

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5075

Lund 2014

Utvärdering av styrparametrar för behovsstyrt FTX-system i flerbostadshus

- Laborativ studie på VOC och fukttillskott

Sulaiman El-zoubi

Sulaiman Omid



LUND
UNIVERSITY

Utvärdering av styrparametrar för behovsstyrt FTX-system i flerbostadshus

- Laborativ studie på VOC och fukttillskott

Sulaiman El-zoubi
Sulaiman Omid

© Sulaiman El-zoubi, Sulaiman Omid

ISRN LUTVDG/TVBH-14/5075--SE(106)

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

1 Sammanfattning

Energianvändning har i alla branscher blivit ett allt viktigare ämne, vilket har sin grund i både ekonomi- och miljöaspekter. Eftersom byggsektorn står för ca en tredjedel av den totala energianvändningen i Sverige finns det en hel del energi att spara genom effektivisering, inte minst i VVS-branschen.

En stor satsning i Sverige på befintliga hus har påbörjats och förväntas bli mer omfattande. Det gäller främst den upprustning av bostäder som tillhörde miljonprogramprojektet under 60- och 70-talet vad gäller inneklimat och energieffektivitet. Ett sätt att åstadkomma detta är att förbättra installationstekniken som direkt både påverkar inneklimatet och energiförbrukningen i en bostad. Det vanligaste ventilationssystemet idag är FTX-system. Tanken är att utnyttja återvunnen värme för att spara energi.

I detta examensarbete har styrfunktioner för ett behovsstyrt FTX-system som företaget Swegon har utvecklat granskats. Systemet styrs utefter parametrarna fuktillskott och VOC (flyktiga organiska ämnen). Denna variant av FTX-system har tidigare inte varit etablerad i bostadsmarknaden.

För att utvärdera ventilationssystemet som Swegon har utvecklat har en testlägenhet använts för laborationer i Swegons fabrik i Tomelilla. Tester för att simulera normala aktiviteter har utförts i huvudsak för att undersöka styrparametrarna VOC och fuktillskott för systemet samt försöka bestämma deras börvärden. Även luktupplevelser har noterats under testerna för att undersöka sambandet med de uppmätta halterna.

En mindre litteraturstudie har gjorts för att undersöka om tidigare forskning har gjorts inom området och för att försöka bestämma börvärden för att uppnå ett hygieniskt inneklimat. Omfattande laborationer har genomförts i en testlägenhet för att kunna utvärdera systemet med avseende på styrparametrarna VOC och fuktillskott. Några av de frågor som ska besvaras med hjälp av laborationerna är hur stor belastning aktiviteterna ger upphov till, vilken luktupplevelse som uppstår, vilken haltdifferens som uppstår mellan belastningspunkt och teknikboxens givare, hur lång fördröjningen är för systemet och vilken påverkan ett högre minflöde har.

Resultatet har visat att systemet reglerar flödet väl för de aktiviteter som har utförts. Aktiviteter som ökade luktnivåerna nämnvärt hade vanligtvis också en förhållandevis hög VOC-halt som fick systemet att öka flödet. Vid aktivitetens belastningspunkt har det i genomsnitt uppmätts en halt som är två gånger högre jämfört med halten i frånluften för lägenheten. Fördröjningen för systemet definieras som den tid det tar från det att maximal halt mäts upp vid belastningspunkten tills systemet går på det högsta flöde som behövs för att hantera den högsta belastningen som mäts upp i tekniklådan. Denna fördröjning har visat sig vara under 5 minuter för alla aktiviteter utom en. För att säkerställa BBR:s krav samt motverka de brister som finns i systemets utformning bör minflödet höjas från 0,1 l/s, m² till 0,35 l/s, m² samtidigt som

gränsvärdena för VOC sänks. Den främsta anledningen är att VOC-givaren inte ger signifikant utslag vid enbart personnärvaro, utan främst vid utförandet av specifika aktiviteter som skapar föroreningar och lukter.

Resultatet av det här examensarbetet kan vara av stor betydelse för VVS-branschen i allmänhet och för ombyggnadsprojekt med avseende på ventilationssystem i synnerhet.

Nyckelord: FTX-system, behovsstyrd ventilation, energieffektiv, styrparametrar, VOC, fukt

2 Abstract

Energy use has become an increasingly important topic in all industries, which is due to both economics and environmental aspects. Because the building sector accounts for about one third of total energy use in Sweden, there is potential for a considerable reduction of energy usage through increased efficiency, especially in the HVAC industry.

A major investment has commenced in Sweden on existing houses and is expected to become more widespread. This applies primarily to the renovation of homes in terms of indoor climate and energy efficiency that were built in the Million Programme project between 1965-1975. One way to accomplish this is to improve installation techniques that directly affect both indoor climate and energy use in a home. The most common ventilation system today in new houses is the MHRV (Mechanical Heat Recovery Ventilation) system. The idea is to use heat from indoor air to heat the outside air.

In this thesis an MHRV-system developed by Swegon, has been reviewed. The system is a demand controlled ventilation system which is regulated through continuous measurements of moisture supply and VOC (Volatile Organic Compounds) by sensors in the exhaust air. This variant of the HRV system has not previously been established in the housing market.

To evaluate the ventilation system a test apartment in Swegons factory in Tomelilla has been used for laboratory trials. Daily household activities has been simulated in order to examine the control parameters of VOC and moisture in the system and attempt to determine their set points for the decrease and increase of the ventilation rate. Olfactory sensations were also graded during the tests to see how they match the measured concentrations.

A minor literature study has been conducted to investigate whether previous research has been done in the area and to try to find out the set points for different parameters such as VOC, moisture, carbon dioxide, flow rates etc. in order to achieve a hygienic indoor climate. Extensive laboratory work has been carried out in a test apartment in order to evaluate the system with respect to the control parameters of VOC and moisture supply. Some of the questions to be answered with the help of the tests is which levels of VOC and moisture supply that the activities cause, what kind of olfactory sensation that occurs, what the concentration difference arising between the load point and the technology box is, how long the delay is for the system and which impact a higher minimum flow has.

The results have shown that the system regulates the flow well for those activities that have been performed. Activities that increase odor levels noticeably had usually also a relatively high concentration of VOC that caused the system to increase flow rate. In average the concentration of VOC was two times higher than the concentration in the

exhaust air of the apartment. The delay of the system is defined as the time it takes from when the maximum level is determined at the loading point until the system is running on the maximum flow that is needed to handle the highest load measured in the technology box. This delay has proved to be under 5 minutes for all activities except for one. To ensure BBR's guidelines and counter the shortcomings of the system design the minimum flow rate should be increased from 0,1 l/s,m² to 0.35 l/s, m², while the set points for VOC are lowered. The main reason is that the VOC sensor does not give significant registration at mere personal presence, but mainly in the execution of specific activities that create pollution and odors.

The results of this thesis may be of great importance for the HVAC industry in general and for renovation projects with respect to ventilation systems in particular.

Keywords: HRV-system, DCV, energy efficiency, control parameter, VOC, moisture

3 Förord

Detta examensarbete på 30 hp är genomfört på Lunds Tekniska Högskola i Lund, som avslutning på civilingenjörsutbildningen Väg- och vattenbyggnad under våren 2014. Inspirationen till detta examensarbete var först och främst Dennis Johansson, teknisk doktor på avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi på LTH. Därefter har Akram Abdul Hamid, doktorand på avdelningen för Byggnadsfysik på LTH varit en enorm drivkraft som handledare i detta examensarbete. Tack till dem!

Vi vill även tacka för den hjälp vi har fått av företaget Swegon och alla anställda som varit med och hjälpt till under testernas utförande. Andreas Wackenfors, Lenny Nilsson, Patrik Nilsson och Christoffer Lynghed. Ett stort tack till er alla!

En viss uppdelning av arbetet har skett enligt följande:

El-zoubi: 2, 3.1, 3.2, 3.4-3.5, 5 och 6.1

Omid: 1.1, 3.1.3, 3.6-3.7, 4, 5.6, 6.2 och 7.

Lund, April 2014

Sulaiman El-zoubi & Sulaiman Omid

4 Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	1
2 Abstract	3
3 Förord	5
4 Innehållsförteckning	7
5 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	12
1.3 Avgränsningar	12
1.4 Metod	12
6 Tidigare forskning	15
6.1 Korrelation mellan parametrar i inneklimat	15
6.2 Närvaromätningar	16
6.3 Fuktbuffring	17
6.4 Parametrars energipåverkan	18
6.5 Renovering	18
7 Bakgrundsteorin	19
7.1 Inneklimat	19
7.1.1 Termiska faktorer	19
7.1.2 Hygien/Luftkvalitet	20
7.1.3 VOC	20
7.1.3.1 TVOC	20
7.1.3.2 Hälsoeffekter	21
7.1.3.3 Ursprung	21
7.1.3.4 Kemiska grupper av VOC	22
7.1.3.5 Vanliga värden på olika VOC i inomhusluften	24
7.1.3.6 Adsorption och desorption av VOC	25
7.1.4 Koldioxid	25
7.1.5 Lukt	25
7.1.6 Övriga föroreningar	26
7.1.6.1 Radon	26
7.1.6.2 Tobak	26
7.1.6.3 Damm	26
7.1.6.4 Ozon	26
7.1.6.5 Emissioner	26
7.1.7 Fukt	26
7.1.8 Sjuka-hus-sjukan (Sick Building Syndrome)	28
7.2 Ventilation i bostäder	29
7.2.1 Hur mycket ventilationsluft behövs?	29

7.2.2	Krav och börvärden	29
7.3	Sammanställning av börvärden enligt litteraturstudie.....	30
7.4	Variationer i boendes beteende.....	30
7.5	Flerbostadshus från miljonprogrambyggen	31
7.5.1	Byggtekniska egenskaper	32
7.5.1.1	Täthet	32
7.5.1.2	Uteluft	32
7.5.2	Installationsteknik.....	32
7.5.2.1	Självdagsventilation (S-system).....	32
7.5.2.2	Mekanisk frånluftsventilation(F-system)	32
7.5.2.3	Problem som kan uppstå	32
7.6	FTX-system	33
7.6.1	Värmeväxlare	34
7.6.2	Fläktar	34
7.6.3	Filter	34
7.7	Styrningsprinciper för ventilation	35
7.7.1	CAV-system	35
7.7.2	VAV-system	35
7.7.3	DCV-system.....	36
8	Systembeskrivning	37
8.1	Teknikbox med brandkasett	38
8.1.1	Styrstrategi.....	38
8.2	Luftbehandlingsaggregat.....	38
8.3	VOC-givare - iAQ-100	39
8.4	Fuktgivare – HTDT2500(420).....	42
9	Mätningar.....	43
9.1	Beskrivning av laboration	43
9.1.1	Aktivitetsbelastningar	44
9.2	Förutsättningar	45
9.2.1	Vardagsrummet.....	45
9.2.2	Sovrummet.....	45
9.2.3	Köket.....	46
9.2.4	Hallen.....	46
9.2.5	Badrummet	46
9.2.6	Givare - placering.....	46
9.2.7	Givare - beskrivning	47
9.2.8	Installationsystem.....	47
9.3	Flödesvariation	48
9.4	Variation av förutsättningar	50
9.5	Resultat	50
9.5.1	Personnärvaro samt luftfräschare - sprayning 1	50
9.5.1.1	Motivering och utförande	50

9.5.1.2	<i>Tidsschema</i>	50
9.5.1.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	51
9.5.1.4	<i>Upplevelse</i>	52
9.5.2	Deodorant-test	53
9.5.2.1	<i>Motivering och utförande</i>	53
9.5.2.2	<i>Tidsschema</i>	53
9.5.2.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	54
9.5.2.4	<i>Upplevelse</i>	55
9.5.3	Duschning	56
9.5.3.1	<i>Motivering och utförande</i>	56
9.5.3.2	<i>Tidsschema</i>	56
9.5.3.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	57
9.5.3.4	<i>Upplevelse</i>	59
9.5.4	Stekning av ägg	60
9.5.4.1	<i>Motivering och utförande</i>	60
9.5.4.2	<i>Tidsschema</i>	60
9.5.4.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	61
9.5.4.4	<i>Upplevelse</i>	62
9.5.5	Fönster- och golvrengöring	63
9.5.5.1	<i>Motivering och utförande</i>	63
9.5.5.2	<i>Tidsschema</i>	63
9.5.5.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	64
9.5.5.4	<i>Upplevelse</i>	65
9.5.6	Cigarettökning	66
9.5.6.1	<i>Motivering och utförande</i>	66
9.5.6.2	<i>Tidsschema</i>	66
9.5.6.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	67
9.5.6.4	<i>Upplevelse</i>	68
9.5.7	Skalande av apelsiner	69
9.5.7.1	<i>Motivering och utförande</i>	69
9.5.7.2	<i>Tidsschema</i>	69
9.5.7.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	70
9.5.7.4	<i>Upplevelse</i>	71
9.5.8	Luftfräschare – högre minflöde	72
9.5.8.1	<i>Motivering och utförande</i>	72
9.5.8.2	<i>Tidsschema</i>	72
9.5.8.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	73
9.5.8.4	<i>Upplevelse</i>	74
9.5.9	Målning	75
9.5.9.1	<i>Motivering och utförande</i>	75
9.5.9.2	<i>Tidsschema</i>	75
9.5.9.3	<i>Resultat och kommentarer</i>	76
9.5.9.4	<i>Upplevelse</i>	77

9.6 Reflektioner kring resultat	78
9.6.1 Hur förändras halten av VOC och fukt med avseende på tid?	78
9.6.2 Regleras flödet för systemet enligt de förinställda gränsvärdena?	78
9.6.3 Hur stor är skillnaden i VOC- och fukthalt mellan belastningspunkt och frånluften (teknikbox)?	79
9.6.4 Hur stor är fördröjningen i systemet?	79
9.6.5 Vilken påverkan har ett högre minflöde?	79
9.6.6 Vilken påverkan har stängd och öppen dörr på systemet? .	80
10 Diskussion.....	81
10.1 Styrning med hänsyn till personnärvaro	81
10.2 Styrning med hänsyn till övriga föroreningar.....	81
10.3 VOC-halt differenser	81
10.4 Energibesparingar med hänsyn till inneklimat.....	81
10.5 Felkällor.....	82
11 Slutsats	85
11.1 För- och nackdelar med att använda VOC som styrparameter. 	85
11.2 Fukttillskott som styrparameter	86
11.3 Fördröjning	86
11.4 Luktupplevelse	87
12 Källförteckning	89
Bilagor	1

5 Inledning

1.1 Bakgrund

Ett aktuellt ämne i dagens samhälle är energieffektivisering. I samband med oljekrisen 1973 steg energipriserna (Riksbanken, 2004) vilket har bidragit till den ökade medvetenheten om energianvändningen inom i stort sett alla branscher. Eftersom byggsektorn står för ca en tredjedel av den totala energianvändningen i Sverige (Stengård, 2011) är det därför mycket väsentligt att försöka satsa på energieffektivisering inom branschen.

Under 1960-talet rådde en bostadsbrist i Sverige, hälften av alla bostäder saknade bad och dusch och en tredjedel var trångbodda. Exempelvis förekom situationer där familjer bodde i enrummare eller tvårummare. Miljonprogrammet var en lösning på dessa problem. Både med hänsyn till utrymme och till standard. Miljonprogrammet syftar till de byggnadsprojekt som genomfördes från 1964 till 1975 i Sverige. Det byggdes ungefär 100 000 bostäder per år i tio år. En tredjedel av dessa var storskaliga höghusområden som var menade som flerfamiljshus främst för barnfamiljer (Lago, 2004). Idag behöver majoriteten av dessa bostäder renoveras till modern standard vad gäller inneklimat och energieffektivitet (Wickman & Vindelstam, 2011).

Energieffektivisering kan göras i flera olika led såsom vid projektering av nya byggnader och ombyggnader men även under förvaltningsfasen. Det har visat sig att den dagliga energianvändningen i bostads- och fastighetssektorn utgörs till 85 % av den dagliga driften (Skanska, 2013).

Ventilationen hänger starkt ihop med inomhusklimatet i flera avseenden som t.ex. temperatur, fuktförhållanden och lättflyktiga organiska ämnen (VOC) (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det kan därför vara svårt att optimera var del för sig. Istället kan det vara bättre att försöka hitta den mest optimala lösningen för hela systemet totalt sett.

I Sverige var självdragssystem det vanligaste fram till 1950-talet då frånluftssystem (F) slog igenom. Från- och tilluftssystem (FT) började användas i slutet av 1960-talet och från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX) kom som ett direkt svar på oljekrisen 1973 och för att enklare klara av de nya energikraven (Orestål, 1992).

FTX-system har blivit allt vanligare i Sverige i olika typer av byggnader. Detta kan ses som ett indirekt resultat av de mål och direktiv som har satts upp av EU. Riksdagen har därför exempelvis satt upp som mål att minska energianvändningen per uppvärmd areaenhet i lokaler och bostäder med 20 % fram till 2020 och med 50 % till 2050 (Energimyndigheten, 2013).

Swegon är ett företag som utvecklar produkter och lösningar för ventilation och inneklimatsystem. Företaget har utvecklat ventilationssystemet ”WISE Apartment Solution” som är ett behovsstyrt FTX-system speciellt anpassat för installation vid renovering av flerbostadshus. Med detta system styrs ventilationsflödet automatiskt för

varje lägenhet i ett flerbostadshus, baserat på den individuella lägenhetens behov. Behovet bestäms efter mätvärden på VOC och fuktillskott. Mätningarna sker automatiskt för varje lägenhet med hjälp av en teknicklåda som installeras utanför lägenhetens ingång. I teknicklådan finns mätutrustning för temperatur, VOC och relativ fuktighet (Swegon, 2013).

Behovsstyrning är i och för sig inget nytt, och inte heller FTX-systemet men det har det inte varit vanligt i bostäder tidigare. Det som är innovativt med ”WISE Apartment Solution” är att systemet styrs efter fukt och VOC och att styrningen kan ske separat för varje lägenhet. Detta verkar tidigare inte ha funnits på marknaden när det gäller ventilationssystem för flerbostadshus. Ett sådant system har inte varit lönt att utveckla tidigare då kravet på minsta flödet i en bostad har varit minst $0,35 \text{ l}/(\text{s}, \text{m}^2)$ trots att ingen är närvarande. Detta krav gäller fortfarande, men endast då någon är närvarande (Swegon, 2013).

För att utvärdera det mest grundläggande i detta system, nämligen styrfunktionerna, har detta examensarbete påbörjats vid avdelningarna för Byggnadsfysik och Installationsteknik på LTH i samarbete med Swegon. Resultatet av det här examensarbetet kan vara intressant för exempelvis företag, VVS-ingenjörer, och forskare som arbetar med ventilationssystem men även för folk i allmänhet som vill få mer förståelse för behovsstyrd ventilation vad gäller styrparametrarna.

1.2 Syfte

Syftet med det här arbetet har varit att undersöka styrparametrarna VOC och fuktillskott för Swegons behovsstyrda ventilationssystem och försöka bestämma deras gränsvärden. Systemets fördröjning har också undersökts. Dessutom har de uppmätta värdena från systemet jämförts med upplevelsen av lukter under testerna.

1.3 Avgränsningar

Arbetet innefattar endast mätningar som har gjorts i Swegons testlägenhet för deras nya utvecklade ventilationssystem som styrs på fuktillskott och VOC. Testerna som har gjorts har varit begränsade på så vis att endast enskilda aktiviteter har beprovats för systemet och med endast två till tre testpersoner.

När det gäller upplevda värden tas det bara hänsyn till lukter. Inga tester genomförs som leder till märkbart negativa hälsoeffekter.

1.4 Metod

En litteraturstudie har gjorts för att undersöka om tidigare forskning har gjorts inom området och för att försöka bestämma börvärden för att uppnå ett hygieniskt inneklimat. Börvärden för testlägenhetens inneklimat har tagits fram i en bakgrundsteori som har jämförts med redan satta värden som tagits fram under

mätningar. I bakgrundsteorin har vi även tagit upp tidigare använda ventilationssystem som används i bostäder från miljonprogrammet.

Under mätningar som vi gjort i Tomelilla på Swegons fabrik har deras ventilationssystem ”WISE Apartment Solution” använts i deras testlägenhet. Givare för att mäta VOC har lånats av företaget och använts under tester. RF-loggrar har lånats av avdelningen för Installationsteknik på LTH för att också användas till tester.

Mätvärden från tester som har gjorts har utvärderats med hjälp av datorprogrammet Excel. Diagram och tabeller har tagits fram för att åskådliggöra resultatet.

6 Tidigare forskning

En litteraturstudie har genomförts och en del arbeten har hittats med information relaterat till detta examensarbete. Under denna rubrik beskrivs kort dessa tidigare forskningsarbeten.

6.1 Korrelation mellan parametrar i inneklimat

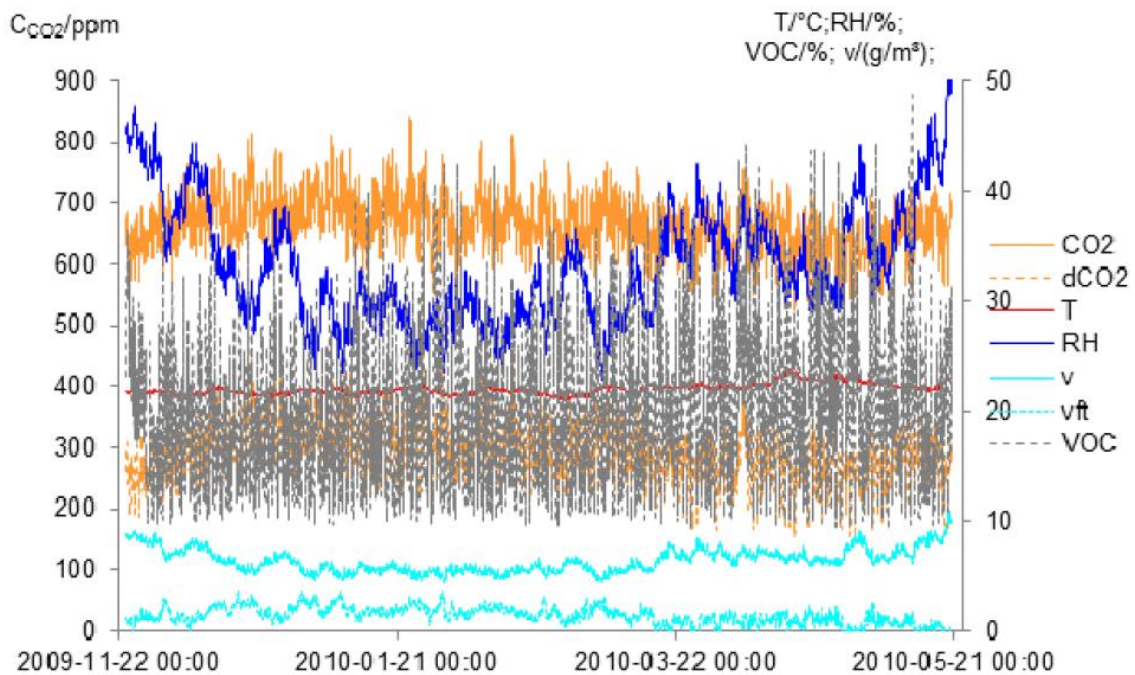
Detta avsnitt behandlar följande artikel:

“Measured indoor temperature, moisture supply, CO₂ concentrations and mixed gas concentrations in apartment buildings – correlation between parameters” - Dennis Johansson, Hans Bagge

Dennis Johansson och Hans Bagge skriver i denna artikel om en större studie och visar på korrelation mellan olika faktorer som påverkar inneklimatet. Fuktbelastning, närvaro, temperatur och utdata för en blandgasgivare har registrerats varje 30 minuter i 177 dagar för fyra flerbostadshus innehållande 72 lägenheter.

Närvarodata har tagits fram för att möjliggöra en energieffektivisering av bostäder med behovsstyrd ventilation samt uppnå ett gott inneklimat. För att minska kostnaderna på ventilationssystemen provar man att använda sig av en blandgasgivare istället för CO₂ givare som är dyrare.

Koldioxidhalt är dock en förorening som bör tas hänsyn till när hälsoproblem i bostäder ska undersökas. Risker för ”sjuka-hus-sjukan” avtar med en CO₂-halt under 800 ppm. Seppänen and Fisk (2004) har kommit fram till att för mekaniskt frånluftssystem varierar koldioxid-halten mellan 500 till 1500 ppm. I figur 1 kan vi se de mätvärden som har tagits fram. Dessa är temperatur, relativ fuktighet, koldioxid och utdata från en blandgasgivare, iAQ-100. Denna givare reagerar på VOC.



Figur 1: Utdata för mätningar under en sexmånadersperiod (Johansson & Bagge, 2010).

Blandgasgivaren visade en viss korrelation med de andra parametrarna men denna bedömdes inte vara fullständig. Vidare studier krävs för att avgöra om denna givare är relevant att använda som givare för behovsstyrda system.

6.2 Närvaromätningar

Detta avsnitt behandlar följande artikel:

*“Measurements of occupancy levels in multi-family dwellings
Application to demand controlled ventilation” - Dennis Johansson, Hans Bagge
& Lotti Lindstrii (2011)*

Dennis Johansson, Hans Bagge och Lotti Lindstrii (2011) beskriver i en vetenskaplig artikel en undersökning som har gjorts för personnärvaro i flerbostadshus.

För att göra energibesparingar och uppnå en god luftkvalitet undersöks personnärvaro under olika tidsperioder. Att använda sig av ett mekaniskt ventilationssystem med ett konstant luftflöde innebär att en dimensionering för maxbelastning sker. En maxbelastning uppstår inte under alla timmar under året och därför kan en överventilation ske med ett sådant system. Energiförluster kan då uppstå p.g.a. att uppvärmd luft kan ventileras bort.

Mätningar har gjorts för energianvändning och inneklimat med följande parametrar, hushållsenergi, varmvatten, innetemperatur, relativ fuktighet inomhus och CO₂-halten inomhus. Dessa mätningar gjordes varje 30 minuter under ett år i några svenska flerbostadshus på fyra olika platser från lat. 55.6° till lat 67.9°.

Resultatet som har tagits fram i denna studie visar att med konstant ventilationsflöde varierar personnärvaron över tid, både i veckodagar och månader. Detta indikerar på en potential till behovsstyrt ventilationssystem i flerbostadshus. Mer undersökning bör göras på hur dessa system ska appliceras i flerbostadshus på ett korrekt sätt för att säkerställa låg energiförbrukning, fuktsäkerhet och gott inneklimat.

6.3 Fuktbuffering

Detta avsnitt behandlar följande artikel:

“The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings” - Woloszyn, Kalamees, Abadie, Steeman & Kalagasidis (2009)

Woloszyn et al. (2009) tar i en artikel upp hur fuktbuffering påverkar energianvändningen.

Tre olika uteklimat testades för att undersöka hur inneklimatet påverkas. Fem olika simuleringar gjordes för olika parametrar på material och ventilationssystem.

Resultatet från undersökningens simuleringstester visar att med ett RF-styrt ventilationssystem kan minskningar ske av variationsbredden för relativ fuktigheten i inneklimat. Energibesparingar kan göras genom att hålla den relativa fuktigheten inom önskade gränsvärden. Däremot så kan andra föroreningar förekomma i inneklimatet.

I artikeln nämns också att med hjälp av fuktbufferande material kan kondens på materialytor undvikas i t.ex. kök då fuktbelastningen är hög.

Woloszyn et al (2009) visar att utan hänsyn till fukt vid energiberäkningar fås resultat som skiljer sig från verklighetsbaserade mätvärden.

