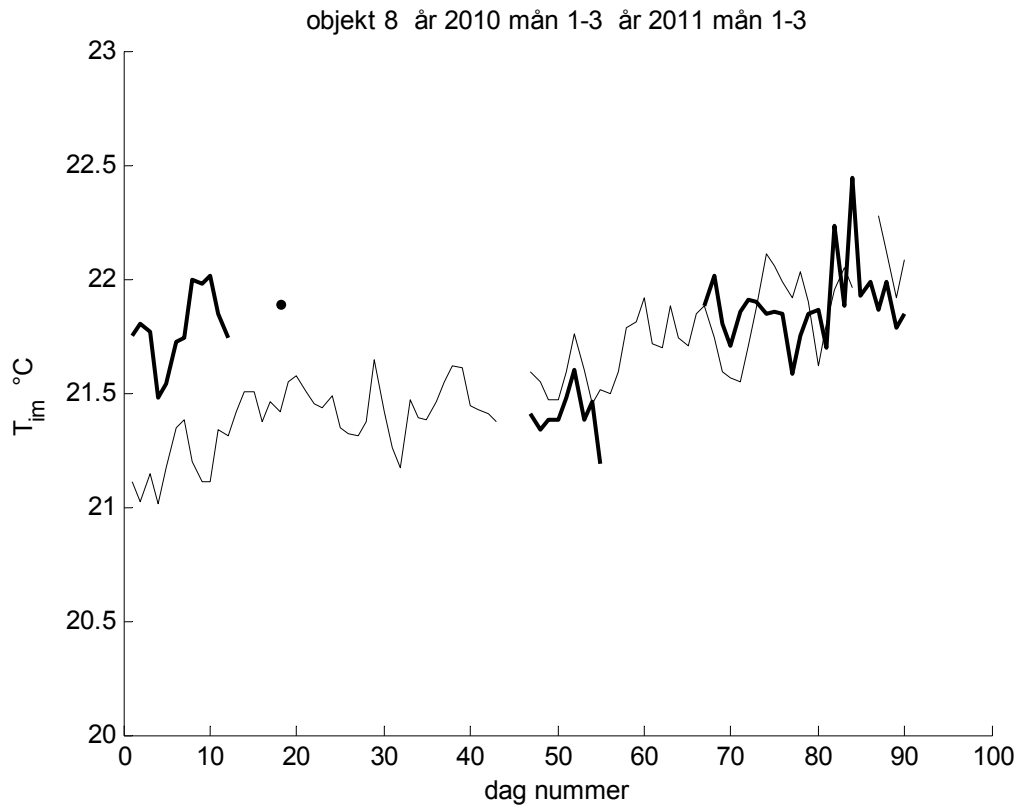
Figur 5.6 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 5.



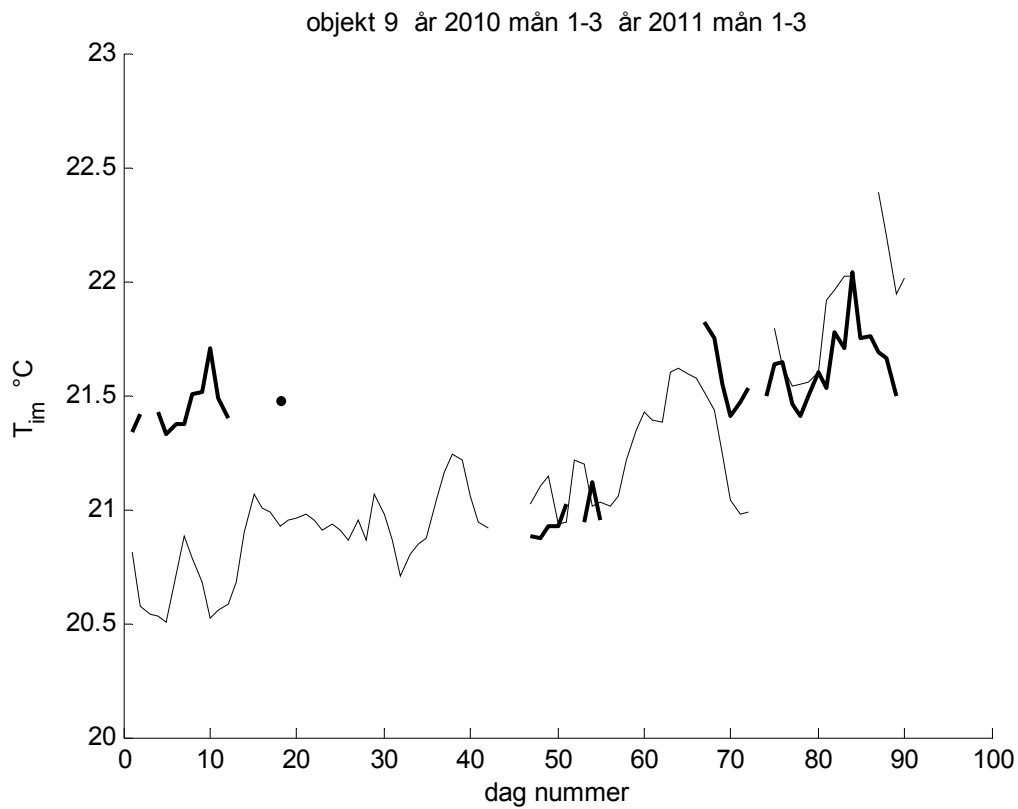
Figur 5.7 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 6.



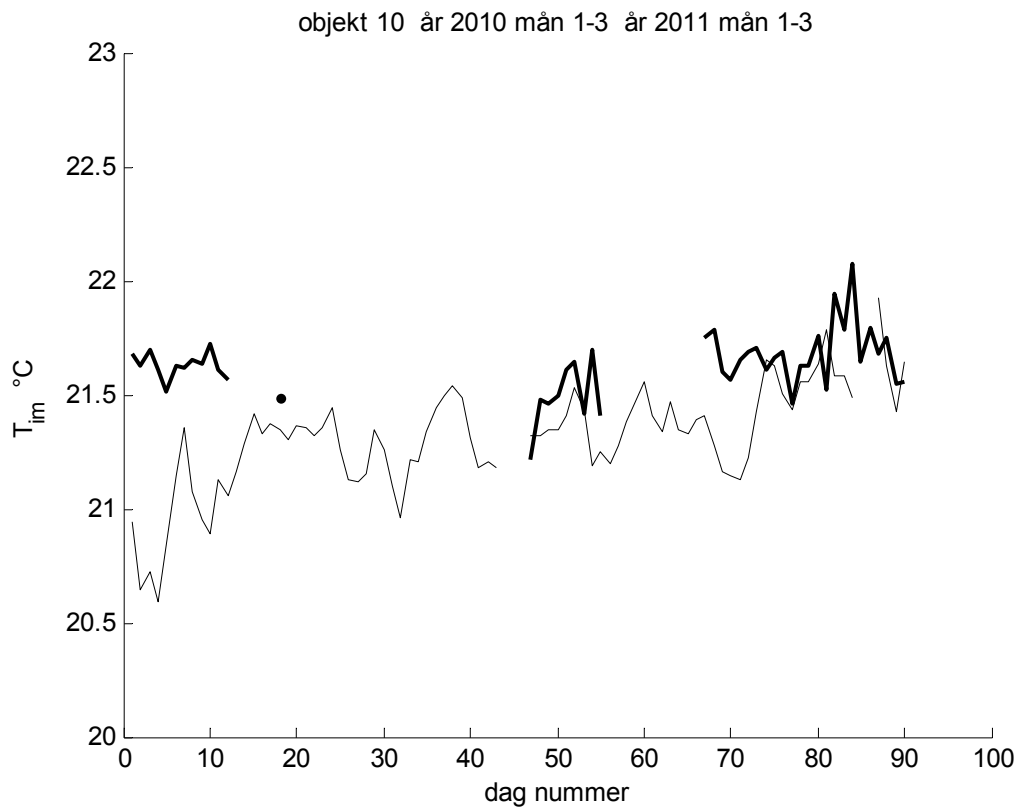
Figur 5.8 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 7.



Figur 5.9 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 8.



Figur 5.10 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 9.



Figur 5.11 Innetemperatur(dygnsmedel) jan – mars, 2010 (tunn) och 2011 (fet). Objekt 10.

5.2 Innetemperaturens utetemperaturberoende

Den utökade regleringen av framledningstemperatur, beskriven i kapitel 2, togs i drift hösten 2010. Det finns alltså en vårsäsong utan och en med denna reglering. För att se hur regleringen av framledningstemperaturen har påverkat innetemperaturen har en analys av perioden januari – mars för de båda åren 2010 och 2011 genomförts. April har inte tagits med eftersom denna månad 2011 var mycket varmare än normalt. Huvudsyftet med temperaturmätningarna är att utgöra underlag för individuell värmemätning och debitering. Följaktligen är eldningsssäsongen, dvs perioden oktober – april viktigast. I datamaterialet saknas data, dels saknas enstaka 15-minutersvärden, fler ju längre in i en månad man kommer, dels finns bortfall på många dygn i följd. När data saknas fyller systemet i värdet 21°C, vilket innebär att denna temperatur är avsevärt överrepresenterad i mätdata. För att sälla bort oäkta 21°C-värden har antagits att det bör finnas i princip lika många temperaturer som är 20.9°C respektive 21.1°C. Vid fortsatt bearbetning av mätdata har endast så många 21°C-värden som motsvaras av medelvärdet av antalet värden för 20.9°C respektive 21.1°C behållits.

Vid beräkning av medeltemperatur för ett dygn bör bortfallet av data vara begränsat. Här har valts att antalet godkända mätvärden från en temperaturgivare under ett dygn måste vara minst hälften av antalet möjliga för att det dygnet ska tas med. För januari – mars 2010 finns ca 80 godkända dygn och för samma period 2011 endast ca 30, att jämföra med 89 möjliga dygn. Ytterligare begränsning är att endast innetemperaturer för tidpunkter då utetemperaturen (dygnsmedel) varit mellan -15°C och +15°C har tagits med.

För de tio objekten i huvudförsöksgruppen redovisas i Figur 5.12 – Figur 5.31 dygnsmedelvärden för perioden januari – mars för 2010 respektive för 2011. I ovankant av varje diagram redovisas innetemperaturen som funktion av utetemperaturen erhållen med linjär regression enligt ekv (5.1). Där redovisas också det kvadratiske medelvärdet av felet (T_{rms}), där felet är skillnaden mellan modellens beräknade värde och aktuell observation. T_{rms} är ett mått på felets storlek.

$$T_i(t) = k \cdot T_u(t) + l \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.1)$$

I Tabell 5.1 redovisas, för objekt 1 – 10, antalet dygnsvärden n_i , antalet rum med uppmätta temperaturvärden n_T , modellparametrarna T_{0C} och k , modellfelets rotmedelkvadrat T_{rms} , innetemperaturens medelvärde T_{im} och standardavvikelse T_{istd} samt utetemperaturens medelvärde T_{um} och standardavvikelse T_{ustd} redovisas för jan – mars 2010 respektive 2011.

Vad man kan iakttaga vid jämförelse mellan figurerna är att lutningen generellt har minskat från 2010 till 2011, dvs innetemperaturen varierar mindre med utetemperaturen, medeltemperaturen för objekten har blivit högre enligt Tabell 5.1 och 5.2 och därmed torde även energianvändningen ha ökat, vilket behandlas i nästa kapitel.

Av värdena för T_{um} och T_{ustd} , i Tabell 5.1 respektive Tabell 5.2, kan man dra slutsatsen att vissa objekt har samma utegivare. År 2010 gäller det objekt 2 och 3, objekt 6, 8 och 10 samt objekt 4 och 7. Det senaste något märkligt eftersom objekt 4 är beläget i Dalby medan objekt 7 finns i Lund. År 2011 kan samma sak iakttagas för objekt 1, 2 och 3 samt 6, 8 och 10. Här skiljer sig alltså objekt 4 och 7 åt, frågan är om objekt 4 inte hade egen givare 2010 trots det geografiska avståndet.

Siffrorna ur Tabell 5.1 och Tabell 5.2 redovisas i Figur 5.32 – Figur 5.35 för utetemperaturens medelvärde, innetemperaturens medelvärde, innetemperaturens standardavvikelse samt innetemperaturens utetemperaturberoende eller lutningen k . Värden för 2010 markeras med "x" och för 2011 med "o". Innetemperaturen för 2010 är i medeltal 21.46°C och för 2011 är den 21.73°C för månaderna januari, februari och mars. Standardavvikelsen minskar från 0.32°C för 2010 till 0.20°C för 2011. Lutningen k har i medeltal minskat från 0.063 till 0.036. Utetemperaturens standardavvikelse har minskat något från 3.7°C år 2010 till 3.3°C år 2011. Den relativa minskningen för utetemperaturens standardavvikelse är mindre än både den för standardavvikelsen för innetemperaturen och lutningen (utetemperaturberoendet). Detta visar sammantaget att den utökade regleringen har haft effekt.

Värdena i Figur 5.32 för utetemperaturen visar att 2010 var kallare än 2011 och att innetemperaturen under 2010 var högre än under 2011, Figur 5.33. Innetemperaturens standardavvikelse, Figur 5.34, minskar från 2010 till 2011 liksom innetemperaturens utetemperaturberoende, lutningen k , Figur 5.35. Korrelationskoefficienten ρ anges både i Tabell 5.1 och 5.2 samt i titelraden i Figur 5.12 – Figur 5.31, där även dygnsmedelvärden n_i och antal rumstemperaturer n_T anges. De streckade linjerna i Figur

5.12 – Figur 5.31 anger den mätta temperatur på nivån 2.1 meter över golv som enligt omräkningen, ekv (A.5) Appendix A, ska motsvara 21°C på nivån 1.2 m över golv.

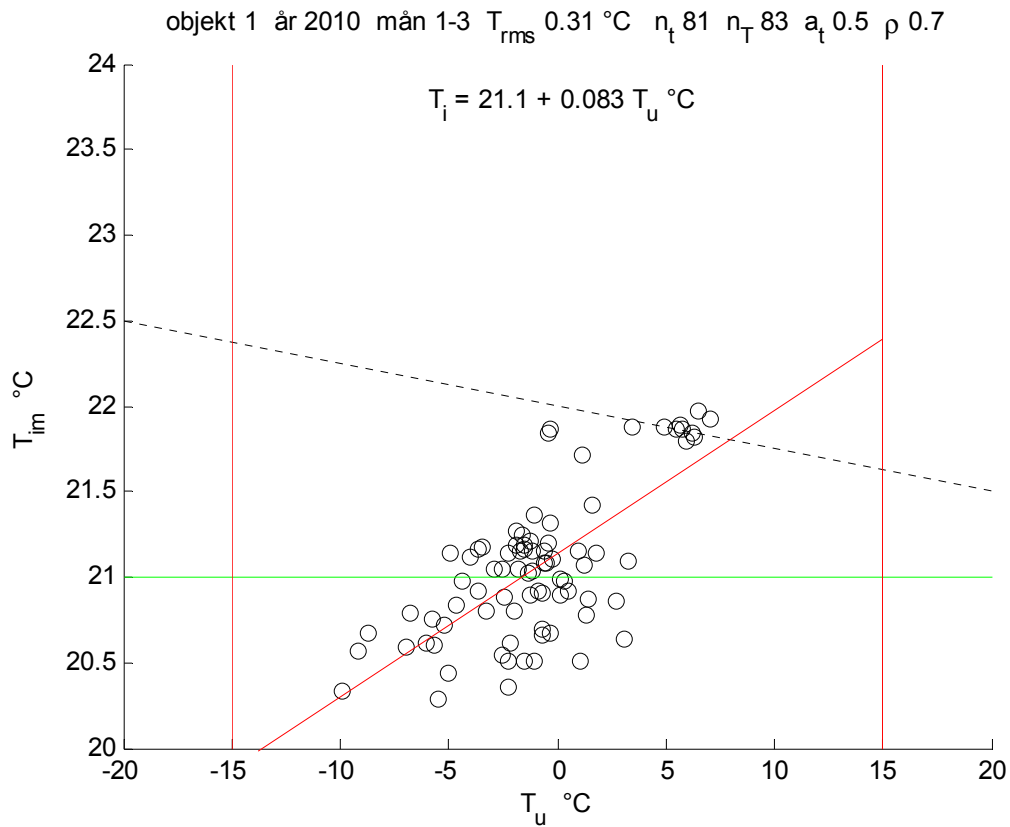
Enligt loggbok i Tabell E.3 har förstärkningen g endast varit 1 i objekt 4, 8 och 10, men innetemperaturberoendet, parametern k , visar på klara förbättringar med siffervärdena 0.059, 0.056 och 0.045 för normal reglering under 2010 respektive 0.030, 0.037 och 0.004 för utökad reglering under 2011. Detta är något förbryllande.

Tabell 5.1 Parametrarna k och l samt T_{rms} , T_{im} , T_{istd} , ρ , T_{um} och T_{ustd} för de tio objekten för år 2010.

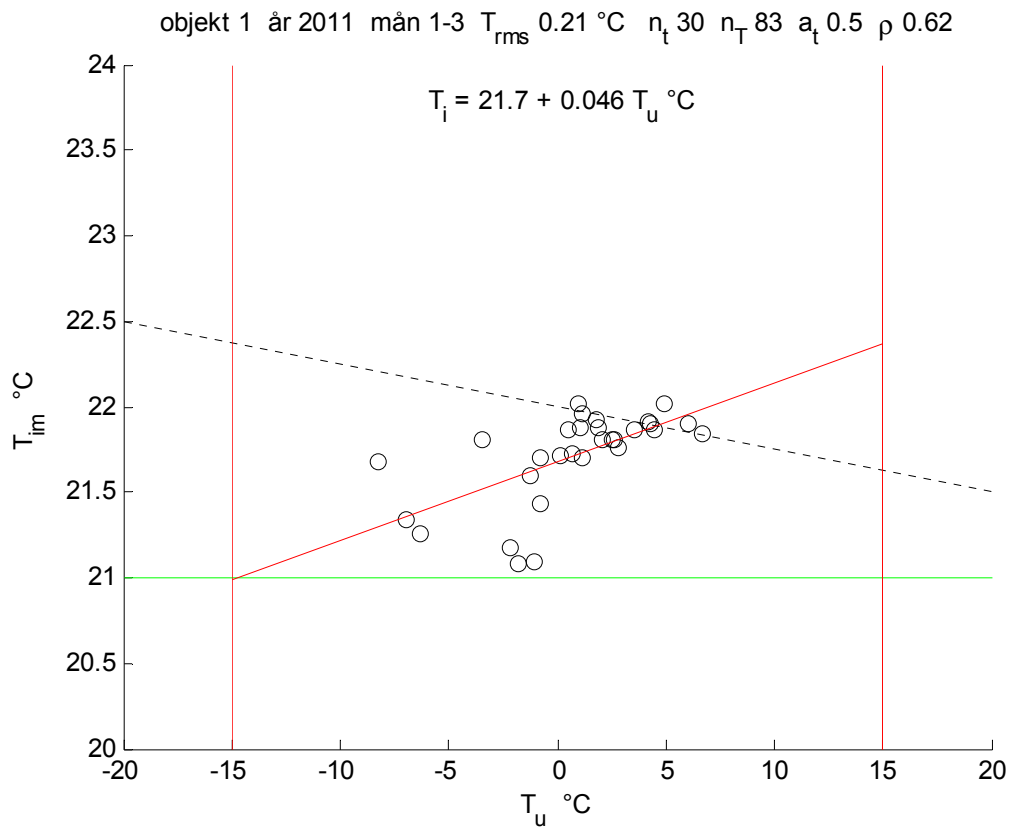
objekt	n_l -	n_T -	k -	l °C	T_{rms} °C	T_{im} °C	T_{istd} °C	ρ -	T_{um} °C	T_{ustd} °C
1	81	83	0.083	21.14	0.306	21.06	0.433	0.702	-0.96	3.638
2	82	198	0.068	21.47	0.267	21.41	0.367	0.683	-0.89	3.676
3	82	301	0.065	21.50	0.204	21.44	0.316	0.760	-0.89	3.676
4	77	257	0.059	21.68	0.188	21.62	0.296	0.768	-1.09	3.818
5	78	269	0.074	21.76	0.158	21.69	0.327	0.873	-1.01	3.859
6	82	780	0.037	21.70	0.159	21.67	0.209	0.640	-0.65	3.655
7	77	261	0.074	21.75	0.203	21.67	0.349	0.810	-1.09	3.817
8	82	381	0.056	21.61	0.168	21.57	0.267	0.772	-0.65	3.656
9	76	216	0.071	21.27	0.287	21.12	0.393	0.679	-2.01	3.758
10	82	496	0.045	21.34	0.152	21.31	0.223	0.731	-0.65	3.657
min			0.037	21.14	0.152	21.06	0.209	0.640	-2.01	3.638
medel			0.063	21.52	0.209	21.46	0.318	0.742	-0.99	3.721
max			0.083	21.76	0.306	21.69	0.433	0.873	-0.65	3.859
std			0.014	0.22	0.057	0.23	0.072	0.069	0.40	0.083

Tabell 5.2 Parametrarna k och l samt T_{rms} , T_{im} , T_{istd} , ρ , T_{um} och T_{ustd} för de tio objekten för år 2011.

