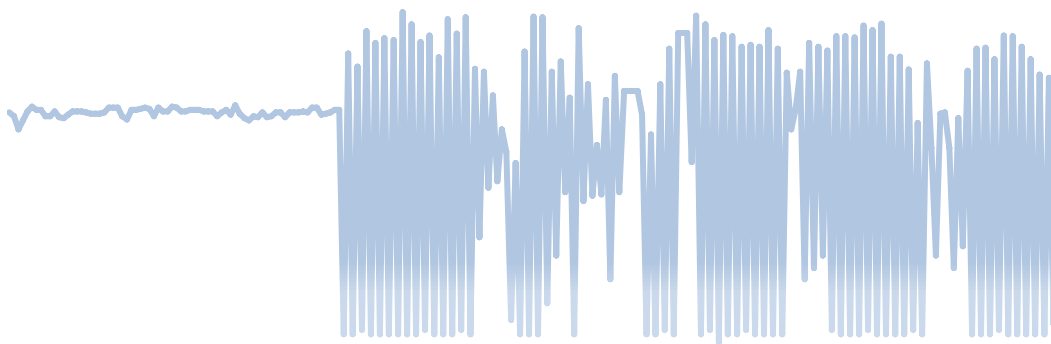


CHALMERS



Påverkan på energianvändning och termisk komfort vid reglerinstabilitet

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

JENS RYBERG, MARTINA JORDESTEDT

*Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2013
Examensarbete: E2013:06

EXAMENSARBETE E2013:06

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2013

Påverkan på energianvändning och termisk komfort vid reglerinstabilitet
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

© JENS RYBERG, MARTINA JORDESTEDT, 2013

Examensarbete institutionen för energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola E2013:06

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för energi och miljö
Göteborg 2013

Påverkan på energianvändning och termisk komfort vid reglerinstabilitet

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Examensarbetets syfte är att utreda hur reglerinstabilitet i ventilationssystem påverkar upplevelsen av den termiska komforten och energianvändningen för systemet. Studien utreder även hur yrkesaktiva inom området VVS ser på reglering och reglerinstabilitet.

För att tillgodose dagens hårdare krav på energieffektivisering och god inomhusmiljö är styr- och reglersystem en förutsättning men med de allt mer avancerade klimatsystemen och reglerfunktionerna ökar risken för instabilitet i systemet. Tidigare studier om eventuella följder som reglerinstabilitet i ventilationssystem kan generera har inte påträffats vilket gör området intressant att studera.

Studien bygger på ett antal testförsök där förstärkningen för den styrda variabeln ökats för att påtvinga instabilitet i systemet. Två olika fall av reglerinstabilitet har undersökts, det första fallet avser instabilt tilluftsflöde med konstant tilluftstemperatur medan det andra fallet avser instabil tilluftstemperatur med konstant flöde.

Försöksserien visar entydigt på en märkbart högre energianvändning för både fläktarna och luftvärmaren under tidsintervallet då systemet var instabilt jämfört med då systemet var stabilt. Vidare visar resultaten att reglerinstabiliteten knappt hade någon inverkan på upplevelsen av den termiska komforten under utförda testförsök. Det är ett intressant resultat då det kan innebära att reglerinstabilitet förekommer utan att det märks på inomhusklimatet men troligtvis genererar en onödigt hög energianvändning.

Flera sakkunniga inom området bedömer att reglerinstabilitet inte är helt ovanligt i ventilationssystem för befintliga byggnader. En tänkbar konsekvens som reglerinstabilitet kan orsaka som framkommit under intervjuer är kortare livslängd för komponenter i systemet, exempelvis styrventil och spjäll.

Överlag anses kunskapen om reglerteknik hos främst fastighetsförvaltare, men till viss del även hos projektörer, som låg. Fastighetsägarnas intresse i att investera i förbättringar av ventilationssystemet varierar stort, i många fall är investeringsviljan starkt kopplad till hur långsiktigt fastighetsägaren avser ägandet. Kostnadsaspekter och bristande kunskap bidrar till att många befintliga byggnaders ventilationssystem inte ses över eller upprustas.

Nyckelord: Reglerinstabilitet, termisk komfort, energianvändning, ventilationssystem

The influence of unstable control on energy use and thermal comfort

Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering

JENS RYBERG, MARTINA JORDESTEDT

Department of Energy and Environmental Engineering
Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The purpose of the study is to investigate the possible effects of an unstable ventilation system and its influence on energy use and thermal comfort. The report also explores how qualified personal working with HVAC view and handles system control.

In order to meet the requirements in energy efficiency and a comfortable indoor climate control regulation is a prerequisite. With optimized increased complexity of the climate systems, it becomes more challenging to control the system and the risk of unstable control increases. No previous studies about what affect an unstable system can have on energy use and thermal comfort have been found.

The report is based on several tests where the controlling variable has been increased until the system becomes unstable. Two different types of unstable systems have been investigated. During the first trials the flow was unstable while the temperature where constant and during the second trials the temperature was unstable but the flow constant.

The results indicate that the energy use, both for the fans and the air heater, is drastically increased when the system is unstable. The results on the affects in thermal comfort showed no noticeable differences during the stable and unstable condition under the tests. This indicates that a system can be unstable without anybody noticing it but will most likely increase the energy.

Qualified people believe that unstable control is quite common in buildings. One possible consequence of unstable control is shortened lifespan for components in the system.

The knowledge about control theory among HVAC workers in Sweden is generally assessed as low. The lack of willingness among the property owners to invest in improvements in ventilation system varies and often depends on the length they intend to keep the building. Cost aspects and lack of knowledge among the property owners results in that many buildings HVAC system is not up to date.

Key words: Unstable control, thermal comfort, energy use, ventilation system

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Frågeställning	1
1.4 Metod	2
1.5 Länshänvisning	2
2 TERMISK KOMFORT	4
2.1 Krav och rekommendationer för inomhustemperaturer	4
2.2 Krav och rekommendationer för ljud	4
2.3 Krav och rekommendationer för luftflöde	5
2.4 Rekommendationer för luftkvalité	5
2.5 Termiska klimatklasser	6
2.5.1 TQ1	6
2.5.2 TQ2	6
2.6 Predicted mean vote (PMV)	6
3 ENERGI	9
3.1 Boverkets riktlinjer för energianvändning	9
3.2 STIL 2	9
4 REGLERING	12
4.1 PI-Reglering	12
4.2 Reglerinstabilitet	13
5 BESKRIVNING AV TESTFÖRSÖKEN	14
5.1 Förutsättningar testförsök	14
5.1.1 Försökshallens utformning	14
5.1.2 Tillvägagångssätt testförsök	16
5.1.3 Dokumentation under testförsöken	17
5.1.4 Övriga förutsättningar testförsök	20
CHALMERS energi och miljö , Examensarbete E2013:06	III

5.2	Förutsättningar regulatorparametrar	20
5.2.1	Testförsök 1 - Instabil reglering av tilluftsfläkt	21
5.2.2	Testförsök 2 - Instabil reglering av luftvärmare	21
5.3	Testförsök, genomförande	22
5.3.1	Testförsök, 2013-02-25	22
5.3.2	Testförsök, 2013-02-26	22
5.3.3	Testförsök, 2013-02-27	23
5.3.4	Testförsök, 2013-04-16	23
5.3.5	Testförsök, 2013-04-23	23
6	RESULTAT FRÅN TESTFÖRSÖKEN	24
6.1	Termiska upplevelsen	24
6.1.1	Testförsök 1 – Instabil reglering av tilluftsfläkt	24
6.1.2	Testförsök 2 – Instabil reglering av luftvärmare	30
6.2	Energianvändning, jämförelse	34
6.2.1	Testförsök 1 – Instabil reglering av tilluftsfläkt	34
6.2.2	Testförsök 2 – Instabil reglering av luftvärmare	38
6.3	Utvärdering testförsök	42
6.3.1	Testförsök 1, tryckstyrd reglering	42
6.3.2	Testförsök 2, temperaturstyrd reglering	43
7	VERKLIGHETSKOPPLING	44
7.1	Kunskaper om reglerteknik	44
7.2	Upptäcka reglerinstabilitet	44
7.3	Förebygga och korrigera reglerinstabilitet	45
7.4	Uppföljning	46
7.5	Energi	47
8	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	48
8.1	Påverkan av reglerinstabilitet	48
8.1.1	Termisk komfort	48
8.1.2	Energi	49
8.1.3	Övrig påverkan	50
8.2	Kunskaper inom reglerteknik	Fel! Bokmärket är inte definierat.
8.3	Rekommendationer	50
9	KÄLLFÖRTECKNING	52
9.1	Intervjuer	53
	BILAGOR	54
	Bilaga 1	54
	Bilaga 2	57

Bilaga 3	60
Bilaga 4	64
Bilaga 5	67
Bilaga 6	71
Bilaga 7	75

Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och ingår i högskoleutbildningen för byggingenjörsprogrammet 180 p, vid Chalmers Tekniska Högskola inom Institutionen för Energi och miljöteknik.

Vår förhoppning är att denna rapport ska ge läsaren utökad kunskap om ämnet reglering och dess innebörd samt vilka konsekvenser instabil reglering kan medföra gällande energianvändning och termisk komfort.

Tack

Vi vill passa på att tacka alla de personer som engagerat sig i vårt examensarbete. Speciellt tack går till vår handledare och examinator Anders Trüschel på avdelningen för installationsteknik som genom god vägledning och stort engagemang bidragit till slutresultatet för rapporten. Ett speciellt tack går även till doktorand Mattias Gruber, på institutionen för Energi och miljö och avdelningen för Installationsteknik, som möjliggjort för testförsöken och gladeligen besvarat de frågor och funderingar som uppstått.

Jens Ryberg och Martina Jordestedt

Göteborg, juni 2013

Beteckningar

K	Förstärkning
T_i	I-tid
$\dot{V}$	Luftflöde
ΔT	Temperaturdifferens
$\dot{Q}$	Effekt
M	Met, uppskattat värde på aktivitetsnivå
L	Clo, uppskattat värde på kläders termiska motstånd
$r(t)$	Referenssignalen (börvärde)
$y(t)$	Reglerande systemets utsignal (ärvärde)

1 Inledning

Hållbar utveckling har under de senaste åren fått ökad betydelse i samhället då det uppmärksammats att människan överkonsumerar jordens resurser. Skärpta krav och riktlinjer beträffande energianvändning från myndighetsorgan är en del i strävan mot ett lägre ekologiskt fotavtryck. Sveriges riksdag har tagit fram ett energimål som omfattar att byggnadernas nuvarande energianvändning ska halveras till år 2050 jämfört med 1995 års energianvändning.

Idag ligger stort fokus på att få ner energianvändningen för byggnadens VVS-installationer samtidigt som krav på en god inomhusmiljö från brukaren ökar. För att kunna tillgodose god energieffektivitet och termisk komfort för byggnader är styr- och regelsystem en förutsättning. De allt mer avancerade klimatsystemen och reglerfunktionerna har nackdelar, risken för instabilitet ökar som följd av att mer komplex regleringen av systemet används.

Tidigare studier om hur reglerinstabilitet påverkar energianvändningen och den termiska komforten har inte påträffats i den litteratursökning som har gjorts. Eftersom stor osäkerhet råder om vilka efterföljder instabilitet i ventilationssystem ger är det av intresse att studera. Rapportens tyngdpunkt avser därför utreda vilka följder reglerinstabilitet får på energianvändning och inomhusklimat.

Regleringen av ventilationssystem kräver ofta en specialist inom området för in- och omjusteringar av systemet. På en del VVS-företag är avdelningar för reglering och projektering av byggnadens installationer åtskilda. För att få en bättre uppfattning om hur kunskapen kring reglerteknik anses vara hos projektörer och fastighetsförvaltare omfattar studien även en rad intervjuer.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att analysera begreppet reglerinstabilitet ur två perspektiv, komfort och energianvändning. Målet med studien är att klargöra om instabilitet i ventilationssystemet inverkar på upplevelsen av inomhusklimatet och hur reglerinstabilitet påverkar ventilationssystemets energianvändning.

1.2 Avgränsningar

De resultat som presenteras i rapporten grundas mestadels på testförsök. Försöken avser reglerinstabilitet i ventilationssystem med olika kombinationer av inställningarna för reglering av luftflöde och temperatur. Resultaten från testförsöken avseende komfort bedöms kvalitativt.

1.3 Frågeställning

Rapportens tyngdpunkt ligger i att besvara följande frågeställning;

- *Hur påverkar ett instabilt ventilationssystem den termiska komforten i byggnaden?*
- *Påverkas energianvändningen av reglerinstabilitet?*

För att klargöra hur yrkesaktiva inom branschen ser på reglering och instabilitet vid reglering har intervjuer med VVS-konsulter och fastighetsförvaltare skett. Intervjuernas syfte är att besvara följande frågeställning;

- *Hur bra anses kunskaperna om reglering överlag för verksamma inom branschen?*
- *Bedöms reglerinstabilitet som ett vanligt förekommande problem i befintliga byggnader?*
- *Under vilka omständigheter har reglerinstabilitet påträffats?*
- *Vilka följder uppskattas reglerinstabilitet kunna få?*
- *Hur mycket hänsyn tar konsulterna som projekterar VVS-installationerna till att systemet ska vara lätt att reglera och fungera stabilt?*

1.4 Metod

För att insamla nödvändiga förkunskaper inom ämnesområdet för rapporten ligger en grundläggande litteratursökning till grund. Kunskaper om krav på inomhusklimat och energianvändning anses vara av intresse, även redan existerande studier om reglerinstabilitet om de påträffas. För insamlingen av information används internet, litteratur samt intervjuer.

Testförsöken genomförs i en försökshall tillhörande Chalmers Tekniska Högskola. Rummet som används för experimenten är jämförbart med ett kontorsrum till storlek. Ett antal försök utfördes med olika kombinationer av inställningar hos regulatorer som styr ventilationssystemet.

För att utvärdera huruvida instabiliteten påverkar klimatet i rummet utvärderas upplevelsen i vistelsezonen under testförsöken. Genom att den termiska och elektriska effekt som tillförs luftbehandlingsaggregatet under de olika försöken så kunde energianvändning vid instabil och stabil reglering bestämmas..

För att få en koppling till hur branschen arbetar med reglerinstabilitet i dagsläget genomförs intervjuer med konsulter inom projektering av VVS-system samt fastighetsförvaltare. Svaren sammanställs och presenteras i rapporten.

1.5 Lëshänvisning

Rapporten inleds med kapitel 2 om termisk komfort samt kapitel 3 om energi där befintliga krav och riktlinjer för respektive område presenteras. Kapitel 4 behandlar kortfattat reglering och definierar begreppet reglerinstabilitet. Förutsättningarna för testförsöken redovisas i kapitel 5 följt av resultaten från testförsöken i kapitel 6. I kapitel 7, sista kapitlet i rapportens huvuddel, har svaren från intervjuerna sammanställts för att få en översiktsbild av hur branschen ser på reglering och regleringsinstabilitet. Diskussion och slutsatser presenteras i kapitel 8 tillsammans med förslag på vidare studier om reglerinstabilitet.

Inledande kapitel 2-4 är tänkta som en introduktion till ämnesområdet för de läsare som inte sedan tidigare är bekanta med området. Denna del av rapporten behandlar och baseras på den litteraturstudie som genomförts.

Kapitel 5, 6 och 8 baseras på testförsöken och kan anses utgöra rapportens kärna. Dessa kapitel ligger som grund för att besvara syftet med studien.

Kapitel 7 baseras på intervjuer med sakkunniga från branschen och anses koppla rapporten mot verkligheten.

I bilagor finns diagram över samtlig mätdata som ligger till grund för de resultat och slutsatser som presenteras i rapporten. Mätdata från testförsök som av någon anledning inte bedöms användbara samt mätdata som anses irrelevant har uteslutits.

2 Termisk komfort

Människans upplevelse av inomhusmiljön beror på många olika samverkande faktorer (Ekberg 2006). Sociala, fysiologiska och psykologiska faktorer påverkar hur människan uppfattar inomhusklimatet.

För att kunna bestämma ett lämpligt temperaturintervall för att erhålla bra inomhusklimat behöver hänsyn tas till såväl verksamhetens grad av fysisk aktivitet som klädselns termiska egenskaper.

Det finns många anledningar till att termisk komfort inte uppnås. Exempelvis kan en person som tycker det är varken varmt eller kallt känna obehag på grund av andra anledningar såsom lokal avkylning av en kroppsdel från drag eller strålning. Även ytor som ett kallt golv kan påverka den totala upplevelsen av den termiska komforten.

Fastän en nästintill perfekt optimal temperatur uppnås går det ändå inte att uppnå termisk komfort för alla. Oberoende av klimat uppskattas alltid minst 5 % vara missnöjda med inomhusklimatet. Med anledning till detta finns ofta individuell styrning tillgänglig för varje rum eller mindre yta. För att uppnå den bästa klimatklassen, TQ1, på ett rum är individuell styrning ett krav.

2.1 Krav och rekommendationer för inomhustemperaturer

Rekommenderat värde för inomhustemperaturen enligt Svensk standard, SS EN ISO 7730, är under sommartid 22-26°C (Garhed & Holmer 2006). Målvärdet för temperaturen baseras på en uppskattad aktivitetsnivå, Met, på 1,2 vilket motsvarar en stillasittande kontorsarbetare samt en klädsel med ett uppskattat värde på klädernas termiska motstånd, clo, på 0,5 som motsvarar sommarklädsel.

Motsvarande rekommendationer för vintertid är 20-24°C. Då antas aktivitetsnivån samma som ovanstående medan värdet på clo uppskattas till 1,0.

Enligt Svensk standard bör temperaturdifferensen i regionen mellan 0,1 meter ovan golvnivå samt 1,1 meter ovan golvnivå inte överskrida 3°C i rum där människor vistas mer än en kortare tid. Rekommendationerna är samma oavsett årstid.

Boverkets bostadsbestämmelser säger att lägsta tillåtna operativa temperatur i vistelsezonen är 18°C (Boverket 2011).

I kontor är det acceptabelt att överskrida rekommendationer från Boverket och Svensk standard, så länge den totala tiden temperaturen överskrider inte överstiger 80 timmar per år (Ekberg 2006).

Egentligen finns inga krav vad det gäller inomhustemperaturer utan bara rekommendationer och riktlinjer. Enligt arbetsmiljöverket har personer rätt att lämna arbetsplatsen om temperaturen utgör omedelbar och allvarlig fara (Arbetsmiljöverket 2012).

2.2 Krav och rekommendationer för ljud

Det finns enkätundersökningar som visar att störningar i form av buller är en av de faktorer som människan upplever mest besvärande i inomhusmiljön (Ekberg 2006). Vidare visar enkäten att ljud som uppfattas störande även förekommer i byggnader som uppfyller myndighetens krav på ljudmiljön. Nedan följer de tre

ljudkvalitetsklasser, dess innebörd och målvärden beträffande buller från installationer för kontorsrum, som presenteras i Svensk Standard (SS 025268).

Tabell 1 Ljudkvalitetsklasserna NQ1, NQ2 och NQ3 som presenteras i Svensk Standard. LpA och LpC är den uppmätta ljudtrycksnivån med vägningsfilter av typ A respektive C.

Ljudkvalitetsklass	Beskrivning	LpA	LpC
NQ1	Installationer är utformade för att bidra till hög eller mycket hög ljudstandard	35dB	55bB
NQ2	Installationer utformade för att bidra till ljudförhållanden som i de flesta fall överensstämmer med praxis	35dB	Inget krav
NQ3	Installationer för enkla eller temporära utrymmen. Motsvarar låg ljudstandard tillämpas endas när det är omöjligt att uppnå NQ2	35dB	Inget krav

2.3 Krav och rekommendationer för luftflöde

Hygienluftflöde är det krav som finns på luftflödet i ett rum eller utrymme. För dimensionering enligt hygienflöde krävs minst 0,35 l/s per kvadratmeter golvyta samt ytterligare 7 l/s för varje person som vistas i utrymmet en längre tid (Ekberg 2006).

2.4 Rekommendationer för luftkvalité

Begreppet luftkvalitet beaktar luftens inverkan på människans hälsa och upplevelse av inomhusklimatet. För kontorsbyggnader och andra inomhusmiljöer där personer vistas regelbundet är lukten i rummet avgörande för upplevelsen av luftkvalitén (Ekberg 2006). Som indikator för att avgöra luftkvalitén i rummet används ofta koldioxidmätningar eftersom koldioxiden är en indikator på mänsklig förorening som påverkar arbetsklimatet samtidigt som den är lätt att mäta.

Enligt Arbetsmiljöverket bör koldioxidhalten inte överskrida 1000 ppm (parts per million). Halter över 1000 ppm kan anses antyda att ventilationen inte är tillfredställande för att uppfylla en god termisk komfort gällande luftkvalitet. Vid reglering av ventilationsflödet efter koldioxidhalten i rumsluften rekommenderas ett börvärde under 1000 ppm väljas då halten alltid varierar med tiden och ett börvärde på 1000 ppm hade överskridit de rekommenderade halter. Koldioxidhalten i uteluften brukar vara 300–400 ppm.

Riktlinjerna för att bestämma luftkvalitén i ett rum beroende på koldioxidhalten beskrivs i luftkvalitetsklasserna AQ1 och AQ2. Nedan presenteras båda klasserna och dess förutsättningar.

- **AQ1**, koldioxidkoncentrationen i rumsluften bör inte överstiga 800 ppm vid normal användning av ett rum.
- **AQ2**, koldioxidkoncentrationen i rumsluften bör vara lägre än 1000 ppm. AQ2 motsvarar myndigheterna riktlinjer och råd för luftkvalitén i ett rum.

Kraven på lukt på en arbetsplats är inte definierade. Boverket hänvisar endast till att luftkvalité- och luktkrav får bestämmas efter rummets användningsområde, förutsatt

att lukten inte är klart besvärande eller innebär negativa hälsoeffekter (Boverket 2011). Det är fortfarande bara rekommendationer, och inga krav, angående lukt på en arbetsplats. Undantag finns gällande höga halter av kemiska ämnen.

2.5 Termiska klimatklasser

Den allmänna upplevelsen av inomhusklimatet delas upp i två termiska klimatklasser, TQ1 och TQ2 (Ekberg 2006). TQ1 är den bästa och tillåter att upp till 6 % är missnöjda med den termiska komforten medan TQ2 tillåter att upp till 10 % är missnöjda. För att hålla missnöjet lägre än 10 % bör temperaturen inte ändras snävt mer än $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Nedan följer beskrivningar av riktlinjerna för respektive klimatklass.

2.5.1 TQ1

Rumstemperaturen skall hållas på en nivå som anses komfortabel och enskilda personer ska ha möjlighet att kunna påverka rumstemperaturen i enskilda rum eller i mindre zoner. Under varmare perioder på sommaren måste temperaturer som uppfattas varmare än komfortabelt accepteras (Ekberg 2006).

Risk för störningar, såsom drag eller strålning, bör elimineras i den utsträckning som är möjlig.

Temperaturen bör alltid kunna hållas över 20°C om inte annat är specificerat. Under sommartiden bör temperaturen kunna hålla 3°C lägre än utetemperaturen. Lämpligt värde på dimensionerande uteluftstemperatur under sommartid är 27°C . Golvtemperaturen ska befinna sig inom ett intervall mellan $22\text{--}26^{\circ}\text{C}$.

Lufthastigheter ska begränsas enligt följande:

- Vid rumstemperatur 20°C : lägre än 0,1 m/s
- Vid rumstemperatur 26°C : lägre än 0,15 m/s

2.5.2 TQ2

Rumstemperaturen ska hållas på en nivå som anses komfortabel. Under varmare perioder på sommaren måste temperaturer som uppfattas varmare än komfortabel nivå accepteras (Ekberg 2006).

För temperaturer i rummet gäller samma rekommendationer som för TQ1 fast med följande tillägg:

- Vintertid bör temperaturen hållas under 23°C om inte annat är specificerat eller att verksamheten kräver en specifik temperatur.
- Golvtemperaturen måste befinna sig inom intervallet $16\text{--}27^{\circ}\text{C}$ förutsatt att inte barn vistas där, i de fallen måste golvtemperaturen vara $20\text{--}26^{\circ}\text{C}$.

Lufthastigheter ska begränsas till:

- Vid rumstemperatur 20°C : lägre än 0,15 m/s
- Vid rumstemperatur 26°C : lägre än 0,25 m/s

2.6 Predicted mean vote (PMV)

Predicted mean vote, PMV, är ett klimatindex som indikerar på hur nöjda personer är med det termiska klimatet (Garhed & Holmer 2006). Det termiska klimatet bedöms av ett representativt urval från populationen på en skala mellan - 3 till + 3. Skalan specificeras i tabell 2.

Tabell 2 Bedömningskriterier för PMV-index.

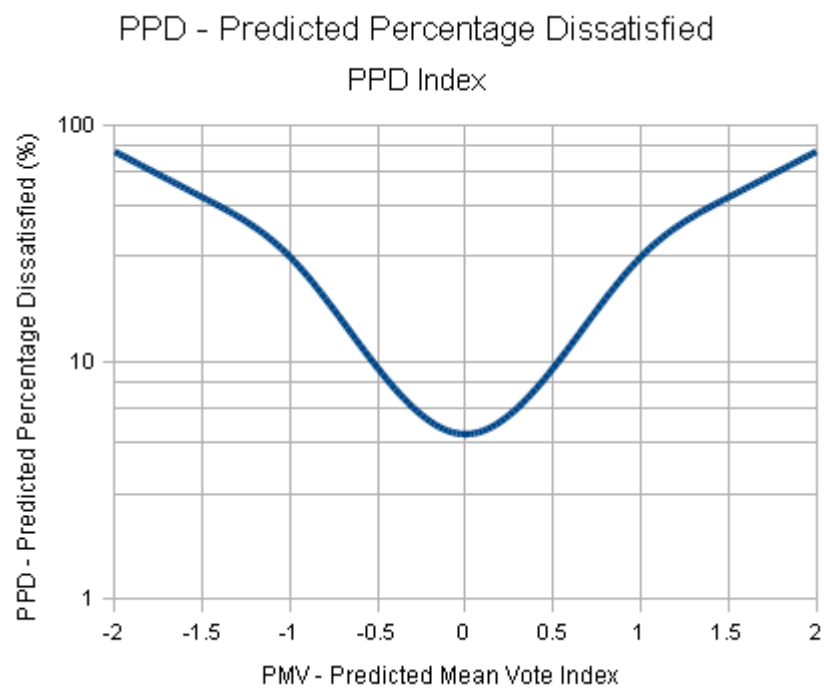
+3	Mycket varmt
+2	Varmt
+1	Lite varmt
0	Neutralt
-1	Lite kyligt
-2	Kallt
-3	Mycket kallt

PMV-Index beräknas sedan enligt ekvationen nedan:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)L \quad (1)$$

Där M är värdet på Met och L för Clo.

Med ett PMV-index kan uppskattad procentandel som är missnöjda med inomhusklimatet avläsas i ett Predicted Percentage Dissatisfied diagram, PPD-diagram (se figur 1). Det bästa statistiska resultat som går att uppnå i en PMV-undersökning är 5 % missnöjda, vilket beror på att cirka 5 % av befolkningen alltid är missnöjda med klimatet oavsett hur nära det kommer ett idealt inomhusklimat.



Figur 1 PPD-diagram. (The engineering toolbox n.d.)

3 Energi

EU har ett energipaket vars syfte är att öka energibesparingar inom en rad olika områden, varav energianvändningen för byggnader är av stor betydelse (Energimyndigheten 2011). Bland besparingsområdena ingår hårdare krav på byggnaders energianvändning samt utökad vikt och betydelse av energicertifiering. Även tuffare krav på inspektionsrapporter för ventilationssystem är en del av paketet.

För att uppnå EU målen har Sveriges riksdag tagit fram energimål. Fram till år 2020 ska alla byggnaders energianvändning minska med 20 % och till år 2050 ska energianvändning halveras jämfört med energianvändningen 1995 (Passivhuscentrum Västra Götaland 2012).

3.1 Boverkets riktlinjer för energianvändning

Boverkets byggregler (BBR) om energihushållning för byggnader omfattar lagstiftningar om hur uppvärmnings- och ventilationssystem ska utformas (Boverket 2012). Sammanfattningsvis gäller att utformningen av luftbehandlingssystemet ska bidra till att begränsa energiförluster och se till att de tekniska egenskaperna tillgodoses på ett energieffektivt sätt. I BBR 9.52 (2012, s. 274) står även att:

Byggnaden ska ha styr- och reglersystem för att kunna upprätthålla god energieffektivitet och termisk komfort enligt avsnitt 6:42. Värme-, kyl- och luftbehandlingsinstallationer ska förses med automatiskt verkande reglerutrustning så att tillförsel av värme- och kyla regleras efter effektbehov i förhållande till ute- och inneklimatet samt byggnadens avsedda användning.

Vidare finns krav på byggnadens specifika energianvändning. För klimatzon tre, vilken Göteborg tillhör, bör lokaler inte ha högre energianvändning än 55 kWh per kvadratmeter och inte högre installerad eleffekt för uppvärmning än 4,5 kW. Undantag finns om särskilda förhållanden kan påvisas. Byggnadens energianvändning ska genom mätsystem kunna följas upp kontinuerligt.

BBR definierar byggnadens energianvändning som; ” Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning” (Boverket, 2012, s 282). Byggnadens fastighetsenergi beskrivs som ”den del av fastighetselen som är relaterad till byggnadens behov” (Boverket, 2012, s 282). El till fläktar, motorer samt styr- och övervakningsutrustning infattas av fastighetsenergin.

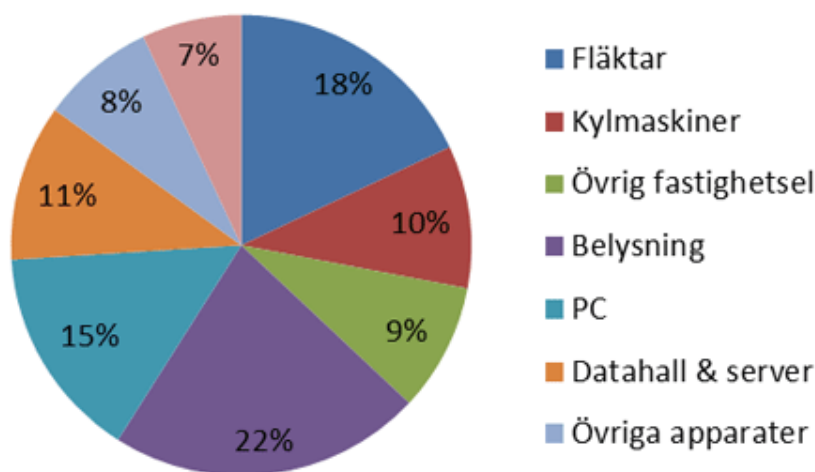
Specifik fläkteffekt, SFP, är ett mått på eleffekten för samtliga fläktar i ventilationssystemet beroende av luftflödet. Riktvärdet på specifik fläkteffekt enligt BBR då värmeåtervinning utnyttjas är 2,0 kW/(m³/s) detta gäller vid såväl nybyggnation som ändringar av ventilationssystem. Vid till- och frånluft utan värmeåtervinning bör värdet inte överskrida 1,5 kW/(m³/s).

3.2 STIL 2

Cirka 50 % av alla lokaler i Sverige är idag offentligt ägda och många av dem har ett stort behov av att energieffektiviseras (Energimyndigheten 2013). Drygt hälften av all

el som används är verksamhetsel, det vill säga belysning, datorer med mera. Många byggnader har börjat införa åtgärder för att minska elanvändningen, men i flera fall har åtgärderna visats ha negativa effekter på andra områden. Ett exempel på det är att energieffektivare utrustning och belysning drar mindre energi men i gengäld avger de inte lika mycket värme vilket ökar värmebehovet.

