



LUND UNIVERSITY

Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus

En del i energiuppföljningen av Flagghusen i Malmö

Abdul Hamid, Akram; Ibrahimovic, Irfan

2013

Document Version:

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Abdul Hamid, A., & Ibrahimovic, I. (2013). Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus: En del i energiuppföljningen av Flagghusen i Malmö. Building Physics, LTH, Lund University.

Total number of authors:

2

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5085

Lund 2013

Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus

En del i energiuppföljningen av Flagghusen i Malmö

Akram Abdul Hamid
Irfan Ibrahimovic



LUND
UNIVERSITY

Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus

En del i energiuppföljningen av Flagghusen i Malmö

Akram Abdul Hamid
Irfan Ibrahimovic

© Akram Abdul Hamid, Irfan Ibrahimovic

ISRN LUTVDG/TVBH-15/5085--SE(145)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

1 Förord

Detta examensarbete har utförts på Institutionen för Bygg- och miljöteknologi, avdelningen för Installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med WSP i Malmö. Examensarbetet är en avslutande del i vår civilingenjörsutbildning i väg- och vattenbyggnad och har utförts under vårterminen år 2013.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Birgitta Nordquist. Birgitta var den som föreslog detta arbete för oss under en föreläsning i kursen *Hållbart Byggnade*. Hon har stöttat oss redan från början och försökt uppfylla våra önskemål vilket vi är väldigt tacksamma för. Birgitta har varit väldigt hjälpsam och vägledande under arbetets gång. Examensarbetet har till stor del baserats på Nordquists arbete *Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation*. Den beräkningsmetod som vi har arbetat med skulle därför inte utan Birgittas arbete ha varit möjlig.

Vi vill även tacka professor Lars Jensen för hans bidrag med klimatdata och det Matlab-beräkningsprogram som har modifierats för att beräkna dygnsmedeltemperaturen för de olika scenarierna. Vi vill även tacka honom för den vägledning som han för övrigt har bistått med.

Vi vill tacka Emma Karlsson och Jenny Wahl på WSP för deras handledning, engagemang och bistånd med nödvändig information och kontaktuppgifter.

Ytterligare ett tack vill vi rikta till de boende som vi utförde mätningar hos. Dessa låter vi vara anonyma.

Till slut vill vi rikta ett stort tack till våra familjer för deras stöd, tålamod och uthållighet under arbetets gång.

2 Sammanfattning

Titel	Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus - En del i energiuppföljningen av Flagghusen i Malmö
Författare	Akram Abdul Hamid och Irfan Ibrahimovic
Handledare	Tekn. Dr. Birgitta Nordquist vid Avdelningen för Installationsteknik och klimatiseringslära, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Lunds Tekniska Högskola. Emma Karlsson och Jenny Wahl vid WSP Environmental, Malmö.
Examinator	Universitetslektor Petter Wallentén, Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Lunds Tekniska Högskola.
Problemformulering	En energiuppföljning av Flagghusen som gjordes 2009-2010 visade att energianvändningen var högre än beräknat. Utifrån enkäter som delades ut under år 2010 framkom det att brukarna vädrade mycket. Att de boende vädrar mycket är ingenting nytt eller förknippat enbart med Flagghusen. En enkätundersökning om bl.a. vädringsvanor som genomfördes för 393 lägenheter i Stockholms-området i det s.k. MEBY-projektet under vintersäsongens solfattigaste del, visade att 75 % vädrar dagligen och att 20 % vädrar genom att ha fönster/balkongdörr öppet ständigt eller hela dagen/ natten (Sandberg och Engvall, 2002, s.9). Det är viktigt att utreda brukarnas vädringsvanor - så att energiförluster pga. vädring kan uppskattas. En beräkningsstudie av beteende och reglerstrategier visar att vädringsvanor kan ha stor inverkan på energianvändningen (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 27). Idag är det inte helt klarlagt hur mycket de boendes vädringsvanor påverkar energiförlusterna för en byggnad. Det är oklart hur dessa energiförluster ska tas i hänsyn i energiberäkningar. Ett första steg till att klargöra detta är genom en utredning av hur detta ska göras samt hur

stora dessa energiförluster kan bli. Detta examensarbete är ett försök till just det.

Syfte

Belysa vädringens inverkan på energianvändningen i nybyggda flerbostadshus under eldningssäsongen samt att ta fram riktlinjer för hur vädring kan kopplas till energiberäkningar. Vidare syftar arbetet till att utveckla en metod för beräkning av vädringens inverkan på energiförlusterna. Syftet är även att ta fram ett värde som motsvarar de energiförluster som vädringen bidrar till i Flagghusen och som kan jämföras mot SVEBYs schablonvärde för bostäder - $4 \text{ kWh/m}^2, \text{ år } A_{\text{temp}}$.

Metod

Resultatet har uppnåtts genom litteraturstudier inom ämnet, mätningar och energiberäkningar. Indata till energiberäkningar har erhållits främst genom enkätsvar och klimatdata men annars antagits. Brukarnas vädringsvanor har analyserats från enkätsvaren och dagboksnoteringar. Mätningar i Flagghusen har genomförts i en lägenhet för att undersöka vädringens inverkan på ventilationssystem i nya flerbostadshus samt för att validera Nordquists formler för luftutbyten genom vädring. Energiberäkningar har genomförts med hjälp av ett eget skrivet Matlab-program baserat på analytiska formler för vädringsflöden.

Slutsatser

Energiförluster pga. vädring är komplicerade att bestämma med stor säkerhetsmarginal eftersom luftutbytet pga. vädring varierar vid olika vädringstillfällen till följd av temperaturvariationer. En hel del andra faktorer som kan variera från brukare till brukare spelar också en stor roll. Då exakta vädringstider, dimensioner på vädringsöppningen och sätt att vädra skiljer sig brukarna emellan måste förenklingar göras för att kunna hantera den stora datamängd som annars finns att bearbeta. Vindens inverkan på luftutbytet och således på energiförlusterna har därför inte tagits hänsyn till. Alla dessa faktorer gör att det ligger en viss osäkerhet på resultatets tillförlitlighet.

Eftersom fallstudien baseras på respondenternas svar kring vädringsvanor i Flagghusen i Malmö är det svårt att

med säkerhet säga om resultatet kan tillämpas för andra bostäder. Dock kan metoden som har tagits fram i detta arbete även tillämpas på andra fall.

Beräkningarna visar att energiförlusten kan variera inom ett relativt stort intervall upp till mellan 0-20 kWh/år, kvm för Falsterbo klimat. Detta beror som nämnts på att många parametrar ingår och varierar även bl.a.; innetemperaturen, öppningens höjd och bredd, kontraktionsfaktorn för öppningen, i hur stor andel av lägenheten som uteluften når/vädring sker, fram- och returledningstemperatur och värmeavgivning från radiatoren.

Vädring kan ge mycket stora luftflöden men det är svårt att noggrant bestämma vädringsflöden för verkliga fall pga. variationer för utetemperaturen, vädringsfrekvens, vädringstid etc. Till följd av alla dessa variationer är det svårt att få fram ett medelpåslag som överensstämmer helt med verkligheten. Därför kan beräknade vädringspåslag skilja sig stort från vissa enskilda fall.

Enligt våra beräkningar är vädringens inverkan på energiförluster i Flagghusen i medeltal lägre än SVEBYs rekommenderade påslag på 4 kWh/år, kvm A_{temp} . Energiförlusterna pga. vädring har, för Flagghusen, beräknats till ca 1,1 kWh/år, kvm BRA och med tillägg för en osäkerhetsfaktor ca 2 kWh/år, kvm BRA.

Beräkningen skedde med två olika vädringsmodeller som presenteras i Birgitta Nordquists arbete "Vädring i skolor". Dessa två modeller baseras på två olika antaganden. I den första modellen antas att rumsluften under vädringen inte blandas om under vädringen och då fås ett lägre luftutbyte än i den andra modellen. I den andra modellen antas att rumsluften blandas om helt och hållet. Dessa två modeller utgör ytterligheter och för grundfallet har vi beräknat ett medelvärde av energiförlusterna enligt båda modeller.

Modell	Medelvärde (kWh/år, kvm BRA)	Vidd (kWh/år, kvm BRA)
1	0,83	0,00-12,66
2	1,38	0,00-20,90
Medel	1,11	0,00-16,78

Vi har även beräknat ett medelvärde för de båda modellerna, men vilket värde exakt det är som representerar den verkliga energiförlusten går inte direkt att avgöra. Verkligheten ligger någonstans mellan de två olika värden som vi har fått från de olika modellerna.

Med SMHI-klimatdata för olika orter och vår nyutvecklade modell har vi även beräknat ett hypotetiskt medelvärde för olika orter och klimatzoner. Detta värde baseras dock på de vädringsvanor och förutsättningar som gäller för flagghusen. Det är också ett medelvärde av de två olika modellerna. Resultatet presenteras i tabellen nedan.

Läge	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)*	
	Medelvärde	Vidd
Haparanda	1,82	0,00-24,19
Stockholm	1,32	0,00-19,25
Falsterbo (grundfall)	1,11	0,00-16,78
Klimatzon 1:	1,79	0,00-23,89
Klimatzon 2:	1,60	0,00-22,08
Klimatzon 3:	1,29	0,00-18,89

*Värden presenterade utan multiplikation med säkerhetspåslagsfaktor om 1,8 ggr. Denna säkerhetspåslagsfaktor bör användas vid eventuell dimensionering.

Nyckelord

Vädring, vädringsvanor, fönster, fönsteröppning, vädringstid, enkelsidig vädring, naturlig ventilation, ventilationssystem, energianvändning, flerbostadshus, energiberäkning, simulering.

3 English summary

Title	Energy Losses due to Window Opening in Newly Built Apartment Buildings
-	A Part of the Energy Evaluation of Flagghusen in Malmö
Authors	Akram Abdul Hamid and Irfan Ibrahimovic
Supervisor	Ph.D. Birgitta Nordquist at the Division of Building Services, the Department of Building and Environmental Technology, the Faculty of Engineering, Lund University. Emma Karlsson and Jenny Wahl at WSP Environmental, Malmö.
Examiner	Lector Petter Wallentén at the Division of Building Physics, the Department of Building and Environmental Technology, the Faculty of Engineering, Lund University.
Problem description	An energy audit of Flagghusen was carried out in 2009-2010. The audit revealed the energy consumption to be higher than what was calculated in the design phase of the buildings. A survey was conducted in 2010 which revealed that the inhabitants of Flagghusen ventilate through the windows (hence: <i>airing</i> or <i>airing out</i>) frequently. Some even do it for several hours per day. That the inhabitants of an apartment building air out frequently is not a new occurrence and is not only associated with Flagghusen. An investigation was conducted in Stockholm of the behavior of the inhabitants of 393 apartments with respect to airing showed that 75% air out daily (Sandberg and Engvall, 2002, p.9). It is important to investigate the inhabitants' airing habits - so that energy losses due to airing can be estimated. A study of inhabitants' behaviour and control strategies shows that airing habits can have a major impact on energy consumption (Eriksson and Wahlström, 2001, p. 27). Today, it is not entirely clear to what degree the residents' airing habits affect energy losses for a building. It is unclear how these energy losses should be taken into account in energy calculations. A first step to clarify this is through an investigation of how this should be done and

how great the energy losses can be. This master's thesis is an attempt at just that.

Purpose

The purpose of this master's thesis is to highlight the impact of airing on energy losses in newly built apartment buildings and to develop guidelines for how airing can be associated to energy calculations during the design phase. Furthermore, this work aims to develop a method for calculating the impact of airing on energy losses. The purpose is also to obtain a value for energy losses due to airing for Flagghusen, which can be compared with SVEBY's standard value for apartment buildings – 4 kWh/m² heated area per year.

Method

The results have been achieved through a literature review, measurements and energy calculations. Input data for energy calculations has been obtained primarily through survey responses and climate data, but otherwise assumed. The inhabitants' airing habits have been analyzed through a survey and diary notes made by a selected few inhabitants.

Measurements have been conducted in one apartment in Flagghusen to examine the impact of airing on the ventilation system in new apartment buildings. The purpose of the measurements has also been to validate the scientific formulas, defined by Birgitta Nordquist, for calculating the air exchange due to airing.

Energy calculations have been carried out using a custom written Matlab-program.

Conclusions

Energy losses due to airing are complicated and difficult to determine with great certainty because of the variations of air exchange caused by temperature variations. Other factors that also vary from inhabitant to inhabitant also matter on the air exchange. Exact airing time intervals, dimensions of the window openings and airing methods differ from inhabitant to inhabitant. Thus, simplifications are needed to make the large quantities of data easier to process. Therefore the impact of wind on the air exchange and thus on the energy losses has not

been accounted for. These simplifications result in some uncertainty in the acquired results.

The study is based on the respondents' answers for questions on airing habits in Flagghusen in Malmö. Therefore it's uncertain whether the results can be applied to other apartment buildings. Although the calculation method can be applied in other cases. This is, as mentioned, because many parameters are included and vary: the temperature, the opening height and width, the part of the apartment that the outside air reaches/ airing occurs, the supply and return line temperature and heat output from the radiator.

Airing can provide a very large air flow but it is difficult to accurately determine the ventilation flows for real cases due to variations in the temperature, airing frequency, etc. Due to all these variations, it is difficult to obtain an average value for the energy losses due to airing that fully complies with reality. Therefore, the estimated value may differ greatly from individual cases.

According to our calculations, energy losses caused by airing are in average lower than SVEBY's recommended supplement of 4 kWh/year, sqm (heated area >10°C). The losses due to airing for Flagghusen have been calculated to be approximately 1.1 kWh/year, sqm RFS. With the addition of an uncertainty factor the value has been calculated to approximately 2 kWh / year, sqm RFS.

The calculation was done with two different ventilation models presented in Birgitta Nordquist's work "Window Opening in Schools." These two models are based on two different assumptions. In the first model it is assumed that the air in the room during airing isn't mixed with the indoor air which results in a lower air exchange than for the second model. In the second model it is assumed that the room air is mixed with the incoming outdoor air. These two **models** represent extremities and for the main case, we have calculated an average of the energy losses calculated with both of the models.

Model	Average (kWh/year, sqm RFS*)	Width (kWh/year, sqm RFS*)
1	0.83	0.00-12.66
2	1.38	0.00-20.90
Average	1.11	0.00-16.78

*Residential floor space.

We also calculated an average value for the two models, but we do not know if these values represent the actual energy losses. In reality the actual energy losses due to window opening lies somewhere between the two values that we have received from the two different models.

With SMHI climate data for different locations and with our newly developed model, we have also calculated a hypothetical average value for different locations and climates. These values, however, are based on the airing habits and conditions that apply to the inhabitants of *Flagghusen*. The results are presented below:

Location	Energy losses (kWh/year, sqm RFS)*	
	Average	Width
Haparanda	1.82	0.00-24.19
Stockholm	1.32	0.00-19.25
Falsterbo (main case)	1.11	0.00-16.78
Klimatzon 1:	1.79	0.00-23.89
Klimatzon 2:	1.60	0.00-22.08
Klimatzon 3:	1.29	0.00-18.89

*Values presented without correction factor of 1.8. This factor should be multiplied with the presented values in the designing phase.

Keywords

Airing, airing habits, window opening, natural ventilation, ventilation system, energy losses, energy use, apartment buildings, energy calculation, simulation, ventilation through one window opening.

4 Innehållsförteckning

1	Förord	I
2	Sammanfattning	III
3	English summary.....	VII
4	Innehållsförteckning	XI
5	Inledning	1
5.1	Bakgrund	1
5.2	Syfte	3
5.3	Metod och arbetsformer	3
5.4	Avgränsningar	3
5.5	Inblandade och deras roller	4
6	Tidigare forskning	5
6.1	Brukarindata för energiberäkningar i bostäder – SVEBY	5
6.2	Vädring i skolor – Birgitta Nordquist	5
6.3	Fönstervädring i bostäder – Karin Widegren-Dafgård	6
6.4	Inhabitants' behaviour in respect to ventilation – J.E.F. Van Dongen	6
6.5	Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i flerbostadshus – J. Eriksson & Å. Wahlström	7
7	Energiförluster pga. vädring i dagens projektering	9
7.1	Kortfattad redogörelse för hur SVEBY kom fram till det rekommenderade vädringspåslaget	11
8	Teoretisk bakgrund	13
8.1	Uppvärmning	13
8.1.1	Uppvärmningssystem i byggnader	13
8.1.2	Distributionssystem	13
8.1.3	Internvärme	15
8.2	Ventilation	15
8.2.1	Föroreningar	15
8.2.2	Värmeöverskott och värmeunderskott	16
8.2.3	Ventilationssystem	17
8.2.4	Olika luftföringsprinciper	20
8.3	Naturlig ventilation och vädring	21

8.3.1	Korsdrag och ensidig vädning	23
8.3.2	Beräkning av vädriingsflödet och dess drivkrafter	23
8.3.3	Dynamiska modeller.....	27
8.3.4	Beräkning av energiförluster pga. vädning.....	29
8.3.5	Vädriings inverkan på ventilationssystem	31
9	Enkätanalys.....	33
9.1	Kort vädriingstid vs längre vädriingstid.....	34
9.1.1	Sammanställning/Diskussion	35
9.2	Balkongdörr eller inte.....	35
9.2.1	Sammanställning/ Diskussion	36
9.3	Tolkning av enkätsvar för utvalda frågor	37
10	Dagboksanalys.....	43
10.1	Jämförelse med enkätresultat	43
11	Mätningar	45
11.1	Validering av BN-metoden	45
11.2	Flödesmätningar med hjälp av spårgas.....	45
11.2.1	Beskrivning av spårgasmetod	45
11.2.1	Mättningsförfarande i Flagghusen	47
11.2.2	Lägenhetens plan och utseende	48
11.2.3	Mättningsresultat av spårgasmätning.....	50
11.3	Beräknade värden på luftutbytet genom BN-metoden.....	58
11.3.1	Loggerdata.....	58
11.3.2	Modell 1 – ingen omblandning	61
11.3.3	Modell 2 – total omblandning.....	63
11.4	Jämförelse mellan beräknat och uppmätt luftutbyte.....	64
11.5	Mättningsresultat av från- och tilluftsflöden	66
11.5.1	Jämförelse med MEBY-schablon	67
12	Energiberäkning	69
12.1	Utförande	69
12.2	Mätstationer.....	70
12.2.1	SMHI:s Mätstationer	70

12.3	Antagna värden på indata	71
12.4	Beräkningsresultat och analys.....	71
12.4.1	Grundfall – Falsterbo/ (närmast Malmö)	72
12.4.2	Annorlunda yta	77
12.4.3	Känslighetsanalys – indata.....	79
12.4.4	Känslighetsanalys – vindens inverkan	80
12.5	Samband: Lägenhetsstorlek – vädring (grundfall).....	84
12.5.1	Regressionsanalys: Lägenhetsstorlek - Vädring	86
13	Diskussion och slutsatser.....	87
13.1	Tidigare forskning	87
13.2	Resultatens rimlighet och betydelse, felaktigheter	88
13.2.1	Sammanställning av resultatens osäkerhet	93
13.3	Jämförelser med SVEBYs rekommenderade vädringspåslag	93
13.4	Slutsatser	95
13.5	Vad kan göras?.....	96
13.6	Förslag till fortsatt forskning	96
14	Källförteckning	99
15	BILAGOR.....	103

5 Inledning

5.1 Bakgrund

Byggnadssektorn står idag för ca 40 % av totala energianvändningen inom Europa och ungefär samma förhållande gäller även för Sverige. Denna andel fortsätter att öka¹. År 2010 presenterades en övergripande strategi för EU fram till år 2020. Ett delmål i denna är en 20 % minskning av energianvändningen till år 2020 (Energimyndigheten, e). För att minska energianvändningen i byggnadssektorn avsevärt, räcker det inte att vid nybyggnation uppföra energisnåla byggnader. Även det befintliga byggnadsbeståndet måste energieffektiviseras¹.

Det finns flera olika sätt att minska energianvändningen i en byggnad, utan att samtidigt försämra komforten. Energieffektivisering av byggnader innebär mindre miljöpåverkan, lägre totalkostnad, högre bekvämlighet, försäkras mot höjda energipriser och uppfyllande av lagar och krav (Umeå Universitet, 2013).

För att uppnå bästa möjliga resultat med energieffektiviseringsåtgärder gäller det att genomföra dessa åtgärder i rätt ordningsföljd¹. Exempelvis - om de boende i ett flerbostadshus vädrar mycket är det viktigt att först undersöka varför de vädrar. Visar det sig att de vädrar mycket pga. övertemperatur så kan flera åtgärder vidtas. Till att börja med bör underhållet av ventilationssystemet överses då kanske en rensning av detta bör göras. Därefter kan en injustering av ventilationssystemet ske så att varje lägenhet får rätt temperatur, osv. Det kan även vara brister i uppvärmningssystemet som gör att övertemperaturer uppstår och dessa brister måste naturligtvis åtgärdas.

Ett försök till att uppföra nya byggnader med lägre energianvändning än vad BBR kräver är Flagghusprojektet. Flagghuset uppfördes mellan 2005-2007 och är ett bostadsområde i Västra hamnen i Malmö. Det består av 16 fastigheter som består av 630 lägenheter i form av både bostadsrätter och hyresrätter (BeBo, 2012, s.1).

Ett krav på 120 kWh/m^2 , år BRA ovan mark ställdes Flagghuset avseende energianvändningen för uppvärmning, varmvatten, fastighetsel och hushållsel. Detta krav är hårdare än det dåvarande BBR-kravet. Av en energiuppföljning som gjordes 2009-2010 framkom dock att detta krav inte har uppnåtts eftersom energi-användningen låg på 141 kWh/m^2 , år BRA ovan mark i genomsnitt. Ett fåtal byggnader hade till och med en energianvändning upp emot 50 % över beräknade värden. Utifrån enkäter som delades ut under år 2010 framkom det

¹ Elmroth, A., (2012), Föreläsning: EU-direktiv om energianvändning i byggnader – konsekvenser i kursen Energi, luft och fukt vid ombyggnad och förvaltning, vid LTH, (2012-01-19).

att brukarna vädrade mycket. Enkäten var av typ "Stockholmsenkäten" med extra tillagda frågor. Energiuppföljningen ledde till många spekulationer om varför den uppmätta energianvändningen blev högre än det projekterade och vilka orsaker det var som bidrog till det. Detta ledde till en diskussion mellan fastighetsbranschens aktörer vilken i sin tur ledde till att Malmö stad sökte och beviljades medel från BeBo för att utföra en utökad uppföljning av Flagghusen (BeBo, 2012, s.1-2).

År 2012 delades enkäter ut igen till de boende. Dessa är av typ "Stockholmsenkäten" med frågetillägg av tekn.dr. Birgitta Nordquist från LTH och WSP. Hur ofta och hur länge brukarna vädrar belyses i den analys som ingår i detta arbete baserat på dessa enkäter. Dessutom har dagboksnoteringar förts av brukarna om deras vädringsvanor för 16 lägenheter under 1-14 februari 2013.

Att de boende vädrar mycket är ingenting nytt, eller enbart förknippat med Flagghusen i Malmö. Enligt en enkätundersökning som har gjorts som en del av BETSI-projektet vädrar 20 % av de boende i flerbostadshus genom att ha ett fönster öppet hela dagen/natten och 50 % har öppet några timmar varje gång de vädrar. Av de som bor i flerbostadshus byggda mellan 1996-2005 är det 61 % som uppger att de vädrar dagligen (BETSI, 2009, s.30-31). Även en enkätundersökning gjord i MEBY-projektet visar liknande siffror. Enkätundersökningen om bl.a. vädringsvanor genomfördes för 393 lägenheter i Stockholms-området. Undersökningen visade att under vintersäsongens solfattigaste del vädrar 75 % dagligen och att 20 % vädrar genom att ha fönster/balkongdörr öppet ständigt eller hela dagen/ natten (Sandberg och Engvall, 2002, s.9).

"Normalårskorrigerering och eventuell korrigerering för avvikelse från projekterat brukande av byggnaden (... *vädring* ...) bör redovisas i en särskild utredning." (BBR, 2012, s.141)

Brukarnas vädringsvanor är en viktig faktor att utredas så att energiförluster pga. vädring kan uppskattas. En beräkningsstudie av beteende och reglerstrategier visar att vädringsvanor har stor inverkan på energianvändningen (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 27). Idag är det inte helt klart hur mycket de boendes vädringsvanor påverkar energiförlusterna för en byggnad. Det är oklart hur dessa energiförluster ska tas i hänsyn vid till exempel energiberäkningar. Ett första steg till att klargöra detta är genom en utredning och detta examensarbete är ett försök till just det.

Det bör påpekas att brukarna kan ha ett behov av att vädra. Det är därför viktigt att de ges möjlighet att påverka sitt inneklimat bl.a. genom vädring. Orsakerna till

vädning måste också undersökas, och när det gäller Flagghusen sker det i ett annat examensarbete, se avsnitt 5.4.

5.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att belysa vädringens inverkan på energianvändningen i nybyggda flerbostadshus under eldningssäsongen, samt att ta fram riktlinjer för hur vädning kan kopplas till energiberäkningar. Undersökningar och analyser av brukarnas vädringsbetingelser skall studeras som en av flera möjliga faktorer till den förhöjda energianvändningen i Flagghusen.

Vidare syftar arbetet till att utveckla en metod för beräkning av vädringens inverkan på energiförlusterna. Metoden skall i sin tur gå att använda för att uppskatta/beräkna de energiförluster som uppstår på grund av vädning.

Syftet är även att ta fram ett värde som motsvarar de energiförluster som vädringen bidrar till i Flagghusen och som kan jämföras mot SVEBYs schablonvärde för bostäder - $4 \text{ kWh/m}^2, \text{ år } A_{\text{temp}}$.

5.3 Metod och arbetsformer

Litteraturstudier och informationssökning gjordes i början av examensarbetet. Därefter gjordes en fallstudie i form av en analys av de enkäter som brukarna har besvarat för att bilda en uppfattning av vädringens omfattning. Enkäterna har sammanställts av civilingenjörsstudenterna Akram Abdul Hamid, Victor Fransson och Ola Lindberg.

För att använda enkätsvaren till beräkningen behövdes en tolkning göras. Denna baserades på statistiska metoder och ingenjörsmässiga antaganden. De värden som framställdes av tolkningen utgjorde, tillsammans med klimatdata, grunden till beräkningen av energiförlusten via vädning för varje lägenhet som ingick i studien. Beräkningarna har gjorts i Matlab och baseras på analytiska formler för vädringsflöde.

Vad som finns utfört tidigare i ämnet har belysts och analyserats i en jämförelse.

5.4 Avgränsningar

Examensarbetet begränsas till nybyggda flerbostadshus. Detta eftersom vädringsbetingelserna kan skilja sig mellan boende i nybyggda flerbostadshus och boende i äldre flerbostadshus. Arbetet begränsas även till enbart *vädningens* inverkan på energianvändningen under uppvärmningssäsongen eftersom det är under denna period som vädringen orsakar energiförluster.

För att göra det möjligt att arbetet genomförs under den för examensarbetet avlagda tiden på 20 veckor, har vi varit tvungna att bortse från vissa parametrars

inverkan på energiförluster pga. vädring. Därför har vi inte tagit hänsyn till vindens inverkan på luftutbytet på grund av vädring. Vi har även bortsett från effekten av nedkylning av ytor, samt internvärme.

Energiförluster pga. vädring beräknas enbart utifrån enkätsvar för de brukare som vädrar ensidigt då det är denna typ av vädring som har den största inverkan på energiförlusterna, medan korsdrag under kort tid ger enbart obetydliga energiförluster.

Fallstudien har endast skett för respondenternas vädringsvanor i Flagghusen i Malmö. Det är därför svårt att med säkerhet säga om resultatet kan tillämpas för andra bostäder.

Orsaker till brukarnas vädringsvanor i Flagghusen har inte undersökts av oss. Detta sker istället i ett annat examensarbete av Victor Fransson och Ola Lindberg.

Beräkningar av energiförluster har endast skett i Matlab och inga andra program. Energiberäkningar begränsas till ensidig vädring, anledningen till detta förklaras under avsnitt 8.3.1.1.

5.5 Inblandade och deras roller

Malmö stad är beställare till den energiutredning som har gett upphov till detta examensarbete. BeBo är den myndighet som har bidragit med medel till energiutredningen (BeBo, 2012, s.1-2).

Akram Abdul Hamid och Irfan Ibrahimovic har agerat som examensarbetare. De har studerat på civilingenjörsprogrammet i väg- och vattenbyggnad på Lunds Tekniska Högskola (refereras härmed endast som "LTH" i denna text). Examensarbetarna har haft till uppgift att utföra examensarbetet enligt anvisningar från handledarna samt krav från examinatorn och LTH.

Tekn.dr. Birgitta Nordquist har agerat som huvudhandledare från LTH. Jenny Wahl och Emma Karlsson, energiingenjörer från WSP, har agerat som biträdande handledare. LTH har bidragit med utrustning för mätningar. WSP har bidragit med kontaktuppgifter till de boende i den lägenhet där vi har utfört mätningarna.

Universitetslektor Petter Wallentén från LTH har agerat som examinator och är den som har godkänt ämnet till examensarbetet.

6 Tidigare forskning

I våra litteraturstudier och vår informationssökning kring vädring har vi hittat ett fåtal arbeten som har en tydlig koppling till det vi har undersökt i detta examensarbete. Under denna rubrik beskrivs kortfattat dessa arbeten och deras resultat.

6.1 Brukarindata för energiberäkningar i bostäder – SVEBY

SVEBY står för ”Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader” och är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen. SVEBY-programmet har till syfte att säkerställa branschanpassat underlag för energianvändning, från beräkningar i tidiga skeden till verifierade uppmätta värden efter två års användning. Kortfattat är SVEBY-programmet branschens tolkning av de funktionskrav på energihushållning som finns i Boverkets Byggregler, BBR. Syftet med detta projekt har varit att ta fram, sammanställa och förankra brukarrelaterade indata till energiberäkningar i form av en vägledande anvisning (SVEBY, 2009, s. 1).

SVEBY-rapportens vädringsvanor baseras på tre olika studier, där MEBY-projektet är det största. MEBY-projektet genomfördes som en enkätundersökning om bl.a. vädringsvanor för 393 lägenheter i Stockholmsområdet (SVEBY, 2009, s. 14).

När det gäller vädringens inverkan på energiförluster har tre olika sätt att mata in inverkan av vädringsvanor provats i projektet: a) Energipåslag på byggnadens energiprestanda (specifika energianvändningen), b) som en ökning av byggnadens luftläckage och c) som en ökning av det fläktstyrda ventilationsluftflödet. De olika inmatningsmetoderna har kalibrerats med Enorm-programmet för att stämma överens med den bedömning av ökad luftomsättning som utfördes. Enligt rapporten är det rekommenderade påslaget pga. vädring $4 \text{ kWh/m}^2, \text{år } A_{temp}$. Påslaget görs efteråt, dvs. på framräknad energiprestanda (SVEBY, 2009, s. 12).

När det gäller själva vädringsbeteendet poängteras det i rapporten att både variationen och osäkerheterna är stora, dels hur mycket och hur länge de boende vädrar, dels vilken ökning av luftomsättningen som erhålls av detta. Enligt en beräkningsstudie av beteende och reglerstrategier har vädringsvanor stor inverkan på energianvändningen (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 27).

6.2 Vädring i skolor – Birgitta Nordquist

Ett för oss väldigt intressant och användbart tidigare arbete är en licentiatavhandling av Birgitta Nordquist. Projektet påbörjades under hösten 1996 vid Lunds tekniska högskola och i maj år 1998 skrevs denna licentiatavhandling klar. Det övergripande syftet var att studera vädring och dess tillämpning i

skollokaler. I detta ingick att undersöka luftutbytet vid vädring av en lokal, vädringens påverkan på ventilationssystemet och brukarnas inställning till vädring. Vädringens inverkan på lokalens termiska klimat har dock inte studerats (Nordquist, 1998, s. 9-17).

I vårt examensarbete använder vi Birgitta Nordquists avhandling som en viktig grund och referens. Våra beräkningar och mätningar baseras på just den teori som finns presenterad i avhandlingen. Det är kapitel 2 i avhandlingen (*Teori – Luftutbyte genom enkelsidig vädring*) som är den mest intressanta delen för vårt examensarbete. I den första delen av kapitlet redovisas de teorier som behandlar luftens rörelser vid vädring. Huvuddelen av kapitlet behandlar problemställningen om de drivkrafter som orsakar ett luftutbyte mellan två volymer genom en större öppning. Det kan vara en öppning mellan två intilliggande rum eller öppning mellan ett rum och den omgivande uteluften (Nordquist, 1998, s. 37-38). De formler för vädringsflödet som våra resultat baseras på kommer just från kapitel 2 i denna avhandling.

6.3 Fönstervädring i bostäder – Karin Widegren-Dafgård

Ett tidigare arbete som har en tydlig koppling till vårt examensarbete är en rapport skriven av Karin Widegren-Dafgård med titeln "*Fönstervädring i bostäder*". Rapporten diskuterar energibehovet vid förekommande fönstervädring, samt fönstervädringens inflytande över rumsklimatet. Rapporten berör även fönstervädringens omfattning och orsaker med utgångspunkt från preliminära resultat av en undersökning angående vädringsvanor som genomförts under vintern 1979-1980 (Widegren-Dafgård, 1981).

6.4 Inhabitants' behaviour in respect to ventilation – J.E.F. Van Dongen

Denna rapport beskriver tillvägagångssättet och det erhållna resultatet av en omfattande utredning som har gjorts med hänsyn till brukarnas vädringsbeteende. Utredningen omfattade fem projekt i olika städer i Nederländerna. Det huvudsakliga syftet med projekten var bedömning av brukarnas beteende och deras motiv kring vädring samt dess relation till klimatförhållandena inne och ute. Syftet var även att studera brukarnas beteendeförändring till följd av utdelad information och instruktioner samt att uppskatta energiförluster orsakade av dessa beteendeförändringar (Van Dongen, 1986, s. 67-68).

Utredningen omfattade totalt 279 bostäder varav 209 enfamiljshus och 70 lägenheter i flerbostadshus. Informationen om brukarnas beteende och åsikter kring vädring har erhållits genom omfattande muntliga intervjuer av de boende

samt dagboksnoteringar som har använts i tre av fem projekt. Intervjuer innehöll frågor om varför brukarna vädrar samt detaljerade frågor om hur länge, hur ofta och med hur stor öppning dem vädrar (Van Dongen, 1986, s. 67-68).

Resultatet av denna omfattande studie visade att brukarna för det mesta vädrade pga. behov av "frisk luft". Även behov av att vädra bort tobaksrök samt lukt från matlagning nämndes som orsaker till vädring. Det som framkom som viktigaste orsaker till att inte vädra var tillfredställande inomhusklimat, tillfredsställande luftkvalité och problem med drag pga. vädring (Van Dongen, 1986, s. 77-78).

6.5 Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i flerbostadshus – J. Eriksson & Å. Wahlström

Denna rapport har skrivits som en del av forskningsprojektet EFFEKTIV. Syftet har varit att kartlägga några av de parametrar som påverkar energianvändningen i flerbostadshus och försöka identifiera den reglerstrategi som passar bäst till ett visst beteende (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 1). Studien har strukturerats så att basen utgjordes av beräkning av den totala energianvändningen vid variation av följande tre parametrar:

- Fyra beteendeprofiler
- Orientering av lägenheten i fyra väderstreck
- Tre regleralgoritmer

Varje enskild beteendeprofil bestod av ett antal delprofiler och av dessa har fönstervädringen och användningen av hushållsapparater specialstuderats i en extra parameterstudie (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 3).

I rapportens sista delar diskuteras resultat från studien. Det poängteras bland annat att vädringsstrategin har i studien visat sig ha stor inverkan på energianvändningen vilket borde enligt författarna studeras vidare. Det påpekas att det hade varit intressant att studera verkliga vädringsbeteenden (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 27).

Slutsatsen i rapporten är att en regelstrategi med reglerande återkoppling på uppvärmningssystemet har störst potential att ge jämnt och för de flesta acceptabelt inomhusklimat (Eriksson och Wahlström, 2001, s. 31).

7 Energiförluster pga. vädring i dagens projektering

Vädringens inverkan på energiförluster tas till hänsyn på olika sätt vid projektering idag. Det finns alltså ingen branschstandard gällande vädringens inverkan på energianvändningen. Nedan presenteras några olika sätt som enligt SVEBYs rapport *Brukarindata till energiberäkningar i bostäder* förekommer i branschen. I rapportens avslutande delar diskuteras vilket av dessa sätt är den lämpligaste att använda och varför.

Beroende på inmatningsmöjligheten som finns i olika beräkningsprogram kan ökad luftomsättning på grund av vädring, dvs. vädringspåslaget, uttryckas på tre olika sätt:

- som ett schablonpåslag på framräknad energiprestanda (specifika energianvändningen)
- som ökade flöden genom otätheter
- som en ökning av det fläktstyrda luftflödet

Påslag enligt den förstnämnda metoden rekommenderas i SVEBYs rapport då det är oberoende av energiberäkningsprogrammets olika inbyggda schabloner. Det rekommenderade påslaget är $4 \text{ kWh/m}^2, \text{år } A_{\text{temp}}$ och görs efteråt på beräkningsresultatet. Eftersom underlag för vädringsvanor i småhus saknas, gäller samma schablonpåslag för både flerbostadshus och småhus. Vädringsvanor kan dock skilja sig åt markant för dessa två olika bostadsformer (SVEBY, 2009, s.12).

Enligt SVEBY (2009, s.13) har rekommendationer för påslag till vädring påträffats i några andra beräkningsanvisningar. Dessa nämner vi kortfattat nedan:

- NCC använder i sina beräkningsanvisningar för Enorm-programmet en förhöjd otäthetsfaktor på $1,4 \text{ l/s, m}^2$ vid en tryckskillnad på 50 Pa . Detta motsvarar ett genomsnittligt luftflöde på ca 7 l/s för småhus och 3 l/s för lägenhet. Värdet bygger på ingenjörsmässiga antaganden. På detta sätt ökar inte fläktelen på grund av vädringen.
- I beräkningsanvisningar för Hammarby Sjöstad 2006 och för Skanska, ska $7 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}$ i påslag på energianvändningen användas för vädring och forcerad ventilation (ca 1 timme per dag). Bakgrund till detta värde är okänd.
- Beräkningsanvisningar för småhus har tagits fram av SP på uppdrag av STR (Sveriges Trähusfabrikanter) 2007. Dessa anvisningar innehåller ingenjörsmässiga antaganden, där vädringen utförs som ett påslag på kökskåpens forceringsflöde med 60 l/s under en timme per dag under årets kallaste fjärdedel.

WSP tar hänsyn till energiförluster pga. vädring genom att lägga till ett påslag av 4 kWh/ m² A_{temp} på framräknad energiprestanda. Detta grundar de på SVEBY-rapportens rekommendation².

VIP-Energys programvarutillverkare förordar att lägga till ett litet luftflöde utöver ordinarie ventilation och avråder från att lägga till ett energipåslag på framräknad energiprestanda. Enligt VIP-Energy kan det aldrig bli "rätt" då det inte tar hänsyn till solfångare, värmepumpar eller en rad andra faktorer som påverkar energianvändningen (VIP-energy, a). För flerbostadshus och småhus skall vädringen enligt VIP-energy simuleras med ett FT flöde på 0,025 l/s, m² (VIP-energy, b).

Examensarbetarnas reflektioner

Alla dessa metoder att ta hänsyn till vädring i dagens projektering är bristfälliga på olika sätt. Det är sällan så att de värden som anges är baserade på mätningar och noggranna beräkningar. Oftast baseras värdena istället på olika uppskattningar och antaganden om vädringsvanor eller vädringsflöden. Vädring kan ge mycket stora luftflöden men det är svårt att noggrant bestämma vädringsflöden för verkliga fall pga. variationer för utetemperaturen, vädringsfrekvens, vädringstid etc. Till följd av alla dessa variationer är det svårt att få fram ett medelpåslag som överensstämmer helt med verkligheten. Därför kan beräknade vädringspåslag skilja sig stort från vissa enskilda fall.