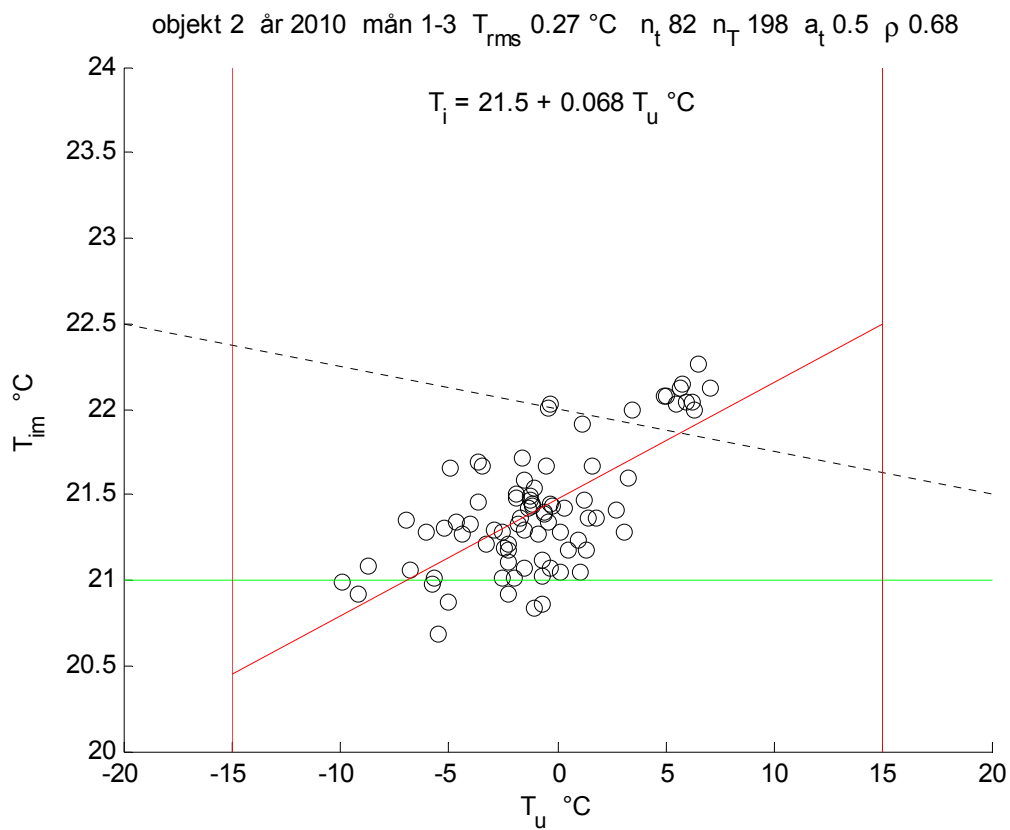
objekt	n_l -	n_T -	k -	l °C	T_{rms} °C	T_{im} °C	T_{istd} °C	ρ -	T_{um} °C	T_{ustd} °C
1	30	83	0.046	21.68	0.208	21.71	0.269	0.619	0.69	3.601
2	30	198	0.029	21.75	0.184	21.77	0.215	0.489	0.69	3.601
3	30	301	0.067	21.76	0.208	21.80	0.322	0.754	0.69	3.601
4	30	257	0.030	21.41	0.160	21.45	0.189	0.508	1.06	3.149
5	27	269	0.031	21.77	0.122	21.80	0.162	0.639	0.91	3.287
6	32	780	0.022	21.70	0.147	21.72	0.167	0.443	1.02	3.359
7	27	261	0.023	22.18	0.136	22.20	0.157	0.479	0.91	3.288
8	32	381	0.037	21.73	0.146	21.76	0.193	0.641	1.02	3.360
9	23	216	0.069	21.48	0.151	21.46	0.231	0.742	-0.40	2.470
10	32	496	0.004	21.62	0.081	21.62	0.084	0.175	1.02	3.360
min			0.004	21.41	0.081	21.45	0.084	0.175	-0.40	2.470
medel			0.036	21.71	0.154	21.73	0.199	0.549	0.76	3.308
max			0.069	22.18	0.208	22.20	0.322	0.754	1.06	3.601
std			0.020	0.21	0.039	0.21	0.066	0.171	0.43	0.332



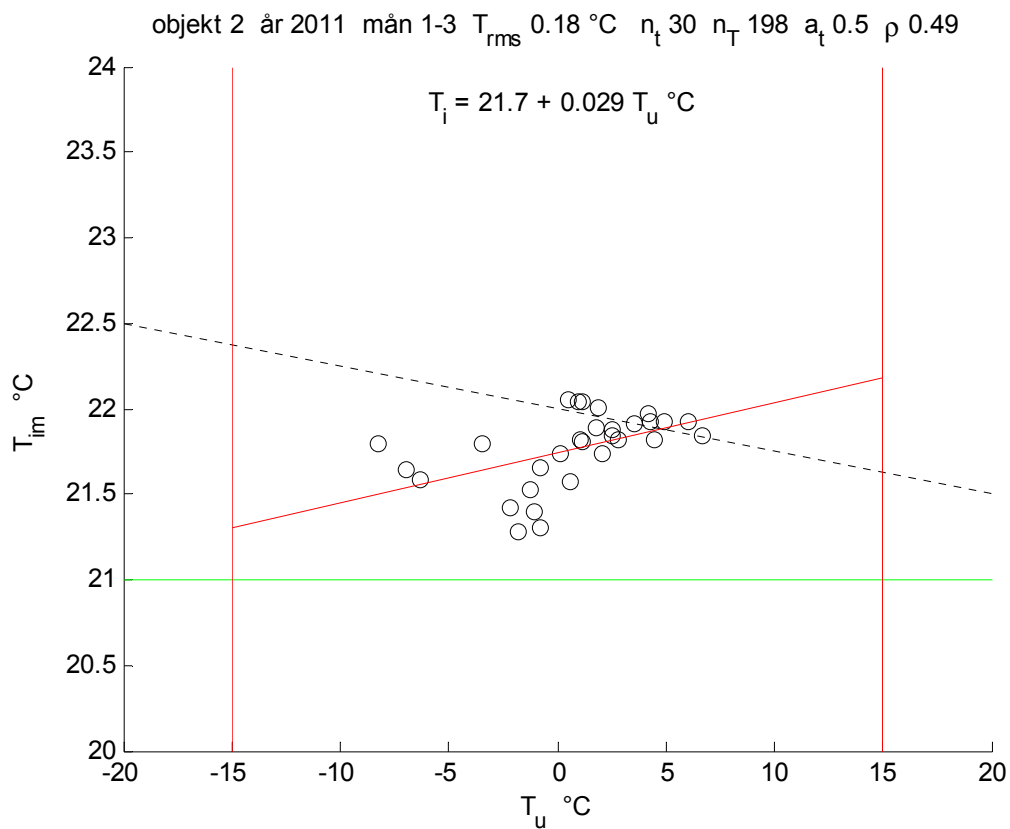
Figur 5.12 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 1, 2010.



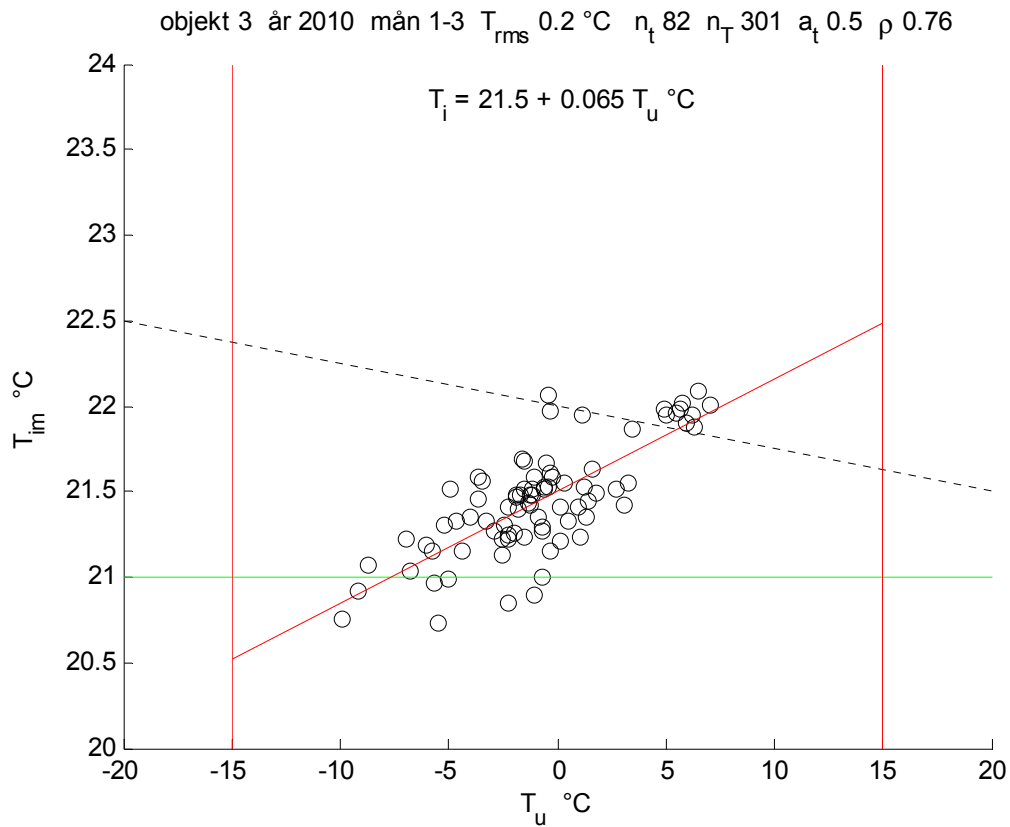
Figur 5.13 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 1, 2011.



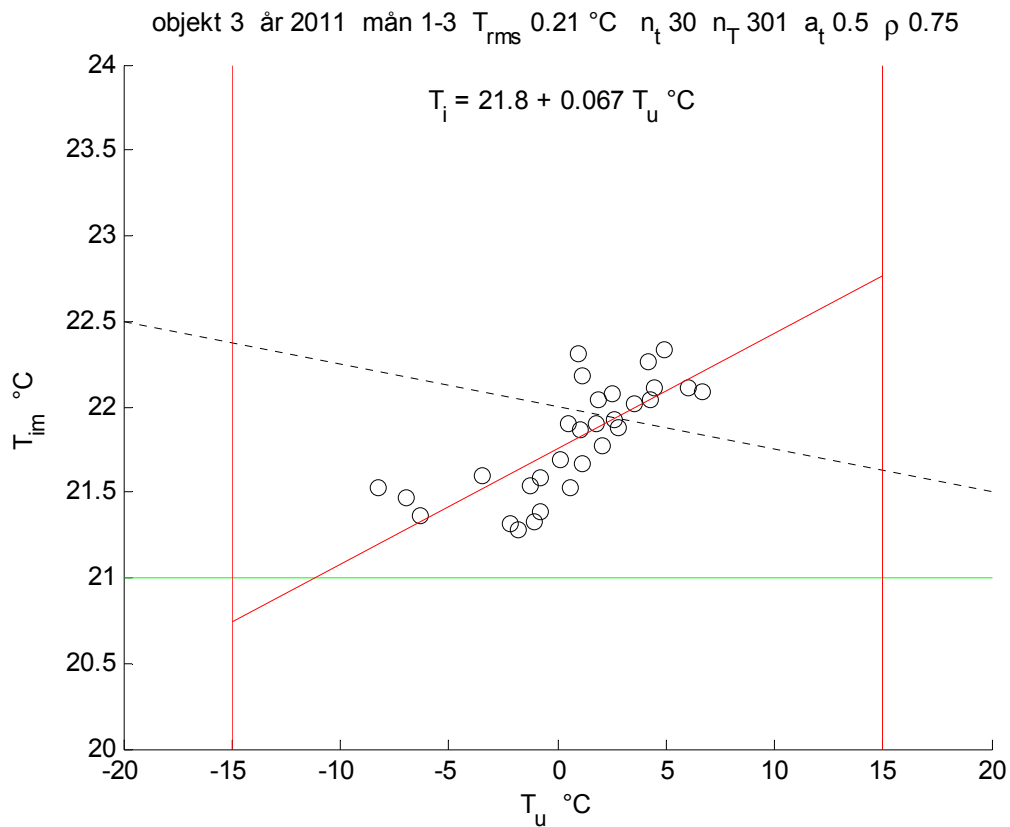
Figur 5.14 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 2, 2010.



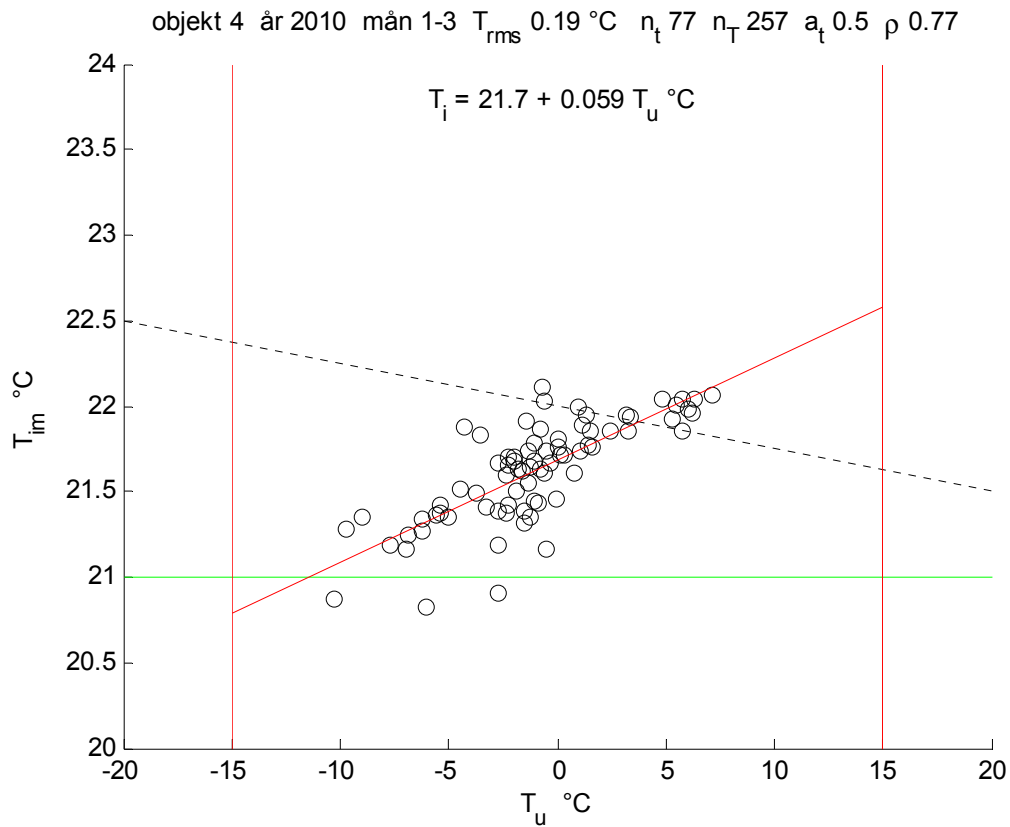
Figur 5.15 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 2, 2011.



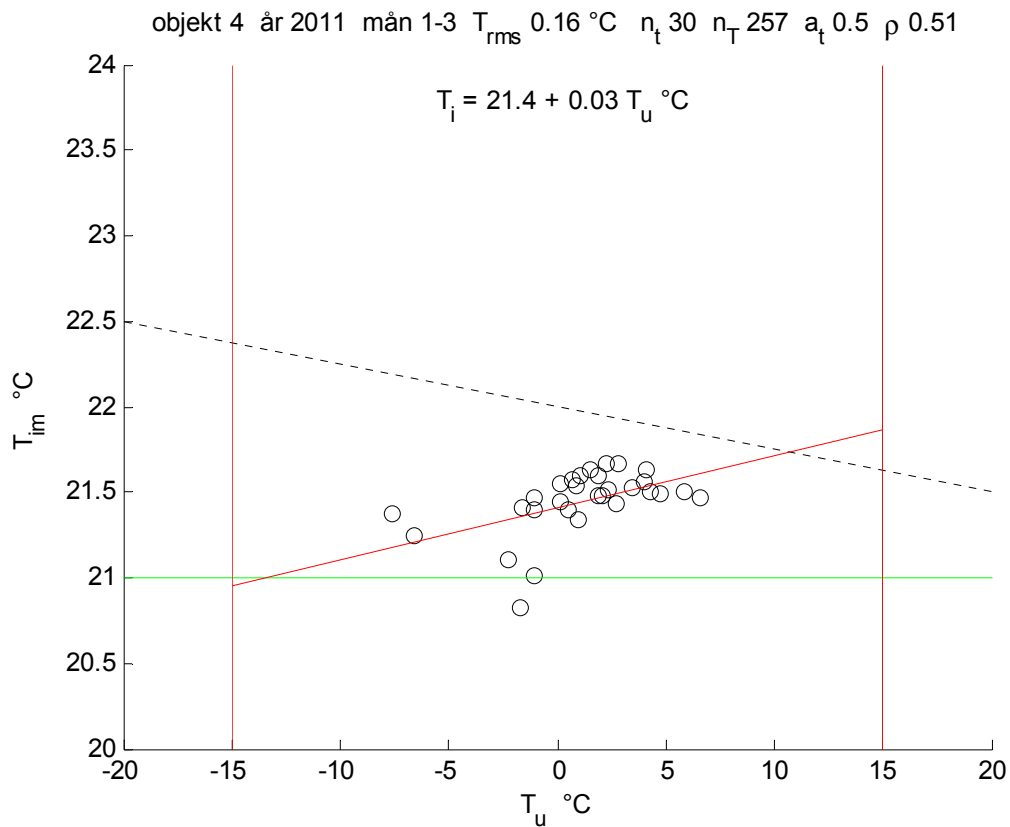
Figur 5.16 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 3, 2010.



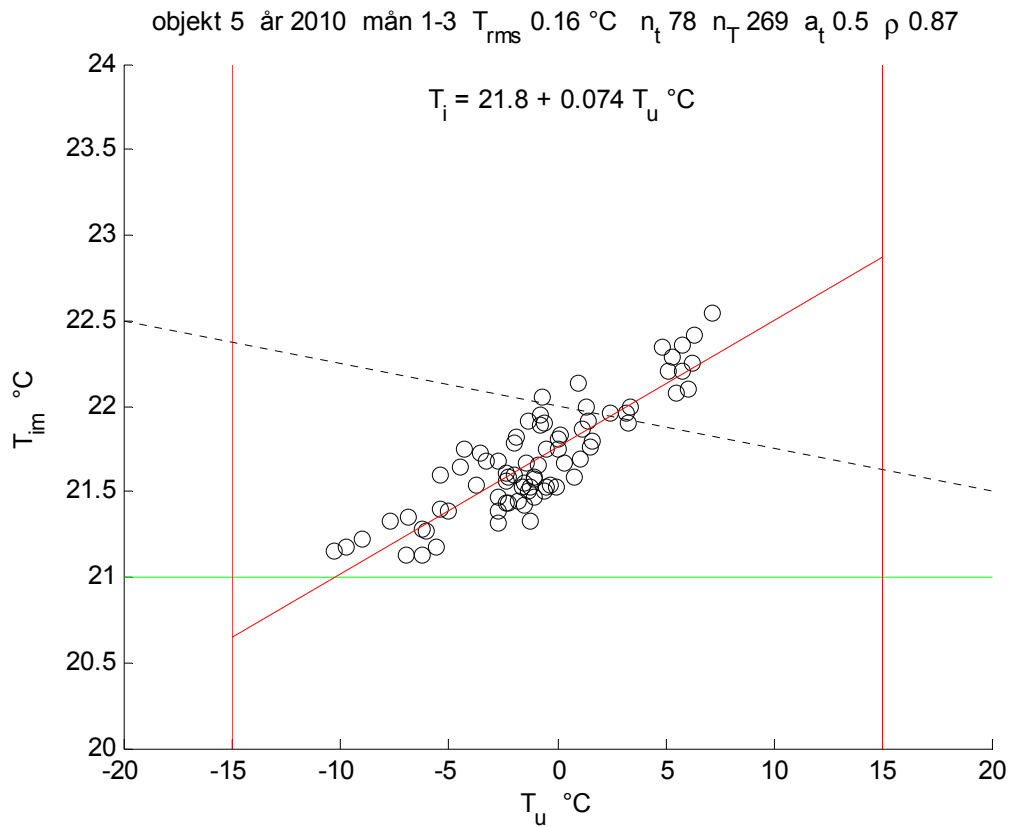
Figur 5.17 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 3, 2011.



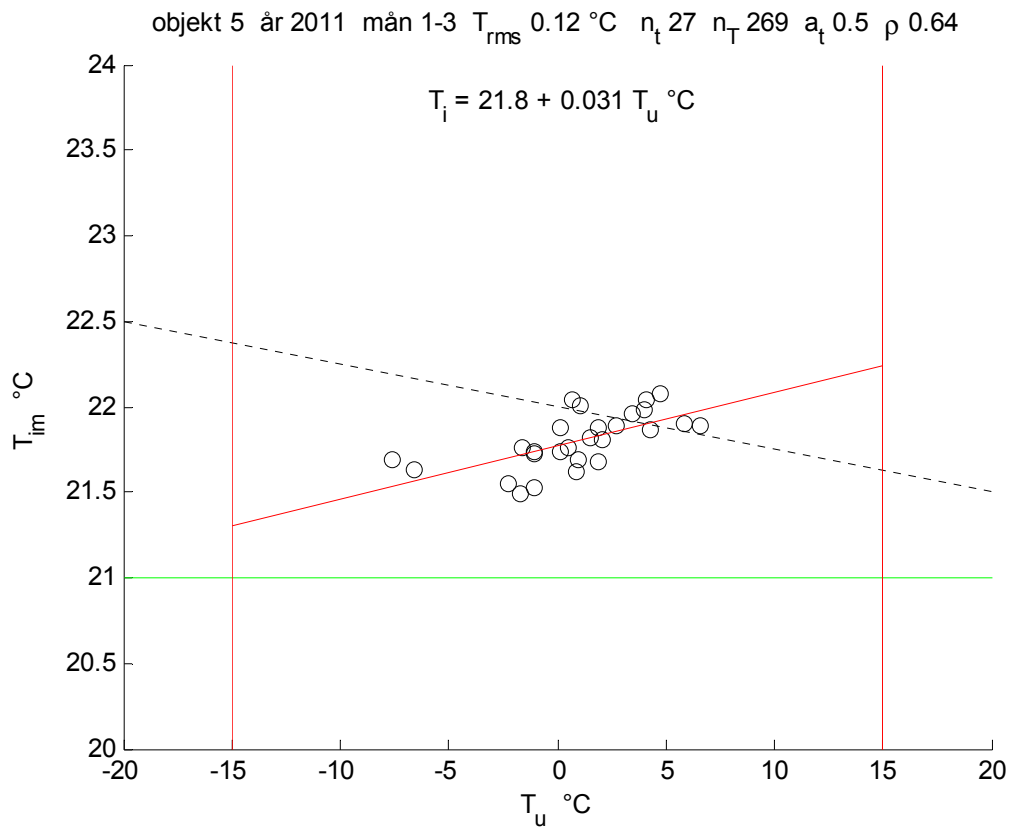
Figur 5.18 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärde. Objekt 4, 2010.



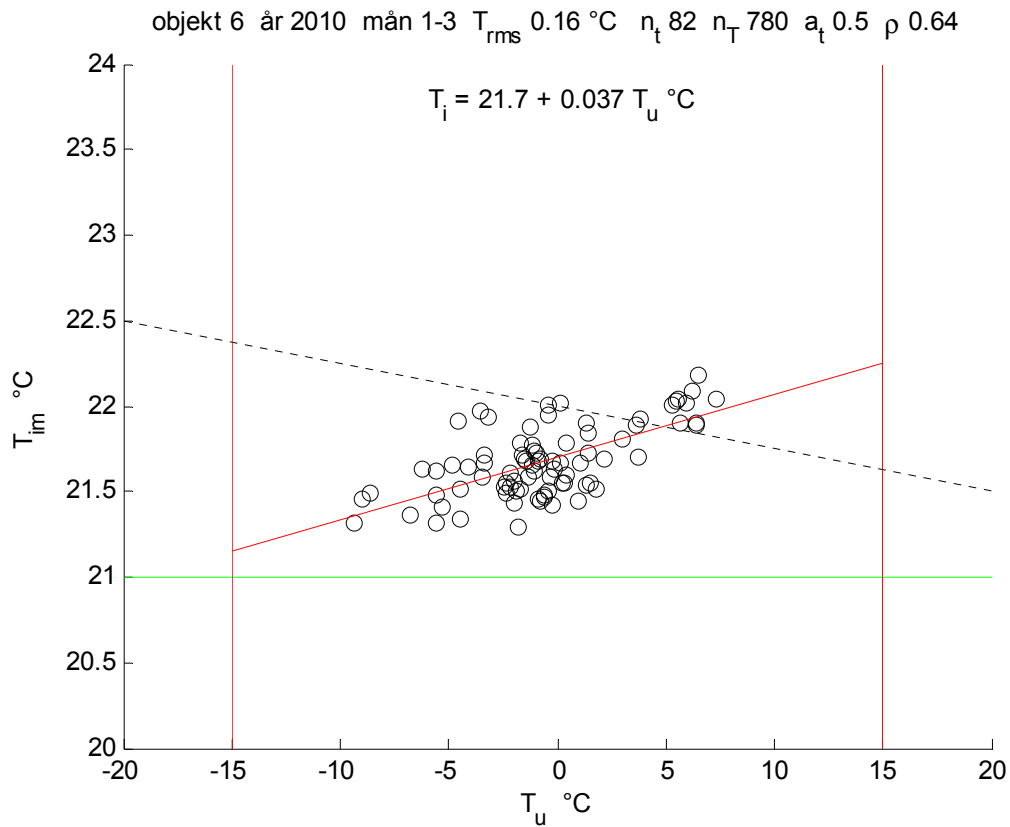
Figur 5.19 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 4, 2011.