STIL 2 är ett projekt som energimyndigheten låtit utföra (Energimyndigheten 2011). Ett stort urval befintliga byggnader undersöktes ur energiperspektiv under ett 6-årsintervall. Syftet med projektet var att kartlägga energifördelningen bland de olika användningsområdena inom fastigheterna. Projektet utfördes i förhoppning att erhålla en djupare insikt i energifördelningen i befintliga lokaler. STIL 2 kartlade elanvändningen och kom fram till många användbara slutsatser. En viktig slutsats var att i kontorsmiljöer så utgör datorer, servrar och övrig utrustning en stor andel av den totala energianvändningen. Andra viktiga resultat från STIL 2 påvisar att med bättre belysning och ett effektivare ventilationssystem kan 2,5 TWh per år sparas in, vilket motsvarar en besparing på nästan 30 %. Figuren nedan visar på hur elanvändningen är fördelad mellan de olika användningsområdena i fastigheterna som undersöktes.



Figur 2 Fördelning av elanvändningen i kontors- och förvaltningsbyggnader enligt STIL 2. Totala elanvändningen uppgick till cirka 94 kWh/m². (Energimyndigheten 2008)

I de kontorsbyggnaderna som analyserats varierade elanvändningen kraftigt (Energimyndigheterna 2007). Genomsnittlig energianvändning för endast fläktarna, både från- och tilluftsfläkt, är 17,9 kWh per kvadratmeter och år. Genomsnittliga brukstiden för fläktarna var 6310 timmar per år då majoriten av systemen fortfarande är CAV-system. SFP-talet för fläktarna som ingick i studien varierade kraftigt mellan de olika lokalerna, men medelvärde var 2,75 kW/(m³/s).

Tabell 3 *Typer av ventilationssystem.*

Andel ventilationsinstallationer av olika typ. Typ av ventilationssystem	Totalt antal	Andel
Konstantflödesventilation (CAV)	323	75 %
Ventilation med varierande flöde (VAV)	57	13 %
Både till- och frånluft (TF)	49	11 %
Självdrag	1	0 %
Annat	2	0 %
Summa	432	100 %

4 Reglering

Styrsystemet i ett ventilationsaggregat ställs in på specifika värden för att skapa ett behagligt klimat i rummet ventileringen är avsedd för (Westerstedt 2010). Det specifika värdet för respektive styrd storhet som ställs in kallas börvärde. För att säkerställa att ventilationsluftens faktiska värden, så kallade ärvärde, befinner sig i nivå med det förinställda börvärdena krävs reglering.

4.1 PI-Reglering

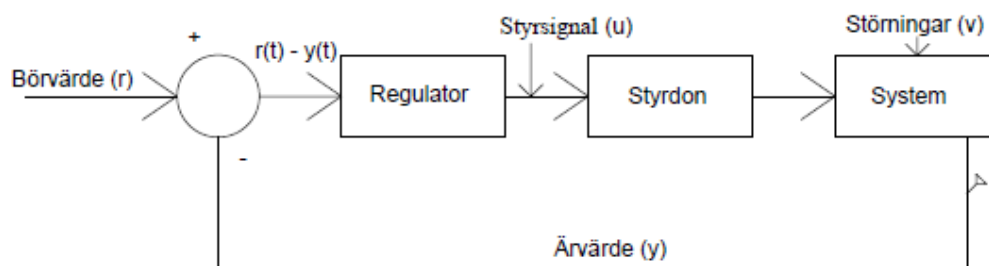
Inom reglertekniken finns flera olika regulatorer med varierande snabbhet och noggrannhet. Regulatorerna består vanligen av upp till tre element beroende på användningsområde; en proportionerlig del (P-del), en integrerande del (I-del) och en deriverande del (D-del). För ventilationsaggregat används vanligen PI-reglering.

PI-reglering består av två injusteringsbara regulatorparametrar, en P-del och en I-del. P-regulatorn utgör en förstärkning med konstant värde, vilket ger omedelbar förändring. För att systemet ska kunna regleras mer noggrant kombineras P-delen med en integralverkan, I-del, som arbetar för att nå börvärdet så länge som det råder differens mellan är- och börvärde.

Nedan finns den matematiska funktionen beskriver styrsignalen $u(t)$ för en PI-regulator:

$$u(t) = K(r(t) - y(t)) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (r(t) - y(t)) dt \quad (2)$$

Uttrycket $r(t) - y(t)$ i ovanstående ekvation beskriver differensen mellan referenssignalen (börvärde) och reglerande systemets utsignal (ärvärde). Parametrarna K samt T_i , även kallade regulatorparametrar, väljs så regulatorn får önskat beteende. Förstärkningen, K , påverkar såväl den proportionella delen som den integrerande delen. Genom ökad förstärkning ges snabbare reglering, ökad styrsignalsaktivitet och förbättrad kompensering av processtörningar, men det ger även minskade marginaler vad det gäller stabilitet i systemet.



Figur 3 Schematisk skiss hur regleringen fungerar.

För att välja lämpliga värden på K samt T_i finns beprövade metoder. Två vanligt förekommande metoder för att bestämma regulatorparametrarna är stegsvarsmetoden och självsvängningsmetoden. Eftersom parametrarna beror av hur systemet är uppbyggt måste intrimning ske när systemet förändras.

4.2 Reglerinstabilitet

Enligt Beardmore så förhåller sig ett systems stabilitet till dess reaktion på störningar. Ett system kan anses som stabilt om det kan behålla ett konstant värde så länge det inte påverkas av yttre påverkan och ifall det inträffar återvänder systemet till sitt ursprungliga tillstånd efter det att den yttre påverkan avlägsnats (Beardmore 2013).

Denna definition avser ett generellt system utan regulator. Eftersom regulatorns syfte är att motverka vid påverkan från yttre störningar blir förutsättningarna lite annorlunda med en regulator inkopplad till systemet. Det bör även anmärkas att en rätt inställd regulator har möjligheten att få ett instabilt system att bete sig stabilt likaväl som en felinställd regulator kan orsaka instabilitet hos ett stabilt system¹.

För ett stabilt reglersystem gäller att systemet är stabilt om de styrda variablerna följer ett konstant värde så länge ingen yttre störning påverkar systemet. Om en yttre störning påverkar systemet ska ett stabilt reglersystem så småningom återgå till ett konstant värde.

Motsvarande för ett instabilt reglersystem skulle innebära att de styrda variablerna inte följer ett stabilt värde efter en störning. Systemet kan gå bra under en tid och ha ett konstant värde, men efter en störning kommer systemet inte kunna reglera tillbaka signalen utan den styrda variabeln kommer pendla upp och ner istället för att gå i en konstant linje.

¹ Mattias Gruber (Doktorand, Chalmers tekniska högskola) intervjuad 2013-05-22

5 Beskrivning av testförsöken

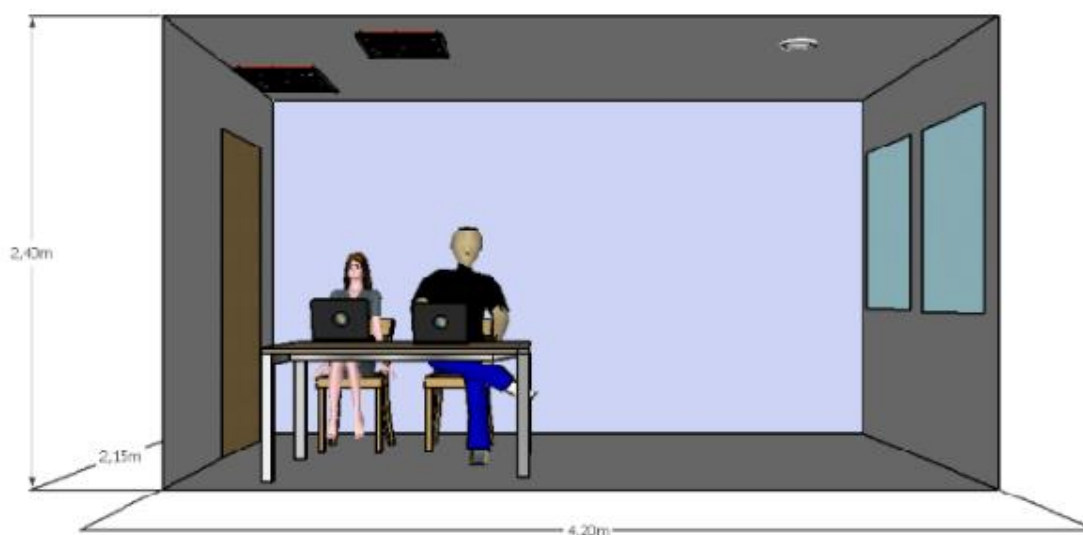
I följande avsnitt beskrivs förutsättningarna för testförsöken, vilka regulatorinställningar som använts under testförsöken samt kortfattat om hur genomförandet av respektive testförsök förefallit.

5.1 Förutsättningar testförsök

Nedan introduceras beskrivning av försöksrum, beskrivning av ingående komponenter i aggregat, beskrivning av tillvägagångssättet för respektive testförsök och utförd dokumentation under testförsöken.

5.1.1 Försökshallens utformning

Testförsöken sker i en av Chalmers Tekniska Högskolas lokaler på Gibraltargatan 35 b, vilket är en försökshall tillhörande avdelningen för Installationsteknik. I försökshallen har ett rum med måtten 2.15x4.5x2.4 meter konstruerats som kan anses simulera ett kontorsrum, se figur 4.



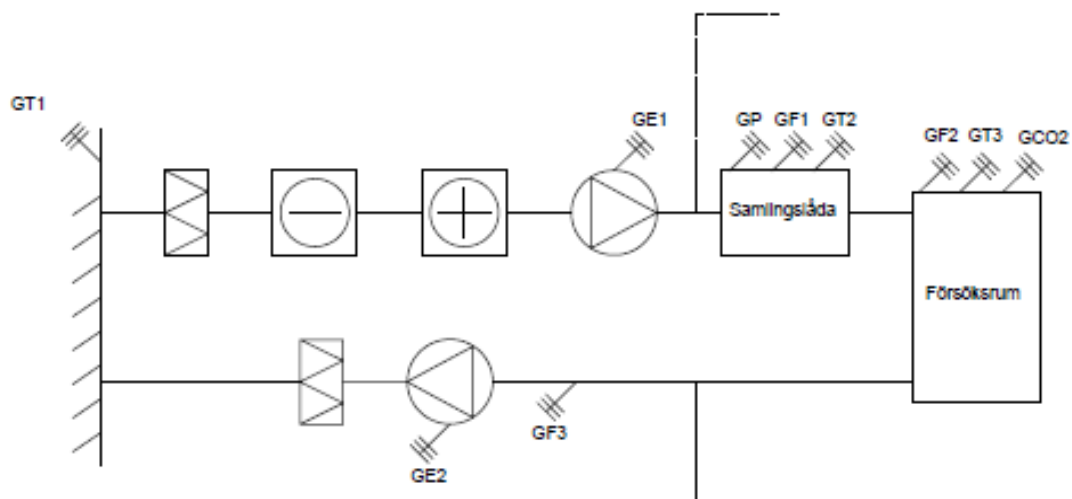
Figur 4 Visualisering av försöksrum.

Innerväggarna i rummet där försöken utförs är uppbyggda av hopfogade frigolitelement med värmeisolering representativ för en vanlig innervägg av regler och gipsskivor. Undertaket består av akustikplattor med två integrerade lampor, vilka har tätats med täckplast för att minska det tidigare stora läckaget genom undertaket. Golvet är belagt med keramiska plattor med underliggande värmeslingor. Ett tilluftsdon respektive ett frånluftsdon används under testförsöken. I övrigt finns ytterligare ett frånluftsdon och en fläktkonvektor installerat i rummets undertak. Rummet har två fönster som vetter mot sydost.



Figur 5 Den vänstra bilden visar aggregatet och den högra bilden visar rummet för testförsöken.

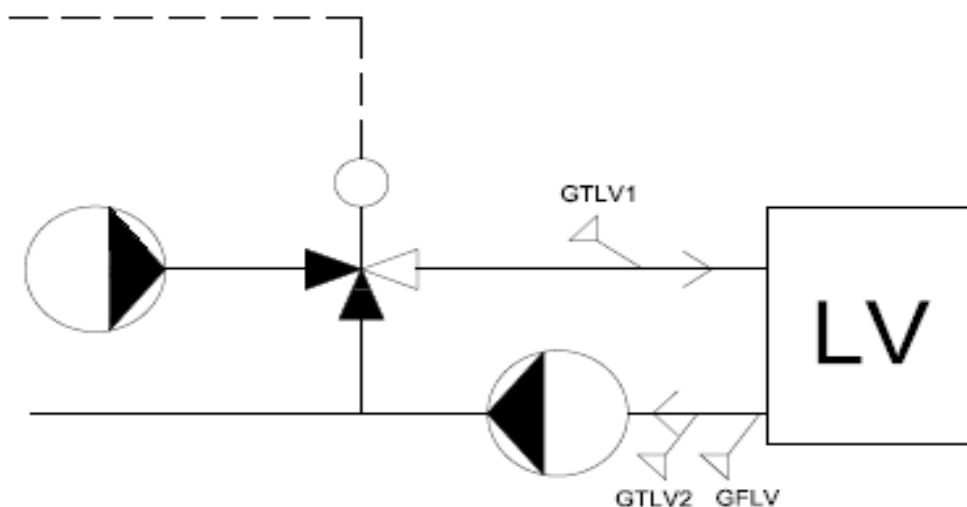
Aggregatet som försörjer rummet med luft består av en luftvärmare, tilluftsfläkt, frånluftsfläkt, kylbatteri, filter och spjäll. På tilluftskanalen finns en samlingslåda med givare som mäter tryck, temperaturer samt luftflöde. Flödet mäts även genom en integrerad flödesgivare i tilluftsdonet samt via en givare på frånluftskanalen. Temperaturmätningar görs förutom på tilluften på rumsluften och uteluften. Vidare finns effektmätare i anslutning till fläktarna samt givare som mäter koldioxidhalten i rummet. Figuren nedan visar komponenterna i aggregatet.



Figur 6 Schematisk skiss över ventilationssystemet

Luftvärmaren i aggregatet är vattenburen och vattenflödet genom värmaren regleras med en trevägsventil. För shuntgruppen finns flödesgivare samt givare för mätning av

tilloppstemperatur och returtemperatur. Se figur 7 som visar luftvärmare med tillhörande shuntgrupp.



Figur 7 Schematisk skiss över shuntgrupp till luftvärmare



Figur 8 Vänstra bilden visar shuntgrupp till luftvärmare och högra bilden visar samlingsbox på tilluftskanal med givare.

Aggregatet avser ett större luftflöde än det luftflöde som försörjer försöksrummet. Det innebär att redovisade värden på effekter för fläktar och luftvärmare inte kan jämföras med redovisad mätdata för flödet eftersom det bara avser rummet. Mätningar på det totala flödet genom aggregatet saknas. Genom att jämföra effekten på vattensidan i luftvärmaren och effekten på luftsidan för det flöde som avser rummet uppskattas mellan 5-10% av den totala luftvolymen gå till försöksrummet.

5.1.2 Tillvägagångssätt testförsök

För att utreda hur reglerinstabilitet påverkar inomhusklimatet och energianvändning utförs flera testförsök med olika förutsättningar. För samtliga försök regleras systemet för att uppnå stabilt inomhusklimat i samband innan testförsöken som avser instabil reglering inleddes. Detta för att ha loggar från stabila perioder att kunna jämföra den

instabila regleringen med. Stabilt inomhusklimat syftar till att såväl tilluftstemperatur, tilluftflöde, frånluftflöde och rumstemperatur hålls konstanta. Två fall av reglerinstabilitet undersöks där instabiliteten påtvingas under följande förutsättningar;

- Testförsök 1 - Instabil reglering av tilluftsfläkt
Regleringen ställs in så att tilluftflödet blir instabilt, medan fläktarna för frånluften regleras så att det ska vara konstant flöde för alla försök förutom ett då frånluften regleras för att uppnå balanserat flöde. Tilluftstemperaturen hålls konstant. Tilluftsfläkten regleras efter en tryckgivare på tilluftskanalen.
- Testförsök 2 - Instabil reglering av luftvärmare
Regleringen ställs in så att tilluftstemperaturen blir instabil medan både tilluftflöde och frånluftflöde hålls konstanta. Regleringen styrs efter temperaturgivare på tilluftskanal.

5.1.3 Dokumentation under testförsöken

Under varje testförsök loggas följande;

- Upplevelsen av inomhusklimatet
Vår upplevelse av inomhustemperaturen, ljudupplevelsen och luftkvaliteten dokumenteras för samtliga testförsök. Termisk komfort bedöms, enligt Predicted Mean Vote index (PMV), på en skala mellan -3 och 3, där 0 är neutralläget. Luftkvalitet och akustik bedöms på en skala mellan 0 och -3, där noll motsvarar goda förutsättningar och -3 motsvarar dåligt arbetsklimat.
- Rumstemperaturen
Mätningar genomförs med temperaturgivare GT3 placerad i rummet. Mätdata på hur rumstemperaturen varierar med tiden är av intresse för studien och mätresultatet kommer att jämföras med vår upplevelse av inomhusklimatet.
- Tilluftstemperaturen
Mätning sker via temperaturgivare GT2 placerad i anslutning till tilluftskanalen. Mätdata på hur tilluftstemperaturen varierar med tiden är av intresse för studien och mätresultatet kommer att jämföras med vår upplevelse av inomhusklimatet.
- Uteluftstemperatur
Mätning sker via temperaturgivare GT1 placerad utomhus. Utomhustemperaturen måste beaktas då testförsöken kan ge olika resultat om temperaturen varierar i stor skala mellan de olika försökstillfällena.
- Koldioxidhalt i rummet
Mätningar genomförs med koldioxidmätare GCO² i rummet. Mätdata kommer användas som en indikator för att bedöma luftkvaliteten i rummet.

- Tilluftsflödet
Mäts med en inbyggd flödesgivare GF2, mätfläns, i tilluftsdonet och flödesgivare GF1, mätfläns, kopplad på tilluftskanal. Tilluftsflödet är av intresse att studera och se hur det varierar med tiden.
- Frånluftsflödet
Mäts med en flödesgivare GF3, mätfläns, kopplad på frånluftskanal. Frånluftsflödet är av intresse att studera och se hur det varierar med tiden.
- Eleffekt till tilluftsfläkt
Mätning sker med digital givare, GE1, kopplad till tilluftsfläktens motor. Eleffekten behövs för jämförelse av fläktens energianvändning.
- Eleffekt till frånluftsfläkt
Mätning sker med digital mätare, GE2, kopplad till frånluftsfläktens motor. Eleffekten behövs för jämförelse av fläktens energianvändning.
- Inkommande vattentemperatur till luftvärmaren
Mätning sker via temperaturgivare GTLV1 kopplad på inloppsröret till luftvärmaren. Temperaturen på framledningsvattnet behövs för att se till effekten för luftvärmaren.
- Utgående vattentemperatur från luftvärmaren
Mätning sker via temperaturgivare GTLV2 kopplad på returröret i luftvärmaren. Temperaturen på returvattnet behövs för att se till effekten för luftvärmaren.
- Vattenflöde in i luftvärmaren
Mätning sker via flödesmätare GFLV kopplad på vattenröret som går genom luftvärmaren. Vattenflödet genom luftvärmaren behövs för att se till effekten för luftvärmaren.
- Styrsignaler
Styrsignal till frånluftsfläkt, tilluftsfläkt samt shuntventil från regulatorer loggas..
- Regulatorparametrar
Inställningar av regleringen sker med assistans från Mattias Gruber, doktorand vid avdelning för installationsteknik, som även dokumenterar klockslag och storlek vid ändringar av börvärde, förstärkning och I-tid för respektive styrd variabel.

Ovanstående indikatorer loggas elektroniskt med 10 sekunders intervall enligt inställningar, bortsett från upplevelsen av inomhusklimatet som loggas manuellt och reglerinställningarna som Mattias Gruber dokumenterar.

Enligt uppgift från Mattias Gruber är minsta flödet som kan mätas genom mätflänsarna i till- respektive frånluftskanalen med tillförlitligt resultat 15 l/s. För mindre flöden kan beräkningsmodell framtagen genom jämförelse av fläktarnas varvtal under konstant ökat flöde tillämpas. Beräkningsmodellerna är alltså framtagna speciellt för det system som används under testförsöken. Nedan presenteras ekvationerna som använts för beräkning av tilluftsflöde respektive frånluftsflöde vid lägre flöden än 15 l/s avseende kanalerna.

$$\text{Tilluftsflöde:} \quad y = 0,2321x + 1,6071 \quad (3)$$

$$\text{Frånluftsflöde:} \quad y = 0,2254x + 2,4952 \quad (4)$$

Där y är beräknat flöde för avsedd kanal och x är varvtal eller styrsignal angivet i procent.

Samtliga givare som används i testförsöken har kort tid innan försöken kalibrerats och bedöms följaktligen följa produktleverantörens specifikationer gällande noggrannhet. I tabell 4 nedan kan noggrannhet och förutsättningar för respektive givare avläsas.

Tabell 4 Specifikationer för komponenterna i systemet.

Givare :	Modell:	Fabrikant:	Noggrannhet:	Förutsättningar:
GFLV	TA Link	Tour & Andersson	±0,4 %	
GTLV1	TAC STP 300	Schneider Electric	±0,4 %	Vid rumstemperatur på 25°C och genomsnittspänning över givare 24 V.
GTLV2	TAC STP 300	Schneider Electric	±0,4 %	Vid rumstemperatur på 25°C och genomsnittspänning över givare 24 V.
GCO ²	TAC SCR	Schneider Electric	±2 %	På uppmätt värde
GF1 GF3	Mätfläns ZMI + DTTM50D-5000D	Klimatbyrån + Honeywell	±7 %	Gäller mätfläns.

GF2	TTD 160	LindInvent, flödesmätning gen är integrerad i tilluftsdonet	± 1 l/s ± 2 l/s	<i>För lågt flöde</i> <i>För högt flöde</i>
GT1	STD400	Schneider Electric	$\pm 0,4$ %	<i>Vid rumstemperatur på 25°C och genomsnittspänning över givare 24 V.</i>
GT2	STD400	Schneider Electric	$\pm 0,4$ %	<i>Vid rumstemperatur på 25°C och genomsnittspänning över givare 24 V.</i>
GT3	STD400	Schneider Electric	$\pm 0,4$ %	<i>Vid rumstemperatur på 25°C och genomsnittspänning över givare 24 V.</i>
GE1	PM810	Schneider Electric	$\pm 0,075$ %	<i>Under normala förutsättningar</i>
GE2	PM810	Schneider Electric	$\pm 0,075$ %	<i>Under normala förutsättningar</i>

5.1.4 Övriga förutsättningar testförsök

För samtliga testförsök tillåts svängande rumstemperatur, men inte glidande. Att temperaturen inte ska vara glidande syftar till att konstanta uppåtgående eller nedåtgående trender på temperaturen under instabila förhållanden bör undvikas. Glidande rumstemperaturer kan annars ge upphov till bristande komfortupplevelse som inte kan relateras till själva instabiliteten. Samtliga testförsök skall genomföras vid minst tre försökstillfällen för att resultaten ska kunna anses tillförlitliga.

För att kunna påbörja testförsöken direkt på morgonen används en radiator motsvarande värmeeffekten från två personer och två datorer under tiden försök inte pågår. Värmeeffekten per person uppskattats till 70 W och motsvarar genomsnittet för en stillasittande person. Datorernas värmeeffekt är uppmätt med effektmätare till 20 W per enhet.

Som komplement till uppvärmning av rummet används golvvärme. Golvvärmen är inställd så att den tillför rummet lika mycket värme hela tiden, med anledning att inte störa testförsöken gällande temperaturupplevelsen.

5.2 Förutsättningar regulatorparametrar

För att påtvinga instabilitet hos den styrda variabeln under testförsöken har regulatorparametrar K ökats till dess att instabilitet uppkommer. Båda försöken avseende instabilt tilluftsflöde och instabil tilluftstemperatur avser PI-reglering.

Mellan försöken i februari och april har det gjorts förändringar på ventilationssystemets uppbyggnad. Förändringen av systemet får som följd att värdena på regulatorparametrarna för stabilt tillstånd skiljer sig åt mellan de olika försöken. I tabell 5 och 6 redovisas regulatorparametrar för respektive försökstillfälle.

5.2.1 Testförsök 1 - Instabil reglering av tilluftsfläkt

Testförsöken med instabil reglering av tilluftsfläkten avser reglering av tryck i luftkanalen. Börvärdet har valts till en trycknivå på 80 Pa uppmätt via en tryckgivare placerad i samlingslådan som är ansluten till tilluftskanalen. Tilluftstemperaturen ligger stabilt under hela försökstiden med börvärde på 17-18°C.

Under testförsöket den 23/4 styrs frånluftsfläkt för att uppnå balanserat flöde, för resterande försöksdagar sker regleringen av frånluften för att uppnå konstant flöde. Reglering av frånluften för att uppnå balanserat flöde sker via förekommande regressioner för luftflödet. Reglering av frånluften för att uppnå konstant flöde avser konstant styrsignal till frånluftsfläkt, vilken har valts för att motsvara tilluftsflödet under stabil reglering.

I tabellen nedan kan inställda regulatorparametrar under de olika försöken avläsas.

Tabell 5 *Inställda regulatorparametrar för tryckstyrning.*

Datum:	Tid:	Börvärde [Pa]:	K:	Ti [sek]:	Tillstånd:
25/2	16:20-16:32	80	0,005	10	Stabilt
25/2	16:32-08:09	80	0,008	10	Instabilt (ingen i rum)
26/2	08:09-09:10	80	0,005	10	Stabilt (ingen i rum)
27/2	13:55-14:25	80	0,005	10	Stabilt
27/2	14:25-14:55	80	0,008	10	Instabilt
23/4	14:26-15:23	80	0,005	10	Stabilt
23/4	15:23-16:16	80	0,009	10	Instabilt
23/4	16:16-17:00	80	0,015	10	Instabilt

5.2.2 Testförsök 2 - Instabil reglering av luftvärmare

Testförsöken avser temperaturstyrning av tilluft med tillhörande shuntgrupp. Börvärdet avser en tilluftstemperatur på 17-18°C vilket mäts via mätfläns i tilluftskanalen. Reglering av fläktarna avser ett konstant ventilationsflöde på tilluften. Tabell 6 redogör regulatorparametrarna som använts under respektive försök.

Tabell 6 *Inställda regulatorparametrar för temperaturstyrning.*

Datum:	Tid:	Börvärde [°C]:	K:	Ti [sek]:	Tillstånd:
27/2	14:56-15:32	18	6	354	Instabilt
27/2	15:32-15:57	18	50	354	Instabilt
27/2	15:57-17:00	18	6	354	Instabilt
16/4	08:30-09:49	17	6	354	Stabilt
16/4	09:49-13:47	17	8	354	Instabilt
16/4	13:47-14:41	17	12	354	Instabilt
16/4	14:41-15:30	17	18	354	Instabilt
16/4	15:30-16:30	18	6	354	Stabilt
23/4	10:40-11:27	17	20	354	Instabilt
23/4	11:27-12:30	17	25	354	Instabilt
23/4	12:30-14:26	17	6	354	Stabilt

5.3 Testförsök, genomförande

Nedan beskrivs samtliga testförsök som utförts under studien. Även de testförsök som misslyckats och bedöms obrukbara för studien introduceras med förklaring om varför mätdata inte kan anses tillförlitlig.

5.3.1 Testförsök, 2013-02-25

Under första dagen avsedd för testförsök uppstod problematik under intrimningen av ventilationssystemet. Först under eftermiddagen hade lämpliga regulatorparametrar hittats för en stabil reglering av systemet. Med anledning till detta kan endast mätdata efter 16:20 användas.

Testförsök för huruvida instabil reglering påverkar den termiska komforten i vistelsezonen avslutas 17:00. Under kvällen och natten var systemet aktivt och mätdata från perioden används för att analysera effektåtgången för tilluftsfläkten.

5.3.2 Testförsök, 2013-02-26

På morgonen kördes en timmes stabil reglering av tilluftsfläkt utan att någon befann sig i rummet som kan användas vid jämförelse av effektåtgången för tilluftsfläkten.

Resten av dagen genomfördes testförsök med koldioxidstyrd reglering av tilluftsfläkten. Eftersom koldioxidstyrningen valts att utelämnas från studien under senare skede kan all mätdata från dessa försök bortses.

5.3.3 Testförsök, 2013-02-27

Förmiddagen ägnades åt koldioxidstyrning vilket som nämnts ovan utesluts ifrån rapporten.

Mellan 13:25-14:55 kördes tryckstyrd reglering av tilluftsfläkten. Tryckstyrningen följs av testförsök på instabil reglering av tilluftstemperaturen. Testförsöken avslutas klockan 17:00.

5.3.4 Testförsök, 2013-04-16

Testförsök avseende temperaturstyrning under hela dagen. Klockan 12.00 slås luftkylaren på per automatik på grund av den varmare uteluften.

5.3.5 Testförsök, 2013-04-23

Förmiddagen ägnades åt fler testförsök med temperaturstyrning. Eftersom radiatorn av misstag inte stängdes av på morgonen kan all mätdata fram till 10 bortses. För att snabbt kyla den övertempererade rumsluften sattes en fläktkonvektor för kyla på till dess att behaglig rumstemperatur uppnåts. Mätdata uppskattas tillförlitlig för studien först efter 10:40. Runt 14:00 utlöstes brandlarm och medförde att lokalen var tvungen att utrymmas. Efter avbrottet i försöken tillägnades resterande tid till försök avseende tryckstyrning av tilluftsfläkten.

Luftkylaren i aggregatet är på under hela försöksdagen och kyler luften in i luftvärmare till en jämn temperatur på cirka 12°C. Till skillnad från tidigare försök regleras frånluftsfläkten under detta testförsök för att uppnå ett balanserat flöde. Det är dessa mätdata över effekten för frånluftsfläkten som analyserats i resultatkapitlet.

6 Resultat från testförsöken

I kapitlet redovisas relevanta observationer och resultat utifrån uppmätt mätdata och dokumentation från respektive testförsök. Se bilagor för samtlig mätdata som resultaten baseras på.

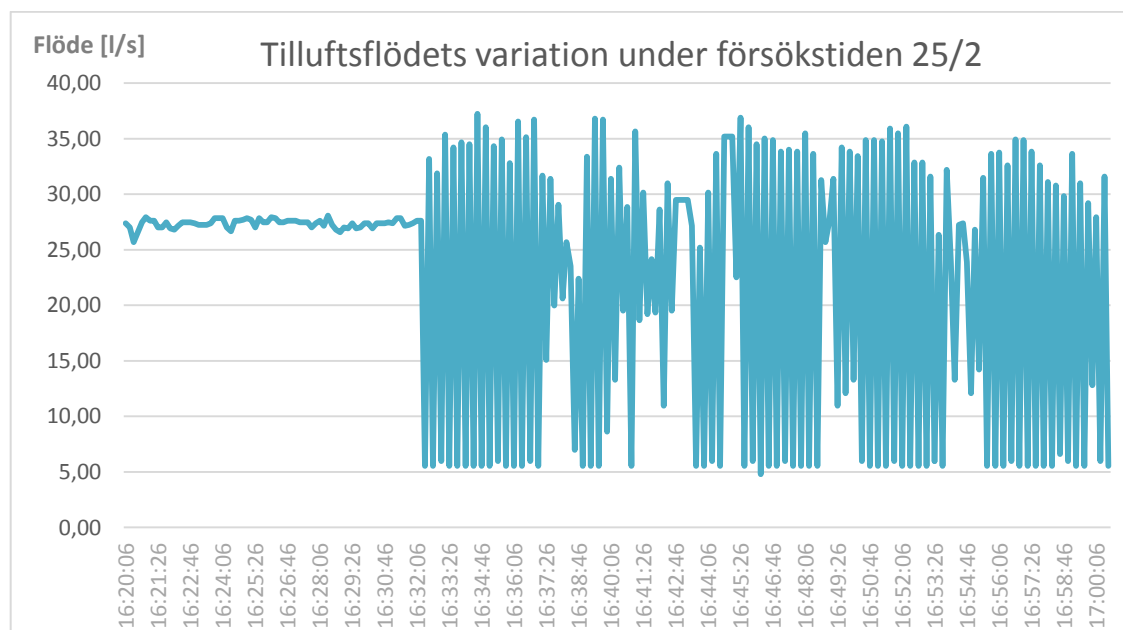
6.1 Termiska upplevelsen

I följande kapitel redovisas resultaten från respektive testförsök utifrån upplevelsen av den termiska komforten. Eftersom upplevelsen av den termiska komforten som presenteras baseras på testförsök med två personers omdöme bedöms inte resultaten kunna representera gemene mans omdöme utan att vidare studier genomförs. Däremot bedöms resultaten ge en god indikation på hur den termiska komforten kan uppfattas vid reglerinstabilitet.