För att illustrera vilka flöden som kan erhållas genom ett fönster (1x1 m) pga. vädring redovisas tabellen nedan. Temperaturerna inne och ute är antagna för tre olika fall medan flödet har beräknats enligt formler från Nordquists licentiat avhandling (Nordquist, 1998, s. 41-42).

Tabell 1: Vädringsflöden vid olika temperaturskillnader, 1x1 m öppning.

T_{inne} (°C)	T_{ute} (°C)	q_{in} (l/s)
21	0	285
21	10	207
21	20	61

² WSP, mejlkonversation med Emma Karlsson (2013-04-18).

7.1 Kortfattad redogörelse för hur SVEBY kom fram till det rekommenderade vädringspåslaget

SVEBY rekommenderar att ett vädringspåslag på 4 kWh/år , $\text{kvm } A_{temp}$ adderas på framräknad energiprestanda för att på så sätt ta hänsyn till energiförluster pga. vädring. För att komma fram till det rekommenderade vädringspåslaget har SVEBY jämfört det insamlade materialet genom att använda de olika antagandena i ett och samma energiberäkningsprogram, Enorm 2004, på ett referensobjekt. På detta sätt tydliggjordes skillnaderna mellan de olika antagandenas inverkan enligt SVEBY.

Referensobjektet hade utan vädringens inverkan på energianvändningen uppskattats ha ett energibehov på 116 kWh/kvm . Energiberäkningar gjordes för två fall. För detaljerade beräkningar och förklaringar hänvisar vi till SVEBY (2009, s.32-34).

Tabell 2: Kortfattad sammanställning över beräkningsförfarande i SVEBY.

Olika metoder som SVEBY har använt sig av för beräkning av vädringspåslaget			
Fall 1: Förutsättningar enligt MEBY-projektet		Fall 2: Förutsättningar enligt LTH-beräkning	
Metod	Resultat [kWh/m ²]	Metod	Resultat [kWh/m ²]
MEBY-metod med vädringsindex används för att beräkna ökat luftflöde pga. vädring och sedan energibehovet. Statistik enligt MEBY.	3	BN-metod (ökat frånluftsflöde).	6
NCC-metod med ökade otätheter används för att beräkna ökning av energibehov vid vädring. Statistik enligt MEBY.	2	BN-metod i kombination med statistik enligt NCC (Stockholm).	9
		NCC-metod (ökat läckageflöde).	4
		NCC-metod (ökat läckageflöde) i kombination med statistik enligt NCC (Stockholm).	7

Enligt sammanställningen ovan ser vi att resultatet varierar avsevärt beroende på vilken metod och vilken vädringsstatistik som används.

8 Teoretisk bakgrund

Under denna rubrik beskrivs den teori som ligger till grund för arbetet. Detta för att läsaren lättare ska kunna förstå det som har gjorts och varför. Dessutom för att läsaren ska få en inblick i hur uppvärmningssystem, ventilationssystem och vädring fungerar och varför de finns. Detta för att förstå eventuella bakomliggande orsaker till vädring och de problem som kan uppstå med inneklimatet vilka leder till vädring och ytterligare energiförluster.

8.1 Uppvärmning

8.1.1 Uppvärmningssystem i byggnader

För att uppnå energibalans i en byggnad då ett värmeunderskott råder krävs att värmeförlusten balanseras av ett lika stort värmetillskott (Ruud, 2003, s. 5). Ett system för värmetillförsel till byggnadens olika rum behövs för att täcka rummens varierande värmebehov. Detta system för värmetillförsel består av fyra huvuddelar (Abel och Elmroth, 2008, s. 93):

- System för värmeförsörjning
- System för fördelning och distribution av värme
- Värmare som överför värmen till rummet
- System som styr värmetillförseln, värmedistribution och värmeavgivning

8.1.1.1 Värmeförsörjning

Det finns många olika alternativ för att försörja byggnader med värme. Dessa huvudtyper kan urskiljas (Abel och Elmroth, 2008, s. 93-94):

- Värmealstring i bygganden genom förbränning i egen panna med fossilt bränsle (stenkol, olja, naturgas) eller med biobränsle (ved, pellets, träflis).
- Värmealstring i byggnaden genom omvandling av elektrisk energi till värme genom *direktel*, *elpanna* eller *värmepump*.
- Värmeförsörjning utifrån; från en *värmecentral* som försörjer flera byggnader eller *fjärrvärme* som försörjer ett samhälle.
- Solvärme genom användning av solfångare som kan vara ett komplement till annan värmeförsörjning.

8.1.2 Distributionssystem

Värme för uppvärmning kan distribueras i byggnaden med vatten, dvs. *vattenburen värme* eller luft, dvs. *luftburen värme* (Energimyndigheten, d) samt som direktverkande el, enligt Ruud (2003, s. 6). När det handlar om mycket välisolerade byggnader är ett problem att det kan bli för varmt inomhus under stora delar av året. Det är därför viktigt att det finns väl genomtänkta lösningar

för utvädring av värmeöverskottet utan att det uppstår kallstråk och drag (Abel och Elmroth, 2008, s. 96).

8.1.2.1 Vattenburen värmedistribution

Värmedistribution med vatten som värmebärare ger det mest flexibla systemet som passar de flesta värmekällor (Energimyndigheten, d). System med cirkulerande varmvatten och radiatorer för rumsvärmning har varit helt dominerande i områden med kallt vinterklimat. Det är driftsäkra system som kan fungera utan problem 40-50 år eller mer och är i princip ljudlöst (Abel och Elmroth, 2008, s. 95). De vanligaste rumsvärmarna utgörs av varmvattenradiatorer och golvvärme som är vanligt i småhus (Ruud, 2003, s. 6). Den traditionella styr- och reglertekniken för vattenburen värme kan, trots sina brister, hantera de boendes vädringsbeteende på ett bra sätt (Ruud, 2003, s. 7).

8.1.2.2 Luftburen värmedistribution

En annan möjlig lösning till värmedistribution i rummen är tillförsel av ventilationsluft med övertemperatur. I detta fall är det luften som är värmebärare (Energimyndigheten, d). Fördelen med detta system är att det är snabbverkande samt enkelt och relativt billigt (MBIO-energiteknik). En nackdel med det luftburna värmesystemet är att det är svårt att få det helt tyst. En annan nackdel är att det finns risk för sämre luftkvalitet då kortslutning kan inträffa när tilluften tillförs vid tak eftersom tilluften kan få en begränsad omblandningsförmåga med rumsluften. Detta värmesystem kräver mer skötsel och underhåll än ett vattensystem (Abel och Elmroth, 2008, s. 96). I det luftburna värmesystemet är det vanligt med en elektrisk värmare i tilluften, ett s.k. värmebatteri. Då all tilluft får samma temperatur kan det bli problem med temperaturfördelningen mellan rum vilket kan innebära att det uppstår en störande temperaturskillnad mellan rummen (Abel och Elmroth, 2008, s. 96).

8.1.2.3 Direktverkande el

Normalt levereras direktverkande el via ett gemensamt abonnemang tillsammans med hushållselen. Fördelen med detta värmesystem är att det ger ett billigt internt distributionssystem som inte kräver något särskilt extra utrymme. Nackdelen är att de billigaste och vanligaste styr- och reglerutrustningarna inte kan hantera de boendes beteende med avseende på fönstervädring på ett energieffektivt sätt. En ytterligare nackdel med direktverkande el är att den binder brukaren till en typ av "energikälla". De vanligaste rumsvärmare utgörs av radiatorer/konvektorer, oljefyllda slutna radiatorer, slutna "luft"-radiatorer, golvvärme i badrum etc. (Ruud, 2003, s. 6).

8.1.3 Internvärme

Inte all värmeförsörjning i en byggnad kommer från värmesystemet. En del av värmen alstras i själva byggnaden och kommer från människor, hushållsapparater, belysning, solinstrålning osv. Denna typ av värme kallas internvärme eller "gratisvärme" (Dahlblom och Warfvinge, 2010, s. 3:13).

8.2 Ventilation

Med ventilation menas att ett luftutbyte sker och luften inomhus ersätts med uteluft. Ventilation används för att skapa en tillfredsställande luftkvalitet inomhus och för att reglera temperaturen (Nordquist, 1998, s.28).

Ventilation utförs främst för att transportera bort föroreningar så snabbt som möjligt från det ventilerade rummet (Svensson, 1995, s.1).

8.2.1 Föroreningar

Nedan beskrivs kortfattat de föroreningar, samt deras föroreningskällor, som finns inomhus och som Dahlblom och Warfvinge (2010, s.1:19-1:26) skriver om i boken *Projektering av installationer i byggnader*:

- **Fukt:** Tillskott av fukt kommer från människor och processer som matlagning, tvätt och dusch. För låg eller för hög *relativ luftfuktighet* kan orsaka olika besvär beroende på fallet (se Dahlblom och Warfvinge, 2010).
- **Koldioxidhalt:** Ökar med antalet människor och djur samt den aktivitet som utförs. Används som mått på luftkvalitet eftersom den är lätt att mäta och ökar i samma takt som andra föroreningar producerade av människor. Vid höga halter av koldioxid kan bl.a. problem uppstå med syreupptagningsförmågan.
- **Lukt:** T.ex. från människor, djur och matlagning. Kan vara obehagligt men har ingen giftverkan.
- **Radon:** En ädelgas som beräknas orsaka cirka 500 dödsfall genom lungcancer årligen. Kommer från vissa marklager, byggnadsmaterial och grundvatten.
- **Tobaksrök:** Irriterar slemhinnor och har en besvärande lukt som fastnar i möbler.
- **Damm:** Partiklar och fibrer utifrån och från personer, kläder, husdjur, byggmaterial och aktiviteter inomhus. Innehåller allergener som kan besvära allergiker.
- **Kvalster:** Lever på den människohud som finns i dammpartiklar. Kvalster [deras avföring] kan ge upphov till astma och andra allergiska besvär. Kvalster trivs vid hög luftfuktighet.

- **Biologisk tillväxt:** Här ingår alger och mögel som kan orsaka lukt, infektioner och allergiska besvär. Dessa trivs också vid hög luftfuktighet.
- **Ozon:** Höga halter ozon kan irritera andningsvägarna (Miljömål, 2013). Utomhus bildas ozon från bilar avgaser och inomhus kan ozon bildas från elektriska apparater såsom laserskrivare.
- **Emissioner från byggnadsmaterial och inredning:** Med emissioner menas kemiska ämnen som avges från byggmaterial och förorenar inneluften. Dessa ämnen kan orsaka besvär såsom ögon-, näs- och halsirritation, torrhetsskänsla i slemhinnor och hud, med mera.

En ytterligare förorening som finns inomhus är **uteluften** som kan vara förorenad av trafikavgaser, partiklar etc.³

Enligt BBR ska bostäder formas så att god luftkvalitet uppnås i rum där människor vistas mer än tillfälligt. De krav som ställs på luftkvaliteten ska bestämmas utifrån rummets avsedda användning. Koncentrationen av föroreningar i luften får inte medföra negativa hälsoeffekter eller besvärande lukt. Halten av föroreningar i tilluften får inte vara högre än de gränsvärden som finns för uteluft. Det lägsta uteluftsflödet ska vara minst 0,35 l/s per m² och rum ska kunna ha en kontinuerlig luftväxling när de används. BBR rekommenderar att kvaliteten på tilluften säkerställs genom lämplig placering och utformning av uteluftsintagen. Uteluftsintagen bör placeras så att föroreningskällor, såsom trafikens avgaser, minimeras (BBR, 2012, s.91-92).

8.2.2 Värmeöverskott och värmeunderskott

För att erhålla ett gott och komfortabelt inomhusklimat måste det termiska klimatet vara tillfredsställande. När det är låga temperaturer utomhus under den kalla årstiden uppstår det *värmeunderskott* i huset som måste kompenseras. Värme måste då tillföras för att åstadkomma en behaglig inomhustemperatur. *Värmeunderskott* råder då värmeförlusten genom klimatskärmen är större än den interna värmeutvecklingen (Abel och Elmroth, 2008, s. 88-89).

Under den varma årstiden kan det bli för hög inomhustemperatur än vad som kan tillåtas för att åstadkomma en god termisk komfort. Det sägs att *värmeöverskott* råder vilket innebär att värmen måste föras bort för att det termiska klimatet skall vara tillfredsställande. *Värmeöverskott* råder då den interna värmeutvecklingen är större än värmeförlusten genom klimatskärmen (Abel och Elmroth, 2008, s. 88-89).

³ Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.

*Internvärm*et är, som redan har nämnts, det värme som tillförs byggnaden från människor, hushållsapparater, belysning osv. (Abel och Elmroth, 2008, s. 88-89).

Förutom att föra bort föroreningar och tillföra frisk luft till rummen kan ventilationssystemet också ta hand om värmeöverskott och värmeunderskott. Vid rådande värmeöverskott i byggnaden kan underkyld luft tillföras till rummen så att värmeöverskottet förs bort. Vid värmeunderskott å andra sidan, kan tilluften värmas och tillföras rummen så att värmeunderskottet kompenseras (Abel och Elmroth, 2008, s. 96-99).

Övertemperatur eller värmeöverskott i nyare, välisolerade byggnader med stora glaspartier kan ofta uppstå under sommaren pga. inverkan av solinstrålningen. Detta är ett särskilt problem i kontorsbyggnader (Abel och Elmroth, 2008, s. 91-92).

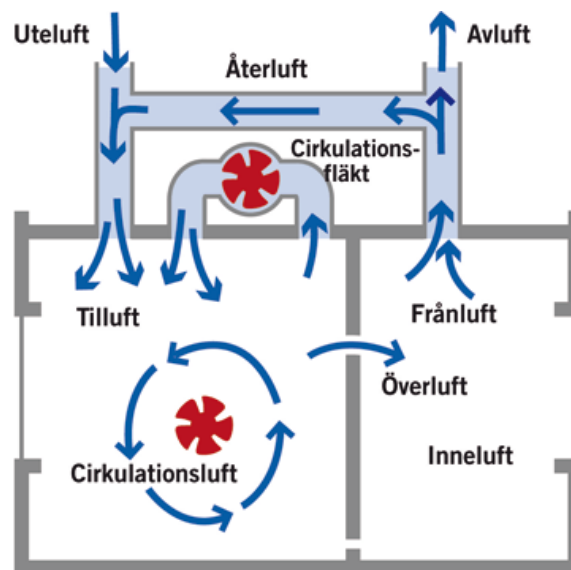
8.2.2.1 Balanstemperatur

Den utetemperatur vid vilken värmeförlusten ut från rummet är lika stor som den interna värmeutvecklingen, benämns *balanstemperatur* (Abel och Elmroth, 2008, s. 90).

8.2.3 Ventilationssystem

För att kunna beskriva de olika ventilationssystem som finns i flerbostadshus förklaras först de flödesbegrepp som används. Med hjälp av Dahlbloms och Warfvinges (2010, s. 2:2-2:3) samt Arbetsmiljöverkets (2013) definition av dessa flödesbegrepp görs ett försök till att klargöra dem:

- **Uteluft:** Tillförs byggnaden genom *uteluftsintagen*.
- **Tilluft:** [Uteluften] Kommer in i rummet genom *tilluftsdonen*. Beroende på systemet, som t.ex. i ett mekaniskt system, kan denna luft ha passerat igenom ett filter samt genomgått en uppvärmnings- eller en nedkylningsprocess.
- **Cirkulationsluft:** Luften som cirkulerar i ett rum.
- **Överluft:** Passerar mellan rum genom en springa eller ventil i den övre delen av dörrkarmen.
- **Frånluft:** Sugs ut från rummet genom *frånluftsdonen*.
- **Avluft:** [Frånluften] Lämnar byggnaden i *avluftshuvar*. Beroende på systemet, som t.ex. i ett mekaniskt system, har denna luft oftast passerat igenom ett filter och ibland även en nedkylningsprocess.
- **Infiltrerad luft/ luftläckage** (tillägg): Luft som läcker in igenom otätheter i klimatskalet.



Figur 1: Bild tagen från Arbetsmiljöverkets (2013) ordlista. Bilden illustrerar olika luftflödesbegrepp.

När det gäller ventilationssystem i bostäder är självdragsventilation vanligt i befintliga byggnader medan det i nya byggnader är vanligast med från- och tilluftsventilation och frånluftsventilation. Självdragsventilation förekommer i regel inte i nya byggnader⁴.

8.2.3.1 Självdragsventilation

Självdragsystem fungerar genom att den varma och förorenade rumsluften stiger i frånluftskanalerna på grund av densitetsskillnaden gentemot uteluften. Det därigenom skapade undertrycket suger in uteluften genom uteluftsventiler, springor eller otätheter. Uteluftsventilerna är normalt placerade i vardagsrum och sovrum och frånluftsdon i badrum, kök, tvättstuga och klädkammare.

Drivkrafterna för självdragssystemet är termiska stigkrafter på grund av temperaturskillnader och vinden (Dahlblom och Warfvinge, 2010, s.2:8-2:11). Systemet saknar fläkt och fungerar bäst under vintern då temperaturskillnaden mellan inne och ute är som störst (Energimyndigheten, a). Denna typ av ventilationssystem förekommer inte i nya hus vilket även gäller Flaggghuset.

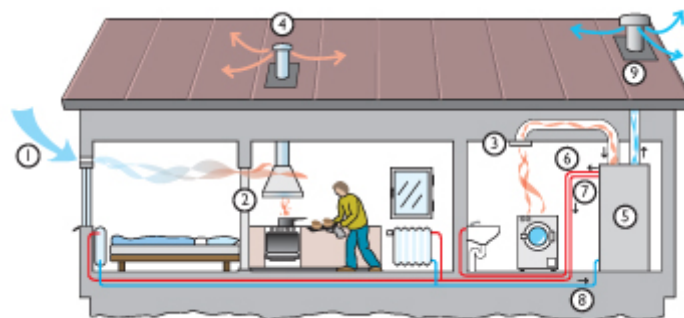
⁴ Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.



Figur 2: Schematisk bild över självdragssystemets funktion (Energimyndigheten, a).

8.2.3.2 Frånluftsventilation och FVP-system

I ett frånluftsventilationssystem skapas ett undertryck med hjälp av en frånluftsfläkt. Lufttillförsel sker via uteluftsventiler som är placerade i vardagsrum och sovrum medan frånluft tas ut via frånluftsdon i kök och våtutrymme. Frånluftssystem som kompletteras med en frånluftsvärmepump byter namn till FVP-system (Dahlblom och Warfvinge, 2010, s.2:12-2:15). Undertrycket som skapas då frånluftsfläkten ständigt är igång säkerställer att luften tar rätt väg in och ut genom huset. Bakdrag och övertryck, som är exempel på nackdelar med självdragssystem, undviks (Energimyndigheten, b).



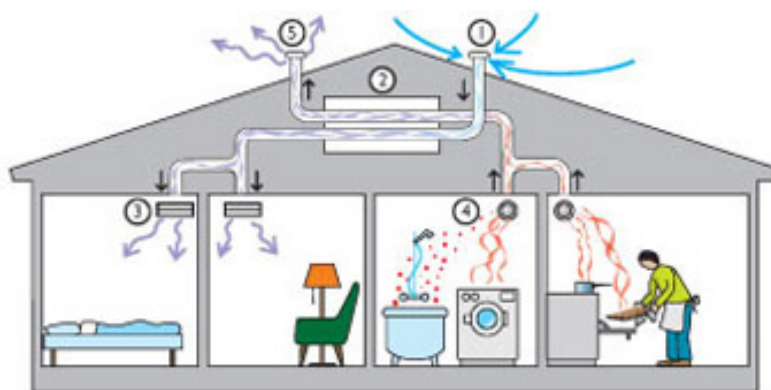
Figur 3: Schematisk bild över frånluftssystemets funktion (Energimyndigheten, b).

8.2.3.3 FT- och FTX-system

I till- och frånluftssystemet med värmeåtervinning, som betecknas FTX, tas uteluften oftast in i byggnadens översta delar, dvs. där förutsättningarna är bäst att den är ren. I FTX-aggregatet kan luften filtreras, värmas och eventuellt kylas. Här behövs det två kanalsystem, ett för tilluft och ett för frånluft. FTX-system utan värmeåtervinning kallas FT-system (Dahlblom och Warfvinge, 2010, s.2:15-2:16).

FTX-system kan tillföra stora mängder ventilationsluft och fungerar oberoende av väderleken. Dessa typer av ventilationssystem är energieffektiva (Energimyndigheten, c). I ett FTX-system råder det vanligtvis balans mellan

tilluftsflödet och frånluftsflödet, dvs. inget undertryck eller övertryck råder. Ur fuktskadesynpunkt är det dock bättre med undertryck så att luften sugas in via otätheter i klimatskalet och inte pressas ut då luften kan kondensera i väggar eller tak när den kyls ner.



Figur 4: Schematisk bild över FTX-systemets funktion (Energimyndigheten, c).

8.2.4 Olika luftföringsprinciper

Det finns huvudsakligen tre luftföringsprinciper som gäller vid FT-system och dessa är *envägsströmning* eller *kolvströmning*, *omblandande ventilation* och *termiskt styrd ventilation* (Svensson, 1995, s. 18). I detta avsnitt beskriver vi endast de luftföringsprinciper som kan relateras till vädring i bostäder.

8.2.4.1 Omblandande ventilation

Den omblandande ventilationen innebär att luften tillförs med hög hastighet vid tak eller vägg så att relativt kraftiga luft rörelser uppstår. Detta gör att normalt förekommande föroreningar som finns i rumsluften blir fördelade och lika med förhållandena i frånluften. Fullständig omblandning är inte möjligt att åstadkomma i praktiken vilket gör att luftutbyteseffektiviteten för denna luftföringsprincip är 50 %. Omblandande ventilation är lämplig att använda då stora värmelaster skall föres bort (Svensson, 1995, s. 18-20).

8.2.4.2 Termiskt styrd ventilation

Beroende på placering av till- och frånluftsdon kan den termiskt styrda ventilationen delas in i *deplacerande ventilation* och *utjämnande ventilation* (Svensson, 1995, s. 19).

Deplacerande ventilation kännetecknas av att det inte sker någon nämnvärd omblandning av rumsluften i tilluften från tilluftsdonet. Detta åstadkoms då tilluftsdonet är placerad vid eller nära golvet så att kyld luft tillförs rummet vid golvnivå. Eftersom den varmare rumsluften har lägre densitet än tilluften stiger

den upp och evakueras vid takytan. Deplacerande ventilation är lämplig att använda då föroreningssituationen kräver ett effektivt system för borttransport av föroreningarna. Luftutbyteseffektiviteten är ca 60 % vid praktisk drift vilket innebär att denna typ ger bättre luftkvalitet i vistelsezonen än omblandande ventilation (Svensson, 1995, s. 19-20).

Utgjämmande ventilation kännetecknas av att en viss omblandning åstadkoms i hela eller delar av rummet. Detta eftersträvas för att få en jämnare temperaturfördelning i vistelsezonen. För att åstadkomma detta kan den kylda luften tillföras rummet från en hög nivå i lokalen, t.ex. från tak eller ett don högt placerat på väggen. Denna typ av luftföringsprincip är lämplig att använda då måttliga värmelaster skall bortföras. Luftutbyteseffektiviteten på mellan 50 % och 60 % kan erhållas i praktiken. Denna typ av luftföringsprincip används sällan (Svensson, 1995, s. 19-22).

8.3 Naturlig ventilation och vädring

Naturlig ventilation sker genom att luft flödar genom relativt stora och avsiktliga öppningar i fasaden (Nordquist, 1998, s.28). Sådana öppningar kan vara fönsteröppningar, dörröppningar eller särskilda vädringsluckor. Enligt BBR (2012, s.92) definieras en vädringslucka som en "öppningsbar lucka vars enda uppgift är att öppna en passage för luft genom klimatskalet för tillfällig vädring".

BBR ställer krav på att vädringsmöjligheter ska finnas i bostäder. BBR säger att "rum eller avskiljbara delar av rum i bostäder avsedda för daglig samvaro, matlagning, sömn och vila samt rum för personhygien, ska ha möjlighet till *forcerad ventilation* eller *vädring*" (BBR, 2012, s.94).

Detta tyder på att vädring är en ventilationsmetod som kan användas som ett alternativ till *forcerad ventilation*. Forcerad ventilation innebär att ventilationen i ett rum maximeras mekaniskt då det befintliga ventilationsflödet är otillräckligt.

Även Nordquist menar att vädring bör främst användas som *ett komplement till befintlig mekanisk ventilation*. Mekanisk ventilation krävs för att hålla CO₂ halten på en låg nivå och för att energianvändningen inte ska bli för stor (Nordquist, 1998, s. 29).

Nordquist (1998, s.28-30) skriver att flera orsaker kan finnas till vädring och att det kan vara ett energieffektivt alternativ vid kylning av byggnader. Detta gäller främst under sommarhalvåret eller i varma länder. Nordquist nämner flera olika fördelar och nackdelar med vädring, dessa har sammanställts i följande tabell.

Tabell 3: Sammanställning av fördelar och nackdelar med vädring enligt Nordquist (1998, s.28-30).

Aspekt	Fördel	Nackdel
Styrning	Personerna som vistas i rummet får kontroll över sin innemiljö och kan därmed kontrollera luftutbytet.	Att öppna ett fönster kräver engagemang från personerna som vistas i rummet. De måste aktivt öppna eller stänga fönstret. Görs inte detta, då vädringen är den enda ventilation som finns tillgänglig, så blir luftutbytet obefintligt.
Luftutbyte	En önskad förbättring sker rätt snabbt, t.ex. en sänkning av lufttemperaturen.	Uteluft som ej har filtrerats passerar in i rummet genom vädringsöppningen och kan föra med sig föroreningar såsom pollen och bilavgaser. I ett mekaniskt system filtreras den inkommande luften. Drivkrafterna beror på uteklimatet [vind och temperatur] som är varierande och går ej att påverka. Detta medför att olika luftutbyten erhålls vid olika klimatförhållanden. T.ex. då ett och samma fönster är öppet ca 10° på en kall dag i jämförelse med en varm dag och vinden inte har någon inverkan. Luftutbytet blir då större på den kalla dagen än på den varma.
Energi	Luftströmlarna åstadkoms genom naturliga <i>drivkrafter</i> , vilket innebär att ingen tillförsel av energi behövs för att erhålla luftutbytet.	Ingen värmeåtervinning sker och varm rumsluft försvinner rakt ut i det fria.
Ekonomi	Det krävs ingen teknisk utrustning för att vädring ska vara möjlig. Luftutbyte sker genom att öppna ett eller flera fönster.	Vädring som enda ventilationsåtgärd innebär att ingen värmeåtervinning sker överhuvudtaget och värmeenergianvändningen blir onödigt stor.

8.3.1 Korsdrag och ensidig vädring

Vädring kan ske antingen genom a) vädringsöppningar endast på en sida av rummet (s.k. enkelsidig vädring) eller genom b) vädringsöppningar på flera sidor av rummet (s.k. korsdrag). Då enkelsidig vädring används är luftflödet från rummet till övriga utrymmen begränsat. Vid korsdrag kan luften flöda fritt mellan två eller flera öppningar vilket kan påverka hela byggnadens luftutbyte (Nordquist, 1998, s.37).

Eftersom examensarbetets huvudsyfte är att bestämma de energiförluster som vädring ger upphov till i flerbostadshus begränsas examensarbetet till ensidig vädring.

8.3.1.1 "Rätt sätt" att vädra - med hänsyn till energieffektivitet

Att vädra kort tid med en stor öppning ger nästan samma låga energianvändning som att inte vädra alls, medan att vädra med en liten öppning under lång tid ger ett stort utslag på energianvändningen (Ruud, 2003, s.15).

Från flera håll tipsas att vädring bör ske kort och intensivt med hjälp av korsdrag (t.ex. Helsingborgshem, HSB, Elskling.se, SP-broschyr, m.m.). Förklaringen är att lång vädring kyler ner ytor vilka kostar energi att värma upp. Värmen som radiatorer alstrar (om de inte stängs av) under långtidsvädring försvinner ut i det fria vilket är en stor energiförlust jämfört med korttidsvädring med korsdrag.

Att korsdrag medför ett stort luftutbyte under en kort tid bekräftas av Nordquist (se avsnitt 8.3.1). Att ett stort luftutbyte under en kort tid medför knappt något energiutslag på energianvändningen bekräftas av Ruud (se första stycket under denna rubrik). *Rätt sätt att vädra* anser vi därför vara med korsdrag under en kort tid.

Det kan dock finnas behov av ett ökat kontinuerligt luftflöde på grund av t.ex. ett för lågt luftflöde via ventilationssystemet⁵.

8.3.2 Beräkning av vädringsflödet och dess drivkrafter

Flödet vid naturlig ventilation är beroende av uteklimatet vid varje vädringstillfälle. Drivkrafterna är därför varierande och går ej att påverka (Nordquist, 1998, s.30).

Den tryckskillnad som finns över en öppning orsakar ett flöde genom öppningen. Tryckskillnaden uppstår främst av vinden samt den temperaturskillnad som finns mellan öppningens respektive sidor. Dessa drivkrafter är oberoende av varandra

⁵ Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.

och kan därför undersökas var för sig. En tredje drivkraft kan vara molekyl diffusion men denna bedöms vara obetydlig i jämförelse med de andra (Nordquist, 1998, s.38).

8.3.2.1 Termisk drivkraft

Flödet q genom en vädringsöppning, pga. temperaturskillnaden som drivkraft, beräknas enligt (Nordquist, 1998, s. 41-44):

$$q = J(\theta) \cdot C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H^3}{\bar{T}}} \quad (8.1)$$

där q = luftflödet genom öppningen åt ett håll (m^3/s)
 $J(\theta)$ = faktor beroende av fönstrets öppningsgrad (-)
 C_d = kontraktionsfaktor för öppning (-)
 B = öppningens bredd (m)
 ΔT = skillnaden i temperatur mellan öppningens båda sidor (K)
 g = gravitationens acceleration ($9,81 \text{ m/s}^2$)
 $\bar{T}$ = medeltemperatur över öppningen (K)
 H = öppningens höjd (kg/m^3)

Ekvationen används för öppningar som är $> 10 \text{ mm}$ och C_d varierar mycket mellan olika studier. Efter en litteraturstudie rekommenderar Nordquist (1998, s. 66) att den beräknas enligt:

$$C_d = 0,4 + 0,0045\Delta T \quad (8.2)$$

8.3.2.2 Faktor J

För att ta hänsyn till öppningsgraden implementeras faktor $J(\theta)$ i ekvation 8.1 enligt Nordquist (1998, s.51). En smält skiljande tillämpning av faktor $J(\theta)$ används i detta arbete än de som har angetts av Nordquist.

En formel för $J(\theta)$ har inte angetts av Nordquist och vi har ej heller hittat någon sådan i övrig litteratur. Nordquist har istället återgett två grafer för $J(\theta)$ där faktorn utläses. Dessa grafer har hämtats från Awbis (1991) bok *Ventilation of buildings*. För Matlab-beräkningarna behöver vi anpassa en kurva för $J(\theta)$. Ett försök görs till en anpassning:

$$J(\theta) = 1 - k(\theta - 90)^2 \quad (8.3)$$

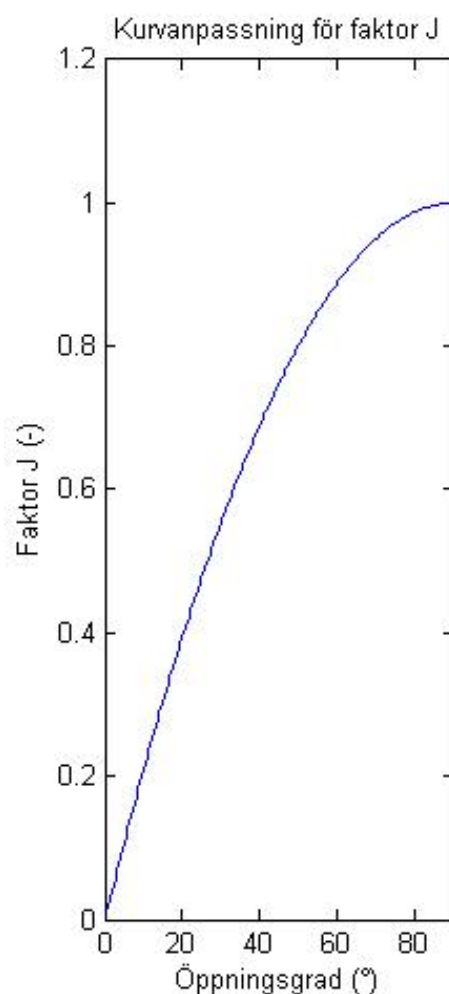
där $k = \frac{1}{90^2}$ (-)

θ = öppningsgraden (°),

$$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Formeln, och därmed grafen, som har framställts har anpassats så att den liknar den kurva för pivåhängda

fönster som har återgetts av Nordquist. Den liknar dock även kurvan för sidohängda fönster som också har återgetts av Nordquist.



Figur 5: Matematisk anpassning av faktor J.

8.3.2.3 Temperaturens variation och dess inverkan

För att beräkna energiförlusten som uppstår pga. vädring med större noggrannhet är det nödvändigt att ta hänsyn till variationen i temperaturen utomhus. Uteluftens temperatur varierar betydligt med säsongen, tiden på dygnet och platsen.

Variationen i uteluftens temperatur ger upphov till olika vädringsflöden beroende på när vädringen sker och vilken uteluftstemperatur det är som råder vid det tillfället. Detta medför att den mängd luft som byts ut vid ett vädringstillfälle inte nödvändigtvis behöver vara lika stor som vid ett annat vädringstillfälle.

Temperaturskillnaden mellan den uteluft som tas in och inneluften påverkar, förutom vädringsflödets storlek, även energiförlusten som uppstår pga. vädring. Som ett exempel kan vi jämföra två olika vädringstillfällen där allt är identiskt (t.o.m. vädringstiden) förutom temperaturen i uteluften. Vi förutsätter att temperaturen inomhus är konstant. Detta innebär att en lägre temperatur utomhus vid det ena tillfället medför en större temperaturskillnad än vid det andra tillfället. Denna större skillnad medför ett högre flöde och därmed att en större mängd luft byts ut. Den större mängd luft som byts ut, som dessutom har en lägre temperatur, kommer därmed att kräva en större mängd energi för att värmas upp (se formler under avsnitt 8.3.4).

8.3.2.4 Vind som drivkraft

En tryckfördelning skapas av vinden på en byggnads fasad då vinden blåser över och runt en byggnad. Medeltrycket p_v mot eller från en yta beräknas enligt (Nordquist, 1998, s.52):

$$p_v = C_p \frac{\rho v^2}{2} \quad (8.4)$$

där p_v = trycket mot/från ytan (Pa)
 C_p = formfaktor (-)
 ρ = luftens densitet (kg/m³)
 v = vindhastighet på referensnivå (m/s)

C_p är beroende av vindens riktning och hastighet i förhållande till byggnaden, byggnadsgeometri, byggnadens placering i landskapet i förhållande till andra byggnader, buskage samt topografi (Nordquist, 1998, s.52).

8.3.2.5 Vindens variation och dess inverkan

Vindens hastighet och riktning varierar med tiden, höjden, årstiden och dess turbulens (Nordquist, 1998, s.53-54).

Beroende på om vädringsöppningen är placerad på lovarts- eller läsidan kan vinden antingen blåsa rätt in genom öppningen eller göra att ett undertryck bildas ovanför öppningen vilket gör att luft "sugs" inifrån och ut. Lovartssidan är den sida av huset som vinden blåser på medan läsidan är den sida som befinner sig i på motsatta sidan av lovartssidan.

Beroende på öppningsbredden kan dock vindens effekt i luftutbytet troligen vara försumbar, särskilt om öppningen är liten (< 20 cm)⁶. Vid ensidig långvarande vädring kan det vara så att de som vädrar inte öppnar fönstret så mycket att

⁶ Jensen, L. och Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.

vindens inverkan på luftutbytet blir påtaglig. Vinden får större betydelse vid höga vindhastigheter och stora öppningar.

Då arbetet är tidsbegränsat så anses vindens effekter för komplicerade och tidskrävande för att räknas med. Att ta hänsyn till alla de faktorer som kan påverka C_p är något vi inte har tid med eller verktyg för att göra.

8.3.3 Dynamiska modeller

Luftutbytet i ett rum genom en vädringsöppning beskrivs som två olika modeller av Nordquist. Modellerna tar ingen hänsyn till vind och skiljer sig genom att den ena modellen antar att en omblandning av luften sker vid vädringstillfället medan den andra inte gör det. Detta påverkar den termiska drivkraften och ger upphov till olika flöden vid olika tidpunkt och därmed olika stora totala luftutbyten (Nordquist, 1998, s.65-73). Enligt Nordquist⁷ fungerar dessa två teoretiska modeller som ytterlighetsfall där modell 1 ger ett för litet luftutbyte i jämförelse med verkligheten medan modell 2 ger ett för stort luftutbyte.

Modellerna återges inte i detalj här men endast det som är väsentligt för energiberäkningarna. För detaljer refereras till Nordquists (1998) licentiatavhandling *Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation?*.

8.3.3.1 Modell 1 – ingen omblandning

Luftomblandning antas inte ske vilket gör att temperaturskillnaden ΔT mellan luften inomhus och luften utomhus är konstant. Det som istället sker är att uteluften fyller rummet med tiden, från botten till toppen, och skiljegränsen mellan rumsluften och uteluften minskar över tiden. Med denna minskar den aktiva höjd H varigenom luft byts ut.

Detta fall kan motsvara förhållanden med låga vindhastigheter respektive små öppningsgrader⁶.

Luftutbytet kan delas upp i två stadier. I stadie 1 fylls rumsvolymen nedanför vädringsöppningen och då kan den volym uteluft V_{a1} som har kommit in i rummet beräknas enligt (Nordquist, 1998, s.67):

$$V_{a1} = qt \text{ (m}^3\text{)} \quad (8.5)$$

där q = luftflödet genom öppningen (m³/s), enligt 8.1, och
 t = tiden som det tar tills luften når upp till vädringsöppningens underkant (s).

⁷ Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.

I stadie 2 fylls rumsvolymen ovanför vädringsöppningens underkant till öppningens överkant, (Nordquist, 1998, s.68-70):

$$H(t) = \frac{1}{\left(\frac{at}{2} + \frac{1}{H_0^{0,5}}\right)^2} \quad \text{där} \quad a = \frac{k}{A_g} \quad \text{och} \quad k = C_d \frac{B}{3} \sqrt{g \frac{\Delta T}{T}} \quad (8.6)$$

där H_0 = vädringsöppningens höjd (m)
 t = tiden som det tar tills luften nått upp till vädringsöppningens överkant (s)
 A_g = rummets golvarea (m²) och
 övriga parametrar enligt formler 8.1 och 8.2.

Efter stadie 2 fylls inte rummet med mer uteluft. Uteluften har då fyllt rummet upp till vädringsöppningens överkant och all luftvolym över denna gräns består då av rumsluft som har den temperatur som inneluften är uppvärmd till. Volymen uteluft som kommer in i stadie 2 kan då beräknas enligt (Nordquist, 1998, s.70):

$$V_{a0} = (H_0 - H(t))A_g \text{ (m}^3\text{)} \quad (8.7)$$

Den totala volym uteluft som har tagit sig in i stadie 1 och 2 blir då summan av 5.6 och 5.7:

$$V_a = V_{a1} + V_{a0} \text{ (m}^3\text{)} \quad (8.8)$$

8.3.3.2 Modell 2 – total omblandning

Luftomblandning antas ske vilket gör att temperaturskillnaden ΔT mellan luften inomhus och luften utomhus minskar med tiden. I denna modell är dock höjden konstant istället.