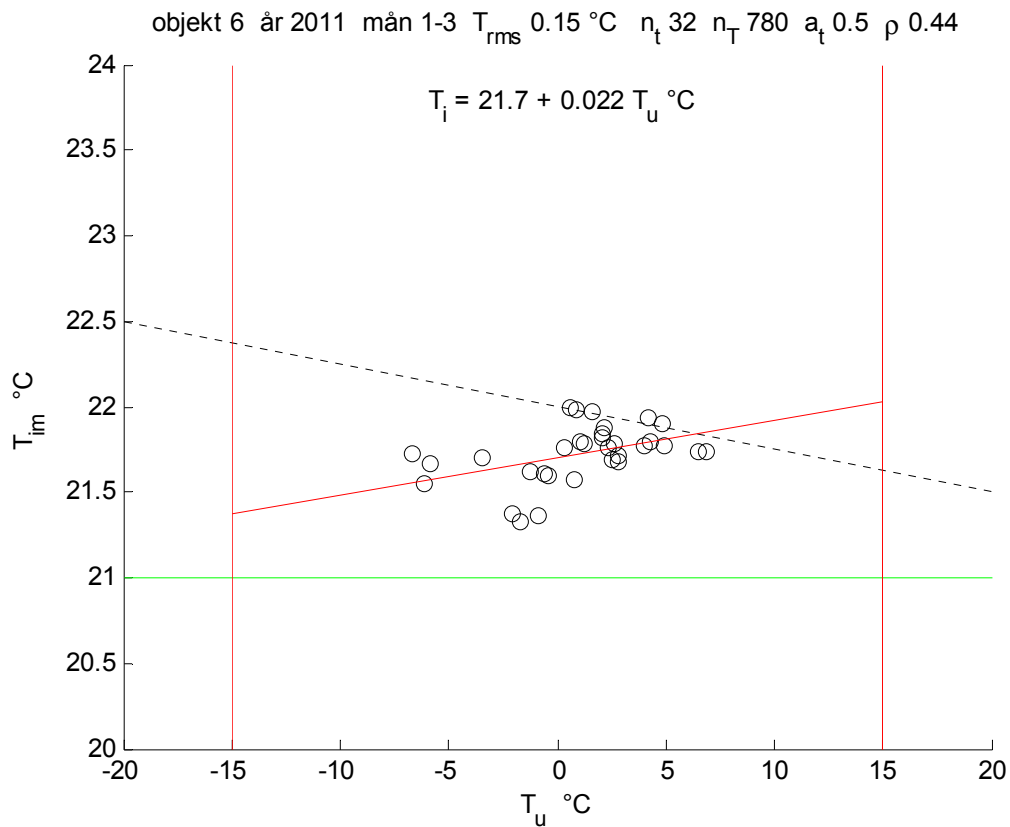
Figur 5.20 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärde. Objekt 5, 2010.



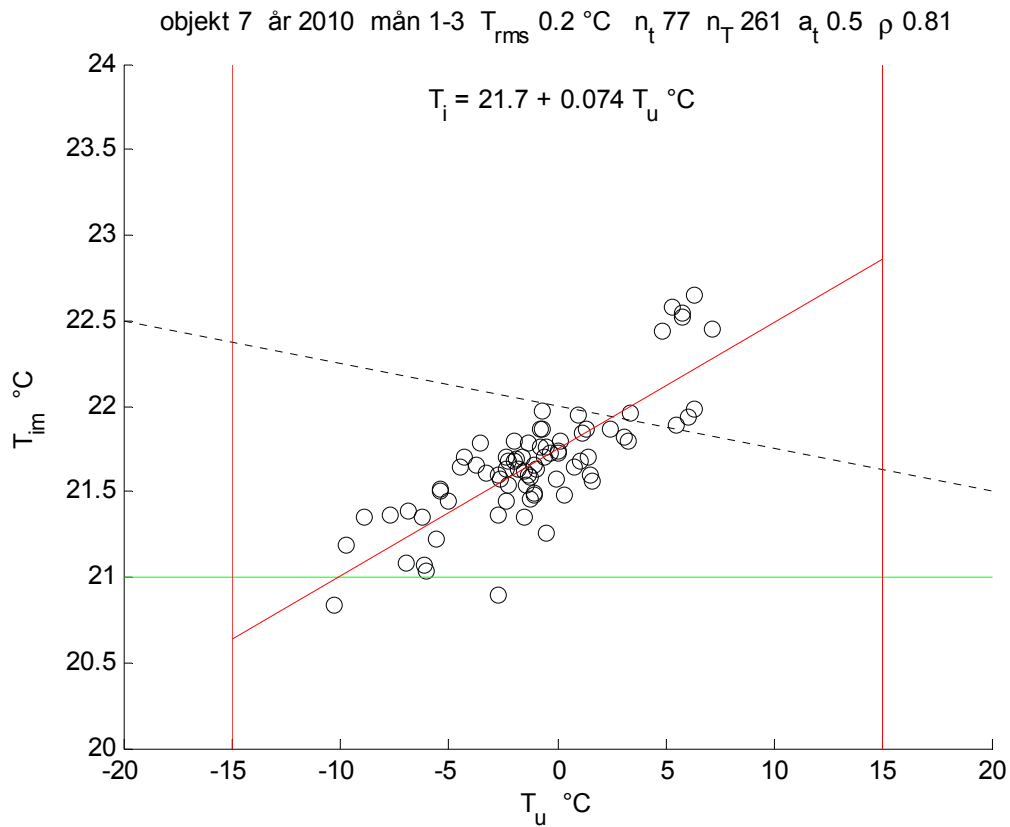
Figur 5.21 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 5, 2011.



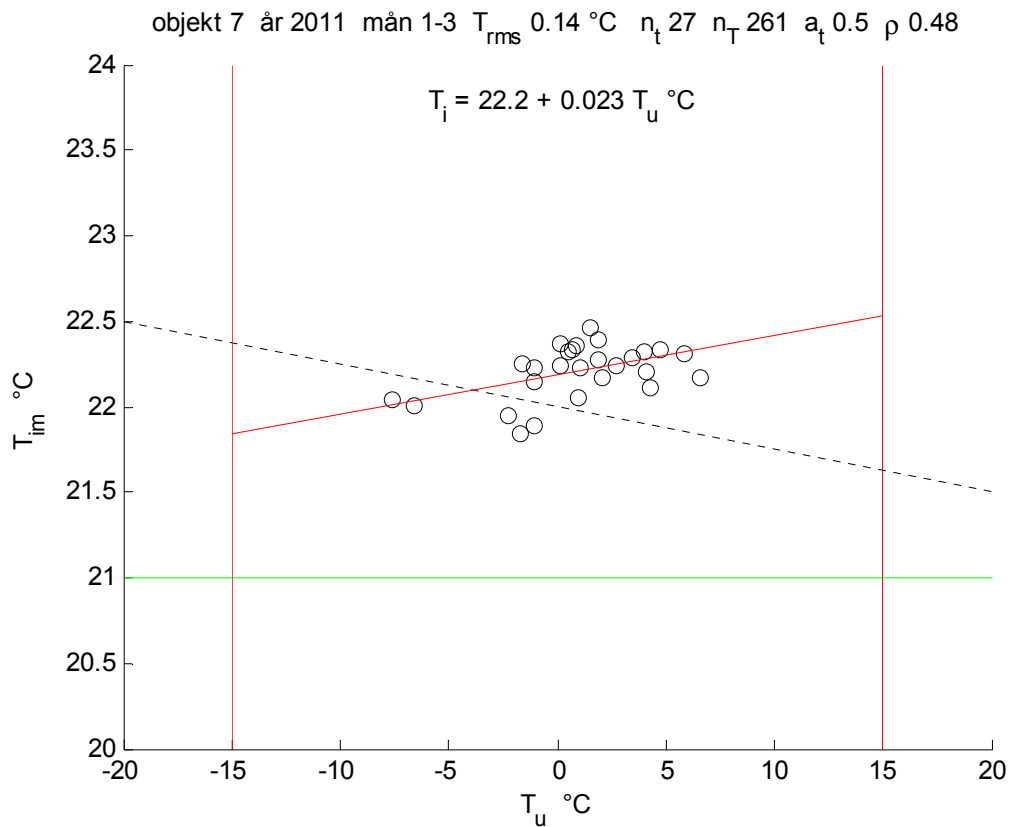
Figur 5.22 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 6, 2010.



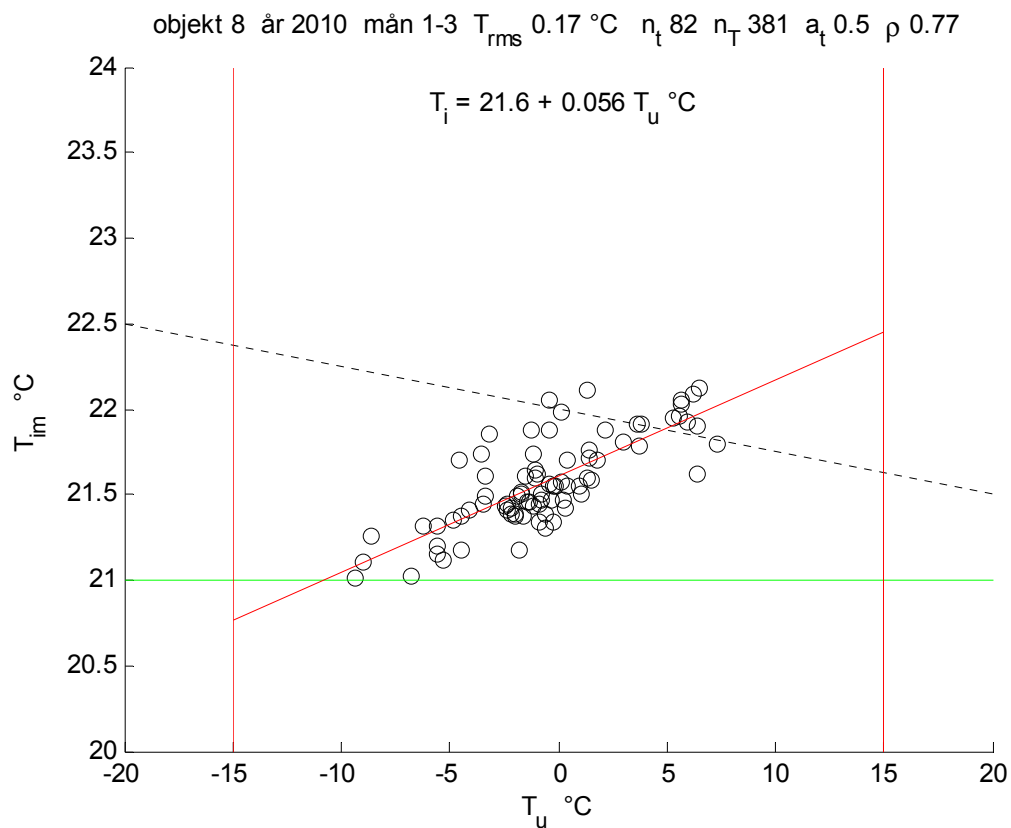
Figur 5.23 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 6, 2011.



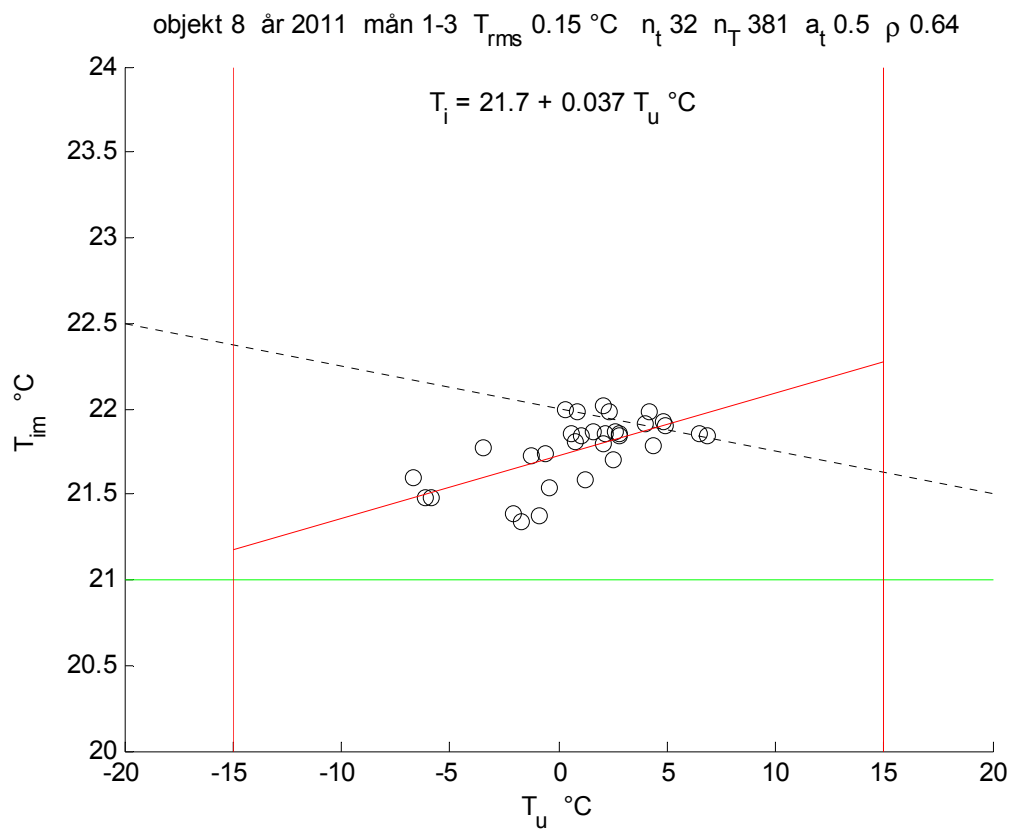
Figur 5.24 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 7, 2010.



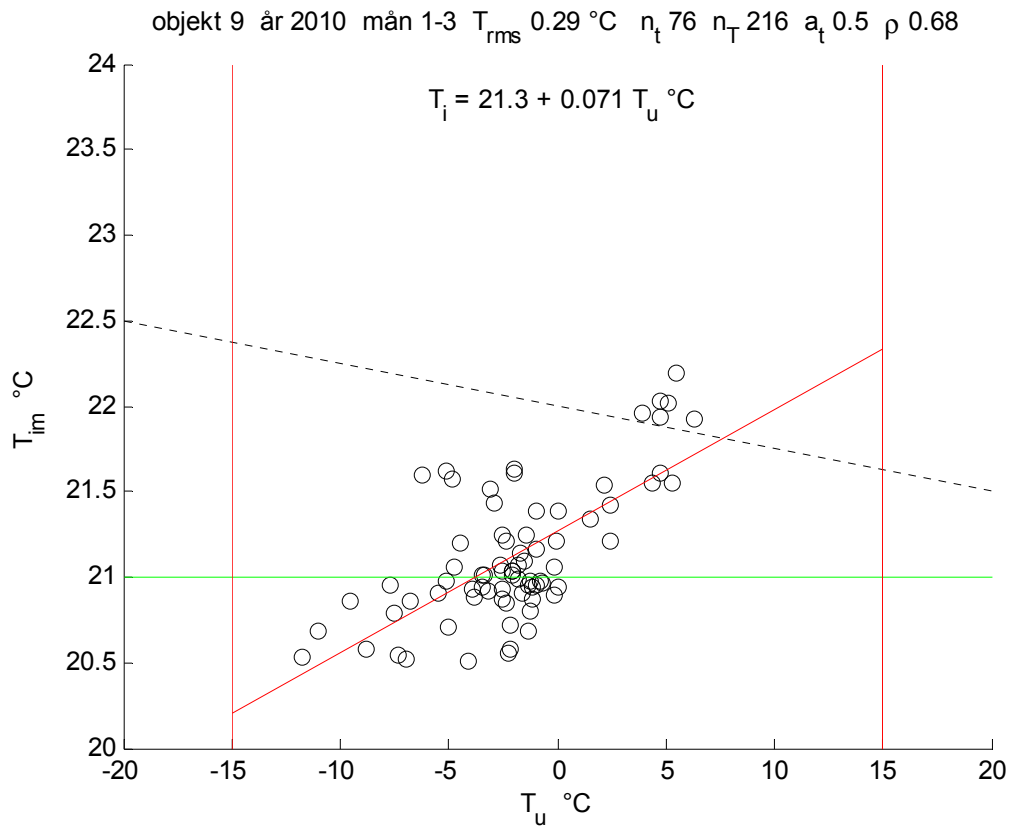
Figur 5.25 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 7, 2011.



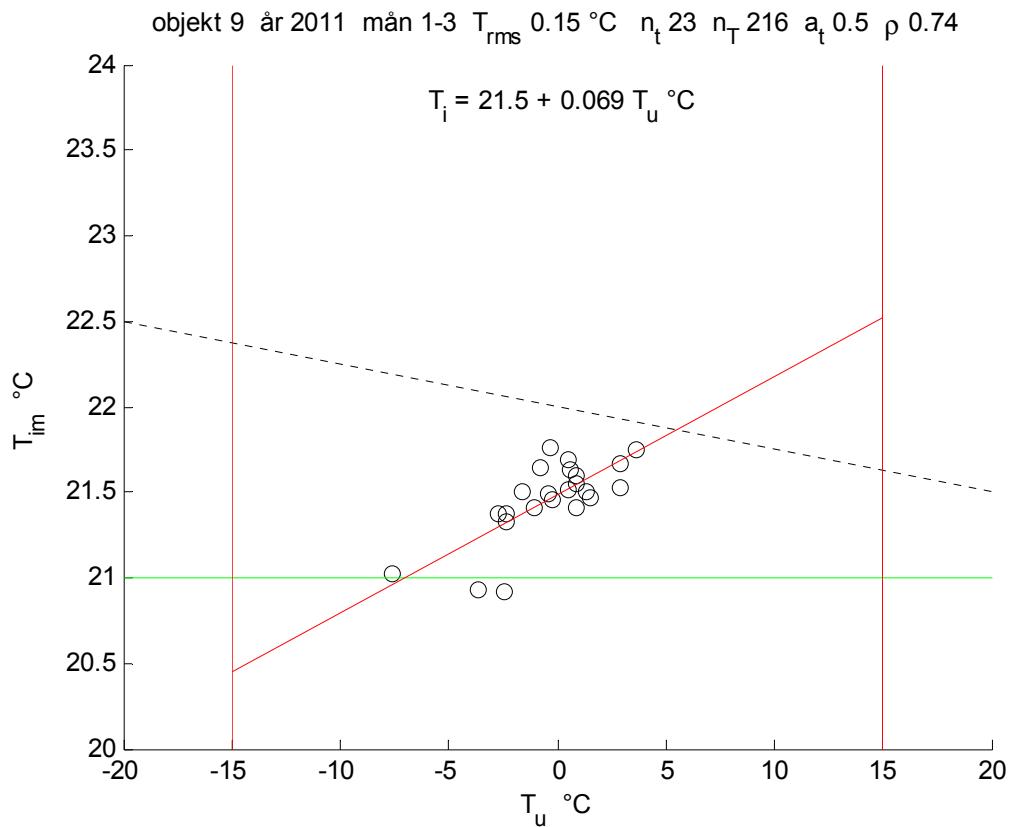
Figur 5.26 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 8, 2010.



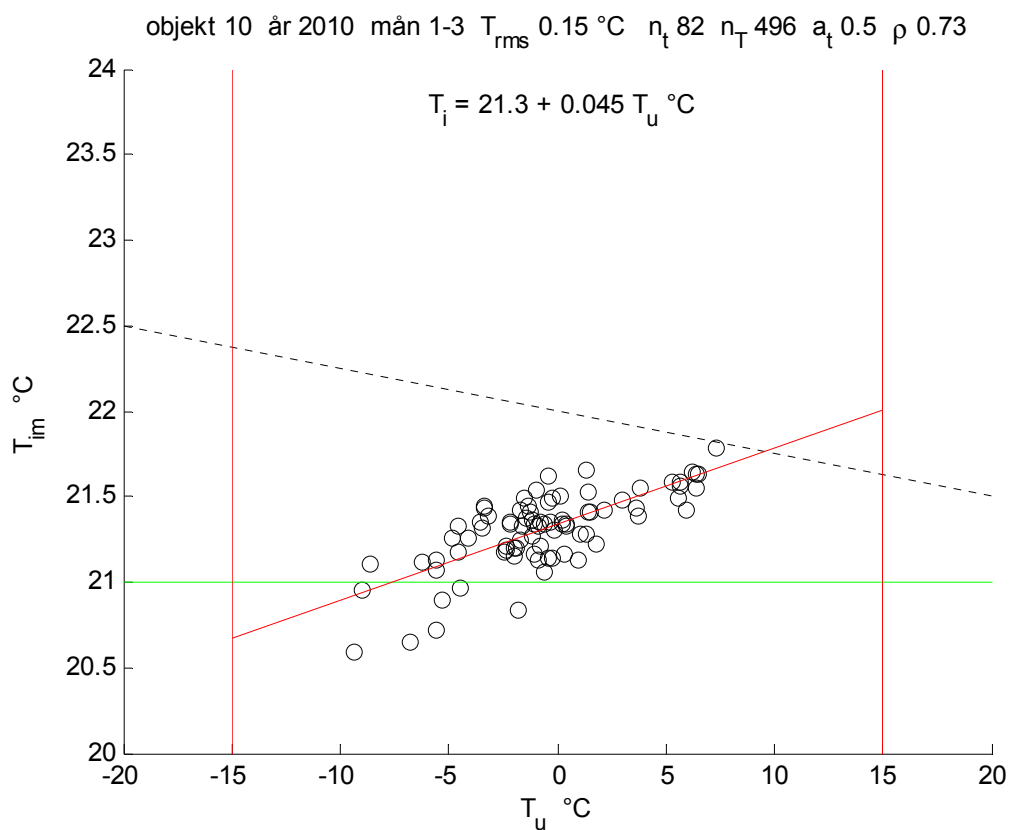
Figur 5.27 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 8, 2011.