6.4 Parametrars energipåverkan

Detta avsnitt behandlar följande artikel:

“Demand controlled ventilation - A case study for existing Swedish multifamily building” – Vitalijus Pavlovas (2004)

Pavlovas (2004) har i sin vetenskapliga artikel tagit upp hur behovsstyrd ventilation med avseende på olika parametrar kan minska energianvändningen. För en genomsnittlig belgisk lägenhet beräknas det hur mycket energi som kan sparas och hur inneklimatet förändras genom att ha behovsstyrd ventilation. De tre parametrarna som tas hänsyn till är: CO₂-halt, spårgasmätning och energibesparing i jämförelse med konstantflödessystem. De två första har att göra med inneklimatet och den tredje med energieffektivitet. De fyra typer av behovsstyrda system som undersöks är baserade på relativ luftfuktighet (1), närvaro (2), CO₂-halt (3) och alla tre faktorer sammanvägda (4). Sedan görs en statistisk undersökning med flera stokastiska variabler som t.ex. veckodag, fuktproduktion, närvaro, m.m. De flesta antas vara normalfördelade.

Resultatet visar att ett behovsstyrt system minskar energianvändningen men något sämre inneklimat skapas p.g.a. t.ex. högre CO₂-halt. Ökningen i t.ex. CO₂-halt eller spårgas blir dock först betydande när man använder den fjärde metoden (alla tre faktorer sammanvägda).

Man kan alltså bibehålla ett gott inneklimat med ett behovsstyrt system (VAV) samtidigt som energianvändningen minskar. Det är dock viktigt att undersöka parametrarna och sätta rimliga gränser på dessa för att möjliggöra en energibesparing. Samtidigt bör inte alltför många parametrar styra systemet därför att risken då ökar för ett sämre inneklimat.

6.5 Renovering

Vid en tidigare undersökning i Hermodsdal i Malmö har mekanisk frånluftsventilation använts i dem undersökta bostäderna. För att renovera en byggnad rekommenderas byten göras av olika byggnadsdelar, bl.a. ventilationssystemet med energibesparing i fokus. Undersökningen har visat att energiförluster sker genom:

- Transmission (32%)
- Passiv kyla (1%)
- Spillvatten (17%)
- Ventilation (50%)

(Wickman & Vindelstam, 2011).

7 Bakgrundsteorin

7.1 Inneklimat

Vi tillbringar ungefär 90 % av vår tid inomhus och därför är det viktigt att vi upplever ett välbefinnande i vår närvaro. De faktorer som tillsammans skapar detta välbefinnande inordnas under begreppet inneklimat. Faktorerna är:

- Termiska
- Hygieniska
- Optiska
- Akustiska

(Abel & Elmroth, 2012, Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För att förtydliga begreppet inneklimat i detta arbetes sammanhang används följande definition enligt Warfvinge och Dahlblom. Inneklimat är människans omgivningssituation med avseende på de faktorer som påverkas av tekniska installationer. Däremot skiljer sig ändå upplevelsen av inneklimatet från beroende på bl.a. klädsel, aktivitet, ålder osv.

I detta arbete är ventilationssystemet den tekniska installation som påverkar kvalitén av det inneklimat vi upplever (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I det följande behandlar vi de termiska och hygieniska faktorerna.

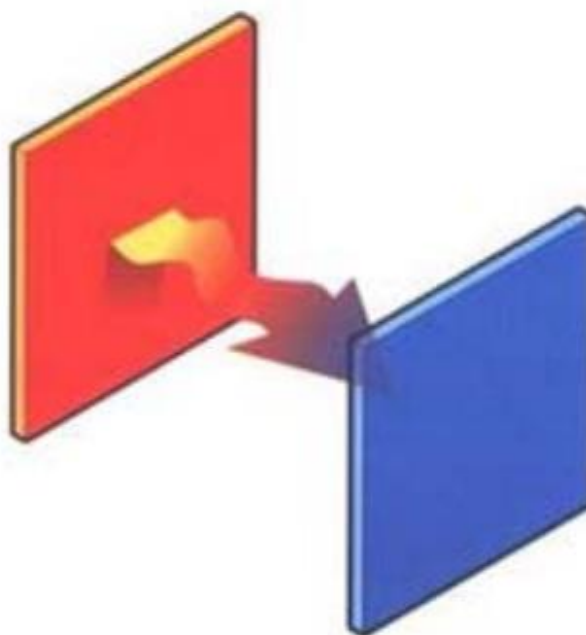
7.1.1 Termiska faktorer

Då en person är tillfredsställd med temperaturupplevelsen så har termisk komfort uppnåtts. De faktorer som påverkar det termiska klimatet är följande:

- Klädsel, aktivitet som utförs, ålder osv.
- Omgivningens variation på grund av luftens temperatur och omgivande ytors temperatur.
- Lokal nedkylning av en kropp p.g.a. drag/luftrörelser som genererar nedkylning enligt figur 2.
- Luftfuktigheten i liten skala Golvtemperatur.

(Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Att kontrollera värmen genom att sänka temperaturen i ett inneklimat är komplicerat att ta hänsyn till vid



Figur 2: Värmestrålning från en varmare kropp till en kallare kropp.

ventilationsdimensionering. Därför tar man istället hjälp av datorbaserade dynamiska beräkningsverktyg som kan ta hänsyn till byggnadsdelars värmelagringskapacitet och solinstrålning genom fönster (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.1.2 Hygien/Luftkvalitet

Hygien i vår bostad är viktig eftersom den påverkar vår hälsa bl.a. genom inandning av luft. Luftkvaliteten påverkas med andra ord av hygien i vår bostad men också av den luft som kommer in i bostaden. Det är olika föroreningar i luften som kan skada oss på olika sätt (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

De föroreningar som finns i luften delas in i partikelformiga och gasformiga föroreningar. Partikelformiga föroreningar kan komma från mekaniska och kemiska processer ute i naturen. Föroreningarna kan också komma direkt från organismer som t.ex. växter med pollen och sporer. Trafik och industri bidrar också till en ökad mängd av partikelformiga föroreningar. I vårt inneklimat kommer den största delen av föroreningar från människors kläder och hud. Exempel på partikelformiga föroreningar kan vara: tobaksrök, allergener (ofta från hund och katt), virus, bakterier, kvalster, svampsporer, pollen och radioaktiva partiklar (Abel & Elmroth, 2012).

Partikelhalten kan variera i olika koncentrationer i både tid och rum.

Gasformiga föroreningar kommer till största delen från förbränningsprocesser och delas in i organiska och oorganiska gaser. Alltså kan de komma från alla levande organismer. Föroreningarna kan också komma från byggnadsmaterial och inredning. Vanligt förekommande gaser är till största delen CO₂ men även NO_x, SO_x och O₃. I inomhusluften utgörs de gasformiga föroreningarna av alkaner, alkener och aromater med andra ord VOC (Volatile Organic Compounds). Gaser kan vara olika flyktiga beroende på gasens kokpunkt som gör att gasen har lätt för att kondensera på ytor. VOC delas på detta sätt in i VVOC (Very Volatile Organic Compounds) och SVOC (Semi Volatile Organic Compounds). Normal halt av VOC är under 1 ppm, vid god ventilation kan den vara så låg som 0,1 ppm. Undantag är metan som kan ligga på 2 ppm (Abel & Elmroth, 2012).

7.1.3 VOC

VOC är lättflyktiga organiska ämnen och står för Volatile Organic Compounds och är den gemensamma beteckningen på en mycket stor grupp av gasformiga föroreningar i luften (Abel & Elmroth, 2008). De har en kokpunkt mellan ca 50°C – 260°C, förångas lätt vid rumstemperatur och kan ha negativ inverkan för både hälsan och miljön (Eurofins, 2014). Några vanliga grupper av VOC är kolväten, alkoholer, syror, estrar, aldehyder m.fl.

7.1.3.1 TVOC

TVOC står för Total Volatile Organic Compounds och betecknar den sammanlagda koncentrationen av VOC i luften. I kontor och bostäder ligger halten vanligtvis under 1 mg/m³ och det är sällan som halter över 25 mg/m³ har dokumenterats i icke-industriella miljöer (ECA, 1997).

Ett problem med begreppet och användningen av TVOC är att det inte anger vilka ämnen som finns i luften specifikt, utan bara den totala mängden oavsett typ. TVOC kan därför vara missledande eftersom vissa VOC är mer skadliga än andra även vid låga koncentrationer (Johanson, 2010).

7.1.3.2 Hälsoeffekter

Människor kan drabbas av både långtids- och korttidseffekter vid exponering för VOC. Vanliga hälsoeffekter som har rapporterats är allmänt dålig lukt, irritation av luftvägar, ögon och hud. Dessutom är trötthet, huvudvärk och illamående andra vanliga symtom vid höga halter av vissa VOC (WHO, 2006).

Tidigare nämnda hälsoproblem uppstår när koncentrationen av VOC ligger mellan 1 till 25 mg/m³. Vid halter över 25 mg/m³ blir vanligtvis effekterna toxiska för människan och kan påverka det centrala nervsystemet samt ge upphov till cancer (Eurofins, 2014).

Effekterna av VOC beror på vilken typ det rör sig om. Något mer utförligt om vilka typer av VOC som orsakar respektive hälsoproblem går igenom i samband med beskrivningen av de kemiska grupperna, i avsnitt 3.1.3.4.

7.1.3.3 Ursprung

Källorna till VOC finns både inomhus och utomhus men eftersom vi tillbringar en mycket stor del av våra liv inomhus är det rimligt att ställa större krav på inomhusluften än utomhusluften. Vanliga källor till VOC i utomhusluften är trafik- och industriutsläpp. I inomhusluften representeras huvudkällan främst av konstruktionsmaterial, möbler, färger, rökning och naturligtvis utomhusluften som enligt flera undersökningar är den primära källan till halten av VOC inomhus (Allard & Blondeau, 2004). Det har även visat sig att halten av VOC normalt sett är mycket större inomhus än utomhus. I snitt är VOC-halten 2 till 5 gånger högre inomhus (EPA, 2014). Vidare har det även visat sig att halterna normalt sett är högst under morgnar och kvällar, både inomhus och utomhus (Masih & Taneja, 2004). Ursprung till olika typer av VOC har sammanställts i tabell 1 (Bernstein et al, 2008).

Tabell 1: Olika typer av VOC och deras ursprung.

Ursprung	VOC
Lim, fogmassor, etc.	Formaldehyd, butyleter, vinylcyklohexan, akrylsyra, propylenglykol
Mattor	4-fenylcyklohexen, vinylacetat, styren, dodecanol, acetaldehyd

Rengöringsmedel	Limonen, isopentan, isopropanol, butoxietanol, 1,4 diklorbensen
Linoleum	Ättiksyra, hexanal, hexansyra, valeriansyra, dekan
Träbaserade byggmaterial	Formaldehyd, 2-pentylfuran, bensaldehyd, hexanal, pentalan
Möbler	Formaldehyd, acetaldehyd, butylacetat, hexanal, cyklohexanon
Människor	Bensen (från t.ex. tobak), limonen (från t.ex. frukter, mat) siloxan (från t.ex. deodoranter) och perkloretylen (från t.ex. kemtvätt) och C ₁₂ till C ₁₆ alkaner (från t.ex. hudkrämer, tvål och kosmetika)
Målarfärger	Toluen, propylenglykol, etylenglykol, butylpropanat, metylpropanol
Skrivare, kopiatorer, etc.	Styren, etylbensen, xylene, bensen, 2-etyl-1-hexanol
Gummigolv	Styren, dodekan, bensotiazol, vinylacetat, cyklohexan
Textilier	Formaldehyd, akrylnitril, acetaldehyd, dekan, tetradekan
Tapeter	Naftalen, metylpyrrolidon, styren, fenol, etylhexansyra
Persienner	Etylhexansyra

7.1.3.4 Kemiska grupper av VOC

Eftersom VOC är benämningen på extremt många ämnen är det viktigt att kunna dela in dem i olika grupper med avseende på exempelvis härkomst, inverkan eller kemikalisk gruppstillhörighet. Därför kommer här nedan en genomgång på de vanligaste grupperna av VOC samt en kort beskrivning om deras härkomst och verkan.

Aldehyder

Aldehyder är en organisk förening som innehåller en karbonylgrupp. Några exempel på aldehyder i inomhusluften är pentanal, decanal och den mer omtalade formaldehyden. Normalt bildas aldehyder genom oxidation av alkoholer och förekommer därför ofta i rengöringsmedel, parfym, färger och lacker. Aldehyder är reaktiva och doftar ganska starkt. Många aldehyder är irriterande för ögon och luftvägar. Formaldehyd kan även orsaka cancer (WHO, 2006).

Formaldehyd – En hälsofarlig aldehyd

Formaldehyd är en färglös gas som har en kokpunkt på -19.3°C och har en stickande lukt. Formaldehyd är utgångsmaterialet vid många industriprocesser. När det gäller byggnadsmaterial kan det förekomma i exempelvis spånskivor och olika typer av plaster. Andra mycket vanliga källor är färger, lim, kosmetika, krämer, etc. (Hines et

al., 1993). I tabell 2 ser vi hur olika halter av formaldehydkoncentration kan ge olika hälsoeffekter.

Tabell 2: Visar vilken inverkan olika halter av formaldehyd har på människan (Hines et al., 1993).

Formaldehydkoncentration (PPM)	Hälsoeffekter
<0,05	Inga rapporterade
0,05 – 1,5	Neurofysiologiska effekter
0,05 – 1,0	Lukttröskel
0,01 – 2,0	Irritation i ögon
0,10 – 25	Irritation i övre luftvägar
5 – 30	Irritation i nedre luftvägar
5 – 100	Lungödem, lunginflammation
>100	Koma, död

Alkoholer

Alkoholer är organiska föreningar där hydroxylgrupper är bundna till kolatomer. Några exempel på alkoholer som kan förekomma i inomhusluften är n-butanol, etanol och 2-etyl-1-hexanol. Vanliga källor är PVC-mattor och målarfärger men människan avger exempelvis etanol genom utandningsluften.

Liksom aldehyder kan alkoholer vara irriterande för hud och ögon men till skillnad från aldehyder kan vissa alkoholer även ge upphov till huvudvärk och illamående (NCBI, 2004).

Estrar

Estrar framställs genom att en alkohol blandas med en oxosyra (vanligtvis karboxylsyra) samt genom att tillsätta en katalysator. Några exempel på estrar är etylacetat och butylacetat. Estrar finns både naturligt i växter, oljor och frukter men används även som smakämne för att ge intryck av exempelvis en fruktsmak. Dessutom har estrar även ett stort industriellt användningsområde och kan förekomma som råvara till plaster i form av bl.a. mjukgörare. Andra vanliga källor är många byggnadsmaterial, ventilationssystem och mögel (IUPAC, 2012).

Estrar kan irritera luftvägar och ögon. Då större mängder andas in kan vissa estrar ge huvudvärk och t.o.m. medvetslöshet. Flera estrar, som t.ex. etylacetat, är dessutom mycket brandfarliga (TOXNET, 2014a).

Ketoner

Till skillnad från aldehyder och estrar är ketoner en förening mellan en karbonylgrupp och två kolatomer. Den funktionella gruppen av ketoner, som kan ses i figur 3, karaktäriseras av en dubbelbunden syreatom. Några exempel på ketoner är propanon (acetone), acetoacetat och dibutylketon. Ketoner förekommer i parfym, läkemedelsindustrin, byggnadsmaterial, lacker, limmer m.fl. (IUPAC, 2012).

Flera typer av ketoner är hudirriterande ämnen och giftiga (TOXNET, 2014c).

Kolväten

Som namnet för gruppen anger, består denna VOC-grupp av kemiska föreningar bestående endast av kol- och väteatomer. Om kolväten är bundna till andra kemiska grupper bildas många andra kolväten. Ett exempel är kolväten som innehåller karbonylgrupper, vilket bildar olika typer av aldehyder. Alkaner, vars strukturformel visas i figur 3, är de mest kända och vanliga kolvätena. Några exempel på alkaner är hexan och pentan. Eten och propen är kolväten inom en annan stor undergrupp kallad alkener. Förutom trafiken och förbränning i allmänhet härstammar kolväten även från byggnadsmaterial, datorer och skrivare (Peterson, 2008).

Effekter som kolväten kan ha på människor kan variera väldigt mycket beroende på typ av kolväte. Flera alkaner kan vara irriterande för ögonen och slemhinnor samt påverka det centrala nervsystemet. Aromatiska kolväten kan dessutom vara cancerframkallande. (Peterson, 2006).

Etrar

Etrar är organiska föreningar där molekylgrupperna innehåller två kolvätegrupper som är bundna till en syreatom som syns i figur 3. Om någon av kolatomerna närmast syret är dubbelbundet med syret blir föreningen en ester istället.

Några exempel på vanliga etrar är dietyleter och dioxan. Dietyleter kallas även vardagligt för endast eter och är vanligt i narkosmedel. Etrar är vanliga i t.ex. lösningsmedel och inredningsmaterial (Encyclopedia Britannica, 2014)

Några typer av etrar kan ge upphov till hudirritation, feber och huvudvärk (TOXNET, 2014b).

7.1.3.5 Vanliga värden på olika VOC i inomhusluften

I takt med att användandet av syntetiska ämnen ständigt har ökat de senaste åren har även halterna av VOC-gaser ökat (Kostainen, 1995). I inomhusluften är det ca 200 olika typer av VOC som kan förekomma. De vanligaste grupperna av VOC som förekommer är alkaner, terpenier, aldehyder och alkylbensener. Det har även visat sig att halterna av olika VOC är i snitt flera gånger högre för hus som klassificerats som ”sjuka” (Kostainen, 1995). I tabell 3 visas några vanligt VOC i inomhusluften.

Tabell 3: Visar några vanliga VOC i inomhusluften och deras genomsnittshalt (Jones, 1999).

VOC	Genomsnittshalt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bensen	10
n-Dekan	20
Limonen	30
o-Xylen	10
Toluen	80
1,1,1 -Trikloretan	10

1,2,4 - Trietylbenzen	10
m-Xylen	20
Undekan	10
1,3,5 - Trietylbenzen	5

7.1.3.6 Adsorption och desorption av VOC

Adsorption och desorption på materialytor av VOC har länge varit ett outforskat område, vilket kan ha att göra med att det är många faktorer som måste tas i hänsyn. Faktorer som påverkar adsorption och desorption av VOC kan delas in i interna och externa (Deng et al, 2012).

Interna faktorer:

- Det specifika VOC-ämnets kemikaliska och fysikaliska egenskaper som t.ex. ångtryck, kokpunkt och kemiska polaritet.
- Materialegenskaper hos de material som kan tänkas adsorbera VOC.

Externa faktorer:

- Mängden material som är utsatt för VOC.
- Halten av olika typer av VOC i luften.
- Övriga förutsättningar i omgivningen såsom temperatur, relativ fuktighet, ventilation etc.

Det har visat sig att ventilationen hänger ihop väldigt starkt med adsorption och desorption av VOC. När ventilationen understiger 0,1 oms/h är det relevant att beakta adsorption av VOC på olika material som exempelvis tygmattor. Då ventilationen överstiger 20 oms/h kan man utesluta all form av adsorption av VOC. Ämnen som etylbenzen och bensaldehyd kan adsorberas till materialytor då omsättningen är under 0,5 oms/h. Tyngre VOC som olika alkyl-grupper och BTEX-ämnen (bensen, toluen, etylbenzen, xylen) kan fortfarande adsorbera på material så länge ventilationen understiger 20 oms/h (Deng et al, 2012).

7.1.4 Koldioxid

Koldioxid används ofta som en indikator för att mäta luftkvaliteten. Just för att den är lätt att mäta och ökar i takt med att andra föroreningar produceras av människan. För hög koncentration av koldioxid i luften ge bieffekter eftersom blodet hindras att ta upp syre från luften. Koldioxidhalten i luften mäts med parts per million (ppm). Uteluften innehåller ungefär 400 ppm. Vid 1000 ppm anses luftkvaliteten vara dålig. Det arbetshygieniska gränsvärdet ligger på 5000 ppm. Vid 20 000 ppm så uppstår huvudvärk, ökad andningsfrekvens etc. (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.1.5 Lukt

Luktämnen kan utsöndras från människans andningsorgan och hud. Det är inte direkt farligt för hälsan men kan påverka andningsfrekvensen på så sätt att människan undviker att andas in obehaglig lukt. Detta i sin tur påverkar syresättningen i blodet. Däremot så vänjs en person vid obehaglig lukt och kan därför i långvarig vistelse i

illaluktande miljö komma till en normal andningsfrekvens. Luktintensiteten ökar i takt med koldioxidhalten och anses nå en obehaglig lukt vid CO₂-halten 1000 ppm (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.1.6 Övriga föroreningar

7.1.6.1 Radon

När det radioaktiva ämnet radium sönderfaller så bildas radongas. Denna radongas sönderfaller till radondöttrar och avger strålning. Vid inandning av radongas kan detta skada celler i luftvägar och lungor. På 80% av Sveriges yta finns det risk för problem med radon. Därför bör alltid byggnader utföras radonsäkert (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Luften i marken kan ha hög radonhalt. Om det är undertryck i ett hus, marken är luftgenomsläpplig och husets grund inte är tät kan markluften ta sig in i huset vilken kan leda till hög radonhalt i byggnaden (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2012).

7.1.6.2 Tobak

Tobaksrök har skadeeffekter på människans hälsa (UMO, 2014).

Röken förekommer på partikelnivå och passiv rökning skadar inte bara rökaren utan även andra i omgivningen. De vanligaste hälsoeffekterna är irritation i slemhinnor och besvär av lukten (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.1.6.3 Damm

Damm består av organiska och oorganiska partiklar. Damm består också av fibrer utifrån, från människor, kläder, husdjur, byggmaterial och aktiviteter inomhus (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Damm kan orsaka besvär som astma och allergiska besvär. För att undvika damm bör det hållas rent och vädring rekommenderas vid städning (Astma och allergilinjen).

7.1.6.4 Ozon

Ozon inomhus kommer från t.ex. laserskrivare, kopiatorer och jonisatorer som kan förekomma inomhus. Ozon i uteluften kommer från bilavgaser som träffas av UV-ljus från solen. Ozon är märkbart på lukten (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Hälsoeffekterna vid exponering av ozon kan leda till andningsbesvär, problem med luftvägar och lungor (Arbetskyddsstyrelsen, 1999).

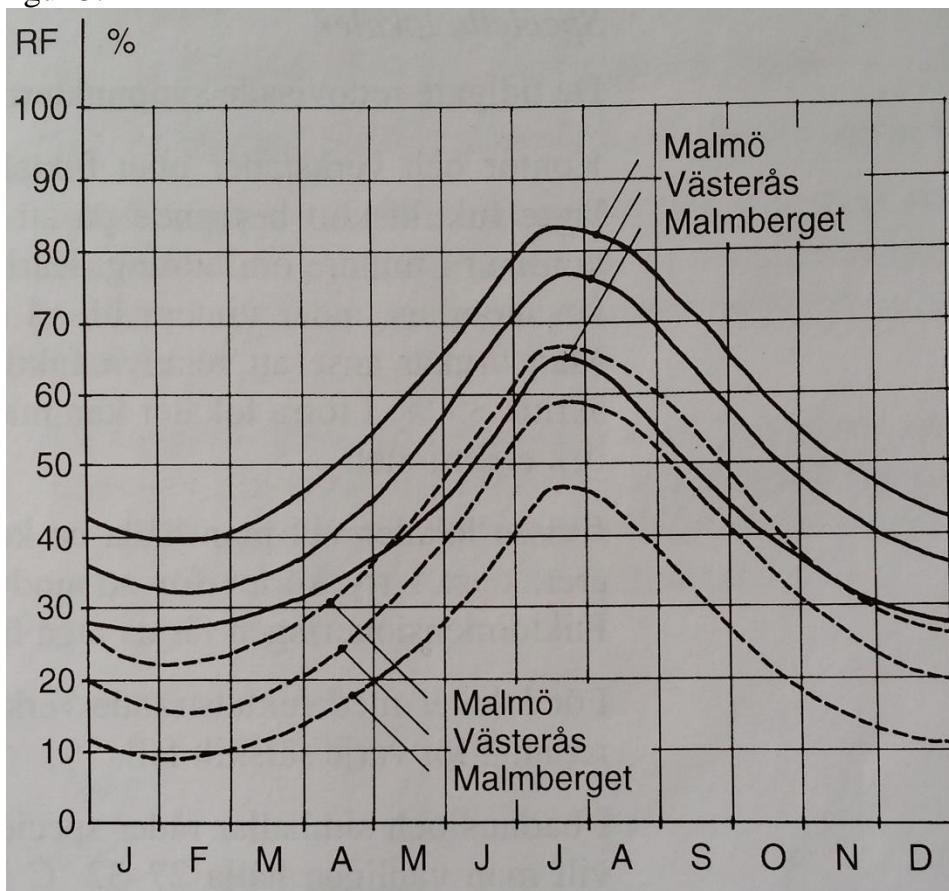
7.1.6.5 Emissioner

Byggnads- och inredningsmaterial kan avge kemiska emissioner i olika storleksgrader beroende på hur nytt material det är som används. Vid nyinstallerade produkter avges primäremissioner som kan orsaka ögon- näs- och halsirritationer, torrhetkänsla i slemhinnor och hud, hudutslag och en lukt i byggnaden. Även då det inte handlar om nyinstallerade produkter så avges sekundäremissioner vid ökad temperatur och fuktighet (Warfvinge & Dahlblom, 2010) samt (Kemi 2012).

7.1.7 Fukt

Luftfuktigheten påverkas dels av uteluftens fuktighet och dels av människor och processer inomhus. Relativa fuktigheten utomhus kan från sommar till vinter variera

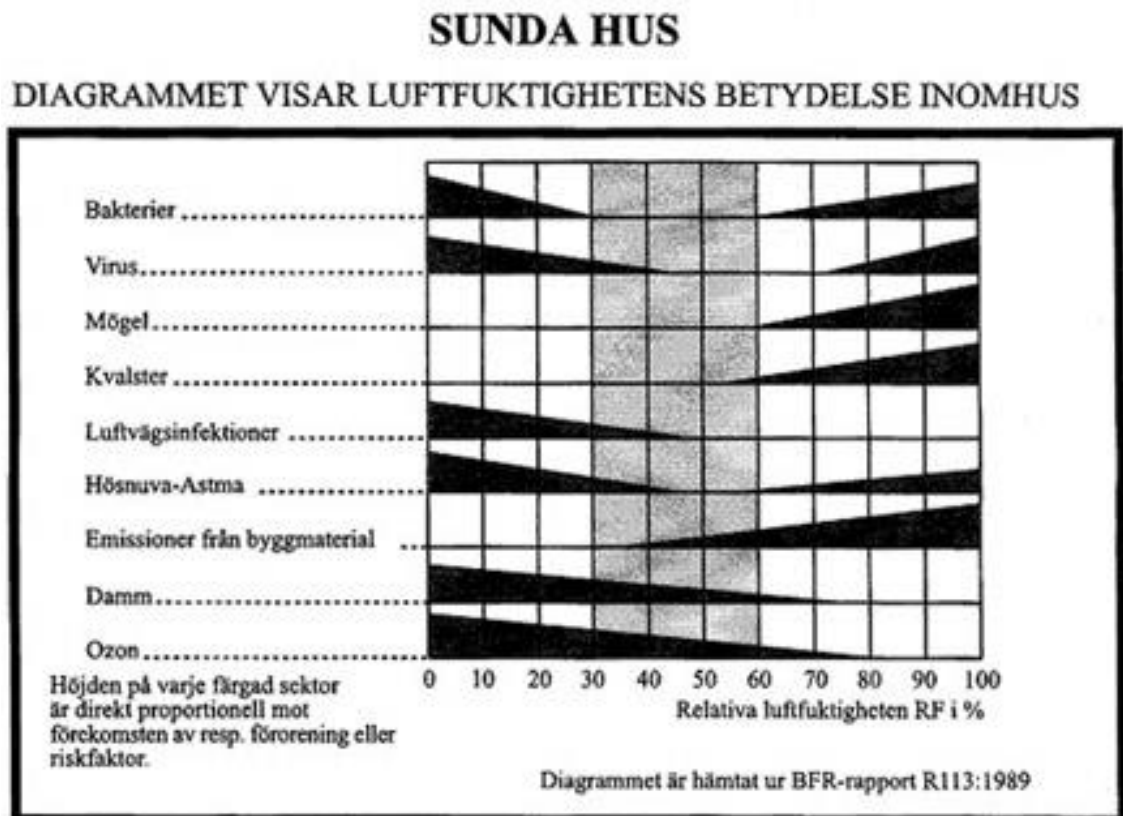
mellan 65 – 90 %. Inomhusluften däremot får en helt annan fördelning eftersom att temperaturerna skiljer sig mellan ute- och inneklimat (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Relativa fuktigheten inomhus får en fördelning över året enligt nedanstående bild, figur 3.