Detta fall kan motsvara förhållanden med höga vindhastigheter respektive stora öppningsgrader⁸.

Luftflödet med tiden och beräknas enligt:

$$q = C_d \frac{B}{3} \sqrt{g \frac{2(T_i(t) - T_u)H^3}{T_0 + T_u}} \quad (8.9)$$

där T_0 = inneluftens temperatur i början (K eller °C)
 t = tid (s)
 A_g = rummets golvarea (m²) och
 övriga parametrar enligt formler 8.1 och 8.2.

⁸ Nordquist, B. muntlig handledning på LTH under vårterminen 2013.

$$T_i(t) = \frac{1}{\left(\frac{bt}{2} + c\right)} + T_u \quad (8.10)$$

där $c = \frac{1}{\sqrt{T_0 - T_u}}$, $b = \frac{a}{V_{rum}}$ och $a = C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{gH^3}{\bar{T}}}$

I denna modell byts dock all luft ut i rummet. Sammanfattningsvis beräknas det totala luftutbytet enligt (Nordquist, 1998, s.71-73):

$$V_a = V_{rum} \cdot \ln \left(\left(\frac{bt}{2c} + 1 \right)^2 \right) \quad (8.11)$$

Där t = vädringstid (s) och övriga parametrar enligt formel 8.10.

8.3.3.3 Korrigering av volym pga. uppvärmning

Då uteluften värms upp vid intaget expanderar volymen enligt (Nevander och Elmarsson, 1994, s.412):

$$\Delta V = \frac{T_i}{T_u} \quad (8.12)$$

där ΔV = kvot mellan uteluftens volym innan och efter uppvärmning (-)
 T_i = inneluftens temperatur (K)
 T_u = uteluftens temperatur (K).

8.3.4 Beräkning av energiförluster pga. vädring

Energien som krävs för att värma den mängd luft som tas in kan beräknas med en tillämpning av formeln för energiförluster pga. läckage via otätheter (Dahlblom och Warfvinge, 2010, s.3:12–13):

$$E = P \cdot t \quad \text{och} \quad P = \rho \cdot c_p \cdot q \cdot \Delta T \quad (8.13)$$

där E = energi för uppvärmning av uteluft (J)
 t = vädringstid (s)
 P = effekt som avges för uppvärmning av uteluft (W)
 ρ = luftens densitet (1,2 kg/m³)
 c_p = luftens specifika värmekapacitet (1000 J/kg, K)
 ΔT = skillnaden i temperatur mellan öppningens båda sidor (K eller °C)

Efter en viss tid har all luft blivit utbytt i det rum som vädras, vilket gör att formel 8.13 underskattar de energiförluster som sker efter det om vädringen fortsätter.

Efter en diskussion med professor Lars Jensen och tekn.dr. Birgitta Nordquist har vi kommit fram till att beräkna denna ytterligare energiförlust genom att lägga till radiatorns effekt efter det att luften har bytts ut och vädring fortsätter.

Radiatorns effekt beräknas enligt Dahlblom och Warfvinge (2010, s.3:16–18):

$$E_{rad} = P_{rad} \cdot t \quad \text{där} \quad P_{rad} = k \cdot A_{rad} \cdot \Delta T_m \quad (8.14)$$

$$\Delta T_m = \frac{T_{fram} - T_{retur}}{\ln \left(\frac{T_{fram} - T_{rum}}{T_{retur} - T_{rum}} \right)} \quad (8.15)$$

där t = vädringstid efter att all rumsluft har bytts ut (s)

k = radiatorns värmeövergångskoefficient (W/m²,K) brukar vara 6,5 - 10 W/m²,K

A_{rad} = radiatorns värmeöverförande yta (m²)

T_{fram} = framledningstemperatur (K eller °C)

T_{retur} = returledningstemperatur (K eller °C)

T_{rum} = rummets temperatur (K eller °C)

ΔT_m = medeltemperaturskillnaden (K eller °C)

Kommentar

Den tillagda energiförlusten enligt formel 8.14 innebär den minimala energiförlusten som går åt efter att hela rumsluften har bytts ut och vädring fortfarande pågår. Egentligen förloras mer energi genom att rummets ytor kyls ner ju längre vädringen pågår – denna effekt är den som direkt påverkas av vädringen. På samma gång underskattas ventilationssystemets uppvärmning av tilluften. Dock så är alla dessa faktorer beroende av många olika byggnadsberoende variabler som vi inte kan ta hänsyn till.

T_{rum} påverkar direkt formel 8.15 och därmed indirekt energiförlusten enligt formel 8.14. Denna temperatur bör vara lägre än innetemperaturen då det är denna temperatur som radiatören arbetar efter, och radiatören kommer att direkt påverkas av den inkommande uteluften. Värmevattenflödet till radiatören ökas av termostaten som reagerar på den lägre temperaturen. Termostaten på den radiator som är placerad direkt under vädringsöppningen påverkas dock mest eftersom denna reagerar först på den kalla luft som tas in och vidrör den. T_{rum} gäller, just i vår beräkning, för alla radiatorer som påverkas och inte endast för den radiator som befinner sig vid vädringsöppningen. Därför är det svårt att balansera denna siffra då de påverkas olika av vädringen. Vi har i beräkningarna försökt att anpassa den till andelen inneluft mot andelen uteluft enligt Jensens och Nordquists handledning. Denna anpassning bidrar dock till ett okänt fel i

beräkningen. Anpassningen innebär att T_{rum} viktas i proportion med kvoten (0,74 i detta fall) mellan den uteluft som kommer in och den rumsluft som är kvar. Kvoten 0,74 markerar den tidpunkt då vi har valt att lägga till den energiförlust som sker via radiatorerna.

Den tidpunkt som energiförlusten från radiatorerna börjar att räknas med har vi också behövt beräkna. Denna löses ut från formel 8.6 för modell 1 och formel 8.11 för modell 2. Den formel som då fås för tiden ger att tiden går mot oändligheten då flödet går mot noll. Skulle vi ha räknat efter denna tidpunkt så skulle luften aldrig helt och hållet ha bytts ut och radiatoreffekten skulle inte ha räknats med. Därför har vi i Matlab-koden istället valt att beräkna tidpunkten då den aktiva höjden enligt formel 8.6 blir 10 cm, detta motsvarar ett luftutbyte av rumsluften på ca 74% ($V_a/V_{rum}=2,1/2,7$) i formel 8.11.

8.3.5 Vädringens inverkan på ventilationssystem

För detta examensarbete är det väsentligt att undersöka vad vädringen har för inverkan på ventilationssystemet, dvs. på från- och tilluftsflödena. Birgitta Nordquist har i sin licentiatavhandling i kapitel *Stör vädring mekaniskt styrd ventilation?* studerat vädringens inverkan på ventilationssystem i skolor. Eftersom vädringens inverkan på ventilationssystem i skolor och i bostäder borde vara liknande kommer denna del av rapporten att kortfattat behandla Nordquists studie samt studiens resultat.

Genom att använda sig av datorprogrammet PFS (Program-Flow-System) för beräkning av statiska flödesproblem har Nordquist genomfört en teoretisk beräkning i syfte att studera förhållandena i skolsalar. För att kunna göra detta har hon utformat en modell som består av fyra skolsalar med ett gemensamt kanalsystem. Erforderliga luftflöden, reglering, tryckfall i kanalsystemet och vindpåverkan har antagits utifrån gällande branschpraxis. Därefter har vädringens störning på alla luftflöden beräknats (Nordquist, 1998, s. 133-154).

För att undersöka hur vädringen påverkar det mekaniska ventilationssystemet i bostäder har en del av detta examensarbete varit att genomföra en mätning av till- och frånluftsflödena i en lägenhet i Flagghusen. Flödena mättes i alla rum där till- och frånluftsdon fanns då ingen vädring i lägenheten förekom samt då vädring förekom endast i ett av rummen. Mer om denna mätning kan ni läsa under avsnitt 11.3.1.3.

8.3.5.1 Sammanfattning av studiens resultat

Studien som Nordquist har genomfört har visat sig ha åstadkommit flera intressanta resultat som är viktiga att belysa för detta examensarbete (Nordquist, 1998, s.155-156):

- Vid vädring i ett rum påverkas övriga rum där vädring inte sker, inte nämnvärt men flödena ökar dock.
- Tilluftsflödet genom tilluftskanalen minskar i det aktuella rummet där vädring sker då övertryck pga. vind råder. Det mesta av luften kommer in genom fönstret istället. Vid rådande undertryck ökar flödet genom tilluftskanalen. Det totala tilluftsflödet in i rummet ökar i båda fallen.
- I rummet där vädring sker ökar frånluftsflödet genom kanalen vid rådande övertryck. Frånluftsflödet genom kanalen minskar vid undertryck men en mängd luft passerar ut genom fönsteröppningen så att det totala frånluftsflödet i rummet ökar.
- I rummet där vädring sker ökar alltså luftomsättningen.

En av slutsatserna från den studie som Nordquist skriver om är att vädringen inte påverkar ventilationssystemets flöden negativt. Åsikten som säger att vädringen innebär att ventilationssystemet slutar fungera betraktas således som en myt som kan avlivas för de fall som har studerats. Enligt Nordquist ökar luftomsättningen totalt sett vid vädring. Endast vid rådande extrema fall, då vindhastigheter på 10 m/s inträffar, kan ventilationssystemet påverkas negativt så att flödet ändrar riktning i kanalen i rum där störning pga. vädring sker (Nordquist, 1998, s.156).

9 Enkätanalys

För att beräkna den energianvändning som vädringen ger upphov till behöver vi först ta reda på:

- Vädringstid per dag under uppvärmningssäsongen
- Vädringsfrekvenser
- Vädringsöppningarnas dimensioner
- Lägenhetens och rummets storlek

Denna information klargörs av svar på frågor 15, 16, 24 och 37-40 som finns i den enkät som har delats ut (se bilaga). De som inte har svarat på minst en av dessa frågor, eller som har angett att de inte vädrar alls under uppvärmningssäsongen kommer ej att inkluderas i studien.

”Det *aritmetiska medelvärdet* – som oftast kallas *medelvärdet* – är summan av de observerade värdena dividerad med antalet observationer.” (Körner S. & Wahlgren L., 1993 s.74).

När vi vill dra generella slutsatser om en population är medelvärdet det självklara genomsnittsvärdet. I vissa fall kan medianen vara ett bättre värde för att beskriva statistiska material, särskilt då materialet innehåller extremvärden. Extremvärden är värden som avviker kraftigt från den nivå som gäller för flertalet observationer. I fall då extremvärden finns kan dessa kapas bort för att erhålla ett *trimmat/stympat medelvärde* (Körner S. & Wahlgren L., 1993 s.78-79).

Vi väljer att utnyttja det aritmetiska medelvärdet utan att kapa bort några så kallade extremvärden. Vi har 257 stycken enkätsvar som vi utför ett flertal analyser på och det är svårt att urskilja extremvärden från andra värden eftersom vi inte kan bedöma vad som är en ”rimlig vädring”. Ta t.ex. vädringstiden som orsakas av många olika faktorer (se avsnitt 8.3). Vad som är en rimlig vädringstid bör bedömas från fall till fall eftersom de underliggande orsakerna kan skilja sig i varje fall.

Som exempel på motivationen ovan kan vi snabbt titta på svaren för ”vinter” på fråga 40. Där är typvärdet (nivån för flertalet observationer) en vädringstid på 0-15 min, detta är även medianen. Skulle vi kapa bort alla värden ovanför typvärdet så skulle hela 94 stycken (37 %) observationer försvinna och medelvärdet bli väldigt missvisande.

257 stycken har besvarat enkäten men inte alla har besvarat alla frågor (vilket är att förvänta i en sådan här utredning).

9.1 Kort vädringstid vs längre vädringstid

16. När Du vädrar, vädrar Du då oftast genom att ... ?

1 ☐ ha vädringsfönster/fönster öppet hela dagen/natten

2 ☐ ha vädringsfönster/fönster öppet några timmar

3 ☐ korsdrag i några minuter

4 ☐ vädrar aldrig

Figur 6: Fråga 16, vädringsvanor.

257 stycken enkäter ingår i studien varav 253 stycken har svarat på fråga 16. De som har svarat att de utnyttjar korsdrag i några minuter utesluts från beräkningen. En sådan vädringsmetod ger upphov till ett stort luftutbyte på en mycket kort tid och bör därmed knappast ha en större inverkan på energiförlusterna (se avsnitt 8.3.1). De som har svarat "korsdrag i några minuter" eller "vädrar aldrig" kommer därför inte att inkluderas i energiberäkningen då detta skulle ge ett missvisande resultat. Totalt är det 115 stycken som har svarat att de vädrar med korsdrag eller inte vädrar alls. 138 stycken har svarat att de vädrar några timmar eller hela dagen/natten.

Vädringstid för de som har svarat att de utnyttjar korsdrag i några minuter

Tabell 4 - Fråga 40: Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?

	Vinter (nov-mars)	Vår, höst (april, sept-okt)	Sommar (maj-aug)
Vädrar inte	12 %	8 %	2 %
0-15 min	63 %	36 %	5 %
15-30 min	8 %	17 %	4 %
30-60 min	3 %	15 %	19 %
1-2 h	0 %	7 %	16 %
2-6 h	0 %	2 %	17 %
6-12 h	0 %	1 %	9 %
12-18 h	1 %	1 %	6 %
18-24 h	0 %	0 %	8 %

Vädningstid för de som vädrar i några timmar eller hela dagen/natten

Tabell 5 - Fråga 40: Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?

	Vinter (nov-mars)	Vår, höst (april, sept-okt)	Sommar (maj-aug)
Vädrar inte	7 %	2 %	0 %
0-15 min	25 %	10 %	0 %
15-30 min	17 %	13 %	2 %
30-60 min	11 %	17 %	8 %
1-2 h	13 %	18 %	14 %
2-6 h	6 %	9 %	24 %
6-12 h	9 %	12 %	19 %
12-18 h	1 %	4 %	8 %
18-24 h	1 %	4 %	13 %

9.1.1 Sammanställning/Diskussion

De som vädrar med hjälp av i några timmar eller hela dagen/natten vädrar i genomsnitt 1,86 h vid varje vädningstillfälle. De som har svarat att de använder korsdrag i några minuter vädrar i genomsnitt 0,26 h vid varje vädningstillfälle.

9.2 Balkongdörr eller inte

Det är viktigt att beräkna annorlunda för de som öppnar balkongdörren när de vädrar och de som inte gör det. Detta eftersom öppningsdimensionerna då skiljer sig vilket kan innebära att de som öppnar balkongdörren vädrar en kortare tid för att uppnå det de vill med vädningen. En snabbanalys av hur dessa två delgrupper skiljer sig åt presenteras i de följande:

Vädringstid för de som inte öppnar balkongdörr

Tabell 6 - Fråga 40: Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?

	Vinter (nov-mars)	Vår, höst (april, sept-okt)	Sommar (maj-aug)
Vädrar inte	7 %	3 %	0 %
0-15 min	17 %	5 %	0 %
15-30 min	14 %	10 %	0 %
30-60 min	8 %	14 %	8 %
1-2 h	15 %	17 %	15 %
2-6 h	5 %	8 %	14 %
6-12 h	10 %	10 %	19 %
12-18 h	3 %	5 %	3 %
18-24 h	2 %	5 %	19 %

Vädringstid för de som öppnar balkongdörren

Tabell 7 - Fråga 40: Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?

	Vinter (nov-mars)	Vår, höst (april, sept-okt)	Sommar (maj-aug)
Vädrar inte	8 %	1 %	0 %
0-15 min	30 %	14 %	0 %
15-30 min	19 %	15 %	4 %
30-60 min	13 %	19 %	8 %
1-2 h	11 %	19 %	13 %
2-6 h	6 %	9 %	32 %
6-12 h	9 %	14 %	19 %
12-18 h	0 %	3 %	11 %
18-24 h	0 %	3 %	9 %

9.2.1 Sammanställning/ Diskussion

59 stycken har svarat att de *inte* öppnar en balkongdörr i något rum. Dessa har en genomsnittlig vädringstid på 2,35 h/vädringstillfälle.

79 stycken har svarat att de öppnar en balkongdörr i något rum. Dessa har en genomsnittlig vädringstid på 1,43 h/vädringstillfälle.

Resultatet tyder på att de som öppnar en balkongdörr vädrar en kortare tid. Anledningen till detta kan vara, såsom tidigare nämnts, att de får ett större luftutbyte genom den större öppningen och att det är därför som de vädrar en kortare tid.

9.3 Tolkning av enkätsvar för utvalda frågor

Av totalt 257 stycken enkätsvar är det 162 stycken som har besvarat tillräckligt många frågor för att ingå i en energiberäkning. Av dessa är det 94 stycken som inte har angett att de vädrar med hjälp av korsdrag i några minuter i fråga 16. Det är dessa som ingår i just denna energiberäkning.

Den bredaste vädringsöppningen i en lägenhet i ett flerbostadshus är ett fönster. En granskning av några ritningar för ett av husen visar att ett fönster i Flagghusen som är bredare än 0,5 m kan vara 0,8 - 2 m brett. De som är 2 m breda är dock få och därför antas intervallet *helt öppet* ha ett klasslut på 1 m.

Fönstren i Flagghusen som är högre än 0,5 m kan vara 1 – 1,6 m höga. Exakt hur många av varje sorts fönster kan vi dock inte ta reda på och därför får vi anta ett värde som vi anser vara rimligt. Intervallet *höjd mer än 0,5 m* antas därför ha ett klasslut på 1,3 m.

Balkongdörrar uppskattas från ritningarna att vara ca 0,8 m breda och 2,1 m höga. Svaret för de som har svarat att de öppnar balkongdörren översätts därför annorlunda.

Då endast vädringens inverkan på värmeenergianvändningen ska beräknas är enbart information om brukarnas vädringsbetingelser under uppvärmningssäsongen relevant. Då de berörda husens utformning varierar från hus till hus så kan inte en specifik gränstemperatur bestämmas. Hänsyn kan inte tas till varje hus utformning pga. tidsbristen. Uppvärmningssäsongen bestäms för alla bostäder i Flagghusen gemensamt. Förenklat antas därför uppvärmningssäsongen gälla enligt fråga 40. Därför är endast svaren för *vinter (nov-mars)* relevanta. Detta medför en underskattning om brukarna vädrar under september, oktober och april månader.

Klassmitten (halva intervallet) för svaren på varje fråga används i översättningen av svaren (Körner S. & Wahlgren L., 1993, s.54).

De frågor som vi har behövt svar på, samt deras tolkning, presenteras i det följande. För de som har besvarat alla nödvändiga frågor, och har angett *att de vädrar* i fråga 40.1, men att *de inte vädrar* enligt fråga 15, tilldelas en vädringsfrekvens som motsvarar den minimala enligt fråga 15.

Fråga från enkäten	Översättningstabell										
15. Hur ofta vädrar Du vanligtvis under eldningssäsongen? (dvs. september - april) 1 ☐ dagligen/nästan varje dag 2 ☐ ungefär 1 gång i veckan 3 ☐ någon gång i månaden 4 ☐ vädrar sällan eller aldrig	<table> <tr> <th>Svar</th><th>Andel av vädringssäsongen</th></tr> <tr> <td>1</td><td>1 = 100%</td></tr> <tr> <td>2</td><td>1/7 = 14,3%</td></tr> <tr> <td>3</td><td>1/30 = 3,30%</td></tr> <tr> <td>4</td><td>0 = 0%</td></tr> </table>	Svar	Andel av vädringssäsongen	1	1 = 100%	2	1/7 = 14,3%	3	1/30 = 3,30%	4	0 = 0%
Svar	Andel av vädringssäsongen										
1	1 = 100%										
2	1/7 = 14,3%										
3	1/30 = 3,30%										
4	0 = 0%										

Figur 7: Översättning för svar på fråga 15 från enkäten.

Fråga från enkäten	Översättningstabell*												
24. Hur stor är Din lägenhet? 1 ☐ 1 rum och kök/kokvrå 2 ☐ 2 rum och kök/kokvrå 3 ☐ 3 rum och kök 4 ☐ 4 rum och kök 5 ☐ 5 rum och kök 6 ☐ 6 rum och kök 7 ☐ 7 rum och kök eller större	<table> <tr> <th>Svar</th><th>Medelvärde av genomsnittlig bostadsyta 2005-2007 (kvm)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>44</td></tr> <tr> <td>2</td><td>63</td></tr> <tr> <td>3</td><td>80</td></tr> <tr> <td>4</td><td>101</td></tr> <tr> <td>5</td><td>123</td></tr> </table> <i>*Se bilaga 1 med data från SCB.</i> <i>**Finns inga värden för dessa.</i>	Svar	Medelvärde av genomsnittlig bostadsyta 2005-2007 (kvm)	1	44	2	63	3	80	4	101	5	123
Svar	Medelvärde av genomsnittlig bostadsyta 2005-2007 (kvm)												
1	44												
2	63												
3	80												
4	101												
5	123												

Figur 8: Översättning för svar på fråga 15 från enkäten.

37. När du vädrar under eldningssäsongen brukar du oftast öppna				
	öppnar 1 fönster	öppnar flera fönster	öppnar balkongdörren	öppnar mindre vädringsfönster
vardagsrum	☐	☐	☐	☐
sovrum	☐	☐	☐	☐
kök	☐	☐	☐	☐

Figur 9: Fråga 37, viktig men behöver ej någon översättningstabell.

Fråga från enkäten	Översättningstabell (Öppnar balkongdörr)								
38. Med hur stor öppning vädrar du under eldningssäsongen?? 1 ☐ på glänt (upp till 10 cm) 2 ☐ halvöppet (mellan 20-50 cm) 3 ☐ helt öppet (mer än 50 cm)	<table> <tr> <th>Svar</th><th>Klassmitt (m)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>0,05</td></tr> <tr> <td>2</td><td>0,35</td></tr> <tr> <td>3</td><td>0,75</td></tr> </table>	Svar	Klassmitt (m)	1	0,05	2	0,35	3	0,75
Svar	Klassmitt (m)								
1	0,05								
2	0,35								
3	0,75								

Figur 10: Översättning för svar på fråga 38 från enkäten, för de som har svarat att de öppnar balkongdörr i fråga 37.

Fråga från enkäten	Översättningstabell (Öppnar ej balkongdörr)								
38. Med hur stor öppning vädrar du under eldningssäsongen?? 1 ☐ på glänt (upp till 10 cm) 2 ☐ halvöppet (mellan 20-50 cm) 3 ☐ helt öppet (mer än 50 cm)	<table> <tr> <th>Svar</th><th>Klassmitt (m)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>0,05</td></tr> <tr> <td>2</td><td>0,35</td></tr> <tr> <td>3</td><td>0,75</td></tr> </table>	Svar	Klassmitt (m)	1	0,05	2	0,35	3	0,75
Svar	Klassmitt (m)								
1	0,05								
2	0,35								
3	0,75								

Figur 11: Översättning för svar på fråga 38 från enkäten, för de som har svarat att de inte öppnar balkongdörr i fråga 37.

Fråga från enkäten

39. Hur stort är fönstret/dörren som du brukar vädra med under eldningssäsongen?

☐ Bredd mindre än 0,5 m
 ☐ Höjd mindre än 0,5 m

☐ Bredd mer än 0,5 m
 ☐ Höjd mer än 0,5 m

Översättningstabell (för de som öppnar en balkongdörr)

Svar (Bredd)	Klassmitt	Svar (Höjd)	Klassmitt
1	0,25	1	0,25
2	0,65	2	1,30

Figur 12: Översättning för svar på fråga 39 från enkäten, för de som har svarat att de öppnar balkongdörr i fråga 37.

Kommentar

Vi vet inte exakta vädringstider för vädring med olika vädringsöppningar. Vi vet inte heller när exakt de boende vädrar med balkongdörren eller när exakt de vädrar med en mindre öppning. Därför används klassmitten som ett medelvärde för de möjliga öppningarnas höjd. Genom att använda klassmitten antas att alla öppningar med en höjd från 0,5 till 2,1 meter används lika frekvent relativt till varandra. Skulle vi göra en simulering där vi istället använder klasslutet så skulle vi förmodligen grovt överskatta vädringens inverkan på energiförlusterna och vice versa. Detta resonemang gäller för alla fall där vi utnyttjar oss av klassmitten.

Fråga från enkäten			
39. Hur stort är fönstret/dörren som du brukar vädra med under eldningssäsongen?			
☐ Bredd mindre än 0,5 m	☐ Höjd mindre än 0,5 m		
☐ Bredd mer än 0,5 m	☐ Höjd mer än 0,5 m		
Översättningstabell (för de som inte öppnar en balkongdörr)			
Svar (Bredd)	Klassmitt	Svar (Höjd)	Klassmitt
1	0,25	1	0,25
2	0,75	2	0,90

Figur 13: Översättning för svar på fråga 39 från enkäten, för de som har svarat att de inte öppnar balkongdörr i fråga 37.

Fråga från enkäten				Översättningstabell (Vinter)	
40. Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?					
	Vinter (nov.-mars)	Vår, höst (april, sept.-okt.)	Sommar (maj-aug.)	Svar	Klassmitt (h)
Vädrar inte	☐	☐	☐	1	0
0-15 min.	☐	☐	☐	2	0,125
15-30 min.	☐	☐	☐	3	0,375
30-60 min.	☐	☐	☐	4	0,75
1-2 h	☐	☐	☐	5	1,5
2-6 h	☐	☐	☐	6	4
6-12 h	☐	☐	☐	7	9
12-18 h	☐	☐	☐	8	15
18-24 h	☐	☐	☐	9	21

Figur 14: Översättning för svar på fråga 40 från enkäten.

Förtydligande

I energiberäkningen har vi tagit svaren för alla presenterade frågor från varje enskild lägenhet. Detta innebär då även den enskilda lägenhetens angivna vädringstidsintervall för respektive lägenhet enligt enkätsvaren. Dvs. om en respondent har svarat att de vädrar 15- 30 min så har vädringstiden för denna lägenhet blivit 0,375 h i Matlab-beräkningen.

Fråga 40 i enkäten frågar om den totala vädringstiden per dag medan fråga 15 frågar hur ofta respondenten vädrar under eldningssäsongen. Dessa två frågor har kombinerats och svaren från fråga 40 har vi istället tolkat som *vädringstid per vädringstillfälle* då svaren för dessa frågor annars går i konflikt med varandra. Det är ju inte rimligt att ange att vädring sker en viss tid varje dag och på samma gång ange att vädring endast sker en gång i veckan. Svar från fråga 15 har därför tolkats som *vädringsfrekvens*.

Vi har beräknat energiförlusten för vädring en tid enligt svar från fråga 40 för varje dag på hela året. Därefter har vi använt svar från fråga 15 för att beräkna energiförlusten enligt vädringsfrekvensen. Dvs om respondenten har svarat att vädring endast sker en dag i veckan så är vädringsfrekvensen $1/7$. Summan av vinterhalvårets energiförluster har därmed multiplicerats med vädringsfrekvensen. Denna metod tar hänsyn till att vi inte exakt vet vilka dagar de boende vädrar.

10 Dagboksanalys

För att undersöka och analysera de boendes vädringsvanor i Flagghusen har WSP⁹ delat ut dagböcker med mer detaljerade frågor kring de boendes vädringsbeteende. Dagböcker innehöll frågor om vädringstiden, vädringsöppningen, orsaken till vädringen etc. och de boende skulle fylla i dessa i 15 dagar. WSP har fått svar från 15 lägenheter där de boende har fyllt i sina dagböcker och en sammanställning av dessa har gjorts av WSP. Av integritetsskäl har inte denna sammanställning bifogats som en bilaga.

Som en del av detta examensarbete har svar från dessa dagböcker gällande vädringstiden analyserats för att jämföras med enkätsvaren. Eftersom några av de boende har angivit att de vädrar "en kort stund" har vi antagit att detta innebär en vädringstid på ca 10 min per vädringstillfälle. Analysen visade att de boende som har fyllt i dagböckerna vädrade i genomsnitt ca 1,6 timmar per vädringstillfälle med fönster och ca 1,3 timmar per vädringstillfälle med balkongdörren. Svaren återfinns i tabellen nedan:

Tabell 8: Medelvädningstid i timmar per vädringstillfälle för de boende som fyllde i dagböcker

Medelvädningstid i timmar per vädringstillfälle		
	<i>Fönster</i>	<i>Balkongdörr</i>
	3,00	0,17
	1,17	1,50
	1,58	1,00
	1,25	1,14
	3,20	1,25
	2,00	1,00
	0,58	1,00
	0,17	3,19
Medelvärde:	1,62	1,28

10.1 Jämförelse med enkätresultat

Utifrån enkätsanalyser har det framkommit att de boende som har besvarat enkäterna fönster vädrar i genomsnitt ca 1,8 h/vädringstillfälle och vädrar i genomsnitt ca 1,4 h/vädringstillfälle med hjälp av balkongdörren.

Båda resultaten tyder på samma sak – att de som vädrar med balkongdörren vädrar en kortare tid.

⁹Handledning med Emma Karlsson på WSP under vårterminen 2013.

11 Mätningar

11.1 Validering av BN-metoden

För att bekräfta att de formler som vi har använt för beräkning av vädringsflödet stämmer och inte ger för stora fel har vi behövt validera dem. Detta har vi gjort genom att jämföra beräknat luftutbyte vid ett visst vädringstillfälle i jämförelse med uppmätt flöde vid samma vädringstillfälle.

Validering har tidigare gjorts av Nordquist (1998, s. 109-132). Hon slår fast att båda beräkningsmodellerna ger ett något lägre luftutbyte än det uppmätta, men i samma storleksordning, vilket är positivt då luftutbytet därmed aldrig kan överskattas genom beräkningsmodellerna. Nordquist konstaterar även att den modell som ger bäst överensstämmelse med mätningarna är modell 1 – ingen omblandning. Hon förmodar dock att detta berodde på att det inte har rått total omblandning under mätningarna. Dock påpekar hon att vindtrycket kan vara den faktor som utgör den skillnad som uppstod mellan beräknade värden och uppmätta värden. Vindens inverkan på vädringsflödet har inte medräknats i Nordquists studie. Dock tar inte Nordquist (1998, s.109-112) inte, för de beräknade värdena, hänsyn till expansionen av uteluften efter att den har värmts upp.

Nordquists studie handlade om skolor och inte om flerbostadshus. Vi anser dock att skillnaderna där emellan bör endast finnas i brukarnas vädringsbeteende samt storleken på luftflödet genom ventilationssystemet. Det bör därför inte påverka beräkningsresultat som fås från de fysikaliska beräkningsformlerna. I andra ord bör den validering som har gjorts vara tillräcklig och vår validering bör endast ses som ett komplement till den validering som redan har gjorts.

11.2 Flödesmätningar med hjälp av spårgas

11.2.1 Beskrivning av spårgasmetod

En metod som ofta används vid bestämning av luftutbyte i ett rum är spårgasmetoden med avklingning. Metoden går ut på att en spårgas tillförs luften i det aktuella utrymmet och spårgaskoncentrationen i utrymmet uppmäts med jämna tidsintervall. Spårgaskoncentrationen kan hållas konstant eller minska allteftersom luften i utrymmet byts ut genom t.ex. mekanisk ventilation, vädring eller läckage i klimatskalet (Nordquist, 1998, s. 83).

Som spårgas används i praktiken huvudsakligen dikväveoxid, N_2O , även kallad lustgas (Nordquist, 1998, s. 85), men även svavelhexafluorid, SF_6 och halogenerade kolväten som hexafluorbensen, C_6F_6 (Laussmann och Helm, 2011, s. 369).

Enligt Laussmann och Helm (2011, s. 370) förekommer det tre varianter av spårgasmetoden:

1. Spårgasavklingning
2. Konstant spårgasflöde
3. Konstant spårgasnivå

11.2.1.1 Spårgasavklingning

I denna metod avbryts spårgastillförseln efter att en viss koncentration av spårgas har uppnåtts i rummet. Eftersom spårgastillförseln avbryts kommer spårgaskoncentrationen att avta och denna metod benämns därför som *spårgasavklingning*. Mätningen av koncentrationen görs för jämna tidsintervall och ju fortare spårgaskoncentrationen minskar desto större är luftomsättningen i rummet (Nordquist, 1998, s. 84).

Metoden med spårgasavklingning är den mest vanliga och utspridda spårgasmetoden (Laussmann och Helm, 2011, s. 372; Sherman, 1990, s. 369) och är även den äldsta, enklaste och den mest lämpliga vid vädringsmätningar (Nordquist, 1998, s. 84).

Spårgasavklingning är fördelaktig då mängden spårgas som tillförs inte måste vara konstant vilket kan vara svårt att åstadkomma. Mängden spårgas som förbrukas blir också mindre jämfört med att spårgasen tillförs kontinuerligt. Det som utgör en nackdel med den här metoden är att det krävs perfekt omblandning av spårgasen i hela utrymmet vilket kan vara svårt att uppnå för stora byggnader med många rum. Omblandningen av spårgasen åstadkoms vanligtvis med hjälp av fläktar. Spårgaskoncentrationen bestäms av en gasanalysator (Nordquist, 1998, s. 84-85).

11.2.1.2 Konstant spårgasflöde

Om en jämn, kontinuerlig mängd spårgas tillförs luften i ett utrymme, benämns metoden *konstant spårgasflöde*. Det är relativt svårt att åstadkomma ett konstant spårgasflöde eftersom ett lämpligt spårgasflöde måste bestämmas vilket inte är lätt. I denna metod tillåts koncentrationen av spårgas sjunka och stiga i rummet (Nordquist, 1998, s. 83-84). Fördelen med konstant spårgasflöde är att denna metod kan användas för hygieniska studier inomhus som behandlar förhållandet mellan föroreningar och luftutbytet i rum som dagligen används (Laussmann och Helm, 2011, s. 374).

11.2.1.3 Konstant spårgasnivå

I den här metoden hålls spårgasnivån konstant genom att spårgas tillförs i varierande mängd till luften under försöket. Den här typen av spårgasmätningar är den mest komplicerade. För att spårgasflödet skall kunna tillföras luften i varierande mängd krävs möjlighet till reglering av spårgastillförseln (Nordquist, 1998, s. 84). En fördel med den här metoden är att även kortsiktiga förändringar av lufttillförseln kan upptäckas. Nackdelen är att den tekniska utrustningen som krävs för denna metod är ganska dyr varför denna metod sällan används för utvärdering av inomhusluftens kvalitet (Laussmann och Helm, 2011, s. 374).

11.2.1 Mättningsförfarande i Flagghusen

För att kunna validera formler som finns i Nordquists licentiatavhandling kring vädringsflöden och för att undersöka hur vädringen påverkar ventilationssystemet i en bostad genomfördes några mätningar i Flaggskepparen (Flagghusen) i Malmö. Mätningarna ägde rum den 30 april 2013 och omfattade två spårgasmätningar med avklingningsmetoden. Spårgasmätningar med hjälp av avklingningsmetoden gjordes i två steg. Samtidigt uppmättes temperaturen inne och ute med hjälp av loggrar.

Samtliga till- och frånluftsflöden i lägenheten mättes med stös, förutom flödet genom kökets frånluftsdon (spisfläkt) som inte var möjligt att mäta pga. donets utformning. Alla flöden mättes utan någon vädring i lägenheten samt under vädring med ett fönster i ett sovrum medan alla andra fönster och dörrar var stängda.

11.2.1.1 Spårgasmätning med avklingningsmetoden

Innan genomförandet av spårgasmätningen placerades slangar för spårgasmätning med luftintag på fyra fasta punkter i rummet. Dessa var sammankopplade och anslutna genom en slang till gasanalysatorn av märket *HB Uras 7N*. Gasanalysatorn och medföljande skrivare (*Linseis L6012*) kalibrerades och justerades strax innan mätningarna påbörjades. I mitten av rummet ställde vi ett stativ där vi spände fast fyra loggrar av märket *HOB0 U12-013* som mätte luftens temperatur på olika höjder. De loggrar som vi använde har ett öppet skal som består av två plexiglasskivor, vilket gör att förändringar i luften registreras snabbare än hos andra loggrar. Loggrarna placerades ca 54 cm ifrån varandra i höjddled samt. Det var ca 54 cm mellan golvet och den logger som placerades lägst samt mellan taket och den logger som placerades högst. Se avsnitt 11.3.2 för illustrationer.

Modell 1 - Stadie 1

En överslagsberäkning gjordes på plats för att bedöma tidpunkten för luftutbyte enligt stadie 1 i första modellen (se under avsnitt 8.3.3). Överslagsberäkningen visade att vädringstiden på ca 1 minut och 50 sekunder behövdes för att byta ut luften i nedre delen av rummet dvs. från golvet till fönstrets underkant. Därför genomfördes först en spårgasmätning enligt stadie 1 där vi släppte ut lustgas i rummet, sedan väntade vi tills spårgaskoncentrationen avtog till ca 70 ppm och sedan vädrade vi i 1 minut och 50 sekunder. Därefter stängde vi fönstret och väntade ca 20 minuter till för att låta spårgaskoncentrationen avta tillräckligt mycket innan nästa mätning.

Modell 1 - Efter stadie 1

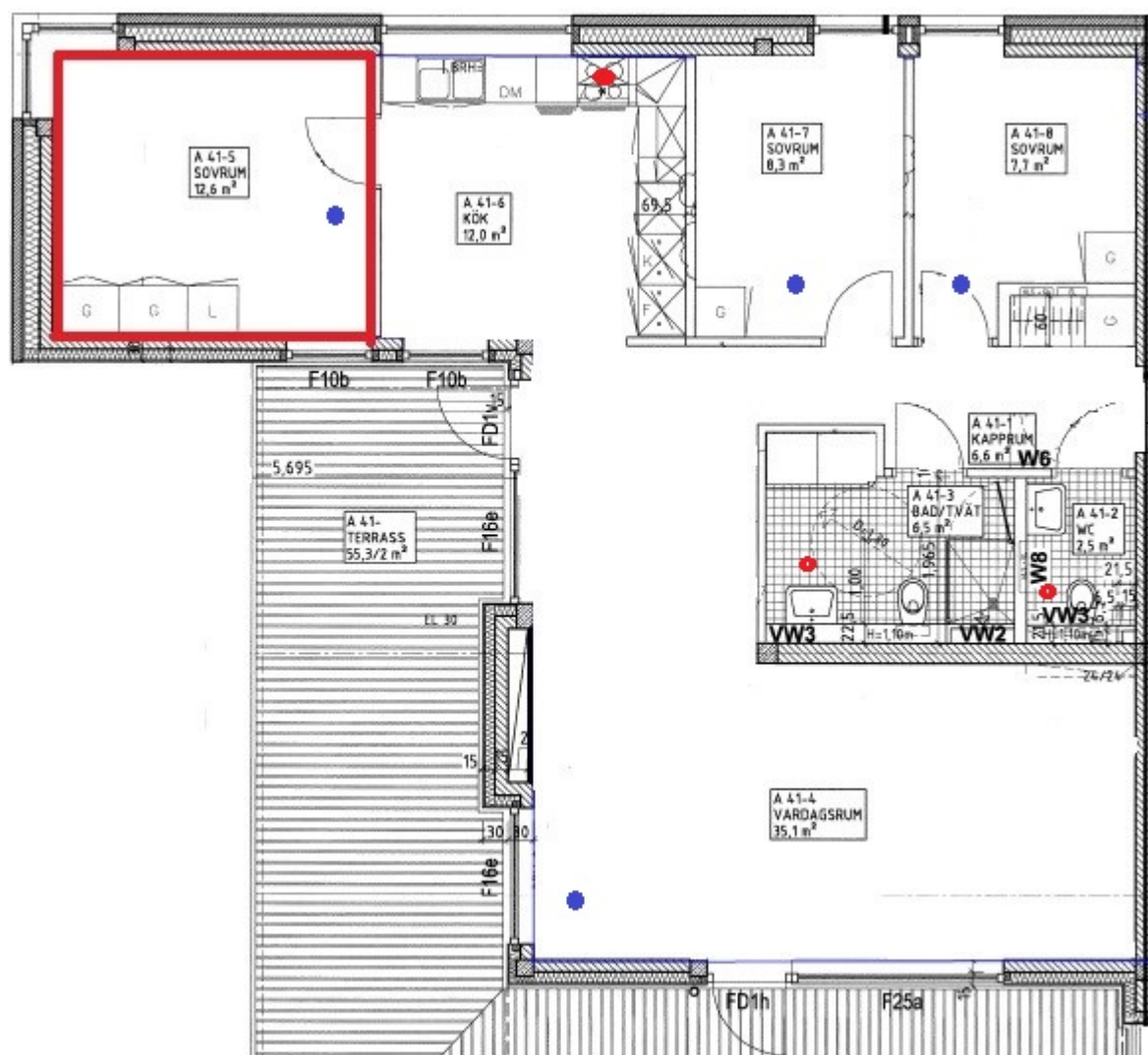
En annan överslagsberäkning gjordes på plats för att bedöma tidpunkten för vädringen då den har passerat stadie 1 i första modellen (efter 1 min 50 sek). Mätningen genomfördes enligt samma förfarande som för stadie 1 men med en vädringstid på 4 minuter och 50 sekunder.