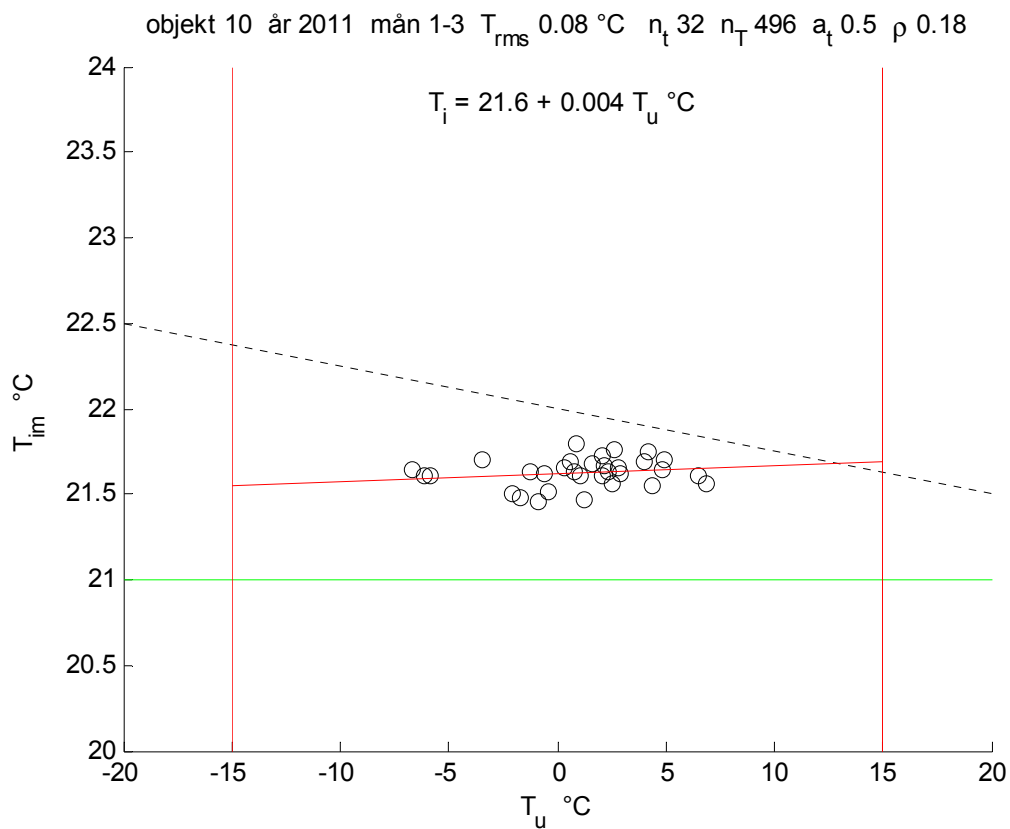
Figur 5.28 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 9, 2010.



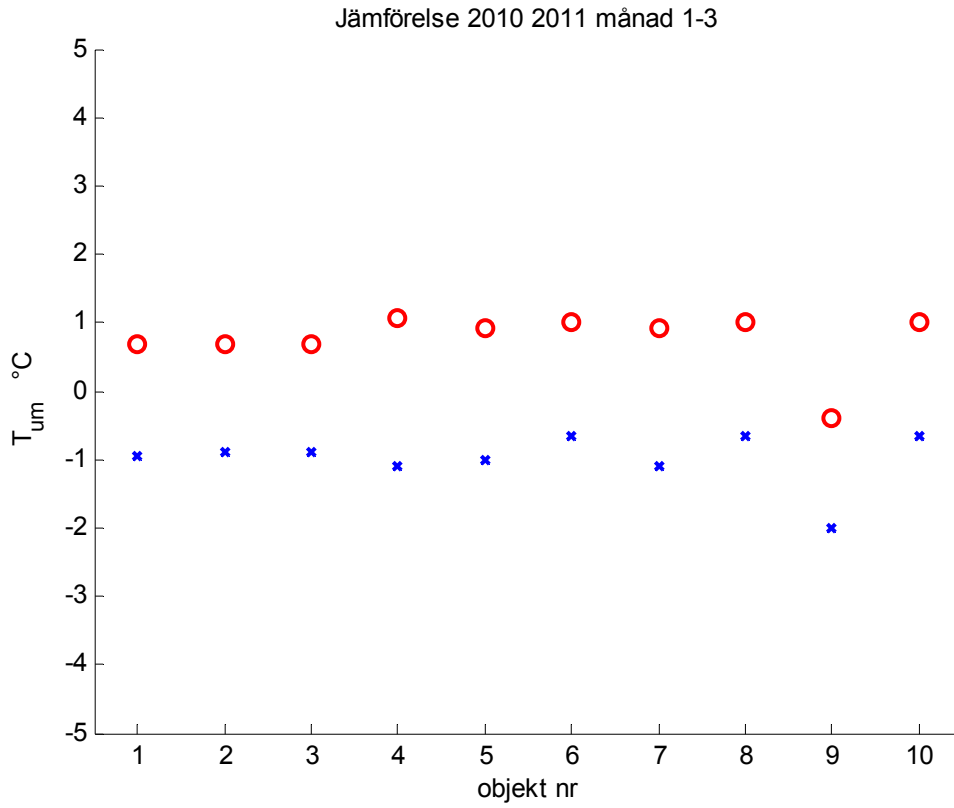
Figur 5.29 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 9, 2011.



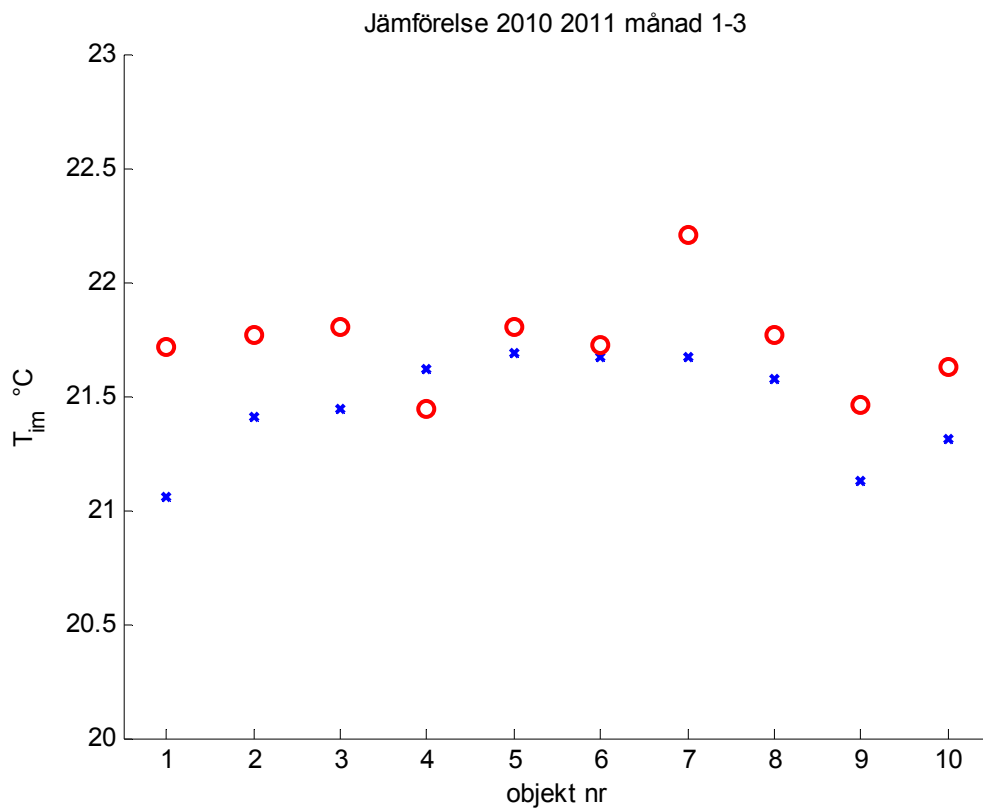
Figur 5.30 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 10, 2010.



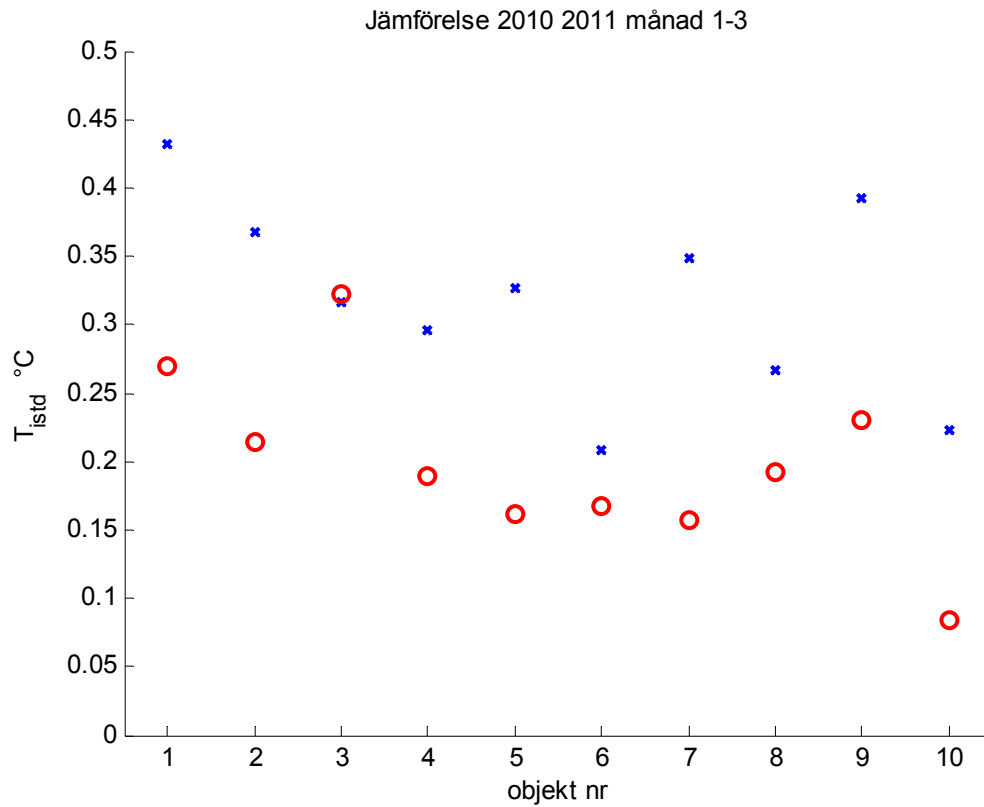
Figur 5.31 Mätt och beräknad T_{inne} som funktion av T_{ute} , dygnsmedelvärden. Objekt 10, 2011.



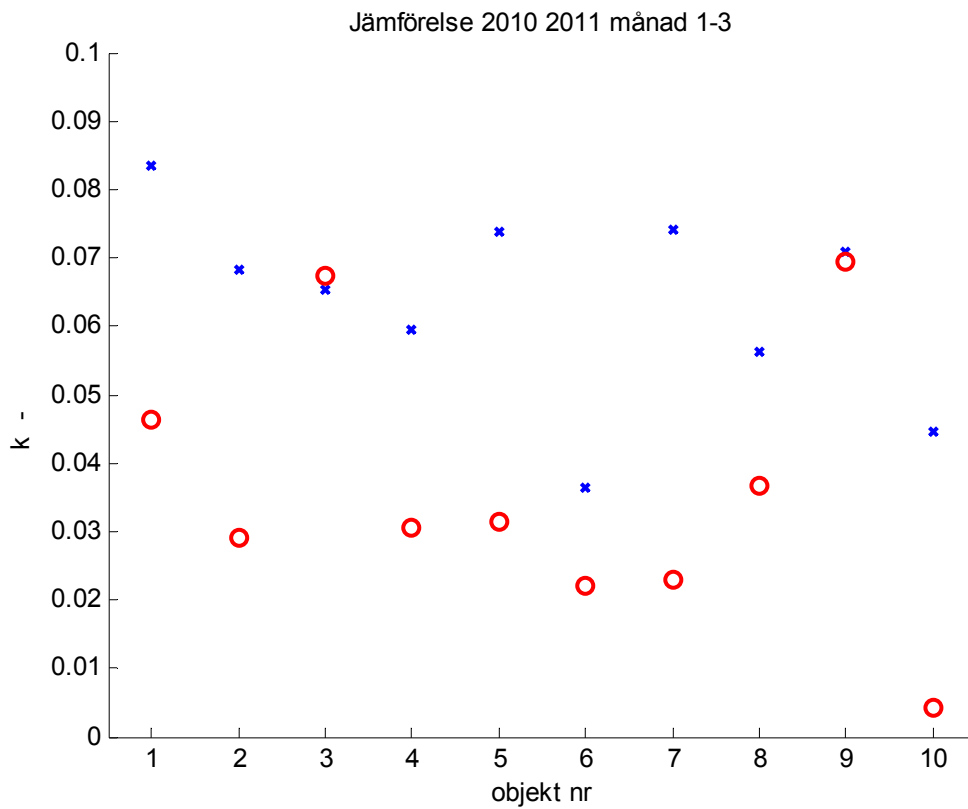
Figur 5.32 T_{um} , utetemperaturens medelvärde under januari – mars.



Figur 5.33 T_{im} , medelvärde av innetemperaturen under januari – mars.



Figur 5.34 T_{istd} , standardavvikelse för innetemperaturen under januari – mars.



Figur 5.35 Modellparametern k , dvs regressionslinjens lutning.

6 Analys av driftstatistik

Syftet med detta kapitel är att undersöka hur energianvändningen har ändrats för huvudförsöksgruppen i förhållande till de två kontrollgrupperna 1 och 2. Månadsvärden för total energi, tappvatten och fastighetsel kommer att användas och redovisas i Tabell 6.1-9 för tre grupperna och de tre förbrukningarna.

Tabell 6.1 Energianvändning (kWh/m²) för uppvärmning och varmvatten, huvudförsöksgrupp.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>kWh/m²</i>
1	1965	Snödrivan-sydväst	2096	fjv/vp	91.8	93.8	86.3
2	1965	Snödrivan-norr	5150	fjv/vp	91.8	93.8	86.3
3	1965	Snödrivan-öster	8017	fjv/vp	91.8	93.8	86.3
4	1973	Byalaget, Dalby	7796	gas/sol	69.8	79.2	67.3
5	1992	Riksdagen	7786	fjv	69.9	80.6	70.7
6	1963	Spjället o Pottugnen	19162	fjv	81.4	94.3	81.5
7	1995	Regeringen	6705	fjv	77.3	86.9	81.8
8	1989	Regnbågen	10391	fjv	82.3	92.6	85.0
9	1965	Labben	5908	fjv	84.8	96.3	89.5
10	1986	Solisten	12704	fjv	88.4	99.0	88.1

Tabell 6.2 Energianvändning (kWh/m²) för uppvärmning och varmvatten, kontrollgrupp 1.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>kWh/m²</i>
11	1992	Modersmålet	9466	gas	58.5	66.7	60.8
12	1993	Fiolen	10911	gas	60.6	67.4	63.0
13	1979	Lövsångaren mfl	26719	fjv	80.2	95.1	75.5
14	1982	Mjölet, Dalby	10049	fjv	72.3	86.4	75.8
15	1968	Rådhusrätten	48807	fjv	92.8	102.8	87.5
16	1985	Östertull	10792	fjv	80.4	92.0	81.5
17	1956	Grödan	7890	fjv	87.9	107.3	98.1
18	1972	Eddan	22450	fjv	101.0	110.1	106.9
19	1947	Pilelyckan	6984	fjv	108.8	122.0	109.0
20	1965	Ljungen, Dalby	10747	gas	142.1	145.5	133.1

Tabell 6.3 Energianvändning (kWh/m²) för uppvärmning och varmvatten, kontrollgrupp 2.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>kWh/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>kWh/m²</i>
21	1959	Dikes- och Sandryggen	12244	fjv/vp	65.9	71.5	66.5
22	1985	Svarvaren 34	549	fjv	57.3	62.6	62.6
23	1999	Molnet	2389	fjv	57.3	68.2	61.6
24	1992	Excellensen, m fl	15704	fjv	80.6	88.8	80.4
25	2007	Snäckan	4138	fjv/vp	58.0	57.6	44.1
26	1974	Jägaren 1	15446	fjv	91.7	100.9	93.3
27	1990	Kungsgårdarna	9263	fjv	82.5	93.2	87.7
28	1986	Boplatsen	7214	fjv	90.1	102.0	89.7
29	1998	Snödrivan 2	4059	fjv	92.5	101.8	90.8
30	2006	Jägaren 2	1686	fjv	50.9	52.9	46.8

Tabell 6.4 Tappvattenanvändning (m³/m²), huvudförsöksgrupp.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>m³/m²</i>
1	1965	Snödrivan-sydväst	2096	fjv/vp	0.77	0.78	0.81
2	1965	Snödrivan-norr	5150	fjv/vp	0.77	0.78	0.81
3	1965	Snödrivan-öster	8017	fjv/vp	0.77	0.78	0.81
4	1973	Byalaget, Dalby	7796	gas/sol	0.68	0.70	0.68
5	1992	Riksdagen	7786	fjv	0.86	0.86	0.91
6	1963	Spjället o Pottugnen	19162	fjv	0.71	0.72	0.73
7	1995	Regeringen	6705	fjv	0.92	0.90	0.96
8	1989	Regnbågen	10391	fjv	0.64	0.69	0.68
9	1965	Labben	5908	fjv	1.03	1.18	1.13
10	1986	Solisten	12704	fjv	0.83	0.87	0.87

Tabell 6.5 Tappvattenanvändning (m³/m²), kontrollgrupp 1.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>m³/m²</i>
11	1992	Modersmålet	9466	gas	0.75	0.82	0.83
12	1993	Fiolen	10911	gas	0.68	0.70	0.79
13	1979	Lövsångaren mfl	26719	fjv	0.62	0.65	0.68
14	1982	Mjölet, Dalby	10049	fjv	0.76	0.79	0.87
15	1968	Rådhusrätten	48807	fjv	0.89	0.94	0.91
16	1985	Östertull	10792	fjv	0.61	0.63	0.64
17	1956	Grödan	7890	fjv	0.87	1.15	0.66
18	1972	Eddan	22450	fjv	1.04	1.10	1.15
19	1947	Pilelyckan	6984	fjv	0.75	0.80	0.78
20	1965	Ljungen, Dalby	10747	gas	0.74	0.69	0.74

Tabell 6.6 Tappvattenanvändning (m³/m²), kontrollgrupp 2.

<i>nr</i>	<i>byggår</i>	<i>namn</i>	<i>BOA+LOA</i> <i>m²</i>	<i>energi-</i> <i>slag</i>	<i>jan-jun</i> <i>2009</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2010</i> <i>m³/m²</i>	<i>jan-jun</i> <i>2011</i> <i>m³/m²</i>
21	1959	Dikes- och Sandryggen	12244	fjv/vp	0.69	0.66	0.77
22	1985	Svarvaren 34	549	fjv	0.62	0.63	0.66
23	1999	Molnet	2389	fjv	0.75	0.74	0.72
24	1992	Excellensen, m fl	15704	fjv	0.90	0.90	0.97
25	2007	Snäckan	4138	fjv/vp	0.54	0.66	0.59
26	1974	Jägaren 1	15446	fjv	0.86	0.99	0.89
27	1990	Kungsgårdarna	9263	fjv	0.89	0.91	0.93
28	1986	Boplatsen	7214	fjv	0.92	0.80	0.71
29	1998	Snödrivan 2	4059	fjv	0.90	0.88	0.86
30	2006	Jägaren 2	1686	fjv	0.47	0.58	0.57

Tabell 6.7 Fastighetsel (kWh/m²), huvudförsöksgrupp.

nr	byggår	namn	BOA+LOA m ²	energi- slag	jan-jun 2009 kWh/m ²	jan-jun 2010 kWh/m ²	jan-jun 2011 kWh/m ²
1	1965	Snödrivan-sydväst	2096	fjv/vp	9.1	9.2	8.6
2	1965	Snödrivan-norr	5150	fjv/vp	9.1	9.2	8.6
3	1965	Snödrivan-öster	8017	fjv/vp	9.1	9.2	8.6
4	1973	Byalaget, Dalby	7796	gas/sol	9.8	9.9	9.9
5	1992	Riksdagen	7786	fjv	4.3	4.3	4.4
6	1963	Spjället o Pottugnen	19162	fjv	7.3	7.2	6.9
7	1995	Regeringen	6705	fjv	3.7	3.7	3.8
8	1989	Regnbågen	10391	fjv	11.0	11.2	10.9
9	1965	Labben	5908	fjv	6.8	6.8	6.8
10	1986	Solisten	12704	fjv	6.5	6.9	7.1

Tabell 6.8 Fastighetsel (kWh/m²), kontrollgrupp 1.

nr	byggår	namn	BOA+LOA m ²	energi- slag	jan-jun 2009 kWh/m ²	jan-jun 2010 kWh/m ²	jan-jun 2011 kWh/m ²
11	1992	Modersmålet	9466	gas	4.3	3.2	3.2
12	1993	Fiolen	10911	gas	3.6	5.8	5.8
13	1979	Lövsångaren mfl	26719	fjv	8.7	9.0	9.2
14	1982	Mjölet, Dalby	10049	fjv	5.9	3.0	4.8
15	1968	Rådhusrätten	48807	fjv	5.6	5.6	5.1
16	1985	Östertull	10792	fjv	11.0	10.8	10.6
17	1956	Grödan	7890	fjv	5.9	5.3	9.6
18	1972	Eddan	22450	fjv	9.3	8.6	9.1
19	1947	Pilelyckan	6984	fjv	9.7	10.7	8.2
20	1965	Ljungen, Dalby	10747	gas	3.4	3.2	3.2

Tabell 6.9 Fastighetsel (kWh/m²), kontrollgrupp 2.

nr	byggår	namn	BOA+LOA m ²	energi- slag	jan-jun 2009 kWh/m ²	jan-jun 2010 kWh/m ²	jan-jun 2011 kWh/m ²
21	1959	Dikes- och Sandryggen	12244	fjv/vp	11.5	11.6	10.9
22	1985	Svarvaren 34	549	fjv	8.8	8.8	8.4
23	1999	Molnet	2389	fjv	4.9	5.1	4.8
24	1992	Excellensen, m fl	15704	fjv	4.2	4.6	4.6
25	2007	Snäckan	4138	fjv/vp	5.3	7.4	7.3
26	1974	Jägaren 1	15446	fjv	4.8	5.8	5.3
27	1990	Kungsgårdarna	9263	fjv	5.0	5.4	5.7
28	1986	Boplatsen	7214	fjv	11.8	11.8	11.6
29	1998	Snödrivan 2	4059	fjv	7.8	7.3	8.2
30	2006	Jägaren 2	1686	fjv	5.4	6.6	6.0

Reglering med hjälp av den uppmätta innetemperaturen för huvudförsöksgruppen på börjades under hösten 2011. Det finns därför ännu inte ett helt års driftserfarenheter med denna reglering. Jämförelser kommer därför att ske med första halvåret för 2009, 2010 och 2011. Månaderna maj och juni skulle kunna utgå, eftersom uppvärmningen är förhållandevis liten. Medelvärdet för de två halvåren för 2009 och 2010 jämförs med halvåret för 2011.