Figur 3: Diagrammet visar RF-halten inomhus under olika månader på året, värden har hämtats från Nevander & Elmarsson, 2009.

Människan avger ungefär 40 gram vattenånga per timme. Detta kräver ett luftflöde på 2 l/s, person för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. Relativa fuktigheten bör ligga mellan intervallet 40 – 60 % inomhus för att undvika bakterier, virus, svamp, kvalster, torra slemhinnor, luftvägsinfektioner, astma, kemiska emissioner och ozonproduktion (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

I fig. 4 ser vi att den optimala gränsnivån för relativ fuktighet inomhus är 40 – 60 % för att undvika att skapa en god miljö där olika föroreningar kan förekomma.



Figur 4: Olika grader av relativ fukthalt ger upphov till en miljö där olika typer av föroreningar kan förekomma (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.1.8 Sjuka-hus-sjukan (Sick Building Syndrome)

Sjuka-hus-sjukan är en benämning på besvär som människor kan uppleva i sjuka byggnader. Bl.a. kan följande symptom förekomma:

- Trötthet
- Tung i huvudet
- Illamående
- Yrsel
- Koncentrationssvårigheter
- Klåda
- Sveda

Besvären kan förekomma under tiden då en person befinner sig i det sjuka huset och sedan försvinna när personen lämnar huset. Sedan kan besvären återkomma när denna person återigen befinner sig i huset (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.2 Ventilation i bostäder

Ventilationssystemets uppgift är att:

- Byta ut förorenad luft mot frisk luft
- Förhindra spridning av föroreningar
- Skapa ett undertryck inomhus
- Ibland också värma eller kyla ventilationsluften

Vid tillförsel av frisk luft bör detta ske i de rum där man tillbringar mest tid. I bostäder är det sovrum och vardagsrum. Förorenad luft som ska drivas ut ur bostaden bör ta sig ut genom kök och badrum. På detta sätt undviker man även att luft från kök och badrum sprider sig till resten av lägenheten. För att luften som tas in ska kunna cirkulera och ta sig till ett frånluftsdon så bör man tänka på möjligheter för cirkulation, t.ex. springor under dörrar. Cirkulationens väg genom bostaden ska även vara så lång som möjligt. Detta för att undvika kortslutning, dvs. att tillförd luft sugts ut i princip direkt (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Alla ventilationssystem med från- och tilluft innehåller följande komponenter:

- Till- och frånluftsdon
- Kanaler/rör som fungerar som transportväg för luft
- Luftbehandlingsaggregat
- Styr- och reglersystem (temperatur, tryck och flöde)

(Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.2.1 Hur mycket ventilationsluft behövs?

För att byta ut luft krävs ett ventilationsflöde. Detta anges i m^3 /sekund eller liter/sekund. Ett begrepp som också används i detta sammanhang är luftomsättning/timme som anger vilket flöde som sker i förhållande till rumsvolymen. För att tydliggöra detta begrepp använder vi följande formel:

$$n = \frac{q}{V} \text{ (oms/h)} \quad (3.1)$$

där n är luftomsättningar per timme,
 q är luftflöde (m^3/h), och V är rumsvolym (m^3)

För att uppnå ett behagligt inneklimat ska bostaden ventileras konstant då människor befinner sig i den. Ventilationssystemet bör också ventileras någon timme före och efter att människor befunnit sig i bostaden (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Detta har delvis sin grund i att VOC – ämnen kan adsorberas och desorberas i olika materialytor, se vidare beskrivning av detta i kapitel 3.1.3.6.

7.2.2 Krav och börvärden

Klimatkrav ställs av BBR, men kan också ställas av byggherren själv. De krav som ställs av BBR skall projektören följa i sina tekniska lösningar. Kraven måste uppfyllas och vara mätbara för att kontrollera att de har uppfyllts (Abel & Elmroth, 2012). Enligt BBR (Boverkets Byggregler) skall uteluftsflödet vara minst $0,35$ l/s per m^2 golvarea

vid personnärvaro. Vid en takhöjd på 2,5 m så motsvarar detta ungefär $0,5 \text{ h}^{-1}$ (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Enligt BBR skall uteluftsflödet vara minst $0,1 \text{ l/s}$ per m^2 golvarea då ingen är närvarande, byggnaden inte skadas och hälsan inte riskeras (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

7.3 Sammanställning av börvärden enligt litteraturstudie

Sammanfattningsvis bör man uppfylla följande för att uppnå ett inneklimat med god komfort, enligt börvärden:

- En operativ temperatur som ligger mellan $20 - 24 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Medelhastighet för luft under $0,15 \text{ m/s}$, sommartid.
Främst vid don, ventiler, läckage och kallras.
- Temperaturskillnad mellan fötter och huvud som inte överstiger 3°C .
- Undvika att partikelformiga föroreningar tar sig in i inneklimatet genom barriär av filter.
- Undvika gasformiga föroreningar som VOC.
- CO_2 -halt under 1000 ppm .
- Relativ fuktighet mellan $40-60 \%$.
- Ventilationsflöde över $0,35 \text{ l/s m}^2$ golvarea vid personnärvaro eller $0,5 \text{ oms/h}$ vid en takhöjd på $2,5 \text{ m}$.
- Ventilationsflöde över $0,1 \text{ l/s}$, m^2 golvarea om det inte finns någon närvaro av personer, byggnaden inte skadas och hälsan inte riskeras.
- Halten av TVOC bör generellt understiga 1 mg/m^3 . Halter över 25 mg/m^3 är i de flesta fall mycket farliga.

Sammanställning av börvärden för VOC-halter i inomhusluften har inte tagits fram. Det finns riktvärden för några VOC-typer men iAQ-100 givaren kan inte registrera enskilda typer av VOC utan mäter istället en total VOC-halt. Det finns föreskrifter för olika VOC-halter i olika byggnadsmaterial (EU-direktiv, 2004).

7.4 Variationer i boendes beteende

Bostäder, lokaler och övrig service står för ungefär 39% av Sveriges energiförbrukning. Av detta är 60% fördelat på uppvärmning och varmvatten, samt 40% på el. I småhus däremot så är siffrorna fördelade enligt följande: 60% för uppvärmning, 20% varmvatten och 20% el. Det som skiljer energiförbrukningen åt från bostad till bostad är dels de tekniska förutsättningarna och dels de boendes beteende. Uppvärmningsbehovet påverkas bara till viss del av de boendes beteende såsom vädringsvanor. Varmvatten och hushållsel påverkas i större utsträckning av de boendes beteende (SP, 2009).

Trots att två olika hus är identiska i samma geografiska läge kan de ha en stor variation i exempelvis energianvändning, något som enligt Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) inte kan bero på något annat än olika brukarvanor (SP, 2009). SP (2009) har även påvisat att det går att spara upp till ca 20% vad gäller energiförbrukningen genom förändrade brukarvanor.

Enligt kapitel 3.1.1 uppnås termisk komfort då temperaturupplevelsen är tillfredställd. Brukaren påverkar detta dels genom närvaro, vilken typ av klädsel som används och vilken typ av aktivitet som utförs. För att studera energianvändningen är det lämpligt att studera närvaroprofiler. Detta har gjorts i tidigare forskning i kapitel 2.2. Studien visar på att närvaron varierar över tid och det finns en potential till behovsstyrt ventilationssystem i flerbostadshus. För att uppnå termisk komfort vid olika grader av aktivitet kan brukaren själv reglera temperatur genom klädsel för att göra energibesparingar.

Om människan känner obehag av luftkvalitet kan detta också vara en faktor till ett ökat ventilationsbehov. Enligt kapitel 3.1.2 beror luftkvaliteten i vår bostad på hygien i bostaden samt kvaliteten på tilluften. Kvaliteten i luften påverkas till viss del av vilken VOC-halt, CO₂-halt, lukt och vilka föroreningar som förekommer. Enligt tidigare forskning i kapitel 2.1 så kan någon typ av korrelation visas mellan VOC-halt och CO₂-halt men vidare studier krävs.

7.5 Flerbostadshus från miljonprogrambyggen

Vid ombyggnad av äldre hus som bostäder från miljonprogrambygget så finns det fördelar att utnyttja i husen. För att göra detta krävs kunskap om byggnaderna. Flerbostadshus under miljonprogrammet byggdes till största del som lamellhus. En annan byggnadstyp som också kan förekomma från samma tid är punkthus. Lamellhusen som byggdes under 1960-talets slut kallades skivhus och var ofta 8-9 våningar höga. De byggdes med bärande betongstomme och fasad av prefabricerade träelement. Loftgångshuset är en speciell typ av lamellhus som blev introducerat på 70-talet (Hallstedt, 1994). I fig. 5 ser vi hur ett lamellhus av betong kan se ut.



Figur 5: Typiskt lamellhus (Betong, 2011).

7.5.1 Byggtekniska egenskaper

7.5.1.1 Täthet

Otättheter inne i lägenheten skulle kunna orsaka okontrollerad cirkulation inom lägenheten. Otättheter mellan lägenheter skulle kunna orsaka temperaturförlust till granne eller luktspridning av t.ex. matos (Hallstedt, 1994)

7.5.1.2 Uteluft

En stor del av de luftföroreningar som tar sig in med uteluften kommer från bilavgaser. Detta kan uppstå genom exempelvis att ett uteluftsdon har placerats mot en väg trafikerad med motorfordon som är omringad av höga hus. Luftföroreningar i utomhusluften kan även komma från industrier och sopförbränningsanläggningar (Hallstedt, 1994).

7.5.2 Installationsteknik

7.5.2.1 Självdragsventilation (S-system)

Ventilationssystemet fungerar genom att temperaturskillnaden mellan ute- och inneklimat skapar en luftväxling. I bostaden (Energimyndigheten, 2011). Självdragsventilation finns framförallt i lamellhus byggda före 1960-talet (Hallstedt, 1994).

7.5.2.2 Mekanisk frånluftsventilation (F-system)

Mekanisk frånluftsventilation installerades oftast i lamellhus och punkthus efter 1950-talet. Detta system byggdes med frånluftsdon som gav möjlighet till att injustera flödet. Flödet i ett mekaniskt frånluftssystem beror av fläktens undertryck, vind och termiska krafter. Jämfört med ett självdragssystem påverkas frånluftssystem dock inte lika mycket av termiska krafter och läckage (Hallstedt, 1994).

Frånluftssystemen som byggdes under miljonprogrammet är ofta konstruerade så att varje frånluftsdon leder frånluften med separata kanaler till en frånluftsfläkt på vinden. I punkthus däremot användes ofta gemensamma kanaler (Hallstedt, 1994).

7.5.2.3 Problem som kan uppstå

Enligt två studier (BFR anslag nr 900498-0 och 910916-7) där man undersökte 110 ventilationssystem med frånlufts eller till- och frånluftssystem har en stor spridning av luftomsättning påvisats. Detta har mätts genom stickprovsundersökning över frånluftsdon (Hallstedt, 1994).

Flera av de uppmätta lägenheterna hade större frånluftsflöde än minflöde enligt BBR, 0,35 l/s, m². Dock så hade 65% av lägenheterna en luftväxling som låg inom intervallet +/-30% av byggreglernas minflöde. Studien visar att många springventiler var stängda vilket kan ha berott på att de boende själva har åtgärdat problem med ljud och drag (Hallstedt, 1994).

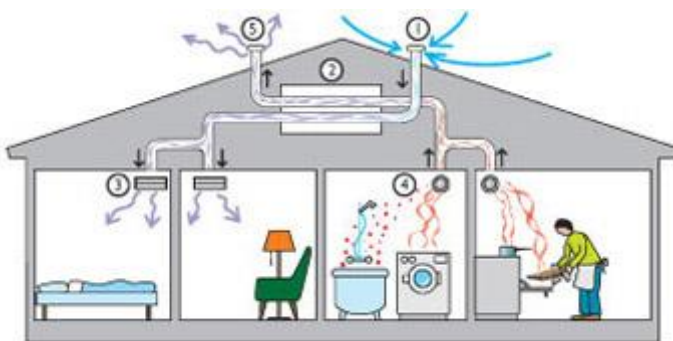
Grundflödena i kök med forceringsmöjligheter (möjlighet till att justera) har enligt undersökning visat sig inte uppnå dagens normflöde till 46 % av fallen. En förklaring till detta kan vara att många kökspjäll är i ständigt öppet läge medan andra inte är det. Då uppstår en tryckskillnad som leder till olika flödesfördelning. Detta har gett upphov till klagomål på lukter, fukt och dålig ventilation (Hallstedt, 1994).

En annan studie har gjorts genom en enkätundersökning som heter ”Upplevt inneklimat i Stockholms bostadsbestånd”. I denna undersöktes det hur inneklimatet upplevs. Detta för att hitta en lösning utan onödiga kostnader för en ombyggnation (Hallstedt, 1994).

Det skickades ut 10 000 enkäter genom ett slumpmässigt urval till boende i flerbostadshus och småhus i Stockholm, 78 % av enkäterna besvarades. Hälften av de boende svarade att de har besvärats av att en del av lägenheten är för kall under vintertid, att det uppstår drag, att golven är kalla samt svårigheter att själva reglera värmen. Besvär av ojämn temperatur och drag har bidragit till att de boende inte upplever någon möjlighet till att själva påverka värmen (Hallstedt, 1994).

7.6 FTX-system

FTX står för från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning. Hur ventilationssystemet fungerar i praktiken illustreras med figur 6.



Figur 6: Visar hur ett FTX-system fungerar principiellt (Bo Reinerdahl, 2011).

Den friska uteluften tas in via utluftsdon vid ① i figuren. Genom att utnyttja värmen från inneluften värms sedan den ofta kalla uteluften till lämplig tilluftstemperatur, detta med hjälp av värmeväxlaren vid ②. Tilluften filtreras sedan och med hjälp en fläkt förs den vidare till olika rum där luften slutligen förs ut genom lämpliga tilluftsdon vid ③ beroende på typ av rum. Frånluften vid ④ förs genom fläkt till värmeväxlaren för att avge sin värme och därefter ut genom avluftsdon vid ⑤ i bilden ovan (Energimyndigheten, 2013).

De stora fördelarna med ett FTX-system är att värme återvinns och att uteluften kan filtreras. Till nackdelarna kan det nämnas att det finns risk för buller och ett ökat underhållsbehov (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Nedan beskrivs några av de vanligaste komponenterna i ett FTX-system kortfattat.

7.6.1 Värmeväxlare

De mest vanliga typerna av värmeväxlare som används i FTX-system är plattvärmeväxlare och roterande värmeväxlare.

Det vanligaste idag är att använda sig av roterande värmeväxlare. Anledningen är främst den höga verkningsgraden i kombination med att den är mer lämpad för det nordiska klimatet där det finns risk för att plattvärmeväxlare fryser igen vid minusgrader. Dessutom kräver en roterande värmeväxlare mindre utrymme, något som är positivt i synnerhet i samband med renoveringar. En nackdel är dock att ett visst läckage mellan 5-10 % mellan till- och frånluft kan förekomma (Warfvinge, 2007).

Plattvärmeväxlaren utförs normalt genom att till- och frånluft får passera genom ett lamellpaket av aluminiumplåtar. Roterande värmeväxlare återvinner istället värme genom att rotern lagrar värme (och i vissa fall fukt) från frånluften som sedan värmer tilluften (Warfvinge, 2007).

7.6.2 Fläktar

Normalt används två fläktar i ett FTX-system, en tilluftsfläkt och en frånluftsfläkt. De två vanligaste typerna av fläktar i samband med FTX-system är radialfläkt och axialfläkt (Warfvinge, 2007).

Radialfläkten är den vanligaste typen av fläkt i dessa sammanhang eftersom ett stort tryck kan åstadkommas (Warfvinge, 2007).

Axialfläkten liknar mer en traditionell fläkt, med radiella skovlar på en roterande axel. Axialfläkten lämpar sig bra för stora luftflöden då det är förhållandevis låg resistans (Warfvinge, 2007).

7.6.3 Filter

Att filtrera luften är den vanligaste typen av luftrening när det gäller ventilationssystem. Filter som används i ventilationssystem har egentligen två huvudfunktioner (Ivansson, 2006):

- Att förbättra luftkvaliteten inomhus och därmed skydda de boende samt hemutrustning.
- Att skydda vissa komponenter i själva ventilationssystemet.

Det är viktigt att poängtera att luften filtreras från partiklarföroreningar. Gasföroreningar som är den andra typen av föroreningar filtreras alltså normalt inte bort (Warfvinge, 2007). På senare år har det så kallade aktiva kolfiltret börjat introduceras för att i viss mån även filtrera gasformiga föroreningar, men dess funktion är väldigt begränsad då endast vissa lukter och gaser kan reduceras med filtret. Aktivt kolfilter har dessutom väldigt kort livslängd och bör bytas ut ca var sjätte månad (Acticon, 2014).

Filtret är en av de mest vitala delarna i ett luftbehandlingsaggregat. Eftersom varken tilluften eller frånluften brukar vara ren används det filter för båda kanalerna. Filter som brukar användas i ventilationssystem är i princip uteslutande av genomströmningstyp. Några vanliga avskiljningsmekanismer är silning, interception, tröghetsverkan, diffusion och adsorption (Warfvinge, 2007).

7.7 Styrningsprinciper för ventilation

Oavsett vilket ventilationssystem som används går det att styra på olika sätt beroende på vilka krav och prioriteringar som sätts vad gäller luftomsättning, temperatur, föroreningshalter, energieffektivitet etc. Vanliga styrparametrar brukar vara koldioxid, fukt, temperatur och på senare tid VOC.

Exempelvis finns det alltså FTX-system med både konstant och variabelt luftflöde.

De tre huvudgrupperna för styrning av ventilation är:

- CAV-system, konstant luftflöde
- VAV-system, variabelt luftflöde
- DCV-system, behovsstyrt luftflöde

(Warfvinge, 2007).

7.7.1 CAV-system

CAV står för Constant Air Volume. Både till- och frånluftsflöden är konstanta under verksamhetstiden. Det tas alltså ingen hänsyn till rumstemperatur eller aktivitet.

Tilluftstemperaturen för CAV-system brukar normalt ligga kring 18 grader. Detta har visat sig vara rimligt eftersom BBR har krav på att den lägsta riktade operativa temperaturen bör vara lägst 18 grader i lokal- och bostadsrum (Boverket, 2011).

CAV-system är fortfarande den mest vanliga formen av ventilationssystem i Sverige mycket beroende på att det är förhållandevis enkelt att installera och systemet kräver mindre underhåll än många andra lösningar. Eftersom systemet ofta dimensioneras efter konstant flöde leder det ibland till energiförluster då systemet även är på, trots att det inte är någon närvaro (Warfvinge, 2007).

Värt att notera är att ett CAV kan ställas in i t.ex. två lägen enligt ett schema. Vanligt är då att ventilationen är igång under större delen av dagen på ett kontor, men går sedan till avstängt läge på natten.

7.7.2 VAV-system

VAV står för Variable Air Volume och luftflödet kan därför variera. Vad det varierar efter beror på hur det är utformat. Vanliga faktorer att styra på är temperatur, personnärvaro eller koldioxidhalt. Detta innebär att ett VAV-system är mest lämpat då internlasten varierar. Skolor, kontor och hotell är därför bra lämpade för VAV-system. Flödet i ett VAV-system regleras med antingen motordrivna tilluftsdon eller spjäll. Då

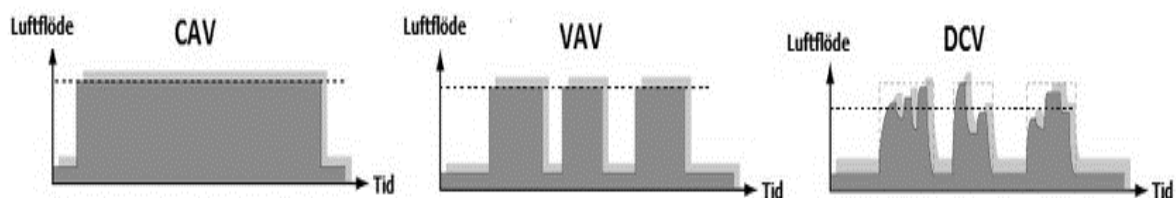
flödet kan skilja sig mycket mellan olika rum krävs även en tryckhållande utrustning i kanalsystemet så att rätt flöden tillförs varje rum (Warfvinge, 2007, s. 7:64).

7.7.3 DCV-system

DCV står för Demand Controlled Ventilation. I Sverige kallas det även ofta för behovsstyrd ventilation. I över 20 år har själva konceptet funnits men problemet har legat i att försöka få fram tillförlitliga och kostnadseffektiva givare med god beständighet som inte driver iväg med tiden och registrerar allt mer felaktiga värden (Stipe, 2003).

Luftflödet i ett DCV-system kan antingen manuellt styras av personerna som befinner sig i rummet eller automatiskt med en givare. Exakt vad eller vilka styrparametrarna är beror på behov och ändamål. Det vanligaste brukar vara att det finns givare för både koldioxid och temperatur (Warfvinge, 2007).

I många fall är gränsen mellan ett DCV- och VAV-system flytande. I DCV-system kan flödet regleras gradvis efter det som givaren registrerar, något som inte är lika vanligt i ett VAV-system där det istället vanligtvis finns ett par luftflödeslägen, något som visas i figur 7 (Exhausto, 2013). Notera att figur 7 endast ger en förenklad bild av de olika styrningsprinciperna, i många fall kan ett DCV-system ses som en typ av VAV-system.

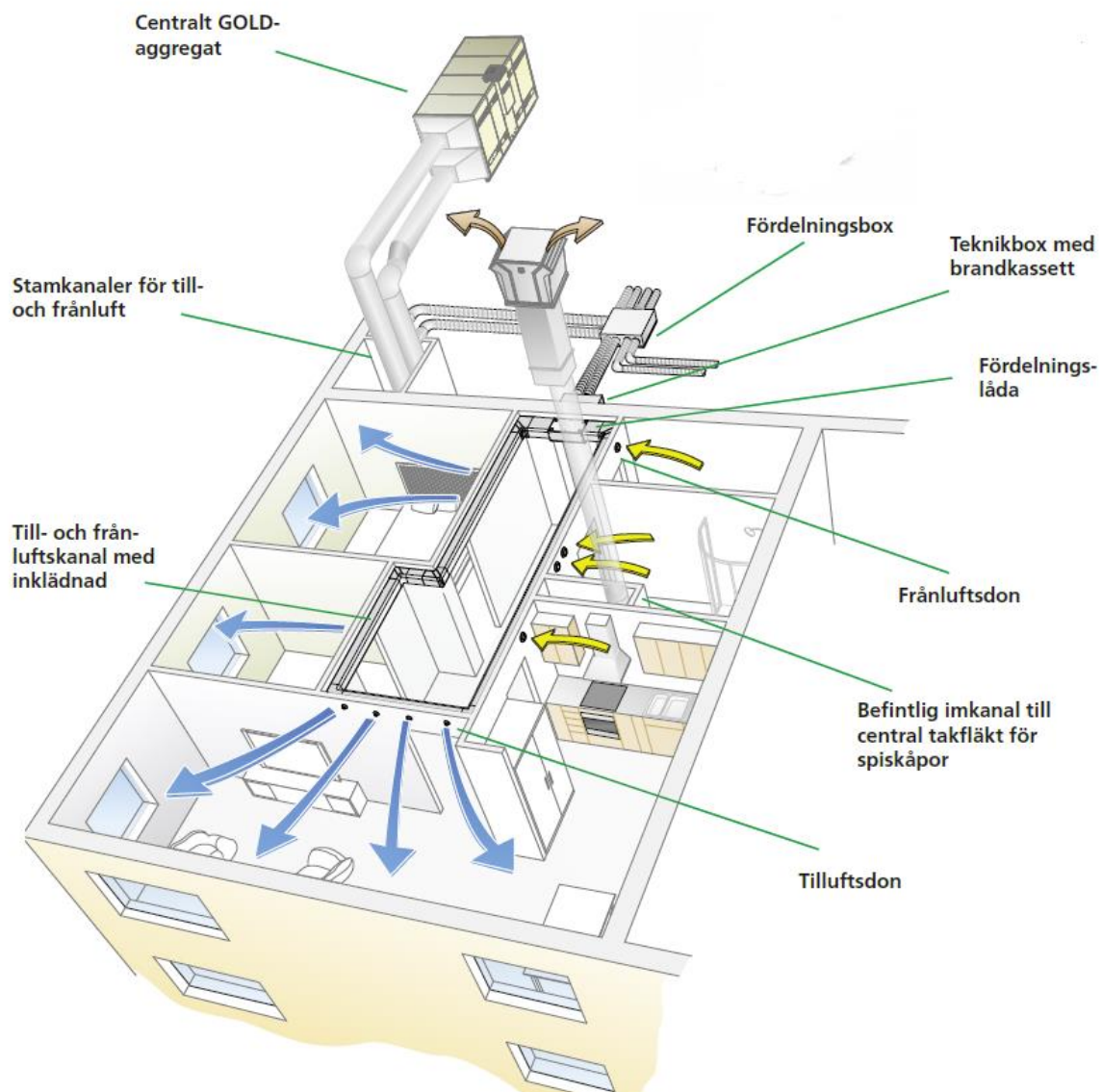


Figur 7: Visar det principiella utseendet för luftflöde-tid diagrammen för de tre styrningsprinciperna för ventilationssystem. Notera att flödesschemat för ett VAV-system inte nödvändigtvis behöver vara binärt.

8 Systembeskrivning

Ventilationssystemet som behandlas i det här examensarbetet är av typen DCV, Demand Controlled Ventilation. Tanken bakom produkten är att det ska sparas energi eftersom det är behovsanpassat, samtidigt som lägenheten blir mer välventilerad jämfört med ett vanligt frånluftssystem. Eftersom till- och frånluftskanaler endast dras i lägenhetens hall har ventilationssystemet potential att kunna installeras på kort tid (så lite som 8 timmar) samtidigt som de boende blir störda minimalt (Swegon, 2014). I figur 8 ser vi ett typexempel på hur kanaldragning ska fungera med donplacering, placering av teknikbox och aggregat.

WISE Apartment Solution™



Figur 8: Visar en illustration av WISE Apartment Solution (Swegon, 2014).

8.1 Teknikbox med brandkasett

Luftkvalitetsgivaren, iAQ-100, sitter i en teknikbox utanför varje lägenhet och mäter många olika typer av VOC i frånluften. I samma teknikbox finns det en givare vid namnet HTDT2500(-420) som mäter relativ fuktighet och temperaturen i frånluften.

Teknikboxen dockas även till en brandkasett av typen DOMO Fireblock som är CE-märkt enligt SS EN 15650 och använder sig av ett självverkande mekaniskt brandskydd (Swegon, 2014). I figur 9 ser vi en bild på hur teknikboxen och brandkasett ser ut utifrån.



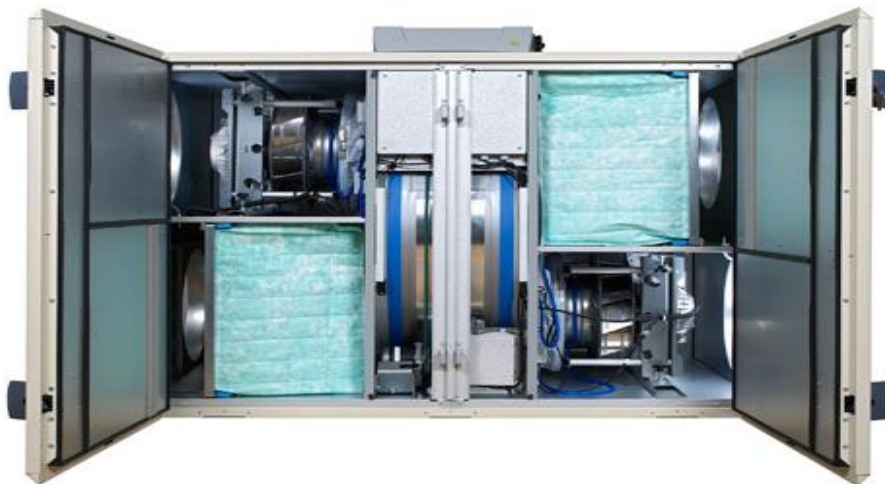
Figur 9: Visar teknikboxen som sätts ihop med brandkassetten. Finns utanför varje lägenhet (Swegon, 2014).