11.2.1.2 Mätning av till- och frånluftsflödena

En stos från SwemaFlow (125D) användes för att mäta till- och frånluftsflödena i varje rum med- respektive utan någon vädring alls i det stora sovrummet (sovrum 3). Värdena för alla rum antecknades och jämfördes sedan med varandra för att avgöra om vädringen har haft någon inverkan på till- och frånluftsflödena.

11.2.2 Lägenhetens plan och utseende

Figuren nedan visar mätninglägenhetens plan och utseende. Sovrummet där spårgasmätningar genomfördes är markerat med röda linjer. De blåa cirkarna visar tillluftsdonens placering i rummen och de röda visar frånluftsdonens placering i toaletterna. Den röda cirkeln i köket visar köksfläkten, forceringen av flödet genom denna var inaktiv under mätningen.

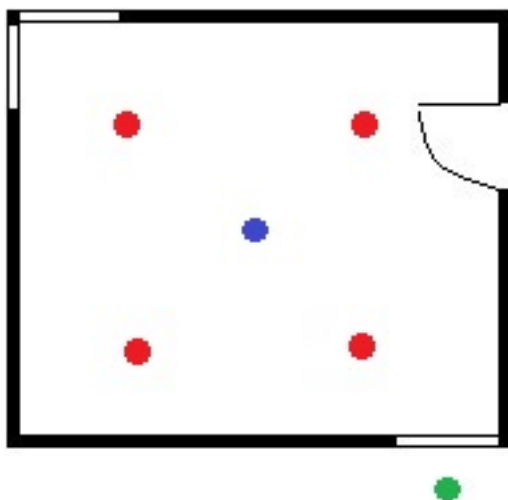


Figur 15: Planlösning i lägenhet, totalt 90,7 kvm.

Schematiska bilder över placering av mätutrustningen i rummet

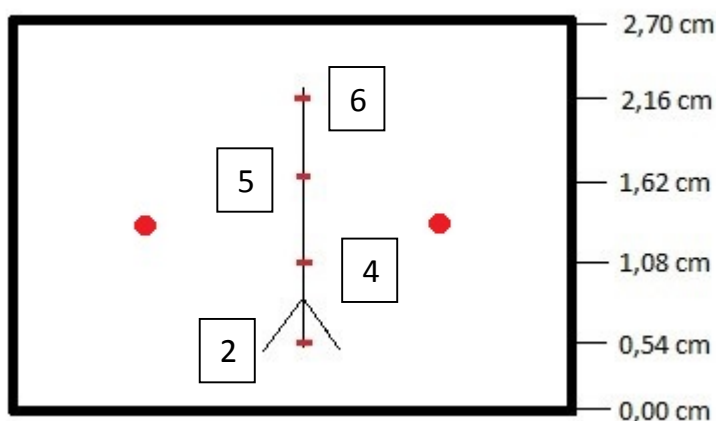
Plan:

- Röda cirkelar visar placering av inloppen till slangarna för spårgasmätning (mätpunkt)
- Den blåa cirkeln visar loggrarnas placering i rummets mitt
- Den gröna cirkeln visar loggerns placering utomhus som mätte uteluftstemperaturen



Sektion:

- Röda streck visar loggrarnas placering i höjddled i rummets mitt
- Röda cirklar visar placering i höjddled av inloppen till slangarna för spårgasmätning (mätpunkt). Dessa var placerade på halva rummets höjd.



11.2.3 Mätningresultat av spårgasmätning

Spårgasberäkningar enligt stadie 1 och stadie 2 görs genom att använda kapitel *Beräkning av uppmätt luftutbyte* i Nordquists licentiatavhandling, *Vädring i skolor*. Här presenteras endast de formler och beräkningar som är viktiga för att förstå metoden. För teorin bakom formler och detaljerade anvisningar för beräkningar refererar vi till boken.

Luftvolymen V_a som passerar fönsteröppningen är beräknad på tre olika sätt enligt Nordquist (1998, s. 91-101):

- 1a) ingen omblandning av V_a och total omblandning av $V_{\bar{o}}$ antas under vädringen,
- 1b) ingen omblandning av V_a och $V_{\bar{o}}$ antas under vädringen,
- 2) total omblandning av luften antas ske under vädringen.

11.2.3.1 Vädringsflöde, Stadie 1 (Mätning 1)

1. a) *ingen omblandning av V_a och total omblandning av V_o antas under vädringen*

Mängden spårgas i rumsvolymen vid en viss tidpunkt före vädring kan skrivas:

$$\frac{V_{a1}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e1}}{c_{f1}} \quad (11.1)$$

Mängden spårgas i rumsvolymen vid en viss tidpunkt efter vädring kan skrivas:

$$\frac{V_{a2}}{V} = \frac{c_{f2} - c_{e2}}{c_{f2}} \quad (11.2)$$

c_{f1} = koncentration (ppm) enligt regressionsekvation före vädring $c_{f1} = e^{(-1,7233t+4,604)}$ vid tidpunkt 1 (före vädring)

c_{e1} = koncentration (ppm) enligt regressionsekvation efter vädring $c_{e1} = e^{(-2,1291t+3,8461)}$ vid tidpunkt 1 (efter vädring)

c_{f2} = koncentration (ppm) enligt regressionsekvation före vädring $c_{f2} = e^{(-1,7233t+4,604)}$ vid tidpunkt 2 (före vädring)

c_{e2} = koncentration (ppm) enligt regressionsekvation efter vädring $c_{e2} = e^{(-2,1291t+3,8461)}$ vid tidpunkt 2 (efter vädring)

V_{a1} = luftvolym genom fönsteröppningen beräknad vid $t=1$ (m^3)

V_{a2} = luftvolym genom fönsteröppningen beräknad vid $t=2$ (m^3)

V = rummets luftvolym (m^3)

Den utbytta volymen beräknas sedan som medelvärdet av V_{a1} och V_{a2} :

$$V_a = \frac{V_{a1} + V_{a2}}{2} \quad (11.3)$$

Rumsarean där mätningarna gjordes är $12,6 m^2$. Takhöjden är $2,7 m$. Detta ger en rumsvolym $V=34 m^3$. De koncentrationer som behövs för beräkningarna bestäms med hjälp av regressionsekvationerna ovan som har bestämts genom linjär regression utifrån mätningsresultat. Med hjälp av dessa kan sedan koncentrationerna c_{f2} och c_{e1} erhållas genom extrapolering. Figuren nedan visar grafen över spårgasmätning 1 som gjordes och kryssen anger de punkter som har använts för att bestämma regressionsekvationerna så att alla nödvändiga koncentrationer kan bestämmas, t.ex. genom extrapolering.

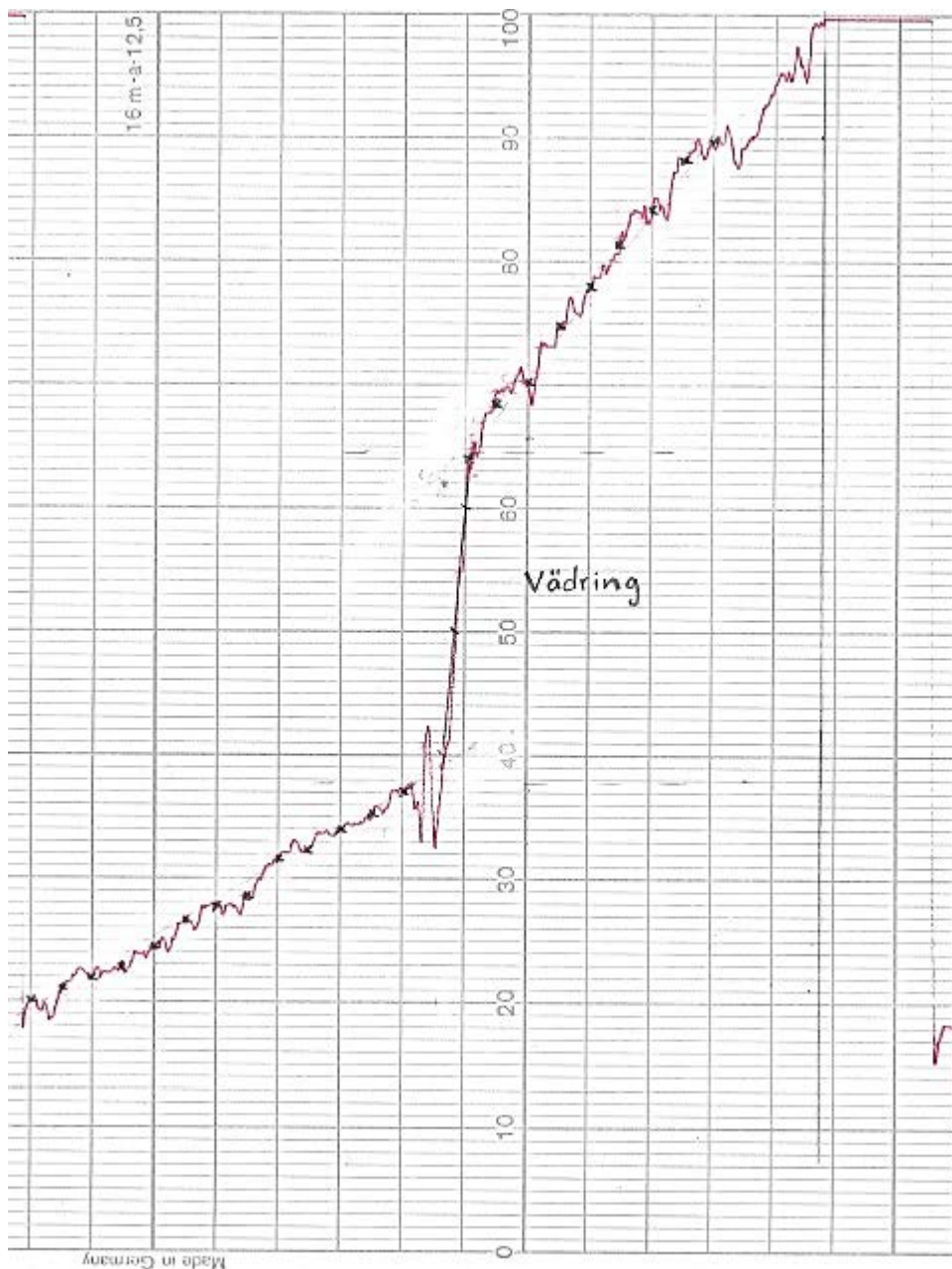
$c_{f1} = 64,9$ ppm

$c_{f2} = 62,2$ ppm

$c_{e1} = 42,5$ ppm

$c_{e2} = 40,4$ ppm

$V=34 m^3$



Figur 16: Graf över spårgasmätningen i Flaggskepparen, stadie 1.

Med spårgaskoncentrationerna och rumsvolymen fås:

$$\frac{V_{a1}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e1}}{c_{f1}} = \frac{64,9 - 42,5}{64,9} \Rightarrow V_{a1} = 34 \cdot \left(\frac{64,9 - 42,5}{64,9} \right) \approx 11,73 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{a2}}{V} = \frac{c_{f2} - c_{e2}}{c_{f2}} = \frac{62,2 - 40,4}{62,2} \Rightarrow V_{a1} = 34 \cdot \left(\frac{62,2 - 40,4}{62,2} \right) \approx 11,92 \text{ m}^3$$

Den utbytta volymen beräknas som medelvärdet av V_{a1} och V_{a2} :

$$V_a = \frac{V_{a1} + V_{a2}}{2} \approx 11,83 \text{ m}^3$$

1 b) ingen omblandning av V_a och $V_{\ddot{o}}$ antas under vädningen

Det totala utbytet som har erhållits under vädningen kan skrivas:

$$\frac{V_{total}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e2}}{c_{f1}} \quad (11.4)$$

Övrig ventilation före vädning:

$$\frac{c_{f1} - c_{f2}}{c_{f1}} = \frac{V_{\ddot{o}f}}{V} \quad (11.5)$$

Övrig ventilation efter vädning:

$$\frac{c_{e1} - c_{e2}}{c_{e1}} = \frac{V_{\ddot{o}e}}{V} \quad (11.6)$$

Övrig ventilation:

$$V_{\ddot{o}} = \frac{V_{\ddot{o}f} + V_{\ddot{o}e}}{2} \quad (11.7)$$

Luftutbyte genom fönsteröppning:

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} \quad (11.8)$$

Med spårgaskoncentrationerna och rumsvolymen som i föregående fall:

$$c_{f1} = 64,9 \text{ ppm}$$

$$c_{f2} = 62,2 \text{ ppm}$$

$$c_{e1} = 42,5 \text{ ppm}$$

$$c_{e2} = 40,4 \text{ ppm}$$

$$V=34 \text{ m}^3$$

...blir:

$$\frac{V_{total}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e2}}{c_{f1}} = \frac{64,9 - 40,4}{64,9} \Rightarrow V_{total} = 34 \cdot \left(\frac{64,9 - 40,4}{64,9} \right) \approx 12,84 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\ddot{o}f}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{f2}}{c_{f1}} = \frac{64,9 - 62,2}{64,9} \Rightarrow V_{\ddot{o}f} = 34 \cdot \left(\frac{64,9 - 62,2}{64,9} \right) \approx 1,41 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\ddot{o}e}}{V} = \frac{c_{e1} - c_{e2}}{c_{e1}} = \frac{42,5 - 40,4}{42,5} \Rightarrow V_{\ddot{o}e} = 34 \cdot \left(\frac{42,5 - 40,4}{42,5} \right) \approx 1,68 \text{ m}^3$$

$$V_{\ddot{o}} = \frac{V_{\ddot{o}f} + V_{\ddot{o}e}}{2} \approx 1,55 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} = 11,29 \text{ m}^3$$

2. Beräkning med antagande att total omblandning sker under vädringsförloppet

Det totala utbytet som har erhållits under vädringen kan skrivas:

$$\frac{V_{total}}{V} = \ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{e2}}\right) \quad (11.9)$$

Övrig ventilation före vädring:

$$\ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{f2}}\right) = \frac{V_{\ddot{o}f}}{V} \quad (11.10)$$

Övrig ventilation efter vädring:

$$\ln\left(\frac{c_{e1}}{c_{e2}}\right) = \frac{V_{\ddot{o}e}}{V} \quad (11.11)$$

Övrig ventilation:

$$V_{\ddot{o}} = \frac{V_{\ddot{o}f} + V_{\ddot{o}e}}{2} \quad (11.12)$$

Luftutbyte genom fönsteröppning:

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} \quad (11.13)$$

Med spårgaskoncentrationerna och rumsvolymen som i föregående fall:

$$c_{f1} = 64,9 \text{ ppm}$$

$$c_{f2} = 62,2 \text{ ppm}$$

$$c_{e1} = 42,5 \text{ ppm}$$

$$c_{e2} = 40,4 \text{ ppm}$$

$$V = 34 \text{ m}^3$$

...blir:

$$\frac{V_{total}}{V} = \ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{e2}}\right) = \ln\left(\frac{64,9}{40,4}\right) \Rightarrow V_{total} = 34 \cdot \ln\left(\frac{64,9}{40,4}\right) \approx 16,03 \text{ m}^3$$

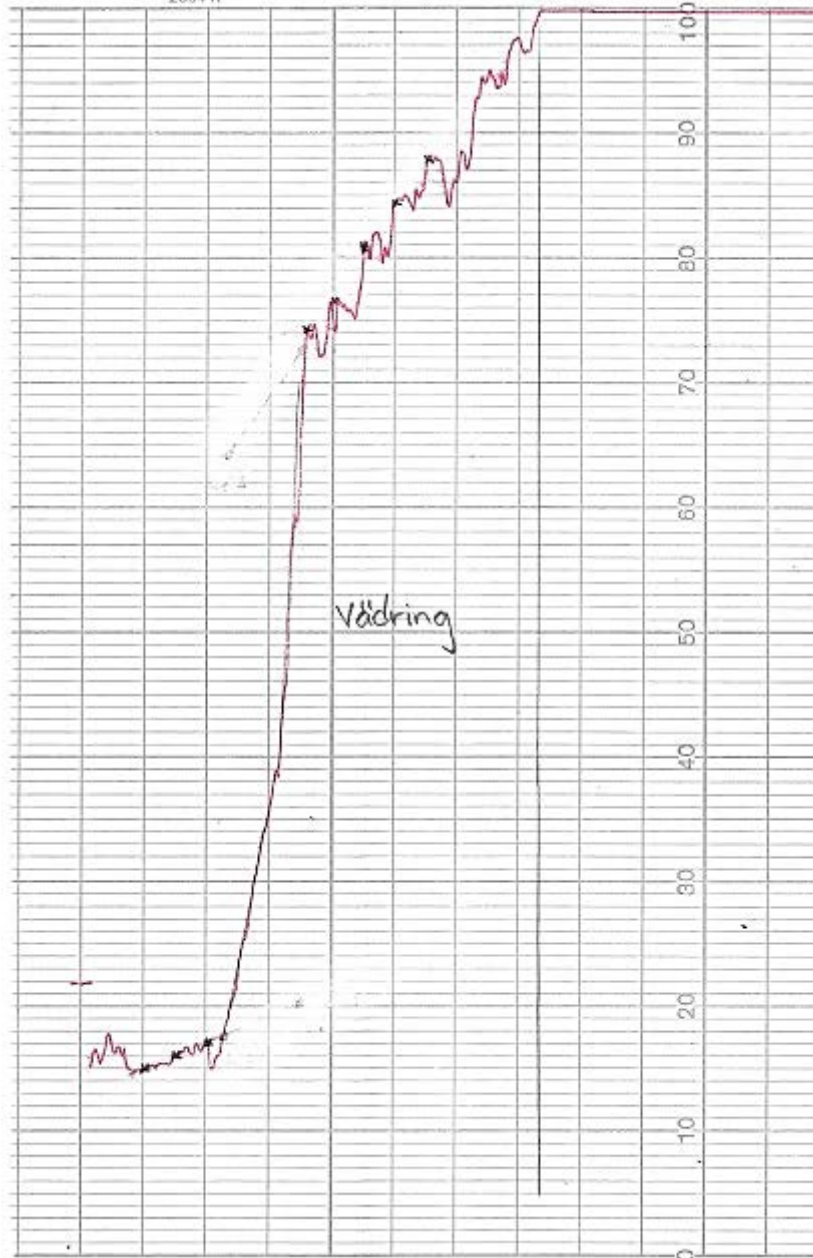
$$\frac{V_{\ddot{o}f}}{V} = \ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{f2}}\right) = \ln\left(\frac{64,9}{62,2}\right) \Rightarrow V_{\ddot{o}f} = 34 \cdot \ln\left(\frac{64,9}{62,2}\right) \approx 1,44 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\ddot{o}e}}{V} = \ln\left(\frac{c_{e1}}{c_{e2}}\right) = \ln\left(\frac{42,5}{40,4}\right) \Rightarrow V_{\ddot{o}e} = 34 \cdot \ln\left(\frac{42,5}{40,4}\right) \approx 1,72 \text{ m}^3$$

$$V_{\ddot{o}} = \frac{V_{\ddot{o}f} + V_{\ddot{o}e}}{2} \approx 1,58 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} = 14,45 \text{ m}^3$$

11.2.3.2 Vädringsflöde, Efter stadie 1 (Mätning 2)



Figur 17: Graf över spårgasmätningen i Flagskepparen, efter stadie 1.

Enligt samma förfarande som i 11.2.3.1 har vi bestämt regressionskvationer även för detta fall som inträffar efter stadie 1. De koncentrationer som behövs för beräkningarna bestäms med hjälp av regressionskvationerna nedan:

$$C_{f1} = e^{(-1,7041t+4,563)}$$

$$C_{f2} = e^{(-1,7041t+4,563)}$$

$$c_{e1} = e^{(-2,5033t+3,0842)}$$

$$c_{e2} = e^{(-2,5033t+3,0842)}$$

Dessa har som i föregående fall bestämts genom linjär regression utifrån mättningsresultat. Med hjälp av dessa kan sedan koncentrationerna c_{f2} och c_{e1} erhållas genom extrapolering. Figuren nedan visar grafen över spårgasmätning 1 som gjordes och kryssen anger de punkter som har använts för att bestämma regressionssekvationerna så att alla nödvändiga koncentrationer kan bestämmas, t.ex. genom extrapolering.

$$c_{f1} = 74,2 \text{ ppm}$$

$$c_{f2} = 67,0 \text{ ppm}$$

$$c_{e1} = 20,5 \text{ ppm}$$

$$c_{e2} = 17,7 \text{ ppm}$$

$$V=34 \text{ m}^3$$

1. a) ingen omblandning av V_a och total omblandning av $V_{\bar{o}}$ antas under vädringen

Med spårgaskoncentrationerna och rumsvolymen fås:

$$\frac{V_{a1}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e1}}{c_{f1}} = \frac{74,2 - 20,5}{74,2} \Rightarrow V_{a1} = 34 \cdot \left(\frac{74,2 - 20,5}{74,2} \right) \approx 24,61 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{a2}}{V} = \frac{c_{f2} - c_{e2}}{c_{f2}} = \frac{67,0 - 17,7}{67,0} \Rightarrow V_{a2} = 34 \cdot \left(\frac{67,0 - 17,7}{67,0} \right) \approx 25,02 \text{ m}^3$$

Den utbytta volymen beräknas som medelvärde av V_{a1} och V_{a2} :

$$V_a = \frac{V_{a1} + V_{a2}}{2} \approx 24,81 \text{ m}^3$$

1 b) ingen omblandning av V_a och $V_{\bar{o}}$ antas under vädringen

$$\frac{V_{total}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{e2}}{c_{f1}} = \frac{74,2 - 17,7}{74,2} \Rightarrow V_{total} = 34 \cdot \left(\frac{74,2 - 17,7}{74,2} \right) \approx 25,89 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\bar{o}f}}{V} = \frac{c_{f1} - c_{f2}}{c_{f1}} = \frac{74,2 - 67,0}{74,2} \Rightarrow V_{\bar{o}f} = 34 \cdot \left(\frac{74,2 - 67,0}{74,2} \right) \approx 3,30 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\bar{o}e}}{V} = \frac{c_{e1} - c_{e2}}{c_{e1}} = \frac{20,5 - 17,7}{20,5} \Rightarrow V_{\bar{o}e} = 34 \cdot \left(\frac{20,5 - 17,7}{20,5} \right) \approx 4,64 \text{ m}^3$$

$$V_{\bar{o}} = \frac{V_{\bar{o}f} + V_{\bar{o}e}}{2} \approx 3,97 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} = 21,92 \text{ m}^3$$

2. Beräkning med antagande att total omblandning sker under vädringsförloppet

$$\frac{V_{total}}{V} = \ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{e2}}\right) = \ln\left(\frac{74,2}{17,7}\right) \Rightarrow V_{total} = 34 \cdot \ln\left(\frac{74,2}{17,7}\right) \approx 48,73 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_{\ddot{o}f}}{V} = \ln\left(\frac{c_{f1}}{c_{f2}}\right) = \ln\left(\frac{74,2}{67,0}\right) \Rightarrow V_{\ddot{o}f} = 34 \cdot \ln\left(\frac{74,2}{67,0}\right) \approx 3,47 \text{ m}^3$$

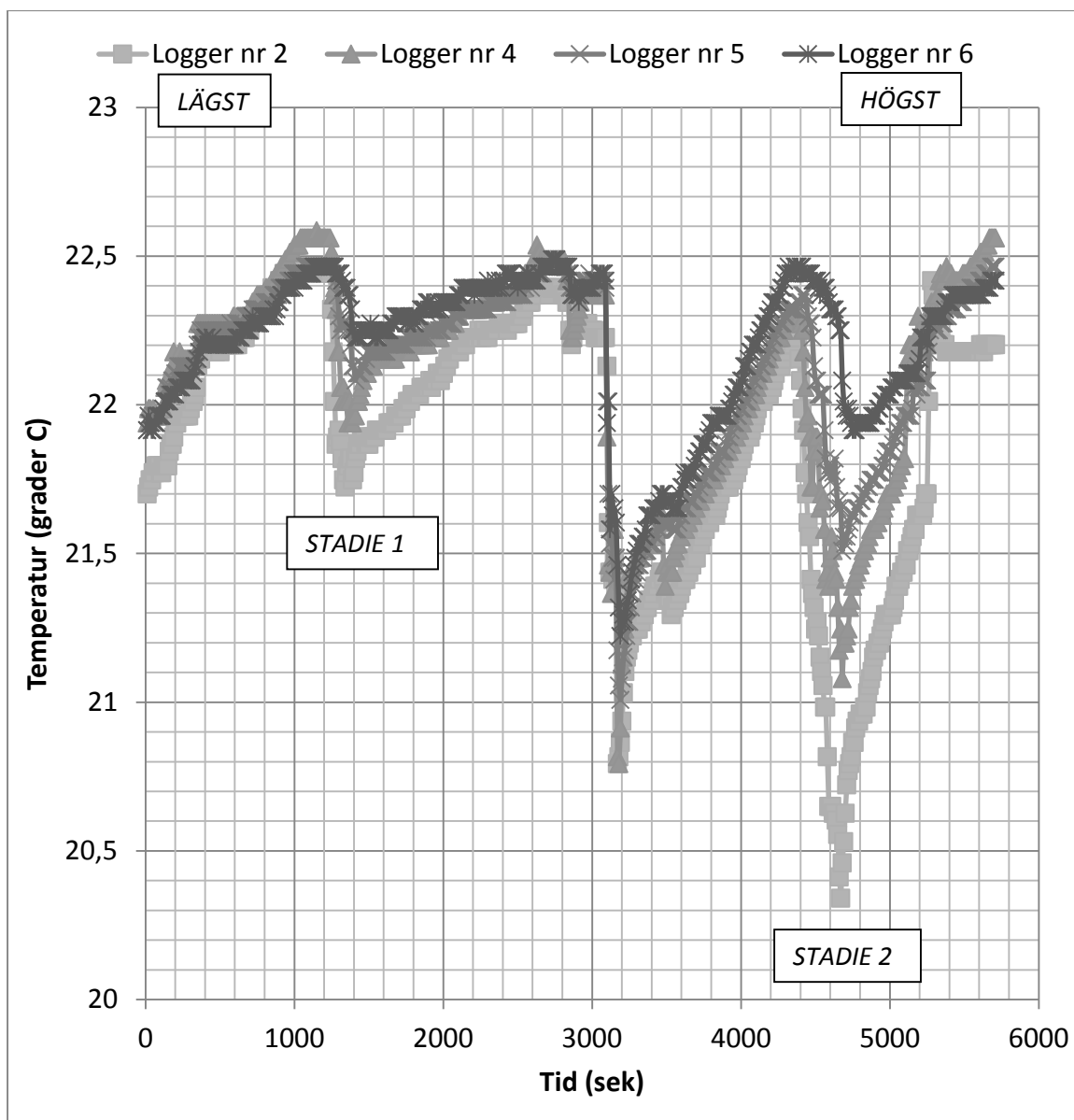
$$\frac{V_{\ddot{o}e}}{V} = \ln\left(\frac{c_{e1}}{c_{e2}}\right) = \ln\left(\frac{20,5}{17,7}\right) \Rightarrow V_{\ddot{o}e} = 34 \cdot \ln\left(\frac{20,5}{17,7}\right) \approx 4,99 \text{ m}^3$$

$$V_{\ddot{o}} = \frac{V_{\ddot{o}f} + V_{\ddot{o}e}}{2} \approx 4,23 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{total} - V_{\ddot{o}} = 44,50 \text{ m}^3$$

11.3 Beräknade värden på luftutbytet genom BN-metoden

11.3.1 Loggerdata



Figur 18: Temperaturer för logger nr 2-4, var 10 sek, 13-04-30 13:15:00-14:50:00.

Kommentarer: Mätning 1 – Stadie 1

Vädring skedde före första mätningen som endast inkluderade stadie 1. Vi släppte ut gas 13:15 vilket är vid 0 sek enligt grafen. Spårgashalten blev för hög och för att sänka den till en rimlig nivå vädrade vi, därmed den lägre temperaturen i början av mätningen. Därefter väntade vi tills rummet hade värmts upp igen och spårgashalten hade avtagit med ca 30 ppm. Vid 13:35 vädrade vi i 1 min 50 sek enligt anteckningarna vilket även syns i grafen vid ca 1100 sek då temperaturen sjunker. Därefter väntade vi till nästa mätning.

Kommentarer: Mätning 2 – Stadie 1

Vi släppte ut gas igen kl 13:55 inför nästa mätning som inkluderar stadie 1 och 2. Vi vädrade flera gånger för att sänka halten till en rimlig nivå eftersom för mycket gas hade släppts ut (ca 700 ppm), detta märks vid ca 3000 sek där klockan var ca 14:04. Därefter lät vi rummet värmas upp före sista vädringen som skedde vid 14:28 enligt anteckningar. Detta syns vid ca 4400 sek enligt grafen. Här vädrade vi i ca 4 min och 50 sek. Därefter väntade vi i ca 15 min och avslutade sedan mätningen.

Kommentarer

En skillnad syns mellan de olika loggrarnas temperaturkurvor. Kurvan för den logger som befinner sig lägst i höjdlid även har hamnat längst ner i diagrammet. Kurvan för den logger som befinner sig högst i höjdlid har hamnat högst upp i diagrammet.

Placeringen tyder på flera saker och en av dem är att den kalla luften som har tagit sig in genom vädringsöppningen först har sjunkit till golvet pga. densitetsskillnaden. Denna luft har sedan värmts upp varvid dess densitet har minskat vilket gör att den stiger och trycker ut befintlig rumsluft som evakuerar rummet från vädringsöppningens övre del.

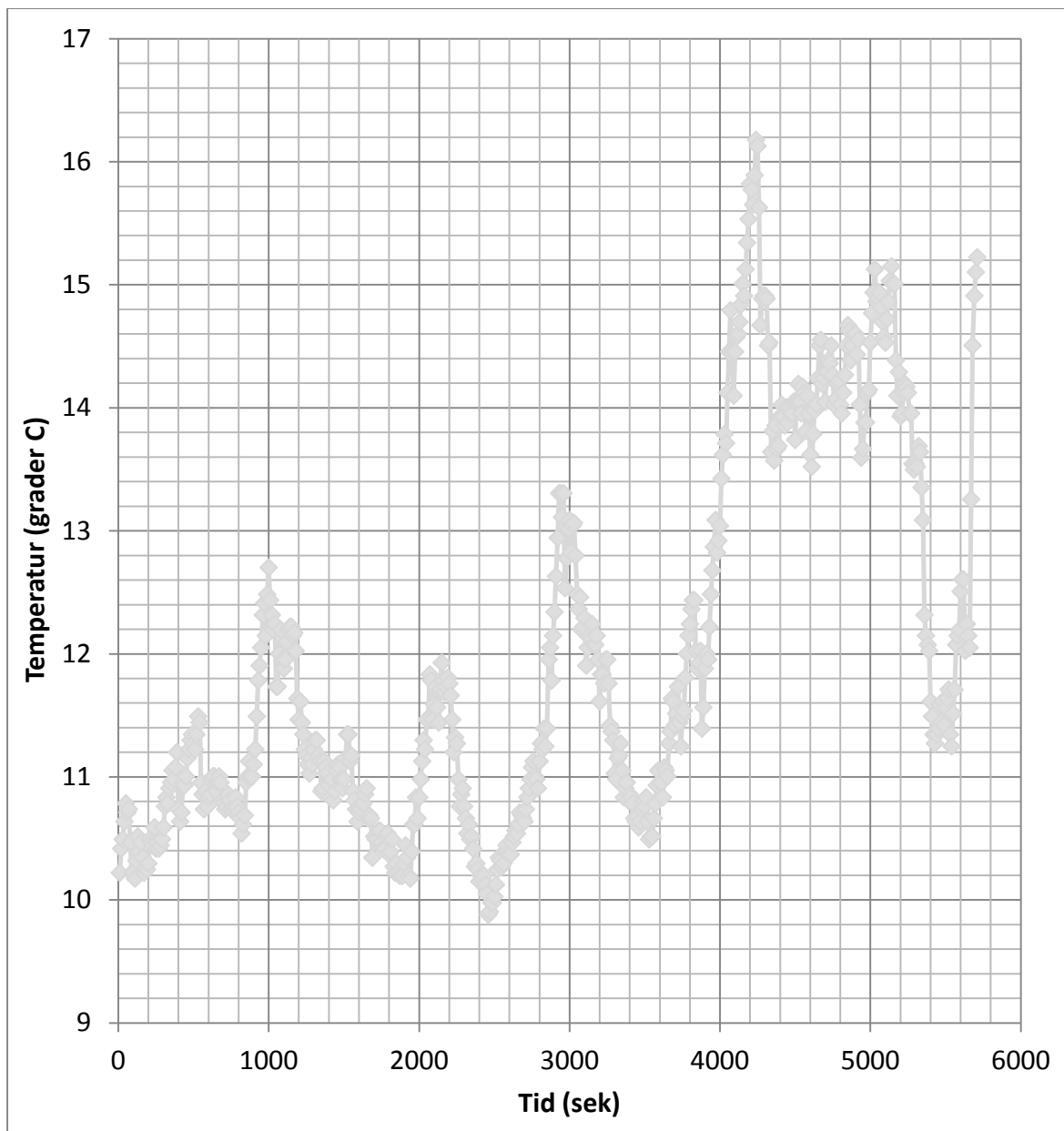
Detta fenomen bekräftas av resultatet från loggrarna där vi också ser att de loggrar som är placerade högre i höjdlid inte registrerar en lika låg temperatur som de som är placerade lägre i höjdlid. Det är också möjligt att en viss omblandning sker i detta skede trots att ingen fläkt var igång.

I och med att ovan beskriven rörelse sker så tar det även olika tid för den inkommande luften att nå de olika loggrarna. Detta resulterar i en viss förskjutning i mellan de olika temperaturkurvorna.

Starttemperaturen inomhus blir under:

Mätning 1 = 22,5 °C

Mätning 2 = 22,2 °C



Figur 19: Temperatur för logger nr 1, var 10 sek, 13-04-30 13:15:00-14:50:00.

Starttemperaturen utomhus blir under:

Mätning 1 = 11,3 °C

Mätning 2 = 14,0 °C

11.3.2 Modell 1 – ingen omblandning

Beräkningar under denna rubrik sker enligt avsnitt 8.3.3.1.

11.3.2.1 Mätning 1

Stadie 1

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$B = 0,87 \text{ m}$$

$$H = 1,15 \text{ m}$$

$$H_{\text{bröstning}} = 0,95 \text{ m}$$

$$A_g = 12,92 \text{ m}^2$$

Eftersom fönstret var helt öppet är faktor $J(\theta) = 1$.

$$\Delta T = (22,5 - 11,3) = 11,2 \text{ K eller } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T} = \frac{(22,5 + 273,15 + 11,3 + 273,15)}{2} = 290 \text{ K}$$

$$C_d = 0,4 + 0,0045 \cdot 11,2 = 0,4505$$

$$q = C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H^3}{\bar{T}}} = 0,4505 \cdot \frac{0,87}{3} \sqrt{\frac{11,2 \cdot 9,81 \cdot 1,15^3}{290}} = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{a1} = qt = 0,10 \cdot 110 \text{ sek} \approx 11,00 \text{ m}^3$$

Volymen under fönstret är:

$$V_{\text{under}} = 12,92 \cdot 0,95 = 12,27 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{under}} = qt \rightarrow t = \frac{V_{\text{under}}}{q} = \frac{12,27}{0,10} = 123 \text{ sek} \approx 2 \text{ min } 3 \text{ sek}$$

Det skulle alltså ta 2 min och 3 sek enligt beräkningarna att byta ut hela volymen under fönstrets underkant i stadie 1.

11.3.2.2 Mätning 2

Stadie 1

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$B = 0,87 \text{ m}$$

$$H = 1,15 \text{ m}$$

$$H_{\text{bröstning}} = 0,95 \text{ m}$$

$$A_g = 12,92 \text{ m}^2$$

Eftersom fönstret var helt öppet är faktor $J(\theta) = 1$.

$$\Delta T = (22,2 - 14,0) = 8,2 \text{ K eller } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T} = \frac{(22,2 + 273,15 + 14,0 + 273,15)}{2} = 291,3 \text{ K}$$

$$C_d = 0,4 + 0,0045 \cdot 8,2 = 0,4369$$

$$q = C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H^3}{\bar{T}}} = 0,4369 \cdot \frac{0,87}{3} \sqrt{\frac{8,2 \cdot 9,81 \cdot 1,15^3}{291,3}} = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = \frac{V_{\text{under}}}{q} = \frac{12,27}{0,08} = 154 \text{ sek}$$

Det skulle alltså ta 154 sek enligt beräkningarna att byta ut hela volymen under fönstrets underkant i stadie 1. Vi vädrade i 4 min och 50 sek vilket innebär att vi vädrade i 134 sek ytterligare under stadie 2.