Månadsvärden har hämtats från LKF's egna driftsredovisning och redovisas i Tabell 6.1 – Tabell 6.3 för energi för uppvärmning och varmvatten med sorten kWh/m² (BOA+LOA) för huvudförsöksgrupp, kontrollgrupp 1 respektive kontrollgrupp 2.

Månadsvärden för tappvatten och fastighetsel redovisas på samma sätt i Tabell 6.4 – Tabell 6.6 respektive Tabell 6.7 – Tabell 6.9 för huvudförsöksgrupp, kontrollgrupp 1 respektive kontrollgrupp 2.

6.1 Analys av energi för uppvärmning och varmvatten

En enkel analys är att beräkna medelvärden för halvåren 2009 och 2010 för varje försöksgrupp samt jämföra dessa med motsvarande värden för halvåret 2011, när den utökade reglering är aktiv. (Objekt 1, 2 och 3 ingår inte i analysen eftersom förbrukningsstatistik för dessa inte fanns tillgänglig.) Resultatet redovisas i Tabell 6.10 och 6.11 utökat med skillnaden mellan 2009/2010 och 2011. Värdena som visas i Tabell 6.10 är viktade ihop efter total lägenhetsyta för varje objekt inom gruppen, medan värdena i Tabell 6.11 är ett medelvärde för gruppens objekt utan hänsyn till storlek. Detta medför att mindre objekt påverkar totalvärdet mindre i Tabell 6.10 och mer i Tabell 6.11.

Tabell 6.10 Driftsdata och beräknad värmeanvändning för januari – juni (ytviktade medelvärden).

	huvudförsöksgrupp			kontrollgrupp 1			kontrollgrupp 2		
	09/10	11	diff	09/10	11	diff	09/10	11	diff
total energi kWh/m ²	85.7	81.2	-4.5	94.8	88.3	-6.5	83.5	79.6	-3.8
värme (energi-vv)	57.5	53.2	-4.2	62.4	57.8	-4.6	56.0	51.9	-4.1
värme (energi-17*tv)	67.1	62.2	-4.9	74.0	68.6	-5.4	65.0	60.2	-4.8
tappvatten m ³ /m ²	0.795	0.820	0.025	0.827	0.843	0.017	0.830	0.841	0.010
fastighetsel kWh/m ²	7.30	7.26	-0.03	6.75	6.81	0.06	7.01	7.08	0.07

Tabell 6.11 Driftsdata och beräknad värmeanvändning för januari – juni (raka medelvärden).

	huvudförsöksgrupp			kontrollgrupp 1			kontrollgrupp 2		
	09/10	11	diff	09/10	11	diff	09/10	11	diff
total energi kWh/m ²	84.5	80.6	-3.9	94.0	89.1	-4.9	76.3	72.4	-4.0
värme (energi-vv)	56.1	52.0	-4.1	61.3	56.8	-4.5	53.0	49.1	-3.9
värme (energi-17*tv)	65.6	60.8	-4.8	73.7	68.3	-5.4	59.9	55.5	-4.4
tappvatten m ³ /m ²	0.827	0.853	0.026	0.799	0.804	0.005	0.765	0.767	0.002
fastighetsel kWh/m ²	7.09	7.10	0.01	6.64	6.88	0.24	7.19	7.29	0.10

Siffrorna i Tabell 6.10 visar att energin för uppvärmning och varmvatten för ett halvår minskar från 2009/2010 till 2011 med 4.5, 6.5 och 3.8 för de tre grupperna. Minskningen är minst för kontrollgrupp 2 med komfortvärme och störst för kontrollgrupp 1 utan komfortvärme. Slutsatsen är att den utökade regleringen för huvudförsöksgruppen inte resulterar i lägre energianvändning än kontrollgrupp 1. Siffrorna i Tabell 6.11 är ytterst snarlika.

En förklaring till den gemensamma minskningen är att medeltemperaturen ute för första halvåret är i medeltal 2.2 °C för 2009/2010 och 3.1 °C för 2011 enligt omräknade graddagar utgående från 17 °C.

En förklaring är att innetemperaturen är något högre med den utökade regleringen. Valet av börvärde för innetemperaturen har betydelse. Detta kan till en del visas med redovisade värden i Tabell 5.1 för mätdata för januari, februari och mars under 2010 och 2011. Den uppmätta medeltemperaturen är 21.46 °C för 2010 och 21.73 °C för 2011. Motsvarande utetemperaturer är -0.99 °C respektive

0.76 °C. Omräkning till utetemperaturen 0 °C med de två känsligheterna 0.063 °C/°C och 0.037 °C/°C ger innetemperaturerna 21.52 °C respektive 21.70 °C. Innetemperaturen under 2011 är högre än under 2010 för samma utetemperatur upptill omkring 7 °C. En skillnad på 0.2 °C i innetemperatur innebär minst 0.01 högre uppvärmningsbehov som är proportionellt mot temperaturskillnaden inne-ute omkring 20 °C. Detta förklarar inte hela skillnaden mellan huvudförsöksgrupp och kontrollgrupp 1.

En förklaring till den högre innetemperaturen under första halvåret 2011 är att den utökade regleringen inte har fasats in på rätt sätt genom att välja rådande ärvärde som startvärde för börvärdet. Detta innebär att reglerfelet är noll vid uppstarten och att korrektionen av framledningstemperaturen också blir noll. Om börvärdet sätts högre än ärvärdet kommer den förbättrade regleringen att öka framledningstemperaturen.

En annan förklaring är att varmvattenanvändningen är olika för de olika tidsperioderna för de tre försöksgrupperna. Tappvattenanvändningen sammanställs i Tabell 6.10 – Tabell 6.11 på samma sätt som för energi för uppvärmning och varmvatten. Siffrorna visar på en större ökning för huvudförsöksgruppen än för de två kontrollgrupperna.

En tredje förklaring är att fastighetselanvändningen inverkar och dess värden sammanställs på samma sätt i Tabell 6.10 – Tabell 6.11. Siffrorna visar på förhållandevis små ändringar samt att de två kontrollgrupperna ökat något mer än huvudförsöksgruppen.

LKF har infört prognosstyrning i objekt 13, 15 och 18, alla i kontrollgrupp 1 samt under 2011 infört individuell varmvattenmätning i objekt 28 och 30.

6.2 Analys av energi för uppvärmning

Ett bättre värde för energi för uppvärmning är att räkna bort varmvattnet från den totala energin för uppvärmning och varmvatten. Detta har gjorts med linjär regression med graddagar för de aktuella månaderna och tappvattenanvändning för varje hus. Medelvärdet för den resterande energin för uppvärmning redovisas i Tabell 6.10 – Tabell 6.11 för de tre försöksgrupperna.

Minskningen för enbart uppvärmning med ovanstående sätt att korrigera för varmvattenbehovet visar på samma mönster som för totala energibehovet med siffrorna 4.2, 4.6 och 4.1 för huvudförsöksgrupp kontrollgrupp 1 och 2. Siffrorna i Tabell 6.11 är ytterst snarlika.

En förenkling av ovanstående modell är att låsa varmvattenanvändning med faktorn 17 kWh/m³ multiplicerad med tappvatten användningen. Resultatet redovisas på samma sätt i Tabell 6.10 – Tabell 6.11. Siffran 17 kWh/m³ innebär att tappvattnet värms i medeltal 14.6 °C. Om varmvattenandelen är 0.4 och kallvattenandelen är 0.6 värms varmvattnet till 36.5 °C.

Minskningen för enbart uppvärmning med ovanstående sätt att korrigera för varmvattenbehovet visar på samma mönster som för totala energibehovet med siffrorna 4.9, 5.4 och 4.8 för huvudförsöksgrupp kontrollgrupp 1 och 2.

6.3 Huvudslutsats

Huvudslutsatsen är att den utökade regleringen inte har gett någon energibesparing i förhållande till kontrollgrupp 1, men en ytterst marginell energibesparing jämfört med kontrollgrupp 2.

Ett viktigt påpekande är att den utökade regleringen endast har varit i drift under en tredjedel av den undersökta tidsperioden, januari – mars 2011, samt att förstärkningen enligt loggbok (Tabell E.3) varit endast 1 för tre objekt och inte 10 som för övriga sju objekt. Den utökade regleringen kan därför endast ha varit fullt aktiv under en fjärdedel av den undersökta periodens möjliga besparing för tio objekt med reglering under hela perioden.

Ett annat påpekande är att infasningen av den utökade regleringen har varit för grov med börvärden i steg om 0.5 °C.

7 Diskussion och slutsatser

7.1 Mätdata tillgänglighet

Mätdata för hela 2010 och halva 2011 har använts i form av en Excel-fil för varje månad och hus. Tillgängligheten har minskat från 0.9 ner till 0.3. Bortfallet är allt från enstaka 15-minutersvärden till avbrott som omfattar flera dygn samt bortfall och av olika lägenheter.

Större delen av projektets arbetstid har lagts på programmering och tester för att kunna behandla mätdata på ett rimligt sätt. Ett annat problem är bortfall av hela lägenheter genom att avsiktlig eller oavsiktlig bortkoppling från kabelnätverket, vilket resulterar i mätvärden lika med 21 °C för samtliga rum. Detta fel kan för en månads mätvärden för ett hus detekteras till största delen genom att jämföra förekomsten av mätvärdena 20.9 °C och 21.1 °C med 21.0 °C. medelfrekvensen för 20.9 °C och 21.1 °C bör vara lika med frekvensen för 21.0 °C. Något osäkrare är att avgöra när en tidsföljd av 21.0 °C inte är uppmätta värden utan för databortfall ersatta värden.

En slutsats är endast uppmätta värden borde ingå i Excel-filerna och saknade värde borde utelämnas.

Det stora databortfallet under 2011 gör det svårt att göra en bra jämförelse med 2010 samt att den utökade reglering efter mätt innetemperatur inte har varit i drift under större delen av första halvåret 2011.

Något som kan förbättra datatillgängligheten kan vara att minska datamängden genom att endast använda timvärden och inte kvartsvärden.

En erfarenhet av detta forskningsprojekt med totalt trettio olika hus och uppföljning av tio hus i huvudförsöksgruppen kräver mycket arbetstid och deltidsinsatser av olika medarbetare är inte tillräckligt. Det krävs att en person på heltid arbetar och kontinuerligt följer upp mätdata och reglerfunktion för alla trettio objekten. Mätdata mängden är mycket stor med 35040 st 15-minutersvärden per år för totalt 3242 rumstemperaturer i huvudförsöksgruppen, vilket resulterar i mer än 10^8 mätvärden per år. Det går inte att förutsätta att mätdata är helt felaktiga, men ett stort databortfall kräver en ökad arbetsinsats samt att ett mycket stort databortfall omöjliggör att dra säkra slutsatser. Datatillgängligheten har varit 0.9 i början av 2010 och 0.3 i början av 2011.

7.2 Driftserfarenheter, utbyggnad och framtida drift

LKFs egna driftserfarenheter från husen i huvudförsöksgruppen är att innetemperaturen har blivit jämnare och mindre beroende av utetemperaturen, trots att den utökade reglering endast kan påverka framledningstemperaturen +/- 5 °C.

En driftserfarenhet var att den utökade regleringens korrektion till den normala framledningstemperaturen ofta begränsades till intervallet +/- 5 °C när klagomål om låg temperatur förekom. Detta rättades till olyckligtvis till genom att ändra börvärdet för innetemperaturen, när en bättre lösning hade i första hand varit att öka arbetsområdet till +/- 10 °C eller alternativt att öka den använda förstärkning från 10 till 20, vilket innebär att en avvikelse på 0.1 °C motsvarar av en avvikelse på 2 °C från den normala framledningstemperaturkurvan.

LKF avser att förse fler av husen med komfortvärme med den utökade regleringen efter uppmätt innetemperatur.

7.3 Slutsatser

Forskningsprojektets slutsatser kan sammanfattas med att den utökade regleringen har resulterat i mindre innetemperaturvariationer enligt Figur 5.12 – Figur 5.31 och Tabell 5.1 – Tabell 5.2.

Någon besparing för huvudförsöksgruppen med utökad reglering har inte kunnat påvisas varken för total energi för uppvärmning och varmvatten eller för energi för enbart uppvärmning enligt Tabell 6.10 och Tabell 6.11, jämfört med kontrollgrupp 1, utan komfortvärme. Siffrorna i Tabell 6.10 och Tabell 6.11 visar på en marginell besparing jämfört med kontrollgrupp 2. Ett stort databortfall under den

undersökta tidsperioden 2011 blockerade den utökade regleringen under större delen av tiden. Tre av tio objekt uppges ha haft en låg förstärkning, 1, vilket ger en ytterst låg effekt jämfört med den planerade förstärkningen 10. Infasningen av den utökade regleringen gjordes med alltför avrundade börvärden i steg om 0.5 °C, vilket med förstärkning 10 som mest motsvaras av 1 °C ändring av innetemperaturen.

Andra slutsatser för framtiden är följande:

- Endast förstärkning 10 har använts. Förstärkning 20 bör kunna användas.
- Stark begränsning av den utökade regleringens arbetsområde till (-5,5) °C. Ett fördubblat arbetsområde till (-10,10) °C bör kunna användas.
- En sänkning av börvärdet för den utökade regleringen bör genomföras stegvis med 0.1 °C per gång med ett intervall av några veckor. En felaktig infasning av den utökade regleringen kan ha resulterat i en för hög innetemperatur.
- Noggrannare infasning är viktigt.

7.4 Fortsatt forskning

Den utökade regleringen har endast utvärderats under ett halvår. Erfarenheter visar att regleringen kan förbättras ytterligare genom att fördubbla förstärkningen och arbetsområdet. Detta kommer att minska variationerna i innetemperatur, vilket gör det möjligt att sänka innetemperaturen något. Detta ger en energibesparing jämfört med de två kontrollgrupperna.

Regleringen har skett efter att medelvärde för samtliga rum i ett objekt. Det finns möjligheter att testa regleringen efter endast vardagsrum, sovrum eller med kvantilgränsen för ett givet antal av de kallaste rummen.

En viktig synpunkt är att regleringen strävar att hålla en viss innetemperatur, medan de boende i medeltal kan sträva efter en annan lägre eller högre temperatur. Detta är något som bör undersökas och åtgärdas på ett lämpligt sätt. En lösning är att de boende anger vilka temperaturer som önskas helst för varje rum än ett värde för hela lägenheten. Detta innebär att regleringen skall använda ett medelvärde för de boendes önskemål och inte ett enda fast värde.

Erfarenheter från många mätprojekt är att innetemperaturen i bostadshus med vattenburen värme reglerad efter utetemperatur varierar något under dygnet med lägst temperatur tidigt på morgonen och högst temperatur sent på kvällen. Den utökade regleringen motverkar denna svaga variation. Denna svaga variation kan behållas genom att regleringen modifieras att reglera efter ett börvärde som varierar något under dygnet. Detta ger varmare radiatorer under dagen och kallare radiatorer under natten, vilket kan minska klagomål på för låg temperatur dagtid.

En större ändring av en dygnskurva kan vara att införa äkta nattsänkning av innetemperaturen, men besparingen är liten och övergången till och övergången från nattsänkning innebär stora effektändringar, vilket skapar stora belastningsändringar i ett fjärrvärmennät.

Andra möjliga forskningsuppgifter är att undersöka temperaturfördelningen i ett större bostadshus, temperaturvariationer i tiden och över dygnet, temperaturvariationer inom en lägenhet. Temperaturfördelningen kan vara bestämmande för val av reglerkurva.

Omräkning av mätt rumstemperatur 2.1 m över golv till en temperatur 1.2 m över golv mitt i rummet är något konservativ och på säkra sidan, vilket innebär att innetemperaturen är högre än vad omräkningen visar. En förbättrad och därmed snålare omräkning kan spara energi.

8 Referenser

- Boman, C. A., Jonsson, B-M. och Skogsberg, S. (1993). Mätning av innetemperatur. ELIB-rapport 4 (TN:39). Gävle: Statens institut för byggforskning.
- Danvak Aps, redaktion: Hansen, H. E., Kjerulf-Jensen, P., Stampe, O. B. (1997). Varme- og klimateknik, grundbog 2. udgave. (ISBN: 87-982652-8-8). Danmark.
- Hedin, B. (1989). Reglering av inomhustemperaturen i flerbostadshus med central återkoppling (R50:1989). Stockholm: Byggforskningsrådet.
- Jensen, L. (1978). Digital reglering av klimatprocesser. Doktorsavhandling. Lund: Reglerteknik, Lunds tekniska högskola.
- Jensen, L. och Lange, E. (1982). Energianvändning och energibesparing i Malmö – Undersökning av ett höghus (R9:1982). Stockholm: Byggforskningsrådet.
- Hedin, B. och Jensen, L. (1983). Regler- och styrprinciper för inomhustemperaturen i flerbostadshus med vattenburen värme (BKL 1983:6). Lund: Byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola.
- Jensen, L. (1999). Utvärdering av Hälsingborgshems system för komfortdebitering. Lund: Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola.
- Jensen, L. (2010). Innetemperaturens osäkerhet. TVIT—10/7054. Lund: Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola.
- Nordqvist, B. (1999). De boendes inställning till system med individuell värmedebitering. Lund: Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola.
- Peterson, F. (1975). Temperaturgradienter vid olika uppvärmningssystem. Meddelande nr 65, Tekniska meddelanden 1975:3 (vol. 4). Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.
- Rundberg, G. (2005). Individuell värmedebitering. Från uppstart i kv Grynmalaren till igångsättning i kv Labben (TVIT--05/7005). Lund: Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola.

Appendix A – Korrektion av rumstemperatur

Beräkning av medeltemperaturen inomhus har gjorts utifrån de temperaturmätningar som systemet för individuell mätning och debitering av värmekostnader samlar in. För dessa temperaturmätningar finns temperaturgivare monterade i alla vardagsrum och sovrum i alla lägenheter i huvudförsöksgruppen och i kontrollgrupp 2. Givarna är placerade 2.1 meter över golv invid dörrkarmen i varje rum. Efter en studie (Rundberg, 2005) valdes denna placering för att minska risken att givaren blir solbelyst eller påverkad av värme från TV, datorer, mm, eller att de boende blockerar givaren med möbler eller på annat sätt oavsiktligt påverkar temperaturmätningen.

I studien Mätning av innetemperatur. ELIB-rapport 4 (Boman et al, 1993), som ingick i en landsomfattande teknisk undersökning av inneklimatet i svenska bostäder och genomfördes 1991-1992, placerades temperaturmätarna ca 1.8 m över golv.

Den uppmätta temperaturen 2.1 m över golvnivå är, på grund av temperaturgradienten i rummet, något högre än den är 1.1 m över golv, som enligt SS-EN ISO 7726 (Ergonomi för termiskt klimat - Instrument för mätning av fysiska storheter) används vid mätning av operativ temperatur för en stående person och som bättre skulle ha representerat drifttemperaturen för rummet. Beroende på tillförd värmeeffekt och på typen av uppvärmningssystem, radiatorer, golvvärme, takvärme, etc., kommer temperaturgradienten att vara olika stor.

I tekniska meddelande nr 65 (Peterson, 1975) finns en kort sammanställning över temperaturgradienten vid olika uppvärmningssystem. Gradienten vid konvektiv uppvärmning anges till 2 – 3 K/m, vid radiatorvärme 1 – 2 K/m, vid takvärme 0.02 P , där P är värmeeffekt i W/m^2 samt för golvvärme anges gradienten vara 0 K/m.

Ett enkelt försök att uppskatta temperaturgradienter i ett rum kan göras genom att anta att rummet befinner sig i termisk balans. Värmetillförseln från plymer från konvektiva värmekällor balanseras av identiska plymer från konvektiva värmesänkor. Temperaturskillnaden mellan golv och tak beräknas som dubbla övertemperaturen vid taket för plymer för värmekällor.

Beräkningen av plymöver- eller undertemperaturen förutsätter en konstant rumstemperatur oberoende av höjden. Detta är en förenkling som leder till en överskattning av temperaturgradienten, eftersom plymerna påverkas av vertikala temperaturgradienter i ett rum.

Temperaturgradienten i medeltal uppskattas som temperaturskillnaden mellan tak och golv dividerat med rumshöjden 2.4 m.

Tre olika fall med plymer undersöks, en plym för en punktkälla på olika nivå i rummet, för flera lika stora plymer samt för en plym för en linjekälla. Den tillförda effekten varierar från 0 till 1000 W och för linjekällan från 0 till 1000 W/m. Resultatet för de tre fallen redovisas i Figur A.2 – Figur A.4.

Temperaturgradienter i ett rum orsakas av konvektionsströmmar i rummet. En enkel konvektionskälla är en punktförmig värmekälla som även kan ges en viss utsträckning. Luftflödet ökar med höjden, z , samtidigt som temperaturen minskar eftersom den tillförda effekten P är densamma under hela strömningsförloppet. Följande samband (Danvak, 1997) gäller för totalflödet q och ett modifierat uttryck för medeltemperaturskillnaden i plymen ΔT till rummet i övrigt.

$$q = a \cdot P^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (m^3/s) \quad (A.1)$$

$$\Delta T = b \cdot P^{2/3} \cdot z^{-5/3} \quad (K) \quad (A.2)$$

Den tillförda effekten P kan skrivas som

$$P = \rho \cdot c_p \cdot q \cdot \Delta T \quad (W) \quad (A.3)$$

Insättning av (A.1) och (A.2) i (A.3) ger efter förenkling att

$$\rho \cdot c_p \cdot a \cdot b = 1 \quad (A.4)$$

där

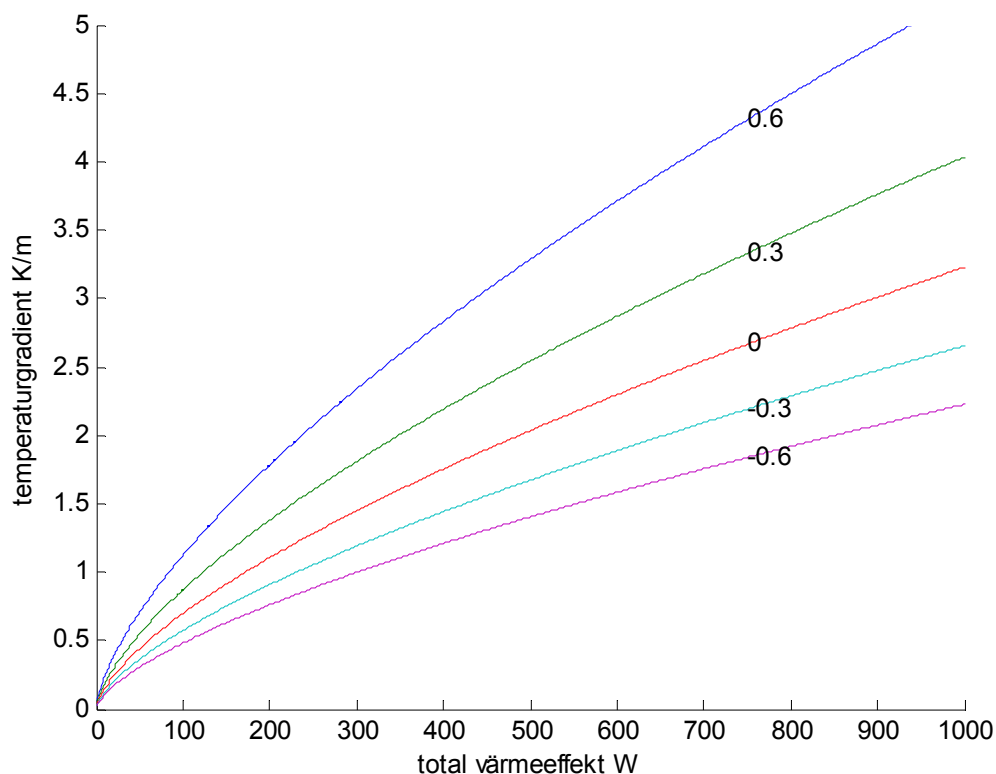
q	luftflöde (m^3/s)
P	värmekällans konvektiva effekt (W)
z	nivå över värmekällan (m)
ΔT	medeltemperaturskillnad mellan plym och omgivning (K)
ρ	$1.200 \text{ kg}/\text{m}^3$
c_p	$1000 \text{ J}/\text{kgK}$
a	0.005
b	0.167

Den totala temperaturskillnaden mellan golv och tak har satts lika med två gånger plymövermedeltemperaturen. Plymens sluttemperatur skall vara lika med taktemperaturen. Plymen har beräknats för ett fall med konstant rumstemperatur lika med dess medeltemperatur. Gradientens inverkan på konvektionsströmmen har försumrats. Kurvorna visar att temperaturgradienten ökar något med tillförd effekt men inte linjärt. Temperaturgradienten halveras om effekten minskas till en tredjedel ($0.5^{1.5}$).