Samtliga observationer på den termiska komforten gjordes utan vetskapen om huruvida ventilationstillståndet var stabilt eller instabilt, med anledning till detta bedöms nedan presenterade slutsatser tillförlitliga.

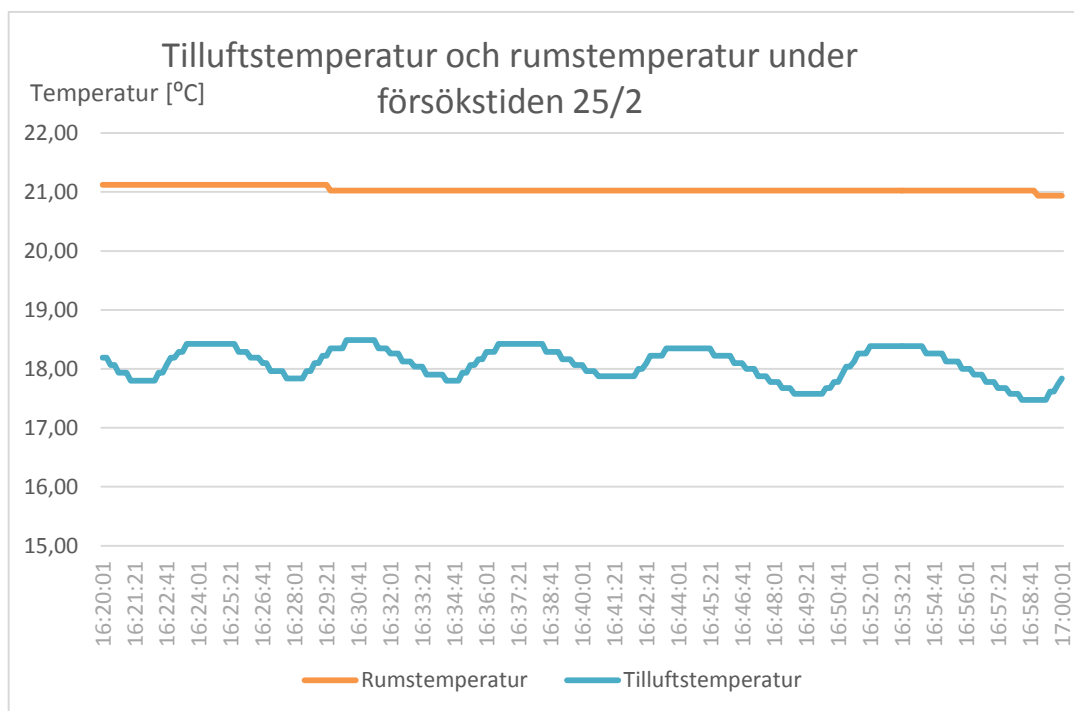
6.1.1 Testförsök 1 – Instabil reglering av tilluftsfläkt

Nedan redovisas diagram över tilluftsflöden, tilluftstemperaturer och rumstemperaturer för testförsöken på tryckstyrd reglering 25/2, 27/2 samt 23/4. Diagrammen efterföljs av tabell där dokumentationen över upplevelsen av den termiska komforten i rummet presenteras för respektive försökstillfälle.



Figur 5 Visar hur tilluftsflödet varierar med tiden under testförsöket 25/2 mellan 16:20-17:00.

Systemet är stabilt fram till 16:32 då reglerinstabilitet på tilluftsflödet påtvingas vilket reflekteras tydligt i figur 9. En iakttagelse är att genomsnittsflödet skiljer sig åt mellan stabilt och instabilt tillstånd. I försöket minskar genomsnittsflödet från 27,4 l/s till 21,1 l/s när systemet går från stabilt till instabilt tillstånd vilket innebär en minskning på 23 %. Om systemet under stabilt läge är inställt på minimalt hygienflöde kommer den luftkvalitén inte att uppnås i ett instabilt system

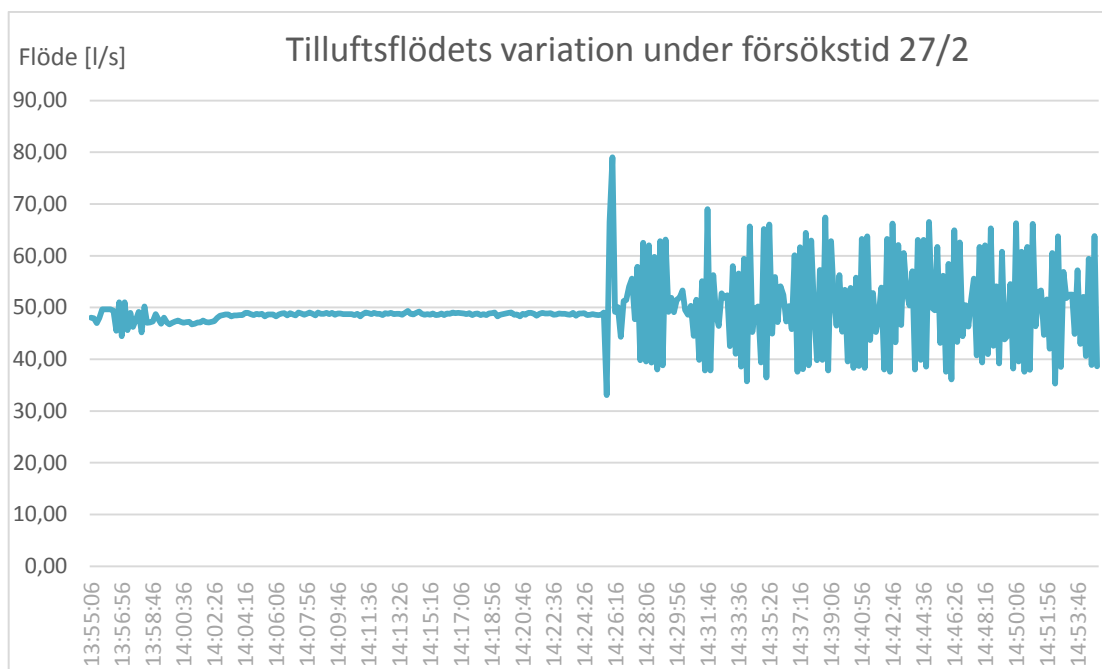


Figur 6 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 25/2 mellan 16:20-17:00.

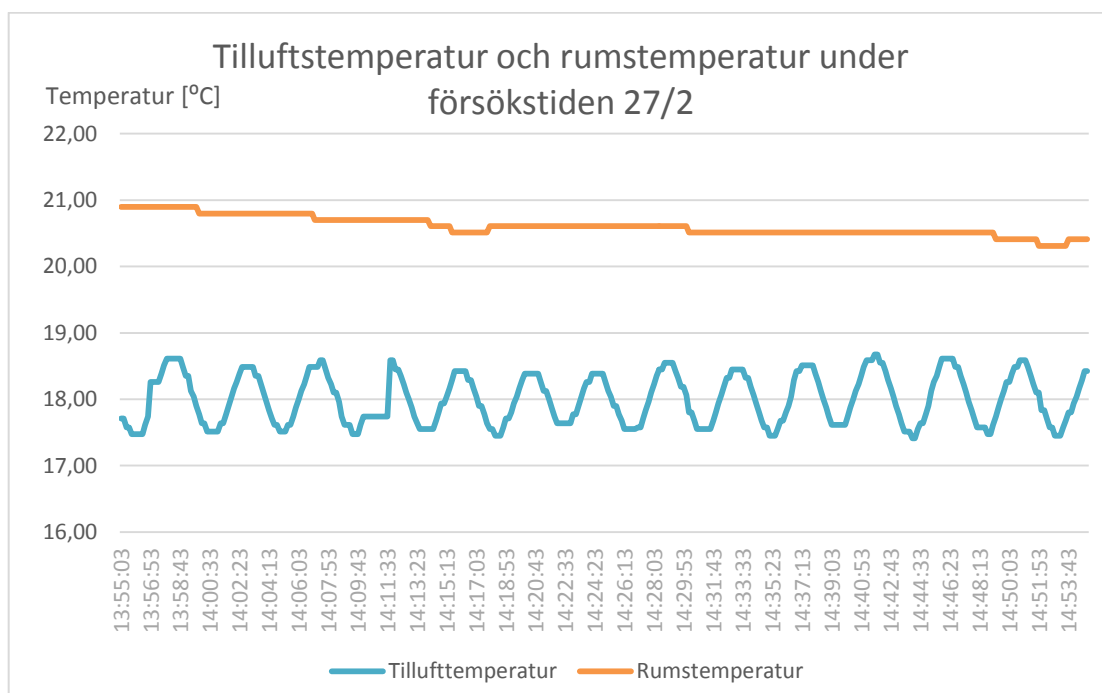
Som figur 10 visar håller sig tilluftstemperaturen och rumstemperaturen på en jämn nivå under testförsöket precis som förväntat då temperaturstyrningen under detta försök ska vara konstant. Differens på tilluftstemperaturen är knappt en grad vilket beror av att temperaturen tillåts viss marginal i avvikelse från inställt börvärde.

Tabell 7 Observationer på den termiska komforten under testförsök 25/2.

Testförsök 1 2013-02-25 (16:20-17:00) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
16:41	-1, -1, 0	Upplever drag och ljud	16:32	0, -1, 0	Svagt susande ljud från ventilationen. På- och aveffekt.
16:45	-1, 0, 0	Kyligt	16:56	0, -1, 0	Ljud



Figur 7 Visar hur tilluftsflödet varierar med tiden under testförsöket 27/2 mellan 13:55-14:55.



Figur 8 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 27/2 mellan 13:55-14:55.

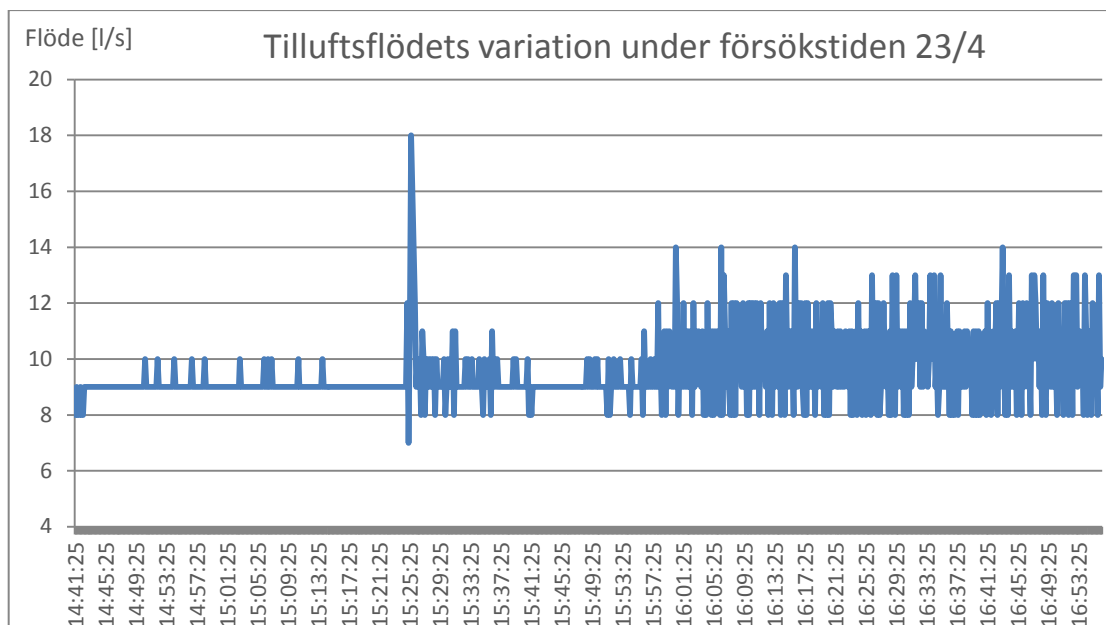
För testförsök som redovisas i figur 11 och 12 är systemet stabilt mellan 13:55-14:25 och instabilt resterande tiden. Även vid detta försök skiljer sig det genomsnittliga flödet för stabilt och instabilt tillstånd. Skillnaden mellan detta testförsök och föregående är att genomsnittsflödet är 5 % högre under den instabila perioden.

Figur 12 över tilluftstemperatur och rumstemperatur för försöket 27/2 visar på samma karakteristik som vid tidigare testförsök.

Tabell 8

Observationer på den termiska komforten under testförsök 27/2.

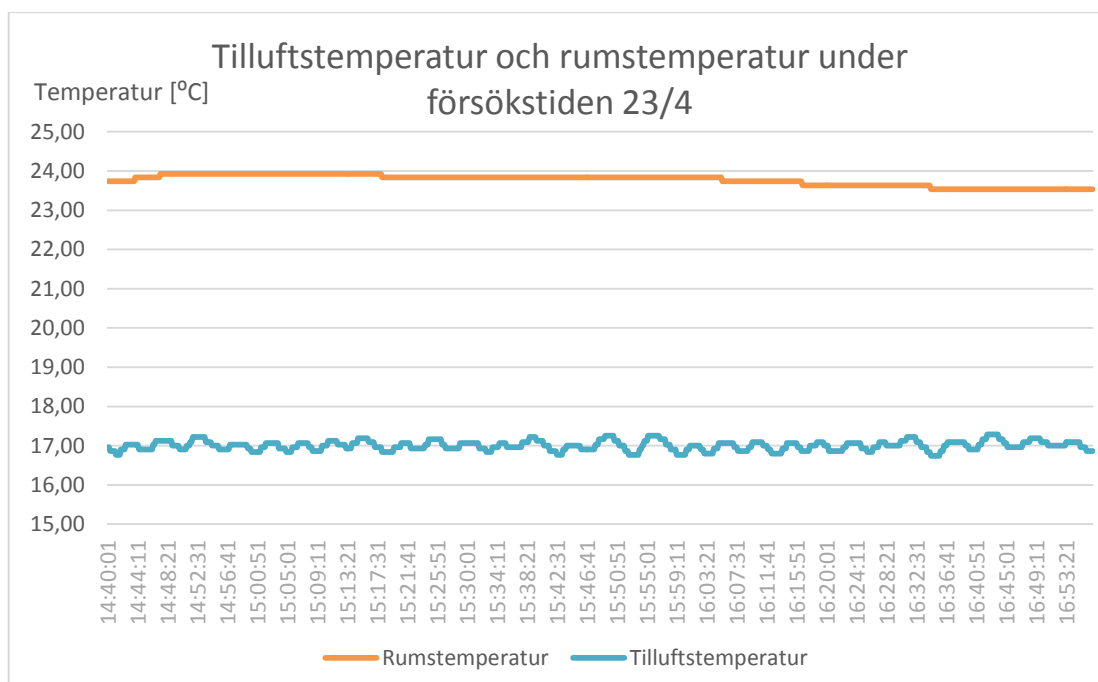
Testförsök 1 2013-02-27 (13:25-14:55) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
14:15	-1, 0, 0	<i>Drag, allmänt kallt i rum, lokal avkylning händer.</i>	14:20	0, -1, 0	<i>Hört konstant, svagt susande ljud från ventilationen. Pågått en stund.</i>
			14:26	-1, -1, 0	<i>Hör sus från frånluftsdon, drar igång kraftigt men avtar nästan direkt igen. Känner drag.</i>
			14:27	-1, -1, 0	<i>Ventilationen fortsätter slå på och av likt ovan.</i>
			14:36	-1, -1, 0	<i>Känner drag. Tilluftsfläkt slår på och av.</i>



Figur 9 Visar hur tilluftsflödet varierar med tiden under testförsöket 23/4 mellan 14:40-16:55.

För testförsök som visas i figur 13 gäller att systemet är stabilt mellan 14:41-15:23 och instabilt resterande tiden. Testförsöket tyder på samma trend som vid det tidigare försöket på instabilt tilluftsflöde med en differens på 10 % mellan instabilt och stabilt tillstånd. Likt andra försöket är här genomsnittsförflödet högre.

Baserat på ovan redovisade resultat från testförsöken kan slutsats dras att det blir betydligt svårare att kontrollera tilluftsflödet om regleringen är instabil. Är tilluftsflödet lägre än det förinställda börvärdet kan det medföra att förekommande krav på hygienflöde inte uppfylls. Ett högre tilluftsflöde däremot kan ge upphov till drag och att fläkten får arbeta onödigt mycket.



Figur 10 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 23/4 mellan 14:40-16:55.

Likt tidigare testförsök visar sista försöket på jämna temperaturer under försökstiden. Med anledning till detta kan slutsats dras att observationer som gjorts under testförsöken angående temperaturupplevelsen inte beror av den faktiska temperaturen, utan av påverkan av luftrörelse.

Tabell 9 Observationer på den termiska komforten under testförsök 23/4.

Testförsök 1 2013-04-23 (14:40-17:00) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
14:44	1, 0, 0	<i>Varmt</i>	15:25	0, -1, 0	<i>Hör ventilationen</i>
15:25	-1, -1, 0	<i>Ljud och drag</i>	15:50	-2, -1, 0	<i>Börjar frysa, hör fortfarande ventilationen</i>
15:40	-1, 0, 0	<i>Kallt</i>	15:59	-1, -1, 0	<i>Fortsatt kyligt, ventilationen hörs (på- och avljud)</i>
			16:22	-1, -1, 0	<i>Fortsatt kyligt, ventilationen hörs (på- och avljud)</i>
			16:42	-1, -1, 0	<i>Fortsatt kyligt, ventilationen hörs (på- och avljud)</i>

Sammanfattningsvis överensstämmer de negativa anmärkningarna på klimatet som noterats under försöken med tidsperioderna för instabil regering sånär som på enstaka undantag. Att bedöma av storleksordningen på den negativa inverkan av klimatupplevelsen kan störningarna anses knappt påtagliga utifrån de värden som valts på PMV-index.

En intressant observation som kan göras är att det som uppfattats mest störande under testförsöken är störningar i form av ljud. Dock får hänsyn tas till att testförsöken avseende ljudupplevelsen inte kan anses fullt verklighetstroga då försöken skett i ett isolerat rum utan några ljud eller störningar från omgivningen.

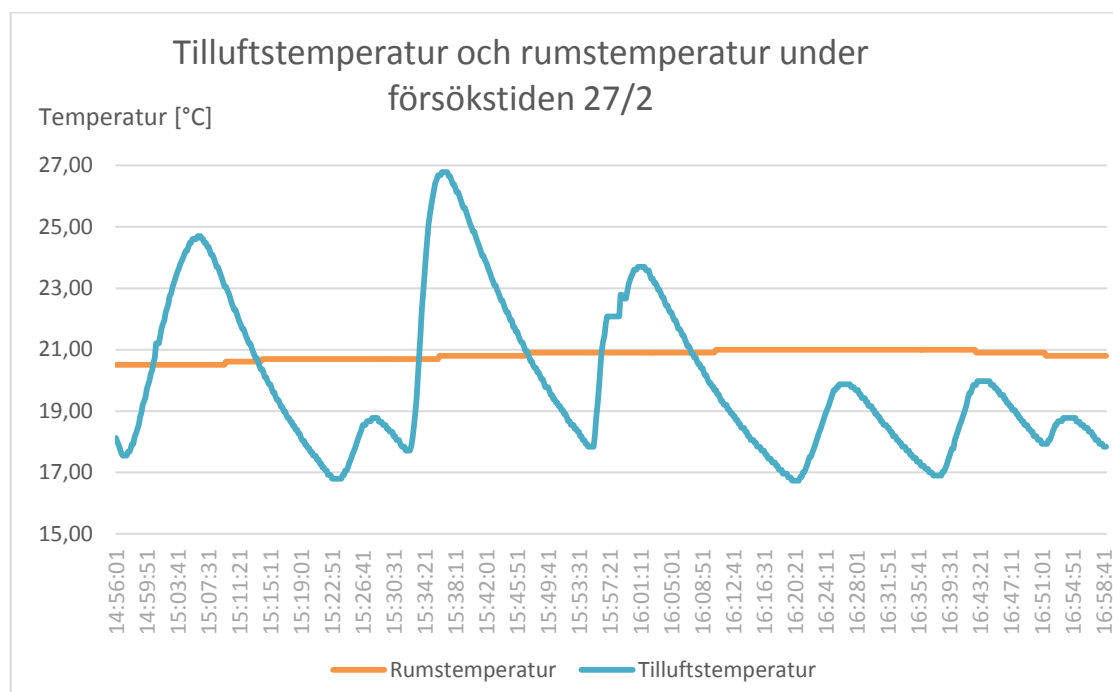
Inga anmärkningar har gjorts avseende luftkvalitén under testförsöken. Koldioxidhalten i rummet har varierat mellan 606-1106 ppm under ovan presenterade

testförsök. Testförsöket den 23/4 är det enda av ovanstående testförsök där koldioxidhalten överskridit förekommande rekommendationer om maximalt 1000 ppm. Differensen mellan aktuell koldioxidhalt under testförsöket och förekommande riktvärde kan anses så pass liten att den knappt är märkbar. Luftflödet under testförsöken bedöms utifrån koldioxidhalten ligga inom en rimlig volym för samtliga testförsök.

Eftersom observationerna gjordes utan vetskapen om huruvida ventilationstillståndet var stabilt eller instabilt bedöms dessa slutsatser tillförlitliga. Kännedom om att tilluftsflödet skulle variera kan naturligtvis öka uppmärksamheten för störningar. Under andra omständigheter, som i ett kontorsrum där ventilationen förväntas fungera normalt, hade kanske störningarna inte uppmärksammats över huvud taget.

6.1.2 Testförsök 2 – Instabil reglering av luftvärmare

Nedan redovisas diagram över tilluftstemperaturer och rumstemperaturer för testförsöken på temperaturstyrd reglering 27/2, 16/4 samt 23/4 följt av dokumentationer från respektive försök.



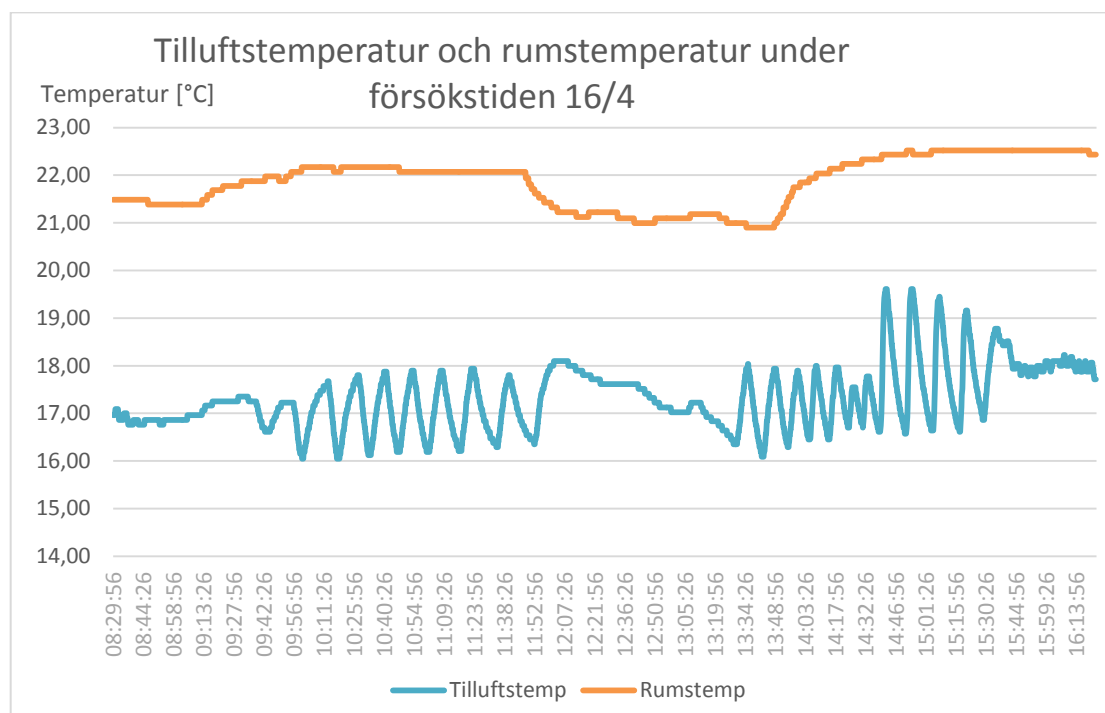
Figur 11 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 27/2 mellan 14:56-17:00.

Under testförsök som visas i figur 15 var tillståndet på tilluftstemperaturen instabilt under hela försökstiden.

Tabell 10 Observationer på den termiska komforten under testförsök 27/2.

Testförsök 2 2013-02-27 (14:56-17:00) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
15:00	-1, 0, 0	<i>Drag och kallt i rum.</i>	15:11	0, 0, 0	<i>Neutralt</i>
16:08	-1, 0, 0	<i>Drag och fortsatt kallt i rummet.</i>	16:15	-1, 0, 0	<i>Lite kyligt men tyst.</i>

Observationerna redovisade i tabell 10 som gjordes under försöket avseende termisk komfort kan inte styrkas vid jämförelse med mätdata på varken tilluftstemperatur eller rumstemperatur.



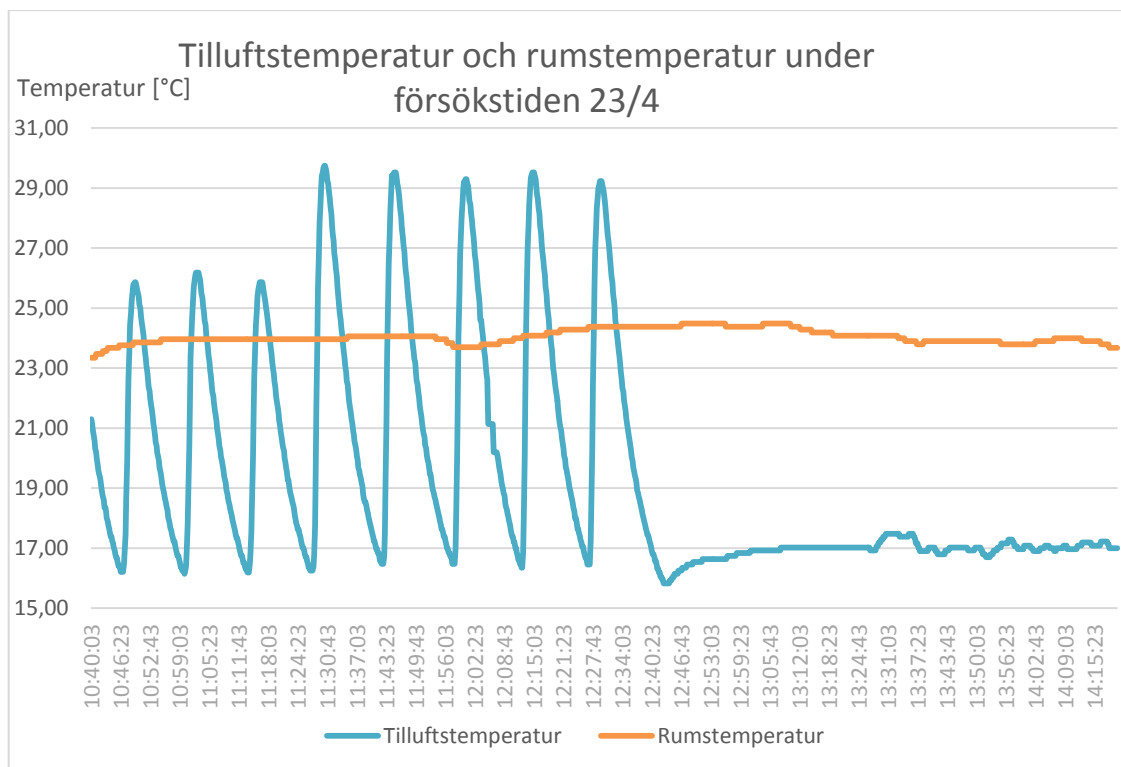
Figur 12 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 16/4 mellan 08:30-16:30. Lämnar rum mellan 11:45-13:40.

Tillståndet på tilluftstemperaturen i figur 16 är stabilt mellan 08:30-09:49 samt 15:30-16:30, för resterande tid är tillståndet instabilt. Förändringen i rumskurvans beteende mellan 11:45-14:00 bedöms rimligen bero av att rummet lämnades mellan 11:45-13:40 och att den sjunkande rumstemperaturen är en följd av att ingen tillskottsvärme från personer tillfördes rumsluften. Klockan 12:00 gick luftkylaren igång vilket förklarar förändringen i beteendet för tilluftskurvan trots att ingen förändring skett på reglerinställningarna under den tidsperioden.

Tabell 11 Observationer på den termiska komforten under testförsök 16/4.

Testförsök 2 2013-04-16 (08:30-16:30) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
08.38	0, -1, 0	<i>Susande ljud från ventilationen. Knappt märkbart.</i>	08.50	0, -1, 0	<i>Hört konstant, svagt susande ljud från ventilationen. Knappt störande.</i>
10.52	-1, 0, 0	<i>Lite kyligt i rum</i>	09.10	-1, -1, 0	<i>Kyla och ljud från fläkt.</i>
11.14	-1, 0, 0	<i>Upplever drag</i>	14.38	-1, -1, 0	<i>Kyligt.</i>
16.00	-1, 0, 0	<i>Lite kyligt i rum</i>	15.08	0, -1, 0	<i>Neutral temperatur, men hör sus från ventilation (pågått hela dagen)</i>

Inte heller för detta testförsök kan samband mellan anmärkningarna redovisade i tabell 11 och temperaturvariationerna i figur 16 för testförsöket påvisas.



Figur 17 Visar hur temperaturen varierar med tiden under testförsöket 23/4 mellan 10:40-14:26.

Under det sista testförsöket på temperaturstyrning var systemet instabilt fram till 12:30 och därefter stabilt reglerat under resterande försökstid. Som figur 17 visar pendlar tilluftstemperaturen under det instabila förhållandet och har en maximal svängning på 13°C.

Tabell 12 PMV-index.

Testförsök 2 2013-04-23 (10:40-14:26) <i>(PMV-index för temperatur, ljud, luftkvalité i skriven ordningsföljd)</i>					
Jens			Martina		
Klockslag:	PMV:	Kommentarer:	Klockslag:	PMV:	Kommentarer:
-	0, 0, 0	Neutralt	10:41	0, 0, 0	Neutralt
			11:27	0, 0, 0	Känns varmare i rummet, dock inte för varmt.

Trots den stora differensen på tilluftstemperaturen har inga anmärkningar dokumenterats under försökstiden för detta testförsök. En förklaring till detta kan vara att tilluftsflödet under försöket var väldigt lågt, så kastlängden från tilluftsdonet inte nådde fram till vistelsezonen för observationerna. Dessutom är temperaturen på rumsluften relativt hög under hela försökstiden.