Efter stadie 1

$$k = C_d \frac{B}{3} \sqrt{g \frac{\Delta T}{\bar{T}}} = 0,4369 \cdot \frac{0,87}{3} \sqrt{\frac{8,2 \cdot 9,81}{291,3}} = 0,067$$

$$a = \frac{k}{A_g} = \frac{0,067}{12,92} = 0,005$$

$$H(t) = \frac{1}{\left(\frac{at}{2} + \frac{1}{H_0}\right)^2} = \frac{1}{\left(\frac{0,005 \cdot 134}{2} + \frac{1}{1,15}\right)^2} = 0,67 \text{ m}$$

$$V_{a0} = (1,15 - 0,67) \cdot 12,92 = 6,20 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a0} = 12,27 + 6,20 = 18,47 \text{ m}^3$$

11.3.3 Modell 2 – total omblandning

Mätning 1 - Stadie 1

Ingångsvärden som under avsnitt 11.3.2.

$$V_{rum} = 12,92 \cdot 2,7 = 34,88 \text{ m}^3$$

$$a = C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{gH^3}{\bar{T}}} = 0,4505 \cdot \frac{0,87}{3} \sqrt{\frac{9,81 \cdot 1,15^3}{290}} = 0,03$$

$$b = \frac{a}{V_{rum}} = \frac{0,03}{34,88} = 0,0009$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{T_0 - T_u}} = \frac{1}{\sqrt{22,5 - 11,3}} = 0,3$$

$$V_a = V_{rum} \cdot \ln \left(\left(\frac{bt}{2c} + 1 \right)^2 \right) = 34,88 \cdot \ln \left(\left(\frac{0,0009 \cdot 110}{2 \cdot 0,3} + 1 \right)^2 \right) = 10,65 \text{ m}^3$$

Mätning 2 - Stadie 1 och efter

Ingångsvärden som under avsnitt 11.3.2.

$$a = C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{gH^3}{\bar{T}}} = 0,4369 \cdot \frac{0,87}{3} \sqrt{\frac{9,81 \cdot 1,15^3}{291,3}} = 0,03$$

$$b = \frac{a}{V_{rum}} = \frac{0,03}{34,88} = 0,0009$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{T_0 - T_u}} = \frac{1}{\sqrt{22,2 - 14,0}} = 0,35$$

$$V_a = V_{rum} \cdot \ln \left(\left(\frac{bt}{2c} + 1 \right)^2 \right) = 34,88 \cdot \ln \left(\left(\frac{0,0009 \cdot 290}{2 \cdot 0,35} + 1 \right)^2 \right) = 22,11 \text{ m}^3$$

11.4 Jämförelse mellan beräknat och uppmätt luftutbyte

Mätning 1 – Stadie 1

Tabell 9: Mätning 1 – ingen eller delvis omblandning

	Uppmätt		Beräknat
Formel	11.3 - delvis omblandning	11.8 - ingen omblandning	Modell 1 - ingen omblandning
Luftutbyten	11,83	11,29	11,00

Tabell 10: Mätning 1 – omblandning

	Uppmätt	Beräknat
Formel	11.13 - total omblandning	Modell 2 - total omblandning
Luftutbyten	14,45	10,65

I mätning 1 stämmer beräkningsresultatet för modell 1 bäst överens med resultatet från mätningen där ingen omblandning antas ske. Då modell 1 förutsätter att ingen omblandning sker tyder detta på att modell 1 visar närmast verkliga förhållanden i det första stadiet. I det första stadiet fylls rummet med luft upp till fönstrets underkant.

Skillnaden mellan modell 1 och resultatet från mätning 1 där vi antar att delvis omblandning sker är inte stor den heller. Detta kan tyda på att delvis omblandning kanske sker då skillnaden kan bero på andra orsaker såsom vindens inverkan.

Resultaten från modell 1 och modell 2 är snarlika men av de två är det modell 1 som bäst stämmer överens med mätningarna. Återigen tyder detta på att ingen omblandning sker.

Resultatet från mätningen där total omblandning antas ske ger orealistiska siffror och skiljer sig från alla andra resultat betydligt. Den metod som har använts för att få denna siffra anses därför vara längre från rådande förhållanden vid mättillfället.

Mätning 2 – Efter stadie 1

Tabell 11: Mätning 2 – ingen eller delvis omblandning

	Uppmätt		Beräknat
Formel	11.3 - delvis omblandning	11.8 - ingen omblandning	Modell 1 - ingen omblandning
Luftutbyten	24,81	21,92	18,47

Tabell 12: Mätning 2 – omblandning

	Uppmätt	Beräknat
Formel	11.13 - total omblandning	Modell 2 - total omblandning
Luftutbyten	44,50	22,11

I mätning 2 stämmer resultatet för modell 1 bäst överens med resultatet från mätningen där ingen omblandning antas ske. Återigen tyder detta på att modell 1 visar närmast verkliga förhållanden.

Skillnaden mellan modell 1 och resultatet från mätning 2 där vi antar att delvis omblandning sker är stor. Detta tyder på att delvis omblandning inte sker och att modell 1 stämmer bäst överens med mätningarna även efter stadie 1.

Återigen kan vi konstatera och resultatet från mätning 2 där vi antar att total omblandning sker är ett antaganden som är längre från rådande förhållanden vid mättillfället.

Volymkorrigering av teoretiskt beräknade resultat?

Som i Nordquists (1998, s.109-112) beräkningar så har inte vi heller gjort en volymkorrigering av de beräknade värdena. För modell 2 får vi anta att temperaturskillnaden är konstant vid volymkorrigeringen enligt formel 11.12:

Mätning 1

$$\Delta V = \frac{T_i}{T} = \frac{22,5 + 273,15}{11,3 + 273,15} = 1,04$$

Mätning 2

$$\Delta V = \frac{T_i}{T} = \frac{22,2 + 273,15}{14,0 + 273,15} = 1,03$$

Av de beräknade kvoterna ser vi att med en volymkorrigering bör de teoretiskt beräknade värdena befinna sig närmre de uppmätta värdena. Skillnaden just i detta fall är dock inte stor.

11.5 Mätningsresultat av från- och tilluftsflöden

Mätningen skedde då alla innerdörrar i lägenheten var öppna, förutom dörren till sovrum 3 som var stängd. I ett fall var denna öppen för att se om detta gjorde någon skillnad vilket vi konstaterade att det faktiskt gjorde.

Tabell 13: Ventilationsflöden q i l/s (F: frånluftsflöde, T: tilluftsflöde)

	WC (F)	SR 1 (T)	Bad (F)	SR2 (T)	VR/ Kök (T)	SR3 (T)	Totalt (T)
Utan vädring	13,4	6,9	14,0	8,8	11,9	14,2	41,8
Vid vädring	14,7	7,8	14,3	7,2	11,8	15,7	42,5
Skillnad	+1,3	+0,9	+0,3	-1,6	-0,1	+1,5	+0,7

Kommentar

Vi ser av resultatet att vädringen påverkar flödena på ett oförutsett sätt. I det stora sovrummet (SR3) ökade tilluftsflödet vilket endast kan orsakas av ett undertryck då där endast finns ett tilluftsdon. Detta tilluftsdon låg ca 1,5 m bort från fönsteröppningen vilket kan vara orsaken till detta fenomen. Luftutbytet genom fönsteröppningen orsakar förmodligen det undertryck som ökar tilluftsflödet genom tilluftsdonet.

Flödet i hela lägenheten påverkades av vädringen. De don som finns i SR1 och SR2 påverkades. Förmodligen är ventilationen för SR2-SR3 sammankopplad vilket har orsakat förändringen däremellan. Då mer luft kommer ut genom tilluftsdonet i SR3 så är det naturligt att flödet i SR2 minskar. Hur flödet genom SR1 har ökat är dock svårt att spekulera kring - kanske har ett undertryck från SR1 mot resten av lägenheten skapats pga. vädringen. Ritningar på ventilationskanalerna kanske skulle kunna ge en bättre insikt i detta.

De totala skillnaderna av frånluftsflödena kan vi inte vara säkra på eftersom mätning över spisfläkten inte var möjlig. Därför dras inga slutsatser om dessa. Flödena förändras dock relativt litet.

Övrigt:

I början av mätningen tog vi ingen hänsyn till innerdörrarnas status, dvs. ifall de var öppna eller stängda, förutom för SR3 där vädringen skedde. Under mätningens gång märkte vi att detta gjorde skillnad på flödena. Det kan dock ha varit något annat som orsakade variationerna, t.ex. vind mot fasaden eller liknande. Slutsatsen är att oavsett övriga dörrars status så påverkas ventilationssystemet något av vädringen.

Tabell 14: Mättningsresultat - okänd status på övriga dörrar

	WC (F)	SR 1 (T)	Bad (F)	SR2 (T)	VR/ Kök (T)	SR3 (T)	Totalt (T)
Utan vädring	12,8	7,3	14,5	7,1	12,8	13,3	40,5
Vid vädring	13,6	6,7	13,1	6,7	11,2	17,3	41,9
Skillnad	+0,8	-0,6	-1,4	-0,4	-1,6	+4,0	-1,4

Jämförs tabell 14 med tabell 13 så ser vi en skillnad vilket tyder på att dörrarnas status möjligtvis har en viss inverkan.

Ett exempel är att med öppen sovrumsdörr och utan vädring mätte vi tilluftsflödet i det stora sovrummet (sovrum 3) till 14,0 l/s. När vi sedan stängde denna dörr så sjönk flödet till 13,3 l/s. En springa fanns i tröskeln för överluft. Ingen hänsyn togs till de övriga dörrarnas status i detta fall.

11.5.1 Jämförelse med MEBY-schablon

I MEBY-projektet framställdes en beräkningsmodell för att ta hänsyn till ventilationssystemets inverkan. Vi har efter en noggrannare undersökning kommit fram till att denna har baserats på uppskattningar. Värden för ventilationssystemets inverkan på vädringsflödet har godtyckligt uppskattats (ATON, a).

En jämförelse är att enligt beräkningsmodellen så ska ett FTX-system inte ha någon inverkan alls på vädringsflödet. Våra mätningar visar att vädringsflödet faktiskt påverkar ett sådant system. Dock är skillnaden mot MEBYs uppskattningar inte så markant och vi har dessutom endast gjort en mätning. En djupare studie bör göras om detta.

12 Energiberäkning

I detta avsnitt kommer beräkningar av energiförluster vid vädring att göras genom att först beräkna luftflöden pga. vädring med hjälp av ekvationer från Birgitta Nordquists licentiat avhandling. Dessa ekvationer har sedan matats in i Matlab. Energiförluster vid vädring kommer att beräknas för flera orter som ligger i olika klimatzoner med särskilt fokus på Falsterbo som ligger närmast Malmö.

12.1 Utförande

Tolkning av respondenternas enkätsvar har skett enligt avsnitt 9.2 och utförts med MS Excel. Beroende på respondentens svar på fråga 16 har särskild hänsyn tagits till ifall respondenten har svarat att de öppnar balkongdörr eller inte svarat så. Skillnaden har då skett i tolkningen av öppningens dimensioner.

Beräkningen av dygnsmedel-värdet för utetemperaturen har skett enligt Ekholm-Modéns formel, som är en linjär viktning av de SMHI-uppmätta temperaturerna (Jensen, 2011, s.5). Detta har gjorts med hjälp av ett Matlab-program som Lars Jensen har tillhandahållit.

Av dygnsmedelvärdet på utetemperaturen har det aritmetiska medelvärdet beräknats för varje dygn över en viss tidsperiod (upp till 48 år, mellan 1961-2008) med hjälp av tillägg till, och modifikationer av, Jensens Matlab-program. Här har den sista dagen i ett skottår kapats bort. År som inte har minst 365 registrerade dagar räknas inte med samt år med något dygnsmedelvärde som överstiger 50°C eller understiger -50°C.

Luftflödesberäkningar, beräkningar av luftutbytesvolymer och beräkningar av energiförluster har därefter skett med formler enligt avsnitt 8.3.3- 8.3.4 i ett eget Matlab-program (se bilagor). Dessa har beräknats...

- ...efter medelvärdet av dygnsmedeltemperaturen för varje dygn och varje väderstation.
- ...med de tolkade svaren för varje lägenhet som ger varje lägenhet särskild öppningsbredd, öppningshöjd, vinkel på öppningen, vädringstid och vädringsfrekvens.

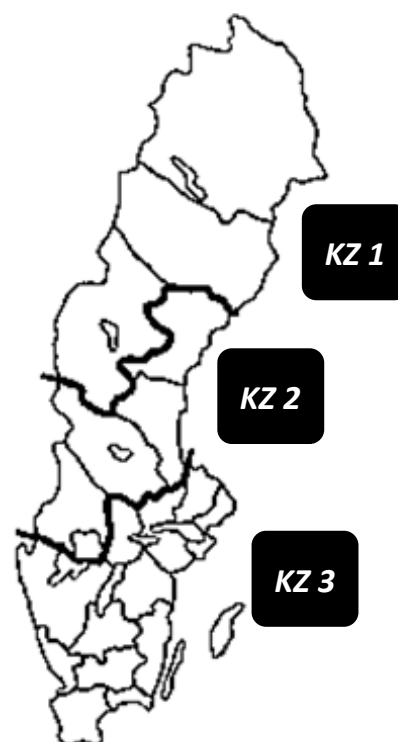
Detta leder till att varje lägenhet har för varje dygn fått ett särskilt vädringsflöde och totalt luftutbyte. Därmed får varje lägenhet för varje dygn en särskild energiförlust både pga. luftutbytet och pga. den tillagda förlusten genom radiatören.

Energiförlusten summeras därefter för varje lägenhet och alla dygn under uppvärmningssäsongen och divideras därefter med lägenhetens area för att få ett värde som är jämförbart med SVEBYs schablon på 4 kWh/år, kvm A_{temp} .

12.2 Mätstationer

Sverige är indelat i tre klimatzoner med olika kravnivåer (BBR, 2012, s.138-139). Då energiförlusten pga. vädring varierar med utetemperaturen så kan en anpassning till de olika klimatzonerna vara lämplig eftersom energikraven på ett hus ställs enligt dessa.

- *Klimatzon I* Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län.
- *Klimatzon II* Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län.
- *Klimatzon III* Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län.



Figur 20: Modifierad illustration över klimatzoner (Rockwool).

12.2.1 SMHI:s Mätstationer

Tabell 15: Mätstationer i klimatzon 1.

Nummer	Plats	Län	Klimatzon
16771	Arjeplog	Norrbotten	1
14757	Gunnarn	Västerbotten	1
14430	Gäddede	Jämtland	1
16395	Haparanda	Norrbotten	1
14036	Holmögadd	Västerbotten	1
19283	Karesuando	Norrbotten	1
16798	Kvikkjokk-Årrenjarka	Norrbotten	1
16286	Luleå	Norrbotten	1
18376	Pajala	Norrbotten	1
12402	Sveg	Jämtland	1
9927	Svenska-Högarna	Jämtland	1

Tabell 16: Mätstationer i klimatzon 2.

Nummer	Plats	Län	Klimatzon
13642	Junsele	Västernorrland	2
9322	Karlstad	Värmland	2
10341	Malung	Dalarna	2
12731	Sundsvall	Västernorrland	2

Tabell 17: Mätstationer i klimatzon 3.

Nummer	Plats	Län	Klimatzon
6516	Bredåkra	Blekinge	3
5223	Falsterbo	Skåne	3
13411	Frösön	Kronoberg	3
6855	Hoburg	Gotland	3
7446	Jönköping	Jönköping	3
8524	Malmslätt	Östergötland	3
7524	Målilla	Kalmar	3
9720	Stockholm-Bromma	Stockholm	3
8226	Såtenäs	Västra Götaland	3
7840	Visby	Gotland	3

12.3 Antagna värden på indata

Bröstningshöjden behövs i modell 1. Vi antar att alla fönster och dörrar har en överkant på samma höjd (2,1 m). Bröstningshöjden (H_0) bestäms då enligt:

$$H_0 = 2,1 - \text{Fönsterhöjd} \quad (12.1)$$

Innetemperaturen antas vara 21°C som i SVEBYs (2012) beräkningar.

Radiatorernas värmeövergångskoefficient antas vara 6,5 W/m²,K (se avsnitt 8.3.4). Värmevattnets framledningstemperatur antas vara 55°C och returledningstemperaturen 45°C. I formel 8.14 antas rummets temperatur vara konstant 21°C, vilket brukar vara den temperatur som flera hyresrättsförvaltare garanterar. Radiatorernas yta uppskattas motsvara 5 % av den yta som påverkas av vädringen.

12.4 Beräkningsresultat och analys

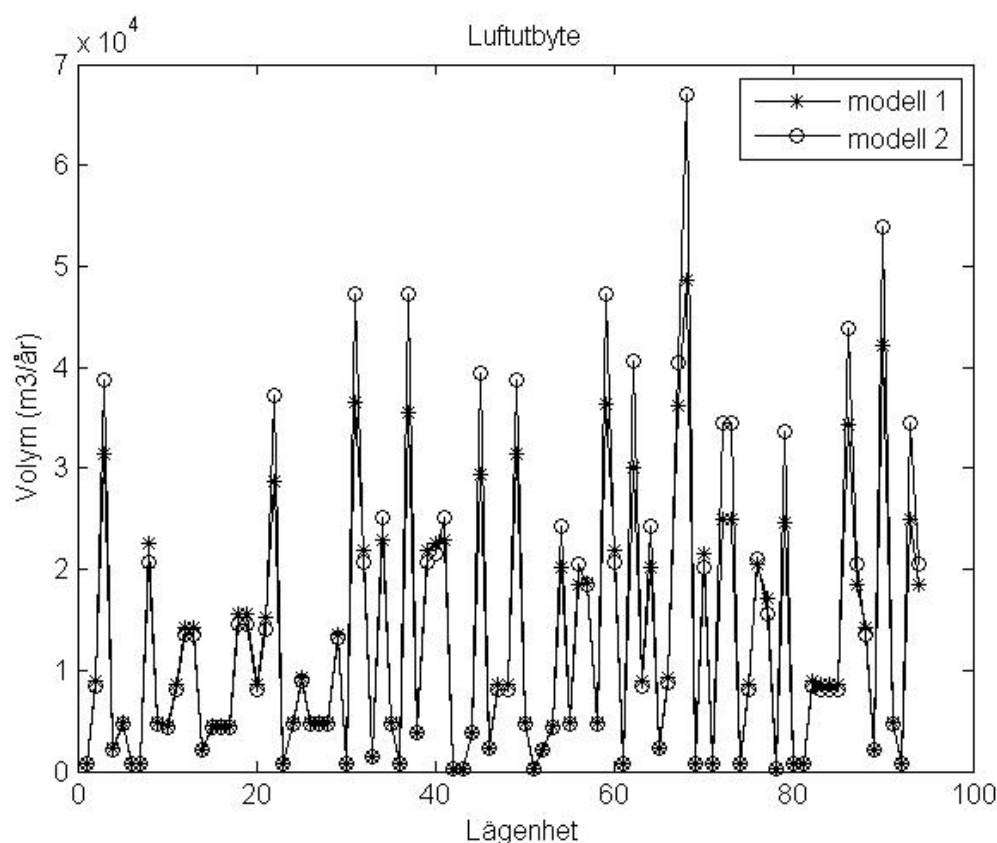
Beräkningar har skett för olika fall. Ett grundfall har undersökts med klimatdata från Falsterbo då denna mätstation befinner sig närmast Malmö. I grundfallet antas 60 % av lägenhetens yta påverkas av vädringen genom att uteluften når 60

% av lägenheten. Detta antagande förutsätter att inte alla innerdörrar är öppna vid vädringstillfället vilket innebär att uteluften som kommer begränsas till de från vädringsöppningen öppna utrymmena. Huruvida detta antagande överensstämmer med verkligheten är okänt vilket gör att det blir en viss osäkerhet för hur tillförlitliga erhållna resultaten är.

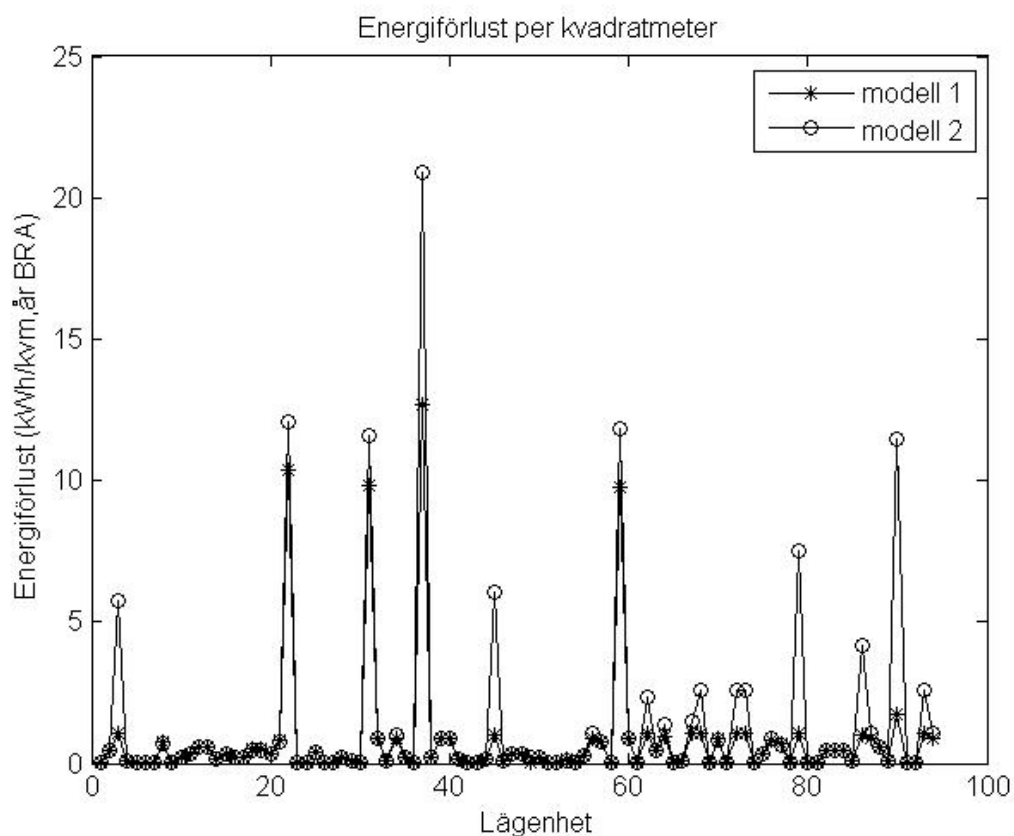
Därefter har klimatdata från Stockholm och Haparanda använts för att se skillnaden mellan Sveriges olika delar (Syd-, Mellan- och Nordsverige). Dessa fall förutsätter att vädringsbeteendet för de som bor i Flagghusen motsvaras av byggnader i Stockholm och Haparanda.

Vi har även undersökt energiförlusten med dygnsmedeltemperaturer för de i BBR bestämda klimatzonerna. I detta fall sprids, hypotetiskt, lägenheterna över respektive klimatzon.

12.4.1 Grundfall – Falsterbo/ (närmast Malmö)



Figur 21: Totalt luftutbyte för 94 lägenheter per år, Falsterbo.



Figur 22: Energiförlust per kvadratmeter och år för 94 lägenheter, Falsterbo.

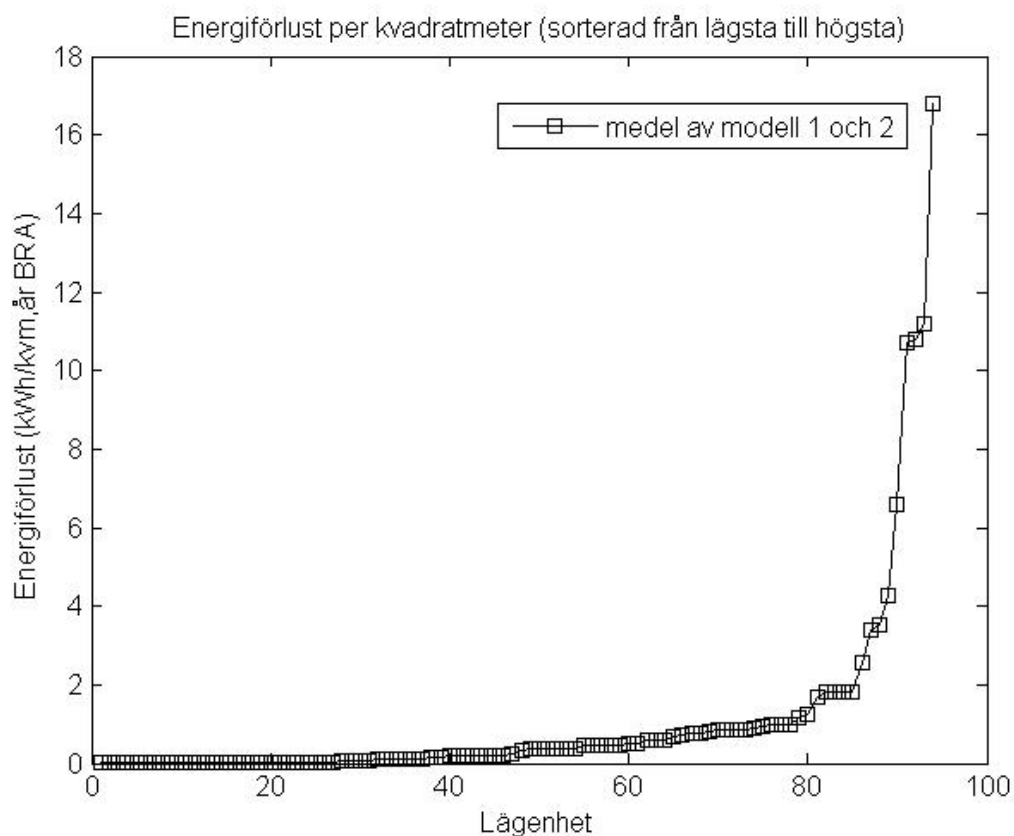
Tabell 18: Sammanställning av analytisk data för grundfall, Falsterbo, Modell 1.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-12,66
Median	0,30
Medelvärde	0,83
Standardavvikelse	2,13

Tabell 19: Sammanställning av analytisk data för grundfall, Falsterbo, Modell 2.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-20,90
Median	0,29
Medelvärde	1,38
Standardavvikelse	3,29

I tabell 18 och tabell 19 ser vi att medelvärdet för energiförluster pga. skiljer sig åt för modell 2 och modell 1. Det värde som bäst överensstämmer med verkligheten ligger emellan dessa två värden.



Figur 23: Sorterad energiförlust per kvadratmeter och år för 94 lägenheter, Falsterbo.

Tabell 20: Sammanställning av analytisk data för grundfall, Falsterbo, medel av modell 1 och 2.

Datotyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-16,78
Median	0,29
Medelvärde	1,11
Standardavvikelse	2,64

Kommentar

I figur 21 syns skillnaden i totalt luftutbyte mellan de två modellerna. Som tidigare bekräftat av Nordquist så ger modell 2 ett större luftutbyte än modell 1. En noggrann granskning av figur 22 visar dessutom att modell 2 ger en högre total energiförlust än modell 1. Detta har bl.a. med det större luftutbytet att göra.

En skillnad mellan de olika modellerna finns. Värdet för modell 2 är högre än modell 1. Ett medelvärde av modell 1 och modell 2 ger en överskattning av energiförluster då modell 1 är närmast verkligheten vilken ger en något lägre energiförlust än modell 2.

Statistisk reflektion

Standardavvikelsen som har beräknats gäller egentligen för en normalfördelning. För denna undersökning vet vi inte om resultatet passar in i en sådan fördelning. Förmodligen gör den inte det, men om den skulle ha gjort det så skulle vi kunna säga att 68 % av de värden vi har fått från beräkningen ligger inom intervallet medelvärde $\pm$ standardavvikelse. I följande tabell presentera vi vad detta innebär för grundfallet.

Tabell 21: Sammanställning av statistisk reflektion över erhållna värden från energiberäkning för grundfallet.

Modell	Medelvärde (kWh/år, kvm BRA)	Standardavvikelse, om normalfördelning (kWh/år, kvm BRA)	Intervall som innehåller 68 % av värden (kWh/år, kvm BRA)
1	0,83	2,13	0-2,96
2	1,38	3,29	0-4,67
Medel	1,11	2,64	0-3,75

12.4.1.1 Andra lägen

Klimatzon 1

Tabell 22: Sammanställning av analytisk data, Klimatzon 1.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-23,89
Median	0,62
Medelvärde	1,79

Klimatzon 2

Tabell 23: Sammanställning av analytisk data, Klimatzon 2.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-22,08
Median	0,52
Medelvärde	1,60

Klimatzon 3

Tabell 24: Sammanställning av analytisk data, Klimatzon 3.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-18,89
Median	0,37
Medelvärde	1,29

Haparanda

Tabell 25: Sammanställning av analytisk data, Haparanda.

Datotyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-24,19
Median	0,64
Medelvärde	1,82

Stockholm

Tabell 26: Sammanställning av analytisk data, Stockholm.

Datotyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-19,25
Median	0,39
Medelvärde	1,32

12.4.1.2 Diskussion/ Sammanställning

Tabell 27: Sammanställning av resultat på medelvärde av modell 1 och modell 2 för energiförlust.

Läge	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Haparanda	1,82
Stockholm	1,32
Falsterbo (grundfall)	1,11
Klimatzon 1:	1,79
Klimatzon 2:	1,60
Klimatzon 3:	1,29

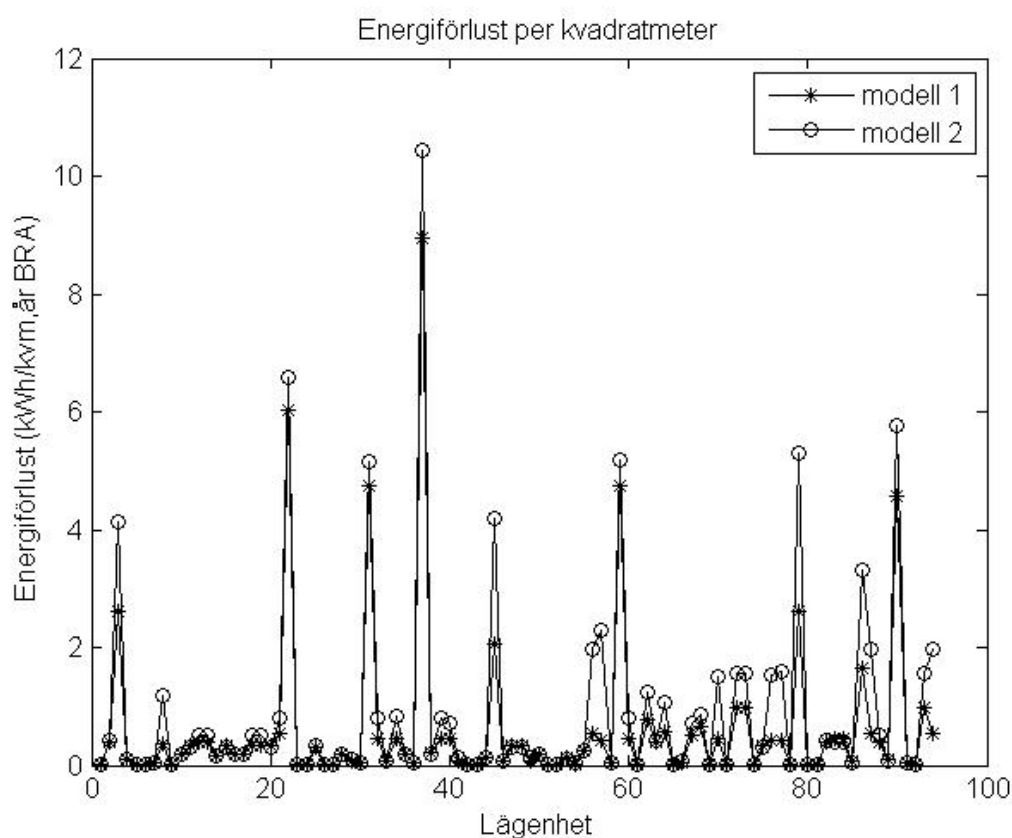
Som graferna och medelvärdena visar så ökar energiförlusten med nordligare breddgrader.

Vad som också märks är att medelvärdet för klimatzon 1 och 3 skiljer sig, dock obetydligt, ifrån värden för Haparanda, Stockholm och Malmö. Från skillnaden kan tydas att medelvärdet för klimatzon 1 har dragits syd från Haparanda medan medelvärdet för klimatzon 3 har dragits nord från Falsterbo och väldigt nära Stockholm.

12.4.2 Annorlunda yta

Eftersom det är okänt hur stor del av lägenhetens yta som uteluften når vid vädring är det svårt att veta vilken yta vi ska räkna med. I grundfallet har vi räknat med att 60 % av lägenhetens yta nås av den inkommande uteluften. I detta avsnitt antar vi två fall till – nämligen att endast ett rum nås av uteluften respektive att hela lägenhetens yta nås av uteluften. Dessa två fall är ytterligheter och verkligheten ligger någonstans emellan dessa ytterligheter.

Endast ett rum

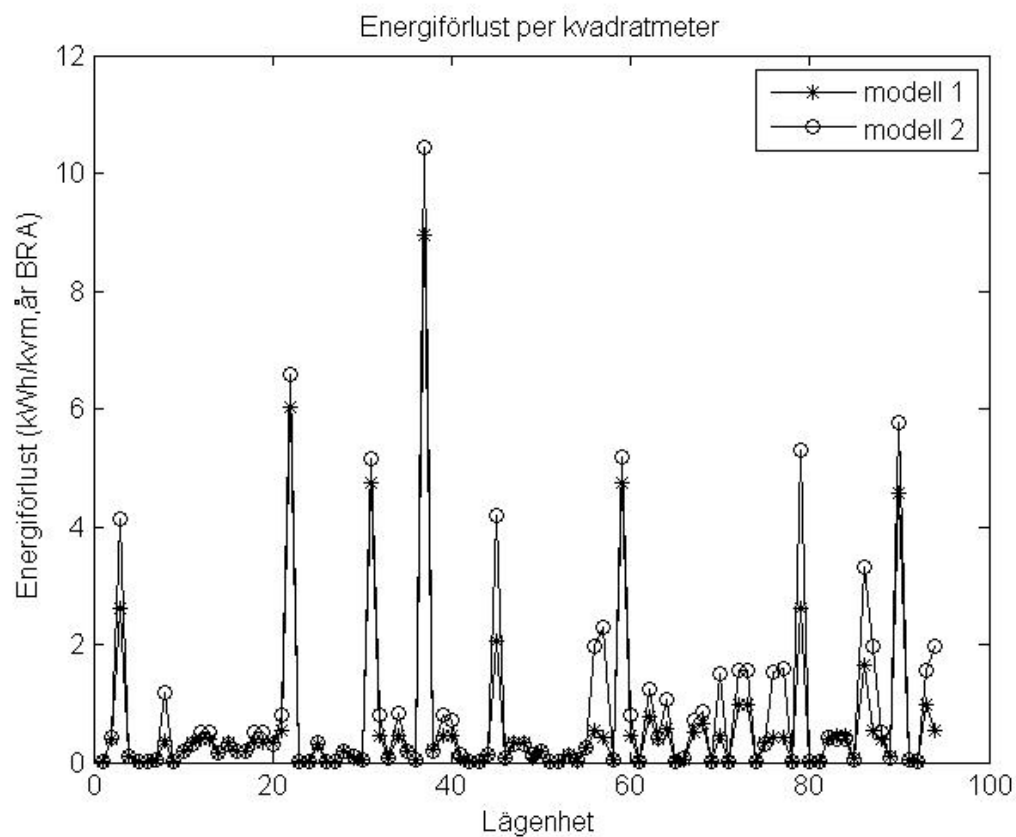


Figur 24: Energiförlust, vädring endast i ett rum.

Tabell 28: Sammanställning av analytisk data för grundfall (Falsterbo), ett rum.

Datatyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-9,69
Median	0,29
Medelvärde	0,78

100 % lägenhetsvolym



Figur 25: Energiförlust, vädring i hela lägenheten.

Tabell 29: Sammanställning av analytisk data för grundfall (Falsterbo), hela lägenheten.

Datotyp	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Vidd	0,00-16,98
Median	0,30
Medelvärde	1,25

12.4.2.1 Diskussion/ Sammanställning

Tabell 30: Sammanställning av resultat på medelvärde för energiförlust.

Läge	Energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
Hela lägenheten	1,25
Falsterbo (grundfall)	1,11
Endast sovrum	0,78

Av sammanställningen ges att ju mindre innerdörrar det är som står öppna så minskar även energiförlusten. Detta sker eftersom den totala mängden luft som kan bytas ut begränsas.

Vad som också syns är att inverkan av den tillagda radiatoreffekten ökar med det mindre antalet öppna innerdörrar. Jämförs figur 24 och 25 med grundfallet (figur 22) så syns detta på det ökande antalet pikar i diagrammen ju mindre yta det är som undersöks.

Anledningen till att detta sker är att de ytor som berörs av uteluften kylv ner snabbare, eftersom det går snabbare för rumsluften ovan den berörda golvytan att bytas ut. Detta innebär att den vädring som fortsätter att ske efter att all luft har bytts ut får en större inverkan ju mindre golvyta det är som påverkas. Pikarna motsvarar den pålagda radiatoreffekten enligt formel 8.14.

12.4.3 Känslighetsanalys – indata

En känslighetsanalys har utförts för de antagna indata. Parametrarnas inverkan har undersökts. Resultatet för grundfallet Falsterbo presenteras i följande tabell.

Tabell 31: Resultat på känslighetsanalys av antagna indata.

	Parameter	Skillnad i energiförlust (kWh/år, kvm BRA)
1	$T_i = 21\text{ °C} \rightarrow T_i = 22\text{ °C}$	+0,04
2	$T_i = 21\text{ °C} \rightarrow T_i = 23\text{ °C}$	+0,09
3	$k_{rad} = 6,5 \rightarrow k_{rad} = 7,5$	+0,10
4	$k_{rad} = 6,5 \rightarrow k_{rad} = 10$	+0,34
5	$a_{rad} = 5\text{ % av vädringsytan}^* \rightarrow a_{rad} = 6\text{ % av vädringsytan}$	+0,13
6	$T_{fram} = 55\text{ °C}, T_{retur} = 45\text{ °C} \rightarrow T_{fram} = 56\text{ °C}, T_{retur} = 45\text{ °C}$	+0,00
7	Vädringstid + 10%	+0,14
8	2 samt 4-7	+0,93

*Vädringsytan är den yta av lägenheten som direkt kan nås av uteluften vid vädringstillfället

Rangering: $Vädringstid > a_{rad} > k_{rad} > T_i > (T_{fram} - T_{retur})$

Störst betydelse har vädringstiden, detta tyder på att beräkningen till stor del styrs av svaren från enkäterna; dvs. svaren för vädringstidernas längd. I dessa finns en betydande osäkerhet då de baseras på i första hand respondenternas tolkning och därefter vår tolkning av frågorna och sättet att besvara dem.

Efter vädringstiden kommer radiatorernas storlek och deras värmeövergångskoefficient. Trots att dessa två parametrar påverkar endast den tillagda energiförlusten enligt formel 8.14 så har de en betydande roll.

Den tredje största parametern är den antagna innetemperaturen. Denna påverkar luftutbytet både enligt modell 1 och enligt modell 2 där utbytet bör bli mindre i båda fallen och därmed indirekt även energiförlusten enligt både 8.13 och 8.14. Förutom det påverkar den även direkt energiförlusten enligt formel 8.13. Den påverkar direkt formel 8.15 och därmed indirekt energiförlusten enligt 8.14.

T_{fram}/T_{retur} är två av de parametrar som beskriver värmeflödet genom radiatorerna till rummet. En ändring av dessa orsakade en marginell skillnad och därmed bedöms de vara ganska betydelselösa för resultatets skull.

Känslighetsanalysen visar att en osäkerhet på upp till ca +0,93 kWh/år, kvm BRA finns i vår undersökning. Denna siffra baseras dessutom endast på de faktorer som vi har kunnat påverka genom tolkningar och uppskattningar. Den är dessutom exklusive de faktorer som vi har avgränsat detta arbete ifrån, dvs. är vindens inverkan exkluderad. Ett säkerhetspåslag bör därför användas då hänsyn tas till energiförluster pga. vädring vid projekteringen/ dimensioneringen av en byggnad.

När det gäller radiatorernas yta är detta en antagande vi har gjort utifrån hur det ser ut i de lägenheter vi bor i. När det gäller Flagghuset och mer välisolerade hus kommer radiatorytan att vara mindre då värmebehovet är lägre.

12.4.4 Känslighetsanalys – vindens inverkan

Under examensarbetets gång har vi varit tvungna att avgränsa vårt arbete och göra vissa antaganden och förenklingar för att underlätta och möjliggöra detta arbete. Beräkningar av energiförluster på grund av vädring med hänsyn tagen till vindens inverkan hade varit för komplicerade och tidskrävande vilket vi med stor sannolikhet inte hade kunnat klara av under den begränsade tiden för detta examensarbete.

Detta exempel belyser den termiska drivkraften och vindens drivkraft för luftutbytet.