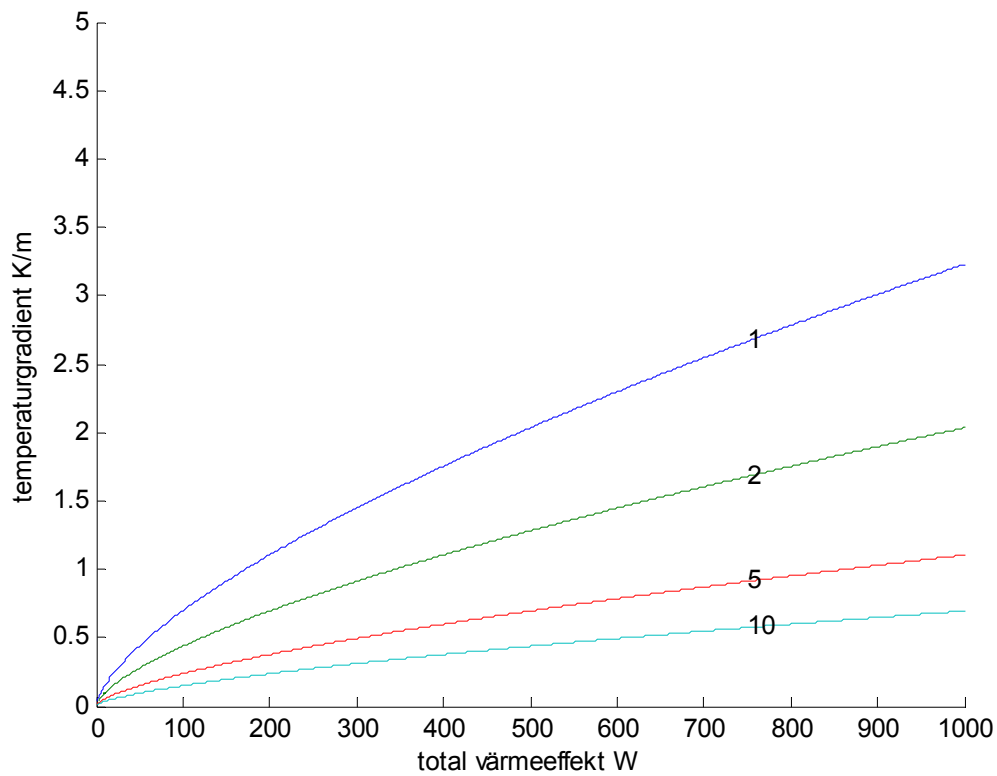
Den skattade temperatursgradienten enligt ovan, räknad per meter höjdskillnad, redovisas i Figur A.1 som funktion av tillförd konvektiv effekt från en punktförmig värmekälla och för olika plymstartpunkt över golv. Notera att varje värmekälla har en speglad värmesänka.

Om värmeförseln sker uppdelat på flera lika stora värmekällor minskar plymens övertemperatur betydligt. Detta kan stämma bättre överens med ett fall med en stor värmekälla, t ex en människa, en televisionsapparat, en dator, en lampa, ett värmeelement, ett akvarium, osv. I Figur A.2 redovisas resultatet för 1, 2, 5 respektive 10 lika stora värmekällor med samma totaleffekt. Även här har varje värmekälla en speglad värmesänka. En uppdelning av värmeförseln på flera källor minskar temperaturgradienten betydligt. Effektberoendet är dock detsamma.

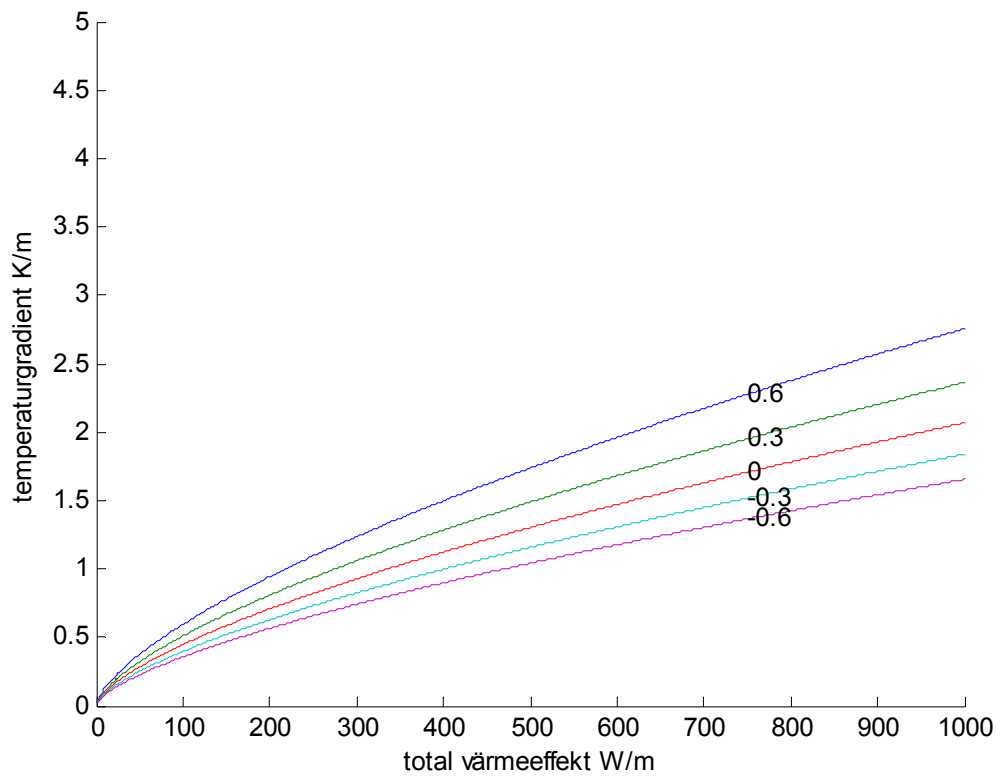
En värmekälla kan ha en viss utsträckning, t ex en linjär värmekälla (en horisontell varm tråd). Sambandet mellan effekt och flöde liknar sambandet för en punktförmig värmekälla. Den framräknade temperaturgradienten enligt Figur A.3 är något lägre än för en punktförmig värmekälla. En jämförelse mellan dessa två typer visar att en linjekälla är grovt lika med två punktkällor med samma effekt.



Figur A.1 Temperaturgradient för en punktförmig värmekälla och värmesänka med olika starthöjd.



Figur A.2 Temperaturgradient för en eller flera punktformiga värmekällor och värmesänkor.



Figur A.3 Temperaturgradient för en linjär värmekälla och värmesänka.

Sammanfattningsvis kan sägas att kurvorna visar att temperaturgradienten ökar med ökande värmeförsel. Sambandet är inte linjärt och redan en mindre effekttillförsel skapar en måttlig temperaturgradient även utan uppvärmning i storleksordningen 0.5 K/m. Vid stor värmeförsel under svåra vinterförhållanden kan temperaturgradienten öka till uppskattningsvis 1.5 K/m.

Det skall påpekas att fasadens kyleffekt kan kompenseras av radiatorsystemets värmeeffekt. I ett idealt fall där dessa två effekter mer eller mindre kan kvittas mot varandra återstår endast de värmekällor som skapar icke uppvärmningstemperaturgradienten.

Grundat på detta har ekv (A.5) förslagits för kompensering av givarens placering, som används av LKF vid beräkning av debiteringstemperatur enligt komfortvärmepincipen.

$$T_{rum} = T_{mät} - 1 + 0.025 \cdot T_{ute} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A.5})$$

där

T_{rum}	beräknad temperatur på nivån 1.2 m över golv
$T_{mät}$	uppmätt temperatur på nivån 2.1 m över golv
T_{ute}	uppmätt utetemperatur ($^\circ\text{C}$)

Utetemperaturerna 20, 0 och -20 $^\circ\text{C}$ ger reduktionerna 0.5, 1.0 respektive 1.5 $^\circ\text{C}$.

Olika hustypers kompensering enligt (A.5) beroende på deras isoleringsstandard kan bedömas med ett sommargradientfall med en effekttillförsel på säg 200 W för ett rum. Vintergradientfallet bestäms i sin tur av sommareffekten ökad med själva värmeeffekten för uppvärmning vilket sammanlagt kan bli allt från 400 till 1000 W. Den dimensionerande effekten kan användas och räknas om till ett medelrum.

Ett alternativ är att utgå från värmeförbrukningen t ex 150 kWh/m² (enbart uppvärmning) som fördelas mot antalet gradtimmar för 20 $^\circ\text{C}$ som är 100 000 $^\circ\text{C}\cdot\text{h}$. Den specifika värmeförlusten blir 1.5 W/Km². En lägenhet på 100 m² och en temperaturskillnad på 40 $^\circ\text{C}$ ger en effekt på 6000 W. Uppdelat på fyra rum och ett kök fås effekten 1200 W som kan ge en viss gradient. Nyckeltalet 100 kWh/m² ger 4000 W och uppdelat 800 W för ett rum.

Uttrycket (A.5) är valt något konservativt för att vara på den säkra sidan genom att den beräknade temperaturen T_{rum} är lägre än den verkliga temperaturen om den mäts i mitten av rummet.

Appendix B – Huvudförsöksgrupp

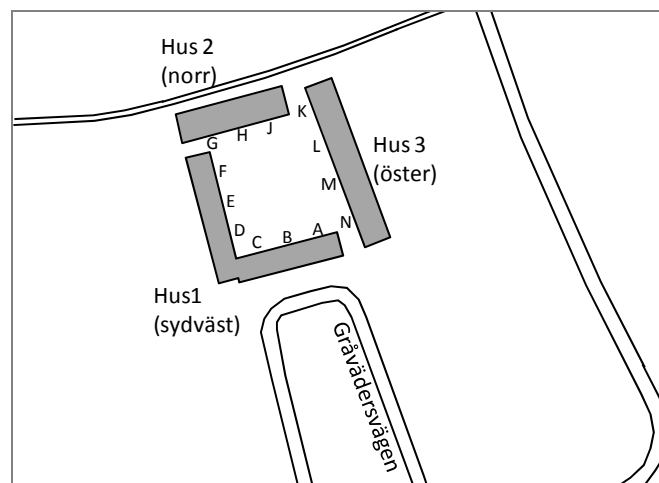
Objekt 1-3: Snödrivan



Figur B.1 Exteriör från kvarteret Snödrivan 1 (källa: hitta.se).

Objekten 1-3 är belägna i Klostergården vid Gråvädervägen 4. De byggdes 1965 i två respektive åtta våningar. 2004 byggdes höghusen på med en nionde våning. Taklägenheterna, som nås via loftgångar, har stora fönsterpartier mot söder och väster och takterrass. Bottenplanen i höghusen upptas delvis av tvättstugor och andra gemensamma utrymmen och i övrigt av bostäder. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats och övriga lägenheter har balkong, förutom lägenheterna om ett rum och kökskåp/kokvrå.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Återvinning sker med frånluftsvärme-pumpar. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system med handdukstorkar finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns 16 gemensamma tvättstugor.



Figur B.2 Situationsplan för kvarteret Snödrivan 1, Gråvädervägen 4, Lund.

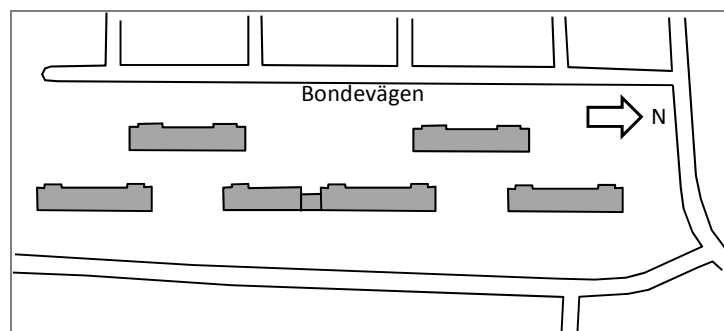
Objekt 4: Byalaget



Figur B.3 Exteriör från kvarteret Byalaget (källa: Google Maps)

Byalaget byggdes 1973 med 6 st 2-plansbyggnader med en souterrängvåning som förutom bostadslägenheter innehåller källarförråd och tvättstugor. Området är, när det gäller värmeteknik, ett av LKF's mest moderna. På taken till två av de sex huslängorna står sedan 1999 ett antal solpaneler som fångar upp värmen från solen och transporterar den till områdets panncentral. Där används solvärmen till att värma tappvarmvattnet. När solvärmen inte räcker till kompletteras den med naturgasuppvärmning. Alla lägenheter i bottenplanet har en mindre uteplats medan övriga lägenheter har balkong i väster med undantag för vissa tvårummare som har fransk balkong.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen värms med solvärme och naturgaseldade pannor. Värmen distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns 17 gemensamma tvättstugor.



Figur B.4 Situationsplan för kvarteret Byalaget, Bondevägen 1 – 11, Dalby.

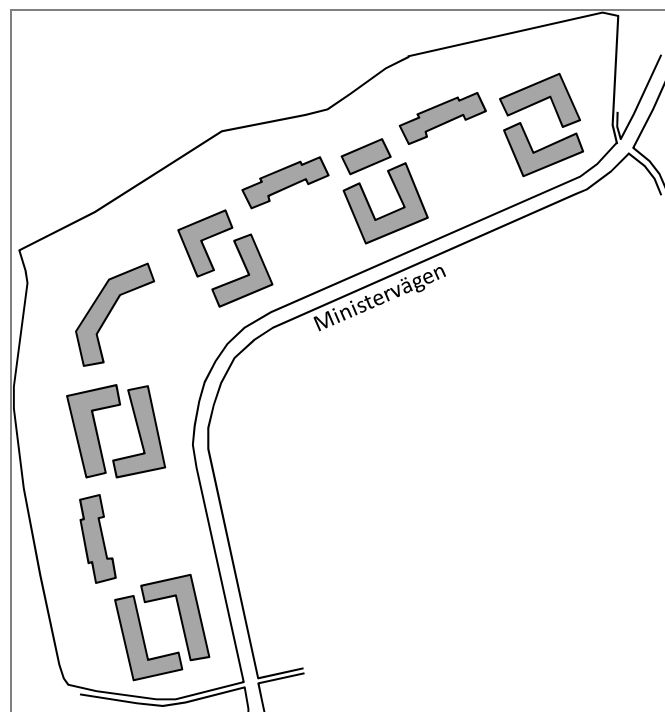
Objekt 5: Riksdagen



Figur B.5 Exteriörbilder från kvarteret Riksdagen (källa: LKF).

Kvarteret Riksdagen stod klart 1992. Området består av 1-plans och 2-plansbyggnader i radhuskaraktär kring bilfria inngårdar. Lägenheterna, 92 st, har antingen trädgård eller balkong. Intill området finns odlingslotter som hyresgästerna kan hyra. Vid gaveln på hus 53 finns en gemensam tvättstuga och i 2-planshusens källare finns lägenhetsförråd och även en gemensamhetslokal. I övrigt finns uppvärmda garage och sophus.

Ventilationen sker med centralaggregat för mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning (FTX). Husen värms med vattenradiatorer via ett internt kulvertsystem och en gemensam fjärrvärmecentral, där även tappvarmvattnet värms. Värmen distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 55/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Varje lägenhet har egen tvättstuga.



Figur B.6 Situationsplan för "Objekt 5", kvarteret Riksdagen, Ministervägen 1 – 99, Lund

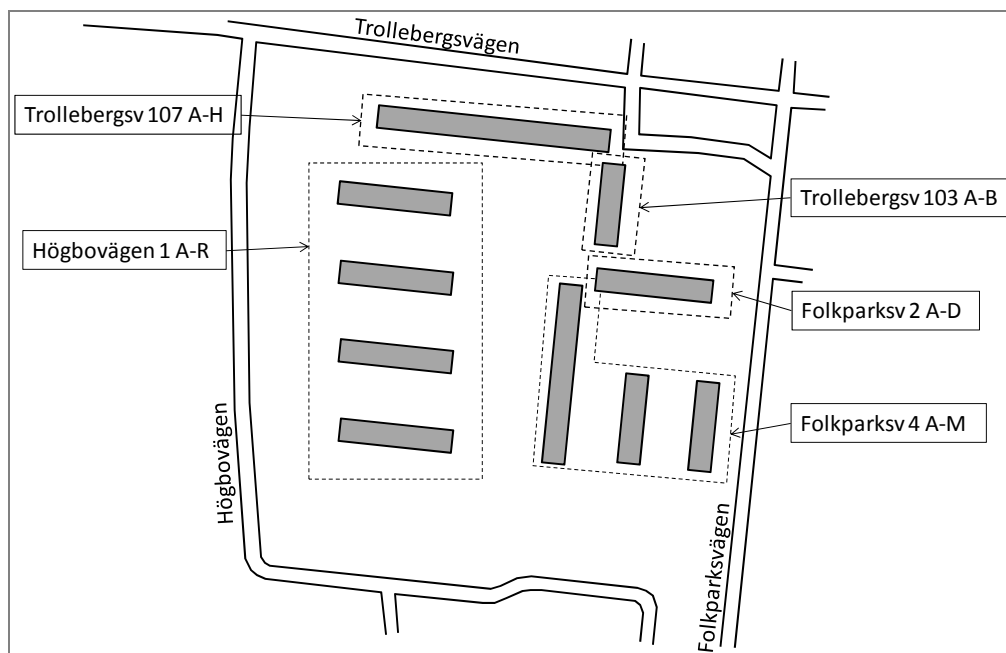
Objekt 6: Spjället och Pottugnen



Figur B.7 Exteriör från Högbovägen 1 A-R (källa: hitta.se).

Objekt 6 består av tio tre- och fyra våningshus uppförda 1963 i två kvarter vid Folkets Park i Lund. 1992-1993 genomgick området en omfattande renovering då bland annat de platta taken ersattes med sadeltak och balkongerna glasades in. Ett mindre antal lägenheter har uteplats, övriga har balkong. Förutom bostadslägenheter finns fyra lokaler.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns tio gemensamma tvättstugor.



Figur B.8 Situationsplan för objekt 6, kvarteren Spjället och Pottugnen, Lund.

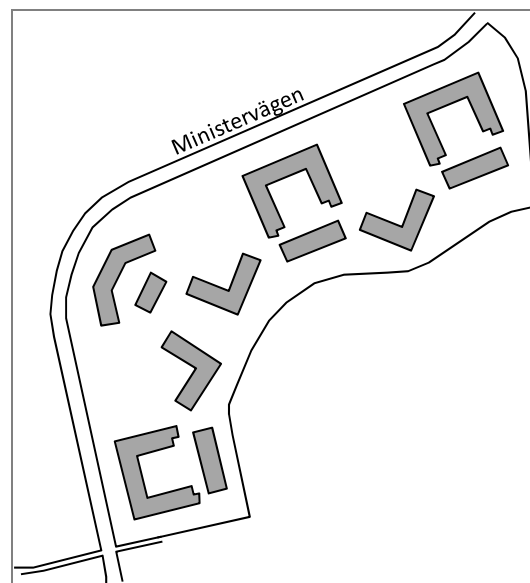
Objekt 7: Regeringen



Figur B.9 Exteriörbilder från kvarteret Regeringen (källa: LKF).

Under 1995 färdigställdes 85 lägenheter, i huvudsak tre- och fyrrummare, i tre U-formade tvåplansbyggnader och åtta enplansbyggnader. Husen är grupperade runt sju bilfria grönskande gårdar. Alla lägenheter har egen entré direkt utifrån. Lägenheterna på tvåplanshusens ovanvåningar nås via utvändiga trappor, de har balkong, i vissa fall åt två håll. Lägenheterna i markplanet har tomt med uteplats.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen värms, via ett internt kulvertsystem och en gemensam fjärrvärmecentral, med vattenradiatorer i tvårörssystem med fram- och returtemperatur 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Alla lägenheter har tvättutrustning i badrummen.



Figur B.10 Situationsplan för objekt 7, kvarteret Regeringen, Ministervägen 2 – 170, Lund (källa: hitta.se).