Likt testförsöken avseende tryckstyrd reglering har ingen notering gjorts om luftkvaliteten i rummet. Mätdata visar för testförsök på temperaturstyrningen att koldioxidhalterna i rummet inte varit uppseendeväckande höga, utan medelhalten befinner sig mellan 749-874 ppm för ovan presenterade försökstillfällen. På samma sätt som för försöken på tryckstyrd reglering bedöms även här luftflödet under testförsöken varit av rimlig skala med hänsyn till förekommande koldioxidhalter.

Anmärkningsvärt, vilket gäller för samtliga försök avseende instabil reglering av luftvärmare, är att rumstemperaturen inte påverkats trots stora variationer i temperaturen på tilluften. Att rumsluften inte påverkats påtagligt av reglerinstabiliteten bedöms troligen bero av värmekapaciteten i rummet.

Sammanfattningsvis kan även konstateras att temperaturförändringarna under samtliga testförsök inte påverkat upplevelsen av den termiska komforten i rummet. Detta resultat kan dock inte ses som ett allmänt konstaterande för svängande tilluftstemperaturer. Under andra förhållanden, exempelvis om amplituden för svängningarna hade varit högre eller med lägre frekvens på svängningarna, kan resultatet bete sig annorlunda.

Andra faktorer som kan ha påverkat resultaten av testförsöken är tilluftsdonets placering i förhållande till vart vistelsen sker. För vistelse direkt under tilluftsdonet kan störningar i form av kallras tänkas uppstå.

Rumstemperaturen under testförsöken anses också ha betydelse för upplevelsen. För högre rumstemperaturer anses fler personer ha högre tolerans innan det upplevs som störande än för låga temperaturer.

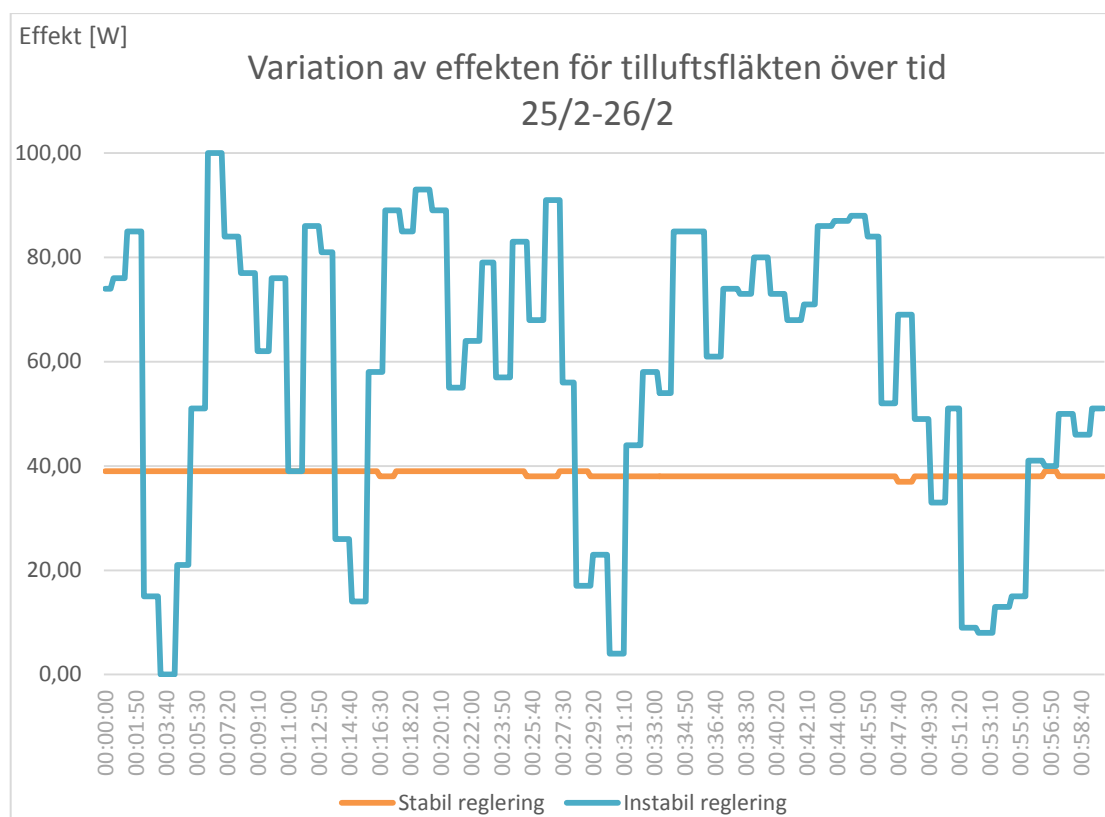
6.2 Energianvändning, jämförelse

I följande kapitel redovisas hur reglerinstabilitet i systemet påverkat energianvändning under testförsöken. Eftersom resultaten baseras på testförsök med ett specifikt aggregat bedöms inte resultaten vara generella då systemens storlek och komponenter varierar. Däremot bedöms testresultaten vara en bra indikator på hur komponenterna i systemet påverkas vid instabil reglering.

Jämförelsen som presenteras i följande kapitel har valts att redovisas i effekter för de olika komponenterna då energianvändning är en produkt av effekten och tid.

6.2.1 Testförsök 1 – Instabil reglering av tilluftsfläkt

Mätdata från testförsöken visar på att fläkteffekten vid reglerinstabilitet varierar i stor skala jämfört med fläkteffekten under stabila förhållanden. Figur 18 visar effekten för tilluftsfläkten under en timme med instabil reglering jämfört med en timmes stabil reglering. Mätdata som använts i diagrammet är godtyckligt hämtade från olika tider i försöksloggarna, alltså inte noggrant utvalda representativa värden för instabilt respektive stabilt tillstånd. Mätdata för instabil reglering är taget ifrån försöket 2013-02-25 mellan klockslagen 23:00 och 00:00. Motsvarande mätdata som redovisas för den stabila regleringen hämtades 2013-02-26 mellan 08:15 och 09:15. Under båda tidpunkterna har ingen person vistats i försöksrummet, så givna omständigheter bedöms likvärdiga.



Figur 13 Jämförelse av fläkteffekt för stabilt respektive instabilt tillstånd den 25/2 och 26/2.

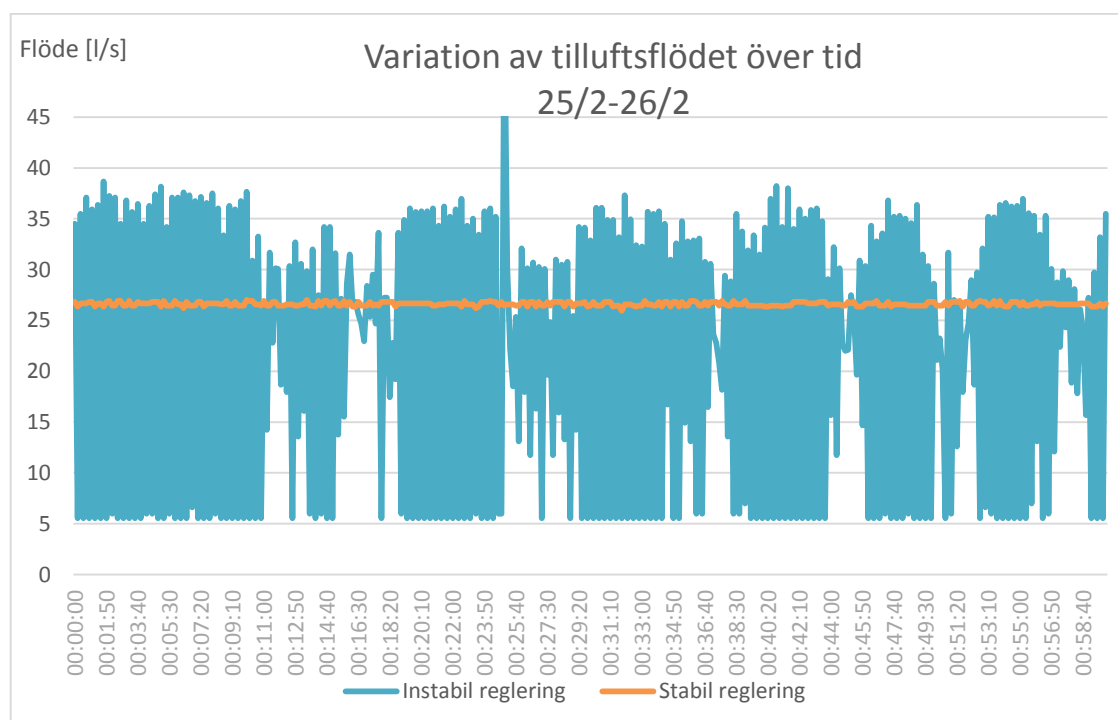
Som figuren ovan visar håller sig fläkteffekten för det stabila ventilationstillståndet på en konstant nivå, medan effekten för den instabila kurvan varierar från 0 W till 100 W. En intressant iakttagelse som kan göras utifrån diagrammet är att den instabila kurvan överskrider fläkteffekten för det stabila tillståndet mer än det underskrider. Den observationen överensstämmer även när medelvärdet på effekten för tilluftsfläkten jämförs för de olika tillstånden.

Medelvärdet på fläkteffekten för tilluftsfläkten per timme redovisas i tabell 13 för stabil respektive instabil reglering. Mätdata som använts vid beräkningar av medelvärde täcker hela den instabila respektive stabila försökstiden sånär som på ett få utomliggande punkter, dvs. orimligt höga värden som uppkommer på grund av tillfälliga fel i givare eller i kommunikationen mellan givare och loggar. Testförsöken åtskiljs då personer befunnit sig i vistelsezonen samt när rummet varit tomt.

Tabell 13 Jämförelse av medeleffekten för fläktarna.

	Stabil reglering	Instabil reglering	Procentuell ökning
Testförsök 25-26/2 tilluftsfläkt (Ingen person i vistelsezon)	38,538 W	56,534 W	47%
Testförsök 27/2 tilluftsfläkt (Personer i vistelsezon)	53,644 W	70,160 W	31%
Testförsök 23/4 tilluftsfläkt (Personer i vistelsezon)	92,7 W	108 W	16,5 %

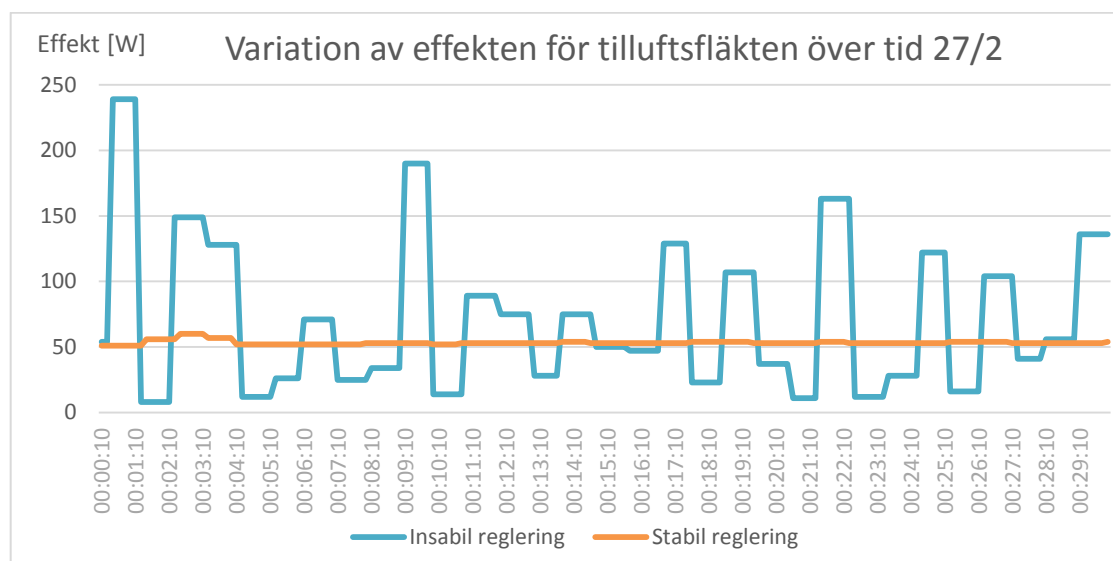
Trots konsekvent högre medeleffekt för fläktarna under instabil reglering både överskrider och underskrider medelflödet för försöken med instabil regleringen medelflödet för försöken med stabil reglering. Medelflödet visar ingen konsekvent ökning under testförsöken vid instabil reglering, men trots det har entydig ökning av fläkteffekten uppmätts. Den ökade fläkteffekten bedöms därför rimligen bero av att fläktarna går upp och ner i varvtal vilket även kan bidra till att komponenter slits ut snabbare.



Figur 14 Jämförelse av tilluftsflöden för stabilt respektive instabilt tillstånd den 25/2 och 26/2

I figur 19 visas skillnaden i tilluftsflöde under samma tidsperiod som den redovisade effekten i figur 20. Testförsöken visar att tilluftsflödet under instabil reglering pendlar kraftigt till skillnad från tilluftsflödet under stabil reglering. Däremot skiljer sig inte det genomsnittliga tilluftsflödet nämnvärt för de olika reglerinställningarna. Mätdata

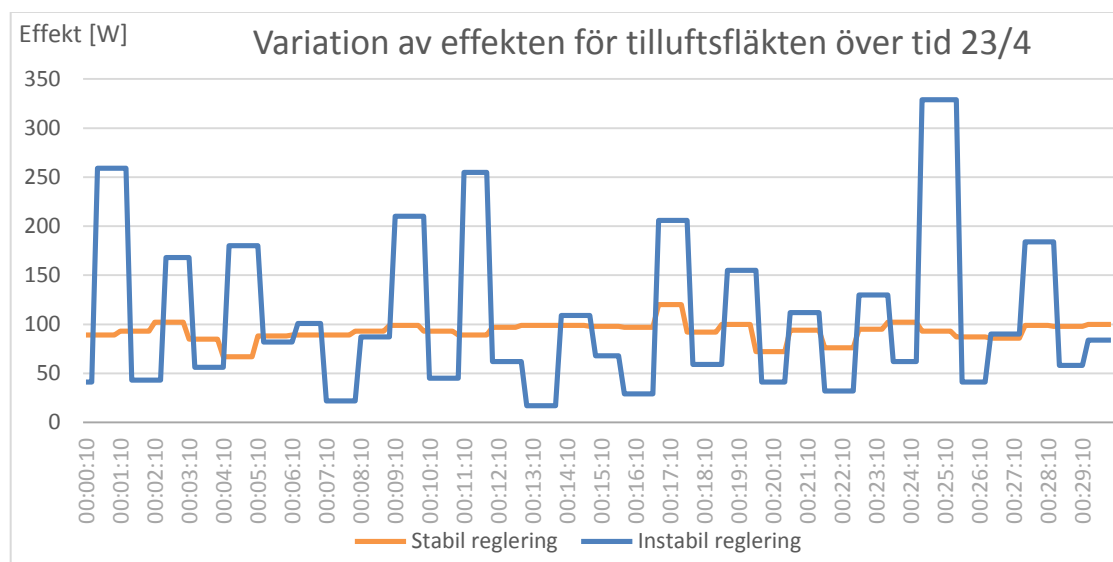
från de andra testförsöken uppvisar samma karakteristik gällande tilluftsflödet vid stabil och instabil reglering som redovisas i figur 19.



Figur 20 Jämförelse av fläkteffekt för stabilt respektive instabilt tillstånd den 27/2.

Ovan redovisas testförsöket 2013-02-27 avseende tryckstyrd reglering. Kurvan för stabil reglering är för tidsperioden 13:55-14:25 och kurvan för instabil reglering avser försökstiden 14:25-14:55. Under båda tidpunkterna har två personer befunnits i vistelsezonen.

I likhet med föregående försök som representeras i figur 20 pendlar tilluftsfläktens effekt mycket under det instabila tillståndet medan effekten under det stabila tillståndet är i stort sett konstant. I genomsnitt är tilluftsfläktens energianvändning 31 % högre under perioden då systemet är instabilt och har mycket högre effekttoppar.

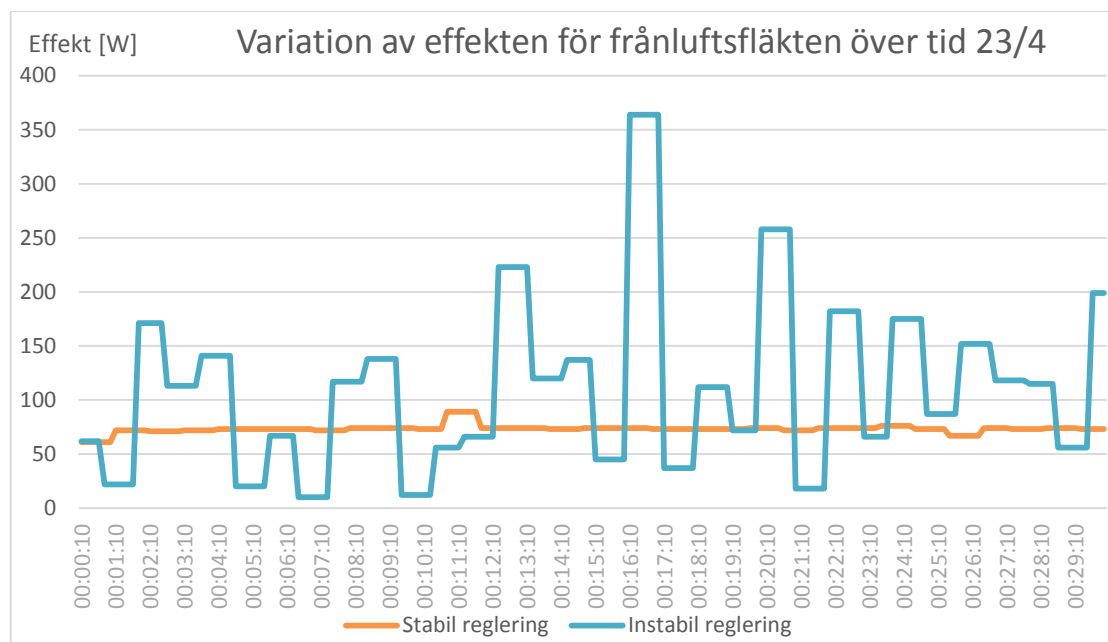


Figur 15 Jämförelse av fläkteffekt för stabilt respektive instabilt tillstånd den 23/4.

Som i föregående testförsök visar även försöken genomförda 2013-04-23 där systemet var stabilt 13:55-14:25 och instabilt 14:55-15:25 på tryckstyrd reglering en stor skillnad mellan de olika tilluftstillstånden. Eftersom samtliga mätdata från testförsöken

som gjorts visar på en entydig trend avseende fläkteffekten för tilluftsfläkten kan slutsats dras att reglerinstabiliteten ger en ökning i energianvändning.

En annan intressant iakttagelse som gjorts under testförsöken är att även fläkteffekten för frånluftsfläkten påverkats av det instabila tilluftsflödet. I figur 22 redovisas hur effekten för frånluftsfläkten varierat med tiden under samma tidsintervall som redovisas i figur 21.



Figur 16 Jämförelse av fläkteffekt för stabilt respektive instabilt tillstånd den 23/4.

Effektdiagrammet för frånluftsfläkten uppvisar samma karakteristik som tilluftsfläkten. I tabell 14 presenteras båda fläktarnas medeleffekt för testförsöket 2013-04-23 samt den procentuella ökningen i fläkteffekt.

Tabell 14 Jämförelse av medeleffekten för fläktarna under testförsök 2013-04-23.

	Stabil reglering	Instabil reglering	Procentuell ökning
Fläkteffekt tilluftsfläkt	92,7 W	108 W	16,5 %
Fläkteffekt frånluftsfläkt	73,780 W	101 W	37%
Totala fläkteffekten	166,48 W	209 W	25 %

Även frånsatt det högre medelvärde finns det flera andra negativ effekter som påverkar kostnaderna under perioden då systemet är instabilt. Det är främst de höga effekttopparna där den största är cirka 450 % högre än den högsta toppen under perioden då systemet är stabilt. Eftersom energikostnaderna ibland även inkluderar en effekttaxa skulle dessa effekttoppar kunna ge en viss kostnadsökning för elen.

6.2.2 Testförsök 2 – Instabil reglering av luftvärmare

För att göra en rättvis bedömning av testförsöken på temperaturstyrd reglering mellan det stabila tillståndet och det instabila är nedan presenterad mätdata tagen från

testförsöket 23/4 från klockan 11:41 till 13:12. Under det tidsintervallet var luftkylaren på hela tiden vilket ger en konstant temperatur på luften in i värmebatteriet på cirka 13°C. Även börvärdet på 18°C gäller för hela försöksperioden.

För att få ut effekten för luftvärmaren används följande ekvation:

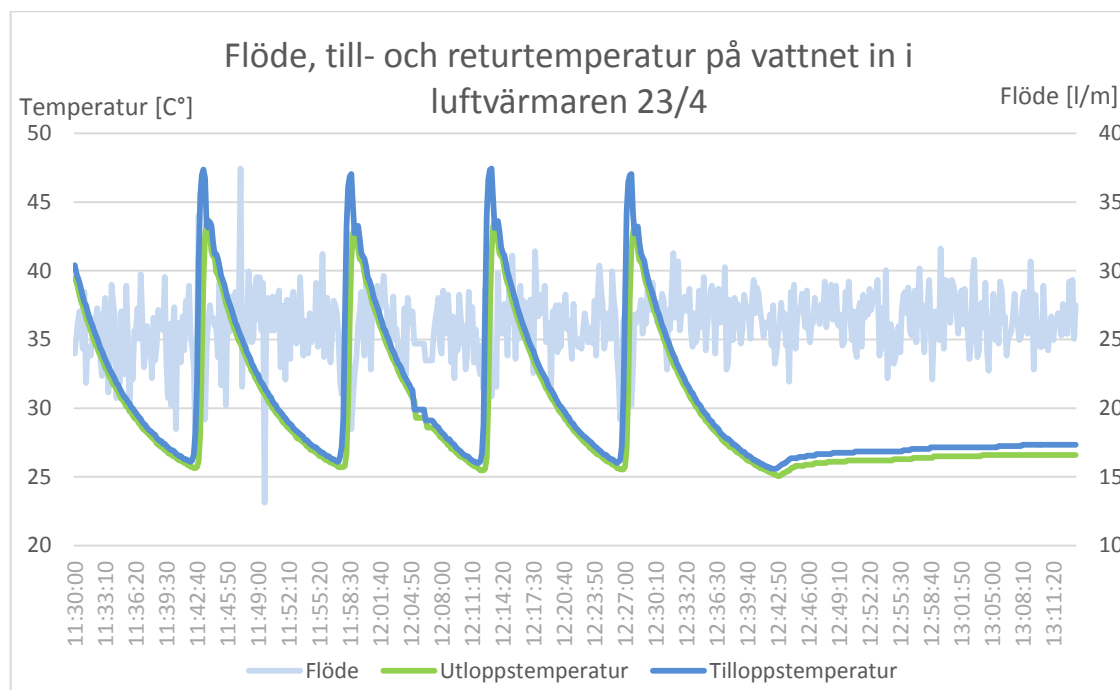
$$\Delta T * \dot{V} * \rho * c_p = \dot{Q} \quad (5)$$

Där $\dot{V}$ är luftflödet, ΔT är temperaturdifferensen, $\dot{Q}$ är effekten samt c_p och ρ är konstanter.

Med hjälp av ekvationen ovan kan ett medelvärde av effekten för luftvärmaren utifrån medelvärdet på skillnaden i in- och returtemperatur till luftvärmaren samt ett medelvärde för flödet på vattnet tas fram. Resultatet visade på stor skillnad mellan när systemet var stabilt och instabilt. Medeleffekten under den instabila perioden uppgick till dubbelt så hög jämfört med den stabila perioden. Se tabell 15 som presenterar medeleffekterna för luftvärmaren under tidsintervallet.

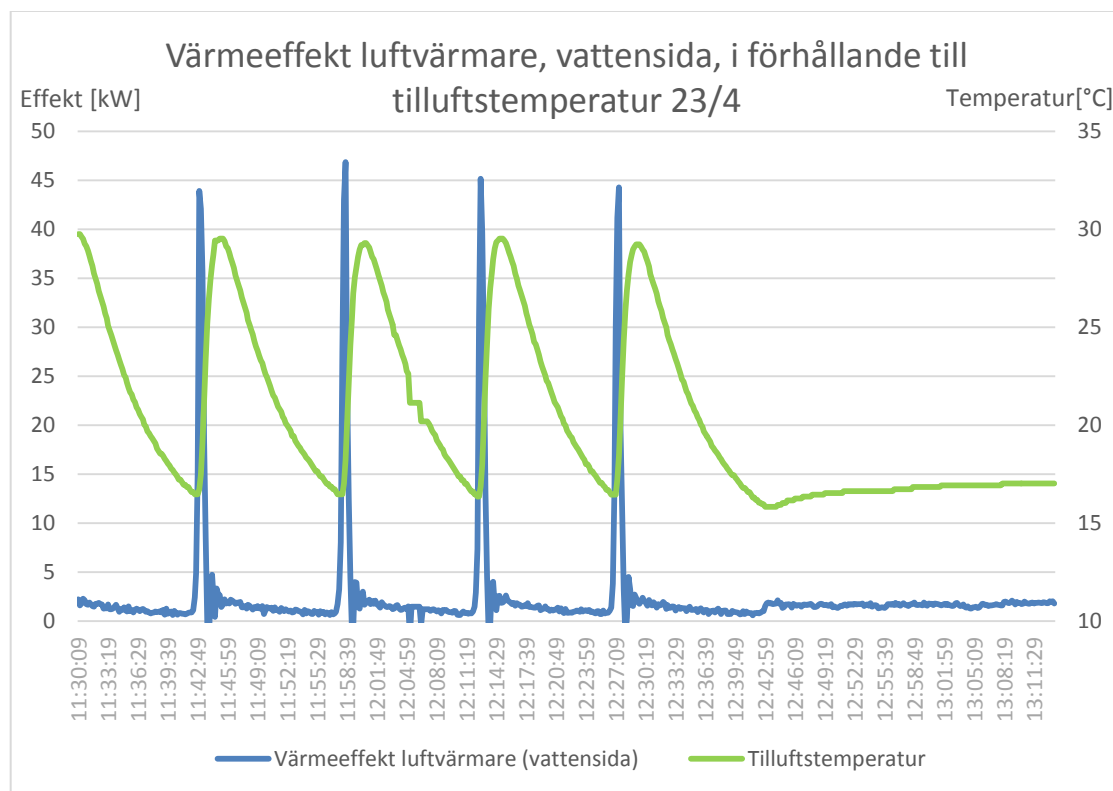
Tabell 145 Luftvärmarens effektförbrukning mellan 11:32-13:12 den 23/4.

Medeleffekt stabilt system	1,53 kW
Medeleffekt instabilt system	2,01 kW
Procentuell ökning	101 %



Figur 17 Visar hur flöde, till- samt returtemperatur varierar med tiden till luftvärmare under testförsöket 23/4 mellan 11:30-13:20.

Som figur 23 visar varierar inloppstemperaturen till luftvärmaren mycket under den instabila perioden. Observeras kan att den för ovan visat testförsök nästan bara överskrider inloppstemperaturen för det stabila intervallet. Av det resultatet finns det anledning att tro att reglerinstabilitet för luftvärmare ger upphov till onödigt höga tillloppstemperaturer och därmed även onödigt hög energianvändning.



Figur 18 Effekt för luftvärmare (vattensida) samt tilluftstemperaturen den 23/4 mellan 11:30–13:20.

I figur 24 redovisas effektförändringar under försökstiden där systemet är instabilt mellan klockan 11:30–12:30 och stabilt mellan 12:30–13:12. I diagrammet kan en markant visuell skillnad påvisas. Det som skiljer sig mest för det instabila tillståndet jämfört med det stabila tillståndet är de stora effekttopparna.

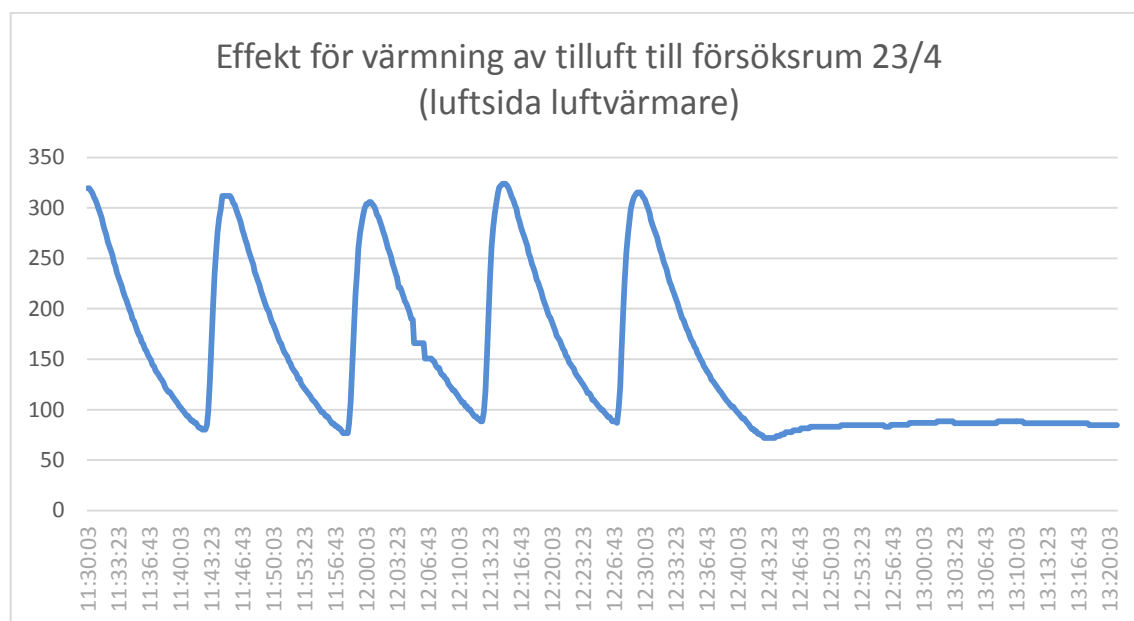
Som figuren visar finns ett tydligt mönster mellan hur tilluftstemperaturen varierar och hur effekten för luftvärmaren beter sig. När tilluftstemperaturen underskrider önskat börvärde skickas styrsignal till styrventilen som öppnas. Till följd av att inloppstemperaturen höjs markant medan returtemperaturen fortfarande är relativt låg, eftersom det är viss fördröjning i systemet, ger det upphov till topparna i effekt.

Effekttopparna under det testförsök som redovisas i figur 24 ovan bidrar till en tydligt högre medeleffekt för luftvärmaren (se tabell 15). Eftersom de andra testförsöken inte avser samma värmebehov för den stabila som den instabila perioden är det svårt att styrka som en generell slutsats. Däremot finns det anledning att tro, utifrån att studera trender på karakteristiken för värmeeffekten för luftvärmaren under instabil jämfört med stabil reglering, att medeleffekten ökar till följd av effekttopparna.

Under förutsättning att fjärrvärme används för uppvärmningen kan effekttopparna ge upphov till högre driftkostnader. Utöver att topparna kan ge upphov till ökat medelvärde för effekten innebär det också att driftkostnaderna blir högre på grund av

att kostnaden för fjärrvärmen i många fall till viss del beror på hur höga returtemperaturer som används.

För att se till den energi som används för att uppfylla värmebehovet för försöksrum har effektbehov för luftsida i luftvärmaren tagits fram för aktuellt tilluftsflöde till försöksrum, se figur 25. Observera att tidigare redovisad effekt för vattensida i luftvärmaren avser ett större luftflöde än diagram nedan som endast visar effektbehovet för försöksrummet. Beroende på om luftflödet hämtas från mätdata för den integrerade mätflänsen i tilluftsdonet eller genom beräkning utifrån styrsignal erhålls olika värden. Differensen är på 2-3 l/s, vilket inte är så mycket med tanke på att noggrannheten för tilluftsdonets integrerade flödesgivare ligger på ± 1 l/s för låga flöden. Ett konstant värde på 15 l/s har används för beräkning av effektbehov, vilket i princip motsvarar ett medelvärde av de två flödena.