8.1.1 Styrstrategi

Luftflödet regleras efter de inställda värdena på relativ fuktighet och VOC medan temperaturen endast mäts i kontrollsyfte. Mer om detta finns i kapitel 5.3.

8.2 Luftbehandlingsaggregat

Luftbehandlingsaggregatet som Swegon använder i WISE Solution Apartment innehåller bland annat värmeväxlare, fläktar och filter. De vanligaste värmeväxlarna som kan användas i luftbehandlingsaggregatet är roterande värmeväxlare, korsströmsplattvärmeväxlare och batterivärmeväxlare. Varje luftbehandlingsaggregat innehåller bland annat fläktar, värmeväxlare, filter och spjäll (Swegon, 2014). I figur 10 ser vi insidan på ett luftbehandlingsaggregat med roterande värmeväxlare som kan användas i systemet.



Figur 10: Visar insidan av GOLD RX, luftbehandlingsaggregat med en roterande värmeväxlare (Swegon 2014).

Fläktarna som används är så kallade axi-radiella och utvecklade internt av Swegon.

Fläktarna är steglöst varvtalsreglerande och drivs med EC-motorer. En verkningsgrad på drygt 90 % i motorn kan uppnås vilket anses energieffektivt. Både till- och frånluftsfläkten kan ses i figur 10.

Filtret som Swegons ”WISE Solution Apartment” använder sig av är tillverkad av glasfiber och klassad som F7 och klarar av att filtrera partiklar som är så små som 2 μm i diameter (Swegon, 2013). Förfilter kan också används i situationer då tilluften eller frånluften är väldigt smutsigt. Förfiltern motverkar även att de finfilter som sitter i luftbehandlingsaggregatet blir igensatta efter en kort tids bruk. Förfilter som används i luftbehandlingsaggregatet är av stickat aluminium och tillhör filterklass G4 (Swegon, 2014).

De vanligaste typerna av luftbehandlingsaggregat som ingår i WISE Apartment Solution är roterande värmeväxlare, plattvärmeväxlare samt batterivärmeväxlare.

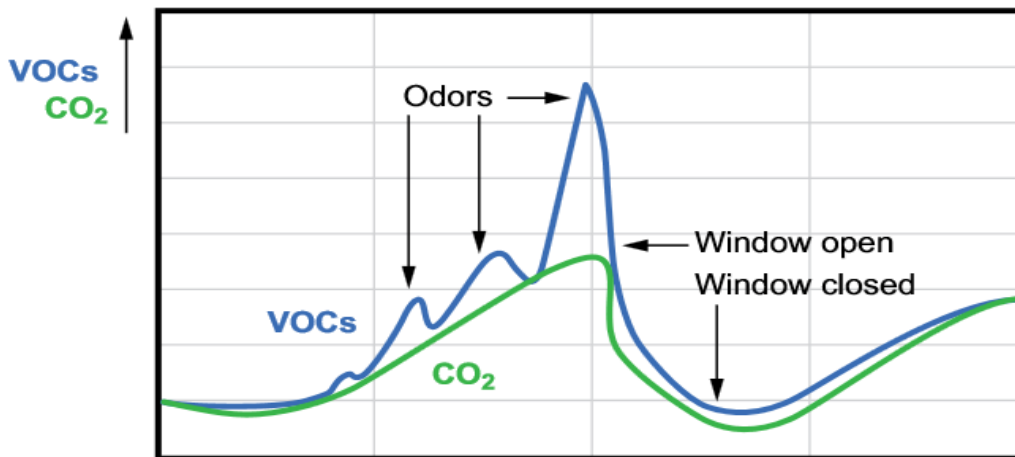
8.3 VOC-givare - iAQ-100

VOC givaren som används i Swegons WISE Apartment Solution. iAQ står för ”indoor air quality” och det är meningen att givaren iAQ-100 (figur 11) ska mäta upp en laddning beroende på halten av VOC i frånluften för att ventilationssystemet ska reglera flödet efter VOC-halten, som är en av de två parametrarna som WISE Apartment Solutions reglerar efter (AppliedSensor, 2010).



Figur 11: iAQ-100, en VOC-sensor från AppliedSensor. (AppliedSensor, 2010).

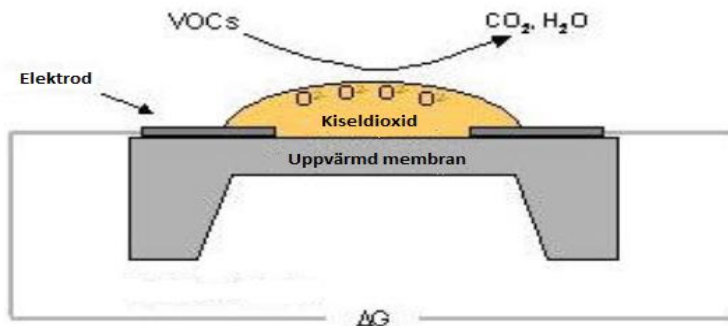
Motivet bakom att använda en VOC-givare som iAQ-100 istället för traditionella koldioxidmätare är att den är mycket billigare. Dessutom kan VOC-ämnen i inomhusluften på ett bättre sätt reflektera aktiviteten i bostäder. Koldioxidgivare lämpar sig bäst för kontors- och skolmiljöer där luftkvaliteten är starkt kopplad till antalet personer. VOC-givare tar bättre hänsyn till andra föroreningskällor som brukar finnas i bostäder som t.ex. matos, cigarettök och utomhusföroreningar (Sauter Controls, 2011).



Figur 12: Visar enligt tillverkaren hur VOC-givaren kan ta hänsyn till exempelvis olika lukter och rök, något som CO₂-givaren kan missa. Dessutom brukar VOC-halterna normalt korrelera med CO₂ ett rum (AppliedSensor, 2010).

iAQ-100 använder sig av endast 550 mW vid drift och är dessutom förhållandevis billig vid jämförelse med traditionella koldioxidgivare som brukar använda sig av IR-absorption.

Tekniken bakom givaren i iAQ-100 kallas för ”micro-machined metal oxide semiconductor” även förkortat som MOS. Givaren fungerar genom att VOC-ämnen från luften når givaren, varvid de förbränns på givarens yta och en kemisk reaktion sker med syreatomerna i de kristallgitter som består av kiseldioxid. Vid denna kemiska reaktion frigörs det elektroner som temporärt ökar konduktansen hos kiseldioxid, som ju är ett halvledarmaterial. Detta ökade konduktansvärde motsvarar mot en viss halt av VOC. Konduktansen återgår till sitt initiala värde då kiseldioxiden reagerar med syreatomer från luften eftersom elektroner då istället förbrukas (AppliedSensor, 2011). Den principiella funktionen illustreras i figur 13.



Figur 13: VOC-givarens funktion. ΔG anger differensen i konduktans då sensorn träffas av VOC.

Förklaringen till varför konduktansen ökar då elektroner frigörs har att göra med ohms lag och definitionen av konduktans.

Ohms lag anger att (1): $R = \frac{U}{I}$

Definitionen av konduktans är (2): $G = \frac{1}{R}$.

Då resistansen R från (1) sätts in i (2) fås $G = \frac{I}{U}$.

Då elektroner frigörs, ökar även strömmen I och därmed även konduktansen G . På samma sätt minskar konduktansen då elektroner istället förbrukas.

Följande ämnen registreras av givaren enligt tillverkaren:

- Alkohol
- Aldehyder
- Alifatiska kolväten
- Aminer
- Aromatiska kolväten
- Kolmonoxid
- Gasol
- Metan
- Keton
- Organiska syror

Halten av VOC anges som ekv. ppm och är korrelerade värden enligt Swegon. Det är alltså inte faktiska VOC-ppm utan en korrelation mellan den registrerade spänningen och CO₂-ekvivalenta värden. Givaren kan registrera värden mellan 450 – 2100 ekv. ppm.

8.4 Fuktgivare – HTDT2500(420)

Fuktgivaren som sitter i teknikboxen är en kombinerad fukt- och temperaturgivare för kanalmontage från svenska tillverkaren Regin. Fuktgivaren påstås av tillverkaren Regin ha kort reaktionstid och hög noggrannhet. Vidare är HTDT2500(-420) försedd med ett membranfilter som skyddar själva mätelementet (Regin, 2013).

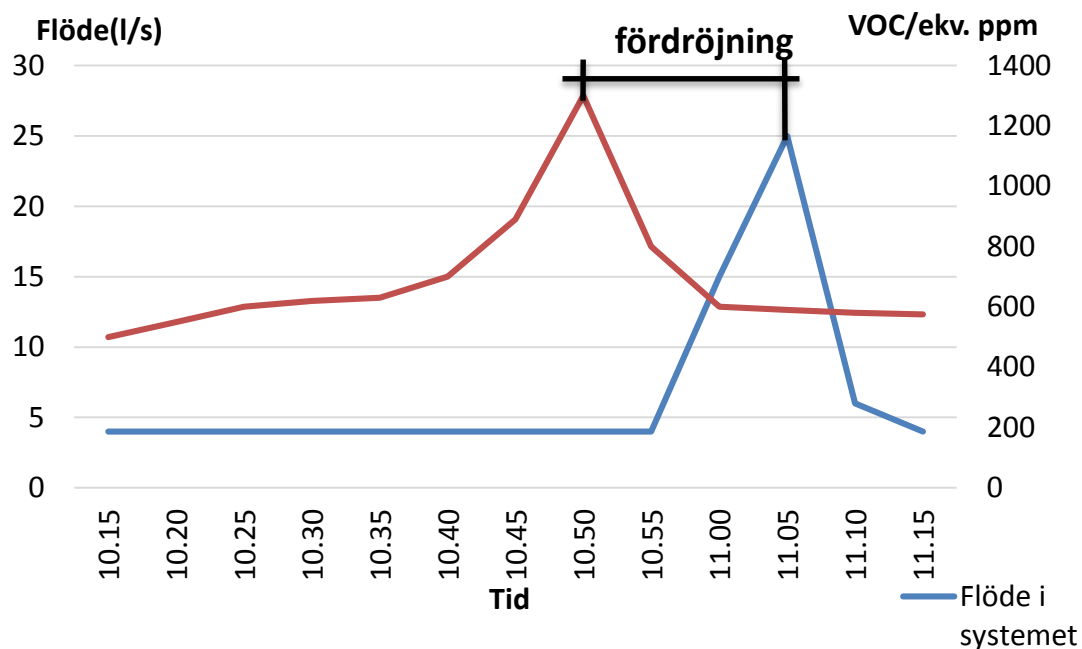
Själva tekniken bakom fuktgivaren i HTDT2500(420) bygger på liknande den som används i VOC-givaren. Ett kapacitivt tunnfilmselement ger utsignal i form av laddning beroende på hur fuktig luften är. Denna utsignal varierar mellan 4-20 mA och detta motsvarar 0-100% relativ fuktighet i luften. Själva mätområdet är dock begränsat till 5-95 % relativ fuktighet (Regin, 2013).

9 Mätningar

9.1 Beskrivning av laboration

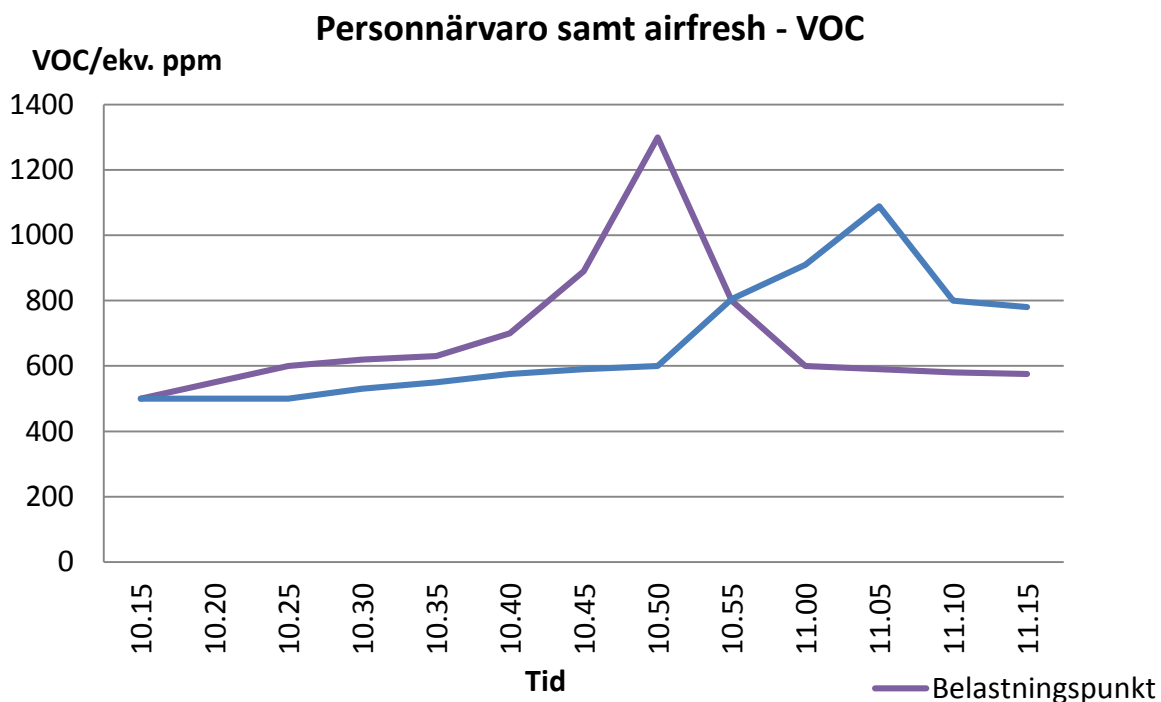
Laborationen utförs i en testlägenhet på Swegons fabrik i Tomelilla. Denna testlägenhet simulerar hur Swegons ventilationssystem fungerar i bruk. Systemets förmåga att styra efter parametrarna fuktillskott och VOC beprövas. Systemet ska utvärderas enligt följande punkter:

- Hur stor belastning av VOC och fuktillskott som varje aktivitet skapar.
- Vilken typ av fördröjning som uppstår för systemet. Fördröjning för systemet definieras som den tid det tar från det att maximal halt mäts upp vid belastningspunkten tills systemet går på det högsta flöde som behövs för att hantera den högsta belastningen som mäts upp i tekniklådan. (x-led i diagram enligt figur 14).



Figur 14: Exempel på hur fördröjningen tolkas i ett diagram.

- Vilken skillnad i halt som uppstår i aktivitetens belastningspunkt och teknikboxens givare (y-led i diagram enligt figur 15).



Figur 15: Exempel på hur haltskillnaden tolkas i ett diagram.

- Vilken luktupplevelse som uppstår i lägenheten med exjobbare som testpersoner. Bedömning görs på en skala från 1 – 5, där ett är ingen lukt alls, två är mycket svag lukt, tre är svag lukt, fyra är stark lukt och fem är mycket stark lukt.
- Skillnad på systemets reaktionsförmåga och vädringsförmåga med stängd eller öppen dörr.
- Skillnad på systemets reaktionsförmåga och vädringsförmåga med varierande gränsvärde för luftflöde.
- Reaktion på personnärvaro.

9.1.1 Aktivitetsbelastningar

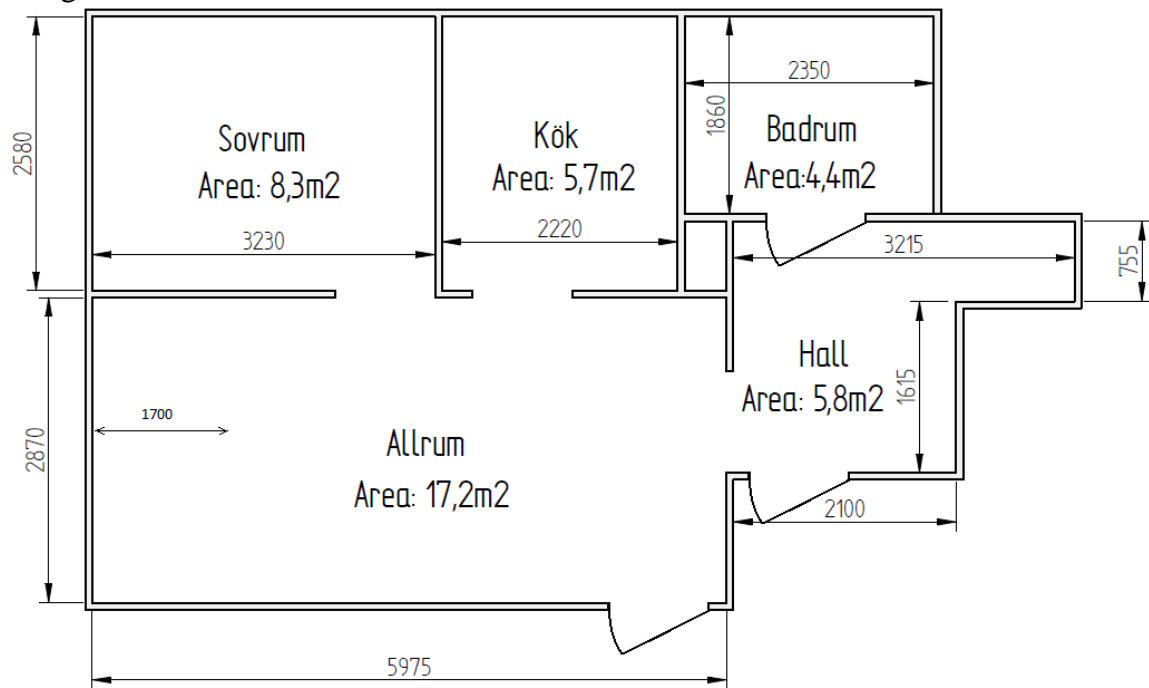
För att mäta upp någon typ av fukt- och/eller VOC-belastning har följande aktiviteter valts ut med hänsyn till tidigare litteraturstudie angående VOC och med hänsyn till vanligt förekommande aktiviteter i en bostad som kan ge en belastning.

- Sprayning av deodorant och airfreshner (badrumsspray) i badrum
- Duschande i badrum under 7 minuters tid med 45°C varmt vatten.
- Steka två ägg på stekpanna med olja i kök.
- Städning i vardagsrum och kök med rengöringsmedel.
- Cigarettrökning av två cigaretter i vardagsrum.

- Skalning av fyra apelsiner i kök med spridning av skal på golv för att sedan plocka upp allt efter att lukt spridit sig.
- Målning av tre flytlådor i kartong där totalt tre sidor exponeras mot frånluftsdon i kök.

9.2 Förutsättningar

Fig. 16 visar en planlösning för testlägenheten som använts för mätningar hos Swegons fabrik i Tomelilla.



Figur 16: Planlösning för testlägenhet med area = 41.4 m². Takhöjd = 2.4m. Rumsvolym = 99.36 m³.

Testlägenheten är placerad inomhus i en industrilokal. Testlägenhetens alla väggar, golv och tak består av spånskivor. Det är en otät konstruktion eftersom det förekommer hål och glipor i ytterväggar. För att efterlikna en verklighet så har testlägenheten inretts med en del möbler. Rummen beskrivs nedan utförligt. Tydligare bilder finns i bilaga 2.

9.2.1 Vardagsrummet

Vardagsrummet är smutsigt då golvet och möblerna inte är rena. Damm och andra partiklar förekommer till stor del. På en tygmatta står en tresitsig tygsoffa och två tygfotoljer. Mitt i soffgruppen finns ett träbord i storleken 40 cm x 140 cm x 60 cm. I vardagsrummets yttervägg finns två fönsterpartier monterade. Vardera på 230 cm x 120 cm. Entrédörren består till 55 % av spånskiva och 45 % av ett glasparti.

9.2.2 Sovrummet

I sovrummet finns en säng i trä med madrass i storleken 200 cm x 90 cm som är smutsig och det förekommer en del damm samt andra föroreningar. Bredvid sängen

finns ett litet bord av trä i storleken 40 cm x 50 cm x 40 cm. Det finns ett hål i väggen som är 150 cm x 150 cm stort. Detta hålet är igenplastat och tejpats för att tät konstruktionen.

9.2.3 Köket

I köket ligger givarna på en metallstol med dyna. Två spisplattor ligger på en spånskiva som bärs av en metallkonstruktion. Detta bord som består av träskiva och metallkonstruktion är i storleken 40 cm x 70 cm x 100 cm. Även i detta rum finns två hål i väggen som är tätat med plast och tejp runtomkring. Hålen har en storlek 230 cm x 120 cm och 100 cm x 40 cm.

9.2.4 Hallen

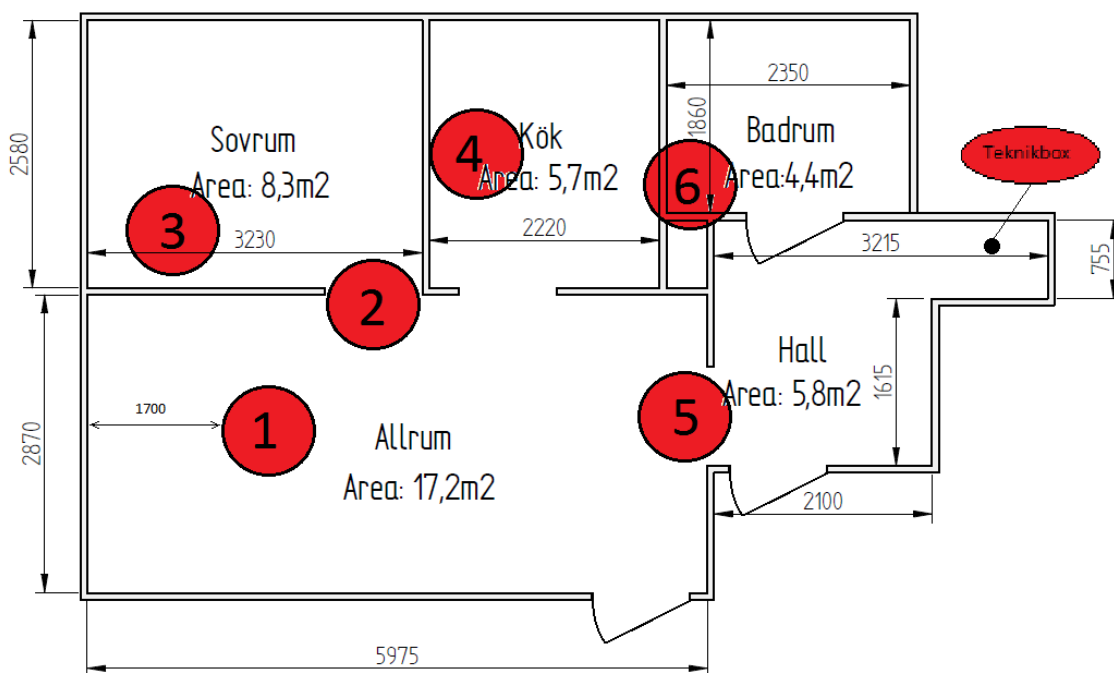
I hallen finns en entrédörr av trälaminat i storleken 200 cm x 95 cm. Det finns en stor tygstol mitt i rummet.

9.2.5 Badrummet

I badrummet finns en duschanordning med draperi och duschkran i metall. Det står en metallstol med sittdyna av tyg. Det finns ett hål i väggen som är tätat med plast och tejp. Hålet har en storlek 50 cm x 100 cm.

9.2.6 Givare - placering

De runda röda markörerna i figur 17 illustrerar utplacerade givare som mäter relativ fuktighet, temperatur och VOC – halt i testlägenheten. Dessa är placerade på sex platser i lägenheten. I teknikboxen sitter även givare för VOC och relativ fuktighet i frånluftskanalen



Figur 17: Planlösning för testlägenhet med runda rödmarkörer för placering av givare 1-6 samt teknikbox.

- Position 1: Givarna placerades i mitten 1,7 meter från kortvägg på ett bord med höjden 65 cm från golv.
- Position 2: Givarna placerades i anslutning mellan vardagsrum och sovrum på golvet.
- Position 3: Givarna placerades i mitten av rummet på ett bord med ca 50 cm höjd.
- Position 4: Givarna placerades intill spisplattor med 20 cm från vägg och 100 cm höjd.
- Position 5: Givarna placerades i anslutning mellan vardagsrum och hall på golvet.
- Position 6: Givarna placerades med 30 cm avstånd från båda väggarna med ca 70 cm höjd.

9.2.7 Givare - beskrivning

Givare som är utplacerade på position 1 – 6 mäter temperatur och relativ fuktighet. Data har mätts för varje sekund under testerna. Modellen för mätning med logger-givare är:

HOBO U12 Temperature/Relative Humidity Data Logger - U12-011.

Den mäter en temperatur mellan -20° till 70° med ett mätfel på $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$. För relativ fuktighet mäter den med ett mätfel på $\pm 2.5\%$ (Onset, 2014).

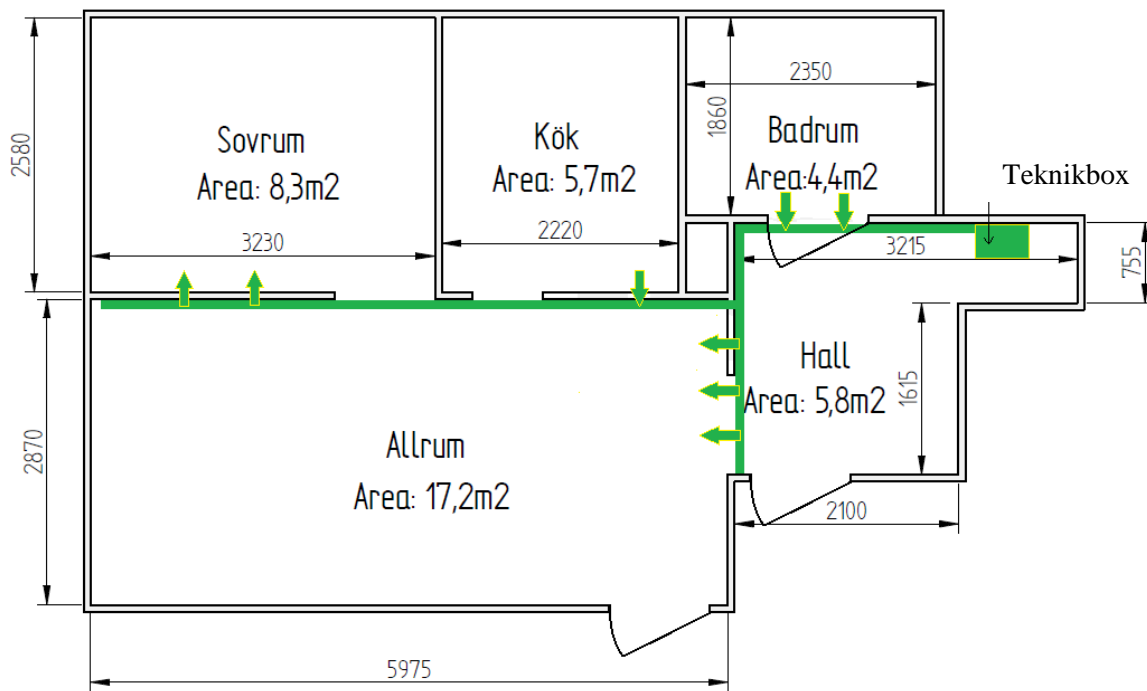
Korreakta värden på fukttillskott har av tekniska skäl inte kunnat tas fram av Swegon i samband med laborationer. Detta har istället beräknats fram approximativt. Genom att först beräkna ånghalten under ett tillfälle där ingen aktivitet förekommit i lägenheten under en längre period och sedan göra detsamma under aktiviteterna kan man få den ånghaltdifferens som approximativt motsvarar fukttillskottet. Eftersom värden för både RH och temperaturen har loggats går det att beräkna ånghalten enligt $v = RH \cdot v_s$.

iAQ-100 givare är utplacerade på position 1 – 6 och mäter VOC-halter. För tester som utfärdats 25:e februari, 4:e mars och 6:e mars har data loggats var femte minut. För tester som utförts den 26:e mars har data loggats var femte sekund under testets gång. Tydligare beskrivning av iAQ-100 finns i kapitel 4.3.