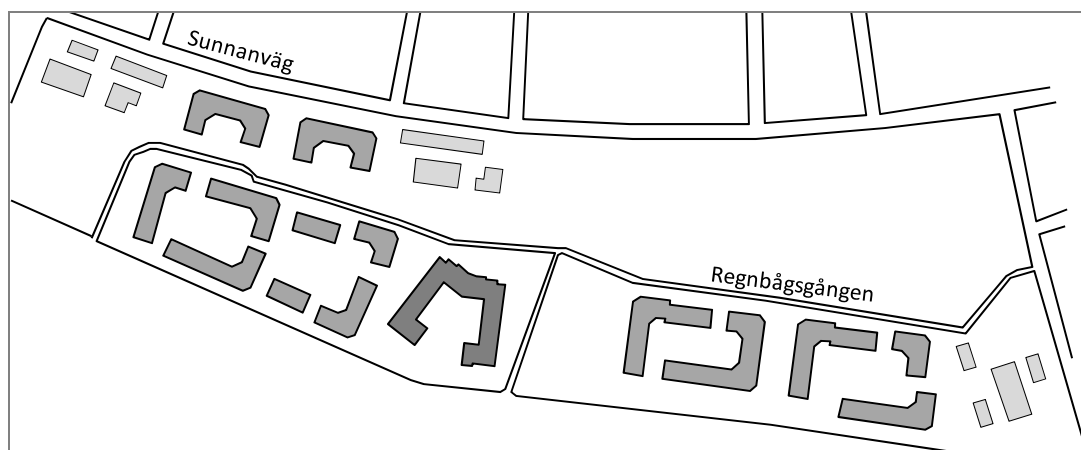
Objekt 8: Regnbågen



Figur B.11 Husen vid Regnbågsgången (källa www.kartor.eniro.se)

I kvarteret Regnbågen, öster om Källbybadet, byggde LKF 133 lägenheter 1989. Lägenheterna är fördelade på 14 tvåvåningshus som ligger grupperade runt individuellt utformade gårdar. Hela området binds samman med ett gång- och cykelstråk. Huvuddelen av lägenheterna har uteplats och inglasat uterum eller balkong, vissa lägenheter har enbart balkong. En gemensamhetslokal på 87 m² belägen i källare ingår i den uppvärmda arean. Alla lägenheter har källarförråd i samma eller intilliggande hus. Garage och sophus finns i ouppvärmade byggnader i kvarteret. I området finns även ett kollektivhus med 19 lägenheter, som dock inte ingår i objekt 8.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med forceringsmöjlighet i kökskåpor. Husen värms, via ett internt kulvertsystem och en gemensam fjärrvärmecentral, med vattenradiatorer i tvårörssystem med fram- och returtemperatur 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Området har 24 gemensamma trapphustvättstugor och de största lägenheterna har egen tvättutrustning, antingen i separat tvättstuga eller i badrum.



Figur B.12 Situationsplan för kvarteret Regnbågen. De ljusare byggnaderna är garage och sophus och den stora, något mörkare, hästskoformade byggnaden i mitten är kollektivhuset.

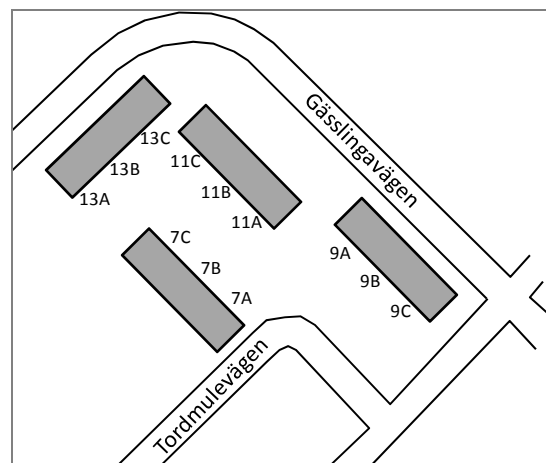
Objekt 9: Labben



Figur B.13 Nordvästfasad utmed Gäslingavägen. (källa: Google Maps)

Objekt 9 består av fyra trevåningsbyggnader belägna på Klosters fälad i Lund. De fyra rektangulära trevåningshusen, som byggdes 1965, ligger kring en bilfri gård. Samtliga 72 lägenheter har balkong som glasades in 1997-98. Då fick lägenheterna i bottenplanet, som ligger en halvtrappa upp, också avskärmade uteplatser som man når via en trappa från balkongen.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Området har två gemensamma tvättstugor.



Figur B.14 Situationsplan för kvarteret Labben, Gäslingavägen 9 - 13 och Tordmulevägen 7, Lund

Objekt 10: Solisten



Figur B.15 Exteriörbild från kvarteret Solisten (källa: LKF).

Under 1986 byggde LKF 166 lägenheter i kvarteret Solisten. Bebyggelsen kompletterades 1993 med ytterligare sex tvåplans etagelägenheter. Längs det oregelbundet formade kvarterets ytterkanter ligger 51 enplans radhuslägenheter med egen tomt. Inne i kvarteret ligger 20 flerfamiljshus i två våningar. Lägenheterna i flerfamiljshusen har inglasade uterum. Lägenheterna i bottenplanet har dessutom uteplats medan lägenheterna på andra våningen har balkong. Varje lägenhet har förråd dels i trapphus och dels i friliggande förrådsbyggnader. I området finns ett kvartershus med lokal på 53 m² samt bastu och personalutrymmen.

Tvåvåningshusen har antingen F- ventilation med centralaggregat medan enplanshusen har FTX-ventilation i lägenhetsaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. I tvåvåningshusen delas en tvättstuga av 4 lägenheter, i enplanshus finns tvättutrustning i badrum.



Figur B.16 Situationsplan för objekt 10, kvarteret Solisten, Lund .

Appendix C – Kontrollgrupp 1

Objekt 11: Modersmålet 1



Figur C.1 Exteriörbild från kvarteret Modersmålet (källa: LKF).

År 1992 byggdes de 104 lägenheterna i kvarteret Modersmålet. Lägenheterna är fördelade på 23 tvåvånings- och ett trevåningshus, som ligger oregelbundet utlagda längs ett slingrande gångstråk. 20 fyrrummare och fyra femrummare är byggda som etagelägenheter. Alla lägenheter i markplanet har uteplats. Övriga lägenheter har balkong.

Ventilationen är mekanisk från- och tilluft (FTX) med centralaggregat i trevåningshuset och lägenhetsaggregat i övriga. Husen värms av naturgaseldade pannor och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Lägenheterna har egen tvättmaskin, i övrigt finns en gemensam tvättstuga.



Figur C.2 Situationsplan för objekt 11, kvarteret Modersmålet.

Objekt 12: Fiolen



Figur C.3 Exteriörbild från kvarteret Fiolen (källa: LKF).

1993 byggdes de 136 lägenheterna i kvarteret Fiolen på Östra Torn. Lägenheterna fördelar sig på två trevånings flerfamiljshus samt 21 radhus och flerfamiljshus i två plan. Alla radhuslägenheter är byggda i etage. Samtliga lägenheter i bottenplanet har egen tomt, övriga har balkong, som i vissa lägenheter är inglasad.

Ventilationen är mekanisk från- och tilluft (FTX) med centralaggregat. Husen värms av naturgaseldade pannor och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Lägenheterna har egen tvättmaskin, i övrigt finns 2 gemensamma tvättstugor.



Figur C.4 Situationsplan objekt 12, kvarteret Fiolen, Östra Torn.

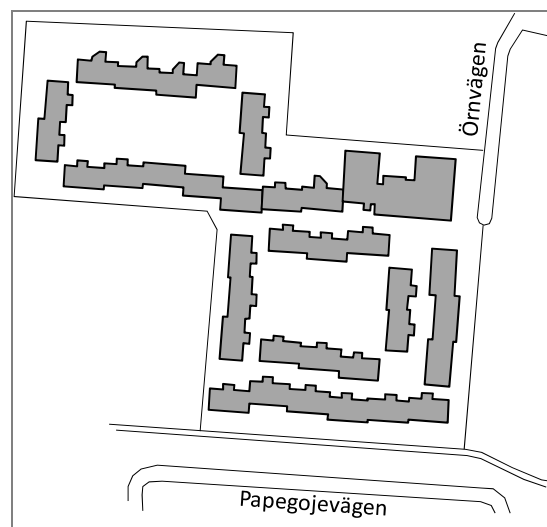
Objekt 13: Lövsångaren 5-8 och Väster 2:24



Figur C.5 Exteriörbild från kvarteret Lövsångaren (källa: LKF).

Kvarteret bebyggdes i slutet på 1970-talet. Husen varierar i höjd från två till sex våningar plus inredd vindsvåning. Husens ytskikt är en blandning av tegel, trä och plåt i varierande färger. De 414 lägenheterna, varav 293 är tvårummare, varierar mycket i storlek och planlösning. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats, övriga lägenheter har balkong med undantag för vindslägenheterna.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med tryckstyrda centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med ettrörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Området har 10 gemensamma tvättstugor.



Figur C.6 Situationsplan för objekt 13, kvarteret Lövsångaren 5 m fl.

Objekt 14: Mjölet, Dalby



Figur C.7 Exteriörbild från kvarteret Mjölet i Dalby (källa: LKF).

Åren 1981-82 byggdes 122 lägenheter i kvarteret Mjölet i Dalby. 34 av lägenheterna ligger i en- eller tvåplans radhus medan övriga lägenheter ligger i tvåplans flerbostadshus. Lägenheterna på andra våningen har ingång via utvändig trappa och loftgång. Till alla lägenheter i markplanet hör uteplats medan lägenheterna på andra våningen har balkong.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) utom i två byggnader som har och mekanisk från- och tilluft (FTX) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorssystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Området har fyra gemensamma tvättstugor.



Figur C.8 Situationsplan för objekt 14, kvarteret Mjölet, Dalby.

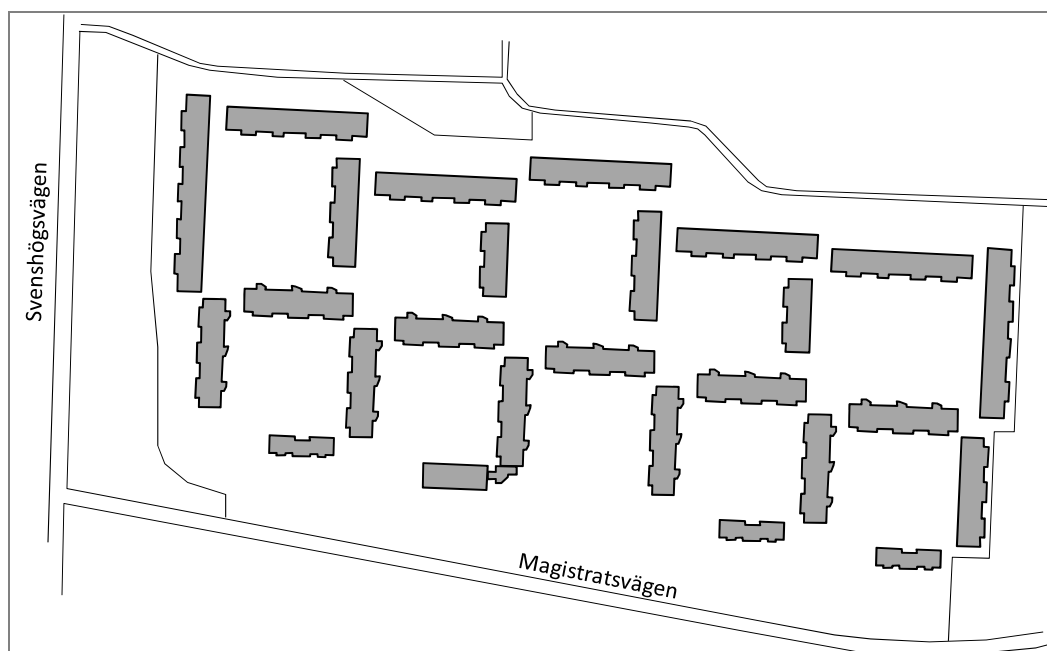
Objekt 15: Rådhusrätten 1 – 4



Figur C.9 Exteriörbild från kvarteret Rådhusrätten (källa: LKF).

I kvarteret Rådhusrätten uppförde LKF 476 lägenheter i 22 bostadshus. Husen i 3-4 våningar stod klara 1968. Lägenhetsbeståndet domineras av 3-5-rummare med generöst tilltagna ytor. Lägenheterna har uteplats eller balkong. Många balkonger är numera inglasade. 2001 kompletterade LKF bebyggelsen i Rådhusrätten med 18 lägenheter fördelade på tre hus. Sex av lägenheterna är etagelägenheter. Lägenheterna i bottenplanet har uteplatser, på andra våningen finns balkong. Under området finns varmgarage.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med möjlighet till forcering i kökskåpor. Återvinning sker med frånluftsvärmepumpar. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C i de äldre och 55/40°C i de nyare byggnaderna. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns sex gemensamma tvättstugor.



Figur C.10 Situationsplan objekt 15, kvarteret Rådhusrätten.

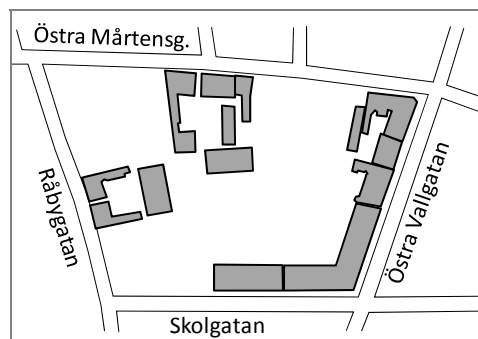
Objekt 16: Östertull



Figur C.11 Exteriörbild från kvarteret Östertull (källa: LKF).

LKF har genom köp och egen produktion blivit ägare till huvuddelen av bostäderna i kvarteret. Totalt omfattar LKFs bostadsbestånd i Östertull 132 lägenheter. I kvarteret finns en blandning av hus från enplans gathus vid Råbygatan till femvånings flerfamiljshus vid Östra Vallgatan och Skolgatan. De äldsta byggnaderna i kvarteret har sina rötter i 1700-talet, ett moderniserat korsvirkesmagasin härrör från 1800-talets början och de yngsta husen byggdes av LKF 1985.

Ventilationen sker med centralaggregat, antingen mekanisk frånluft (F) eller mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning (FTX), varierande mellan husen. Husen är anslutna till fjärrvärme och via sex fjärrvärmecentraler distribueras värme i tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns sju gemensamma tvättstugor.



Figur C.12 Situationsplan objekt 16, kvarteret Östertull.

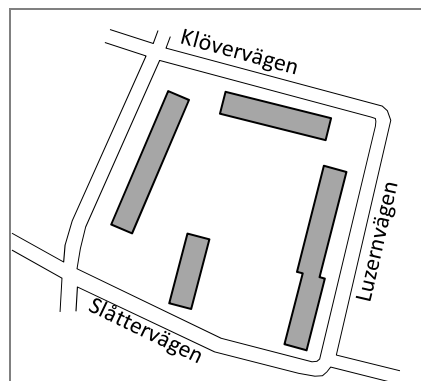
Objekt 17: Grödan



Figur C.13 Exteriörbild från kvarteret Grödan (källa: LKF).

Kvarteret stod inflyttningsklart 1956. De fyra bostadshusen ligger grupperade kring en bilfri och lummig innergård som öppnar sig mot söder. Samtliga balkonger i Grödan byttes 2008.

Ventilationen sker med självdrag (S). Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns fem gemensamma tvättstugor.



Figur C.14 Situationsplan objekt 17, kvarteret Grödan.

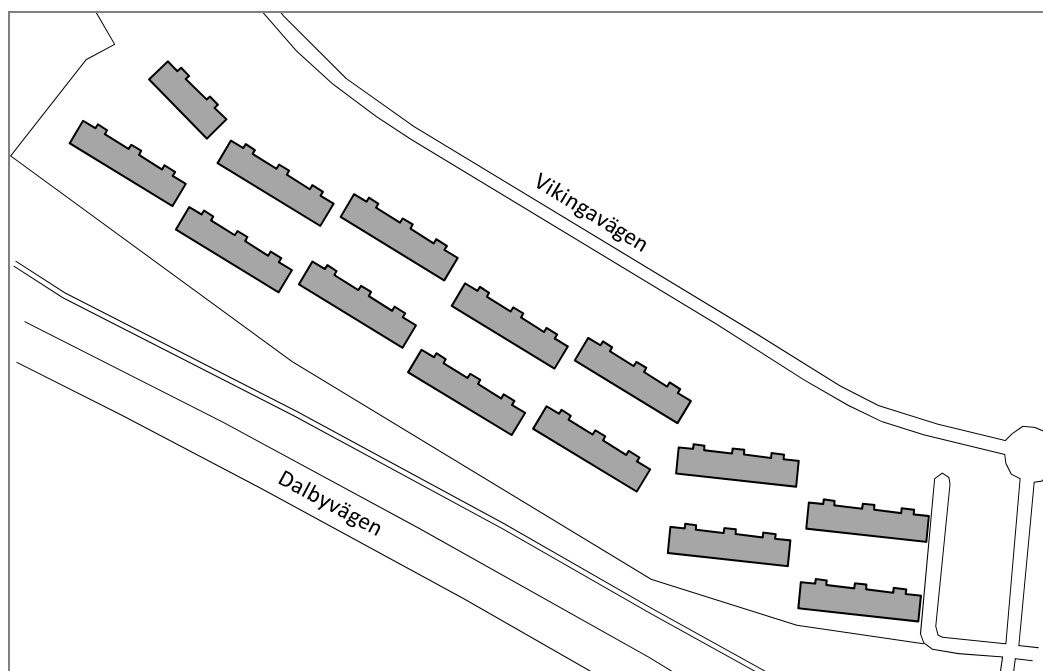
Objekt 18: Eddan



Figur C.15 Exteriörbild från kvarteret Eddan (källa: LKF).

I början på 1970-talet byggde LKF 765 lägenheter i kvarteret Eddan, söder om Vikingavägen, och kvarteret Havamal, norr om Vikingavägen. Arkitekten planerade området med utgångspunkt från den starkt sluttande terrängen på Linero och lade huskropparna längs höjdkurvorna för att ge bästa möjliga utsikt från lägenheterna. Många av lägenheterna var enrummare som gick att slå samman med större grannlägenheter. På grund av sådana sammanslagningar har Eddan, som ligger söder om Vikingavägen, i dag 323 lägenheter. Alla lägenheter i markplanet har uteplats, övriga har balkong. Många balkonger är numera inglasade.

Ventilationen sker med mekanisk frånluft (F) i tryckstyrda centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med ettrörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns 15 gemensamma tvättstugor.



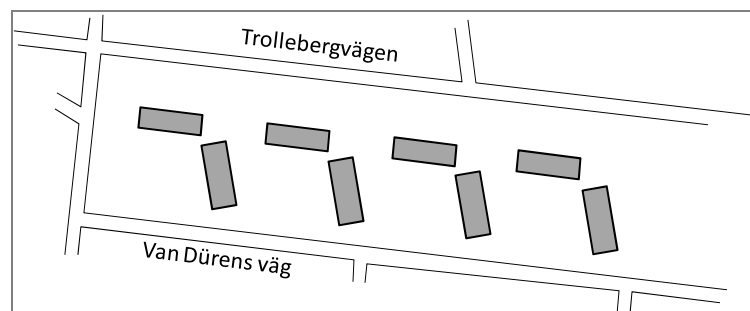
Figur C.16 Situationsplan objekt 18, kvarteret Eddan, Lund.

Objekt 19: Pilelyckan



Figur C.17 Exteriörbild från kvarteret Pilelyckan (källa: LKF).

De åtta trevåningshusen, som stod klara 1947, är LKFs första egenproducerade. 1985-86 genomgick området en omfattande renovering då sex trapphus försågs med hissar, samtliga balkonger byttes ut och ett antal smålägenheter byggdes samman med större lägenheter. På 2000-talet har dessutom 16 vindslägenheter byggts i Pilelyckan. I dag uppgår antalet lägenheter i kvarteret till 112. Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med tryckstyrda och utetemperaturkompenserande centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns fyra gemensamma tvättstugor.



Figur C.18 Situationsplan objekt 19, kvarteret Pilelyckan.

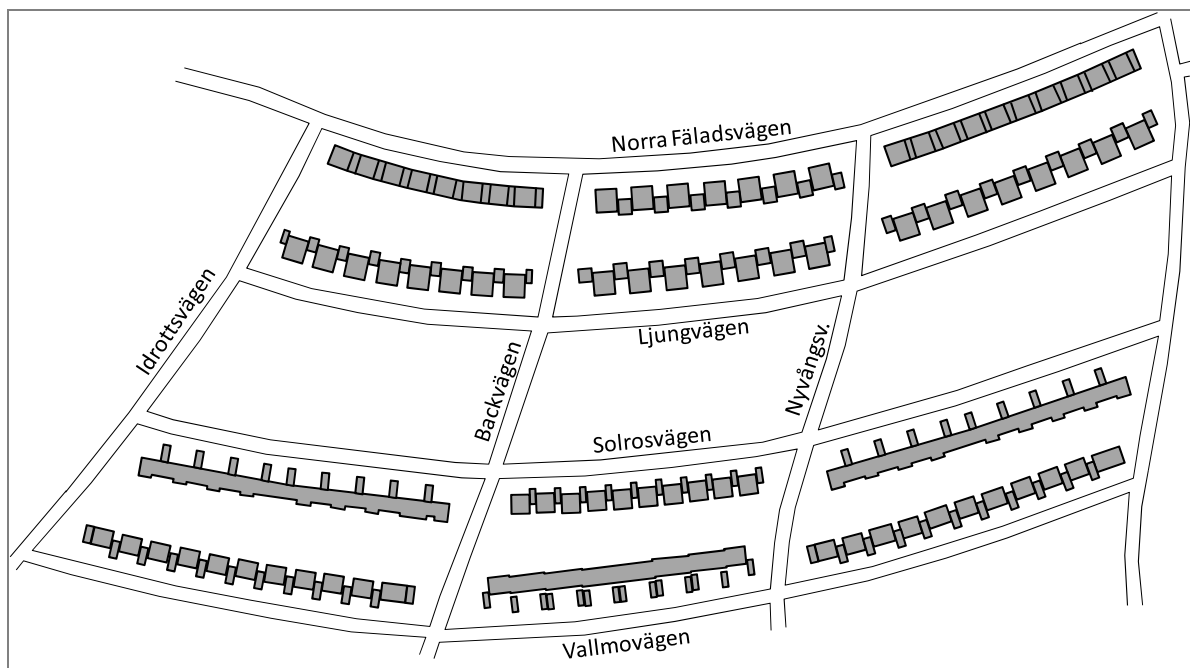
Objekt 20: Ljungen, Dalby



Figur C.19 Exteriörbild från kvarteret Ljungen i Dalby (källa: LKF).

De 160 radhuslägenheterna i sex kvarter uppfördes 1962-1963. Lägenhetsstorleken varierar från 1 till 5 rum och kök. Lägenheterna har uteplats eller trädgård.

Ventilationen sker med mekanisk frånluft (F) alternativt självdrag (S). Husen är uppvärmda med naturgaseldade pannor placerade i källare, en vid Norra Fäladsvägen och en vid Solrosvägen. Värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns fyra gemensamma tvättstugor.



Figur C.20 Situationsplan objekt 20, kvarteret Ljungen m fl, Dalby.

Appendix D – Kontrollgrupp 2

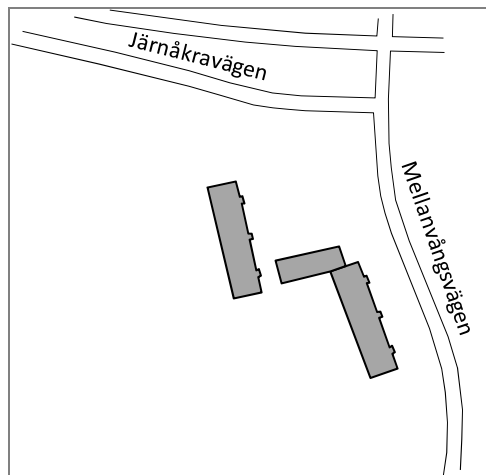
Objekt 21: Dikes- o Sandryggen



Figur D.1 Exteriörbild från kvarteret Dikes- och Sandryggen (källa: LKF).