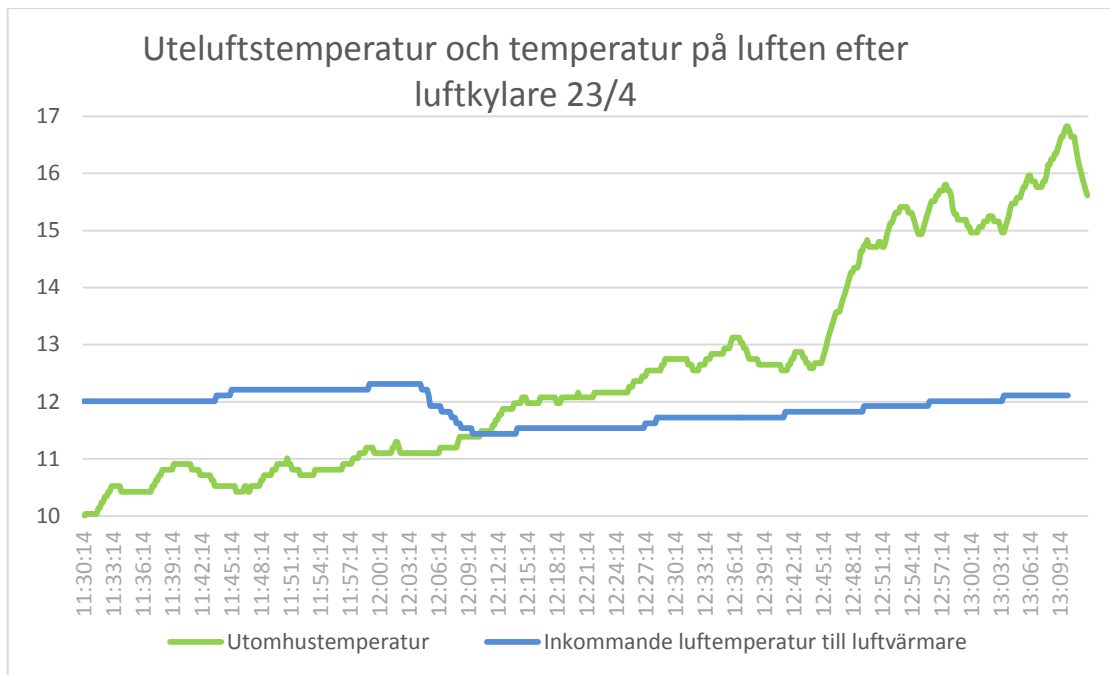


Figur 25 Effekt för luftvärmare (luftsida) under testförsöket 23/4 mellan 11:30-13:20.

Effekten för uppvärmning av tilluften till rummet varierar likt inloppstemperaturen och returtemperaturen till luftvärmaren kraftigt under den instabila tidsperioden. Vad som åskådliggörs tydligt i diagrammet är hur effekten under den instabila perioden nästan bara överskrider effektbehovet för det stabila tillståndet, precis som temperaturerna på vattnet till luftvärmaren. Eftersom energi är en produkt av tiden och effekten varierar den på liknande sätt.

Under den stabila perioden motsvarades värmebehovet av en medeleffekt på 100 W medan under den instabila perioden uppgick medeleffekten till 188 W. Det ger en procentuell ökning på 47 % i energianvändning vilket är anmärkningsvärt då ingen skillnad uppmärksammades på den termiska komforten i rummet.

I figur 26 redovisas utomhustemperaturen och temperaturen på luften in i luftvärmaren för testförsöket 23/4 som redovisats i figur 25.



Figur 19 Utomhustemperaturen samt inkommande temperatur till luftvärmaren 23/4 mellan 11:30 – 13:20.

6.3 Utvärdering testförsök

Nedan analyseras testförsöken för tryckstyrd och temperaturstyrd reglering. Resultatens för de olika testförsöken utvärderas utifrån deras trovärdighet och tillförlitlighet.

6.3.1 Testförsök 1, tryckstyrd reglering

Som tidigare nämnt bedöms resultaten inte kunna ses som en generell slutsats utan att vidare studier görs, men de ger en bra vägvisning på hur energianvändningen och komforten kan påverkas vid instabilitet för tilluftsflödet. För att kunna genomföra en mer djupgående studie på reglerinstabilitetens påverkan hade det krävts mer tid avsatt för studien. Med anledning till detta bedöms ändå antalet testförsök vara av rimlig mängd för den omfattning studien ämnar.

Försökstiden för genomförda försök på tryckstyrd reglering varierar i längd från 40 min och uppåt. För utvärdering av den termiska komforten kan 40 min vara på gränsen till för kort för att hinna bedöma hur den termiska komforten påverkas vid instabilitet. Avsikten var att testförsöken skulle vara längre, men eftersom oförutsägbara störningar inträffat under testförsöken fick de som följd att all mätdata inte kunde användas.

Med anledning till att samtliga testförsök för den tryckstyrda regleringen visade på entydiga resultat både vad det gäller energianvändning och upplevelsen av den termiska komforten värderas resultaten som en god indikation på vilka följder reglerinstabilitet troligtvis ger.

Storleksmässigt är försöksrummet likvärdigt med ett kontorsrum på 10 kvadratmeter. Även inredning, möblemang och sysselsättningsgrad bedöms avspegla ett kontor. Eftersom försökstiden fördrevs genom studerande anses även uppmärksamhetsgraden

för störningar motsvara personer som under arbetstid är sysselsatta genom sitt arbete. Det som skiljer sig mest från testförsöken och ett riktigt kontor är akustiken i rummet. Testförsöken skedde i ett isolerat rum utan störningar i form av ljud från omgivningen. Detta kan tänkas ge upphov till att störningar i form av ljud från ventilationen upplevdes mer negativa än de skulle gjort under mer verkliga förutsättningar.

Med hänsyn till att ingen vetenskap beträffande tidpunkter och grad av systemändringar fanns när observationerna av den termiska komforten noterades kan resultaten anses tillförlitliga ur den aspekten. Dock kan som tidigare nämnt vetenskapen om att systemet skulle vara instabilt omedvetet påverkat uppmärksamheten för störningar.

För att klassificera klimatet i rummet har en PMV-skala använts. PMV-index gäller egentligen bara under stationära förhållanden. Eftersom PMV-indexet bara har använts som ett mått på hur inneklimatet upplevts och inte för att uppskatta antalet missnöjda via ett PPD-diagram bedömdes det ändå okej att använda sig av skalan.

6.3.2 Testförsök 2, temperaturstyrd reglering

För testförsöken avseende temperaturstyrd reglering var det svårare att jämföra energianvändningen för instabil och stabil reglering rakt av. Eftersom värmebehovet varierade med inkommande temperatur till luftvärmaren och förinställt börvärde ansågs bara ett av försökstillfällena jämförbart vid analys. För att styrka resultaten har mätdata från de andra försöken används för att studera mönster och trender för effekten till luftvärmaren för instabilt respektive stabilt.

För analys av den termiska komforten däremot har samtlig mätdata använts eftersom upplevelsen av klimatet inte är beroende av värmebehovet för luftvärmaren. Något som kunde varit intressant att undersöka vad det gäller upplevelsen av den termiska komforten som denna studie inte omfattar är om instabiliteten hos tilluftstemperaturen hade upplevts annorlunda om tidsintervallet mellan svängningarna hade varit längre.

Även för den temperaturstyrda regleringen skedde förändringarna i systemet utan vetenskap, vilket ökar tillförlitligheten i bedömningen. För vetenskapen om att systemet skulle variera i tillstånd samt hur verklighetstroga försöken kan anses gäller samma resonemang som vid tryckstyrd reglering.

I likhet med vad föregående kapitel beskriver har även försöken med temperaturstyrd reglering dokumenteras utifrån PMV-index. Även här bedöms skalan kunna användas då den bara utnyttjar det som en skala på hur klimatet upplevts under försöken.

7 Verklighetskoppling

Nedan presenteras en sammanställning av intervjuerna med yrkesaktiva inom området VVS. Kapitlet baseras på tre muntliga intervjuer med VVS-konsulter samt två muntliga intervjuer med fastighetsförvaltare.

Syftet med intervjuerna är att undersöka huruvida verksamma personer har kunskaper om reglering samt hur de upplever reglerinstabilitet och under vilka omständigheter det påträffats. Vidare redogörs för hur dessa företag arbetar för att motverka uppkomsten av reglerinstabilitet och vad det uppskattas få för följder.

7.1 Kunskaper om reglerteknik

Under genomförda intervjuer framkom det att kunskaperna inom reglerteknik, och dess påverkan, är ganska dåliga men har ökat sedan energimålen blivit hårdare. Överlag anses projektörerna ha bättre koll än fastighetsförvaltarna men kunskaperna uppskattas även hos projektörerna i viss mån bristfälliga.

I de flesta fallen är projektören medveten om vad instabilitet innebär och vilken innebörd det kan ha. Kunskaperna inom reglerteknik blir bättre, mycket på grund av hårdare krav. Flera av de tillfrågade VVS-konsulterna säger att de har specialister inom reglerteknik på avdelningen att fråga när deras egen kunskap inte räcker. Bästa förutsättning för en lyckad projektering av byggnadens installationer anses vara då rör och ventilation projekteras på samma plats.

Det framkom även från intervjuerna att det finns alternativ som förenklar projekteringen av byggnadens VVS-installationer med hänsyn till reglering utan att avancerade kunskaper krävs. Genom att använda prefabricerade system slipper projektören ta hänsyn till hur systemet ska regleras för att bli stabilt. De prefabricerade systemen anses fungera bra ur reglersynpunkt under förutsättning att produktleverantörens anvisningar gällande regulatorparametrar används.

Den allmänna uppfattningen från de intervjuade är att förvaltares kunskaper om reglerteknik är bristfälliga. Många känner till vad reglering innebär men inte dess fulla innebörd eller eventuella konsekvenser av instabil reglering. Nästan alla uppdrag angående reglering sker genom antingen externa konsulter eller via anställda hos förvaltarföretaget som har styr och reglerteknik som spetskunskap.

Ventilation är en väldigt liten del av en förvaltares yrke vilket är en följd av vilka uppdrag de får till sig². Många gånger handlar det om kostnader och efterfrågan från fastighetsägaren. Eftersom efterfrågan om förbättringar av VVS-systemen är låg innebär det att förvaltarens erfarenheter och kunskap om ventilation i många fall är åsidosatt. Kunskaperna hos förvaltare blir gradvis bättre då fler kunder börjar ställa energikrav och miljökrav på byggnader som kräver åtgärder enligt uppgifter ifrån de fastighetsförvaltare som intervjuats.

7.2 Upptäcka reglerinstabilitet

De tillfrågades svar angående hur vanligt förekommande reglerinstabilitet anses vara i fastigheter varierade men majoriteten av de tillfrågade anser att det är ganska vanligt.

² Christer Rödström (förvaltare, ISS) intervjuad den 2013-04-15

Troligtvis vanligare än vad folk tror då kunskaperna för att lokalisera ett regleringsproblem ofta saknas³.

Baserat på intervjuerna påträffades reglerinstabilitet vanligtvis genom två omständigheter. Det första är genom klagomål på termiska komforten från personerna i vistelsezonen. Klagomålen kan i många fall bero av andra faktorer än reglerfel, till exempel dåliga kastlängder som skapar drag. Ett vanligt förekommande reglerproblem är enligt Tobias Almström att värmesystemet inte hänger med vilket skapar obalans i radiatorerna. I de nämnda fallen är instabilitet förhållandevis enkelt att upptäcka. Det andra vanliga sättet att upptäcka instabilitet är genom energianvändningen. En energianalys på byggnaden visar energianvändningen och i mer avancerade analyser även fördelningen mellan olika aktivitetsområden. Informationsgraden av granskningen beror på hur ingående information beställaren vill ha och hur mycket beställaren vill betala för analysen.

Det finns idag flera lösningar för att förenkla genomförande och jämförelser av energianvändningen för en byggnad. Enligt Lennart Ryberg finns det datorprogram som hämtar information från energigivare installerade i byggnaden och analyserar den uppmätta energin. Jämförelse av data sker automatiskt med jämna intervall mot en databas med riktvärden samt föregående periods energianvändning. Skulle en avvikelse visa sig i jämförelsen skickas automatiskt en varning till ansvarig förvaltare. Med den typen av granskning minskas kunskapen och tiden som behövs för att granska energin och instabilitet kan upptäckas automatiskt. Även om det blir vanligare är det fortfarande få företag som använder sig av energiprogram och de företag som använder programmen har nyligen börjat med det och har inte mycket erfarenhet om hur väl det fungerar än.

Enligt Lennart Ryberg är alternativet till datorprogram att se över varje byggnads energianvändning manuellt. Det innebär att de uppmätta energivärdena jämförs mot riktvärden för att söka efter eventuella avvikelser. Kunskap men framförallt tid för att göra detta saknas hos de flesta förvaltare.

7.3 Förebygga och korrigera reglerinstabilitet

Under projekteringen svarade de tillfrågade att hänsyn tas till reglering och lösningar som möjliggör fördelaktiga förutsättningar för en effektiv reglering. Det är ofta ganska okomplicerade lösningar som till exempel att placera shuntgruppen i direkt anslutning till aggregatet. Enligt Jan-Olof Johansson på Bengt Dahlgren brukar en bra tumregel för att förenkla regleringen av VVS-systemet vara att inte projektera systemen mer komplicerat än vad som krävs för dess önskade funktion.

Annat som framkommit under intervjuerna är att regleringen ibland blir undermålig till följd av att ritningen ändras under granskningen när samordnaren ser över och söker efter eventuella felaktigheter. Vid upptäckta fel eftersträvas oftast den enklaste lösningen vilket kan innebära försämrade förutsättningar för regleringen. Ett exempel, hämtat från ett verkligt projekt, är då en shuntgrupp inte har någon golvbrunn och samordnaren väljer att flytta shuntgruppen till motsatt sida av rummet från aggregatet på grund av att en golvbrunn är inritad där⁴. Det blir en snabb lösning på problemet men innebär en försämrad reglering.

³ Lennart Ryberg (förvaltare, Bräcke Diakoni) intervjuad den 2013-04-03

⁴ Tobias Almström (VVS/energiingnjör, WSP) intervjuad 2013-05-16

Enligt Peter Johansson är instabilitet sällsynt i nya byggnader då mer fokus läggs på reglering. För att säkerställa att systemet är stabilt utför COWI alltid en kontroll vid slutbesiktning på ventilationssystemet där styrsignalen granskas både i normalt tillstånd och hur den återhämtar sig efter en störning⁵.

En åtgärd förvaltare ibland använder då de misstänker instabilitet på ett system är att placera ut temperaturgivare på olika platser i lokalen och observera temperaturen under en tid enligt Lennart Ryberg. Problemet med det är att temperaturdifferensen är väldigt långsam och förändras inte mycket över tiden, vilket kan få till följd att eventuell reglerinstabilitet inte upptäcks. Om fel åtgärder används för att granska systemet kan konsekvensen bli att problemet avfärdas och systemet antas vara stabilt.

Det vanligaste sättet att se över klimatet och systemet är att granska luftflödet genom en så kallad OVK-besiktning. Detta är den enda obligatoriska mätningen som måste utföras på byggnadens ventilationssystem och för många byggnader är det den enda mätningen som utförs. Det som mäts är medelluftflödet i frånluften och det granskas så det inte är för lågt⁶. Om medelflödet är högre än minsta tillåtna värde anses justeringar eller vidare granskning oftast irrelevant.

Enligt de förvaltare som intervjuats är det mätningar på temperatur eller mätningar på luftflöde via en OVK (obligatorisk ventilations kontroll) besiktning som är de vanligaste sätten att granska hur välfungerande systemet är. Inga av dessa granskningar är särskilt pålitliga för att upptäcka om systemet är stabilt eller inte. Hade istället exempelvis ett diagram över luftflödet eller energianvändningen över en period granskats hade problemet varit enklare att observera. Det är endast i undantagsfall då en förvaltare är energiintresserad eller när energianalys efterfrågas specifikt som energin i byggnaderna ses över och åtgärder utförs.

Även om ett system upptäcks vara instabilt är det inte alltid några åtgärder görs då det ofta är lång pay off tid det vill säga investering delat med årlig besparing. Många fastighetsbolag har kortsiktig framförhållning och är inte villiga att spendera pengar på omfattande renoveringar av ventilation⁶.

7.4 Uppföljning

Ett problem som flera av projektörerna upplever är att det sällan sker någon uppföljning av utförda projekt. Den enda gången som ett projekt följs upp eller en projektör får höra hur väl ett projekt har genomförts är om klagomål inkommer. Det skapar ett problem inför framtiden då det är ovisst om föregående projekterade lösningar var bra eller mindre bra. Det är ännu mer ofördelaktigt sett ur reglerings synpunkt där kunskaperna ofta är sämre vilket innebär att då en bra lösning med effektiv reglering projekterats borde den verkligen dokumenteras noggrant för att kunna användas i framtida projekt.

Ett annat problem som framkommit under intervjuer med samtliga projektörer är att komponenter ibland ändras då entreprenören tar över. Då en ventilationsprojektör i många fall eftersträvar ett energieffektivt system innebär det för det mesta att det blir mer kostsamma materialval. Entreprenören har ofta en annan prioritering vilket är att färdigställa byggnationen så snabbt och billigt som möjligt, vilket innebär att de kan

⁵ Peter Johansson (teamledare/besiktningsman VVS, COWI) intervjuad den 2013-04-15

⁶ Christer Rödström (förvaltare, ISS) intervjuad den 2013-04-15

tjäna pengar på ett billigare materialval samtidigt som beställaren ofta kan övertalas genom att se en kortsiktig vinst. När det händer är det sällan det nya materialet håller samma klass som det ursprungliga vilket leder till att den färdiga byggnaden inte har samma kvalitéer som den projekterade byggnaden. Utbyte av komponenter under produktionsstadiet har blivit mer sällsynt sedan nya bestämmelser införts för att motverka ovanstående problem. De nya bestämmelserna innebär att beställaren får två års garanti på produkt och utfört arbete för den produkt som valts av projektören, men väljer entreprenören att byta ut produkten måste de förlänga garantitiden till fem år. Med ett tvång på tre års extra garantitid väljer entreprenören mer sällan att byta ut projekterade komponenter. Vid eventuella byten av komponenter kan det bli särskilt kostsamt då samtliga tillfrågade var ense med uppfattningen att om ett system är instabilt kommer komponenter slitas ur snabbare. Vilket i tidigare nämnda exempel kan ske snabbare ifall komponenter av sämre kvalitet används.

7.5 Energi

Majoriteten av de tillfrågade är ense om åsikten att när energi beaktas i projektering eller renovering av byggnader är det nästan uteslutande den ekonomiska aspekten som är avgörande. Även om livscykelanalyser har blivit vanligare som underlag tas inte mycket hänsyn till analyserna i val av material eller utformning utan det baseras oftast på det mest ekonomiskt lönsamma alternativet.

Prioritering på energi varierar beroende på hur en fastighet ägs och förvaltas. Om byggnaden förvaltas av ett kommunalt företag eller av ett privat företag som äger fastigheten satsas ofta mer på energieffektivisering då de ser mer långsiktigt och vet att pengarna kommer återbetalas med tiden⁷. Många av de fastighetsägare som anlitar externa förvaltare har inga långsiktiga planer för ägandet av fastigheterna. Som följd av det är intresset för långsiktiga förbättringsåtgärder, som energibesparingar, av låg prioritet eftersom det inte är säkert att de kommer hinna återbetalas. Analyser såsom energideklarationer utförs oftast bara då fastighetsägaren efterfrågar det. Även detta styrs till stor del beroende av utgifter och huruvida avsikten för ägandet av fastigheten är långsiktigt eller inte. Trots att värden på energianvändningen finns att tillgå är det sällan värdena jämförs och analyseras.

⁷ Christer Rödström (förvaltare, ISS) intervjuad den 2013-04-15

8 Diskussion och slutsatser

I detta avsnitt presenteras en sammanställning av resultatet och slutsatser från testförsöken och intervjuer som studien är baserade på. Vidare diskuteras eventuella följder reglerinstabilitet kan få. Testförsöken utvärderas med hänsyn till vad som gått bra samt mindre bra och resultatens tillförlitlighet diskuteras. Rekommendationer om vidare studier inför framtiden presenteras också.

8.1 Påverkan av reglerinstabilitet

I följande avsnitt sammanställs och diskuteras de resultat som presenterats i rapporten avseende vilka följder reglerinstabilitet kan få. Avsnittet baseras på tidigare presenterad fakta, resultaten från utförda testförsök samt sammanställningen från de intervjuer som gjorts.

8.1.1 Termisk komfort

Under testförsöken avseende tryckstyrd reglering kan slutsatsen dras att det instabila tilluftsflödets fysiska påverkan knappt var märkbar. Det som upplevdes mest störande under testförsöken var ljud från ventilationssystemet. Eftersom testförsöken skedde i ett rum utan ljud eller störningar från omgivningen är det troligt att ljudupplevelsen hade uppfattats mindre störande i exempelvis en kontorsmiljö.

För testförsöken på temperaturstyrd reglering kan ingen av observationerna som gjorts styrkas utifrån hur temperaturerna i rummet och tilluften varierat med tiden. Anmärkningarna på den termiska komforten bedöms följaktligen bero av andra orsaker.

Sammanfattningsvis tyder resultaten från genomförda testförsök på att instabil reglerings fysiska påverkan är liten till nästintill obefintlig. Viktigt att poängtera är, som tidigare nämnt, att resultatet från testförsöken inte kan anses som tillräckligt underlag för att dra generella slutsatser. Resultaten bedöms däremot vara en god indikation till hur reglerinstabilitet kan påverka upplevelsen av den termiska komforten.

Baserat på vad som framgått under intervjuerna, och med hänsyn till hur liten fysisk påverkan reglerinstabilitet visade under de testförsök som gjordes, finns det anledning att tro att regleringen av ventilationssystem i många befintliga byggnader inte sker problemfritt.

Vidare svarade flerparten av de intervjuade att de flesta gånger reglerfel uppmärksammas på befintliga byggnader är när klagomål inkommit på inomhusklimatet från de som vistas i byggnaden regelbundet. Med tanke på testförsöken, då ingen anmärkning gjordes trots en temperaturdifferens på över 12°C på tilluften, är det rimligt att anta att många reglerfel inte uppmärksammas i verkligheten.

Under intervjuer med såväl fastighetsförvaltare som VVS-ingenjörer framgick att det sällan utförs kontroller av befintliga byggnaders ventilationssystem med hänsyn till regleringen. Det framgick vidare under intervjuerna att fastighetsförvaltares kunskap inom reglerteknik överlag bedöms som låg om inte förvaltaren själv har ett egenintresse. Enligt förvaltarna är det sällan förbättringar av byggnaders ventilationssystem ses över såvida det inte är av akut problem, exempelvis vid anmärkningar på OVK-besiktningen.

Enligt Christer Rödström kontrolleras luftflödet vid en OVK-besiktning nästan uteslutande genom mätningar på frånluften. För tryckstyrd reglering av fläktarna kan styrningen av till- respektive frånluftsfläkt ske separerat. Det vill säga för styrning av frånluftsflöde hämtas systemets utsignal från tryckgivare placerad på frånluftskanalen medan för tilluftsflödet är givaren placerad på tilluftskanalen. För tryckstyrd reglering behöver alltså inte ett instabilt tilluftsflöde påverka flödet på frånluften enligt Mattias Gruber. Under förutsättning att frånluftsflödet är konstant trots instabilt tilluftsflöde och att flödesmätningarna görs på frånluften är sannolikheten stor att eventuella reglerfel inte skulle uppmärksammas under en OVK-besiktning. Detta beror naturligtvis av hur systemet regleras.

Peter Johansson uppskattar att tryck, flöde och temperaturregleringen av ventilationssystem i befintliga fastigheter alltför ofta inte sker optimalt med hänsyn till dess syfte. Flera inom området kunniga personer som tillfrågats har uttryckt att reglerinstabilitet antagligen är ett vanligare problem än vad folk tror. Utifrån ovanstående resonemang finns det även anledning att tro att reglerinstabilitet kan vara svårt att upptäcka i de fall där det förekommer.

8.1.2 Energi

Resultaten från genomförda testförsök visar en entydig ökning i effekt för både luftvärmaren och fläktarna under instabil reglering. Av detta finns det stor anledning att tro att reglerinstabilitet bidrar till en ökad energianvändning. Resultaten från testförsöken tyder på en ökad energianvändning under instabil reglering trots att liten till ingen fysisk påverkan av komforten kunnat uppmärksammas.

En annan intressant slutsats som kan göras utifrån testförsöken är att fläkteffekten under instabilt tillstånd ökade markant för samtliga försök trots att medelflödet inte skiljde sig nämnvärt mellan instabilt tillstånd och stabilt tillstånd. Vid ett av testförsöken var medelflödet lägre under den instabila regleringen och gav ändå en högre fläkteffekt. Förhållandet mellan effekt och flöde där effekten är en produkt av flödet i kubik bedöms kunna vara en bidragande faktor till den ökade medeleffekten för tilluftsfläkten trots ett lägre medelflöde. En annan faktor som resultatet kan bero av är verkningsgraden för fläkten. Verkningsgraden hos fläktar beror på aktuellt varvtal. Alltså är verkningsgraden som bäst hos fläkten för ett specifikt varvtal, som beror av fläktens karakteristik, och för högre och/eller lägre varvtal än detta minskar verkningsgraden.

I en genomsnittlig kontorsbyggnad är energianvändningen från endast fläktarna 17,9 kWh per kvadratmeter och år vilket utgör hela 17 % av den totala energianvändningen för byggnaden. Tidigare presenterat testresultat på totala energianvändningen från testförsöket 2013-04-23 visade på en ökning av fläktarnas medel effektförbrukning på 25 %.

Antas medelvärdena på energianvändningen för fläktarna avse fall med stabil reglering och att systemet har samma karakteristik som systemet för testförsöken, skulle reglerinstabilitet medföra en ökning av energianvändningen från 17,9 kWh till 22,4 kWh per kvadratmeter och år. Det skulle för en lokal på 1500 kvadratmeter och elpris på 1 kr per kWh medföra en ökning av driftkostnaden under ett år på 6750 kr. Skillnaden kan anses som en relativ liten kostnad men med tanke på att det bara beror på reglerinstabilitet hos fläktarna är det en onödig merkostnad. Med kvalificerade uppskattningar på framöver höjda elpriser kan denna marginella skillnad utgöra en allt större betydelse för framtiden.

Att som ovan utgå från att karakteristiken för systemet under testförsöken är motsvarande systemet för en generell byggnads systemuppbyggnad är inte helt korrekt eftersom varje systems karakteristik är unik. Inte heller kan de procentuella höjningar som presenteras betraktas som statistiskt korrekta riktvärden utan att vidare studier genomförs. Testresultaten varierade i stor skala beroende av graden av instabilitet vad det gäller den procentuella ökningen. Dessutom måste beaktas att fläktarna som användes i testförsöken var överdimensionerade för det ventilationsflöde testförsöken avsåg.

Testförsöken gav däremot ett entydigt resultat vad det gäller att reglerinstabiliteten medförde en ökad effekttågång för fläktarna för samtliga försökstillfällen. Av detta bedöms slutsats kunna dras att instabil reglering av tilluften medför en ökad energianvändning för fläktarna.

Med hänsyn till dagens energisituation där en överhängande majoritet av byggnaderna inte uppnår dagens energikrav och förekommande rekommendationer kan testresultaten om en ökning av energianvändning vid reglerinstabilitet anses intressanta. En differens på några kilowattimmar per kvadratmeter och år på grund av felreglering kan medföra svårigheter att uppfylla BBR:s rekommendationer om 55 kWh per kvadratmeter och år.

Även resultaten som presenteras avseende värmeeffekten för luftvärmaren i de testförsök då temperaturregleringen satts instabil indikerar på en ökad medeleffekt. Mätdata från testförsöken på effekten för luftvärmaren under temperaturstyrd reglering var svåra att jämföra under likvärdiga omständigheter då värmebehovet för tilluften varierade i stor skala under försöken.

En slutsats som kan göras utifrån de diagram som tagits fram över värmeeffekten för luftvärmaren under testförsöken är att den instabila regleringen visar en entydig karakteristik med extrema effekttoppar. Effekttopparna bedöms rimligen bidra till ett ökat medelvärde för effekten under instabil reglering jämfört med stabil. Ett av teststillfällena, då värmebehovet endast varierade någon grad under försökstiden, visade på en ökning av värmeeffekten på vattensidan i luftvärmaren på 100 % under den instabila regleringen. Mätdata från utförda testförsök anses dock inte vara tillräcklig för att kunna fastställa någon exakt storleksordning på ökningen.

Effekttopparna under instabil reglering är en följd av att styrventilens reglering sker för snabbt. Under förutsättning att fjärrvärme används, där ofta en kostnadsökning till följd av ökade returtemperaturer tillämpas, finns det anledning att anta att den instabila regleringen skulle medföra ökade driftkostnader för uppvärmningen.

8.1.3 Övrig påverkan

Övriga intressanta bieffekter som framkommit under studien om reglerinstabilitet är dess inverkan på aggregatets komponenter. De komponenter som tros få störst påverkan av instabilitet är spjäll och styrventiler. Peter Johansson gör en kvalificerad gissning om att komponenternas livslängd skulle kunna så mycket som halveras under extrema förhållanden. För fläktmotorer och liknande bedömer han dock att reglerinstabiliteten inte borde påverka märkbart.

8.2 Rekommendationer

Med utgångspunkt i studierna som genomförts kan följande rekommendationer utformas:

- Mer fokus på utbildningar eller andra metoder som förbättrar kunskapen angående instabil reglering och dess innebörd.
- Nya direktiv med fler och mer noggranna besiktningar då energianalyser är ovanliga och OVK besiktningar har stor chans att missa en möjlig instabilitet under flera förhållanden.
- Hårdare satsning och bidrag för att uppnå BBRs energirekommendationer speciellt för fastigheter utan långsiktigt ägande.
- Mer fokus på miljöaspekter istället för att uteslutande gå efter den ekonomiska faktorn. Som till exempel via jämförelser av LCC-analyser mellan olika ventilationskomponenter. LCC-analyser ingår ofta i leverantörens anbud men beaktas sällan. Eventuell påverkan av omgivningen bör jämföras mer jämbördigt mot installationskostnader samt drift och underhållskostnader.
- Bättre uppföljning och information angående lösningar som visat sig vara effektivt projekterade.
- Mer utnyttjande av energikonsulter eller energisamordnare då flera intervjuade är ense att resultaten för energianvändning i de fallen för det mesta blir bättre.
- Tätare kontakt mellan projektör, entreprenör samt samordnare för att uppnå avsedda kvalitéer som i ursprungsprojekteringen. Vid fel eller komplikationer löses problemet genom samarbete eller åtminstone via avstämning med projektören för att säkerställa projekterade systemvärden.

Dessutom kan följande förslag på vidare studier inom ämnesområdet reglerinstabilitet formuleras:

- En mer omfattande studie på hur reglerinstabilitet påverkar den termiska komforten och energianvändningen bör genomföras för att kunna dra mer generella slutsatser. Bland annat borde studien omfatta fler testförsök med fler personer som observerar den termiska komforten under längre försökstider. Att variera regulatorparametrarna för att kunna analysera om tidsintervallen mellan svängningarna har betydelse för upplevelsen kan också vara av intresse. Eftersom varje system är unikt kan det också vara intressant att studera olika systemuppbyggnader.
- En djupare studie på huruvida reglerinstabilitet är ett vanligt förekommande problem i befintliga byggnader. Förutom fler intervjuer bör studien även omfatta fältprover där ventilationssystem i befintliga byggnader analyseras ur reglersynpunkt.