I teknikboxen har iAQ-100 givare använts för att mäta VOC-halter. För fukthalter har en fuktgivare med modellnamnet HTDT2500(420) använts. Denna mäter relativ fukthalt mellan 5- 95 % och tydligare beskrivning finns i kapitel 4.4.

9.2.8 Installationsystem

Swegons installationssystem, wise apartment solution, har installerats i testlägenheten enligt figur 18. I sovrum finns två tilluftsdon, i kök finns ett frånluftsdon, i badrum finns två frånluftsdon och i vardagsrum finns tre tilluftsdon.



Figur 18: Ventilationskanaler, grönmarkerade i planritning för testlägenheten

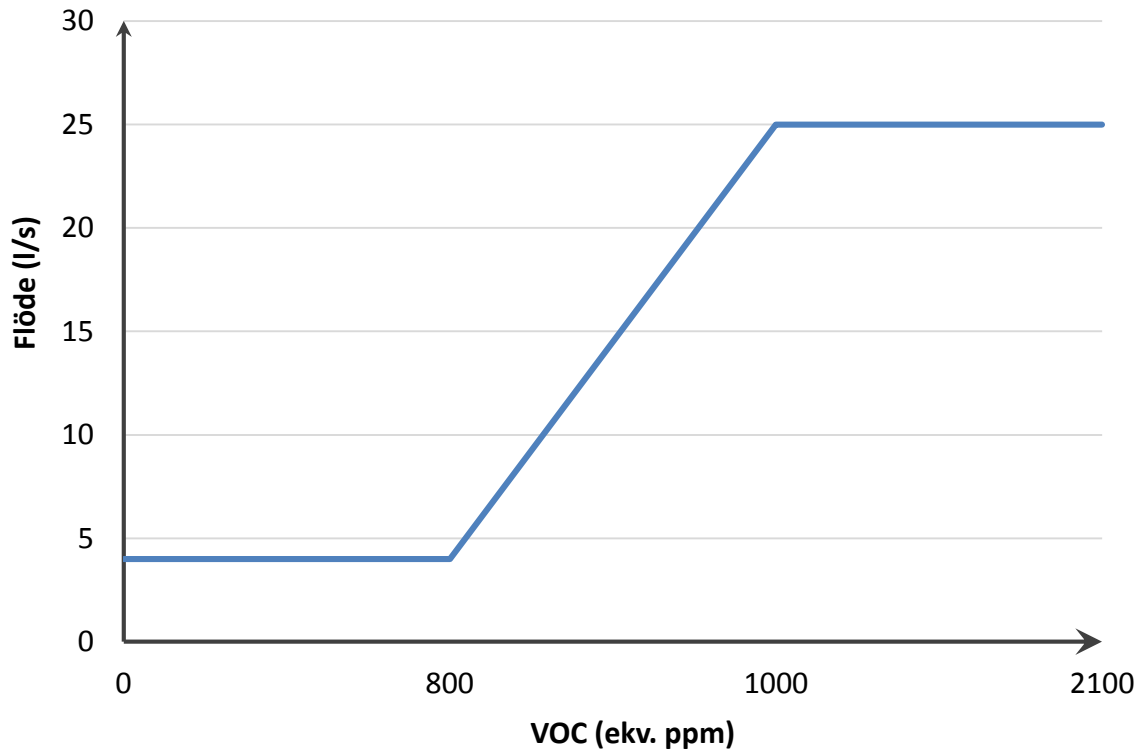
De grönmarkerade strecken i figur 18 föreställer dragning för från- och tilluftskanaler. Kanalerna är dragna från taket i industri lokalen som testlägenheten befinner sig i. Från taket dras kanalerna ner till teknikboxen och sedan in i testlägenheten enligt ovan. Pilarna illustrerar från- och tilluftsdonens placering.

Luftflödet styrs genom att mäta differensen för luftfuktigheten mellan till- och frånluften. För luftfuktigheten mäts differensen mellan mätvärde för givare i teknikboxen (frånluft) och mätvärde för givare placerad i tilluftskanalen en meter innan uteluften når teknikboxen.

9.3 Flödesvariation

Flödet i testlägenheten är av Swegon inställt att variera mellan 4-25 l/s. Flödet varierar linjärt med avseende på VOC-halten (se figur 19). Gränsvärdena för VOC är av Swegon förinställda på 800-1000 ekv. ppm och det är i det här intervallet som flödet regleras efter.

Flödesvariation med avseende på VOC-halt



Figur 19: Visar hur WISE Apartment Solution är förinställt vad gäller flödesreglering med avseende på styrparametern VOC.

Detta betyder att inom intervallet 800-1000 ekv. ppm så är lutningen: $\frac{25-4}{1000-800} = 0,095 \text{ l/s, ppm}$

Sammanfattningsvis gäller följande flödesreglering med avseende på VOC:

VOC < 800 ekv. ppm:	Flöde = 4 l/s
800 < VOC < 1000 ekv. ppm:	Flöde = 4 l/s + 0.095 l/s,ppm
VOC > 1000 ekv. ppm:	Flöde = 25 l/s

I övrigt gäller även följande:

$VOC_{\text{tilluft}} > VOC_{\text{frånluft}} \rightarrow$ Flödet begränsat till minimiflöde.

Flödesregleringen med avseende på fukt sker enligt en PI-regulator. Regulatorn har alltså två element, en proportionerlig del och en integrerande del. Eftersom djupare analys i reglerteknik behövs för att vidare undersöka detta på ett utförligt sätt lämnas det utanför det här arbetet. Själva gränsvärdet som regulatorn arbetar efter är ett fukttillskott på 4 g/m^3 . När det här gränsvärdet överskrids, då ökar även luftflödet tills maxflöde uppnås. Så länge gränsvärdet är överskridet råder maxflöde och när det underskrids regleras flödet nedåt med tiden.

9.4 Variation av förutsättningar

För varje test utförs en enskild aktivitet. Förutsättningar varierar för testerna är:

- Installationssystemets min- och maxflöden är inställda till 4 l/s respektive 25 l/s om inte annat anges. Med en area på 41,4 m² motsvarar flödena 0,097 l/(s·m²) och 0,6 l/(s·m²).
- Alla dörrar är stängda om inte annat anges.
- RF-loggrarna loggar mätdata varje sekund.
- Av tekniska skäl har teknikboxen och VOC-givarna endast loggat mätdata var 5:e minut under de första sju aktiviteterna, men detta ändras till var 5:e sekund under de tre sista aktiviteterna.

9.5 Resultat

9.5.1 Personnärvaro samt luftfräschare - sprayning 1

9.5.1.1 Motivering och utförande

Personnärvaro testas för att undersöka om BBR:s krav uppfylls angående minsta luftflöde vid närvaro som skall vara minst vara 0,35 l/(s·m²). Testet utförs med tre personer närvarande i 51 minuter. Luftfräschare som är till för att skapa en god lukt efter ett toalettbesök är resonerbart en vanligt förekommande produkt. Det här testet utförs i första för att undersöka systemets reaktivitet på luftföroreningar såsom kemiska ämnen från luftfräschare. För det här testet sprayades det sju gånger med luftfräscharen. Sprayen som användes heter ”Maxi-Plus aerosols” och har följande innehåll enligt innehållsförteckning: citronellyl, methylcrotonatel, anti-microbial (Hygienvision).

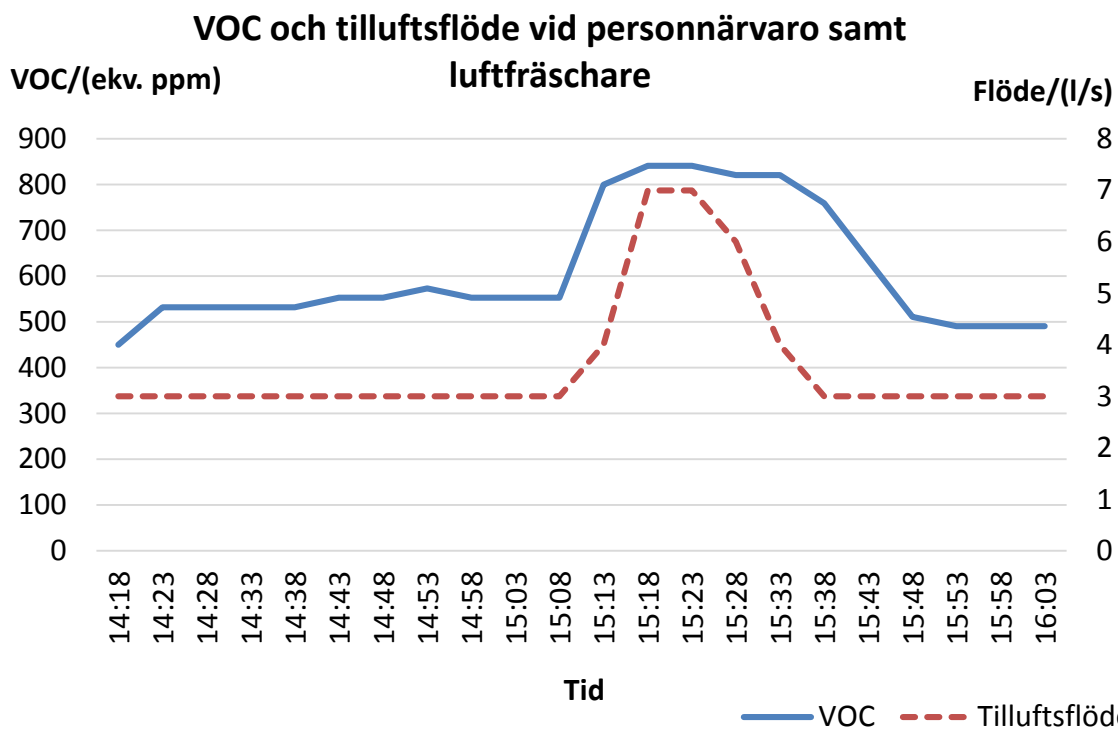
9.5.1.2 Tidsschema

Detaljerad beskrivning för utförandet följer i tabell 4.

Tabell 4: Schema för personnärvaro samt luftfräschare

14:20	Tre personer närvarande.
15:11	Sju sprejningar av luftfräschare i badrummet.
15:25	Lukten börjar sprida sig till vardagsrummet.
15:40	Badrumsdörr öppnas för att vädra ut lukten.
16:00	Test avslutas.

9.5.1.3 Resultat och kommentarer



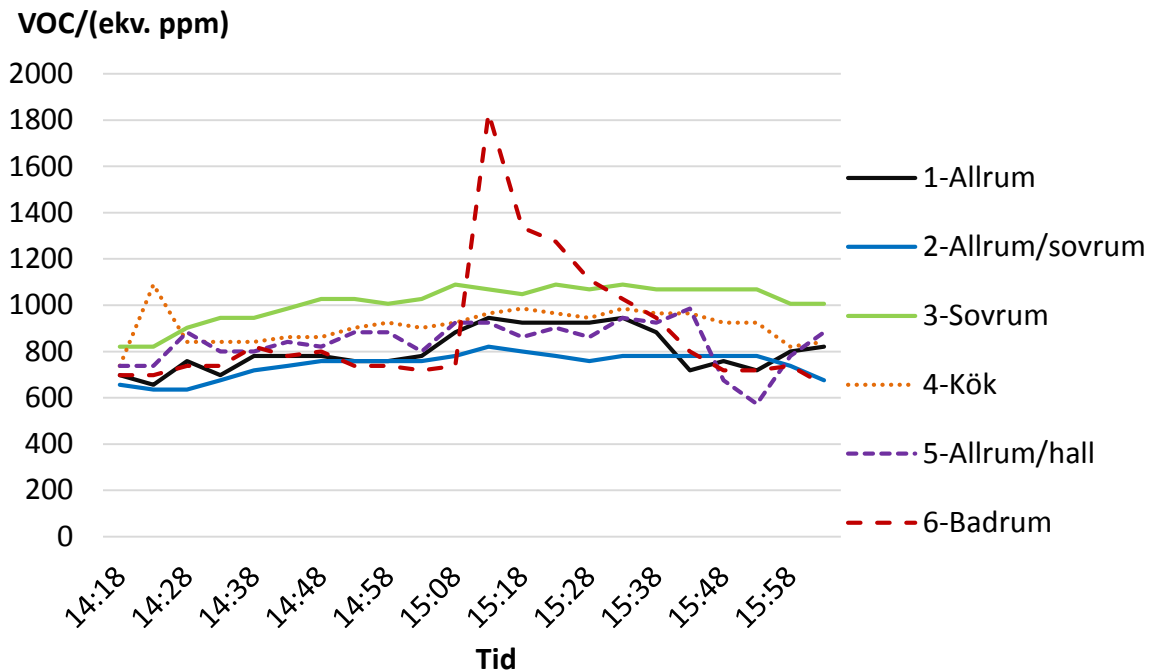
Figur 20: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av luftfräschare.

Närvaro av tre personer verkar inte ha någon signifikant påverkan på VOC-halten och därmed systemet. Detta tydliggörs i figur 20 då endast en ökning på 40 ekv. ppm uppnås då tre personer är närvarande. Däremot uppstår en tydlig VOC-belastning i teknikboxen vid sprayning. Sprayningen utfördes kl 15:11. I figur 20 ser vi hur VOC-halten tydligt ökar från 550 ekv. ppm kl 15:08 till 800 ekv. ppm kl 15:13. Halten når sin topp vid 841 ekv. ppm kl 15:23 för att sedan minska kl 15:38. När badrumsdörren öppnas kl. 15:40 syns det tydligt att VOC-halten avtar snabbare än tidigare.

I figur 20 ser vi också att ventilationssystemet inte har reagerat vid närvaro av tre personer under 51 minuter. Vi ser att kl 15:13 då halten är 800 ekv ppm så är flödet 4 l/s. Kl 15:18 då VOC-halten är 841 ekv. ppm är flödet 7 l/s.

Enligt RF-mätningar uppstår inte någon fuktbelastning varför vi inte fortsätter att studera hur fukt påverkar systemet i detta test.

Personnärvaro samt luftfräschare - VOC - alla givare



Figur 21: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av luftfräschare.

I figur 21 ser vi att givare 1 i vardagsrummet inte har gett något signifikant utslag för VOC. Den uppmätta VOC-halten i badrummet (givare 6) når upp till 1831 ekv. ppm kl 15:13. En halt som inte teknikboxens givare uppmätt, utan endast 841 ekv. ppm. Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är $1831 - 841 = 990$ ekv. ppm.

Ventilationsflödet når sin topp vid kl 15:18, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså upp till 5 minuter i det här fallet.

I figur 21 ser vi även att VOC-halterna för resterande givare inte är påverkade i samma grad som badrummets givare, nr 6.

9.5.1.4 Upplevelse

Trots att det sprayades i badrummet luktade det mycket starkt (5/5) i resten av lägenheten då badrumsdörren öppnades, förutom i sovrummet, där det luktade starkt (4/5).

9.5.2 Deodorant-test

9.5.2.1 Motivering och utförande

AXE-spray är en typ av deodorant för män och kan vara en vanligt förekommande produkt. Det här testet utförs för att undersöka systemets reaktivitet på luftföroreningar såsom kemiska ämnen från en deodorant. Sprayen som användes är en typ av deodorant som har följande innehållsförteckning (se bilaga 2): alcohol denat, isobutane, propane, parfum, propylene, glycol, polyaminopropyl, biguanide stearate, alpha-isomethyl lonone, benzyl, benzoate, buthylphenyl metnylpropional, citral, coumarin, limonene, linalool.

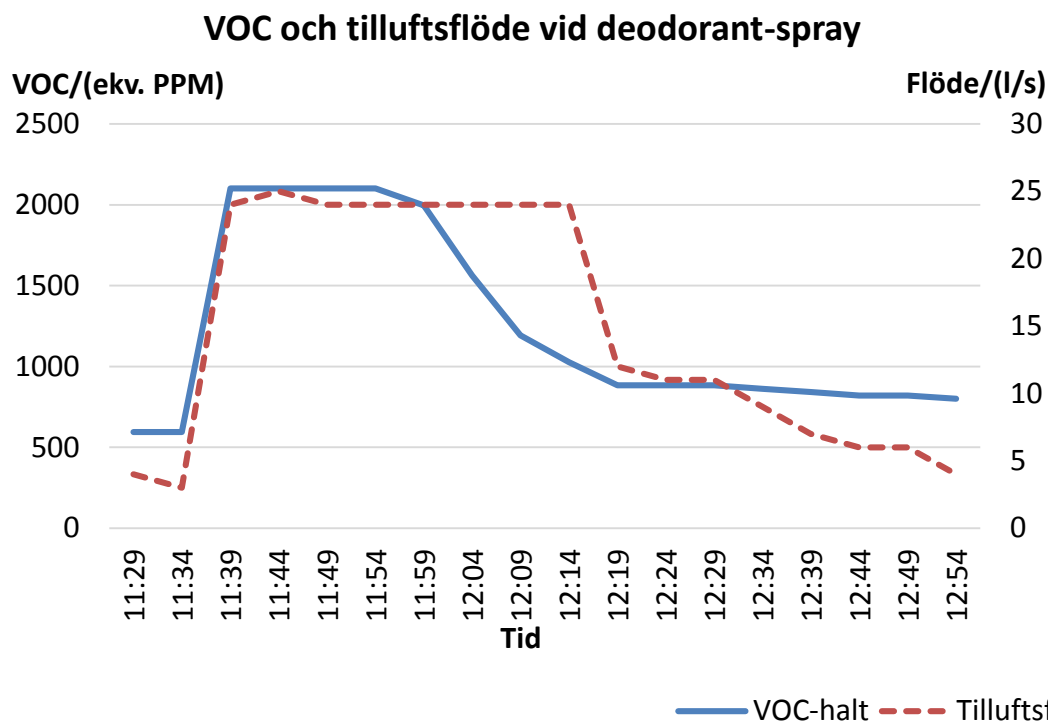
9.5.2.2 Tidsschema

Detaljerad beskrivning av utförandet följer i tabell 5.

Tabell 5: Schema för deodoranttest.

11:15	Två personer närvarande i lägenheten.
11:36	Deodorant sprayades i badrum.
12:18	Ingen närvaro i lägenheten.
12:41	Två personer närvarande i lägenheten.
12:58	Test avslutas.

9.5.2.3 Resultat och kommentarer

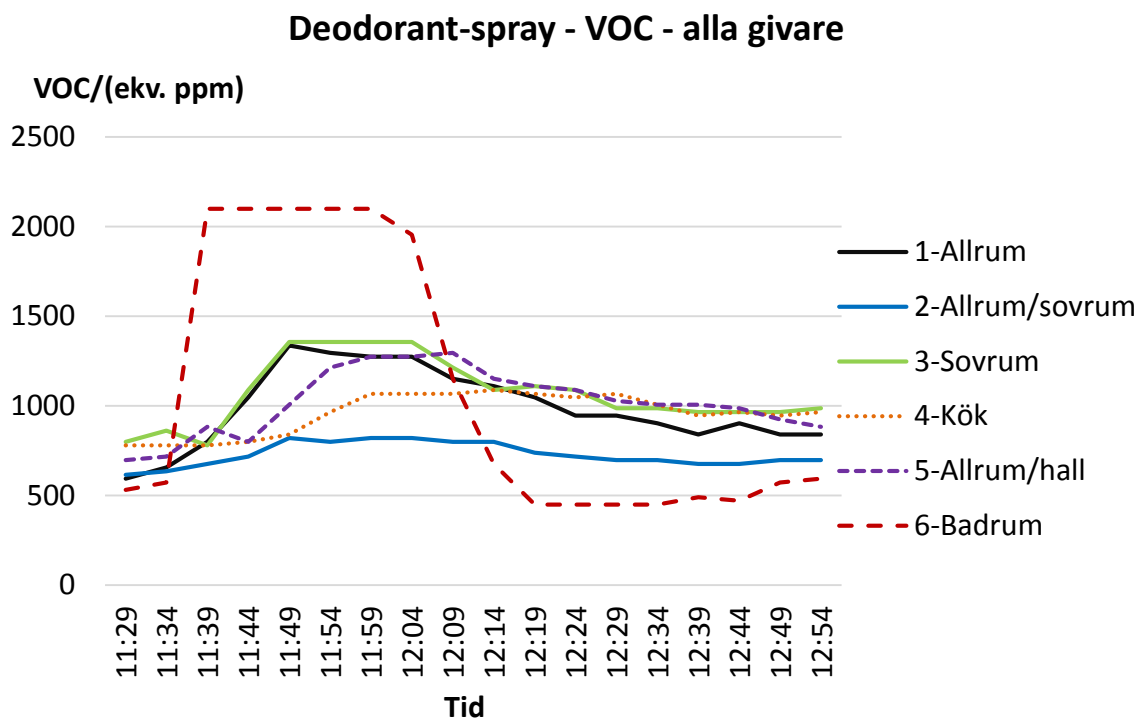


Figur 22: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av deodorant-spray.

För deodorant testet ser vi i figur 22 att VOC-halten i teknikboxen uppnår sin maxgräns på 2100 ekv. ppm. Detta innebär att den verkliga halten i teknikboxen kan vara högre. Kl 11:34 är VOC-halten 594 ekv. ppm. Kl 11:36 sker deodorant-sprayningen i badrummet med stängd dörr och sedan sker ventilation hela tiden med stängd dörr. I den här figuren syns den klassiska formen av en exponentialfunktion mycket tydligt, med snabbt avtagande av VOC-halt till en början vid ca kl 12:00 för att sedan dämpas vid ca kl 12:15.

I figur 22 ser vi hur systemet varierar luftflödet med avseende på uppmätt VOC-halt. Vi ser att kl 11:34 då halten är 594 ekv. ppm så är flödet 3 l/s. Kl 11:39 då VOC-halten är 2100 ekv. ppm är flödet 24 l/s. Tilluftsflödet följer VOC-kurvan tydligt vid ökning av VOC-halt. Ventilationen av maxflöde pågår dock så länge VOC-halten är över 1000 ekv. ppm.

Enligt testresultat uppstår inte någon typ av fuktbelastning varför vi inte fortsätter att studera hur fukt påverkar systemet i detta test.



Figur 23: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av deodorant-spray.

I figur 23 ser vi uppmätta värden för givarna 1 – 6. Givare 6 som ligger i badrummet ökar väldigt tydligt i samband med teknikboxens reaktion på ökat utslag från VOC-givaren. Kl. 11:34 är värdet för givare 6, 573 ekv. ppm. Samma tid är värdet för teknikboxen 594 ekv. ppm. Kl. 11:39 är värdet för både teknikboxen och givare 6, 2100 ekv. ppm, dvs. maximerat värde för givarna. Skillnaden mellan maximala utslaget vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är alltså noll i det här fallet. Ventilationsflödet når sin topp vid kl 11:39, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså under 5 minuter i det här fallet. En ökning av VOC-halterna för resterande positioner 1 – 5 kan också läsas av.

9.5.2.4 Upplevelse

I detta test sprayades också i badrummet och en väldigt stark lukt (5/5) upplevdes i badrummet. En bedömning gjordes till väldigt svag lukt (2/5) i resten av lägenheten.

9.5.3 Duschning

9.5.3.1 Motivering och utförande

I alla bostäder förekommer duschning. Det är en aktivitet som resulterar i en hög fuktbelastning som måste kunna hanteras av ventilationssystemet. Eftersom ingående material är av spånskivor i testlägenheten så kan inte fuktbelastning under testets gång tillåtas att bli alltför hög under en lång period. Risken finns att ingående material blir fuktskadade.

9.5.3.2 Tidsschema

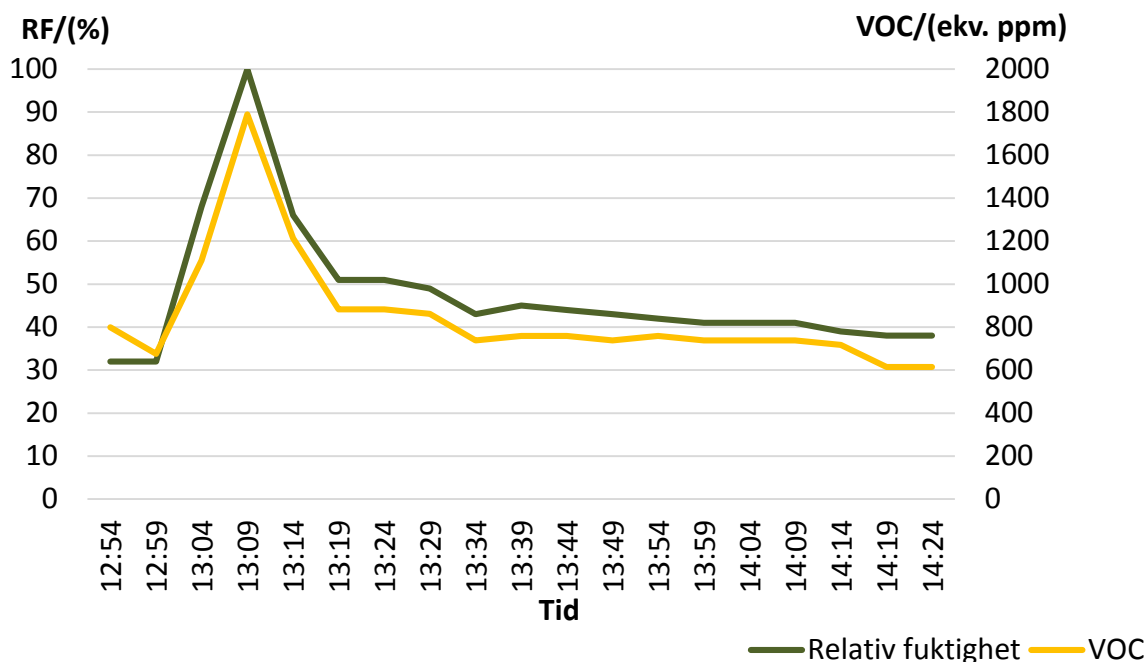
Detaljerad beskrivning av utförandet följer i tabell 6.

Tabell 6: Schema för duschning.

13:02	Startade dusch i toalett med varmt vatten, 45 °C.
13:09	Stängde av dusch.
13:11	Öppnade badrumsdörren 90 grader. Två personer närvarande i vardagsrummet.
13:58	Ingen närvaro.
14:20	Test avslutas.