12.4.4.1 Termisk drivkraft

Drivkraften som temperaturskillnaden mellan ute och inne skapar då ingen vind förekommer kan enligt Nordquist (2013-06-11) beräknas med hjälp av formeln:

$$\Delta p = \Delta \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (Pa)$$

där

$\Delta \rho$ = luftens densitetskillnad mellan inne och ute pga. temperaturdifferensen (kg/m^3)

g = gravitationsaccelerationen, 9,81 (m/s^2)

Δh = öppningens höjd (m)

Luftens densitetsskillnad mellan inne och ute kan enligt Nordquist (1998, s.42) beräknas med hjälp av förhållandet mellan densitet och temperatur för två olika tillstånd:

$$\frac{\rho_i}{\rho_u} = \frac{T_u}{T_i} \leftrightarrow \rho_i = \rho_u \cdot \frac{T_u}{T_i} \quad (kg/m^3)$$

Indexen i och u anger densiteten och temperaturen *inne* respektive *ute*.

För detta exempel hämtar vi väderdata för Malmö från SMHI för våren 2013, dvs. samma period som detta examensarbete görs under. Lufttemperaturen inne sätts till 22°C vilket överensstämmer med uppmätt temperatur i en lägenhet i Flagghusen. Lufttemperaturen ute sätts enligt SMHI till -2°C vilket överensstämmer med månadsmedeltemperatur för mars 2013.

Med hjälp av formlerna ovan fås densiteten inne till 1,1906 kg/m^3 och densiteten ute till 1,3001 kg/m^3 . Densitetsskillnaden mellan inne och ute blir då 0,1095 kg/m^3 . Fönstrets höjd antas vara 1 m. Detta ger den termiska drivkraften

$$\Delta p = 0,1095 \cdot 9,81 \cdot 1 \approx 1,1 Pa$$

Den termiska drivkraften för luftutbytet genom ett fönster med måttet 1x1m blir ca 1,1 Pa.

12.4.4.2 Vind

Drivkraften som erhålls från vindpåverkan beräknas enligt Nordquist (2007, s. 30) med hjälp av formeln:

$$p_{vind} = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (Pa)$$

där

C_p = formfaktorn/vindfaktorn (-)

ρ = luftdensitet, sätts normalt (approximativt) till 1,2 (kg/m^3)

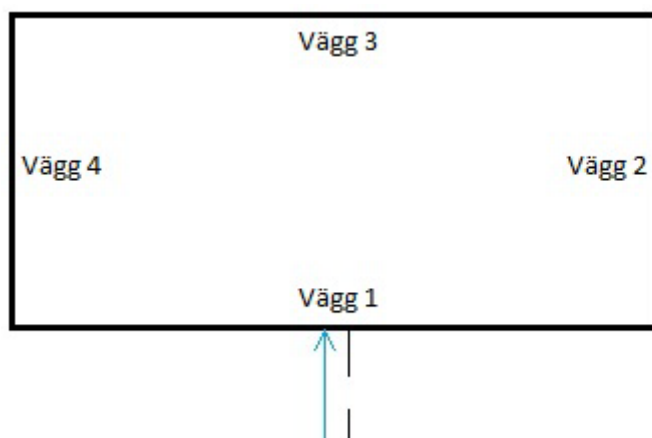
v = lufthastighet i friluftström (m/s)

Formfaktorn/vindfaktorn är en parameter som relaterar vindriktningen till den specifika byggnaden och dess orientering och utformning. Den kan beräknas enligt en formel som Nordquist (2007, s. 32) presenterar som har hämtats från Walker och Wilson (1994):

$$C_p(\varphi) = \frac{0,3((\cos\varphi)^2)^{\frac{1}{4}} + 0,9(\cos\varphi)^{\frac{3}{4}} - 1,3(\sin\varphi)^4}{2} \quad (-)$$

där

φ = vinkeln mellan vindriktningen och normal till studerad vägg (°)



Figur 26: Illustration av vindens riktning i förhållande till byggnaden.

en visar en byggnad och normalen (den streckade svarta linjen) till den studerade väggen samt vindriktningen (den blåa pilen).

I detta exempel antar vi att vinden är riktad som den blåa pilen visar. Vi studerar vägg 1.

Eftersom vinkeln mellan vindriktningen och normalen till vägg 1 är 0° blir C_p :

$$\begin{aligned} C_p(0) &= \frac{0,3((\cos 0)^2)^{\frac{1}{4}} + 0,9(\cos 0)^{\frac{3}{4}} - 1,3(\sin 0)^4}{2} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1 - 1,3 \cdot 0}{2} = +0,6 \end{aligned}$$

Vindens hastighet ökar med höjden över mark. Detta gör att den vindhastighet som mäts upp vid väderstationer, oftast 10 m ovanför marken, måste korrigeras. Vindhastigheten, v som påverkar byggnaden på höjden H ovanför mark kan enligt Nordquist (2007, s. 33) beräknas med hjälp av:

$$v = v_w \cdot \frac{\alpha \left(\frac{H}{10}\right)^\gamma}{\alpha_w \left(\frac{H_w}{10}\right)^\gamma} \quad (m/s)$$

där

v = medelvindhastighet vid höjden H ovan mark, (m/s)

v_w = medelvindhastighet uppmätt vid väderstation, normalt 10 m ovan mark (m/s)

H = byggnadens höjd, m

H_w = höjd för vindmätningen, m

α, γ = faktorer beroende av terräng, värden redovisas i tabellen nedan, (-)

Index w anger att värdet gäller terrängen kring väderstationen och α, γ utan index anger värden kring den aktuella byggnaden.

Tabell 1.1 Korrektionsfaktorer för vindhastighet beroende på terräng (Awbi, 1991).

Terräng	γ	α
Hav eller vatten med minst 5 km utsträckning	0,10	1,30
Platt landskap med enstaka hinder väl separerade från varandra	0,15	1,00
Lantbruksområde med låga byggnader, träd	0,20	0,85
Urban miljö, industri eller skogsområden	0,25	0,67
Storstadscenter	0,35	0,47

Figur 27: Tabell för korrektionsfaktorer för vindhastighet beroende på terräng (Nordquist, 2007, s.34).

Medelvindhastigheten för Malmö under mars 2013 var ca 6,0 m/s enligt Klart.se. Då Flagghusen som vi undersöker ligger i *urban miljö* och väderstationen antas ligga i *platt landskap med enstaka hinder*, blir medelvindhastigheten vid en antagen höjd på 10 m ovan mark (dvs. samma höjd som för termisk drivkraft):

$$v = 6,0 \cdot \frac{0,67 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0,25}}{1,00 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0,15}} \approx 4,0 \text{ m/s}$$

Detta ger:

$$p_{vind} = 0,6 \cdot \frac{1,2 \cdot 4,0^2}{2} \approx 5,8 \text{ Pa}$$

Drivkraften för luftutbytet som orsakas av vindens påverkan blir alltså ca 5,8 Pa.

12.4.4.3 Kommentarer

Utifrån exemplet ovan ser vi att den termiska drivkraften är betydligt mindre än vindens drivkraft för luftutbytet. Exemplet tydliggör att våra resultat som inte baseras på vindens inverkan för luftutbytet blir en underskattning av verkligheten. Energiförlusterna pga. vädring är troligtvis lite högre än vad våra resultat anger. För att vara på den säkra sidan bör en säkerhetsfaktor multipliceras med våra resultat så att bl.a. vindens inverkan på resultatet tas i hänsyn på det sättet.

12.5 Samband: Lägenhetsstorlek – vädring (grundfall)

Under denna rubrik utreds om ett samband finns mellan lägenhetsstorleken och vädring. Återigen gäller denna analys endast de som vädrar ensidigt då de som vädrar med korsdrag har andra förutsättningar.

Denna del av arbetet besvarar frågan om det slutgiltiga resultatet bör varieras med lägenhetsstorleken genom t.ex. multiplikation med en faktor beroende på lägenhetsstorleken.

För att utreda detta måste frågan är om vädringen ökar med lägenhetsstorleken besvaras. Hypotesen är att med den ökade föroreningsmängden finns eventuellt en ökad tendens att vädra.

Lägenheterna finns i olika storlekar och det finns lägenheter med så lite som 1 rum till så mycket som 7 rum. Beroende på antalet rum i lägenheten varierar därför också dess boyta – desto mer rum ju större boyta (vanligtvis). Förutsatt att rumshöjden är någorlunda konstant (2,7 m) innebär detta att en större lägenhet har en större volym luft som behöver bytas ut.

De föroreningskällor som finns i våra hus kan variera från bostad till bostad och behöver inte direkt bero på en lägenhets utformning eller storlek. I SVEBY (2009, s.26) har samlat ihop information från olika statistiska källor om antalet boende per lägenhet och sammanställt följande tabell:

Tabell 11. Boendestatistik för bostäder för olika stora lägenheter och småhus från olika källor.

Lgh storlek	1 rkv	1 rk	2 rk	3 rk	4 rk	5 rk	6+rk	Källa
	1,16	1,13	1,37	1,99	2,61	2,83	3,06	Lägenheter, USK 1990
			1,62	2,65	3,09			Lägenheter, 400 bostäder
					4,04	2,93	3,19	Småhus, 400 bostäder
		1	1,5	2	3	3,5		FEBY, kravspec.
	1,42	1,42	1,63	2,18	2,79	3,51	3,51	3H-projektet, 116 byggnader i Stockholm med bå 1998-2003

Figur 28: Tabell från rapporten Brukarindata för bostäder (SVEBY, 2009, s.26) på antalet boende per lägenhet.

Statistiken ovan tyder på att det finns en positiv korrelation mellan antalet boende i en lägenhet och antalet rum i lägenheten. Med andra ord ökar antalet boende i lägenheten med antalet rum i lägenheten.

Att en positiv korrelation tycks finnas innebär att det finns ett större antal föroreningskällor ju mer antal rum det finns i en lägenhet. Därmed kan det finnas en större tendens till att vädra i de större lägenheterna än i de mindre. Observera dock att denna korrelation inte är statistiskt bekräftad av oss pga. brist på underlag.

Trots ovan resonemang, kan det vara så att lägenhetsstorleken inte har någon betydelse för vädningen överhuvudtaget. Är ventilationen i ett flerbostadshus utformad efter BBRs krav på minst 0,35 l/s, m² så ökar ju även ventilationsflödet med lägenhetsstorleken, dvs. tillsammans med föroreningsmängden. Med denna förutsättning är de större lägenheternas ventilationssystem utformat för att ta hand om den större föroreningsmängden. Därmed kan resonemanget i det föregående stycket vara felaktigt.

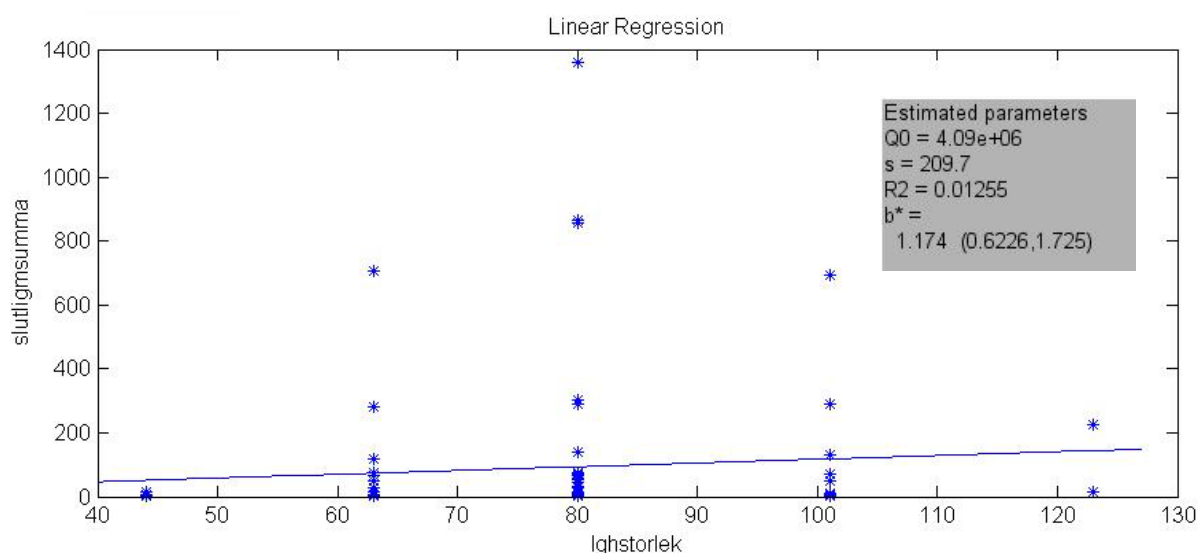
Något som dock kan ifrågasättas är BBRs krav och om kravet på 0,35 l/s, m² är tillräckligt för det ökade antalet föroreningar som kommer med en större boyta/lägenhetsstorlek. Föroreningarna kanske inte ökar proportionellt mot ytan såsom ventilationsflödet gör eftersom det med större golvyta också tillkommer en större väggarea (detta beror dock på utformningen och byggtekniken). Då kanske det är så att de boende i en större lägenhet har en högre tendens att vädra än de i en mindre lägenhet. Det kan dock vara så att ventilationsflödet på 0,35 l/s, m² är för litet och att behov av ytterligare ventilation i form av vädning är nödvändig.

Det finns många faktorer som spelar roll och pekar antingen åt det ena hållet eller åt det andra. För att klargöra om en korrelation finns mellan vädning och lägenhetsstorlek så måste ett eventuellt samband mellan dessa undersökas. Eventuella skillnader i vädningens beteende är betydelsefulla för våra beräkningar. Skulle större skillnader finnas måste dessa tas i hänsyn för att vårt resultat ska vara representativt för alla lägenheter i Flagghuset.

12.5.1 Regressionsanalys: Lägenhetsstorlek - Vädning

En sambandsanalys krävs för att klargöra ifall sambandet mellan lägenhetens storlek och de energiförluster som uppstår pga. vädning existerar. Denna görs genom en *regressionsanalys* i *Matlab* med hjälp av Matlab-programmet *RegGUI* (Lübeck, 2012).

12.5.1.1 Resultat



Figur 29: Regressionsanalys av linjärt samband. På y-axeln presenteras beräknad total energiförlust i kWh/år, på x-axeln presenteras lägenheternas ytor i kvm.

12.5.1.2 Diskussion/Slutsats

Analysen tyder på att sambandet ej existerar i en linjär regressionsmodell. Förklaringsgraden ($R^2=1,26\%$) är väldigt nära noll vilket innebär att en linjär modell inte kan förklara sambandet mellan vädningstiden och lägenhetsstorleken (LTH, 2012).

13 Diskussion och slutsatser

13.1 Tidigare forskning

En del studier och utredningar om ämnet "vädring" syftar till att belysa de boendes vädringsvanor. I samtliga rapporter som vi har redogjort för under avsnitt 7 har de boendes *vädringsvanor* diskuterats. I Nordquists fall har det handlat om skolor men trots det diskuteras lärarnas/elevernas *vanor att vädra*.

SVEBYs rapport grundar sina påståenden om brukarnas vädringsvanor på olika undersökningar som har gjorts för att utreda problematiken. I Van Dongens rapport redogörs det för en omfattande studie som har gjorts i Nederländerna för att utreda de boendes vädringsvanor och orsaker till vädring. Även Widegren-Dafgård grundar sin rapport på en undersökning om vädringsvanor.

När det däremot handlar om vädringens *inverkan på energiförluster* blir det svårt att hitta fakta och lämpligt material om det då de forskningsrapporter som finns om detta är få. Vi använde oss av Nordquists licentiatavhandling och *de teorier och formler för beräkning av luftutbytet* då det i stort sett var det enda innehållsrika materialet som vi hittade om ämnet i fråga. Med hjälp av Nordquist licentiatavhandling kunde vi genomföra flödesberäkningar pga. vädring samtidigt som vi i detta examensarbete har gått ett steg längre och även beräknat energiförluster pga. vädring för vilket det knappt finns några tidigare studier.

Widegren-Dafgårds rapport innehåller också flera intressanta delar som är relevanta för vårt arbete med beräkning av energiförluster. Hon undersökte vädringens inverkan på energiförluster men har precis som vi bortsett från vindens inverkan trots att hon gjorde bedömningen att vinden i vissa fall kan ge en fullt märkbar ökning av luftflödet genom fönstret. Widegren-Dafgård involverade dock effekten av internvärme och solstrålning som till viss del motverkar energiförluster.

SVEBY grundar sina beräkningar på vad som har gjorts i MEBY-projektet, som i sin tur grundar sina beräkningar på ingenjörsmässiga antagningar och uppskattningar. Värdet som SVEBY presenterar som det rekommenderade påslaget för vädringens inverkan på energiförluster som är $4 \text{ kWh/kvm, år } A_{\text{temp}}$ baseras alltså till stor del på antaganden och uppskattningar *vars grund inte presenteras*. Trots det ligger SVEBYs värde i samma storleksordning som de resultat som vi har erhållit. Detta tyder på att uppskattningarna kanske baseras på en vetenskaplig grund men det är svårt för oss att bedöma.

I SVEBYs rapport presenteras en sammanställning av tre olika studier om brukarnas vädringsvanor. I sammanställningen används en mening som vi har svårt att tyda – "andel vars vädring påverkar". Energianvändningen påverkas

mindre av vädring med hjälp av korsdrag under en kort tid. Det är vädring under längre tid som har den största inverkan på energiförluster. Med bakgrund av detta förmodar vi att uttrycket beskriver andelen av de som vädrar under en längre tid, vilket oftast sker med ensidig vädring.

I MEBY-s anbudsunderlag har en formel producerats utifrån bearbetning av enkätsvaren. Formeln beräknar ett schabloniserat luftflödespåslag med hjälp av ett vädringsindex som har skapats utifrån enkätsvaren. Formeln är approximativt bestämd och baserar sig på uppskattningar (MEBY, s. 17). SVEBY har refererat till samma formel i sin rapport och använt sig av samma antaganden utan någon närmare beskrivning av bakgrunden till formeln eller till de antagna värdena. Vi kunde inte hitta en detaljerad redogörelse i MEBY-s anbudsunderlag för hur författarna har kommit fram till formeln och till de ingående parametrarna. En bilaga med just detta innehåll saknas. Vi kan därför inte bedöma om formeln är vetenskapligt begrundad och om den därför kan tillämpas.

SVEBY har baserat sina energiberäkningar på en statisk temperaturskillnad mellan inne- och utetemperaturen. Detta är en felkälla då temperaturvariationer är stora genom årets gång. Dessa påverkar luftutbytet direkt, och därmed energiförlusterna avsevärt. En metod som tar hänsyn till dessa variationer är en som utnyttjar dygnsmedel-temperaturen utomhus. Detta kan göras utifrån SMHI:s klimatdata. Inomhustemperaturen som till en viss del också varierar tycker vi dock är lämplig att anta till 21°C.

13.2 Resultatens rimlighet och betydelse, felaktigheter

Flagghusen har 630 lägenheter i 16 fastigheter. Vi fick in 256 enkäter men kunde inte bestämma svarsfrekvensen då vi inte vet det totala antalet boende i lägenheterna. Vi vet heller inte, med säkerhet, hur många lägenheter det är som vi har fått svar ifrån. Detta eftersom vi i några fall har fått mer än ett svar från en lägenhet och i några fall så har respondenten ej angett lägenhetsnumret eller angett fel nummer.

Då vi inte vet hur övriga brukare skulle ha besvarat enkäten så kan vi inte med säkerhet säga att våra resultat representerar alla lägenheter i Flagghusen. Våra beräkningar grundar sig på 94 brukare, som i deras enkätsvar har angivit att de vädrar ensidigt. Dessa motsvarar 37 % av de som har svarat på fråga 16 och 84 % av de som utnyttjar ensidig vädring.

Energiförlusten som har beräknats är för energi som direkt går förlorad pga. luftutbyte samt delvis även den energi som går förlorad indirekt pga. luftutbytet. Vi har ej tagit hänsyn till internvärme genom att t.ex. subtrahera denna då denna är beroende av många faktorer, såsom: dygn på året, tid på dygnet, närvaro av de

boende, utnyttjande av elektrisk utrustning, och mycket mera. Det faktum att internvärmens inte har tagits hänsyn till innebär att energiförluster pga. vädring överskattas något.

Vi har valt att beräkna energiförlusten som ett schablonpåslag då vi anser, såsom SVEBY (2009, s.12), att det då blir oberoende av energiberäkningsprogrammets olika inbyggda schabloner. Ett *schablonflöde*, såsom VIP-energy föreslår, anser vi inte vara rimligt eller möjligt att framställa då ett sådant flöde varierar med uteklimatets variationer.

Vi har tolkat fönsteröppningarnas dimensioner efter klassmitt (se avsnitt 9.2). Detta eftersom vi inte har exakta mått för alla fönsteröppningarnas dimensioner eller deras öppningsgrad vid varje vädringstillfälle och för varje brukare. Även om vi hade haft det så skulle det ha varit alldeles för mycket information att hantera i detta examensarbete. Detta bidrar ju till ett fel i beräkningarna men då vissa kanske utnyttjar fönster med större dimensioner än de vi har räknat med så finns det de som utnyttjar fönster med mindre. Därmed finns möjligheten att våra antaganden utjämnar dessa skillnader och vi hamnar troligen tillräckligt nära verkligheten.

En ytterligare osäkerhet kring våra erhållna resultat är att våra beräkningar baseras på enkätsvar som inte behöver motsvara verkligheten. De boende kan svara på vissa frågor utan att tänka efter hur de verkligen brukar göra, t.ex. kan de uppfatta frågorna på ett annat sätt än ämnat.

Den volym som kan vädras ut är begränsad i beräkningarna till antingen hela lägenhetens volym, 60 % av lägenhetens volym eller endast sovrum. Detta kan vara en underskattning eftersom vädring då antas att endast påverka i en del av lägenheten. Luftutbyte sker ju trots allt mellan rum trots stängda dörrar (överluft) – dvs. fortsätter luft att bytas ut i dessa fall. I fallet då hela lägenhetens volym medräknas så kan läckage från andra lägenheter och även trapphus också inverka. I denna studie har vi antagit att detta läckage är relativt litet och obetydligt i jämförelse med vädringsflödet.

De modeller som vi har använt oss av (se avsnitt 8.3.3) är framtagna för korta vädringstider. Vid längre vädringstider bör nedkylning av rummets ytor tas hänsyn till och då förändras luftflödet även med hänsyn till detta - vilket vi inte har räknat på. Beroende på hur värmeavgivningen från rummets ytor till luften påverkas kan det totala luftutbytet antingen bli mindre eller mer än beräknat. Ett fel tillkommer pga. detta och det är okänt hur mycket det påverkar. Det bör spekuleras i om skillnader mellan uppmätta och beräknade värden kanske beror på detta.

Radiatorn (termostaten) antas läsa av inneluftens temperatur till 21°C. Detta är en underskattning av energiförlusten via radiatorn. Radiatorn påverkas snarare direkt av den inkommande uteluftens temperatur, som varierar och kan vara mycket lägre än innetemperaturen. På samma gång kan radiatorventilen kanske vara helt strypt eller helt öppen beroende på brukarnas vanor. Dessutom gäller denna temperatur för alla radiatorer inom den yta där rumsluften byts ut med uteluft. Här är en balans svår att hitta då det finns många faktorer som spelar roll.

Att räkna en energiförlust endast genom radiatorn är dessutom en underskattning av den totala energiförlust som uppstår genom fortsatt vädring, efter att all rumsluft har bytts ut. Dvs. gäller detta om radiatorn ska representera den totala energiförlust som uppstår både genom radiatorn och genom att rummets ytor kyls ner.

En noggrannare beräkning kan göras av energiförlusterna som tillkommer genom att rummets ytor kyls ned. För denna behövs ingående konstruktionstekniska detaljer och materialdata. Varje byggnad skiljer sig åt ur denna synpunkt. Därför har vi valt att inte ta hänsyn till detta då resultatet i så fall skulle vara missvisande. Istället har vi redovisat approximativa värden men baserade på lite noggrannare beräkningar än vad som tidigare har gjorts.

Våra resultat visar att energiförluster orsakade av vädring är mindre än SVEBYs rekommenderade påslag. En möjlig förklaring till detta är att SVEBYs rekommenderade värde till synes grundar sig på *relativt* grova förenklingar och antagningar. Enligt våra beräkningar är energiförlusterna i Flagghuset pga. vädring sannolikt inte så höga som SVEBYs rekommenderade värde antyder.

Resultaten för de olika fallen presenteras både som ett intervall från lägsta till högsta energiförlust samt som ett medelvärde. Det viktiga här är att inse hur de framtagna värden på energiförlusterna för de som vädrar länge och med stor öppning kan orsaka att medelvärdet för hela den undersökta populationen blir större. Beroende dock på hur litet antalet är kan denna inverkan vara allt från betydelselös till betydelsefull. I denna studie bedöms de extremvärden som finns inte påverka resultatet betydligt för att de är så få. Utifrån detta exempel blir det lättare att inse att SVEBYs rekommenderade vädringspåslag kan vara högre än våra resultat om de boende som SVEBY baserar sina beräkningar på vädrar mer än vad brukarna i Flagghuset gör.

Eftersom vi har bortsett från vindens inverkan och även har gjort andra förenklingar, innebär det att våra resultat är en underskattning av verkliga energiförluster pga. vädring. För att kompensera för detta och vara på den säkra sidan tycker vi att det är lämpligt att multiplicera erhållna resultat med säkerhetsfaktorn 1,8, denna får vi av känslighetsanalysen $(= (1,11 + 0,93) / 1,11)$.

Denna säkerhetsfaktor anser vi bör användas vid dimensioneringen av en byggnad. Räknat med säkerhetsfaktorn blir kanske våra beräkningsresultat en överskattning med hänsyn till att denna endast har baserats på känslighetsanalysen av de antagna parametrarna. Å andra sidan är våra resultat en underskattning av flera anledningar (se avsnitt 13.2.1) och då kanske säkerhetsfaktorn kan innebära att våra resultat hamnar närmre verkligheten.

Med säkerhetsfaktorn blir energiförlusterna 2 kWh/år, kvm BRA för Falsterbo (Malmö) för grundfallet. Särskilt bör detta påslag tillämpas i projekteringsskedet för en byggnad.

I enighet med SVEBYs rekommendation tycker vi att våra resultat på energiförluster som orsakas av vädring bör adderas till den beräknade energiprestandan som ett påslag. För grundfallet och med säkerhetsfaktorn får vi att energiförlusterna pga. vädring blir 2 kWh/år, kvm BRA för Malmö, 2,4 kWh/år, kvm BRA för Stockholm och 3,3 kWh/år, kvm BRA för Kiruna.

Trots att våra beräkningar grundar sig på de boende i Flagghuset som har svarat och som vädrar ensidigt, vilka utgör ungefär hälften av alla svarande som vädrar, tycker vi att påslaget kan antas gälla för samtliga lägenheter. Detta anser vi vara lämpligt att anta då en viss energiförlust även sker vid vädring med korsdrag eftersom luftutbytet är mycket större och den kalla luften som tas in behöver energi för att värmas. Vi kan heller inte vara säkra på att vädring med korsdrag endast sker under en kort tidsperiod, som inte påverkar energianvändningen. Med bakgrund härav anser vi att påslaget för energiförluster orsakade av vädring skall gälla för alla lägenheter utan att hänsyn behöver tas för hur stor andel av de boende vädrar ensidigt.

För energiberäkningar har valet under detta examensarbete stått mellan VIP-Energy och Matlab. Båda programmen har sina starka och svaga sidor. Genom att använda VIP-energy skulle vi kunna ta hänsyn till en del faktorer som vi har bortsett från, t.ex. den effekt på energianvändningen som orsakas av att kall vädringsluft kyler ner ytorna i en lägenhet. Detta skulle sannolikt innebära att ett mer tillförlitligt resultat uppnås som dock endast kan användas för en specifik byggnad. VIP-energy har dock, enligt SVEBY, inbyggda schabloner som minskar dess tillförlitlighet. En annan nackdel med VIP-energy är att vädringen tas hänsyn till som ökning av det fläktstyrda flödet som även innebär att elbehovet ökar då fläkten drar mer el vid högre varvtal.

Det Matlab-program som vi har skrivit ger ett mer allmängiltigt resultat som kan användas för alla byggnadstyper med olika förutsättningar och i olika klimat – förutsett att vädringsvanorna är desamma som i detta fall. Detta gör att vi nu kan

jämföra energiförluster pga. vädring för t.ex. ett hus vars brukare har identiska vanor men är placerat i t.ex. Stockholm eller Kiruna.

Som indata till våra beräkningar har vi använt oss av medeldygnstemperaturen eftersom vi inte vet exakt när de boende vädrar och vilket temperatur det då råder utomhus. Att vi använder oss av medelvärdet av dygnstemperaturen utomhus tycker vi är både nödvändigt och lämpligt då medelvärdet tar hänsyn till både högre och lägre temperaturer. Detta gör också att vi får en bearbetbar datamängd, som genom mindre modifikationer kan erhållas för olika orter inom Sverige. Detta gör att vi kan jämföra energiförlusterna mellan olika orter. Genom att utnyttja medeldygnstemperaturen kapas dock de kallaste utetemperaturerna för varje dygn bort vilket gör att för vissa tidsperioder så kommer de faktiska energiförlusterna kanske att kraftigt överstiga vårt beräknade värde.

Vi har inte tagit hänsyn till internvärme/gratisvärme i våra beräkningar. Detta har inte gjorts då många antagningar måste göras och slutligen vet vi inte hur trovärdiga våra värden på internvärmerna blir. Så som våra framtagna värden är presenterade inkluderas all förlorad energi och inte endast den köpta. Den köpta kan mer precist bestämmas genom att internvärmerna subtraheras från resultatet. Vårt mål i just detta arbete har dock varit att beräkna den totala energiförlusten.

Vi har varit tvungna att göra förenklingar och antaganden för att beräkna energiförlusterna. Dessa antaganden har dock varit verklighetsbaserade och baserats på dimensioner och värden som vi anser vara normala fall och förhållanden för bostäder.

Med en längre tid till förfogande hade vi i denna studie inte bortsett från vindens inverkan på luftutbytet då vinden bedöms vara den faktorn som enskilt mest kan påverka våra resultat. Detta i kombination med mer avancerade beräkningsprogram och noggrannare indataparametrar, skulle innebära mer tillförlitliga och säkra resultat. Ett program som tar hänsyn till vinden och dess variationer för en specifik byggnad *känner vi* idag inte till. I ett sådant program bör vindfaktorer för stora öppningar, såsom fönster, skilja sig från de vindfaktorer som förekommer för fasader - vilka normalt används. Dessutom bör vindfaktorer för en simulerad byggnad bero på övriga byggnader och hinder i omgivningen.

Enligt avsnitt 12.4.4 ser vi att vindens inverkan på drivkraften för luftutbytet är vid ett visst klimat betydligt större av den termiska drivkraften. Dessa andelar varierar naturligtvis och ibland överväger den ena drivkraften ibland den andra, beroende på temperaturskillnaden mellan inne och ute samt beroende på vindhastigheten och vindriktningen. Vindens drivkraft för luftutbytet är oftast större än den termiska drivkraften för den studerade uppvärmningsperioden vilket innebär att våra beräkningsresultat underskattar energiförlusterna pga.

vädning. Vindens inverkan kan vara betydande under vissa perioder med hög vindhastighet men då anser vi att det inte är troligt att många väljer att vädra. Vi tycker att vindens inverkan på energiförluster pga. vädning bör studeras djupare i framtida studier som berör vädning i bostäder.

13.2.1 Sammanställning av resultatens osäkerhet

I tabellen nedan återges en sammanställning över de osäkerheter som vi bedömer kan ha inverkan på resultatet. Flertalet av dessa osäkerheter samt deras inverkan på resultaten har redan redogjorts för ovan men denna sammanställning förtydligar detta ännu mer. Beroende på vindriktning och vindfaktorer kan även vinden motverka den termiska drivkraften och därigenom reducera flödet genom öppningen.

Tabell 32: Sammanställning – resultatens osäkerhet kring energiförluster pga. vädning

Typ av osäkerhet	Underskattar energiförluster pga. vädning	Överskattar energiförluster pga. vädning	Vet ej
Vindens inverkan på luftutbytet tas ej hänsyn till i våra beräkningar	X		
Nedkylning av ytor pga. vädning tas ej hänsyn till i våra beräkningar	X		
Internvärme tas ej hänsyn till i våra beräkningar		X	
Osäkert om enkätsvar motsvarar verkligheten			X
Om vädning sker oftast under natten	X		
Medelvärde av modell 1 och modell 2			X

Som vi ser i sammanställningen kan våra erhållna resultat ge en underskattning av verkliga energiförluster pga. vädning.

13.3 Jämförelser med SVEBYs rekommenderade vädningsspåslag

Enligt SVEBY (2009, s.12) skall vädningsspåslaget adderas på framräknad energiprestanda (specifika energianvändningen) eftersom det är oberoende av energiprogrammenens olika inbyggda schabloner. Inmatning av vädningens inverkan på energiförluster genom att öka det fläktsyrda ventilationsflödet skulle också innebära ökning av el till fläktar för de flesta beräkningsprogram vars

storlek kan variera beroende på ventilationssystem och SFP-tal på fläktarna. Detta anser vi inte vara verklighetstroget, eftersom vädringen inte påverkar fläktarnas elanvändning. Vi tycker i enighet med SVEBYs rekommendation att det är lämpligast att vädringspåslaget adderas till framräknad energiprestanda.

En jämförelse av våra resultat med SVEBYs rekommenderade påslag bör även involvera en jämförelse av vädringsvanor som vi har använt oss av och de vädringsvanor som SVEBY har grundat sina beräkningar på. Vädringsvanor som beskriver vädringstid, andelen brukare som vädrar, hur ofta de vädrar och med hur stor öppning vädringen sker, är av stor betydelse för att kunna bestämma energiförluster pga. av vädring. I SVEBY-rapporten beskrivs flera undersökningar av vädringsvanor där frågorna täcker om och hur länge vädring sker, men inte hur många fönster som är öppna och deras öppningsgrad. I MEBY-projektet har mer detaljerade enkätsvar erhållits där också öppningsgrad och antalet öppna fönster presenteras. En möjlig förklaring till att SVEBYs rekommenderade påslag är högre än våra erhållna resultat är just att deras brukare kanske vädrar mer än vad brukarna i Flagghusen gör. Detta är dock spekulation och kunde tyvärr inte säkerställas pga. brist på information.

Vi har gjort en jämförelse av metoder som MEBY och SVEBY har använt sig av för att erhålla sina resultat på energiförluster orsakade av vädring. Dessa jämförelser presenteras kortfattat i avsnitt 7.1. Detta tycker vi är viktigare att jämföra än skillnaderna i vädringsvanor då det känns ganska självklart att vädringsbetingelserna för MEBY-projektet och för Flagghusen skulle skilja sig åt. De boende i Flagghusen lever i relativt nybyggda hus och i Flagghusen finns det såväl hyresrätter som bostadsrätter. Eftersom våra resultat grundar sig på Flagghusen och de klimat- och byggnadsförutsättningar som råder där känns det inte meningsfullt att göra några djupare analyser om varför våra resultat och SVEBYs rekommenderade vädringspåslag skiljer sig.

SVEBY har i sina två olika beräkningsförfaranden *till synes* antagit stora mängder indata och förenklat beräkningsmetoden allt för mycket. Förutom detta har SVEBYs beräkningar skett för ett referensobjekt. Detta gör att SVEBYs beräkningar blir objektspecifika. Det bör diskuteras om huruvida dessa värden kan användas generellt för olika byggnadstyper då det råder olika förutsättningar beroende på både byggnadsstomme, ventilationssystem, klimat etc.

Utifrån tabell 32 ser vi att det finns flera osäkerheter som har inverkan på våra erhållna resultat. De flesta av dessa osäkerheter innebär att våra resultat ger en underskattning av verkliga energiförluster pga. vädring. Därför tycker vi att det är lämpligt att en säkerhetsfaktor på 1,8 multipliceras med erhållna resultat för att kompensera för den underskattning som annars finns i resultaten. Faktorn kommer från känslighetsanalysen varifrån vi har uppskattat en kvot för osäkerheten i våra värden. Tillsammans med resultatet för de olika geografiska

lägen som vi har undersökt, ger känslighetsfaktorn en högsta medelenergianvändning på grund av vädring på ca 3,30 kWh/år, kvm BRA för Kiruna. Denna siffra är relativt nära SVEBYs schablon, vilket gör att både den framtagna schablonen och våra beräkningar anses vara rimliga - trots alla nämnda brister.

13.4 Slutsatser

En slutsats från hela studien är att större och djupare studier behöver göras för att vädringens inverkan på energiförluster skall kunna utredas, och mer tillförlitliga resultat erhålls. I en sådan studie skulle många fler parametrar behöva involveras och deras betydelse bestämmas noggrannare för att slutresultatet ska bli mer säkerställt.

En slutsats som kan dras från erhållna resultat är att ju nordligare inom Sverige en byggnad befinner sig, desto större blir energiförlusterna pga. vädring vid samma vädringsbeteende och vädringsförhållanden. Huvudsakliga orsaken till detta är ett högre luftutbyte pga. större temperaturskillnader mellan inne och ute. På samma gång behöver uteluften värmas upp från en lägre utetemperatur.

Våra resultat visar också att vädringens inverkan på den totala energianvändningen för de studerade lägenheterna (94 st) i Flagghusen är marginell. Energiförluster pga. vädring står ungefär för en hundradedel av den totala energianvändningen i Flagghusen (2/140). Utifrån våra resultat kan vi dra slutsatsen att den förhöjda energianvändningen i Flagghusen inte kan förklaras enbart med vädringens inverkan då vädringen bedöms ha förhållandevis liten betydelse på den totala energianvändningen.

Den förhöjda energianvändningen i Flagghusen är ca 20 kWh/m², år. Räknas vädring ej in i Flagghusens normala energianvändning, men istället som en del av den förhöjda energianvändningen, så motsvarar vädringen nästan en tiondedel av den förhöjda energianvändningen. I detta sammanhang kan vädringens inverkan på energiförlusten anses vara av större betydelse. Dock anser vi att det undersökta vädringsbeteendet inte är onormalt, utan snarare naturligt och bör ej räknas som en del av den förhöjda energianvändningen.

Standardavvikelse för medelvärde av energiförluster pga. vädring för Falsterbo beräknades vara 2,7 kWh/m², år. Detta innebär att 68 % av värdena ligger mellan ca $1,1 \pm 2,7$ kWh/m², år. Eftersom vi inte har beräknat några negativa värden för energianvändningen pga. vädring för någon av de 94 lägenheterna innebär standardavvikelsen att 68 % av värdena för grundfallet ligger emellan 0 – 3,8 kWh/m², år.

Utifrån mätningen som vi gjorde och utifrån Nordquists studie om vädringens inverkan på ventilationssystemet kan vi dra slutsatsen att vädring påverkar ventilationssystemet genom att till- och frånluftsflödena ändras något. Vi vet dock inte vad den totala inverkan blir på frånluftsflödena eftersom vi inte kunde mäta frånluftsflödet i alla don. Vädringens inverkan på tilluftsflödena var att de totalt sett ökade med 0,6 l/s. För att uttala oss mer detaljerat om hur vädringen påverkar flödena anser vi att många fler mätningar skulle behöva göras - vilket inte var vårt främsta syfte med studien.

13.5 Vad kan göras?

Eftersom samtliga väsentliga faktorer som påverkar energiförluster vid vädring inte har studerats noggrant tycker vi att projektörerna under projekteringsskedet kan ta hänsyn till vädring som ett påslag på framräknad energiprestanda.

Utbildning av allmänheten är något vi anser vara positivt i alla situationer. Brukarna bör informeras genom utdelade broschyrer och instruktioner från fastighetsvärden om hur vädring kan användas och vilket vädringsbeteende som är lämpligt för att energiförluster orsakade av vädring kan hållas nere.