9 Källförteckning

Arbetsmiljöverket (2012) Att avbryta arbetet. *Arbetsmiljöverket*. http://www.av.se/teman/temperatur_klimat/kyla/avbryta. (2013-02-26)/

Arbetsmiljöverkets författningssamling (2009) Arbetsplatsen utformning. *Arbetsmiljöverket*. http://www.av.se/dokument/afs/afs2009_02.pdf. (2013-02-26)

Beardmore, RB. (2013) Control systems stability. *RoyMech*. <http://www.roytech.co.uk/Related/Control/Stability.html>. (2013-02-20)

Boverket (2011) Boverkets byggregler. *Boverkets författningssamling BBR 18, BFS 2011:6*. <http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2011/BBR-18/bfs-2011-6-bbr-18.pdf>. (2013-02-26)

Boverkets. (2012) Energihushållning. *Regelsamling för byggande, Del 2: Boverkets byggregler*. http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_19/Avsnitt/9-Energihushallning.pdf (2013-02-26)

Boverket (2012) Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler - utgåva 2. *Boverket*. <http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2012/Handbok-for-energi-hushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf>. (2013-02-26)

Ekberg, L. (2006) *R1 Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav*. Kristianstad: Kristianstads boktryckeri AB.

Energimyndigheten (2011) Energianvändning i lokaler (STIL 2). *Energimyndigheterna* <http://energimyndigheten.se/Statistik/Forbatttrad-energistatistik-i-bebyggelsen/Inventering-av-energianvandningen-i-lokaler/>. (2013-02-26)

Energimyndigheten (2007) Förbättrad energistatistik för lokaler – ”Stegvis STIL” Rapport för år 1 Inventeringar av kontor och förvaltningsbyggnader.

Energimyndigheten (2011) Nytt energipaket från EU. *Energimyndigheten* <http://www.energimyndigheten.se/sv/Internationellt/Internationellt-energisamarbete--/Energifragan-inom-EU/forslag-om-energitrygghet-energisolidaritet-och-energieffektivitet/> (2013-02-26)

Energimyndigheterna (2013) Lokaler. *Energimyndigheterna*. <http://energimyndigheten.se/sv/Offentlig-sektor/Energieffektiva-myndigheter/Sa-gar-det-till/3-Genomfora/Lokaler/>. (2013-02-26)

Energimyndigheten, 2008. STIL2. [Internetbild] Tillgänglig på: <http://energimyndigheten.se/sv/Offentlig-sektor/Energieffektiva-myndigheter/Sa-gar-det-till/3-Genomfora/Lokaler/>. (2013-05-26)

Gavhed, DG Holmer, IH (2006) Det termiska klimatet på arbetsplatsen. http://nile.lub.lu.se/arbarch/arb/2006/arb2006_02.pdf. (2013-02-26)

Lennartsson, B. (2008) *Reglerteknikens grunder 4:6*. Malmö: Holmbergs

Passivhuscentrum Västra Götaland (2012) ”Skärp energikraven vid byggande”. Passivhuscentrum. <http://www.passivhuscentrum.se/node/5968> (2013-02-26)

The engineering toolbox. Predicted Mean Vote Index (PMV). [Internetbild] Tillgänglig på:

http://www.engineeringtoolbox.com/predicted-mean-vote-index-PMV-d_1631.html
(2013-05-26)

Tour & Andersson AB och Liber utbildning AB. (1994) *Regler handbok VVS-system*.
Arlöv: Berlings, 1994.

Westerstedt, JW. (2010) *Analys av värmesystem – Effektreducering*.
<http://bada.hb.se/bitstream/2320/6558/1/Westerstedt.pdf>. (2013-02-26)

9.1 Intervjuer

Tobias Almström (VVS/energiingenjör, WSP) intervjuad 2013-05-16

Peter Johansson (teamledare/besiktningsman VVS, COWI) intervjuad den 2013-04-15

Jan-Olof Johansson (VVS projektör, Bengt Dahlgren) intervjuad 2013-05-29

Lennart Ryberg (förvaltare, Bräcke Diakoni) intervjuad den 2013-04-03

Christer Rödström (förvaltare, ISS) intervjuad den 2013-04-15

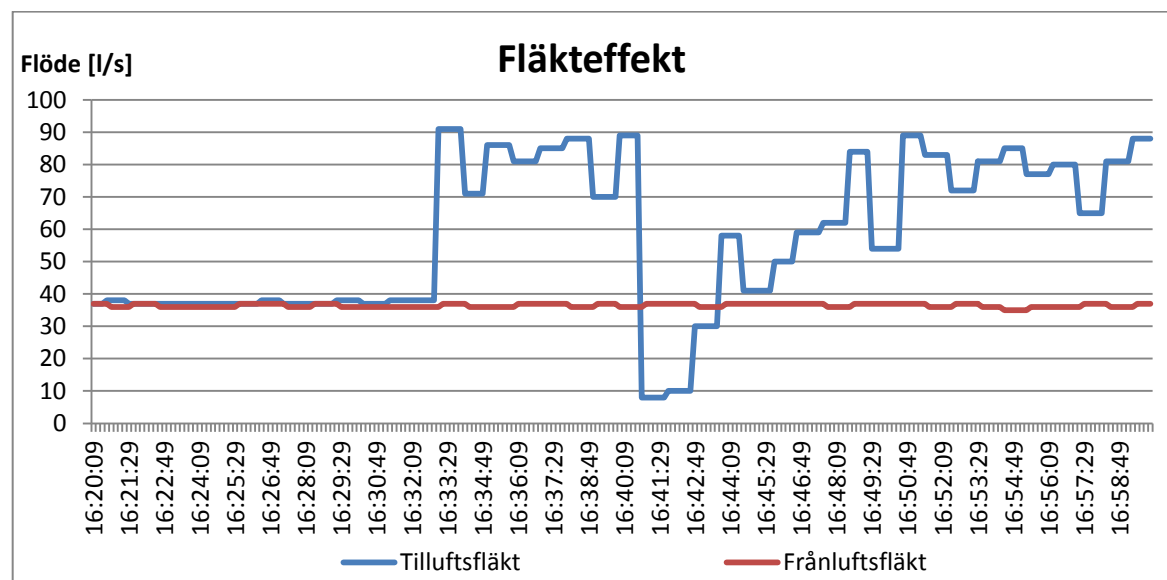
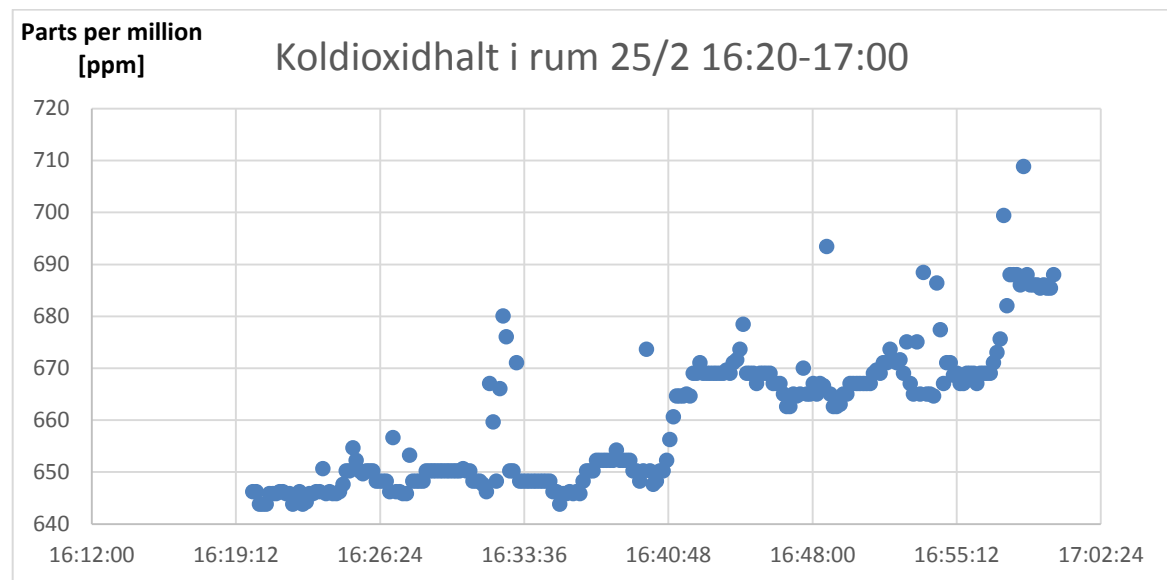
Mattias Gruber (doktorand, Chalmers tekniska högskola)

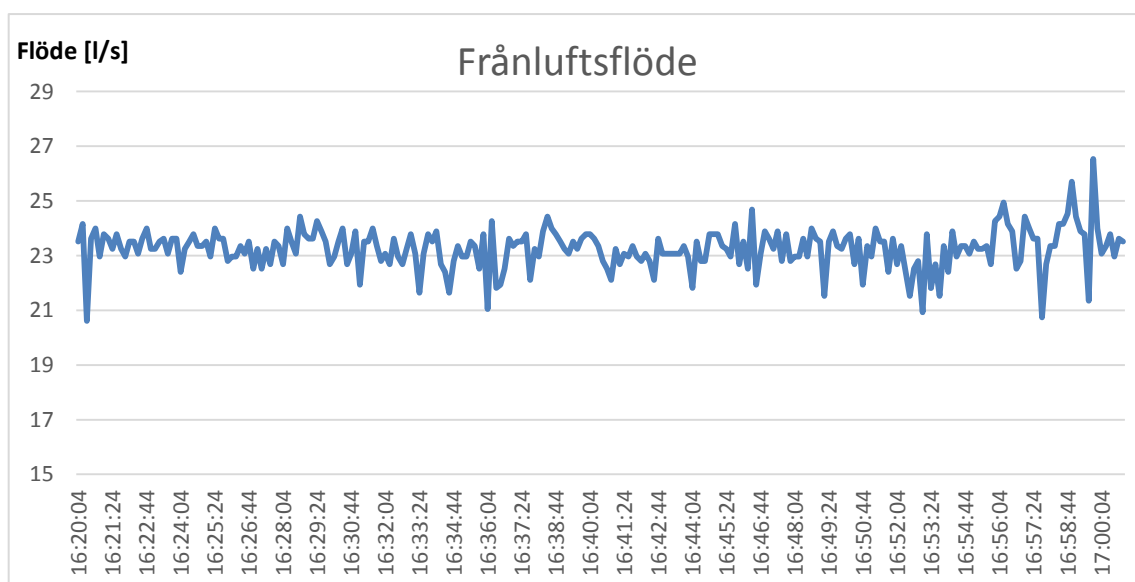
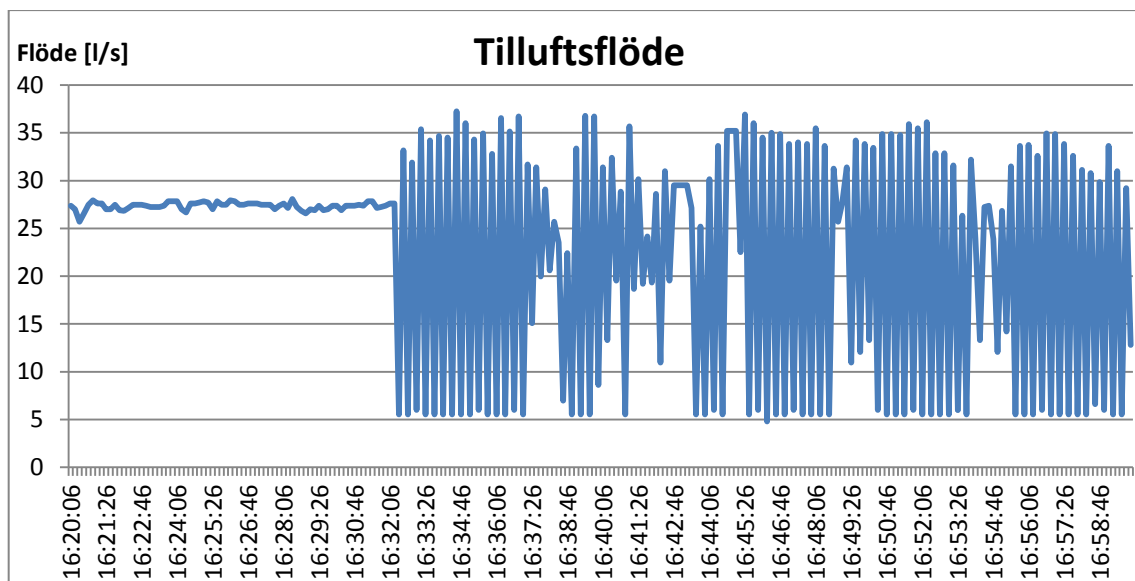
Anders Trüschel (universitetslektor, Chalmers tekniska högskola)

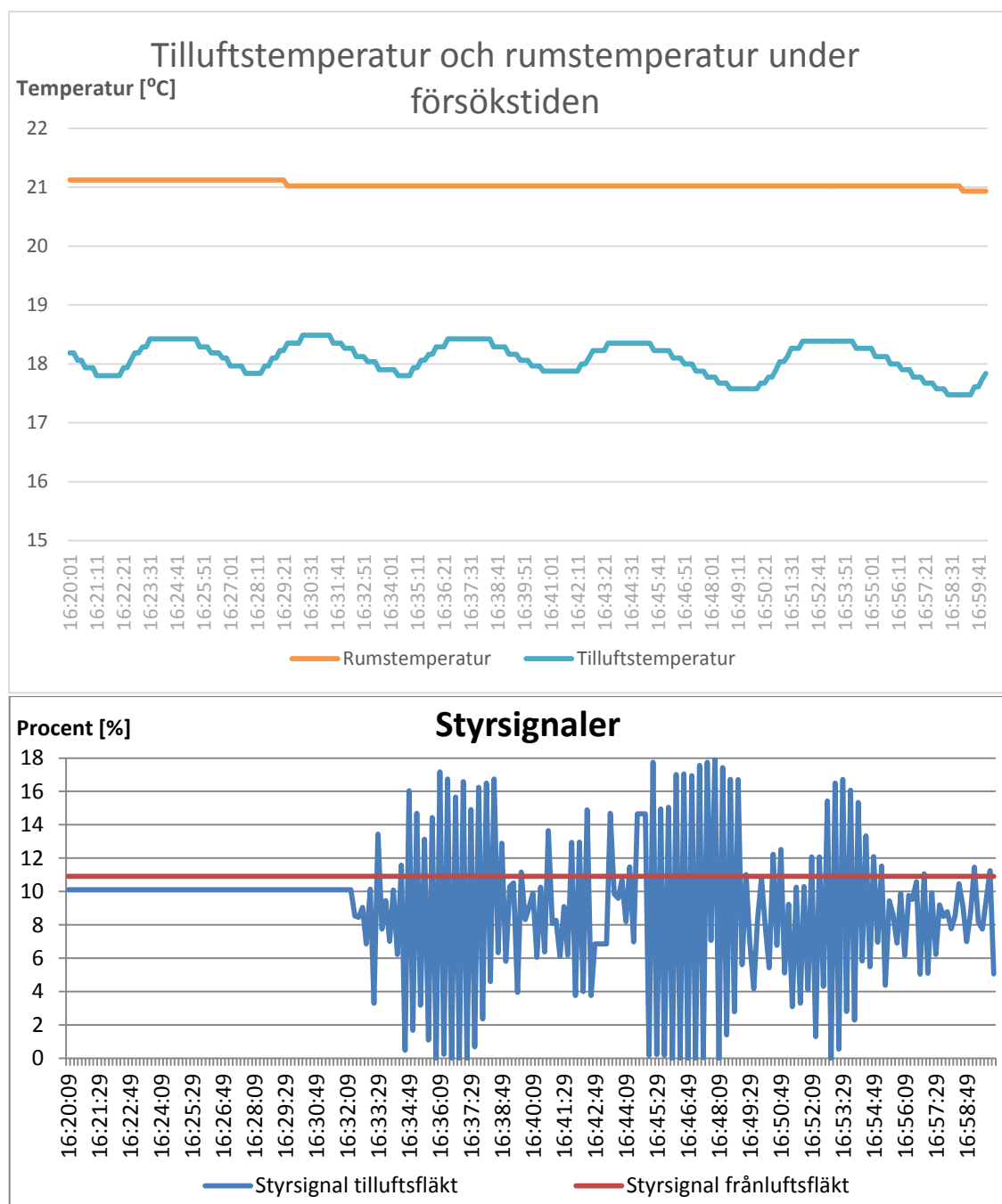
Bilagor

Bilaga 1

Avser försöket på tryckstyrd reglering på tilluftsfläkten som genomfördes 16:20 – 17.00 25/2 under försöken har två personer befunnit sig i försöksrummet. Systemet är instabilt fram till 16:32 och stabilt resterande tiden.

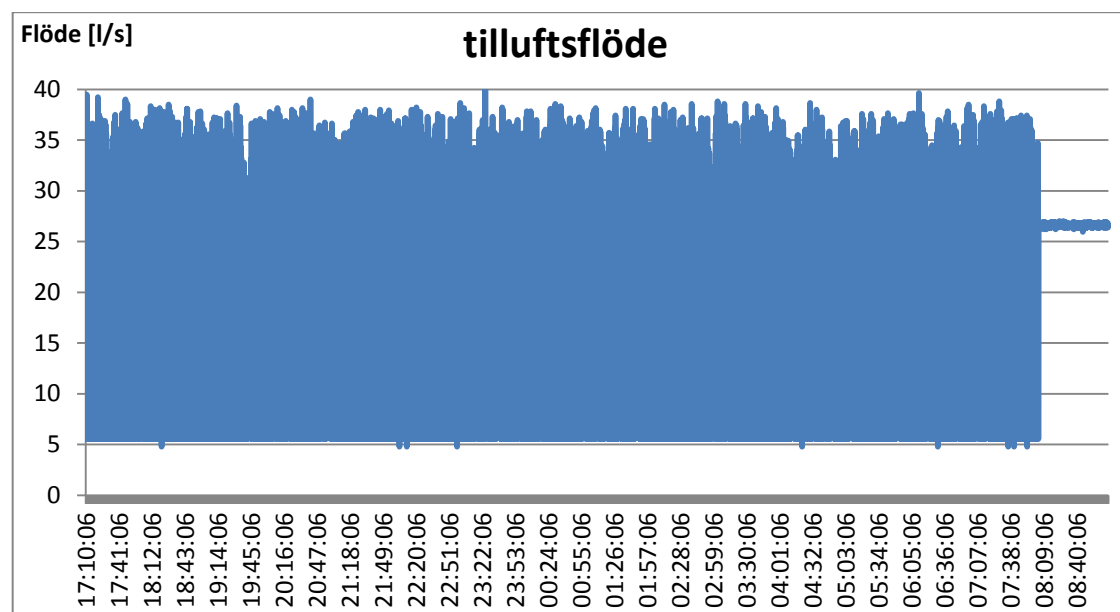
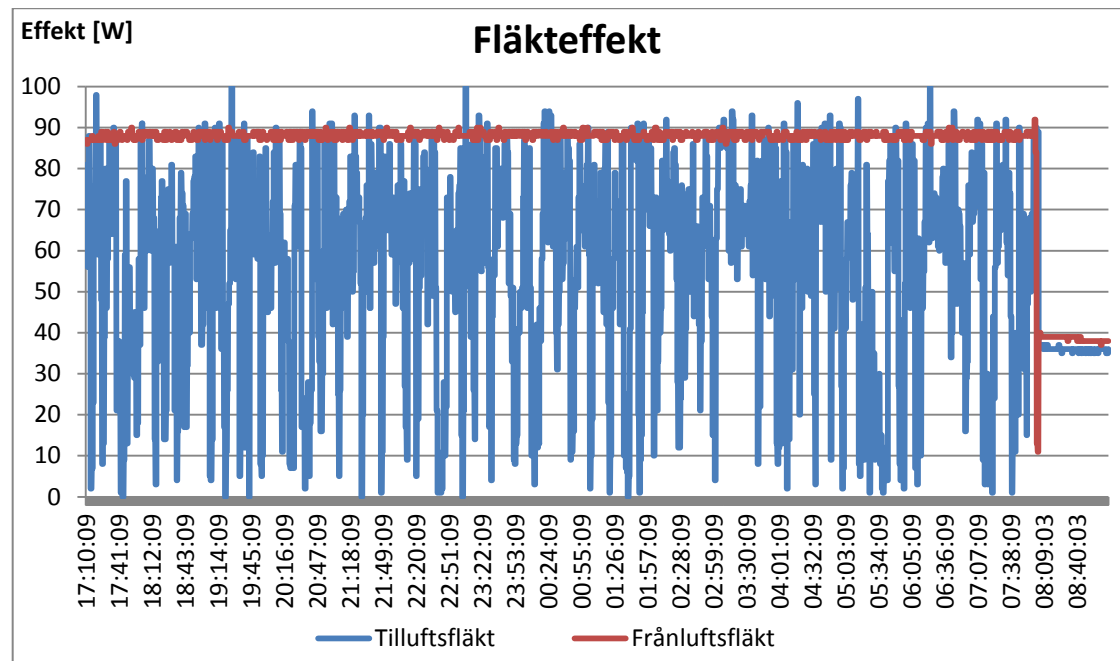


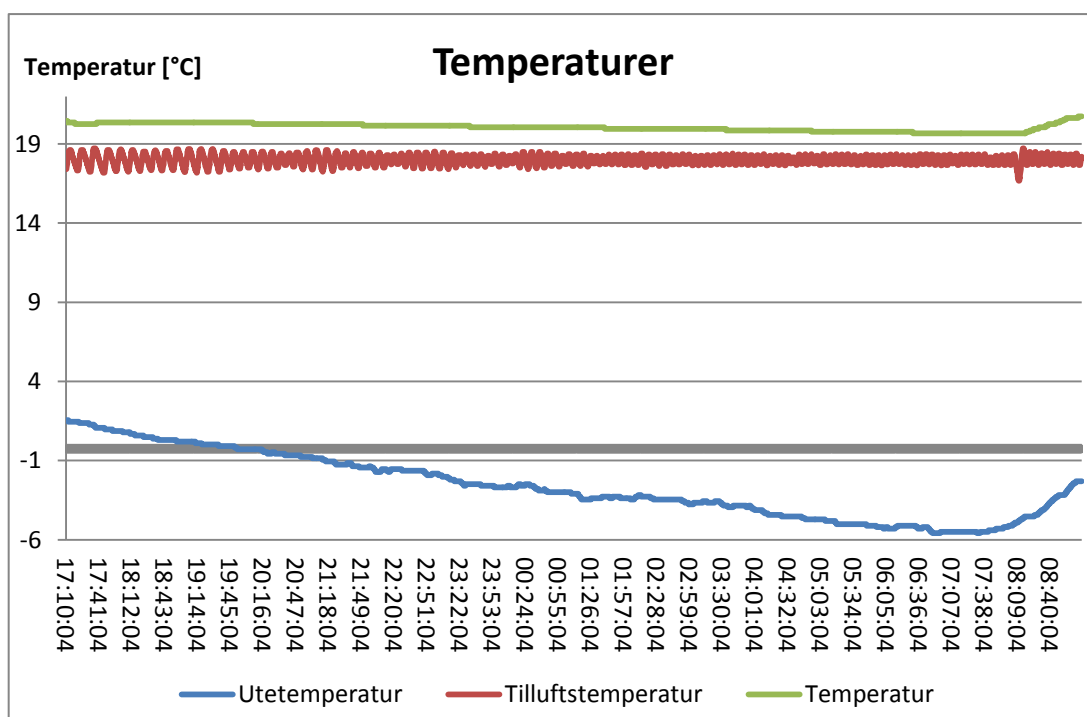
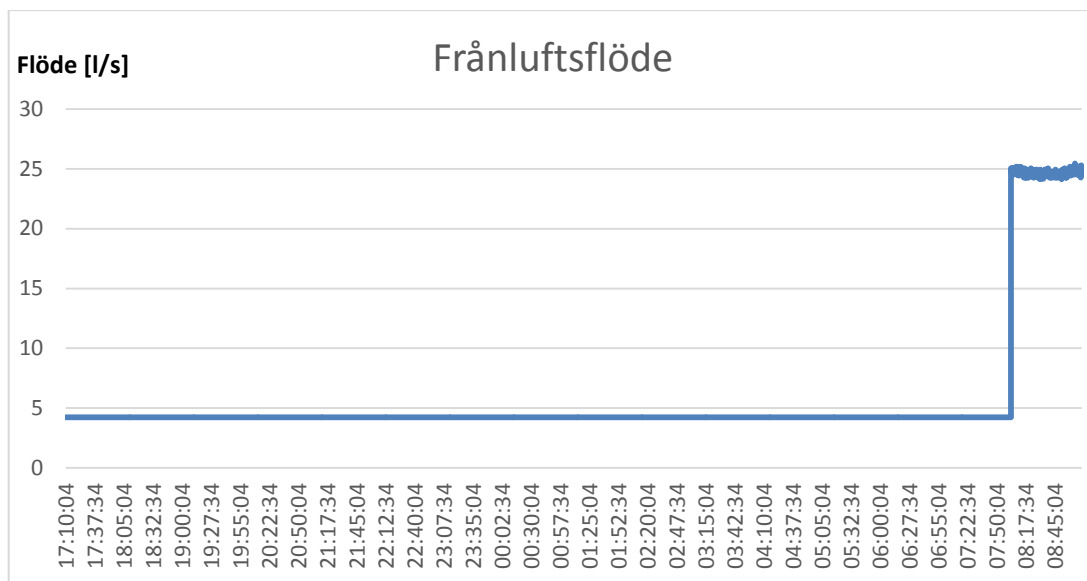


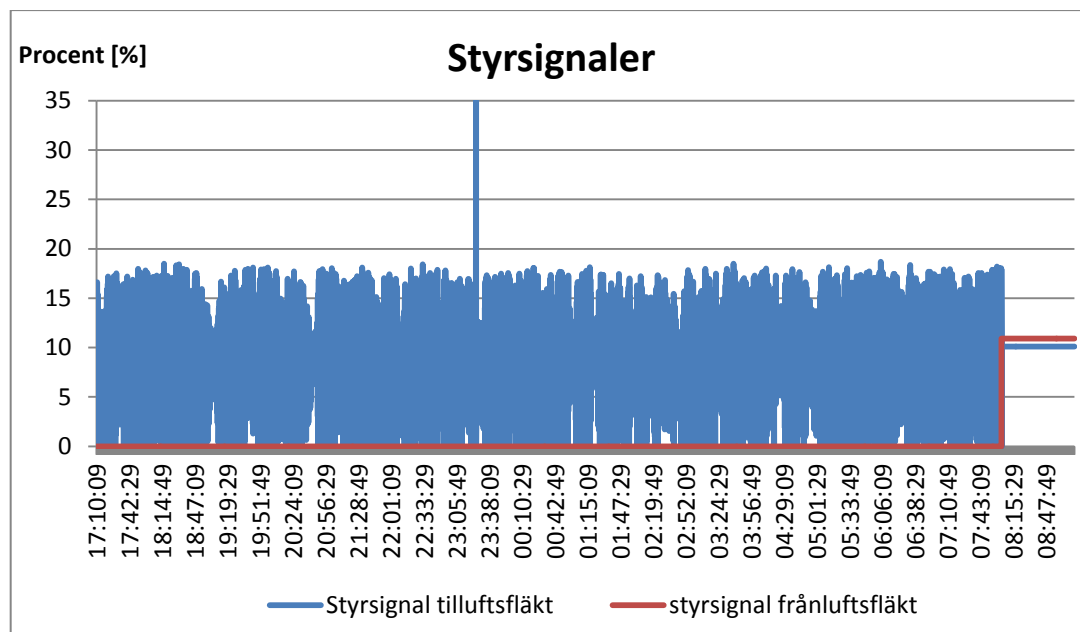


Bilaga 2

Avser försöket på tryckstyrd reglering på tilluftsfläkten som genomfördes 17:10 den 25/2 – 09:10 den 26/2 under försöken har ingen person befunnit sig i försöksrummet. Systemet blir stabilt efter 08:10. På grund av fel i datorprogrammet finns inga värden för frånluftsfläkten under den instabila perioden.