9.5.3.3 Resultat och kommentarer

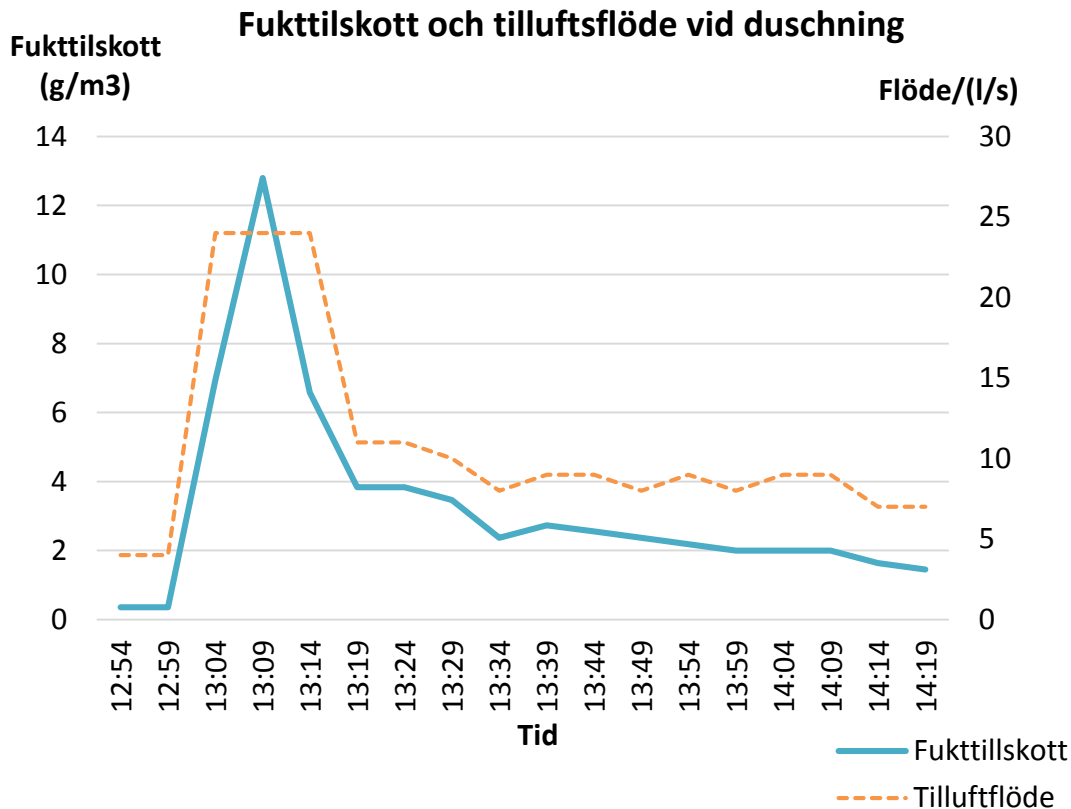
Relativ fuktighet och VOC vid duschning



Figur 24: Relativ fuktighet och VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal.

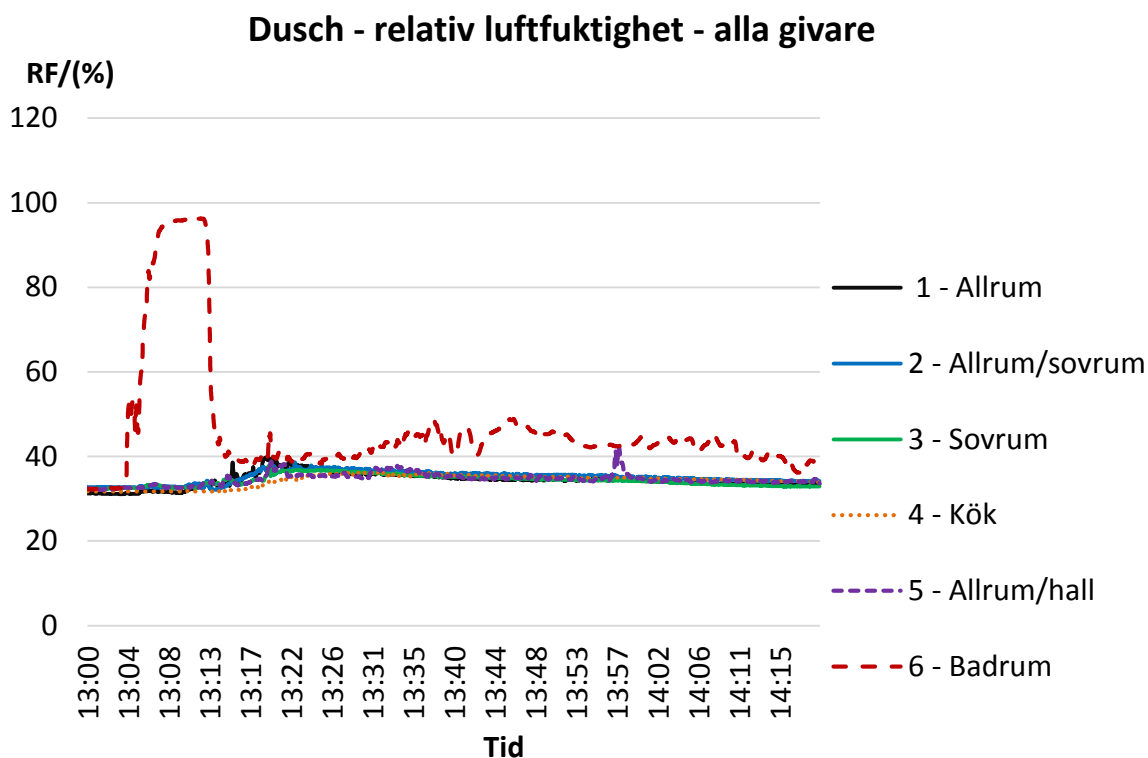
I figur 24 ser vi att kl. 12:59 är VOC-halten 676 ekv. ppm i teknikboxen. Kl. 13:02 startades duschen med 45°C varmt vatten och var på i sju minuter. Kl. 13:09 var VOC-halten 1790 ekv. ppm. Två minuter senare öppnades badrumsdörren (för att undvika skador i ingående material i testlägenheten). VOC-halten sjönk då direkt till 883 ekv. ppm kl 13:19. Med öppen dörr ventilerades 907 ekv. ppm bort på ca 10 minuter. Det här testet indikerar att VOC-givaren iAQ-100 reagerar på fukt.

Den relativa luftfuktigheten som vi också kan läsa av för dusch-testet i figur 24 följer samma kurva som VOC-halten. Kl 12:59 är RH-halten 30 %. Kl 13:09 är RH-halten 100 % och 13:19 har RH-halten sjunkit till 51 %.



Figur 25: Fukttillskott teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av duschning.

I figur 25 ser vi att då fukttillskottet överstiger 4 g/m³ kl. 12:59 börjar luftflödet öka linjärt från 4 l/s till 24 l/s. Kl. 13:04 är fukttillskottet 6,9 g/m³ och då är luftflödet 24 l/s. Kl. 13:09 uppnås 100 % RH vilket motsvarar 12,8 g/m³. Sedan minskar fukttillskottet och ventilationsflödet följer en gradvis sänkning. Duschen startades kl.13:02 men eftersom att mätningar bara gjorts för var femte minut kan ingen tydlig bild hämtas på hur fukttillskottet ökat i frånluften precis vid tidpunkten då duschen sattes igång.



Figur 26: Relativ luftfuktighet i givare 1 - 6 över tid för test av duschning.

I figur 26 ser vi att givare 6 som ligger i badrummet ökar från 35 % RH kl. 13:04 till 93 % RH kl. 13:07 och 96 % kl. 13:11. Vid denna tidpunkt öppnas badrumsdörren och den relativa fuktigheten sjönk till 50 % på två minuter. I diagrammet kan det även läsas av att då den relativa fuktigheten sjunker för badrummet (badrumsdörren öppnas) så ökar RH-halten i resterande rum med ungefär 5 %. En något högre relativ fuktighet har alltså uppmätts i teknikboxen jämfört med i badrummet. Ventilationsflödet når sin topp vid 13:04, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså ca 5 minuter i det här fallet.

9.5.3.4 Upplevelse

Vid utförande av duschtestet upplevdes ingen lukt alls (1/5) i lägenheten. Inte heller kunde någon upplevelse av ökande luftfuktighet kännas av.

9.5.4 Stekning av ägg

9.5.4.1 Motivering och utförande

Att steka ägg kan förekomma vid tillagning av frukost. Det kan vara en vanlig aktivitet där förbränning av organiska ämnen sker. Ägg har ett förhållandevis högt vatteninnehåll, ca. 88 % av äggvitan och 50 % av äggulan utgörs av vatten (Svenska Lantägg, 2014). Eftersom det totalt sett ändå rör sig om ganska små vattenmängder i förhållande till rumsluften och det förmodligen inte är allt vatten som förångas bör den relativa fuktigheten i luften inte påverkas nämnvärt. Vid spridning av VOC-gaser och ånga bör ventilationssystemet kunna ventileras bort detta och tillföra ren tilluft.

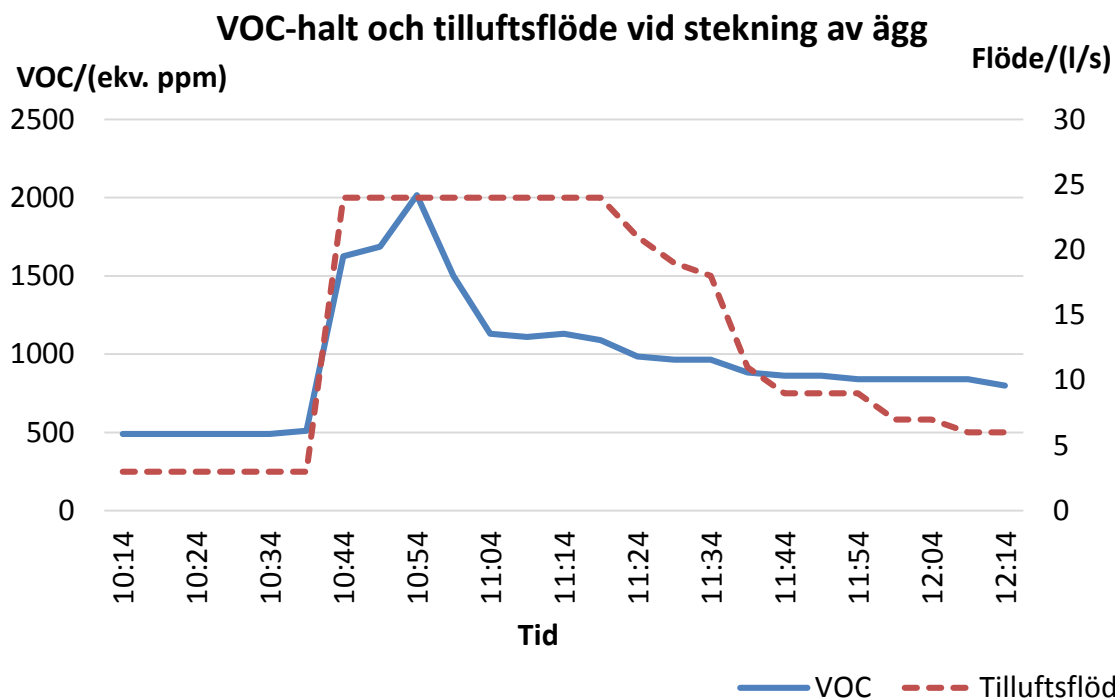
9.5.4.2 Tidsschema

Detaljerad beskrivning av utförandet följer i tabell 7.

Tabell 7: Schema för stekning av ägg.

10:15	Två personer närvarande
10:38	Starta spis, olja och tre ägg på stekpanna
10:46	Bort med stekpanna från spis
11:00	Ingen närvaro i lägenhet och dem stekta togs ut ur lägenhet.
11:05	Två personer närvarande.
12:05	Test avslutas.

9.5.4.3 Resultat och kommentarer



Figur 27: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av stekning av två ägg.

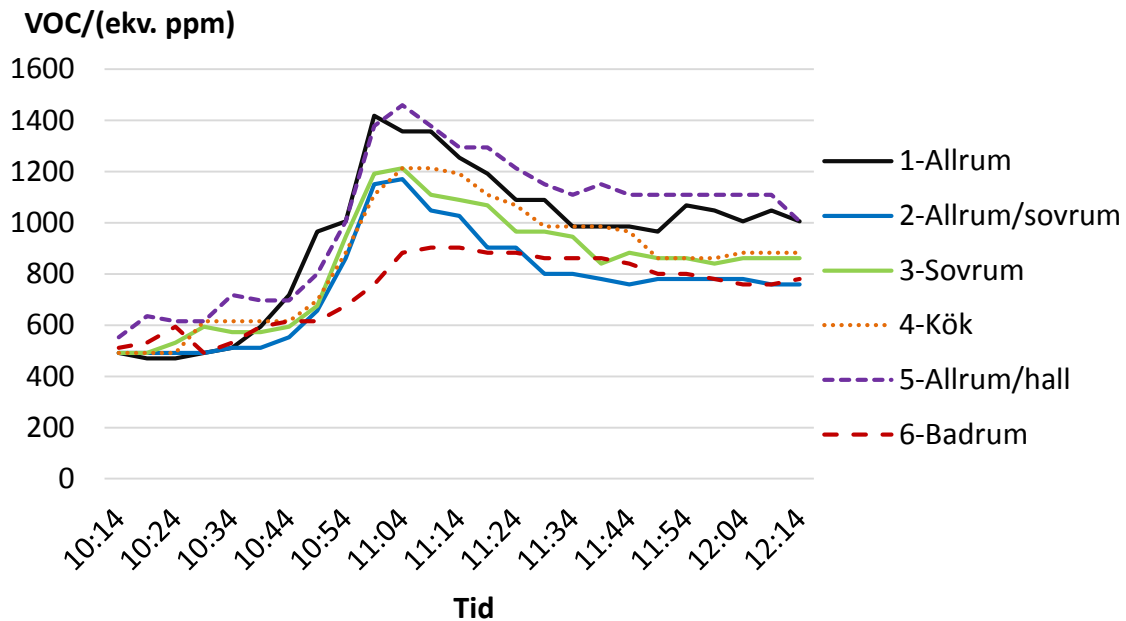
I figur 27 ser vi att kl. 10:38 då testet precis börjar är VOC-halten i frånluften 511 ekv. ppm. Sex minuter efter att äggen läggs på stekpannan har halten ökat till 1625 ekv. ppm för att sedan nå en topp på 2017 ekv. ppm kl. 10:54. Kl 12:14 har VOC-halten sjunkit till 800 ekv. ppm i frånluften.

Kl. 12:38 då testet sätter igång ser vi i figur 27 att då VOC-halten är 511 ekv. ppm så är tilluftsflödet 3 l/s. Under sex minuter som VOC-halten stiger till 1625 ekv. ppm ökar tilluftsflödet till maxflöde. Tilluften håller 24 l/s ända fram till kl. 11:19 då VOC-halten börjar understiga 1000 ekv. ppm. Då stegar tilluftsflödet ner i lägre flödes hastighet med avseende på VOC-halten minskar.

Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är ca $2000 - 1200 = 800$ ekv. ppm, alltså högre i teknikboxen. Ventilationsflödet når sin topp vid 10:44 medan högsta uppmätta värde vid närmsta givare nås vid 11:04, därmed uppkommer ingen fördröjning enligt angiven definition i detta fall.

Enligt RF-mätningar uppstår en fuktbelastning som är mätbar till 6 % skillnad i relativ fuktighet. Från 30 % till 36 %. Med en konstant temperatur 20 grader ger detta ett fuktillskott på 1 g/m^3 . Vilket inte är tillräckligt för att påverka systemet.

Stekning av ägg - VOC - alla givare



Figur 28: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av stekning av två ägg.

I figur 28 ser vi att det sker en tydlig spridning av VOC-gaser till resterande rum från kök där två ägg steks. Kl. 10:39 steks äggen och vi ser en omedelbar ökning i resterande rum på ungefär 400 – 1000 ekv. ppm.

9.5.4.4 Upplevelse

Vid stekning av tre ägg kunde en upplevelse av stark lukt (4/5) kännas direkt i hela lägenheten förutom i badrum där lukten var ingen alls (1/5) och i sovrummet där lukten var svag (3/5).

9.5.5 Fönster- och golvrengöring

9.5.5.1 Motivering och utförande

Vid städning i hemmet förekommer olika typer av kemikalier i olika mängder. I detta test valdes ett rengöringsmedel vid namnet, *W5 chlorine hygiene spray*, se bilaga 2. Testet utförs i vardagsrum och kök där de två stora fönstren samt golvet i vardagsrummet samt några partier i köket som t.ex. spis rengörs med ovan angivna rengöringsmedel. Klorin - test där produkten *W5 chlorine hygiene spray* användes har följande innehållsförteckning: mindre än 5 % klorbaserat blekmedel, nonjontensider.

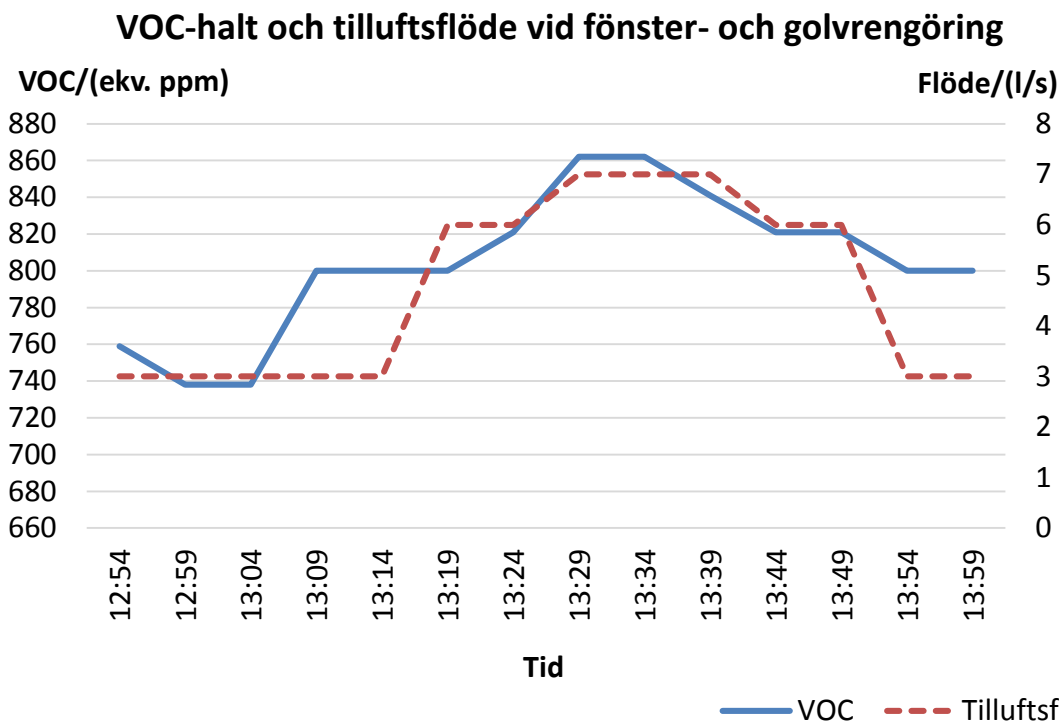
9.5.5.2 Tidsschema

Detaljerad beskrivning av utförandet följer i tabell 8.

Tabell 8: Schema för klorin.

12:35	Två personer närvarande i lägenheten. Två personer äter lunch i vardagsrummet.
13:00	<i>W5 chlorine hygiene spray</i> sprejades och torkades i vardagsrum på fönsterparti
13:07	<i>W5 chlorine hygiene spray</i> sprejades på golv för att öka belastning och i köket på metallytor.
13:45	Test avslutas.

9.5.5.3 Resultat och kommentarer



Figur 29: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av fönster- och golvrengöring.

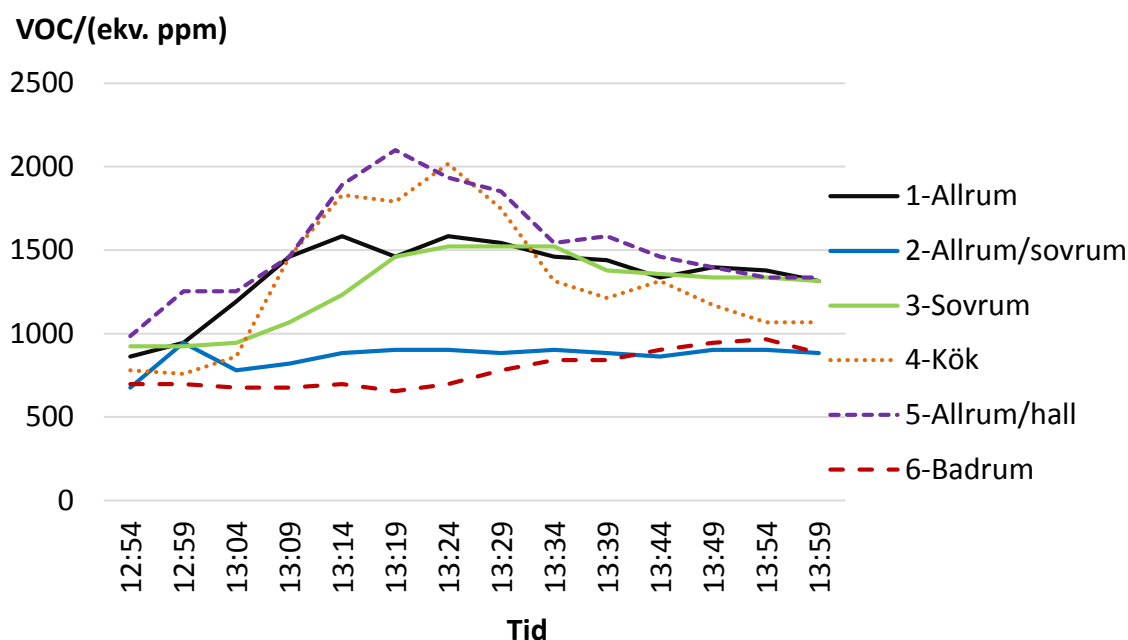
I figur 29 ser vi att VOC-halten är 738 ekv. ppm kl. 12:59. Kl. 13:00 sprejas medlet på fönsterparti i vardagsrum och sedan städas ytor. Kl. 13:07 sprejas även golv i vardagsrum och ytor i kök. Vid detta tillfälle så ökar VOC-halten till 800 ekv. ppm kl. 13:09. En topp nås kl. 13:34 som är 862 ekv. ppm. 13:59 har halten i frånluften återgått till 800 ekv. ppm.

I figur 29 ökar tilluftsflödet kl. 13:14 från 3 l/s till 6 l/s kl. 13:19 även och VOC-halten är 800 ekv. ppm under båda tidpunkterna. Därefter ökar VOC-halten till en topp på 862 ekv. ppm och flödet till 7 l/s.

Enligt RF-mätningar uppstår inte någon typ av fuktbelastning varför vi inte fortsätter att studera hur fukt påverkar systemet i detta test.

Enligt RF-mätningar ökar endast den relativa fukthalten med 1 % i frånluften som strömmar genom teknikboxen. Denna ökning anses inte signifikant nog att vidareundersöka i detta scenario.

Fönster- och golvrengöring - VOC - alla givare



Figur 30: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av fönster- och golvrengöring.

I figur 30 ser vi att givarna utplacerade i lägenheten påverkas av den VOC-belastning som sker i vardagsrummet (givare 2). Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är ca $2000 - 860 = 1140$ ekv. ppm. Högsta uppmätta halt vid närmsta givare uppnås 13:19. Ventilationsflödet når sin topp vid 13:29, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså ca 10 minuter i det här fallet. Det är dock knappt någon skillnad i sovrummet. I badrummet (givare 6) är skillnaden också väldigt liten och reaktionsförmågan är inte lika stor som i dem andra givarnas placering.

9.5.5.4 Upplevelse

Efter att klor sprayen sprayats i lägenheten kunde en mycket stark lukt (4/5) bedömas under hela testets gång i hela lägenheten förutom i badrum och sovrum där lukten bedömdes att vara svag (3/5).

9.5.6 Cigaretrökning

9.5.6.1 Motivering och utförande

Cigaretrökning är något som fortfarande förekommer i vårt samhälle och inte minst inomhus i bostäder. Att testa hur ventilationssystemet ventilerar bort cigaretrök är viktigt ur den aspekten att det påverkar hälsan för andra brukare i hemmet genom passiv rökning om systemet inte uppfyller sin uppgift. Utförande av cigarett - test gjordes med två cigaretter av svenska Marlboro röda.

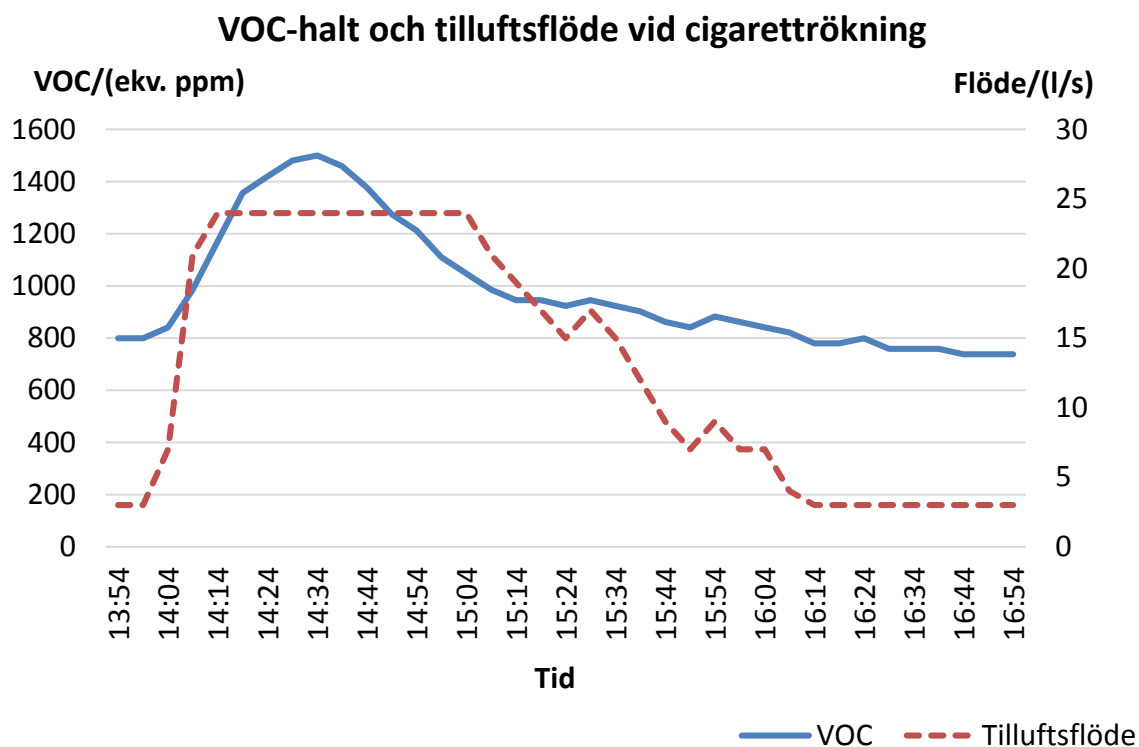
9.5.6.2 Tidsschema

Detaljerad beskrivning av utförandet följer i tabell 9.

Tabell 9: Schema för cigaretrökning.

14:00	Två personer närvarande och två cigaretter tänds.
14:45	Ingen närvaro.
15:00	Två personer närvarande.
15:30	Test avslutas.

9.5.6.3 Resultat och kommentarer



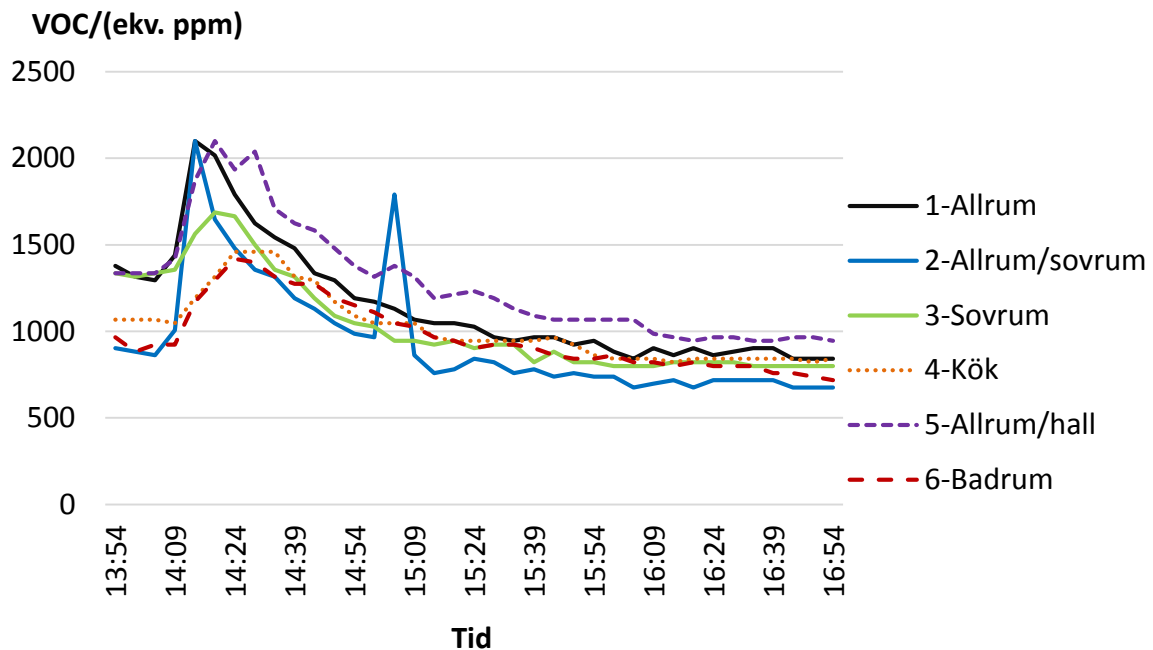
Figur 31: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av cigarettrökning.