Vi ser det som något positivt att information om vädringens inverkan på energiförluster cirkuleras i media eller på annat sätt blir tillgänglig för allmänheten så att brukarna blir medvetna om vilka för- och nackdelar vädringen kan leda till. Detta tror vi skulle kunna innebära att energiförluster pga. vädring minskar.

13.6 Förslag till fortsatt forskning

Under examensarbetets gång har vi varit tvungna att göra vissa förenklingar och antaganden för att göra detta arbete möjligt att genomföra under den korta tidsperioden på 20 veckor. Vår ambition har varit att göra ett arbete som baserar sig på undersökningar och utredningar av alla viktigare parametrar som kan påverka energiförlusterna pga. vädring. Vi har dock varit tvungna att avgränsa arbetet och begränsa oss till att undersöka endast de parametrar som vi har bedömt ha störst inverkan på resultatet. Övriga parametrar har vi antagit eller exkluderat. Efter genomfört arbete har vi förslag på vad som kan göras ytterligare inom ämnet vid en djupare och mindre tidspressad studie.

Vår bedömning är att en modell för vindens inverkan på luftutbytet bör göras så att vindhastighetens och vindriktningens varierande inverkan på resultatet kan inkluderas. Även en modell för internvärmes/gratisvärmes bör göras för att hänsyn skall kunna tas till internvärmes också. Effekter av vädringstidens inverkan på energiförluster bör också tas med. Här menar vi att uppskattningar

skall kunna göras på hur lång vädringstid behövs för att rumsytorna skall kylas ner tillräckligt så att ytterligare energiförluster tillkommer.

Vädringens inverkan på ventilationssystemet i bostäder bör undersökas djupare med noggrannare studier och många fler mätningar än det vi gjorde.

Om alla ovanstående förslag tas med i en djupgående utredning om vädring, kan ett simuleringsprogram skapas så att energiförluster pga. vädring kan noggrannare beräknas. Värdena skulle då vara mer pålitliga än både våra värden och SVEBYs rekommenderade schablonpåslag.

De boendes vädringsvanor och vädringens inverkan på energiförluster i äldre och renoverade byggnader hade varit intressanta att studera. Dessa skulle sedan kunna jämföras med nybyggda hus för att säkerställa om det finns skillnader och vilka dessa skillnader är. Något som ett sådant resultat också kan användas för, är motiveringen till utförandet av renoveringar där ventilationssystemet genomgår en tänkt inneklimatmässig förbättring.

14 Källförteckning

- Abel, E., och Elmroth, A., (2008), *Byggnaden som system*, Andra reviderade upplagan, Forskningsrådet Formas och författarna.
- ATON, Teknik Konsult AB (a), *Kommentarer till kravspecifikation. (Elektronisk) ATON.se*. Tillgänglig: <<http://www.aton.se/img/userfiles/file/Kommentarere%20kravspec.PDF>> (2013-03-22).
- Awbi, B. Hazim, (1993), *Ventilation of buildings*, Second Edition, London: Spon Press, ISBN 0-415-27056 (pbk), ISBN 0-415-27055-3 (hbk).
- BeBo - Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus (2012), *Beslutsunderlag - Finansiering av BeBo-projekt (Projektnamn: Energiuppföljning av området Flagghusen)*, Projektnr: 2012:X.
- BETSI, (2009), *Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa – resultat från projektet BETSI*, Boverket 2009. (Elektronisk) Boverket.se. Tillgänglig: <<http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2009/BETSI%20%E2%80%93%20Enk%C3%A4tunders%C3%B6kning%20om%20boendes%20upplevda%20inomhusmilj%C3%B6%20och%20oh%C3%A4lsa.pdf>> (2013-06-12).
- Boverkets byggregler, (BBR) – föreskrifter och allmänna råd (2012). (Elektronisk) Boverket.se. Tillgänglig: <<https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-26-BBR19.pdf>> BFS 2011:26 – BBR 19 (2013-04-07).
- Dahlblom, M., & Warfvinge C., (2010), *Projektering av installationer i byggnader*, Provtryck red. Lund: Studentlitteratur.
- Elmarsson, B. & Nevander, L-E., (1994), *FUKT handbok praktik och teori*, Tredje utgåvan, AB Svensk Byggtjänst och författarna, ISBN 978-91-7333-156-2.
- Energimyndigheten, (a), *Självdagsventilation. (Elektronisk) Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/Sjalvdagsventilation/>> (2013-04-09).
- Energimyndigheten, (b), *Frånluftsventilation. (Elektronisk) Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/Franluftsventilation/>> (2013-04-09).
- Energimyndigheten, (c), *FTX-system. (Elektronisk) Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/FTX-system/>> (2013-04-09).

- Energimyndigheten, (d), *Värmedistribution och reglersystem. (Elektronisk)* *Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <<http://energimyndigheten.se/sv/hushall/Din-uppvarmning/Varmedistribution-och-reglersystem/>> (2013-04-15).
- Energimyndigheten, (e), *Övergripande 2020-strategi. (Elektronisk)* *Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <<http://www.energimyndigheten.se/sv/internationellt/internationellt-energisamarbete--/energifragan-inom-eu/Aktuellt-inom-EU/>> (2013-05-13).
- Eriksson, J. & Wahlström, Å., (2001), *Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i flerbostadshus. (Elektronisk)* *Effektiv.org*. Tillgänglig: <http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202001-04.pdf> (2013-04-09).
- Jensen, L., (2011), *Utetemperaturens osäkerhet -en rättelse. (Elektronisk)* *HVAC.LTH.se*. Tillgänglig: <<http://www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/files/TVIT-7000pdf/TVIT-7073LJweb.pdf>> (2013-05-22).
- Körner, S. & Wahlgren L. (1993), *Praktisk statistik, Upplaga 3:7*, Studentlitteratur, ISBN 978-91-44-01915-4.
- Laussmann, D., och Helm, D., (2011), *Air Change Measurements Using Tracer Gases* i A. Mazzeo, Nicolás (red) "Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution And Indoor Air Quality". (Elektronisk) *Intechopen.com*. Tillgänglig: <<http://www.intechopen.com/books/chemistry-emission-control-radioactive-pollution-and-indoor-air-quality>> (2013-05-01).
- LTH, (2012), *Sambandsanalys, VT 2012 Matematisk statistik*, Matematikcentrum, Lunds universitet. (Elektronisk) *Matematik.LU.se*. Tillgänglig: <<http://www.matematik.lu.se/matstat/kurser/fms035/samband.pdf>> (2013-04-05).
- Lübeck, J., (2012), *RegGui v0.42*, Matematikcentrum, Lunds universitet. (Elektronisk) *Maths.LTH.se*. Tillgänglig: <<http://www.maths.lth.se/matstat/staff/joa/reggui/>> (2013-04-05).
- MBIO-energiteknik, (2013) AB, *Luftburet värmesystem. (Elektronisk)* *MBIO.se*. Tillgänglig: <<http://www.mbio.se/uploads/filer-energi/Luftburetvarmesystemenerg.pdf>> (2013-05-22).
- MEBY, Anbudsunderlag, Teknikupphandling av energiberäkningsmodell för energieffektiva sunda flerbostadshus (MEBY). (Elektronisk) *Energimyndigheten.se*. Tillgänglig: <[http://energimyndigheten.se/PageFiles/18084/Meby%20Anbudsunderlag%20Inkl.%20bil%201,3,4%20\(12995-1\).pdf](http://energimyndigheten.se/PageFiles/18084/Meby%20Anbudsunderlag%20Inkl.%20bil%201,3,4%20(12995-1).pdf)> (2013-05-22).

- Miljömål, (2013), *Marknära ozon i luft. (Elektronisk) Miljömål.se*. Tillgänglig: <<http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=104&pl=1>> (2013-04-07).
- Nordquist, B., (1998), *Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation?*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, KFSAB Lund, ISSN 1103-4467.
- Nordquist, B., (2007), *Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Rapport TVIT--07/3005, Lunds Universitet.
- Rockwool, (2013), *TRE KLIMATZONER. (Elektronisk) Rockwool.se*. Tillgänglig: <<http://www.rockwool.se/v%C3%A4gledning/din+bbr+guide/tre+klimatzoner>> (2013-05-14).
- Ruud H. S., (2003), *Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i bostäder. (Elektronisk) Effektiv.org*. Tillgänglig: <http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202003-08.pdf> (2013-04-15).
- Sandberg, E., & Engvall, K., (2002), *MEBY-projektet, Delrapport 3: Beprövad enkät – hjälpmedel för energiuppföljning. (Elektronisk) ATON.se*. Tillgänglig: <<http://www.aton.se/img/userfiles/file/Delrpport-3.PDF>> (2013-04-09).
- Sherman, M. H., (1990), *Tracer-Gas Techniques for Measuring Ventilation in a Single Zone. (Elektronisk) EPB.LBL.gov* Tillgänglig: <<http://epb.lbl.gov/publications/pdf/lbl-29328.pdf>> (2013-05-01).
- SVEBY, (2009), *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. (Elektronisk) Omvärldsbevakning.byggtjanst.se*. Tillgänglig: <<http://omvarldsbevakning.byggtjanst.se/PageFiles/102658/Brukarindata%20bostad%20SVEBY.pdf>> (2013-04-07).
- Svensson, A., (1995), *Ventilationsteknik*, kompendium, Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH, Lund.
- Umeå Universitet, (2013), *Energieffektivisering. (Elektronisk) TFE.UMU.se*. Tillgänglig: <<http://www.tfe.umu.se/forskning/energieffektivisering/>> (2013-04-07).
- Van Dongen, J.E.F., (1986), *Inhabitants' behaviour with respect to ventilation*, TNO Institute for Preventive Health Care, AC Leiden, Netherlands.

VIP-energy, (a), *Installationer för värme och kyla, byggnad. (Elektronisk)* VIPEnergy.net. Tillgänglig: <<http://www.vipenergy.net/Indata-modellering.htm>> (2013-04-19).

VIP-energy, (b), *Beräkningsexempel 2 och 3, flerbostadshus och småhus. (Elektronisk)* VIPEnergy.net. Tillgänglig: <<http://www.vipenergy.net/Flerbostadshus.htm>> (2013-04-19).

Widegren-Dafgård, K., (1981), *Fönstervädring i bostäder*, Tekniska meddelanden 169-170, Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

15 BILAGOR

BILAGA 1 – Statistik från SCB (Statistiska centralbyrån)

Antal hyresrättslägenheter, årshyra, bostadsyta efter region, nybyggår/värdeår, årsintervall och lägenhetstyp. (Urvalsundersökning, se fotnoter.) År 2003 – 2011.

Välj tabell
Välj variabel
Visa tabell

Antal hyresrättslägenheter, årshyra, bostadsyta efter region, nybyggår/värdeår, årsintervall och lägenhetstyp. (Urvalsundersökning, se fotnoter.) År 2003 - 2011

Statistikdatabasen har ny form! Ett tag till når du [den gamla versionen](#). Undrar du över något? Fråga oss på information@scb.se.

Välj variabel
Om tabellen

Markera ditt val och tryck på knappen 'Fortsätt'. [Tips och hjälp](#)
För markerade variabler * måste minst ett värde väljas

tabellinnehåll *
Totalt 8 Valda 1
Årshyra per lägenhet, kr
Konfidsintervall för årshyra per lgh
Genomsnittlig årshyra per kvm, kr
Konfidsintervall för årshyra per kvm
Genomsnittlig bostadsyta, kvm

region
☒ ☐ ☐ ☐ ☐
Totalt 6 Valda 1
00 Riket
0010 Stor-Stockholm
0020 Stor-Göteborg
0035 Kommuner med > 75000 inv samt Stor-Stockholm och Stor-Göteborg
0042 Kommuner med > 75000 inv (exkl Stor-Stockholm och Stor-Göteborg)
Sök
☐ Början av rad

nybyggår/värdeår *
☒ ☐ ☐ ☐ ☐
Totalt 2 Valda 1
nybyggnadsår
värdeår
Sök
☐ Början av rad

årsintervall
☒ ☐ ☐ ☐ ☐
Totalt 10 Valda 1
1971-1980
1981-1985
1986-1990
1991-1995
1991 -
Sök
☐ Början av rad

lägenhetstyp
☒ ☐ ☐ ☐ ☐
Totalt 7 Valda 7
1 rum och kök
2 rum och kök
3 rum och kök
4 rum och kök
5 eller flera rum och kök
Sök
☐ Början av rad

tid *
☒ ☐ ☐ ☐ ☐
Totalt 9 Valda 9
2011
2010
2009
2008
2007
Sök
☐ Början av rad

Genomsnittlig bostadsyta för lägenheter med hyresrätt, kvm efter region, nybyggår/värdeår, årsintervall, lägenhetstyp och tid.**Över hela riket, Nybyggnadsår 1991-2011, 1-5+ rok, 2013-04-19.**

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1 rum och kök	45	45	44	44	44	43	43	43	43
2 rum och kök	64	64	63	63	63	62	62	62	62
3 rum och kök	81	81	80	80	80	80	79	79	79
4 rum och kök	102	102	102	101	101	100	100	99	100
5 eller flera rum och kök	125	124	123	124	123	122	121	122	122

BILAGA 2 – Programkod för energiberäkning

```

close all
clear all
clc
format long g
load variabler_for_energiberakning_falsterbo

% ----konstanter för beräkningen-----
Ti=21+273.15; %antagen innetemperatur
g=9.81; %gravitationens acceleration
Hover=2.1; %antagen höjd på öppningens överkant
vhojd=2.7; %våningshöjd
ra=1.2; %luftens densitet
cp=1000; %luftens specifika värmekapacitet
krad=6.5; %kan vara 6,5-10 enl. 3:18 Dahlblom
Tfram=55+273.15; %antagande av framledningstemperatur på värmevatten
Tretur=45+273.15; %antagande av returledningstemperatur på värmevatten

% ----bearbetning av ingående data inför beräkningar -----
H=H'; %öppningshöjd
lghstorlek=lghstorlek';
oppningsbredd=oppningsbredd';
spaltbredd=spaltbredd';
vandel=vandel'; %vädringsfrekvens
vtid=vtid';
Tu=T+273.15;

Arum=0.6*lghstorlek; %grundfallet!
% Arum=ones(1,94)*20; %endast sovrummet antas vädras ut
% Arum=lghstorlek; %hela lägenheten antas vädras ut

Arad=0.05*Arum; %antagen radiatoryta av vädrad golvyta

for j=1:94
    if vandel(j)==0
        vandel(j)=1/30;
    end
end

vtidsek=vtid*3600; %omvandling från timmar till sekunder
Vrum=Arum*vhojd; %total volym som kan vädras ut
vinkel=360*2*asin(spaltbredd./(2*H))/(2*pi); %beräkning av vinkel
Jkonstant=1/(90^2); %beräkning av konstant för anpassning av J-kurva
Jvinkel=1-Jkonstant*(vinkel-90).^2; %beräkning av faktor J beroende av
                                     %öppningsgraden (beräknad vinkel) -
                                     %anpassning av kurva

B=oppningsbredd.*Jvinkel; %modifiering av öppningsbredd beroende på
                           %faktor J
dT=Ti-Tu; %temperaturdifferens
Cd=0.4+0.0045*dT; %kontraktionstal
Tmed=(Ti+Tu)./2; %medeltemperatur

%MODELL 1!! -----
Hunder=Hover-H; %underkant av öppning
vunder=Hunder.*Arum; %volym under fönsteröppningens underkant
vover=Hover*Arum; %volym under fönsteröppningens överkant

```

BILAGOR

```
vtot1=zeros(365,94);

Erad1=zeros(365,94);
etot1=zeros(365,94);
qtemp1=zeros(365,94);
t1m1=zeros(365,94);
t2m1=zeros(365,94);
kmod1=zeros(365,94);
amod1=zeros(365,94);
Hmod1=zeros(365,94);
fyllningstid=zeros(365,94);

for j=1:94
    for k=1:365
        qtemp1(k,j)=Cd(k)*B(j)/3*sqrt(g*dT(k)/Tmed(k)*H(j)^3);
        % beräkning av qtemp1(k,j) enligt 3.4!
        % om vädringstiden är kortare än den tid det tar för Hunder
        % (vunder) att fyllas så är det totala luftutbytet
        % vtot = qtemp1(k,j) * vadringstid      annars är det
        % vtot = qtemp1(k,j) * vadringstid + vextra (som beräknas
        % enligt stadie 2
        t1m1(k,j)=vunder(j)/qtemp1(k,j); %tiden det tar för Hunder
        (vunder) att fyllas

        if t1m1(k,j)>vtidsek(j)
            t1m1(k,j)=vtidsek(j);
        end

        kmod1(k,j)=Cd(k)*B(j)/3*sqrt(g*dT(k)/Tmed(k)); %formel 2.54
        amod1(k,j)=kmod1(k,j)/Arum(j); %formel 2.58

        if vtidsek(j)<=t1m1(k,j) %stadie 1
            vtot1(k,j)=qtemp1(k,j)*vtidsek(j);
        else %stadie 2
            t2m1(k,j)=vtidsek(j)-t1m1(k,j);
            Hmod1(k,j)=1/(((amod1(k,j)*t2m1(k,j)/2)+1/(H(j)^0.5))^2);
%formel 2.6
            vtot1(k,j)=qtemp1(k,j)*t1m1(k,j)+Arum(j)*(H(j)-Hmod1(k,j));
%formel 2.62
        end

        %om volymen som beräknas överstiger vover
        %(volym under fönstrets överkant), så ska vover = vtot!!
        if vtot1(k,j)>vover(j)
            vtot1(k,j)=vover(j);
        end

        %-----Energiförlust med eventuellt radiator tillägg-----

        fyllningstid(k,j)=t1m1(k,j)+2/amod1(k,j)*(sqrt(1/(0.1*H(j)))-
        1/(H(j)^0.5));

        if vtidsek(j)>fyllningstid(k,j)
            Trum=Tu(k)*vover(j)/Vrum(j)+Ti*(1-vover(j)/Vrum(j));
            Tmedskil=(Tfram-Tretur)/(log((Tfram-Trum)/(Tretur-Trum)));
            %beräkning av logaritmisk medeltemperaturskillnad
            Prad=Arad(j)*krad*Tmedskil; %tillagd, minimal energiförlust
            %efter att all rumsluft har bytts
            %ut pga vädring
        end
    end
end
```

BILAGOR

```

Erad1(k,j)=Prad*(vtidsek(j)-fyllningstid(k,j));
else
Erad1(k,j)=0;
end

% energiberäkning enligt modell 1  $E = P * t$ 
%  $P = r_{\text{å}} * dT * c_p * V$ 
% med radiator tillägg
etot1(k,j)=ra*cp*vtot1(k,j)*dT(k)+Erad1(k,j);
% OBS!! etot(90:304,j) gäller
% ej för uppvärmningssäsongen!
end
end

etot1(90:304,:)=0; % borträkning av sommarhalvåret

% i kWh/år exklusive sommarhalvåret (dag 90-304)
sumlghe1=zeros(1,94);
for j=1:94
    sumlghe1(j)=vandel(j)*sum(etot1(:,j))/3600000;
end

% per kvadratmeter
sumlghe1kvm=zeros(1,94);
sumlghe1kvm=sumlghe1./lghestorlek;

%MODELL 2!! -----
Erad2=zeros(365,94);
etot2=zeros(365,94);
vtot2=zeros(365,94);
Tslut=zeros(365,94);
fyllningstid2=zeros(365,94);
a=zeros(365,94);
b=zeros(365,94);
c=zeros(365,94);

for j=1:94
    for k=1:365
        a(k,j)=Cd(k)*B(j)/3*sqrt(g/Tmed(k)*H(j)^3); % antag att Cd
                                                    % är konstant
                                                    % formel 2.69

        b(k,j)=a(k,j)/Vrum(j); % s. 73 i BN-lic
        c(k,j)=1/sqrt(dT(k)); % s. 73 i BN-lic
        Tslut(k,j)=1/((b(k,j)*vtidsek(j)/2+c(k,j))^2)+Tu(k);

        fyllningstid2(k,j)=(exp((2.1/2.7)/2)-1)*2*c(k,j)/b(k,j);

        vtot2(k,j)=Vrum(j)*log((b(k,j)*vtidsek(j)/(2*c(k,j))+1)^2);

        if vtot2(k,j)>Vrum(j)
            vtot2(k,j)=Vrum(j);
        end

        if vtidsek(j)<fyllningstid2(k,j)
            etot2(k,j)=ra*cp*vtot2(k,j)*(Ti-Tu(k));
        else
            Trum=Tu(k)*vover(j)/Vrum(j)+Ti*(1-vover(j)/Vrum(j));
            Tmedskil=(Tfram-Tretur)/(log((Tfram-Trum)/(Tretur-Trum)));

```


BILAGOR

```
%beräkning av logaritmisk medeltemperaturskillnad
Prad=Arad(j)*krad*Tmedskil; %tillagd, minimal energiförlust
                                %efter att all rumsluft har bytts
                                %ut pga vädring
Erad2(k,j)=Prad*(vtidsek(j)-fyllningstid2(k,j));
etot2(k,j)= ra* cp* vtot2(k,j)* (Ti-Tu(k))+Erad2(k,j);
end
end
end

etot2(90:304,:)=0; %borträkning av sommarhalvåret

% i kwh/år exklusive sommarhalvåret (dag 90-304)
sumlghe2=zeros(1,94);
for j=1:94
    sumlghe2(j)=vandel(j)*sum(etot2(:,j))/3600000;
end

% per kvadratmeter
sumlghe2kvm=zeros(1,94);
sumlghe2kvm=sumlghe2./lghstorlek;

%%%%%%%%%%%% PLOTTNING
antal=1:length(H);

slutligsumma=(sumlghe1+sumlghe2)./2;
slutligsummakvm=slutligsumma./lghstorlek;

min1=min(sumlghe1kvm)
max1=max(sumlghe1kvm)
medel1=mean(sumlghe1kvm)
median1=median(sumlghe1kvm)
stdav1=std(sumlghe1kvm)

min2=min(sumlghe2kvm)
max2=max(sumlghe2kvm)
medel2=mean(sumlghe2kvm)
median2=median(sumlghe2kvm)
stdav2=std(sumlghe2kvm)

slutligtmin=min(slutligsummakvm)
slutligtmax=max(slutligsummakvm)
slutligtmedian=median(slutligsummakvm)
slutligtmedel=mean(slutligsummakvm)
slutligstdav=std(slutligsummakvm)

figure (1)
plot(antal,sum(vtot1),'-k',antal,sum(vtot2),'-ok')
title('Luftutbyte')
xlabel('Lägenhet')
ylabel('Volym (m3/år)')
legend('modell 1','modell 2')

figure (2)
plot(antal,sumlghe1kvm,'-k',antal,sumlghe2kvm,'-ok')
title('Energiförlust per kvadratmeter')
```

BILAGOR

```
xlabel('Lägenhet')  
ylabel('Energiförlust (kWh/kvm,år BRA)')  
legend('modell 1','modell 2')
```

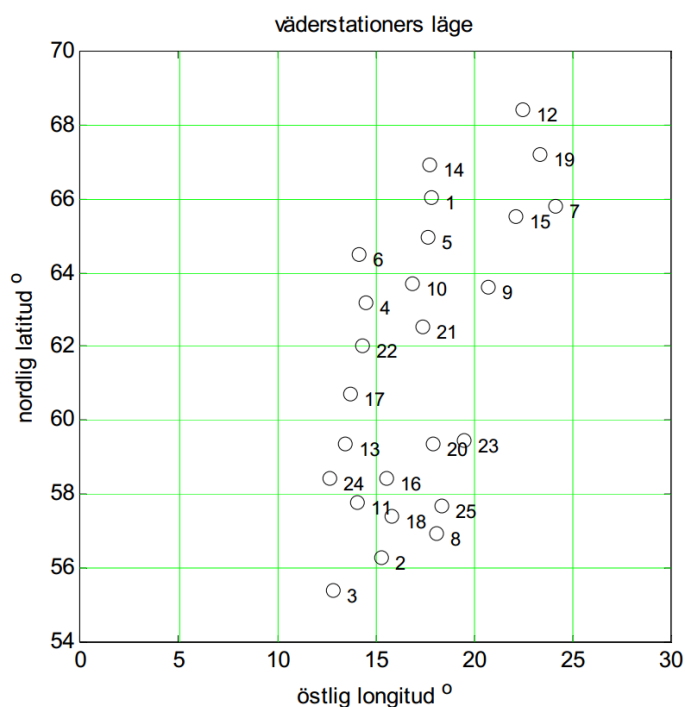
```
figure (3)  
plot(antal,sort(slutligsummakvm),'-sk')  
title('Energiförlust per kvadratmeter (sorterad från lägsta till  
högsta)')  
xlabel('Lägenhet')  
ylabel('Energiförlust (kWh/kvm,år BRA)')  
legend('medel av modell 1 och 2')
```


BILAGA 3 – Väderstationer

Följande två figurer är hämtade från professor Lars Jensens rapport *Utetemperaturen – en rättelse*. Se källförteckning.

Tabell 2.1 Data för tjugofem väderstationer

nr	stations-nummer	stationsnamn	platstyp	antal år	latitud norr	longitud ost	höjdnivå m
1	16771	Arjeplog		46	66.0456	17.8671	431
2	6516	Bredåkra	flygplats	48	56.2619	15.2742	58
3	5223	Falsterbo	fyrplats	47	55.3836	12.8203	5
4	13411	Frösön		48	63.1974	14.4863	376
5	14757	Gunnarn		47	64.9603	17.7083	280
6	14430	Gäddede		45	64.5000	14.1300	328
7	16395	Haparanda		48	65.8272	24.1438	5
8	6855	Hoburg	fyrplats	46	56.9222	18.1471	38
9	14036	Holmögadd	fyrplats	46	63.5949	20.7565	6
10	13642	Junsele		44	63.6968	16.8723	215
11	7446	Jönköping	flygplats	43	57.7514	14.0733	226
12	19283	Karesuando		47	68.4422	22.4900	330
13	9322	Karlstad	flygplats	48	59.3591	13.4732	107
14	16798	Kvikkjokk-Årrenjarka		47	66.9556	17.7309	314
15	16286	Luleå	flygplats	48	65.5434	22.1193	17
16	8524	Malmslätt	flygplats	48	58.4004	15.5327	93
17	10341	Malung		48	60.7041	13.6909	308
18	7524	Målilla		41	57.3945	15.8250	100
19	18376	Pajala		47	67.2101	23.3928	168
20	9720	Stockholm-Bromma	flygplats	48	59.3537	17.9513	14
21	12731	Sundsvall	flygplats	48	62.5246	17.4410	4
22	12402	Sveg		48	62.0291	14.3508	432
23	9927	Svenska-Högarna	fyrplats	48	59.4445	19.5059	12
24	8226	Såtenäs	flygplats	48	58.4358	12.7075	54
25	7840	Visby	flygplats	48	57.6614	18.3428	42



BILAGA 4 – Beräknad dygnsmedeltemperatur

En rimlighetsbedömning har gjorts av medelvärdena och de anses vara rimliga. Bedömningen gjordes genom att jämföra orternas medelårstemperaturer med de medelårstemperaturer som anges för Sturup, Bromma och Luleå av Nevander et al. (1994, s.505) Vi fann att dessa skiljer sig marginellt.

Tabell 33: Medeldygnsstemperatur för Klimatzon 1-3, Falsterbo, Stockholm och Haparanda. Beräknad från SMHI-data för åren 1961-2008 och 25 mätstationer.

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
1	-9,9	-7,8	-2,3	1,1	-3,3	-9,5
2	-9,6	-7,8	-2,2	1,1	-3,1	-9,9
3	-9,7	-8,4	-2,7	0,7	-3,0	-8,8
4	-10,4	-9,0	-3,1	0,4	-3,3	-9,7
5	-11,3	-8,7	-3,0	0,4	-3,6	-12,0
6	-11,3	-8,8	-2,8	0,5	-3,7	-12,6
7	-10,4	-8,5	-2,5	0,4	-3,5	-11,7
8	-9,8	-7,4	-1,8	0,9	-2,4	-10,6
9	-10,6	-8,6	-2,2	0,5	-3,2	-11,2
10	-10,9	-8,4	-2,0	0,8	-2,8	-10,7
11	-9,8	-7,3	-1,4	1,1	-1,8	-10,5
12	-9,9	-6,9	-1,3	1,1	-1,9	-11,1
13	-9,3	-5,9	-0,9	1,2	-1,2	-10,4
14	-9,0	-5,4	-0,9	1,3	-1,1	-9,8
15	-7,9	-5,7	-1,0	1,3	-1,6	-8,6
16	-7,8	-6,0	-1,3	1,4	-2,0	-7,7
17	-8,6	-6,4	-1,4	1,4	-2,0	-8,9
18	-9,6	-6,2	-1,3	1,2	-1,6	-10,3
19	-10,5	-6,8	-1,7	1,3	-2,2	-11,3
20	-10,8	-7,5	-1,8	1,3	-2,6	-11,7
21	-9,9	-6,2	-1,5	1,0	-1,9	-10,1
22	-9,8	-6,4	-1,8	0,9	-2,1	-9,9
23	-10,1	-6,6	-1,6	1,2	-2,1	-10,5
24	-10,1	-7,2	-1,8	1,1	-2,6	-10,8
25	-10,7	-7,6	-2,3	1,0	-3,1	-10,9
26	-11,4	-8,7	-2,3	1,4	-3,3	-11,9
27	-11,9	-8,6	-2,9	0,7	-4,0	-13,4
28	-12,2	-8,8	-3,1	0,6	-4,1	-13,6
29	-12,3	-8,0	-2,8	0,4	-3,2	-14,0
30	-11,3	-7,6	-2,3	0,8	-2,7	-12,6
31	-11,2	-6,7	-1,8	1,0	-2,1	-13,0
32	-10,4	-6,2	-1,7	1,0	-2,1	-11,3
33	-10,4	-6,7	-1,7	1,0	-2,2	-11,1
34	-10,3	-6,7	-1,6	1,2	-2,1	-11,4

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
35	-10,8	-6,6	-1,8	1,3	-2,3	-12,1
36	-11,1	-7,1	-1,9	1,2	-3,1	-12,5
37	-11,2	-6,9	-1,8	1,2	-2,3	-12,7
38	-11,2	-7,1	-1,8	1,3	-2,4	-11,7
39	-11,4	-7,7	-2,2	0,9	-3,0	-11,7
40	-11,3	-8,4	-2,9	0,4	-4,3	-11,8
41	-10,7	-7,9	-2,4	0,7	-3,5	-12,3
42	-10,7	-7,6	-2,6	0,5	-3,2	-12,3
43	-10,0	-7,1	-2,2	0,6	-2,7	-10,8
44	-9,8	-7,0	-2,3	0,5	-3,0	-10,8
45	-9,7	-7,3	-2,9	0,1	-3,5	-10,6
46	-9,3	-7,8	-3,3	-0,4	-3,9	-9,9
47	-8,7	-7,6	-3,2	-0,1	-4,1	-9,3
48	-10,1	-7,6	-3,3	-0,1	-4,0	-10,3
49	-10,7	-7,8	-3,2	0,2	-4,2	-12,0
50	-9,7	-7,4	-2,8	0,1	-3,7	-11,3
51	-9,1	-6,7	-2,2	0,3	-2,8	-11,2
52	-9,5	-6,7	-1,9	0,6	-2,5	-10,8
53	-9,6	-7,2	-2,1	0,7	-2,9	-10,6
54	-9,6	-6,9	-2,2	0,4	-3,1	-10,9
55	-8,9	-6,0	-1,9	0,7	-2,4	-10,1
56	-8,5	-5,7	-2,1	0,7	-2,8	-9,4
57	-8,0	-5,7	-1,9	0,7	-2,5	-9,2
58	-7,7	-5,1	-1,6	0,7	-2,0	-8,1
59	-7,7	-4,8	-1,4	0,9	-2,0	-8,6
60	-7,6	-4,8	-1,3	0,8	-1,4	-8,4
61	-8,1	-5,3	-1,5	0,8	-1,7	-9,0
62	-8,9	-5,5	-1,8	0,8	-2,1	-9,5
63	-8,7	-5,0	-1,3	1,1	-1,2	-9,3
64	-7,6	-4,1	-1,1	1,2	-1,2	-7,6
65	-6,8	-3,6	-0,3	1,5	-0,4	-7,9
66	-5,9	-2,3	0,1	1,8	-0,2	-7,1
67	-5,4	-2,1	0,4	2,0	0,2	-6,4
68	-5,5	-2,6	0,1	2,0	0,0	-6,4
69	-5,6	-3,0	0,1	2,1	-0,4	-6,9
70	-5,7	-2,8	0,2	2,1	0,0	-7,2
71	-5,9	-3,3	-0,3	1,6	-0,4	-6,9
72	-6,3	-3,2	-0,7	1,5	-0,9	-6,8
73	-6,1	-3,5	-0,5	1,7	-1,0	-6,5
74	-6,5	-3,5	-0,1	2,1	-0,7	-7,3
75	-6,3	-3,0	0,1	2,3	-0,5	-7,5
76	-6,1	-2,8	0,3	2,3	0,1	-7,3

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
77	-6,0	-3,1	0,2	2,2	-0,1	-6,8
78	-5,9	-2,8	0,0	2,0	-0,1	-6,3
79	-5,6	-3,0	0,1	2,3	-0,3	-6,1
80	-5,4	-2,7	0,1	2,5	-0,2	-6,2
81	-5,0	-2,0	0,4	2,5	0,3	-6,1
82	-4,9	-1,9	0,7	2,8	0,6	-5,8
83	-4,6	-2,0	0,6	2,9	0,4	-5,0
84	-4,4	-1,7	0,9	3,0	1,0	-4,7
85	-4,2	-1,1	1,3	3,2	1,2	-4,9
86	-4,1	-1,0	1,3	3,2	1,2	-4,9
87	-3,7	-0,7	1,6	3,1	1,8	-3,9
88	-3,0	0,1	2,1	3,3	2,2	-2,8
89	-2,4	0,2	2,4	3,8	2,6	-2,3
90	-2,2	0,6	2,8	4,1	3,1	-2,2
91	-2,3	0,5	2,6	3,9	3,0	-2,1
92	-2,6	0,2	2,7	4,1	2,9	-2,7
93	-2,6	0,5	2,6	4,1	2,9	-2,4
94	-2,5	0,7	2,6	4,2	3,1	-2,7
95	-1,9	0,6	2,6	4,2	2,8	-1,9
96	-1,2	1,2	2,9	4,4	3,3	-1,0
97	-1,3	1,2	3,0	4,4	3,4	-1,2
98	-1,6	1,0	2,8	4,3	3,3	-1,4
99	-1,6	1,0	2,8	4,3	3,2	-1,6
100	-1,7	1,0	2,9	4,3	3,2	-1,4
101	-1,5	1,4	3,2	4,6	3,6	-1,3
102	-1,1	1,5	3,4	4,8	3,6	-1,2
103	-0,5	2,1	3,7	5,0	4,3	-0,5
104	-0,4	2,2	4,1	5,3	4,5	-0,1
105	-0,1	2,6	4,2	5,5	4,6	0,0
106	0,3	3,0	4,5	5,5	5,2	0,3
107	0,1	2,7	4,6	5,6	5,0	0,3
108	0,1	2,8	4,4	5,6	5,1	0,4
109	0,1	2,9	4,5	5,8	4,9	0,0
110	0,3	3,0	4,6	5,9	5,0	0,1
111	0,6	3,6	5,3	6,5	5,5	0,5
112	0,9	3,9	5,7	6,8	5,9	0,7
113	1,3	4,4	6,1	7,1	6,4	1,1
114	1,4	4,3	6,1	7,0	6,3	1,4
115	1,5	4,2	6,1	7,1	6,9	1,3
116	1,7	4,3	6,3	7,3	6,8	1,9
117	2,2	4,7	6,5	7,1	7,5	2,4
118	2,2	5,0	6,6	7,5	7,4	2,6

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
119	2,3	5,2	6,8	7,6	7,5	2,5
120	2,4	5,6	7,2	8,0	7,8	2,5
121	2,5	5,7	7,4	8,3	7,7	2,6
122	2,7	5,8	7,5	8,3	8,2	2,9
123	2,9	5,8	7,6	8,5	8,2	2,9
124	3,4	6,2	7,7	8,6	8,2	3,5
125	3,7	6,4	8,0	8,8	8,6	3,8
126	4,2	7,2	8,6	9,2	9,4	4,3
127	4,4	7,6	8,9	9,7	9,6	4,6
128	4,4	7,8	9,1	9,7	9,9	4,6
129	4,6	7,7	9,2	9,9	9,8	4,8
130	4,9	7,9	9,3	10,2	10,2	5,0
131	4,9	8,0	9,3	10,1	10,1	4,9
132	5,1	7,9	9,2	10,2	10,0	5,1
133	5,0	7,7	9,3	10,1	10,2	5,4
134	5,2	8,3	9,8	10,4	10,6	5,4
135	5,3	8,4	9,9	10,2	10,9	5,4
136	5,6	8,4	9,8	10,7	10,6	5,9
137	5,8	8,6	10,2	10,9	10,7	6,7
138	6,2	8,8	10,3	10,8	11,3	6,5
139	6,4	9,1	10,1	10,7	11,3	6,7
140	6,5	8,9	10,1	10,8	10,9	6,8
141	6,7	9,1	10,2	11,0	11,0	7,1
142	7,1	9,5	10,4	11,1	11,0	7,5
143	7,2	9,9	10,7	11,5	11,3	7,8
144	7,0	10,0	11,1	11,7	11,7	7,5
145	7,1	9,9	11,0	11,8	11,4	7,6
146	7,4	10,1	11,2	11,7	11,8	8,3
147	7,8	10,4	11,5	12,1	12,4	8,8
148	8,1	10,7	11,8	12,5	12,4	9,0
149	8,4	10,7	11,9	12,6	12,7	9,2
150	8,9	11,3	11,9	12,6	12,7	9,6
151	9,1	11,6	12,2	12,7	13,0	10,0
152	9,3	11,7	12,4	12,9	13,6	10,0
153	9,5	11,9	12,8	13,2	13,8	10,5
154	9,8	12,1	12,9	13,7	13,7	11,2
155	9,9	12,4	13,2	13,7	14,0	10,9
156	10,0	12,6	13,8	14,1	14,8	10,6
157	10,4	13,2	13,8	14,3	14,9	11,2
158	10,8	13,6	14,0	14,3	15,2	11,4
159	11,1	13,3	14,2	14,6	15,2	11,6
160	10,8	13,0	13,8	14,5	14,6	11,6