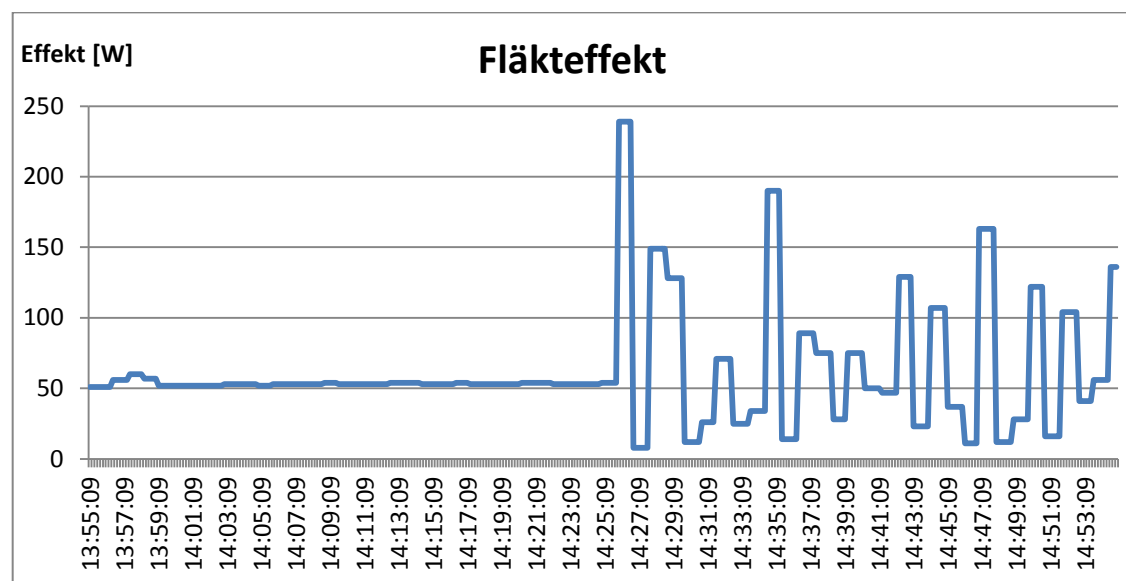
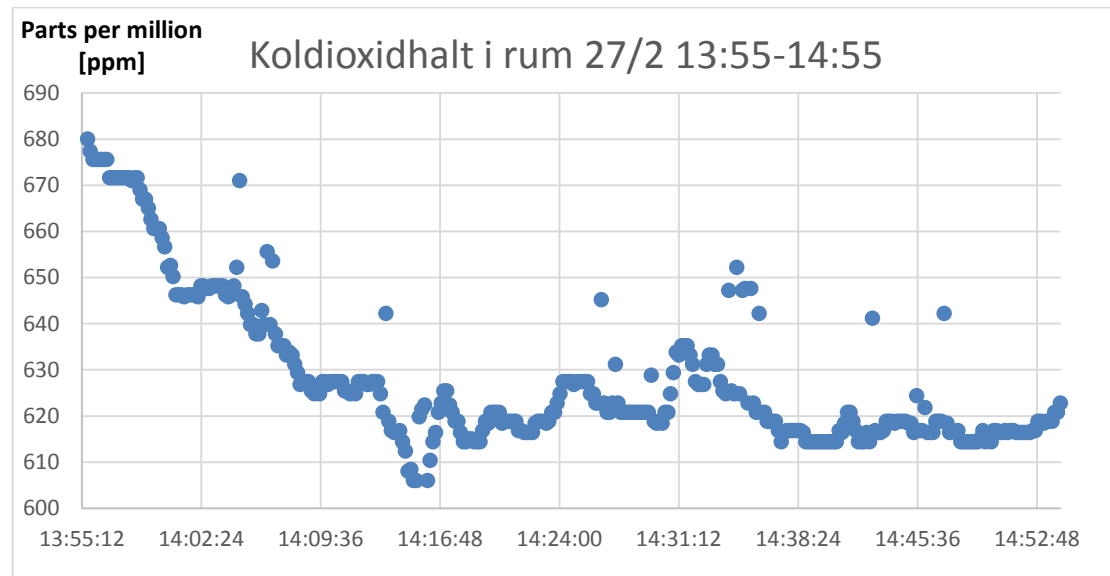


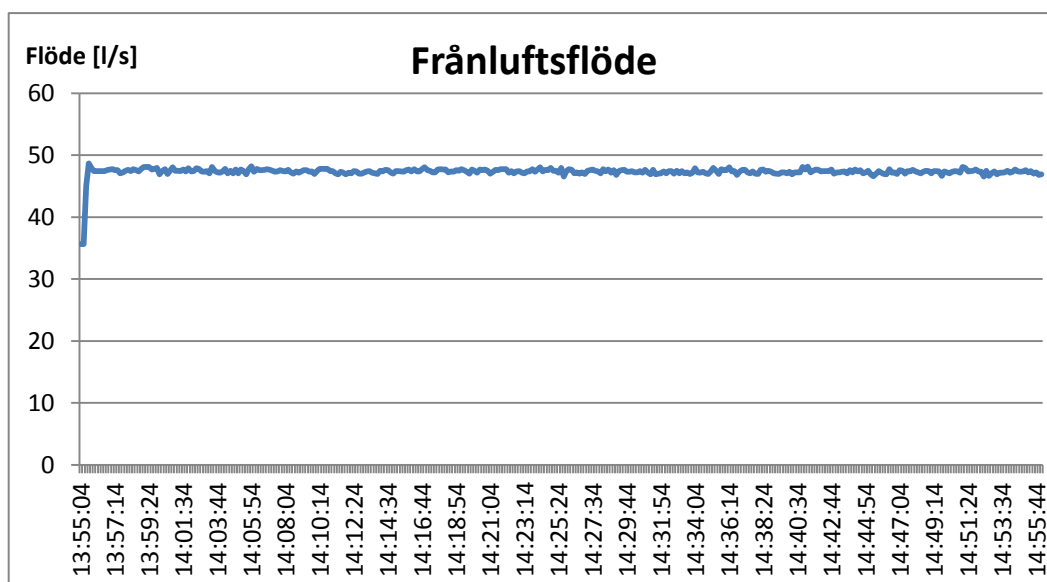
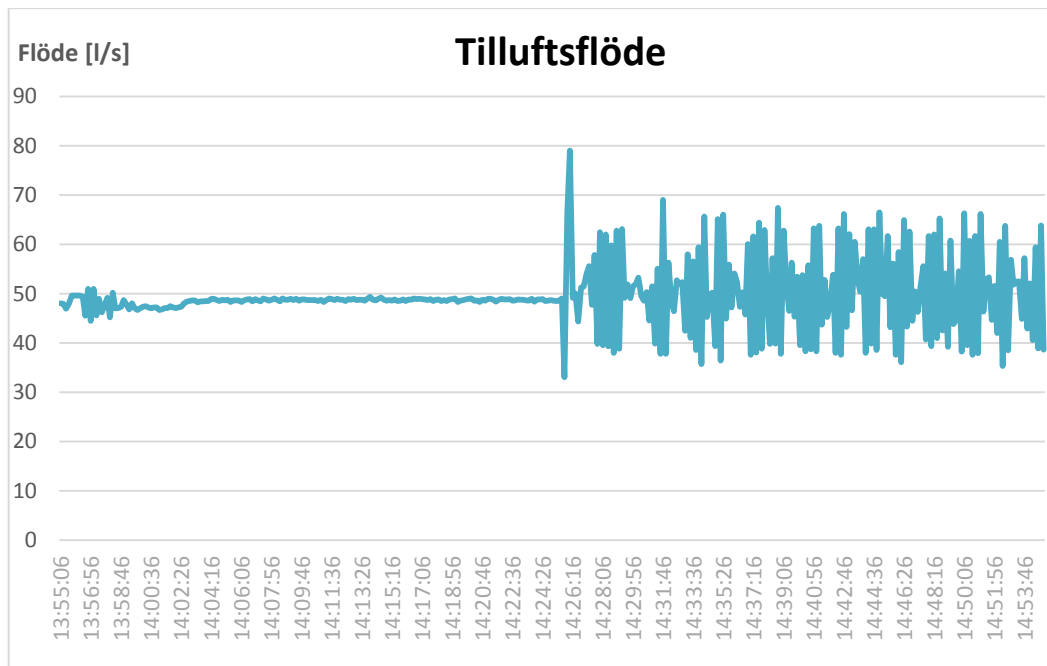


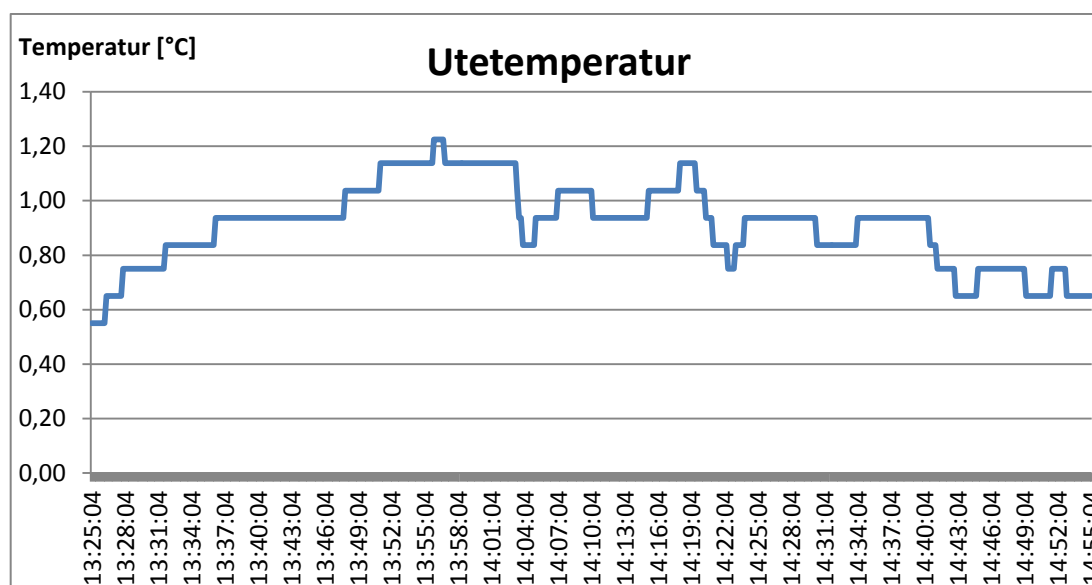
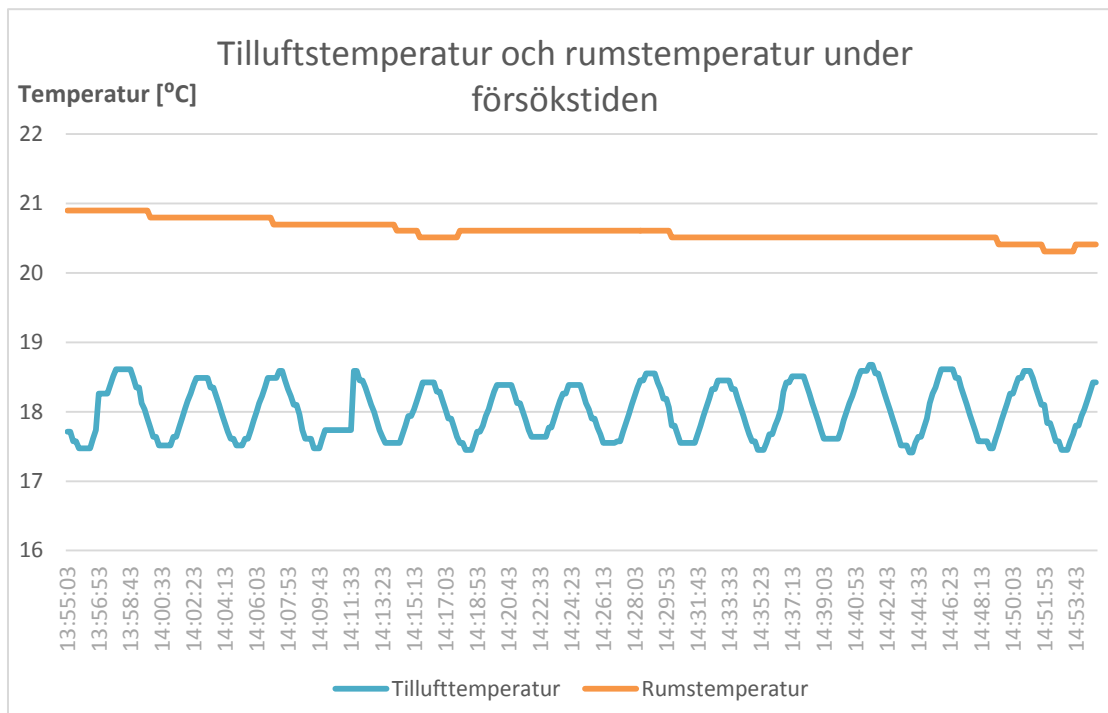
Mätdata från frånluftskanalen i detta försök verkar orimlig och har inte använts i rapporten eller slutsaster.

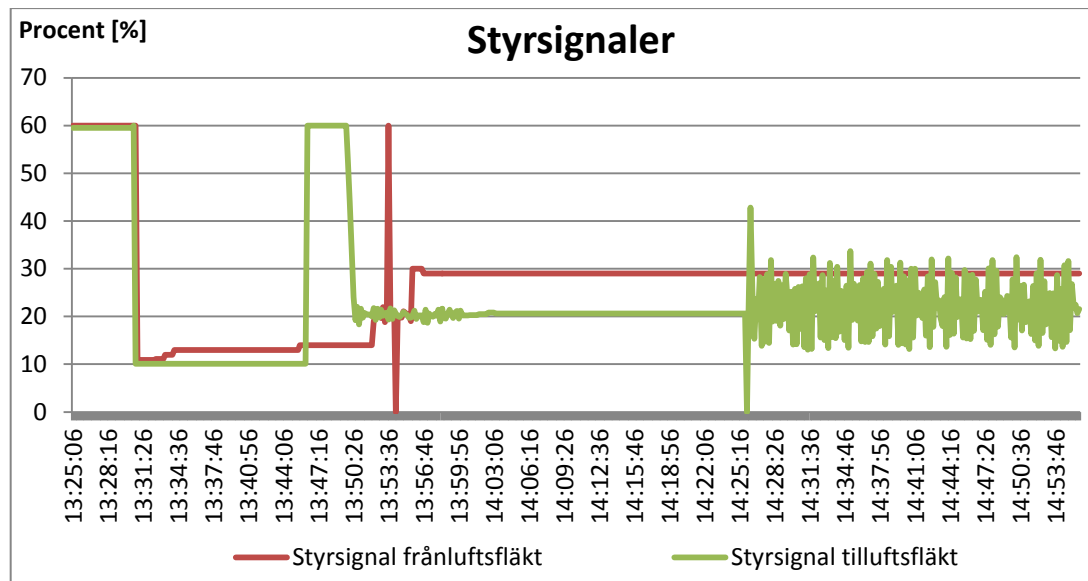
Bilaga 3

Avser försöket 27/2 då systemet är tryckstyrkt på tilluftsfläkten mellan 13:55 – 14:56. Två personer har befunnit sig i rummet under hela dagen. Systemet är stabilt 13:55 – 14:25 och är instabilt resterande tiden.



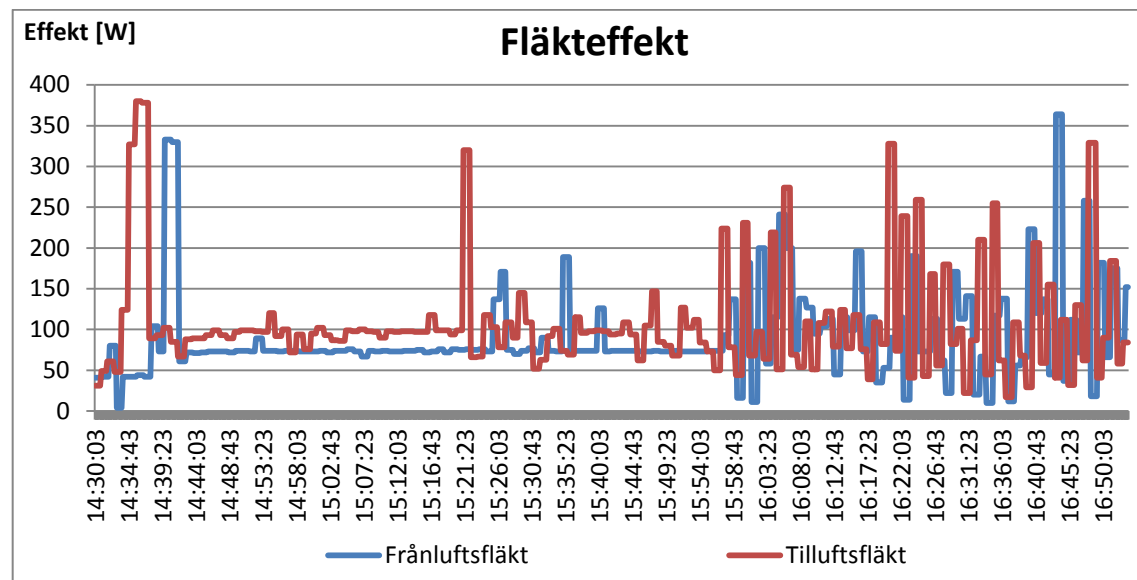
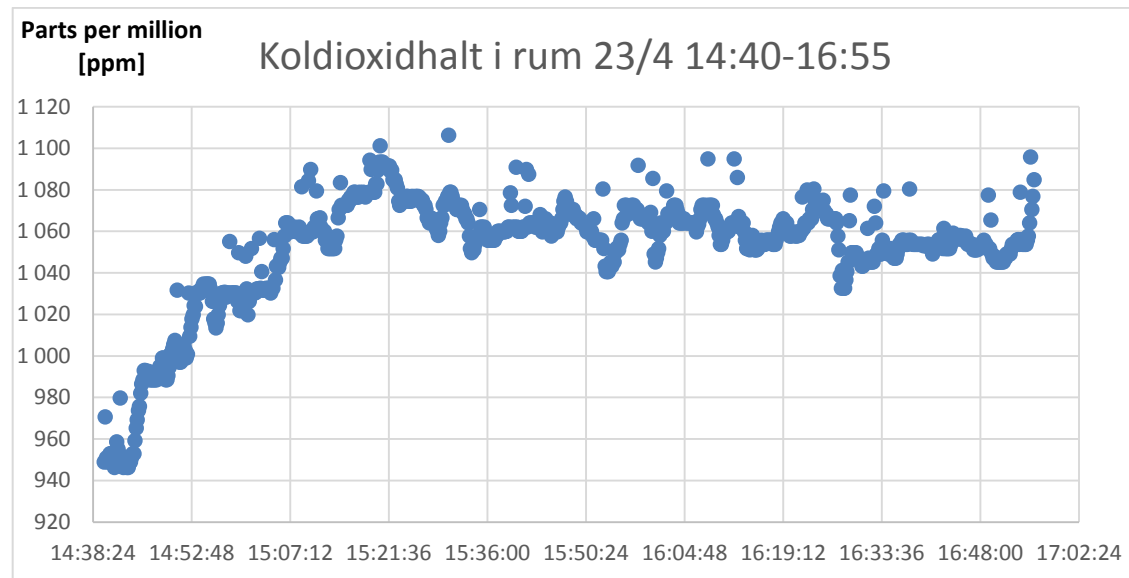


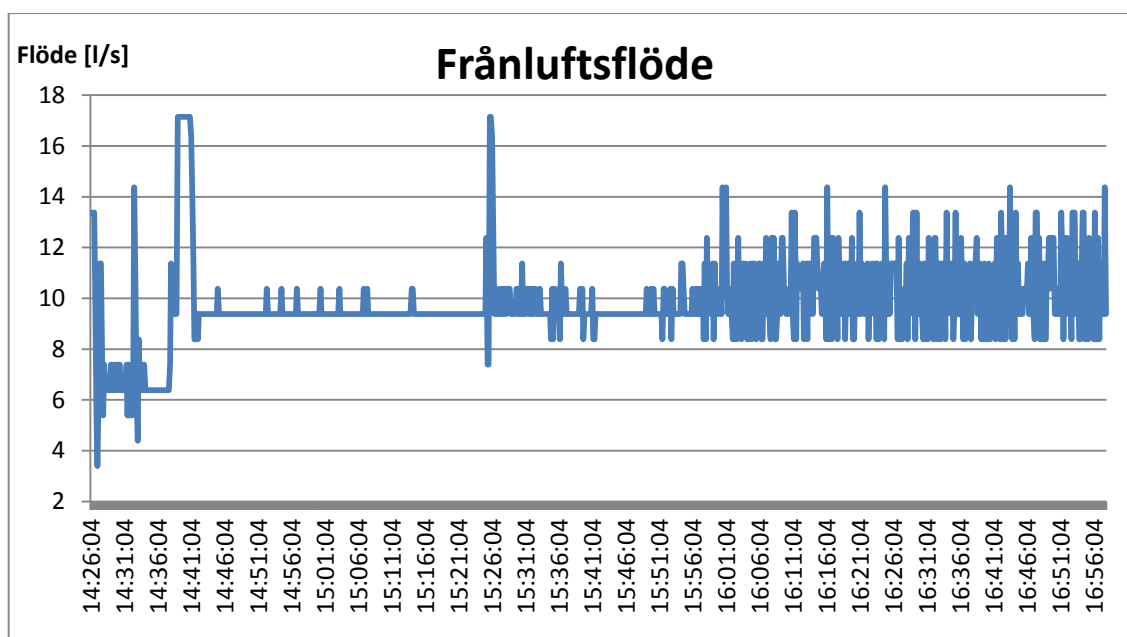
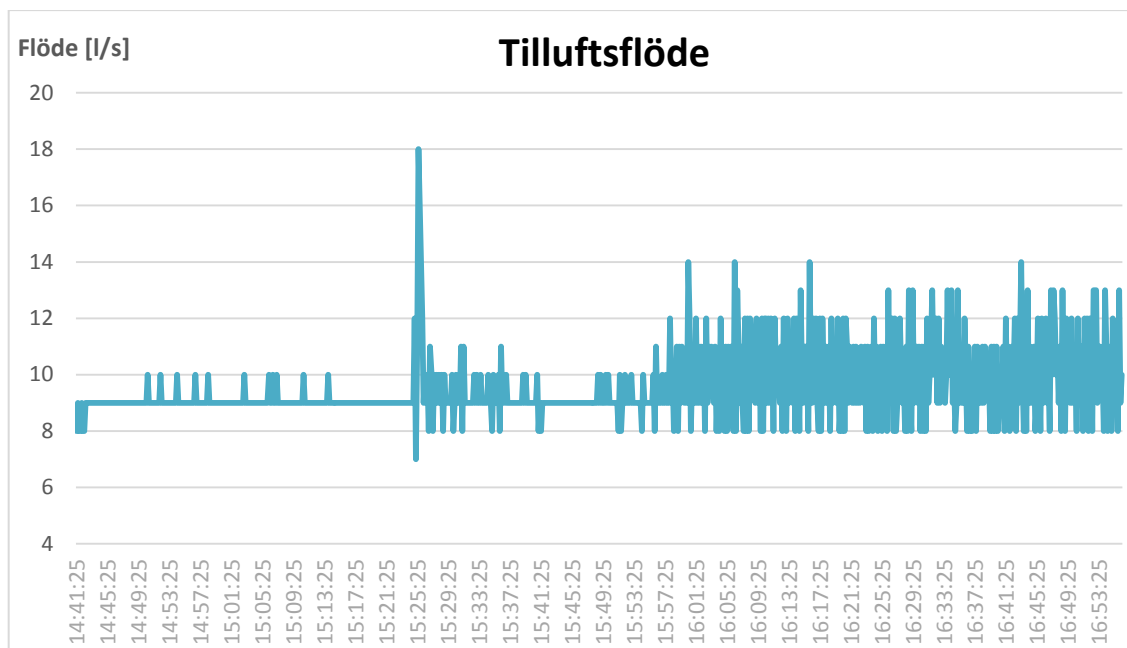




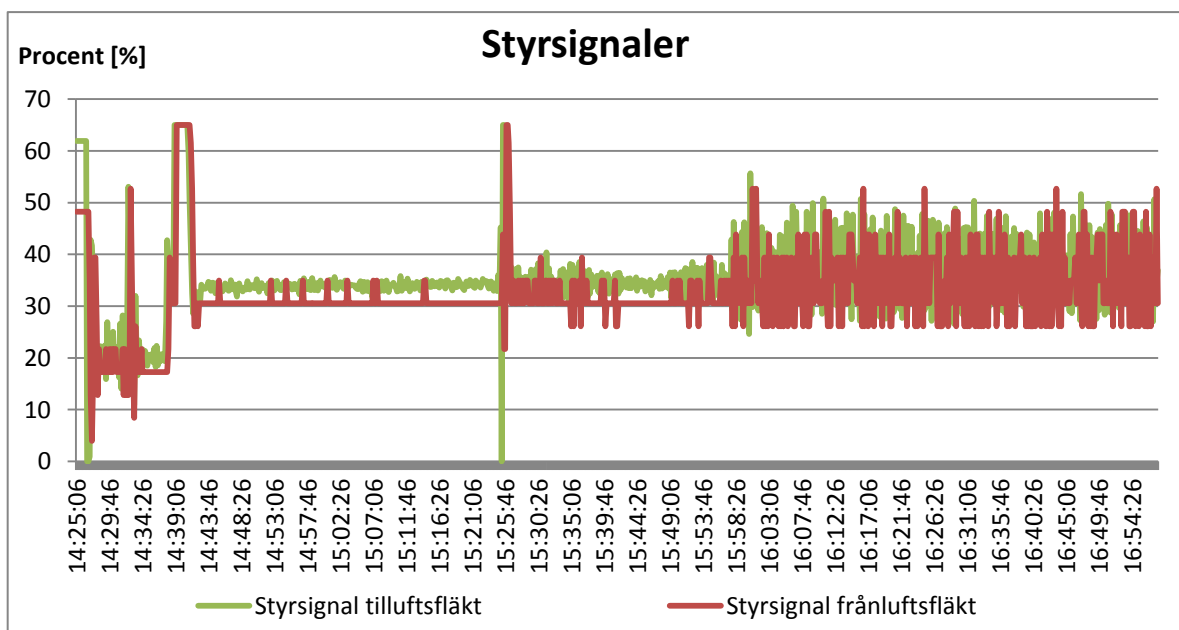
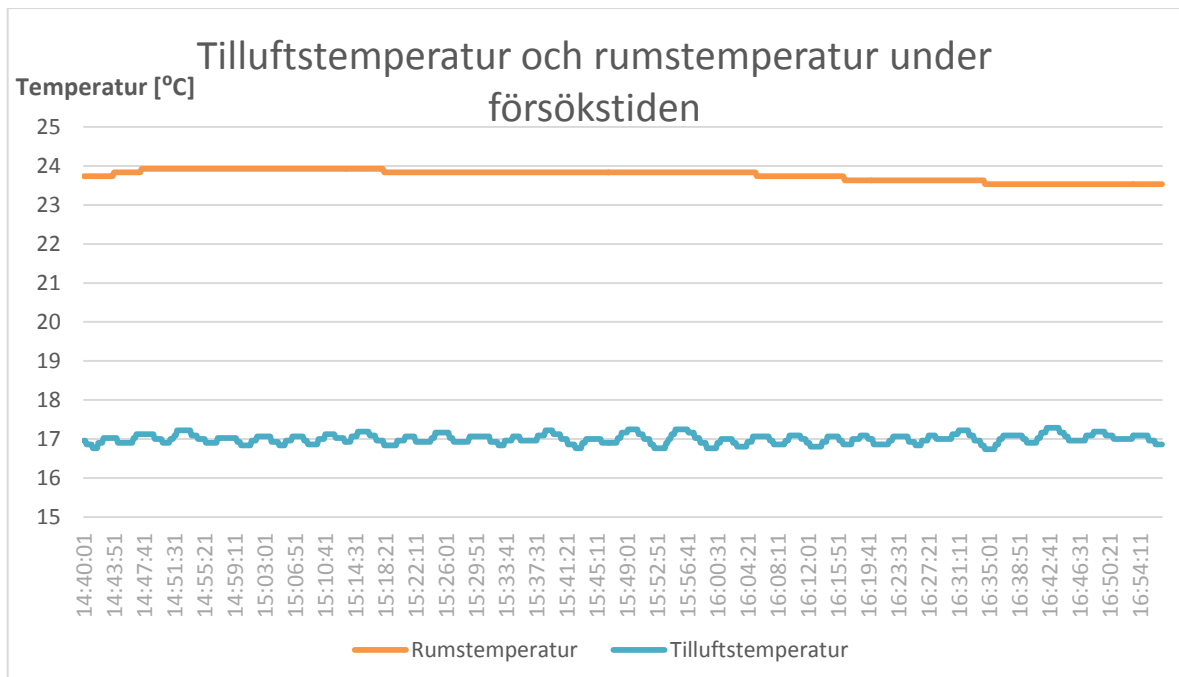
Bilaga 4

Avser försöket som gjordes den 23/4 under försöket var systemet tryckstyrkt på tilluftsfläkten från 14:26 – 17:00. Till skillnad från de andra försöken är frånluftsfläkten här styrd för att uppnå balanserat flöde. Två personer har befunnit sig i rummet under hela dagen. Systemet är stabilt 14:26 – 15:23 och instabilt under resterande tiden.



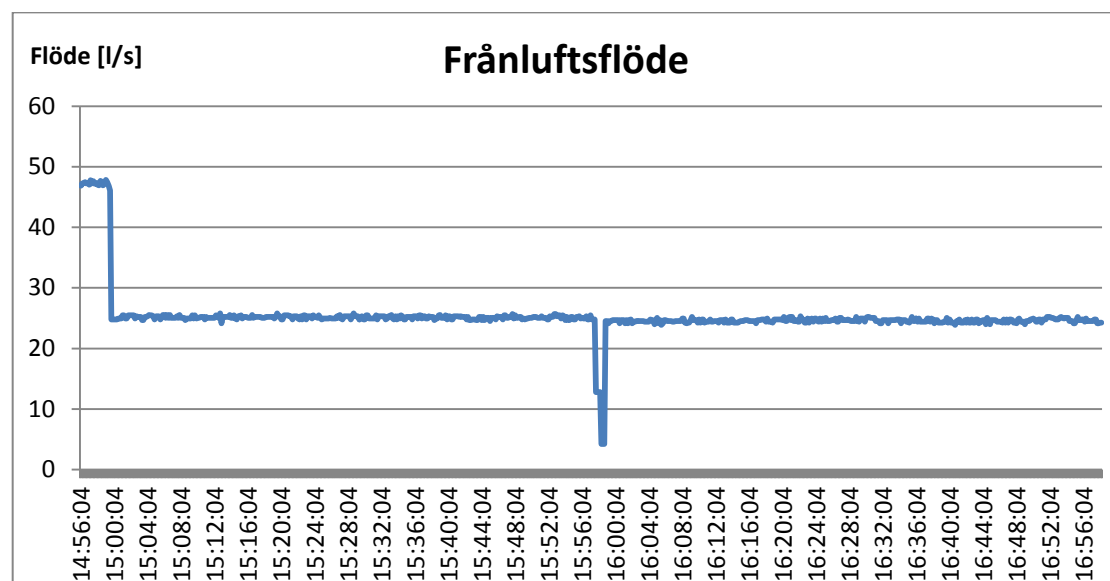
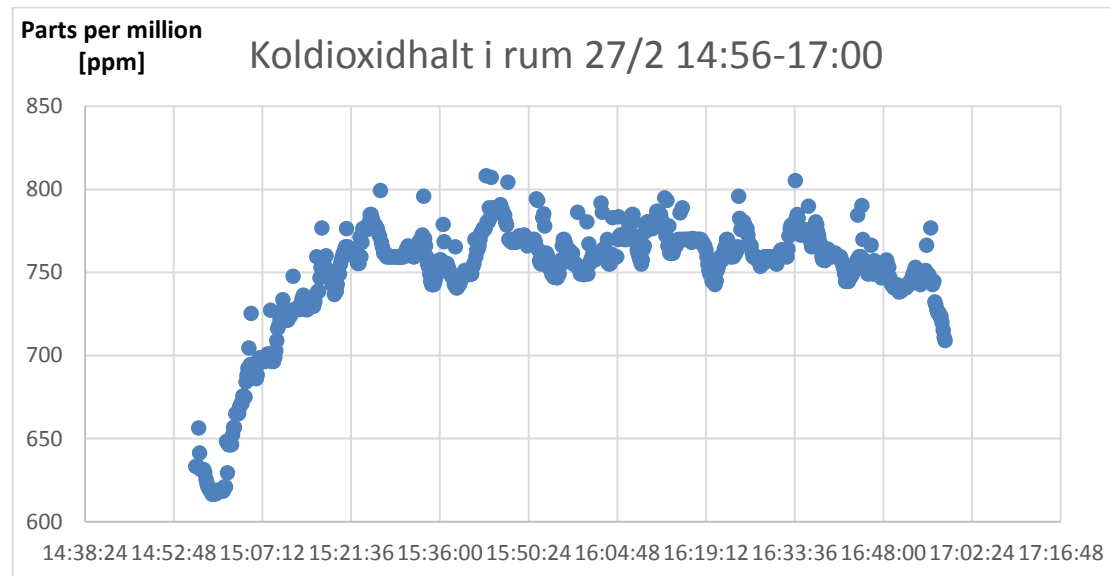


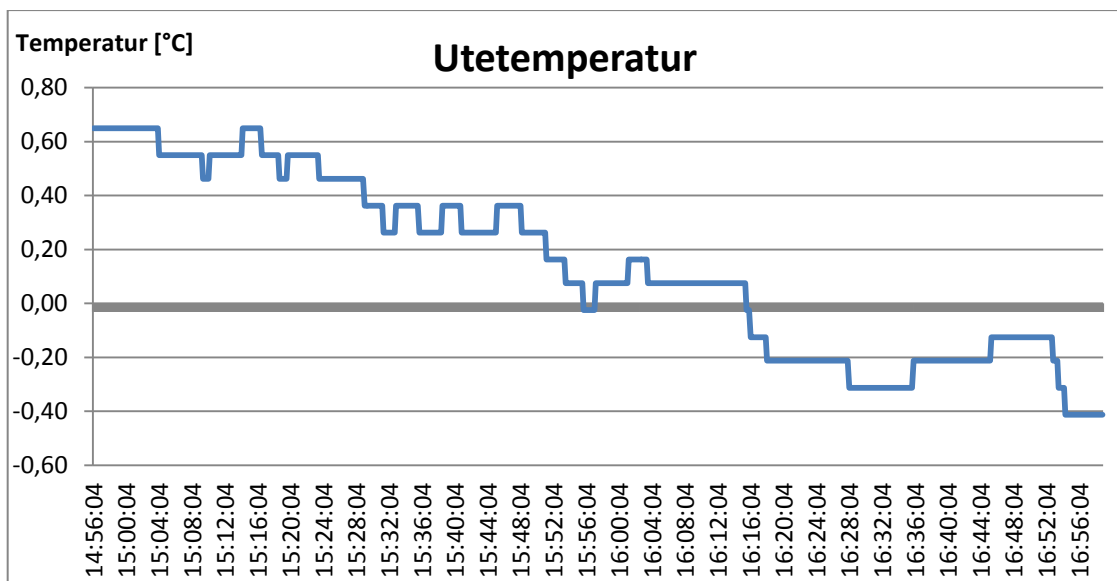
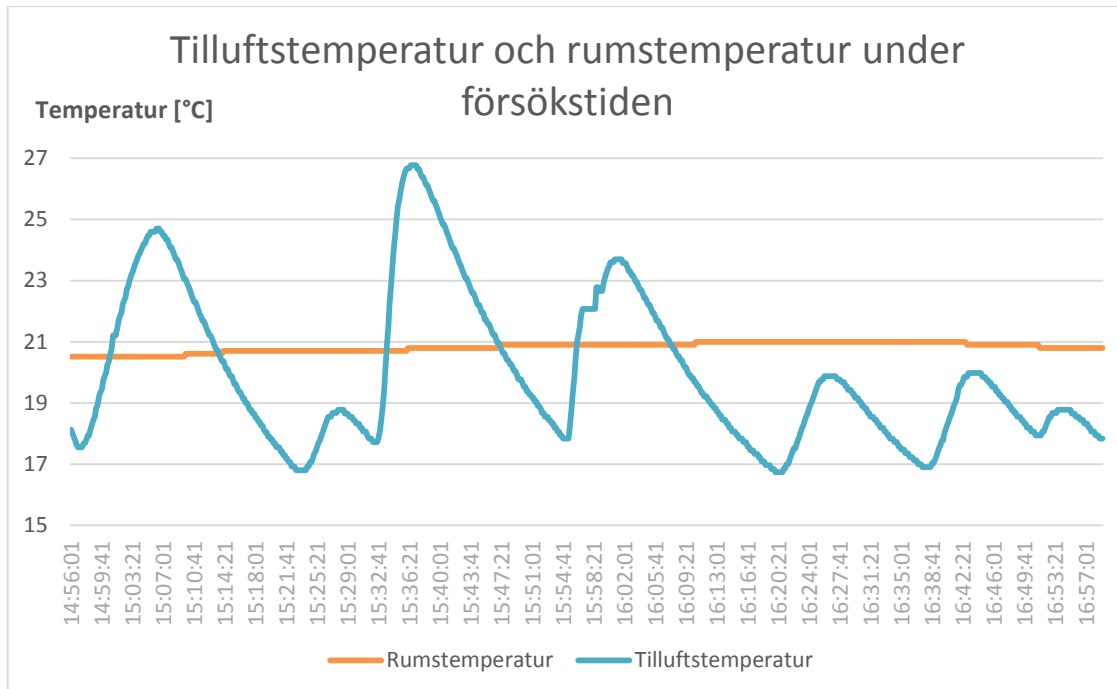
Frånluftsflöde enligt beräkningsmodell presenterad i kapitel 5 i rapporten.