I figur 31 ser vi att VOC-halten ökar från 800 ekv. ppm kl. 13:59 till 1501 kl. 14:34. Det är i samma stund som ökning sker, två cigaretter tänds. Efter det att toppen nåtts dröjer det fram till kl. 16:24 innan VOC-halten är nere på 800 ekv. ppm igen.

I tilluftsflödet följer gränsvärdena 800 – 1000 ekv. ppm för VOC-halten. I figur 31 ser vi att vid 800 ekv. ppm är flöde 3 l/s och vid 1171 ekv. ppm kl. 14:14 är flödet 24 l/s. En topp nås kl. 14:34 på 1501 ekv. ppm. Därefter sänks VOC-halten och så fort den understiger 1000 ekv. ppm börjar tilluftsflödet att avta.

Enligt RF-mätningar ökar endast den relativa fukthalten med 1 % i frånluften som strömmar genom teknikboxen. Denna ökning anses inte signifikant nog att vidareundersöka i detta scenario.

Cigarettökning - VOC - alla givare



Figur 32: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av cigarettökning.

I figur 32 ser vi hur givare 1 – 6 påverkas av cigarett röken. Kök och badrum i mindre skala än resterande rum. Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är ca $2100 - 1500 = 600$ ekv. ppm. Högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare uppnås vid 14:14. Ventilationsflödet når sin topp vid 14:14, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså under 5 minuter i det här fallet.

9.5.6.4 Upplevelse

Vid test av rökning upplevdes lukten som mycket stark (5/5) i lägenheten förutom i badrum och kök där lukten var svag (3/5).

9.5.7 Skalande av apelsiner

9.5.7.1 Motivering och utförande

Apelsiner är en produkt som innehåller organiska ämnen och avger ett ämne som heter limonen (Öhlund, 2005). Anledning till att ett test görs på hur VOC-givaren i teknikboxen reagerar på skalande av apelsiner är att jämföra systemets reaktivitet på en ofarlig kemikalie i jämförelse av farligare VOC. Det kan vara onödigt med hänsyn till energieffektiviteten om systemet ventilerar över en längre tid för ofarliga VOC. Testet bör även visa hur lukten från apelsiner sprider sig i testlägenheten.

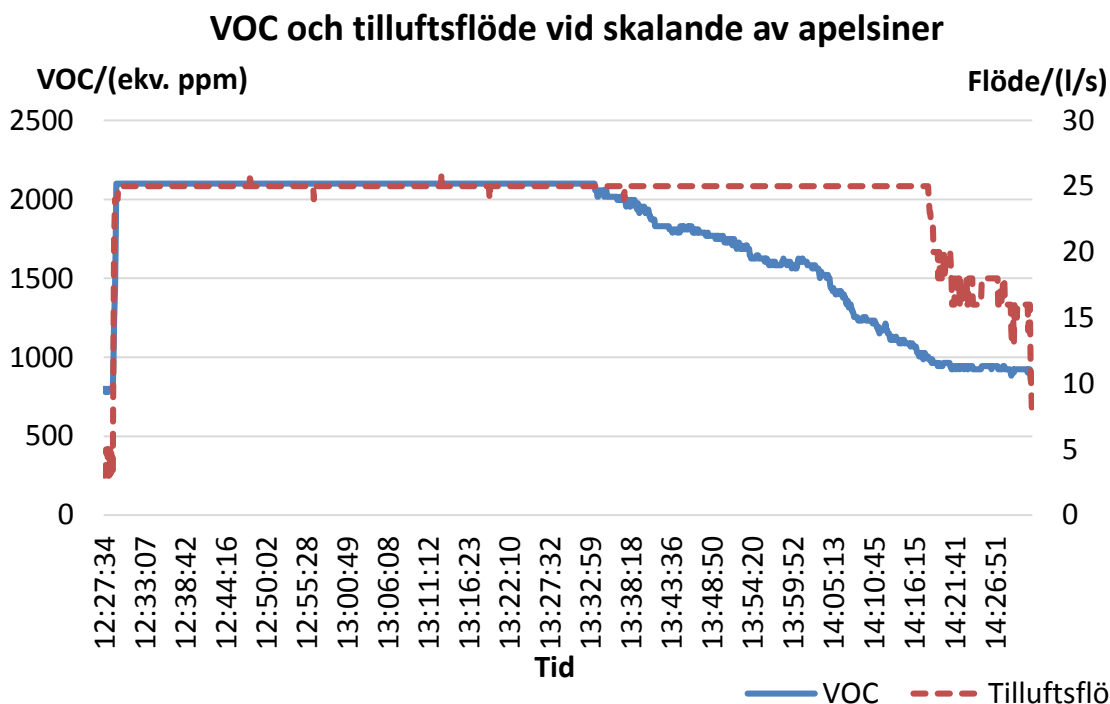
9.5.7.2 Tidsschema

Ett apelsintest utfördes enligt nedanstående detaljerad beskrivning i tabell 10.

Tabell 10: Schema för skalande av apelsiner.

12:30	Två personer närvarande i lägenheten. Fyra apelsiner skalas i köksutrymmet. Skal slängs på golv för att skapa en stor belastning av misstänkt VOC från apelsiner.
12:40	Apelsinskal från golv städas undan.
12:27	Ingen närvaro.
13:42	Två personer närvarande.
13:58	Alla tre dörrar (två entré och en badrum) öppnas helt.
14:32	Öka minflödet från 4 l/s till 20l/s

9.5.7.3 Resultat och kommentarer



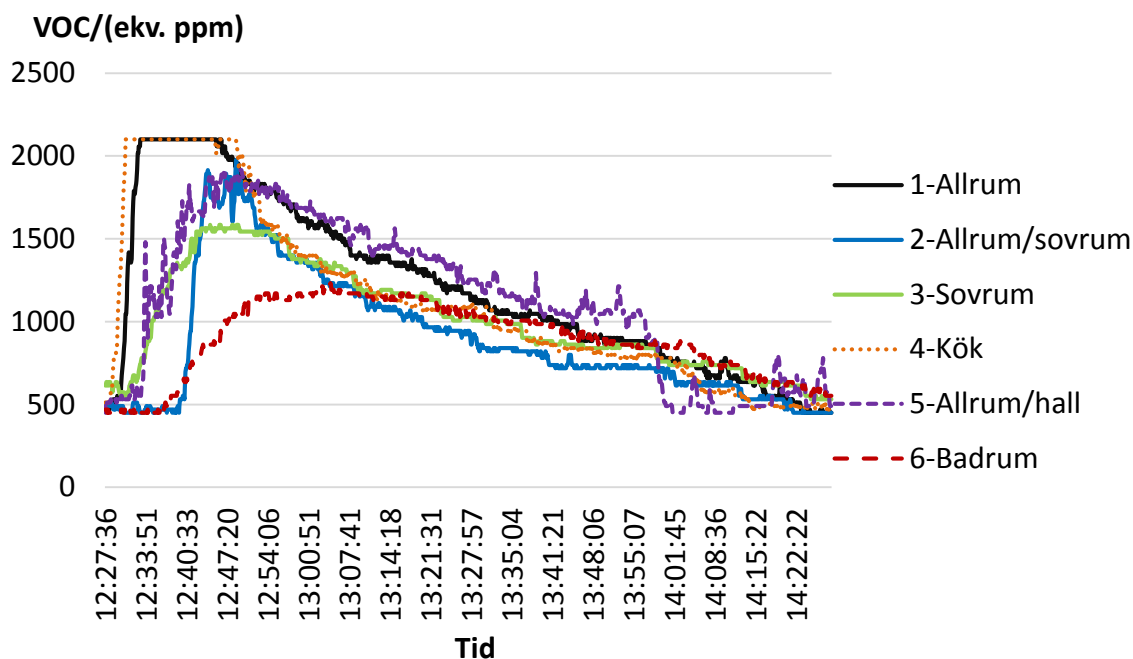
Figur 33: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftflöde över tid för test av skalande av apelsiner.

Fyra apelsiner skalades i köket och skalet slängdes på golvet för att ge en större belastning. I figur 33 ser vi att VOC-givaren i teknikboxen reagerade på belastningen. Kl. 12:29 så blir VOC-halten maximal för vad VOC-givaren kan mäta, 2100 ekv. ppm. Alltså kan inte det verkliga värdet uppmätas, som kan vara högre än 2100 ekv. ppm. Kl. 13:32 börjar VOC-halten att avta från 2100 ekv. ppm och det dröjer fram till kl. 14:32 för VOC-halten att sjunka till 841 ekv. ppm.

I samma figur ser vi även att luftflödet följer maxvärdet 25 l/s då VOC-halten överstiger 1000 ekv. ppm. Luftflödet sjunker stegvis i förhållande till att VOC-halten sjunker.

Enligt RF-mätningar uppstår inte någon typ av fuktbelastning varför vi inte fortsätter att studera hur fukt påverkar systemet i detta test.

Skalning av apelsiner - VOC - alla givare



Figur 34: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av apelsinskalning.

I figur 34 ser vi att givare 4 som ligger i köket reagerar direkt då fyra apelsiner skalas och maximalt värde för givaren uppnås. Detta sker klockan 12:29. Vardagsrummet (givare 1) påverkas också och givaren i rummet får ett maximalt utslag som är 2100 ekv. ppm medan resterande rum också påverkas men inte i samma grad. Badrummet (givare 6) påverkas minst. Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är alltså noll i det här fallet. Ventilationsflödet når sin topp vid 12:29, vilket innebär att fördröjningen är väldigt låg (under 1 min).

9.5.7.4 Upplevelse

Efter apelsiner har skalats, skal slängts på golv och sedan plockats upp kunde en stark lukt (4/5) kännas i kök. I resten av lägenheten var lukten svag (3/5) förutom i sovrumsrum där lukten var väldigt svag (2/5) och i badrum där lukten var ingen alls (1/5).

9.5.8 Luftfräschare – högre minflöde

9.5.8.1 Motivering och utförande

Det är relevant att undersöka hur ventilationssystemet hanterar ett tidigare test med andra värden för min- och maxflöde. Tidigare använda gränsvärden är 4 l/s för minflöde och 25 l/s för maxflöde. Nya gränsvärden för detta test är istället 15 l/s för minflöde och 25 l/s för maxflöde. Anledningen till att minflödet istället sätts till 15 l/s är att BBR:s krav på $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ uppfylls. Detta eftersom att vi har en boyta som är $41,4 \text{ m}^2$ vilket ger $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2) \cdot 41,4 \text{ m}^2 = 14,49 \text{ l/s}$ avrundat till 15 l/s. Spray testet utfördes med samma typ av spray som användes i utförandet under det första luftfräschartestet.

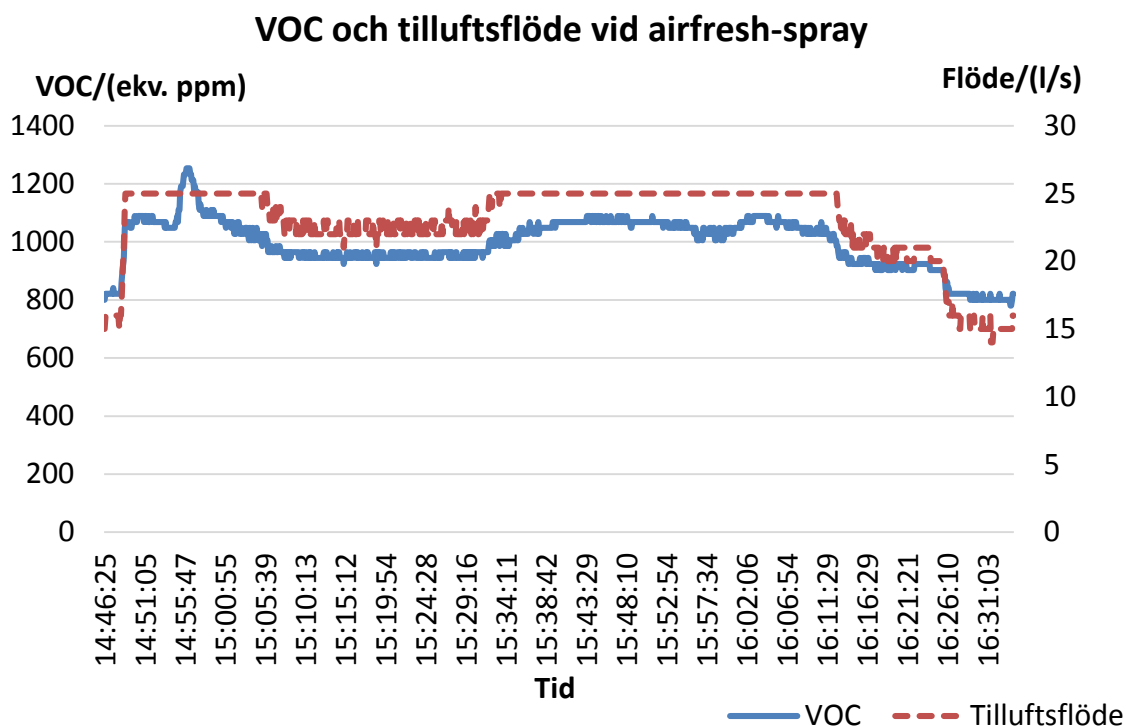
9.5.8.2 Tidsschema

Test utfördes enligt detaljerad beskrivning i tabell 11.

Tabell 11: Schema för luftfräschare – högre minflöde.

14:45	Ändra minflödet till 15 l/s med avseende på BBR:s krav på $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$. Alla dörrar stängs.
14:47	Fem sprayer av airfresh i badrummet.
14:55	Två sprayer av airfresh i badrummet
15:38	Ingen närvaro i lägenhet.
15:52	Två personer närvaro.
16:02	Badrumsdörr och entrédörr med glasparti öppnas helt för att vädra.

9.5.8.3 Resultat och kommentarer

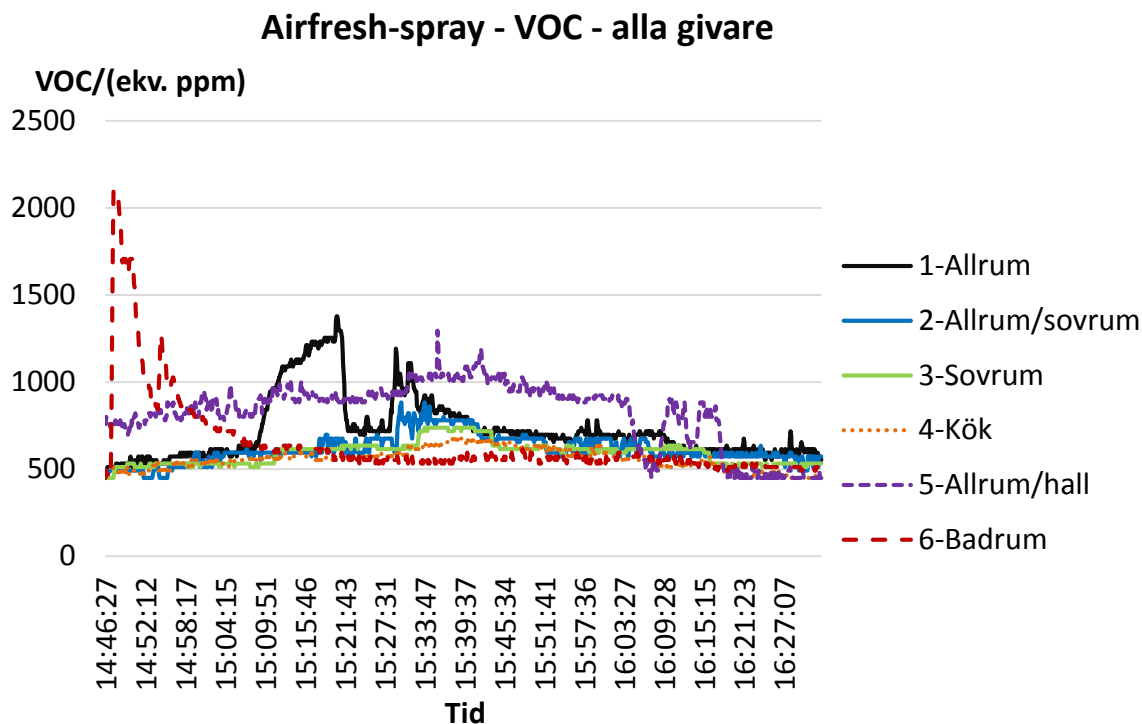


Figur 35: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av airfresh med andra luftflöde gränsvärden.

I figur 35 ser vi att kl. 14:48, en minut efter fem sprejningar av luftfräschare i badrummet, höjs VOC-halten till 1068 ekv. ppm kl. 14:49. Kl. 14:55 då två till sprejningar av luftfräschare sprejas i badrummet höjs värdet till 1233 ekv. ppm under en minuts tid. Därefter sänks värdet till 1130 ekv. ppm för att sedan röra sig upp och ner mellan 945 och 1089 ekv. ppm. Kl. 16:02 då badrumsdörr och entrédörr med glasparti öppnas för att vädras sänks värdet från 1068 till 800 ekv. ppm kl. 16:30.

I figur 35 ser vi tilluften följer VOC-haltens mönster. När VOC-halten understiger 1000 ekv. ppm tillfälligt så sänks även tilluften och så fort den överstiger 1000 ekv. ppm når tilluften maxvärde igen för att avslutningsvis stega ner då VOC-halten börjar avta. Det går även att avläsa ett maxflöde under större delen av en timmes tid. Det sker ingen signifikant skillnad på VOC-halten med stängda dörrar i testlägenheten under denna timmes tid. Däremot sänks värdet med 268 ekv. ppm under 28 minuter när badrumsdörren öppnas.

Enligt RF-mätningar uppstår ingen signifikant skillnad för den relativa fuktigheten vid nytt test av luftfräschare, liksom föregående test.



Figur 36: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av luftfräschare.

I figur 36 ser vi att klockan 14:47 då fem sprejningar sprejas i badrummet höjs VOC-värdet för givare 6 som ligger i badrummet till maximalt värde, 2100 ekv. ppm. Detta värde skiljer sig från värdet som uppfattas i teknikboxens frånluftskanal till 1068 ekv. ppm. Värdet för givare 6 sänks till 903 ekv. ppm innan de följande två sprejningarna kl. 14:55. Då höjs värdet till 1254 ekv. ppm för att sedan avta. Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är alltså obefintlig, däremot avtar halten i badrummet mycket snabbare jämfört med teknikboxen. Ventilationsflödet når sin topp vid 14:47, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså ca 1 minut i det här fallet. Givare 5 som ligger i hallen i anslutning till vardagsrummet reagerar på ökningen av VOC som sker i badrummet. Utslagen för givare 1 som ligger i vardagsrummet varierar upp och ner.

9.5.8.4 Upplevelse

Det sprayades i badrummet där det luktade starkt (4/5). I resten av lägenheten luktade det svagt (2/5) under tiden då dörren var stängd.

9.5.9 Målning

9.5.9.1 Motivering och utförande

Efter att målning sker så skall målarfärgen torka. Målarfärg innehåller farliga ämnen och bör därför kunna hanteras av ventilationssystemet på snabbaste möjligaste sätt.

För testet av målning i kök målas tre kartongbitar med storleken 120 cm x 120 cm vardera. Dessa lämnas för exponering och ingen relativ fuktighet var möjlig att uppmätas för givare 1 - 6 under testets gång eftersom att inga av respektive givare fanns på plats vid utförande av testet. Även i detta test används de nya värdena för tilluften. Testet utfördes med målarfärg som har följande innehållsförteckning (se bilaga 2): alifatnafta, medeltung. 2-Butanonoxim, Tolyfluanid och Koboltkarboxylat.

9.5.9.2 Tidsschema

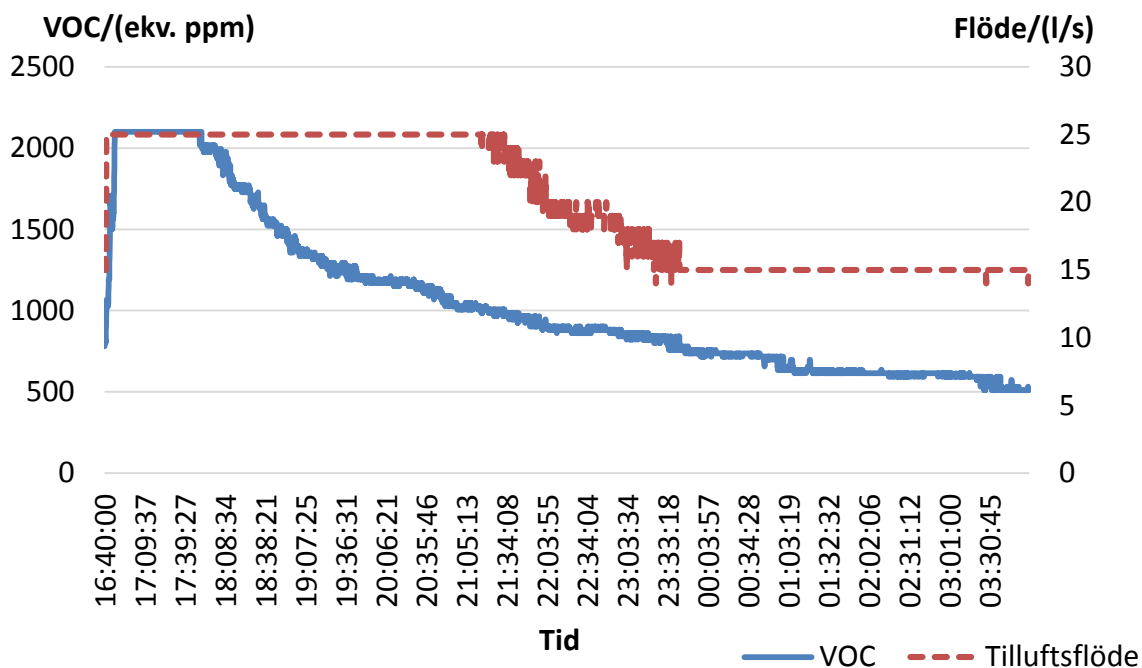
Detaljerad beskrivning för utförandet följer i tabell 12.

Tabell 12: Schema för målning.

16:40	Mätning för relativ fuktighet i positioner 1 till 6 i lägenhet avslutades.
	Målning av tre kartongbitar med storleken 120 cm x 120cm i köket som därefter lämnats för att torka.
16:58	Ingen närvaro.
07:52	Test avslutades
27:e mars	

9.5.9.3 Resultat och kommentarer

VOC och tilluftsflöde vid målning av kartonger

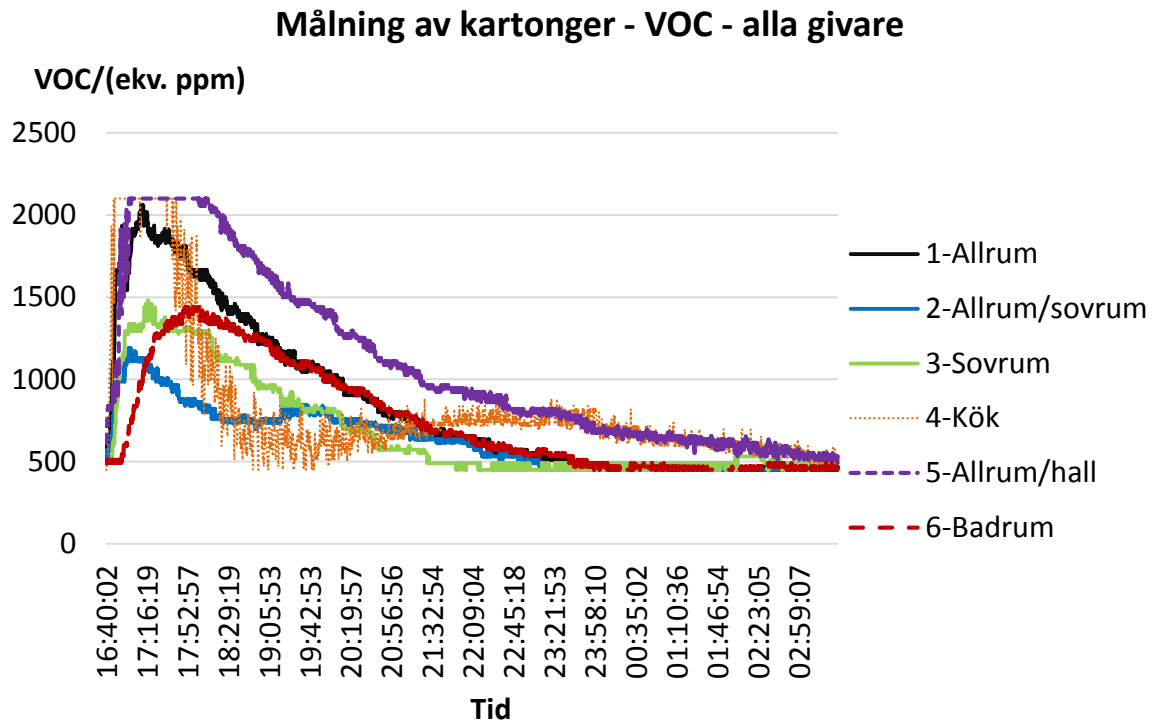


Figur 37: VOC-halt i teknikboxens frånluftskanal i jämförelse med tilluftsflöde över tid för test av målning.

I figur 37 ser vi att ett maximalt värde, 2100 ekv. ppm, nås för VOC-halten från det att målandet börjar kl 16:40 till kl 16:50. Maximalt värde för VOC-halten pågår fram till kl 17:46. Därefter sänks värdet stegvis och kl. 23:36 är VOC-halten nere på 800 ekv. ppm.

I figur 37 ser vi hur tilluftsflödet varierar med avseende på VOC - haltens gränsvärden. Kl. 21:24 då VOC-halten understiger 1000 ekv. ppm börjar även luftflödet att stegvis minska från maxflödet 25 l/s. När VOC-halten når 800 ekv. ppm flödar tilluften med 15 l/s.

Enligt testresultat uppstår inte någon typ av fuktbelastning varför vi inte fortsätter att studera hur fukt påverkar systemet i detta test.



Figur 38: VOC-halt i givare 1 - 6 över tid för test av målning.

I figur 38 ser vi att VOC-halten blir maximal, 2100 ekv. ppm för givare 4 och 5. Skillnaden mellan maximala halten vid testets närmsta givare och maximala halten i frånluften är obefintlig även i det här fallet. Ventilationsflödet når sin topp vid ca kl. 16:42, fördröjningen mellan högsta uppmätta halt vid testets närmsta givare och högsta flöde är alltså under 1 minut.

Givare 1 når 2000 ekv. ppm. Målning som sker i köket (givare 4) påverkar tydligt dem närmast givarna i vardagsrum(1) och hall anslutning till vardagsrum(5). Intressant är att givare 6 i badrummet påverkas i högre grad än sovrumsrummet. Vi ser tydligt att köket ventileras snabbare än resterande rum p.g.a. frånluftsdon som kan flöda utan hinder. I badrummet är dock sänkningen inte lika tydlig eftersom badrumsdörren är stängd.

9.5.9.4 Upplevelse

En bedömning av detta test kunde endast göras direkt efter att målandet utfördes. En upplevelse av stark (4/5) lukt kunde kännas i hela lägenheten.