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
161	10,4	13,0	13,9	14,6	14,9	11,2
162	10,4	13,0	13,9	14,6	15,0	11,4
163	10,8	12,8	13,7	14,5	14,7	11,8
164	11,1	13,0	13,7	14,7	15,0	12,4
165	11,4	13,1	13,7	14,7	15,1	12,9
166	11,5	13,4	13,8	14,5	15,2	12,8
167	11,7	13,4	13,8	14,6	14,9	13,1
168	11,7	13,5	14,0	14,8	15,1	13,2
169	12,0	13,7	14,4	15,1	15,4	13,1
170	12,6	14,0	14,8	15,3	16,1	13,9
171	12,7	14,3	15,0	15,2	16,4	14,0
172	12,6	13,9	14,9	15,5	16,0	14,0
173	12,7	13,8	14,6	15,4	15,5	14,0
174	12,8	14,0	14,6	15,3	15,7	14,0
175	13,0	14,1	14,8	15,4	16,0	14,5
176	13,0	14,0	14,9	15,5	15,9	14,2
177	13,1	14,2	15,1	15,7	16,4	14,8
178	13,3	14,3	15,1	15,7	16,3	15,1
179	13,6	14,5	15,0	15,6	16,5	15,4
180	13,4	14,5	15,0	15,7	16,1	15,0
181	13,5	14,4	15,0	15,6	16,4	15,2
182	13,5	14,9	15,3	15,9	16,7	15,0
183	13,7	15,1	15,5	16,1	16,9	15,2
184	13,8	15,1	15,7	16,3	16,8	15,4
185	14,0	15,5	16,0	16,4	17,1	15,7
186	13,8	15,4	16,0	16,4	17,5	15,2
187	13,9	15,4	16,2	16,6	17,4	15,4
188	14,2	15,5	16,3	16,8	17,5	15,4
189	14,3	15,6	16,3	16,9	17,5	15,6
190	14,4	15,8	16,3	16,8	17,2	15,5
191	14,6	15,9	16,4	16,8	17,4	15,6
192	14,4	15,6	16,2	16,7	17,5	15,7
193	14,2	15,4	16,1	16,8	17,6	15,6
194	13,9	15,0	15,9	16,9	16,9	15,4
195	13,8	14,9	15,8	16,8	16,9	15,3
196	14,1	15,0	15,8	16,6	16,7	15,3
197	14,3	15,1	15,9	16,6	17,0	15,5
198	14,3	15,1	15,8	16,8	16,7	15,5
199	14,3	15,1	16,0	17,0	17,0	15,8
200	14,4	15,3	16,0	17,1	16,9	16,0
201	14,7	15,6	16,3	17,2	17,3	16,2
202	14,6	15,8	16,5	17,1	17,6	15,9

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
203	14,5	15,5	16,4	17,0	17,4	15,7
204	14,5	15,6	16,5	17,0	18,0	15,8
205	14,6	15,5	16,5	17,1	17,7	15,9
206	15,0	15,8	16,6	17,1	18,1	16,3
207	14,9	15,9	16,5	16,9	17,6	16,1
208	14,9	15,6	16,7	17,3	17,8	16,1
209	14,6	15,6	16,8	17,5	17,8	15,8
210	14,7	15,7	16,9	17,6	17,9	15,6
211	14,9	15,8	17,0	17,7	18,0	15,8
212	15,1	16,0	17,1	17,6	18,1	16,2
213	15,2	16,3	17,3	17,8	18,4	16,3
214	15,0	16,0	17,1	17,8	18,3	16,0
215	14,9	15,6	16,9	17,9	18,0	15,9
216	14,6	15,6	16,7	17,8	18,0	15,6
217	14,3	15,4	16,6	17,4	18,0	15,2
218	14,1	15,2	16,8	17,7	17,7	15,1
219	13,9	15,2	16,7	17,9	17,5	14,9
220	14,0	14,9	16,3	17,5	17,1	15,2
221	14,0	15,1	16,4	17,5	17,5	15,1
222	13,8	15,0	16,3	17,4	17,0	14,7
223	13,5	15,0	16,4	17,7	17,2	14,2
224	13,1	14,6	16,2	17,6	17,0	13,9
225	13,0	14,5	16,0	17,2	16,7	14,0
226	12,9	14,0	15,7	17,1	16,4	13,5
227	12,8	13,8	15,8	17,2	16,4	13,6
228	12,9	14,2	16,0	17,2	16,7	13,6
229	12,9	14,2	15,8	16,9	16,6	13,3
230	12,7	13,9	15,5	16,9	16,3	13,6
231	12,5	13,8	15,5	17,0	16,4	13,3
232	12,4	13,9	15,5	17,1	16,4	13,1
233	12,3	13,8	15,6	17,0	16,5	12,9
234	12,4	13,6	15,3	16,9	15,9	13,1
235	11,9	13,1	15,0	16,6	15,7	12,6
236	11,4	12,7	14,6	16,4	15,3	12,1
237	11,2	12,4	14,5	16,4	14,8	12,0
238	11,0	12,4	14,4	16,4	15,0	11,9
239	11,0	12,3	14,0	16,0	14,5	11,7
240	10,9	12,5	14,1	16,0	14,8	11,7
241	10,9	12,2	14,2	15,9	14,9	11,6
242	10,8	12,3	14,1	16,0	14,8	11,6
243	10,2	11,7	14,1	15,9	14,7	10,6
244	10,5	11,8	13,9	15,7	14,6	11,0

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
245	10,4	12,2	14,0	15,7	14,8	11,0
246	10,4	12,1	14,0	15,6	14,8	11,0
247	10,2	11,8	13,7	15,6	14,1	10,8
248	10,1	11,4	13,4	15,3	13,8	10,6
249	9,9	11,2	13,1	15,1	13,7	10,6
250	9,4	10,9	12,8	14,9	13,0	9,9
251	9,5	11,0	13,0	15,0	13,3	9,9
252	9,3	10,9	13,0	14,9	13,3	9,6
253	9,1	10,4	12,5	14,7	12,8	9,9
254	8,7	9,9	12,4	14,8	12,6	9,4
255	8,5	9,9	12,0	14,5	12,4	9,0
256	7,8	9,2	11,7	14,1	11,9	8,3
257	7,5	9,3	11,5	14,0	11,6	7,9
258	7,3	9,0	11,2	13,7	11,3	7,7
259	7,3	8,9	11,2	13,7	11,4	7,7
260	7,2	8,8	11,2	13,7	11,6	7,7
261	7,3	8,9	11,0	13,6	11,1	7,5
262	7,1	8,7	11,1	13,5	11,1	7,2
263	6,8	8,4	11,0	13,6	11,3	7,1
264	6,9	8,8	11,2	13,6	11,3	7,3
265	6,6	8,5	11,0	13,4	11,1	6,8
266	6,3	8,1	10,6	13,0	10,6	6,6
267	6,1	8,2	10,5	13,3	10,5	6,1
268	6,3	7,8	10,2	12,9	10,3	6,5
269	6,0	7,7	10,0	12,4	10,2	6,2
270	5,3	6,9	9,5	12,2	9,5	5,9
271	4,9	6,6	9,4	12,4	9,4	5,2
272	5,1	6,8	9,5	12,4	9,7	5,3
273	5,0	6,7	9,2	12,1	9,3	5,1
274	5,1	6,7	9,2	11,7	9,2	5,5
275	5,1	6,6	9,2	11,9	9,2	5,4
276	5,1	6,8	9,2	11,8	9,3	5,5
277	5,0	6,7	9,3	11,9	9,5	5,3
278	5,0	6,5	9,0	11,7	9,3	5,4
279	4,9	6,2	8,9	11,6	8,9	5,4
280	4,8	6,6	9,3	11,8	9,2	5,2
281	4,4	6,4	9,3	11,7	9,4	4,8
282	4,2	6,4	8,8	11,4	9,0	4,4
283	3,6	5,6	8,7	11,3	8,6	4,0
284	3,3	4,9	8,1	10,8	8,0	3,5
285	3,0	4,5	7,6	10,7	7,6	3,3
286	3,0	4,5	7,8	10,6	7,5	3,4

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
287	2,6	4,2	7,4	10,4	7,2	2,9
288	2,2	4,0	7,4	10,0	7,1	2,2
289	2,2	4,3	7,4	10,0	7,2	2,0
290	2,1	3,9	7,0	9,8	6,8	1,7
291	1,6	3,5	6,7	9,3	6,6	1,3
292	0,7	3,2	6,6	9,4	6,6	0,2
293	1,1	3,4	6,3	9,2	6,4	0,8
294	1,0	3,1	6,2	9,1	6,3	0,7
295	0,9	2,8	6,2	9,2	6,3	0,7
296	0,6	2,4	5,7	8,8	5,5	0,4
297	0,6	2,6	5,9	9,0	5,9	0,4
298	0,6	2,6	6,1	9,1	5,8	1,0
299	0,3	2,7	6,0	8,9	6,1	0,8
300	0,3	2,9	6,0	8,8	5,9	0,4
301	0,1	2,7	5,9	8,8	5,7	0,0
302	-0,3	2,2	5,5	8,5	4,9	-0,4
303	-0,8	2,1	5,4	8,4	5,0	-0,8
304	-1,2	1,4	4,9	8,2	4,6	-1,1
305	-1,5	1,0	4,8	8,2	4,4	-1,7
306	-2,0	0,5	4,4	7,9	4,0	-2,0
307	-2,0	0,3	4,2	7,9	3,7	-2,4
308	-1,6	1,1	4,7	7,9	4,4	-1,8
309	-1,1	0,7	4,3	7,5	4,0	-1,0
310	-1,4	0,8	4,3	7,4	4,0	-1,4
311	-1,7	0,4	4,0	7,4	3,5	-1,3
312	-2,1	0,1	4,0	7,2	3,7	-1,7
313	-2,2	0,0	3,9	7,0	3,5	-1,7
314	-2,2	-0,4	3,5	6,8	3,0	-1,8
315	-2,8	-0,3	3,5	6,8	3,2	-2,0
316	-3,2	-0,5	3,4	6,7	3,1	-2,6
317	-3,9	-1,0	3,1	6,0	3,1	-3,2
318	-4,4	-1,1	2,9	5,7	2,8	-4,0
319	-4,5	-1,3	2,9	5,8	2,7	-4,4
320	-4,3	-1,6	2,5	5,6	2,1	-3,8
321	-4,1	-2,2	2,1	5,2	1,5	-3,5
322	-5,1	-3,3	2,0	5,3	1,4	-3,9
323	-5,5	-3,6	1,9	5,0	1,4	-4,7
324	-6,4	-4,7	1,0	4,4	0,3	-6,0
325	-6,6	-4,0	1,1	4,3	0,6	-6,2
326	-6,4	-3,5	1,4	4,2	1,0	-6,4
327	-6,8	-3,6	1,6	4,6	0,9	-6,8
328	-6,1	-3,2	1,5	4,6	1,2	-6,0

BILAGOR

Dag	KZ1 (°C)	KZ2 (°C)	KZ3 (°C)	Falsterbo (°C)	Stockholm (°C)	Haparanda (°C)
329	-5,7	-2,8	1,6	4,5	1,3	-5,8
330	-6,2	-2,9	1,6	4,8	1,3	-5,8
331	-5,9	-3,8	1,5	4,9	0,7	-5,5
332	-6,5	-4,4	1,3	4,5	1,0	-5,9
333	-6,6	-3,9	1,3	4,5	1,1	-6,6
334	-7,0	-4,5	0,5	3,8	0,2	-6,5
335	-5,9	-3,6	0,7	3,3	0,5	-5,8
336	-4,9	-2,6	1,2	3,8	0,9	-5,0
337	-4,3	-2,5	1,7	4,2	1,4	-4,2
338	-4,7	-3,1	1,4	4,0	0,7	-5,0
339	-5,9	-3,3	1,1	4,0	0,7	-6,2
340	-6,4	-3,4	1,2	4,2	0,7	-6,9
341	-7,0	-4,9	0,1	3,3	-0,5	-7,0
342	-7,4	-5,3	0,0	3,4	-0,4	-6,6
343	-7,2	-5,6	0,3	3,5	-0,4	-7,3
344	-6,7	-5,1	0,6	3,6	0,2	-6,7
345	-7,3	-5,3	0,2	3,5	-0,4	-7,0
346	-7,8	-5,8	-0,2	3,1	-0,5	-8,4
347	-8,9	-6,6	-0,7	2,7	-1,4	-9,3
348	-8,3	-6,5	-0,6	2,8	-1,6	-8,0
349	-8,2	-6,5	-0,8	2,5	-2,1	-8,1
350	-8,4	-7,0	-1,1	2,1	-1,7	-8,7
351	-8,6	-7,1	-1,0	1,9	-1,8	-9,9
352	-8,4	-6,0	-1,0	2,4	-1,8	-9,3
353	-9,0	-6,3	-0,6	2,6	-1,6	-9,8
354	-10,1	-7,3	-1,3	2,2	-2,3	-10,6
355	-10,1	-8,0	-1,9	1,9	-2,8	-10,4
356	-10,0	-7,6	-1,8	1,5	-2,8	-10,9
357	-9,4	-6,9	-1,0	2,1	-1,4	-10,1
358	-8,8	-6,0	-0,6	2,1	-1,1	-8,5
359	-9,1	-5,9	-0,7	2,2	-1,3	-9,3
360	-9,9	-7,6	-1,0	2,0	-1,9	-9,7
361	-9,8	-7,7	-1,5	1,4	-2,5	-10,4
362	-9,6	-7,3	-1,1	1,8	-2,1	-11,2
363	-9,6	-7,3	-1,1	1,6	-1,8	-9,7
364	-9,8	-7,9	-1,8	1,4	-2,6	-9,5
365	-10,0	-8,6	-2,5	0,9	-3,1	-9,8

BILAGA 3 – Enkät svar (Ensidig vädring)

Fråga – Svar									
Lägenhet	15	24	37.1	37.2	37.3	38	39.1	39.2	40.1
1	2	2	3	1	2	1	2	2	2
2	1	2	3	1	1	1	2	2	5
3	1	3	0	1	0	1	2	2	7
4	1	3	3	1	0	1	2	2	3
5	4	1	3	0	0	2	2	2	2
6	2	3	1	1	1	1	2	2	2
7	1	3	1	1	1	1	2	2	2
8	1	4	0	1	1	1	2	2	6
9	3	3	3	3	3	2	2	2	2
10	1	3	3	3	1	1	2	2	4
11	1	3	1	1	1	1	2	2	5
12	1	3	0	3	3	2	2	2	3
13	1	3	0	3	3	2	2	2	3
14	1	1	1	0	0	1	2	2	3
15	1	1	3	0	0	1	2	2	4
16	1	3	3	4	3	1	2	2	4
17	1	3	3	4	0	1	2	2	4
18	1	4	0	4	0	2	1	2	5
19	1	4	0	4	0	2	1	2	5
20	1	3	0	1	0	1	2	2	5
21	1	2	1	1	0	2	1	2	5
22	1	2	3	1	3	2	2	2	7
23	1	4	3	1	3	1	2	2	2
24	4	2	3	0	0	2	2	2	2
25	1	3	3	2	0	3	2	2	2
26	3	2	3	0	0	2	2	2	2
27	2	3	3	1	0	2	2	2	2
28	1	3	3	1	0	2	2	2	2
29	2	2	3	1	0	2	2	2	3
30	1	2	4	0	4	1	1	2	3
31	1	3	1	1	1	2	2	2	7
32	1	3	1	0	0	2	2	2	4
33	1	3	1	3	1	2	1	1	3
34	1	3	1	3	1	2	2	2	4
35	1	3	0	1	3	2	2	2	2
36	1	2	3	0	0	1	2	2	2
37	1	3	0	1	1	1	2	2	9
38	1	2	2	1	1	2	2	2	2
39	1	3	1	0	0	2	2	2	4
40	1	3	0	1	1	3	2	2	3
41	2	3	3	1	0	2	2	2	4

BILAGOR

Fråga – Svar									
Lägenhet	15	24	37.1	37.2	37.3	38	39.1	39.2	40.1
42	1	2	1	1	1	1	1	2	2
43	1	3	1	1	0	1	1	2	2
44	1	4	0	1	0	1	1	1	6
45	1	3	3	1	0	1	2	2	7
46	1	4	3	1	0	1	2	2	3
47	1	3	0	1	0	1	2	2	5
48	1	3	0	1	0	1	2	2	5
49	3	3	0	1	0	1	2	2	7
50	1	3	3	1	0	2	2	2	2
51	2	3	3	1	3	1	1	2	2
52	2	3	0	1	0	1	2	2	3
53	1	6	3	3	3	1	2	2	4
54	3	2	3	3	0	2	2	2	4
55	1	2	3	1	3	2	2	2	2
56	1	2	3	3	3	1	2	2	6
57	1	3	0	3	0	1	1	2	7
58	2	2	3	1	0	2	2	2	2
59	1	3	0	3	0	2	2	2	7
60	1	3	1	1	1	2	2	2	4
61	2	2	3	0	0	1	2	2	2
62	1	3	3	1	4	2	2	2	5
63	1	2	3	1	0	1	2	2	5
64	1	2	3	1	0	2	2	2	4
65	2	4	3	1	1	1	2	2	3
66	2	2	0	0	3	3	2	2	2
67	1	4	2	2	2	3	2	2	4
68	1	5	3	1	1	3	2	2	5
69	3	2	3	1	0	1	2	2	2
70	1	3	0	4	0	1	2	2	6
71	1	4	3	1	1	1	2	2	2
72	1	2	3	1	2	2	2	2	5
73	1	2	3	1	2	2	2	2	5
74	2	2	3	1	1	1	2	2	2
75	1	3	1	1	1	1	2	2	5
76	1	3	3	1	1	1	2	2	6
77	1	3	0	4	0	1	1	2	7
78	1	2	1	3	1	1	1	2	2
79	1	2	1	3	1	1	2	2	7
80	2	3	4	1	4	1	1	1	4
81	2	3	0	1	0	1	2	2	2
82	1	2	3	1	0	1	2	2	5
83	1	2	3	1	0	1	1	1	7

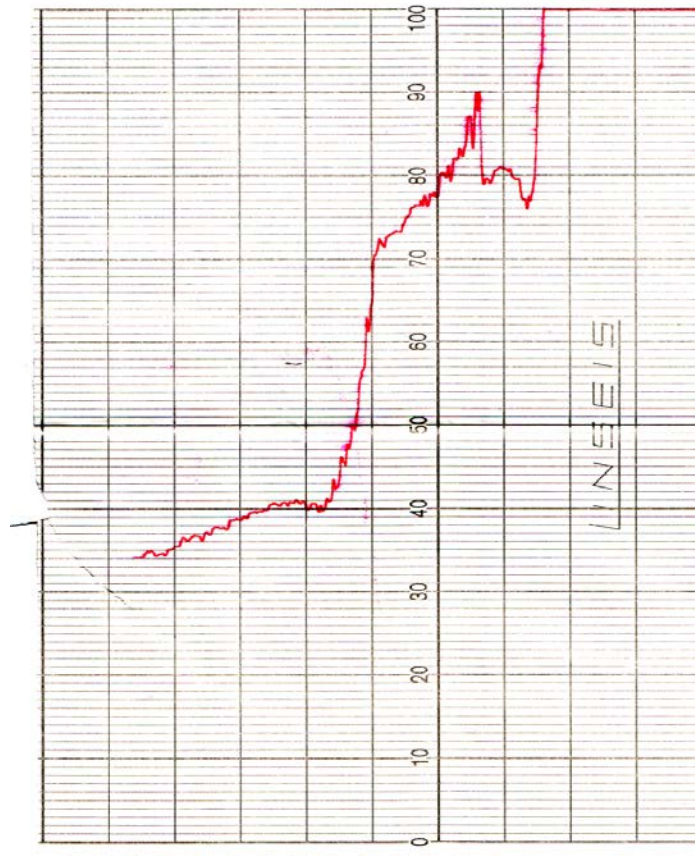
BILAGOR

Fråga – Svar									
Lägenhet	15	24	37.1	37.2	37.3	38	39.1	39.2	40.1
84	1	2	0	1	0	1	1	1	7
85	2	2	0	1	0	1	1	1	7
86	1	4	3	3	0	1	2	2	7
87	1	2	3	1	3	1	2	2	6
88	1	3	3	1	1	2	2	2	3
89	1	3	2	2	0	1	2	2	3
90	1	4	2	2	4	1	2	2	8
91	2	2	3	2	0	2	2	2	2
92	3	4	1	0	0	1	2	2	2
93	1	2	3	3	0	2	2	2	5
94	1	2	3	1	0	1	2	2	6

BILAGA 5 - Test och kalibrering av mätinstrument inför spårgasmätning i rum

För att försäkra oss om att mätinstrumentet för spårgasmätning fungerar som det ska och för att testa dess funktion gjorde vi en testmätning. Detta gjordes i ett kontorsrum på V-huset på LTH. För att mätinstrumentet skall fungera behöver det förvärmas i några timmar. Detta gjordes genom att koppla in mätinstrumentet i eluttaget i ca 3-4 h. När mätinstrumentet var uppvärmt kunde vi sedan påbörja kalibreringen av mätaren och skrivaren. Kalibreringen gjordes genom att följa skriftliga instruktioner från avdelningen för Installationsteknik. När kalibreringen av mätinstrumentet och skrivaren var klar kunde vi sedan spruta ut spårgas (dikväveoxid) från en gasbehållare och fördela det i rummet med hjälp av en fläkt. Nedan följer förklaringar till grafens utseende (se figuren):

1. Eftersom vi sprutade ut för mycket gas i början vädrade vi för att snabbare minska spårgashalten i rummet.
2. När vi stängde fönstret blev det ett litet gupp i grafen då gasen i rummet blev jämnare fördelad än med fönstret öppet.
3. Här råkade vi spruta ut mer gas så att halten ökade vilket syns som en topp i grafen.
4. Därefter vädrade vi igen för att minska spårgashalten och påskynda processen.
5. Här stängde vi fönstret och väntade en stund tills spårgashalten avtog pga. den mekaniska ventilationen.



Figur 30: Graf för avklingning av spårgashalt i rummet.

Ur grafen kan vi dra slutsatsen att mätutrustningen fungerar som den ska och att vädringen påverkar spårgashalten avsevärt.

BILAGA 6 – Enkät 2012

Lghnr:.....

Några frågor om Ditt INOMHUSKLIMAT



Frågorna besvaras genom att Du sätter ett kryss
i rutan för det svarsalternativ som passar Dig bäst.



Skicka in det ifyllda formuläret så fort som möjligt.
Gärna redan idag. Använd det bifogade svars-
kuvertet.



Om Du har några frågor kan Du ringa till
Birgitta Nordquist 046-222 72 73
.....

-2-

**Vi är intresserade av att få veta hur Du trivs i Din bostad
och hur Du upplever Ditt inomhusklimat.**

1. Är Du nöjd eller missnöjd med

	mycket nöjd	ganska nöjd	varken eller	ganska missnöjd	mycket missnöjd
lägenhetens storlek	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
lägenhetens planlösning	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
lägenhetens standard	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
hyran	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
lägenheten som helhet	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
husets skötsel	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

VÄRME OCH TEMPERATUR

**2. Tycker Du att det är för kallt eller för varmt i något rum
i lägenheten under vinterhalvåret?**

	mycket för kallt	för kallt	lagom	för varmt	mycket för varmt
i kök	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i vardagsrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i badrum/toalett	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i sovrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

**3. Tycker Du att det är för kallt eller för varmt i något rum
i lägenheten under sommarhalvåret?**

	mycket för kallt	för kallt	lagom	för varmt	mycket för varmt
i kök	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i vardagsrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i badrum/toalett	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
i sovrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

4. Besväras Du av att temperaturen varierar i lägenheten beroende på temperaturförändringar utomhus?

- 1 ☐ ja, ofta
 2 ☐ ja, ibland
 3 ☐ nej, sällan eller aldrig

5. Tycker Du att uppvärmningssystemet i lägenheten ger Dig stora eller små möjligheter att själv påverka temperaturen?

- 1 ☐ stora möjligheter
 2 ☐ vissa möjligheter
 3 ☐ inga möjligheter

6. Tycker Du att Din lägenhet har ?

	ja	nej	vet ej
kalla golv	☐	☐	☐
kalla väggar	☐	☐	☐

7. Besväras Du av drag i Din lägenhet? Ange i så fall i vilket rum och varifrån det drar. Flera alternativ kan anges.

	besväras av drag	besväras av drag: vid golv	besväras av drag: vid fönster	vid dörr	vid ventil i fönster, yttervägg	vid ventilations- inblåsning
kök	☐	☐	☐	☐	☐	☐
vardagsrum	☐	☐	☐	☐	☐	☐
badrum/toalett	☐	☐	☐	☐	☐	☐
sovrum	☐	☐	☐	☐	☐	☐
hall	☐	☐	☐	☐	☐	☐

8. Hur tycker Du värmekomforten i stort sett är i Din lägenhet under ... ?

	mycket bra	ganska bra	acceptabelt/ varken bra eller dåligt	ganska dåligt	mycket dåligt
sommarhalvåret	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
vinterhalvåret	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

VENTILATION

9. Hur bedömer Du i allmänhet luften i Din lägenhet?är luften torr eller fuktig

mycket torr	ganska torr	varken eller	ganska fuktig	mycket fuktig
1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

är luften ren eller dammig

mycket ren	ganska ren	varken eller	ganska dammig	mycket dammig
1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

är luften frisk eller unken

mycket frisk	ganska frisk	varken eller	ganska unken	mycket unken
1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

10. Besväras Du av följande olägenheter i Din lägenhet?

Markera hur ofta Du besväras av ...

	ja, ofta	ja, ibland	nej, aldrig
eget matos som sprids i lägenheten	1 ☐	2 ☐	3 ☐
matos från grannlägenheter	1 ☐	2 ☐	3 ☐
tobaksrök eller annan lukt från grannlägenheter	1 ☐	2 ☐	3 ☐
lukter utifrån, t.ex. bilavgaser, grillkök och industrier.	1 ☐	2 ☐	3 ☐
torr luft	1 ☐	2 ☐	3 ☐
svårighet att få tvätt/fuktiga handdukar torra i bad/duschrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐
kondens mellan fönsterrutor	1 ☐	2 ☐	3 ☐
kondens på insidan av fönstren	1 ☐	2 ☐	3 ☐

11. Känner Du av någon av följande lukter i Din lägenhet?

	ja	nej
stickande lukt	1 ☐	2 ☐
mögellukt	1 ☐	2 ☐
instängd lukt	1 ☐	2 ☐
unken lukt	1 ☐	2 ☐

12. Hur tycker Du att luftkvaliteten i stort sett är i ...

	mycket bra	ganska bra	acceptabelt/ varken bra eller dålig	ganska dålig	mycket dålig
vardagsrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
sovrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
lägenheten som helhet	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

13. Tycker Du att ventilationssystemet i lägenheten ger Dig stora eller små möjligheter att själv påverka luftkvaliteten?

- 1 ☐ stora möjligheter
 2 ☐ vissa möjligheter
 3 ☐ inga möjligheter

14. Hur ofta rengör Du ... ?

	varje månad	ca 1 ggr/ halvår	ca 1 ggr/ år	mer sällan	aldrig	saknas
ventil i kök	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐
fettfilter i spiskåpa/fläkt	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐
ventil i badrum	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐

**15. Hur ofta vädrar Du vanligtvis under eldningssäsongen?
(dvs. september - april)**

- 1 ☐ dagligen/nästan varje dag
 2 ☐ ungefär 1 gång i veckan
 3 ☐ någon gång i månaden
 4 ☐ vädrar sällan eller aldrig

16. När Du vädrar, vädrar Du då oftast genom att ... ?

- 1 ☐ ha vädringsfönster/fönster öppet hela dagen/natten
 2 ☐ ha vädringsfönster/fönster öppet några timmar
 3 ☐ korsdrag i några minuter
 4 ☐ vädrar aldrig

HÄLSOASPEKTER

**17. Inomhusklimat och hälsa är något som hör ihop med varandra.
Vi undrar därför om Du har eller har haft ... ?**

	1	ja	2	nej
någon form av astmatiska besvär	☐	☐	☐	☐
hösnuva	☐	☐	☐	☐
någon form av eksem	☐	☐	☐	☐
är det någon annan i hushållet som har eller har haft allergiska sjukdomar/besvär?	☐	☐	☐	☐

18. Har Du under de tre senaste månaderna haft något/några av nedanstående besvär?

	JA ofta (varje vecka)	JA ibland	NEJ aldrig	OM JA: Tror Du det beror på Din bostadsmiljö?
trötthet	1 ☐	2 ☐	3 ☐	ja nej 1 ☐ 2 ☐
huvudvärk	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐
klåda, sveda, irritation i ögonen	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐
irriterad, täppt eller rinnande näsa	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐
heshet, halstorrhet	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐
hosta	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐
torr eller rodnande hud i ansiktet	1 ☐	2 ☐	3 ☐	1 ☐ 2 ☐

LJUD OCH LJUS

19. Besväras Du av störande ljud i Din lägenhet?

	ja, ofta	ja, ibland	nej, sällan eller aldrig
Ljud från kranar, rör eller ledningar	1 ☐	2 ☐	3 ☐
Ljud från ventilationen	1 ☐	2 ☐	3 ☐
Ljud från grannlägenheter, trapphus eller hiss	1 ☐	2 ☐	3 ☐
Ljud utifrån, t.ex. från trafik, industri eller lekande barn	1 ☐	2 ☐	3 ☐

20. Tycker Du att det är för mycket ljud i Din lägenhet eller är det en tyst lägenhet?

mycket tyst	ganska tyst	acceptabel/ varken tyst eller ljudfylld	ganska ljudfylld	mycket ljudfylld
1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

21. Tycker Du att Din lägenhet är för ljus eller för mörk?

mycket för ljus	för ljus	lagom	för mörk	mycket för mörk
1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

22. Tycker Du att Du får för lite eller för mycket direkt solljus i lägenheten under ?

	för mycket	något för mycket	lagom	något för lite	för lite
vinterhalvåret	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
sommarhalvåret	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐

23. Vi skulle vilja att Du nu går igenom och värderar problem som kan tänkas förekomma i Din bostad.

Markera i vilken grad Du instämmer i de olika påståendena.

	jag instämmer helt	delvis	inte alls	jag har ingen uppfattning
jag saknar möjlighet att kunna påverka värmen i lägenheten	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
luften i lägenheten känns ofta för torr	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
lägenheten känns ofta för kall på morgonen	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag störs ofta av matosluk i lägenheten	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag hör alltför ofta ljud från grannlägenheter	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
det känns ofta för kallt på golvet i lägenheten	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag tycker det tar för lång tid att få fel åtgärdade	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
det luktar ofta instängt i lägenheten	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
det är ofta för kallt i lägenheten vintertid	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag saknar möjlighet att kunna påverka ventilationen i lägenheten	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
det tar för lång tid att få handdukar torra i badrummet	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag störs ofta av att det drar från fönster och/eller balkongdörr	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag tycker det är svårt att få tag i förvaltaren vid problem	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag störs ofta av att det tjuter i vattenledningarna	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
det blir ofta kondens på fönstren vid matlagning	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐
jag besväras ofta av ljud från ventilationen	¹ ☐	² ☐	³ ☐	⁴ ☐

BAKGRUNDSFRÅGOR

24. Hur stor är Din lägenhet?

- 1 ☐ 1 rum och kök/kokvrå
2 ☐ 2 rum och kök/kokvrå
3 ☐ 3 rum och kök
4 ☐ 4 rum och kök
5 ☐ 5 rum och kök
6 ☐ 6 rum och kök
7 ☐ 7 rum och kök eller större

25. Vilket våningsplan ligger lägenheten på?

- 1 ☐ 2 trappor ned
2 ☐ 1 trappa ned
3 ☐ bottenvåning/nedre botten
4 ☐ 1 trappa upp
5 ☐ 2 trappor upp
6 ☐ 3 trappor upp
7 ☐ 4 trappor upp
8 ☐ 5 trappor upp
9 ☐ 6 trappor upp eller högre

26. Har något rum i lägenheten renoverats under det senaste året?
Dvs. tapetserats, målats och/eller fått ny golvbeläggning.

- 1 ☐ ja, hela lägenheten
2 ☐ ja, i delar av lägenheten
3 ☐ nej

27. Har Din lägenhet varit utsatt för någon större vattenskada
de senaste fem åren?

- 1 ☐ ja
2 ☐ nej
3 ☐ vet ej

28. Hur många bor stadigvarande i Din lägenhet?
Räkna även med Dig själv.

_____ antal vuxna
_____ antal barn 0 - 6 år
_____ antal barn 7 - 17 år

29. Hur många timmar är Du genomsnittligen borta från bostaden under vardagar? Hur många timmar är Din maka/make/sambo borta?

	Du själv	maka/make/sambo
0 - 4 timmar	¹ ☐	¹ ☐
5 - 9 timmar	² ☐	² ☐
10 - 14 timmar	³ ☐	³ ☐
15 timmar eller mer	⁴ ☐	⁴ ☐

30. Hur länge har Du bott i lägenheten?

- ¹ ☐ mindre än 6 månader
¹ ☐ 6 mån - 12 mån
² ☐ 1 - 2 år
³ ☐ 3 - 5 år
⁴ ☐ 6 - 10 år
⁵ ☐ mer än 10 år

TILL SIST.....

31. Hur gammal är Du?

- ¹ ☐ 24 år eller yngre
² ☐ 25 - 34 år
³ ☐ 35 - 44 år
⁴ ☐ 45 - 54 år
⁵ ☐ 55 - 64 år
⁶ ☐ 65 år eller äldre

32. Är Du man eller kvinna?

- ¹ ☐ man
² ☐ kvinna

33. Röker Du?

- ¹ ☐ ja
² ☐ nej

TACK FÖR HJÄLPEN

Fördjupande frågor

34. Vad brukar vara *den främsta orsaken* till att du vädrar under eldningssäsongen?

- 1 ☐ vana, brukar vädra som en rutin
 2 ☐ det är för instängd dålig luft, dålig luftkvalitet
 3 ☐ det är för varmt
 4 ☐ övrig ventilation är otillräcklig
 5 ☐ annan orsak :

35. Vilka av följande alternativ kan vara orsaker till att du börjar vädra under eldningssäsongen?

(Flera alternativ kan väljas)

- 1 ☐ vana, brukar vädra som en rutin
 2 ☐ det är för instängd dålig luft, dålig luftkvalitet
 3 ☐ det är för varmt
 4 ☐ övrig ventilation är otillräcklig
 5 ☐ annan orsak :

36. Vad är orsaken till att du slutar vädra?

- 1 ☐ vana, brukar ha öppet en viss tid som vana
 2 ☐ fått tillräcklig mängd ny oanvänd luft
 3 ☐ nått tillräckligt låg innetemperatur
 4 ☐ för kall uteluft
 5 ☐ för stark bläst
 6 ☐ drag
 7 ☐ buller utifrån
 8 ☐ regn
 9 ☐ annan orsak :

37. När du vädrar under eldningssäsongen brukar du oftast öppna?

	öppnar 1 fönster	öppnar flera fönster	öppnar balkongdörren	öppnar mindre vädringsfönster
vardagsrum	☐	☐	☐	☐
sovrum	☐	☐	☐	☐
kök	☐	☐	☐	☐

38. Med hur stor öppning vädrar du under eldningssäsongen??

- 1 ☐ på glänt (upp till 10 cm)
 2 ☐ halvöppet (mellan 20-50 cm)
 3 ☐ helt öppet (mer än 50 cm)

39. Hur stort är fönstret/dörren som du brukar vädra med under eldningssäsongen?

- ☐ Bredd mindre än 0,5 m ☐ Höjd mindre än 0,5 m
☐ Bredd mer än 0,5 m ☐ Höjd mer än 0,5 m

40. Hur lång tid vädrar ni totalt varje dag?

	Vinter (nov.-mars)	Vår, höst (april, sept.-okt.)	Sommar (maj-aug.)
Vädrar inte	☐	☐	☐
0-15 min.	☐	☐	☐
15-30 min.	☐	☐	☐
30-60 min.	☐	☐	☐
1-2 h	☐	☐	☐
2-6 h	☐	☐	☐
6-12 h	☐	☐	☐
12-18 h	☐	☐	☐
18-24 h	☐	☐	☐

41. Vilken typ av uppvärmning har Ni?

- ☐ Radiatorer (vattenburen värme)
☐ Radiatorer (el-element)
☐ Golvvärme
☐ Luftburen värme
☐ Annat sätt
☐ Vet ej

42. Besväras du av att temperaturen varierar i lägenheten beroende på hur mycket det blåser utomhus?

- Ja nej vet ej
☐ ☐ ☐

43. Hur kan du påverka temperaturen inomhus?

- ☐ vädning
☐ vred på element
☐ display där innetemperatur väljs
☐ ingen möjlighet att påverka
☐ annat sätt

44. Tycker du att din lägenhet har - Kalla tak?

- | Ja | nej | vet ej |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |

45. Om du besväras av drag i din lägenhet. Ange var det drar

- | vid fönster | vid ytterdörr | vid balkong/altandörr | vid uttag t ex för el |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

46. Om det drar vid fönster. Ange var det drar

- | runt om stängt fönster | öppet fönster | framför fönsterytan | annat sätt |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | |

47. Har du någon solavskärmning i dina rum?

- | | vardagsrum | sovrums | kök | övr. rum |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| persienner invändiga | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| persienner mellan glasrutor | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| utvändig markis | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| som du själv drar ner vid behov | | | | |
| utvändig automatisk markis | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| utvändig fast monterad | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| solavskärmning (t ex skärm) | | | | |

48. Vilket väderstreck är fönstren i rummen riktade mot?

- | | Vardagsrum | sovrums | kök | övr. rum |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| norr | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| öster | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| söder | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| väster | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

49. Har du inne i lägenheten

	ja	nej	vet ej
diskmaskin	☐	☐	☐
tvättmaskin	☐	☐	☐
torktumlare	☐	☐	☐

50. Om du handdiskar, hur går du tillväga då?

- ☐ fyller upp diskho med varmvatten och diskar där i
- ☐ diskar under rinnande vatten
- ☐ annat sätt

51. Har du energiklassade vitvaror?

Ja	nej	vet ej
☐	☐	☐

52. Om du har energiklassade vitvaror , vilken energiklass anges?

.....

53. Om du har golvvärme i lägenheten, är golvvärmen driven med

- ☐ vatten
- ☐ el
- ☐ vet ej

54. Om du har golvvärme i lägenheten, hur ofta använder du golvvärmen?

- ☐ året om
- ☐ vinterhalvåret
- ☐ endast några månader (ca 3 mån.)
- ☐ aldrig
- ☐ annat

55. Har du handdukstork i lägenheten?

Ja	nej	vet ej
☐	☐	☐

56. Är handdukstorken driven med?

vatten	el	vet ej
☐	☐	☐

57. Hur ofta använder du handdukstorken?

- ☐ den är alltid på
- ☐ endast några timmar om dagen
- ☐ aldrig
- ☐ annat

58. I vilken omfattning upplever du att du genom ditt levnadssätt kan påverka energiåtgången i huset?

i mycket hög grad	i hög grad	i någon grad	i liten grad	inte alls
☐	☐	☐	☐	☐

59. Betalar du själv för din egen lägenhets

- ☐ varmvatten
- ☐ värme
- ☐ el

60. Skulle du säga att du i din vardag lever energi- och miljömedvetet?

i mycket hög grad	i hög grad	i någon grad	i liten grad	inte alls
☐	☐	☐	☐	☐

61. Om du har ett garage under huset, upplever du det?

Uppvärm	Ouppvärmt
☐	☐

Avslutningsvis skulle vi vilja att du svara på följande sammanfattande fråga av din upplevelse av inomhusklimatet de senaste 3 månaderna. Frågan ingår i den rikstäckande undersökningen BETSI och möjliggör därför en jämförelse med övriga bostäder i Sverige.

62.

3. Har du de <u>senaste 3 månaderna</u> känt dig besvärad av någon eller några av följande faktorer i din bostad?		Ja, ofta (varje vecka)	Ja, ibland	Nej, aldrig
Besvara varje fråga även om du inte känt dig besvärad.		1	2	3
a.	Drag	☐	☐	☐
b.	För hög rumstemperatur	☐	☐	☐
c.	Varierande rumstemperatur	☐	☐	☐
d.	För låg rumstemperatur	☐	☐	☐
e.	Instängd ("dålig") luft	☐	☐	☐
f.	Torr luft	☐	☐	☐
g.	Obehaglig lukt	☐	☐	☐
h.	Statisk elektricitet som gör att man lätt får stötar	☐	☐	☐
i.	Andras tobaksrök	☐	☐	☐
j.	Buller	☐	☐	☐
k.	Damm och smuts	☐	☐	☐
l.	Annat, vad: 	☐	☐	☐

Har Du något ytterligare som rör Din lägenhet, dess inomhusmiljö eller förvaltning som Du vill framföra kan Du göra det här. Du kan även med egna ord komplettera Dina svar.

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.