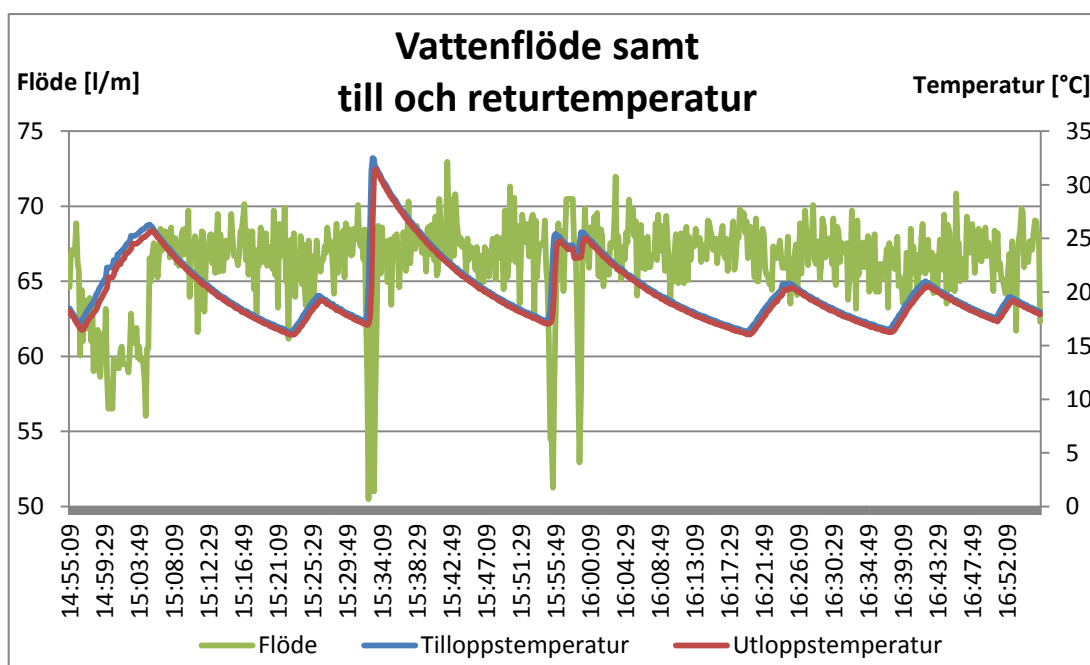
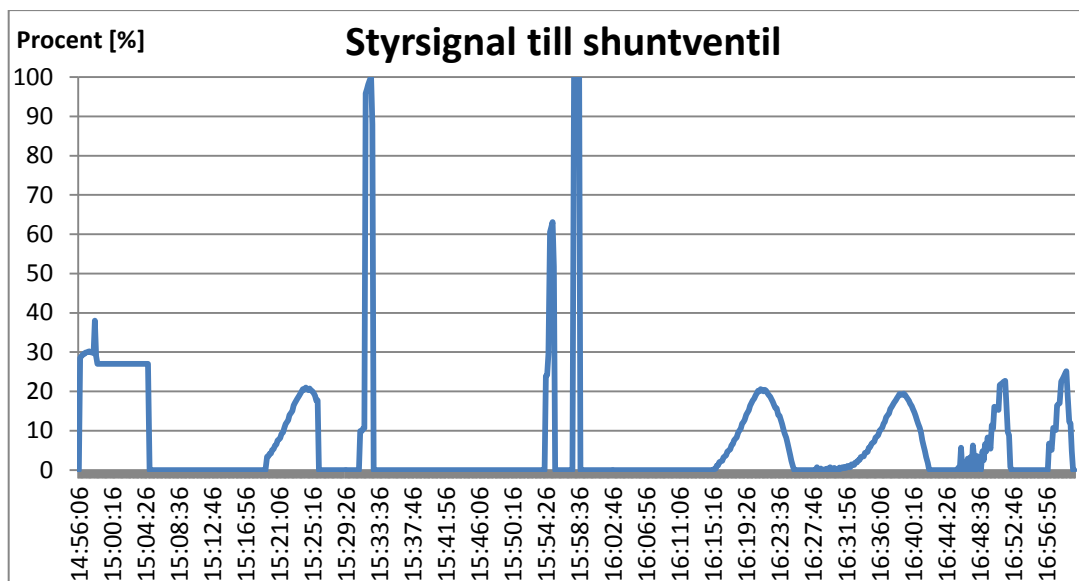


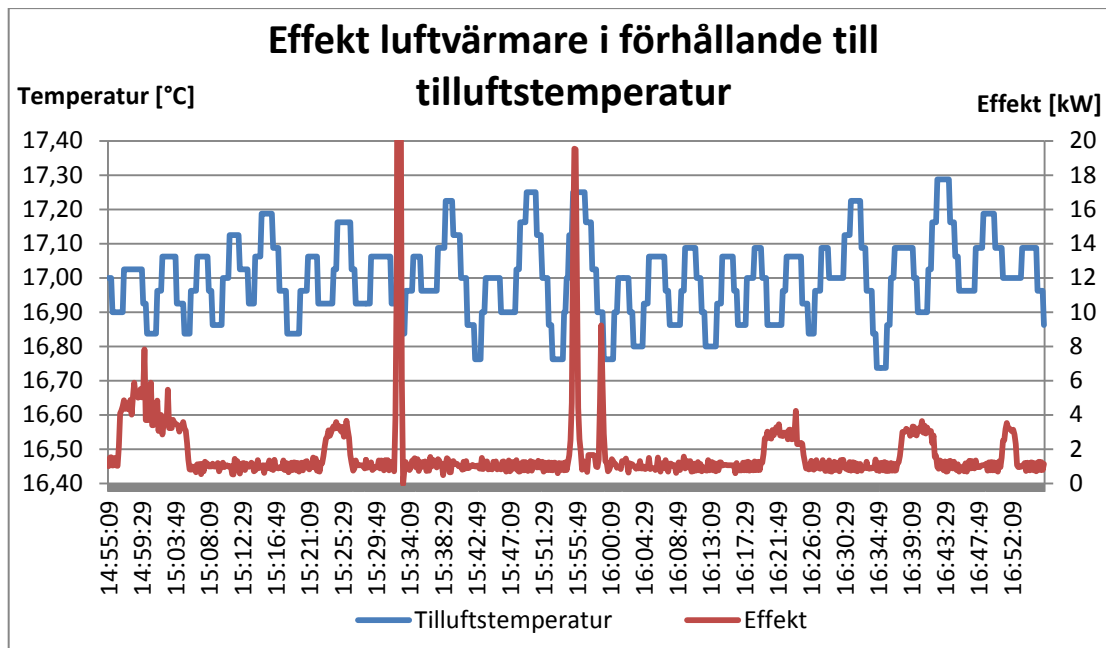
Bilaga 5

Avser försöket 27/2 då systemet temperaturstyrt på tilluften med shunt mellan 14:56 – 17:00. Två personer har befunnit sig i rummet under hela tiden. Systemet är instabilt under hela tiden.



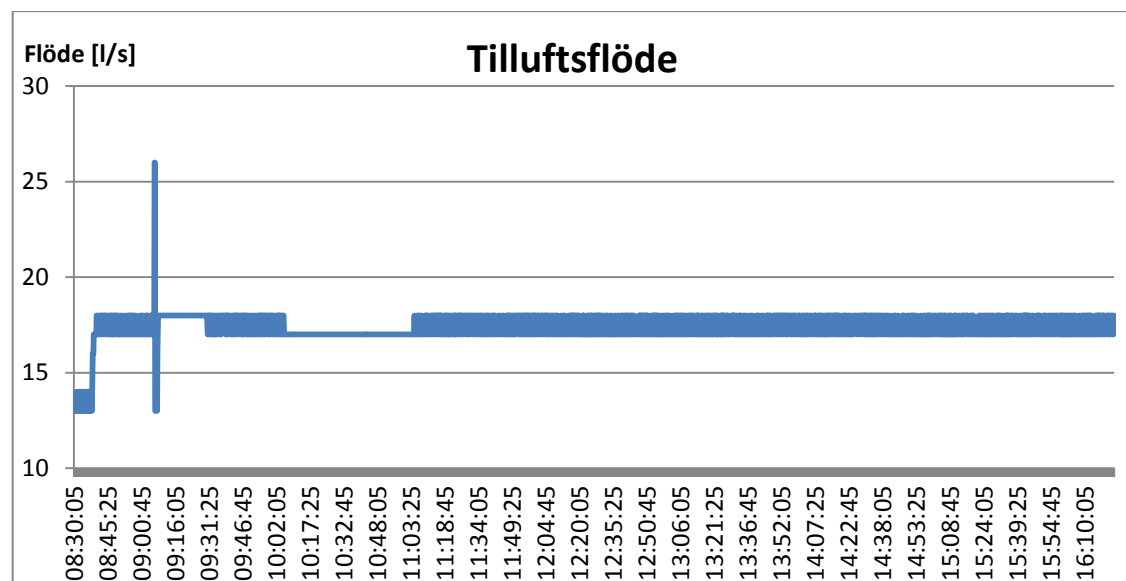
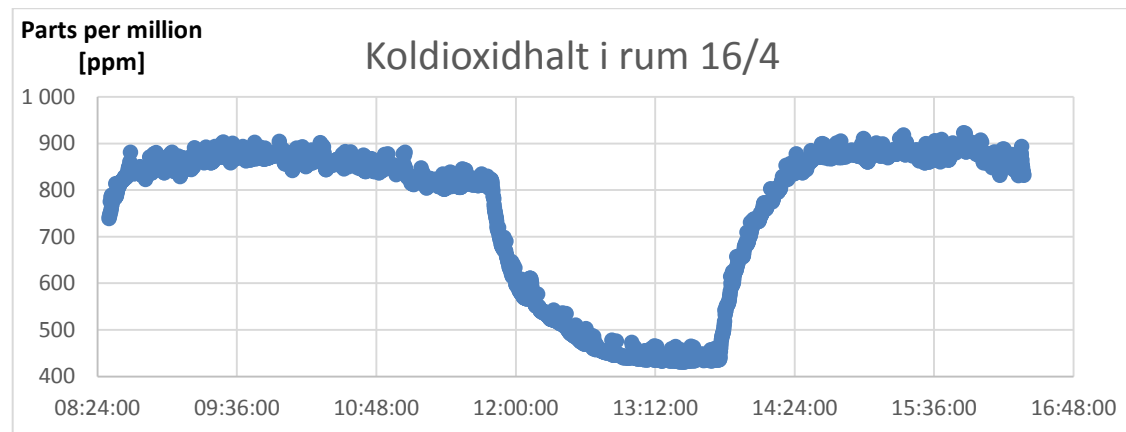


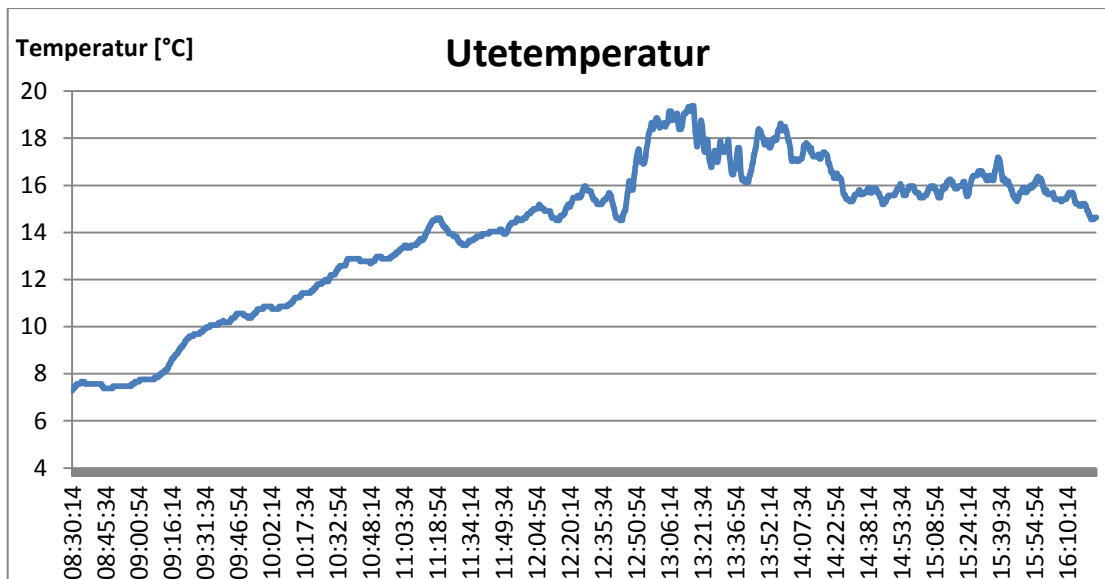
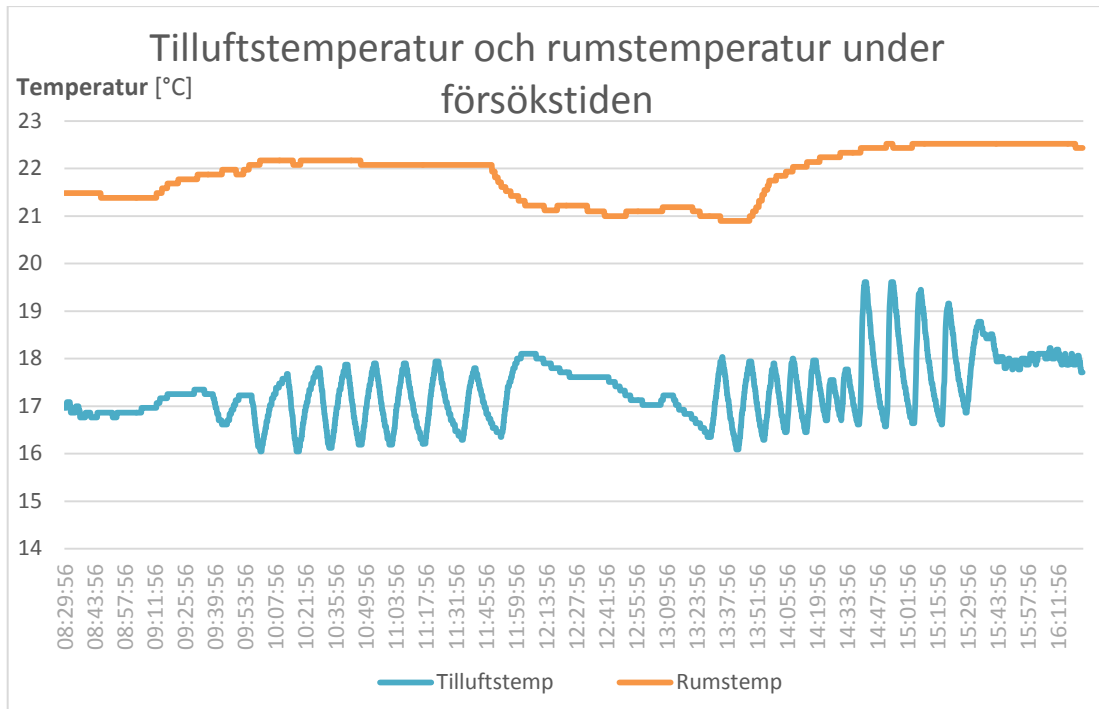


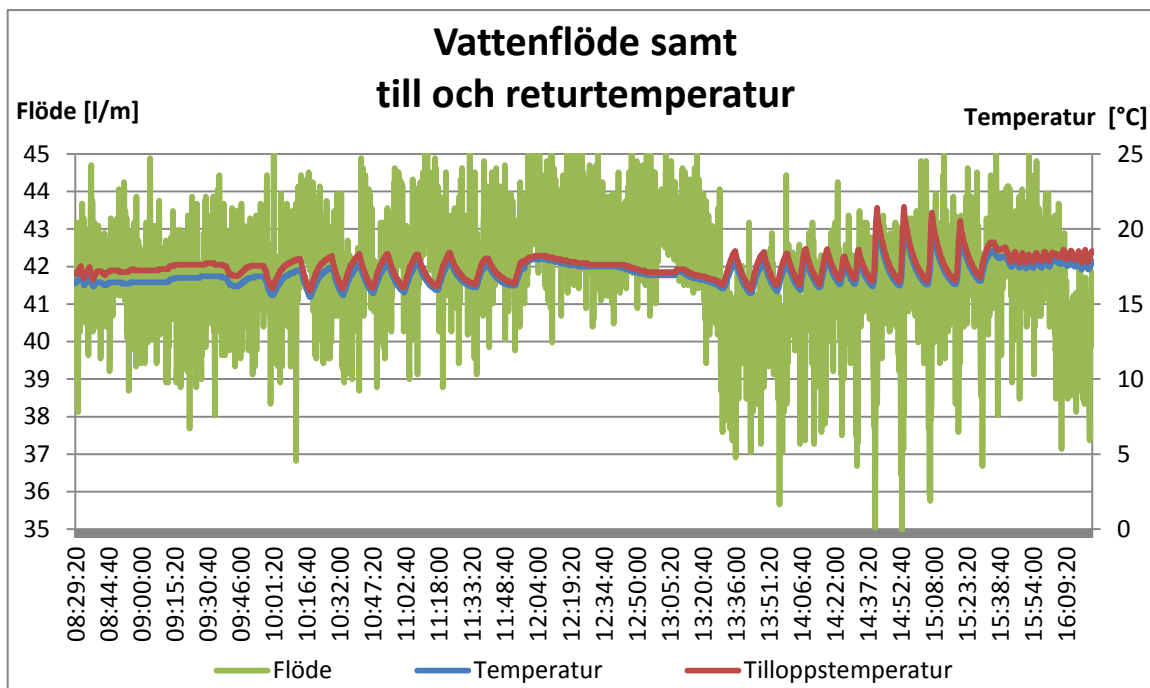
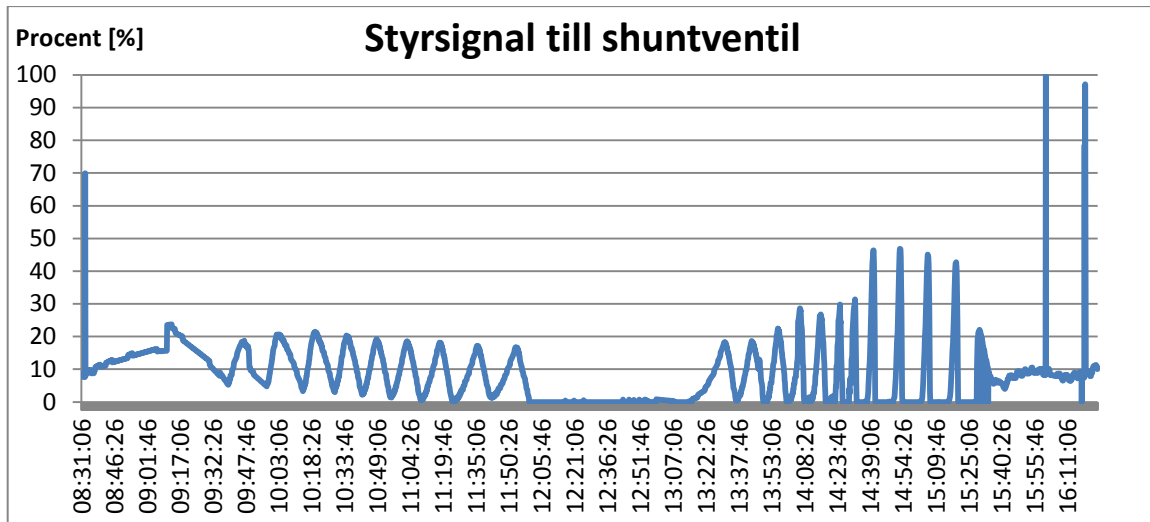


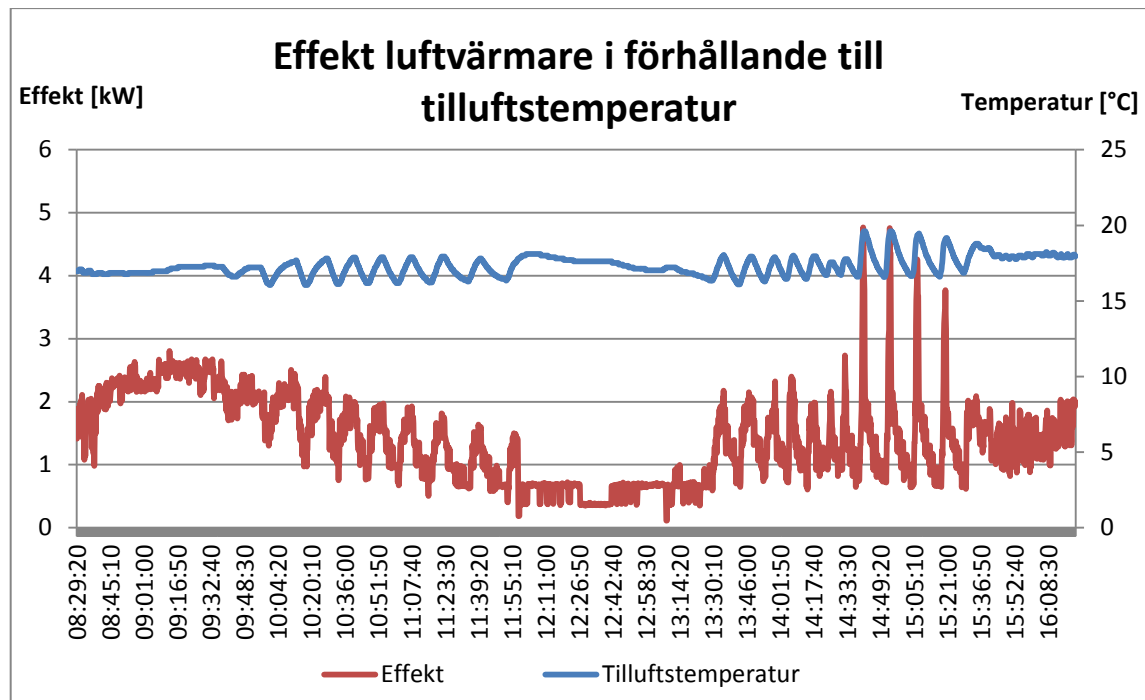
Bilaga 6

Avser försöket som gjordes den 16/4 under försöket var systemet temperaturstyrt på tilluften med shunt. Två personer har befunnit sig i rummet under hela dagen. Systemet var stabilt 08:00 – 09:50 samt 15:30 – 17:00 och var instabilt under resterande tiden.



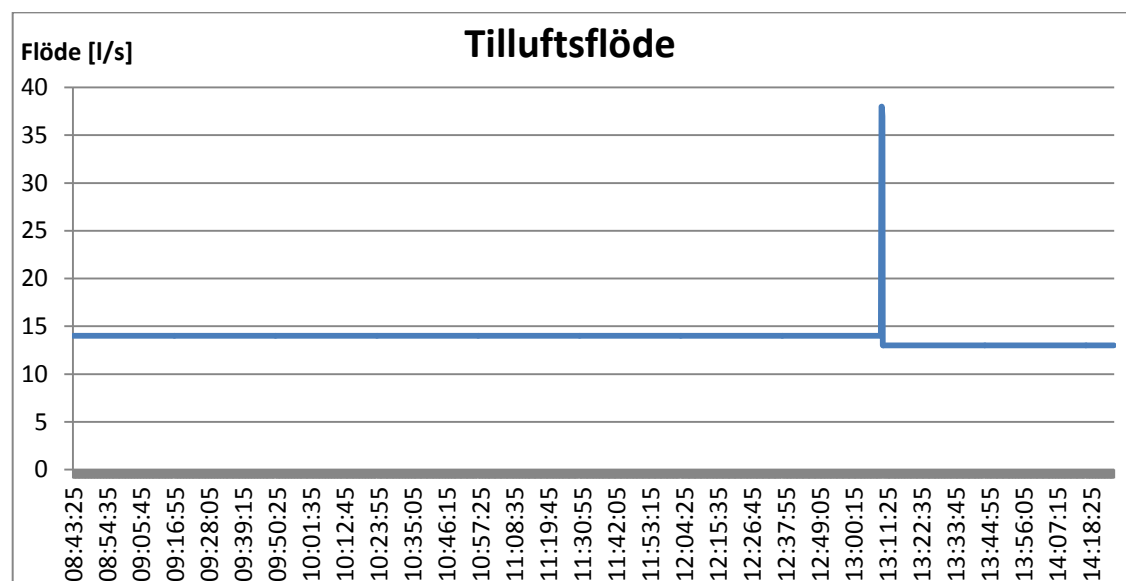
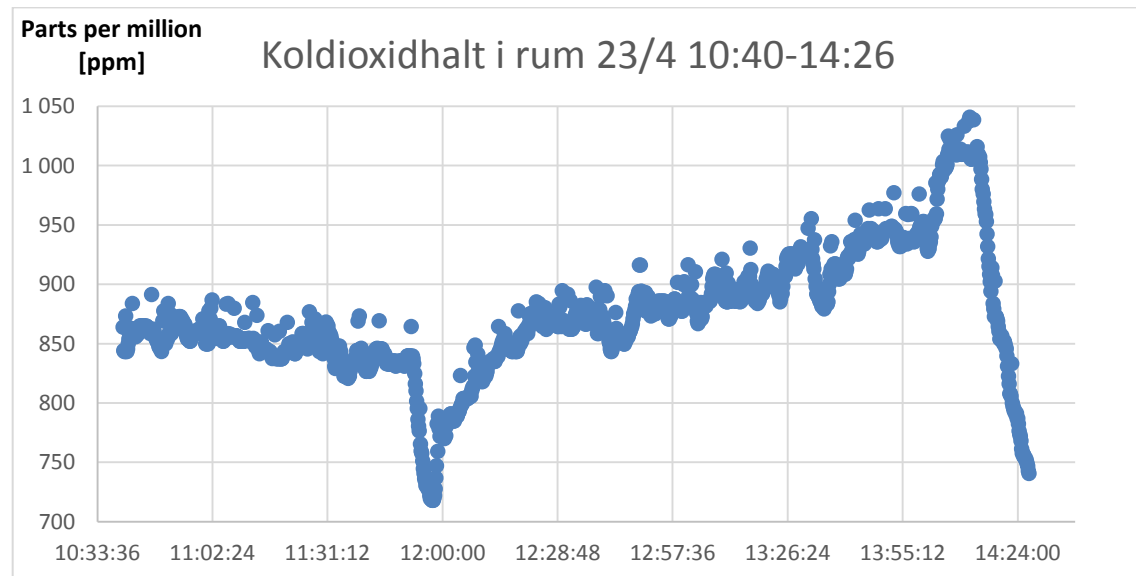




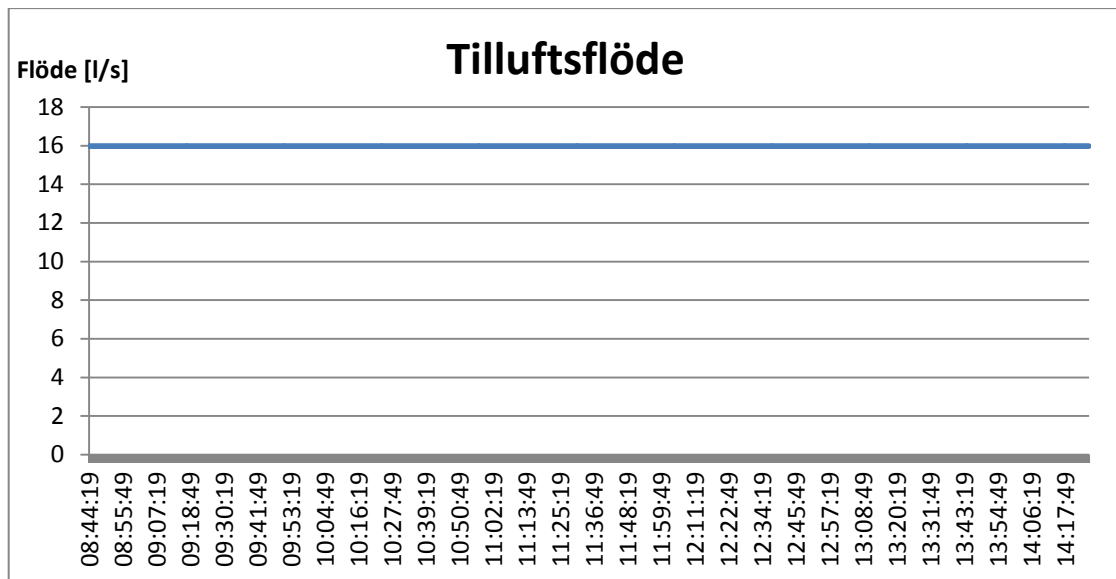


Bilaga 7

Avser försöket som gjordes den 23/4 under försöket var systemet temperaturstyrt på tilluften med shunt mellan 8:30 – 14:26. Två personer har befunnit sig i rummet under hela dagen. Systemet var stabilt 12:30 – 14:26 och instabilt resterande tiden.



Tilluftsflöde från mätfläns i kanalen.



Tilluftsflöde enligt beräkningsmodell presenterad i kapitel 5 i rapporten.