De två tioväningshusen i Dikes- och Sandryggen samt Karhögstorgs stadsdelscentrum, byggdes 1957-59. I Dikes- och Sandryggen dominerar tre- och fyrrummare. Samtliga lägenheter har balkong. Vissa lägenheter i bottenplanet har uteplats som nås via trappa från balkongen.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Värmeåtervinning sker med frånluftsvärmepump. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Totalt finns två gemensamma tvättstugor.



Figur D.2 Situationsplan över kvarteret Dikes- och Sandryggen.

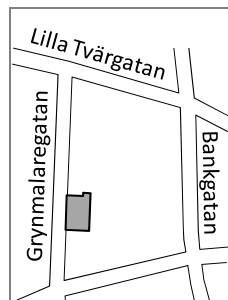
Objekt 22: Svarvaren 34



Figur D.3 Exteriörbild från kvarteret Svarvaren 34 (källa: LKF).

Under 1985 byggde LKF ett trevånings gatuhus vid Grynmalargatan i Lund. I huset finns sju lägenheter, varav tre är i två plan. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats mot gården, övriga lägenheter har balkong.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Huset är anslutet till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. I huset finns en gemensam tvättstuga.



Figur D.4 Situationsplan för objekt22, kvarteret Svarvaren 34, Lund.

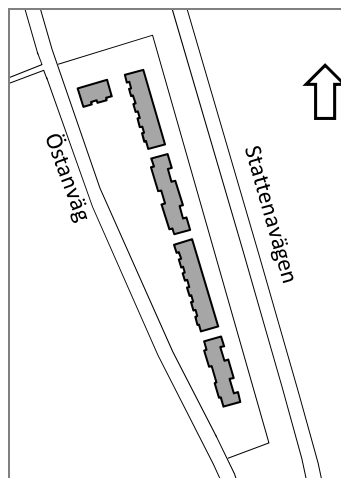
Objekt 23: Molnet



Figur D.5 Exteriörbild från kvarteret Molnet (källa: LKF).

Under 1998 byggde LKF 29 lägenheter i kvarteret Molnet mellan Stattenavägen och Östanväg. Lägenheterna är fördelade på fem tvåvåningshus. 13 lägenheter är etagelägenheter med inglasade uterum i två plan. Lägenheterna på andra våningen nås via utvändigt trappa. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats med tomt. Etagelägenheterna har dessutom balkong i uterummet. Lägenheterna på plan två har balkong.

Ventilationen sker med mekanisk frånluft (F) med villastyrda aggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 55/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Alla lägenheter har egen tvättutrustning.



Figur D.6 Situationsplan objekt 23, kvarteret Molnet, Lund.

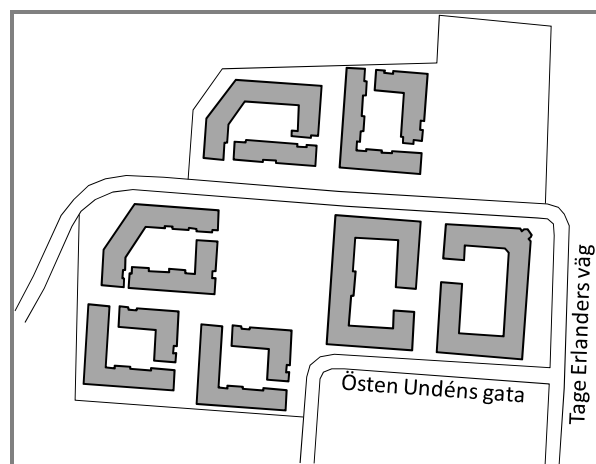
Objekt 24: Excellensen 1 och Statsministern 1



Figur D.7 Exteriörbild från kvarteret Excellensen och Statsministern (källa: LKF).

Excellensen var färdigbyggt 1992. Husen är fördelade på sju husgrupper med stor variation i höjd och utformning liksom i utformningen av lägenheter och gårdar. Det fem våningar höga huset i områdets nordöstra hörn påminner med sitt torn om innerstadens äldre stenhus och ger Excellensen en karaktäristisk profil. Alla lägenheter har uteplats eller balkong, i vissa fall inglasad.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Alla lägenheter har egen tvättutrustning, i övrigt finns en gemensam tvättstuga.



Figur D.8 Situationsplan objekt 24, kvarteret Excellensen 1 och Statsministern 1, Lund.

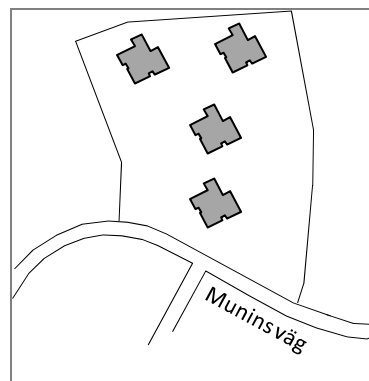
Objekt 25: Snäckan 2



Figur D.9 Exteriörbild från kvarteret Snäckan 2 (källa: LKF).

2008 byggde LKF 30 lägenheter i kvarteret Snäckan på östra Linero med milsvid utsikt över landskapet runt Lund. Lägenheterna i Snäckan är fördelade på tre 3-4-vånings- och ett 4-5-våningshus. Lägenheterna i markplanet har uteplats omgärdad av häck, övriga lägenheter har stora balkonger.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med tryckstyrda och utetemperaturkompenserande centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. Förutom fjärrvärme finns frånluftsvärmepump för värme och varmvatten. VVC-system finns. För närvarande sker gemensam varmvattenmätning. Alla lägenheter har egen tvättutrustning.



Figur D.10 Situationsplan för kvarteret Snäckan 2.

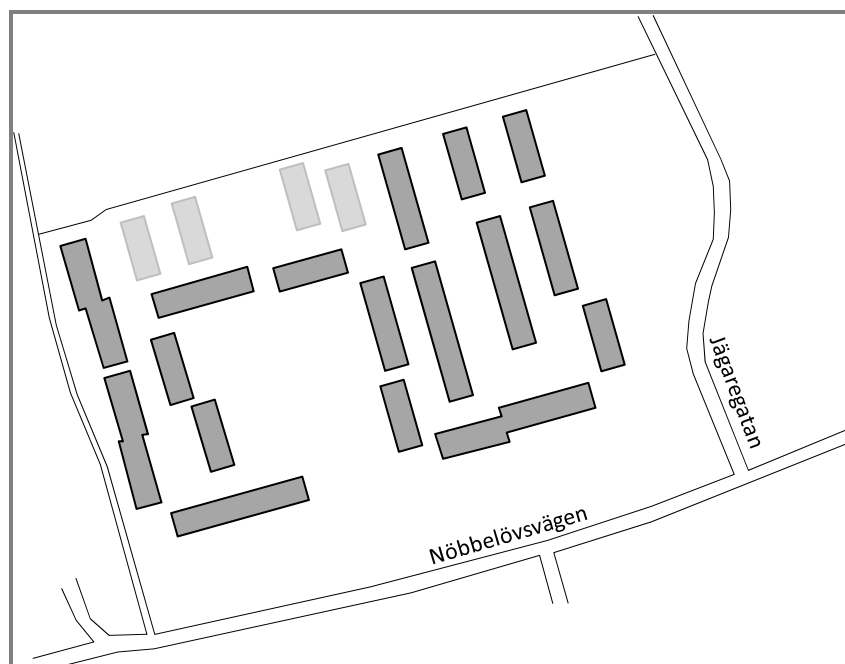
Objekt 26: Jägaren 1



Figur D.11 Exteriörbild från kvarteret Jägaren 1 (källa: LKF).

Under åren 1972-74 byggde LKF 230 lägenheter i 20 st tvåvåningshus i kvarteret Jägaren på Nöbbelöv i Lund. Huvuddelen av lägenheterna är en- och tvårummare. Alla lägenheter utom enrummare med kokvrå har antingen uteplats eller balkong.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med tryckstyrda centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 80/60°C. VVC-system finns. För närvarande sker ingen varmvattenmätning. I området finns tre gemensamma tvättstugor.



Figur D.12 Situationsplan för kvarteret Jägaren 1.

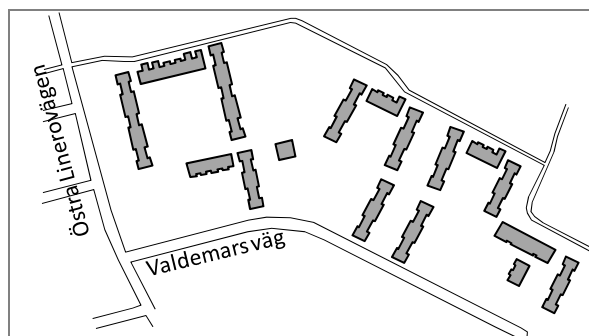
Objekt 27: Kungsgårdarna



Figur D.13 Exteriörbild från Kungsgårdarna (källa: LKF).

1991 byggde LKF 106 lägenheter i vad som kallas Kungsgårdarna på Valdemars väg i Lund. Lägenheterna är fördelade på 15 tvåvåningshus, som ligger grupperade runt sex gårdar med lekplatser och sittgrupper. 18 lägenheter ligger i radhus och är byggda i två plan. Övriga lägenheter ligger i flerfamiljshus. Lägenheterna på ovanvåningen har separat ingång. Alla lägenheter i markplanet har tomt, lägenheterna på andra våningen har balkong.

Ventilationen sker med mekanisk frånluft (F). Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. I området finns åtta gemensamma tvättstugor.



Figur D.14 Situationsplan för området Kungsgårdarna, kvarteren Willibald och Magnus den Gode.

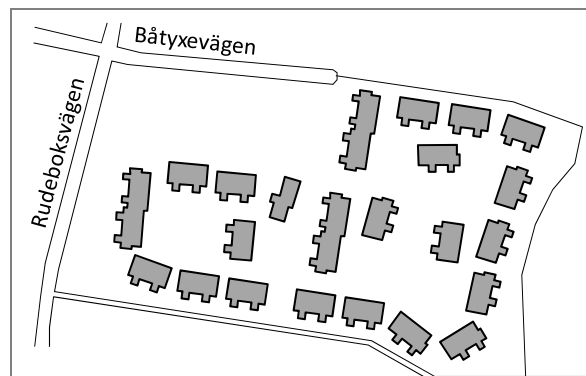
Objekt 28: Boplatsen



Figur D.15 Exteriörbild från kvarteret Boplatsen (källa: LKF).

Vid Båtyxevägen på Gunnesbo ligger Boplatsen, som stod färdigt 1986. Boplatsens 100 lägenheter är fördelade på 25 tvåvåningshus med fyra lägenheter i varje. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats medan lägenheterna på andra våningen har balkong. Samtliga lägenheter har dessutom inglasat uterum.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 60/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. I området finns 25 gemensamma tvättstugor.



Figur D.16 Situationsplan för kvarteret Boplatsen.

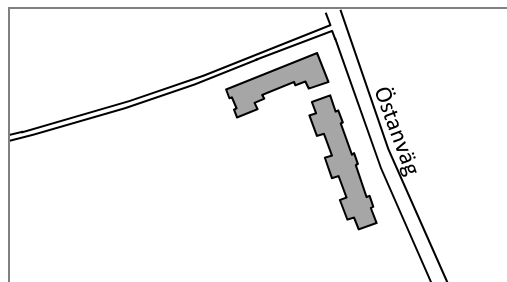
Objekt 29: Snödrivan 2



Figur D.17 Exteriörbild från kvarteret Snödrivan (källa: LKF).

Snödrivan 2, byggt 1998, uppfördes delvis på övertaliga parkeringsplatser. I kvarteret finns 58 lägenheter i två fyra våningshus. Lägenheterna i bottenplanet har uteplats och häckomgärdad tomt, övriga lägenheter har balkong.

Ventilationen är mekanisk frånluft (F) med centralaggregat. Husen är anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem och golvvärme med fram- och returtemperaturer 55/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Alla lägenheter har egen tvättutrustning.



Figur D.18 Situationsplan objekt 24, kvarteret Snödrivan 2, Lund.

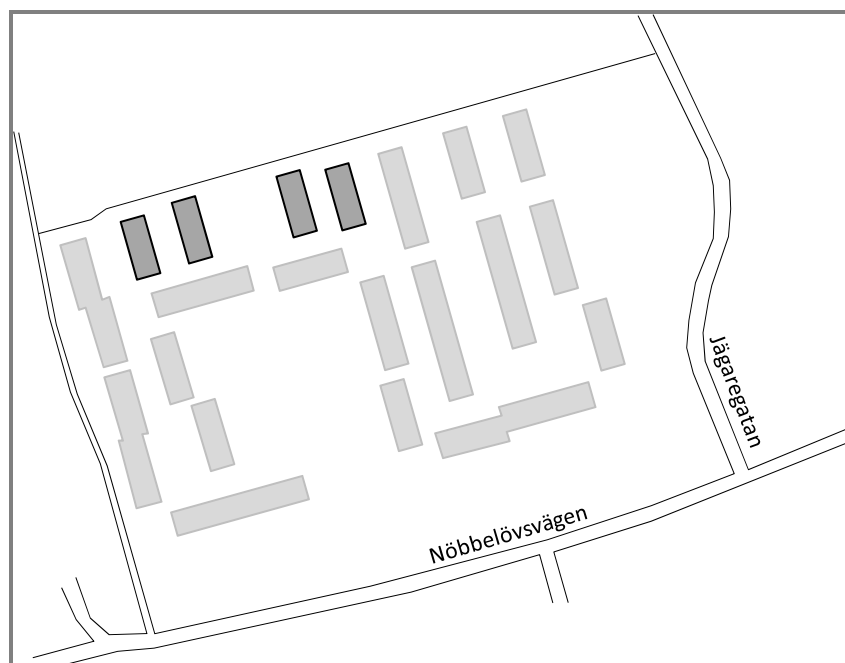
Objekt 30: Jägaren 2



Figur D.19 Exteriörbild från kvarteret Jägaren 2 (källa: LKF).

I kvarteret Jägaren byggde LKF 2006 fyra hus med 21 lägenheter. Tre- och fyrrummare utgör merparten av lägenheterna i husen som är byggda i två plan. De nio fyrrumslägenheterna har inglasade uterum i två våningar. Lägenheterna i bottenplanet har stor uteplats och lägenheterna på andra våningen har en stor balkong i väster och en liten i öster. I tre- och fyrrumslägenheterna finns ett extra ljudisolerat "tyst rum".

Ventilationen är mekanisk frånluft (F). Husen är, via shuntgrupp i objekt 26, anslutna till fjärrvärme och värme distribueras med tvårörs radiatorsystem med fram- och returtemperaturer 55/40°C. VVC-system finns. Ingen varmvattenmätning sker för närvarande. Alla lägenheter har egen tvättutrustning.



Figur D.20 Situationsplan objekt 30, kvarteret Jägaren 2, Lund.

Appendix E – Reglerinställningar

Tabell E.1 Brytpunkter (T_{ui} , T_{fi}) ($i=1-6$) för reglerkurva

objekt	datum	T_{u1}	T_{f1}	T_{u2}	T_{f2}	T_{u3}	T_{f3}	T_{u4}	T_{f4}	T_{u5}	T_{f5}	T_{u6}	T_{f6}
1	2008-12-22	-14	60	-10	58	0	52	10	44	0	0	0	0
	2009-12-23	-14	60	-10	58	0	54	10	44	0	0	0	0
	2010-10-14	-14	60	-10	58	0	50	10	38	15	30	20	20
	2010-12-03	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	30	20	20
	2011-06-01	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	27	20	20
2	2008-12-19	-14	60	-10	58	0	52	10	44	0	0	0	0
	2009-12-23	-14	60	-10	58	0	54	10	44	0	0	0	0
	2010-10-14	-14	60	-10	58	0	50	10	38	15	30	20	20
	2010-12-03	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	30	20	20
	2011-06-01	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	27	20	20
3	2008-12-22	-14	60	-10	58	0	52	10	42	0	0	0	0
	2009-12-23	-14	60	-10	58	0	54	10	44	0	0	0	0
	2010-10-14	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	30	20	20
	2011-06-01	-14	70	-10	65	0	54	10	38	15	27	20	20
4	2008-09-19	-14	70	-10	60	0	52	10	36	0	0	0	0
	2010-03-01	-14	70	-10	60	0	52	10	36	15	30	20	20
	2010-04-07	-14	70	-10	60	0	52	10	36	15	30	20	20
	2011-05-18	-14	70	-10	60	0	50	10	35	15	27	20	20
5	2008-12-19	-14	55	-5	47	5	42	20	20	0	0	0	0
	2009-01-27	-14	57	-5	50	5	44	20	20	0	0	0	0
	2010-02-02	-14	58	-5	53	5	46	10	36	15	30	20	20
	2010-09-21	-14	58	-5	53	5	46	10	36	15	30	20	20
	2011-05-04	-14	58	-5	53	5	46	10	33	15	27	20	20
	2011-07-04	-14	58	-5	53	5	46	10	33	15	27	20	20
6	2008-02-05	-14	60	-4	55	4	52	10	40	0	0	0	0
	2009-12-29	-14	60	-4	55	4	52	10	40	0	0	0	0
	2010-01-29	-14	60	-4	55	4	52	10	40	0	0	0	0
	2010-03-31	-14	60	-4	55	4	52	10	40	0	0	0	0
	2010-09-20	-14	60	-10	55	0	50	10	36	15	30	20	20
	2010-11-23	-14	62	-10	57	0	52	10	36	15	30	20	20
7	2010-01-18	-14	60	-5	54	0	52	10	40	0	0	0	0
	2010-03-01	-14	60	-5	54	0	52	10	40	15	30	20	20
	2010-11-25	-14	60	-5	55	0	52	10	40	15	30	20	20
	2010-12-15	-14	60	-5	57	0	55	10	40	15	30	20	20
	2011-02-04	-14	60	-5	57	0	52	10	40	15	30	20	20
	2011-05-18	-14	60	-5	57	0	52	10	38	15	27	20	20
8	2010-02-02	-14	60	-5	55	5	45	10	37	15	30	20	20
9	2008-05-05	-14	60	-10	57	3	48	10	36	0	0	0	0
	2010-09-17	-14	60	-10	55	0	50	10	36	15	30	20	20
10	2008-11-24	-14	57	-5	53	0	50	10	38	0	0	0	0
	2009-01-13	-14	60	-5	55	0	50	10	38	0	0	0	0

T_{uj} Utetemperatur för brytpunkt j
 T_{fj} Framledningstemperatur vid utetemperatur T_{uj}

Tabell E.2 Nattsänkning (T_{uni} , T_{ni}) ($i = 1-2$) och pumpstopp (T_{ps})

objekt	datum	T_{un1}	T_{n1}	T_{un2}	T_{n2}	T_p	T_{ps}
1	2008-12-22	-5	0	5	0	0	15
	2009-12-23	-5	0	5	0	0	15
	2010-10-14	-5	0	5	0	0	15
	2010-12-03	-5	0	5	0	0	15
	2011-06-01	-5	0	5	0	0	15
2	2008-12-19	-5	0	5	0	0	15
	2009-12-23	-5	0	5	0	0	15
	2010-10-14	-5	0	5	0	0	15
	2010-12-03	-5	0	5	0	0	15
	2011-06-01	-5	0	5	0	0	15
3	2008-12-22	-5	0	5	0	0	15
	2009-12-23	-5	0	5	0	0	15
	2010-10-14	-5	0	5	0	0	15
	2011-06-01	-5	0	5	0	0	15
4	2008-09-19	-5	0	5	0	3	15
	2010-03-01	-5	0	5	0	3	15
	2010-04-07	-5	0	5	0	0	15
	2011-05-18	-5	0	5	0	0	15
5	2008-12-19	-5	0	5	0	0	15
	2009-01-27	-5	0	5	0	0	15
	2010-02-02	-5	0	5	0	0	15
	2010-09-21	-5	0	5	0	0	16
	2011-05-04	-5	0	5	0	0	16
	2011-07-04	-5	0	5	0	0	15
6	2008-02-05	-5	0	5	0	0	15
	2009-12-29	-5	0	5	0	5	15
	2010-01-29	-5	0	5	0	3	15
	2010-03-31	-5	0	5	0	0	16
	2010-09-20	-5	0	5	0	0	16
	2010-11-23	-5	0	5	0	0	16
7	2010-01-18	-5	0	5	0	0	16
	2010-03-01	-5	0	5	0	0	16
	2010-11-25	-5	0	5	0	0	16
	2010-12-15	-5	0	5	0	0	16
	2011-02-04	-5	0	5	0	0	15
	2011-05-18	-5	0	5	0	0	15
8	2010-02-02	-5	0	5	5	0	15
9	2008-05-05	-5	0	5	0	0	15
	2010-09-17	-5	0	5	0	0	15
10	2008-11-24	-6	0	6	0	0	15
	2009-01-13	-6	0	6	0	0	15

T_{unk} Utetemperatur för nattsänkingsbrytpunkt k
 T_{nk} Antal graders sänkning av T_{ff} vid T_{unk}
 T_p Antal graders parallellförskjutning av T_{ff}
 T_{ps} Utetemperatur över vilken cirkulationspump stoppas

Tabell E.3 Börvärden, förstärkning och begränsningar.

<i>objekt</i>	<i>datum</i>	<i>börvärde T_{ir}</i>	<i>förstärkning g</i>	T_{min}	T_{max}
1	2010-02-02	21.0	1	-5	5
	2010-02-02	20.5	1	-5	5
	2010-11-01	21.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
	2010-12-15	21.5	10	-5	5
	2011-04-05	21.0	10	-5	5
2	2010-02-02	21.0	1	-5	5
	2010-02-02	20.5	1	-5	5
	2010-11-01	21.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
	2010-12-15	21.5	10	-5	5
	2011-04-05	21.0	10	-5	5
	2011-04-15	20.0	10	-5	5
3	2010-02-02	21.0	1	-5	5
	2010-02-02	20.5	1	-5	5
	2010-11-01	21.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
	2010-12-15	21.5	10	-5	5
	2011-04-05	21.0	10	-5	5
	2011-04-15	20.0	10	-5	5
4	2010-04-07	20.5	40	-5	5
	2010-07-06	20.5	1	-5	5
5	2010-07-06	20.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
6	2010-02-02	20.5	40	-5	5
	2010-07-07	20.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
	2010-11-19	21.0	10	-5	5
7	2010-02-02	20.5	40	-5	5
	2010-07-06	20.5	1	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
	2010-11-25	22.0	10	-5	5
	2011-01-10	21.5	10	-5	5
	2011-01-13	22.0	10	-5	5
	2011-01-26	21.5	10	-5	5
	2011-05-04	20.5	10	-5	5
8	2010-02-02	20.5	40	-5	5
	2010-02-02	20.5	1	-5	5
	2010-11-01	21.0	1	-5	5
9	2010-02-02	20.0	40	-5	5
	2010-11-08	20.5	10	-5	5
10	2010-02-02	20.5	40	-5	5
	2010-07-06	20.5	1	-5	5