9.6 Reflektioner kring resultat

9.6.1 Hur förändras halten av VOC och fukt med avseende på tid?

Den typiska formen av en första ordningens kinetik ses i varje aktivitets diagram, speciellt tydlig är den i 22 och 31 som visar hur halten av VOC förändras med avseende på tid. Det innebär att halterna alltid avtar snabbt i början då halten är hög och långsamt då halten redan är låg. Samma mönster ses för minskningen av relativ luftfuktighet i figur 26. Eftersom temperaturen i stort sett har varit konstant i lägenheten så ger den även en bild av fukttillskottet. Att både VOC- och fuktkurvor har den här formen är föga förvånande med tanke på att första ordningens kinetik brukar passa väl för avtagande halter, något som även verifieras av föroreningskvationen (Warfvinge, 2009). De exakta värdena på hur mycket halten förändras beror naturligtvis på aktiviteten.

9.6.2 Regleras flödet för systemet enligt de förinställda gränsvärdena?

De förinställda VOC-halterna som systemet anpassar flödet efter är 800 -1000 ekv. ppm. Mer detaljerat om regleringen kan ses i avsnitt 5.3. Det enklaste sättet att undersöka om systemet följer de förinställda värdena är att helt enkelt grafiskt undersöka de diagram med två y-axlar där både VOC-halt och flöde visas. För varje aktivitet visas det hur tilluftsflödet förändras med avseende på VOC-halt (se figurer vid respektive aktivitet). När det gäller de förinställda gränserna på 4-25 l/s så verkar detta stämma bra med systemet. Det verkar dock finnas ett avläsningsfel på ca ± 1 l/s, men detta lär inte göra någon större skillnad i praktiken. Detta kan exempelvis ses i figur 20 där minflödet ligger på 3 l/s istället för 4 l/s och figur 31 där maxflödet ligger på 24 l/s istället för 25 l/s.

Flödet ska dessutom variera med 0,095 l/s,ppm i området 800 -1000 ekv. ppm. Detta stämmer bra överens med resultat som har erhållits. Exempel på detta är figur 22

(Deodoranttest), där en lutning på $\frac{(24-11)}{(1027-883)} = 0,091/s$ i tidsintervallet 12:14 - 12:19

kan beräknas. Figur 31 (Cigarettökning) påvisar samma sak i tidsintervallet 13:59-

14:04, där en lutning på $\frac{(7-3)}{(841-800)} = 0,11/s$.

När det gäller fukttillskott är det komplicerat att avgöra hur pass väl systemet reglerar efter de förinställda värdena. Det beror förmodligen till största del på att VOC-givaren iAQ-100 även verkar reagera på fukt (dock ej säkert), den kan också vara att materialen exponerar mer VOC då fuktigheten ökar. Den mycket tydliga samvariationen mellan relativ fuktighet och VOC kan ses i figur 24. I samma figur framgår det att VOC-halten vid tiden 13:34 ligger på 738 ekv. ppm och fortsätter sjunka, alltså under gränsvärdet 800 ekv. ppm. Trots det ligger ventilationen på ca 8 l/s under en längre period eftersom fukttillskottet under duschningen var långt över 4 g/m³. Eftersom den exakta flödesregleringen med avseende på fukttillskott saknas är det svårt att avgöra hur pass väl systemet fungerar med avseende på fukttillskott. Det som däremot tydligt framgår är att flödet är en bra bit över grundflödet då fukttillskottet är över 4 g/m³.

9.6.3 Hur stor är skillnaden i VOC- och fukthalt mellan belastningspunkt och frånluften (teknikbox)?

När en aktivitet som avger VOC eller fukt utförs, skapas det lokalt höga värden. Halterna späds dock ut då luften från det rum där belastningen uppstår blandas med luft från övriga lägenheten i frånluftskanalen innan den når tekniklådan. Därför borde VOC- och fuktgivarna registrera en lägre halt. Eftersom systemet ventilerar med avseende på halten i den totala frånluften från lägenheten bör denna differens undvikas så gott det går för att ett gott inneklimat ska åstadkommas. Detta har dock visat sig vara oundvikligt och har påvisats i den stora majoriteten av alla tester som har utförts. Vi kan exempelvis se i det första testet i figur 20 och 21 (Luftfräschare) är denna differens ca 1000 ekv. ppm. Ytterligare ett exempel kan ses i figur 31 och 32 (Cigarettrökning) där differensen är ca 600 ekv. ppm. Vad gäller aktivitet två i figur 22 och 23 (Deodorant-spray) har högsta mätbara halt (2100 ekv. ppm) registrerats vid både belastningspunkt och teknikbox. Mest troligt är att halten egentligen är högre vid belastningspunkten även i det testet men eftersom givaren registrerar upp till 2100 ekv. ppm är det svårt att veta med säkerhet.

I genomsnitt är det ca två gånger högre halt som mätts upp vid belastningspunkten jämfört med frånluften som passerar teknikboxen. Beroende på vilken typ av förorening det rör sig om kan detta vara både positivt och negativt. Det kan vara till systemets fördel att halten vid belastningspunkten avtar mycket snabbare jämfört med halten i teknikboxen, på så vis råder inte väldigt höga koncentrationer vid belastningspunkter under en längre period. Men det kan också vara en nackdel att föroreningen sprider sig enkelt och påverkar hela lägenheten. Spridningen av föroreningar märks tydligt i många aktiviteter, speciellt dem som utfördes i vardagsrummet med öppen dörr till kök, sovrum och hall.

9.6.4 Hur stor är fördröjningen i systemet?

Eftersom mätdata har loggats var femte minut för de första sex testerna kan endast en bedömning för fördröjningen göras med en noggrannhet på noll till fem minuter. Däremot har test sju till nio loggats var femte sekund och då kan en bedömning för fördröjning göras med en noggrannhet på noll till fem sekunder. Fördröjningen definieras som tiden mellan maximala halten vid belastningspunkten och maximala flödet som skapas av systemet för att ventileras bort halterna. Fördröjningen påverkas naturligtvis av många faktorer som t.ex. typ av VOC, i vilket rum testet har utförts och hur höga halter som exponeras i testet. För exempelvis det första testet (Luftfräschare) kan vi med hjälp av figur 20 och 21 avläsa en fördröjning på 0 till 5 minuter. På liknande sätt kan man med hjälp av figur 33 och 34 (Skalande av apelsiner) avläsa en fördröjning på mindre än 1 min. Genom att avläsa med samma princip i övriga tester framgår det att fördröjningen har varit under 5 minuter i alla tester förutom i ”Fönster- och golvrengöring”, vilket får anses vara ganska kort.

9.6.5 Vilken påverkan har ett högre minflöde?

Som tidigare nämnt utförs ”Luftfräschare” testet två gånger, den ena gången med högre minflöde (15 l/s) från det vanliga som är satt 4 l/s. Detta minflöde motsvarar 0,35 l/s, m² som är BBR:s krav vid närvaro.

I fallet då minflödet är 15 l/s ventileras de höga VOC-halterna i badrummet bort under ca 10 minuter, vilket kan ses i figur 36. De höga halterna av VOC försvinner även från teknikboxen efter ca 25 min, vilket kan ses i figur 35 (anledningen till att värdena totalt sett är höga i figur 51 beror på en bakgrundshalt sen tidigare test). Detta kan jämföras med det första "Luftfräschare" testet då minflödet var standardvärdet 4 l/s som motsvarar 0,1 l/(s, m²). Här tar det istället ca 20 minuter att ventilera bort de höga VOC-halterna i badrummet och ca 35 minuter för teknikboxen, se figur 20 och 21. Observera att med tiden som nämnts här för "höga värden" avses det tillfälle där det framgår i kurvan att givaren påverkas av testet tills det att värdena går tillbaka till ursprungsläget.

Fördröjningen i första "Luftfräscharetestet" är under 5 minuter till skillnad från det andra "Luftfräscharetestet" med ändrat gränsvärde för minsta luftflöde till 0,35 l/s,m² där fördröjningen istället är kortare än 1 min.

Sammanfattningsvis påverkar alltså ett högre minflöde inneklimatet avsevärt.

9.6.6 Vilken påverkan har stängd och öppen dörr på systemet?

Vid jämförelse av stängd och öppen dörr i det första "Luftfräscharetestet" kan en skillnad på lutning för minskning av VOC-halt över tid i frånluften beräknas enligt följande:

$$\text{Stängd dörr} = (841-759)/(15,23-15,38) = 82 \text{ ekv. ppm} / 15\text{min} = 5,47 \text{ ekv. ppm} / \text{min}$$

$$\text{Öppen dörr} = (759-511)/(15,38-15,48) = 248 \text{ ekv. ppm} / 10\text{min} = 24,8 \text{ ekv. ppm} / \text{min}$$

Halten av VOC minskar ca 5 gånger snabbare när dörren är öppen jämfört med stängd. Detta beror på antagligen på att luften i badrummet späds i lägenheten vilket gör att fler frånluftsdon kan bidra till en snabbare ventilation.

10 Diskussion

10.1 Styrning med hänsyn till personnärvaro

Enligt tidigare forskning, se avsnitt 2.5, sker till största del energiförluster inom ventilation i en byggnad. Detta är en anledning till att en effektivisering krävs. Enligt avsnitt 2.4 minskar energianvändningen med behovsstyrt ventilationssystem. Däremot blir inneklimatet något sämre på grund av högre koldioxidhalter. Detta är ett fenomen som även diskuteras i detta system. Dock kan ett gott inneklimat skapas genom att undersöka styrparametrar för systemet och dess rimliga gränsvärden.

Till skillnad från ett ventilationssystem där endast personnärvaro används som styrparameter tar en VOC-givare hänsyn till belastningar som ibland kan ge större halter av föroreningar än en viss mängd av personnärvaro gör. Dock så bör ett ventilationssystem också ta hänsyn till personnärvaro. Det finns ett tydligt samband mellan personnärvaro och CO₂-halt enligt kapitel 2.2. Givetvis är koldioxid en förorening som ett ventilationssystem måste handskas med. Detta eftersom för hög koncentration av koldioxid i luften resulterar i att blodet hindras från att ta upp syre från luften. Samt att vid 1000 ppm anses luftkvaliteten vara dålig (avsnitt 3.1.4). I avsnitt 3.2.1 nämns det att ventilationssystemet bör ventilera konstant då människor befinner sig i bostaden. Dock bör systemet även ventilera någon timme före man befinner sig i bostaden och efter att människor befunnit sig i bostaden. Detta tyder på att det är viktigt att luften blir ren innan personnärvaron uppstår och även efter på grund av t.ex. adsorption av VOC.

10.2 Styrning med hänsyn till övriga föroreningar

Hur pass bra systemet hanterar damm, ozon och övriga emissioner har inte studerats utförligt.

10.3 VOC-halt differenser

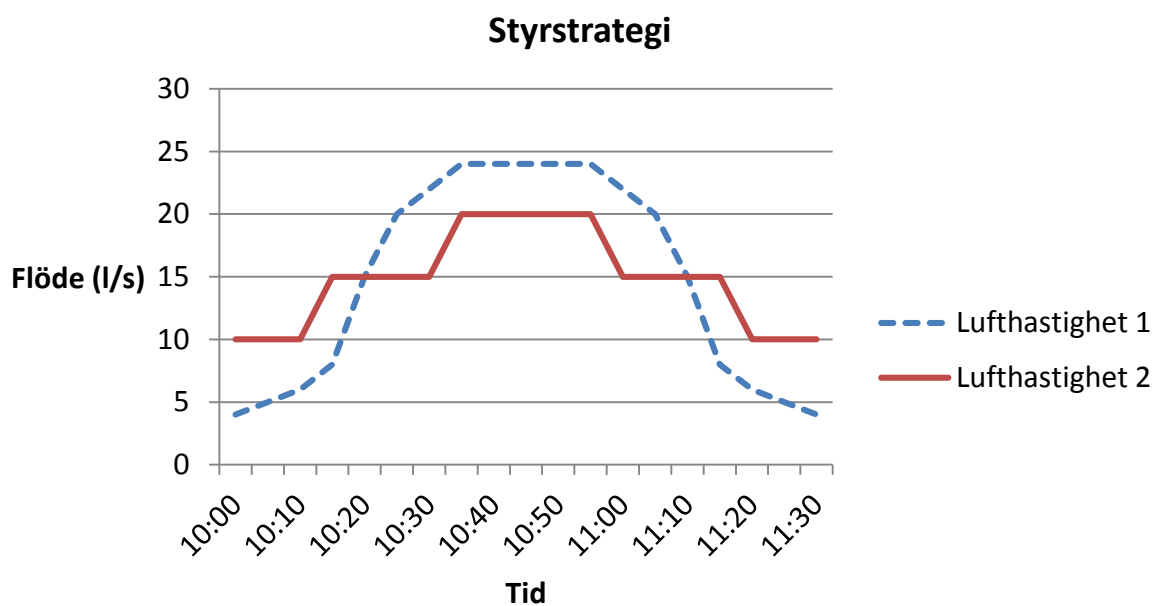
Skillnader i VOC-halt mellan belastningspunkter och den totala frånluften för hela lägenheten har erhållits i majoriteten av aktiviteterna som utfördes. Skillnaden har ibland varit svår att mäta då maximal VOC-halt som givaren kan registrera är 2100 ekv. ppm. Då givarna vid både belastningspunkt och teknikbox kommer upp till detta värde går det inte att ta reda på differensen, även om den troligtvis är högre vid belastningspunkten. I fallet med stekning av ägg blev halten snarare högre i frånluften än i belastningspunkten. Notera att det i samma test också skedde en negativ fördröjning, d.v.s. ventilationen gick på maxflöde innan maximal halt hade uppnåtts vid belastningspunkt. Som tidigare nämnt beror detta med stor sannolikhet på givarens placering.

10.4 Energibesparingar med hänsyn till inneklimat

För att möjliggöra ett energieffektivare ventilationssystem efterfrågas en så låg fläkthastighet som möjligt utan att påverka inneklimatet på ett otillfredsställande sätt. Samtidigt måste krav som ställs i BBR följas. Systemet följer minsta tillåtna flöde enligt BBR vid frånvaroläge vilket är 0,1 l/(s·m²), vilket leder till att fläkten endast

verkar i den hastighet som är nödvändigt. Största möjliga energibesparing görs dvs. att ventileras med så lågt luftflöde kan i sin tur leda till att VOC som inte ventilerats bort under högre luftflöde får en möjlighet att adsorberas på materialytor som till exempel tygmattor (se avsnitt 3.1.3.6). Om VOC-ämnen adsorberas under frånvaroläge (lågt luftflöde) kommer detta antagligen att resultera i att höga halter av VOC kan förekomma i bostaden vid ankomst av de boende. Eftersom systemet inte reagerar direkt på personnärvaro innebär detta att de boende kommer att utsättas för VOC-ämnen som adsorberats. Enligt avsnitt 3.1.3.6 skulle detta innebära 20 oms/h för att totalt kunna utesluta all form av adsorption av VOC. I de tester som utförts i detta arbete under respektive förutsättningar så har det bara varit tillgängligt med maximalt 0,8 oms/h. Det är i princip omöjligt att totalt kunna utesluta all form av adsorption av VOC.

Ur energisynpunkt kan det vara intressant att undersöka vilken typ av styrstrategi som ger mest ekonomiska besparingar. Att öka fläkthastigheten för att uppnå ett högt luftflöde under kort tid för att sedan återgå till ett lågt luftflöde då belastningen sjunkit är ett sätt att hantera förorenad luft (lufthastighet 1 figur 39). Andra alternativet skulle kunna vara en mer jämn fläkthastighet som inte uppnår lika högt luftflöde men varar under längre tid (lufthastighet 2 i figur 39).



Figur 39: Illustration av styrstrategier för luftflöde.

10.5 Felkällor

Under de tester vi har utfört i testlägenheten finns det en del faktorer som påverkar mätvärdenas noggrannhet.

Ingen VOC-givare har funnits i tilluftskanalen och därför har inte heller någon möjlighet till att registrera ifall det skulle vara så att VOC-halten är större utomhus än inomhus. Detta för att kunna stänga av tilluftsflödet vilket är en åtgärd som antagligen inte har påverkat våra testresultat.

Öppnande och stängande av entrédörr har dokumenterats i respektive schema för testerna med noggrannhet.

VOC-halten har sjunkit till ungefär 800 ekv. ppm för att sedan påbörja nästa test. Egentligen skulle det vara intressant att undersöka hur sjunkningen av VOC-halt och relativ fuktighet sker till ursprungsnivån. Eftersom testerna har utförts så tätt in på varandra kan de ha påverkat varandra. T.ex. hade inte apelsinlukten försvunnit helt innan spraytestet utfördes. Detsamma gäller efterföljande tester av äggstekning och rengöring med klorin.

Testlägenheten som består av spånskivor är inte tät vilket innebär att vi har ett läckage som möjligtvis påverkar uppmätta värden. En eventuell VOC- eller fuktbuffring kan ske i spånskivorna som testlägenheten består av. Om det finns en buffring för fukt eller VOC så påverkas uppmätta värden, se avsnitt 2.3 och 3.1.3.6.

Eftersom de VOC- givare som använts under testernas gång endast kan mäta en VOC-halt på maximalt 2100 ekv. ppm så går det inte att utvärdera högre halter.

11 Slutsats

11.1 För- och nackdelar med att använda VOC som styrparameter.

Den stora fördelen med att använda en VOC-givare är att den tydligt reagerar med många vanliga aktiviteter som avger lukter och föroreningar i bostäder. Detta har påvisats mer eller mindre i alla aktiviteter som utförts.

Den mest uppenbara nackdelen är att VOC-givaren inte ger signifikant utslag vid enbart personnärvaro, utan främst vid utförandet av specifika aktiviteter som skapar föroreningar och lukter. VOC-halten överskred aldrig 800 ekv. ppm utan låg vanligtvis på ca 550-570 ekv. ppm vid enbart närvaro av tre personer efter ca 20 minuter och därmed låg flödet på endast 0,1 l/s, m². Alltså underskreds minimikravet för tilluftflöde vid personnärvaro enligt BBR på 0,35 l/s, m². I avsnitt 5.3 och figur 19 framgår det att gränsvärdet ligger mellan 800-1000 ekv. ppm och hur den varierar i intervallet. För att nå upp till BBR:s krav vid närvaro krävs en belastning som ger ett utslag på ca 910 ekv. ppm för att få flödet 15 l/s som motsvarar 0,35 l/s, m² för testlägenheten. Eftersom VOC-halten inte överskred 800 ekv. ppm vid personnärvaro låter 910 ekv. ppm som ett mycket högt värde som troligtvis sällan nås vid endast närvaro.

Någon typ av närvarodetektor i alla rum i kombination med det befintliga systemet skulle kanske kunna fungera. Det här alternativet kan uteslutas eftersom det förmodligen lär bli mycket komplicerat och dyrt. Därmed finns tre tänkbara alternativ till åtgärder för att uppfylla BBR:s krav och samtidigt utnyttja fördelarna med ett DCV-system vad gäller inneklimat och energiaspekten.

- I. Höja minflödet från 0,1 l/s, m² till 0,35 l/s, m².
- II. Sänka gränsvärdena för VOC från 800 – 1000 ekv. ppm till lägre värden.
- III. En kombination av de ovanstående alternativen.

För att uppfylla BBR:s krav är alltså ett alternativ att minflödet höjs till 0,35 l/s, m² med bibehållna gränsvärden för VOC. Då förloras dock möjligheten att göra den energibesparing som kanske uppnås då minflödet sätts till 0,1 l/s, m².

Det andra alternativet är att sänka gränserna för VOC för att uppfylla kravet enligt BBR. Om den undre gränsen sänks från 800 ekv. ppm till ca 450 ekv. ppm och den övre gränsen från 1000 ekv. ppm till 650 ekv. ppm behöver halten komma upp till 550 ekv. ppm för att flödet ska bli 0,35 l/s, m², givet att ett linjärt samband råder i intervallet 450 - 650 ekv. ppm. Dessa nya gränser uppfyller därmed troligen BBR:s krav vid närvaro, samtidigt som minflödet kan vara 0,1 l/s, m² vid frånvaro då halten är under 550 ekv. ppm. Eftersom halterna ganska ofta enligt testerna når 650 ekv. ppm kommer dessa gränser leda till att ventilationen är på maxflöde under många aktiviteter och dessutom under längre perioder, vilket påverkar energibesparingen negativt. Det finns dock en risk för hälsan med det här alternativet. Detta å grund av adsorption av VOC och det faktum att VOC-givaren inte detekterar alla föroreningar.

Den bästa åtgärden torde vara en kombination av de båda ovanstående alternativen. Om minflödet omedelbart ökar till 0,35 l/s,m² vid ca 550 ekv. ppm uppfylls förmodligen BBR:s krav eftersom att därefter kan flödet variera linjärt upp till ca 0,6 l/s, m² vid 1000 ekv. ppm. Med den här åtgärden behöver inte minflödet konstant vara 0,35 l/s,m² utan går ner till 0,1 l/s, m² då halten understiger 550 ekv. ppm vilket leder till energibesparing.

De tester som vi har genomfört visar att givaren reagerar på vardagliga aktiviteter i enlighet tillverkarens och Swegons påståenden. Däremot så kan det inte med säkerhet påstås att VOC-givaren i ventilationssystemet reagerar på alla typer av VOC och att givaren reagerar vid tillräcklig låg halt av just en specifik typ av VOC för att luftflödet i systemet ska upprätthålla ett gott inneklimat. En anledning till detta är att området är ganska outforskat och att inga generella börvärden från någon förvaltningsmyndighet egentligen existerar för vilka nivåer av VOC i luften som är acceptabla. En annan anledning är att det finns så pass många olika typer av VOC-ämnen som är skadliga i olika halter och det är därför svårt att producera en givare som tar hänsyn till detta. I det här arbetet har några vanligt förekommande aktiviteter utförts i en bostad som skapar olika grader av belastning. Fler tester skulle behöva utföras att mäta hur givaren reagerar på respektive typ av VOC-belastning.

11.2 Fukttillskott som styrparameter

Eftersom väldigt få tester gav upphov till något signifikant fukttillskott är det svårt att uttala sig om gränsvärdet för 4 g/m³. En slutsats är att de flesta aktiviteter som har testats i denna undersökning inte bidrar med särskilt mycket fukttillskott. Duschning var den enda aktivitet som gav upphov till mycket hög relativ luftfuktighet och maxflöde rådde under ca 15 min när duschen var på ca 7 min. Gränsvärdet för fukttillskott på 4 g/m³ verkar vara en rimlig nivå i detta fall eftersom systemet enligt testresultaten inte tillåter höga värden på relativ fuktighet under längre perioder. Dock kan förutsättningarna ifrågasättas.

Systemet utsattes inte för en alltför hög belastning vid testet som utfördes för duschning i avsnitt 5.5.3 eftersom väggarna i badrummet var av spånskivor och fuktskador på ingående material skulle undvikas genom att begränsa belastningen. Därför kan resultat variera avsevärt vid en högre fuktbelastning. Utförligare tester bör göras för fukt med realistiska ingående material som kakel i badrum för att möjliggöra en högre fuktbelastning. Att använda kakel med murbruk istället för spånskivor skulle också innebära att en annan typ av fuktbuffering är tillgänglig vilket också avgör vilken typ av belastning som systemet utsätts för.

11.3 Fördröjning

Fördröjning för systemet definieras som den tid det tar från det att maximal halt mäts upp vid belastningspunkten tills systemet går på det högsta flöde som behövs för att hantera den högsta belastningen som mäts upp i tekniklådan. Det är fördelaktigt med en kort fördröjning för att kunna upprätthålla ett bra inneklimat. Det är flera faktorer som spelar roll här som t.ex. typ av VOC och var belastningspunkten är i förhållande till närmsta frånluftsdon och även teknikbox samt hur luftströmningen rör sig genom

lägenheten. Ju längre avstånd till givare i systemet desto längre tid tar det för systemet att gå igång, något som har påvisats i testerna. Aktiviteternas belastningspunkt var inte alltid densamma, vilket innebär att om VOC-ämnena sprider sig huvudsakligen längs en väg som inte passerar givarna och tar sig till frånluftsdonen så kan till och med en negativ fördröjning beräknas enligt vår definition. Negativ fördröjning innebär alltså att maximalt luftflöde uppnås innan maximal halt har registrerats vid belastningspunkten. Detta kan härledas från testet ”Stekning av ägg” avsnitt 5.5.4. Tidsfördröjningen för testerna var i samtliga fall under 5 minuter, förutom för ”Fönster- och golvrengöring”, vilket får anses vara tämligen kort. Ett högre minflöde till 0,35 l/s,m² minskade fördröjningen till ca 1 min.

11.4 Luktupplevelse

Genom att jämföra uppmätta värden med upplevda värden går det att få en indikation på om VOC-gaser är en bra parameter att styra efter. Av hälsoskäl har det däremot inte testats farliga VOC-gaser i mängder som är utöver vad som är normalt i bostäder. Upplevelsen blir därför begränsad till luktnivåerna, som kan ses i tabell 13.

Tabell 13: Visar jämförelsen mellan upplevda och uppmätta värden av VOC vid belastningspunkt.

Test	Upplevelse av luktnivå	Uppmätta värden
Luftfräschare	5/5	1800 ekv. ppm
Deodorant – spray	5/5	2100 ekv. ppm +
Dusch	1/5	-
Stekning av ägg	4/5	1200 ekv. ppm
Rengöring	4/5	2100 ekv. ppm
Cigarettrökning	4/5	2100 ekv. ppm
Skalande av apelsiner	4/5	2100 ekv. ppm +
Luftfräschare – ändrat luftflöde	4/5	2100 ekv. ppm
Målning	4/5	2100 ekv. ppm +

Den stora majoriteten av aktiviteter som ökade luktnivåerna nämnvärt hade en VOC-halt på över 1000 ekv. ppm och uppnådde därmed maxflöde.

12 Källförteckning

Abel, E., Elmroth, A. (2012). *Byggnaden som system*. Studentlitteratur.

Acticon (2014). *Aktivt kolfiltern 210*. Tillgänglig:<http://www.acticon.se/se/filter-till-easy-vent/kolfilter/aktivt-kolfilter-210/> [2014-02-03]

Allard, F., Blondeau, P., Genin, D., Iordache, D., Poupard, O. (2004). *Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools*. Indoor Air.

AppliedSensor (2011). *Beyond CO2: Sensing VOCs in Indoor Air Protects Health, Saves Energy*.

Tillgänglig:https://www.appliedsensor.com/pdfs/AppliedSensor_iAQ_WhitePaper_DCVBeyondCO2.pdf [2014-02-01]

AppliedSensor (2009). *Metal Oxide Semiconductor (MOS) Sensors*.

Tillgänglig:https://www.appliedsensor.com/pdfs/Metal_Oxide_Semiconductor_%28MOS%29.pdf [2014-02-01]

AppliedSensor (2011). *iAQ -100*.

Tillgänglig:https://www.appliedsensor.com/pdfs/AppliedSensor_iAQ100_0510.pdf [2014-02-01]

Arbetskyddsstyrelsen (1999). *Ozonhalter vid aktiv användning*. Tillgänglig:http://www.av.se/dokument/publikationer/rapporter/RAP2000_01.pdf [2014-07-01]

Astma och allergilinjen (2014). *Städa bort damm och astmabesvär*.

Tillgänglig:<http://www.astmaochallergilinjen.se/barnastma/astma-och-stadning/> [2014-04-18]

Bernstein, J., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oulette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., Tarlo, S. (2008). *The health effects of nonindustrial indoor air pollution*. The Journal of allergy and clinical immunology.

Betong (2011). *Miljonprogrammet kräver miljarder*.

Tillgänglig:<http://betong.se/2011/10/miljonprogrammet-kraver-miljarder/> [2014-04-16]

Boverkets byggregler (2012). *Hygien hälsa och miljö*.

Tillgänglig:http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_19/Avsnitt/6-Hygien-halsa-och-miljo.pdf [2014-01-26]

Clavensjö, B., Höjerdal, P. (1989). *Ventilationstekniska lösningar i ombyggda flerbostadshus*. Byggeforskningsrådet.

Denga, Q., Yanga, X., Zhang, J. (2012). *Key factor analysis of VOC sorption and its impact on indoor concentration*. Building and Environment.

ECA (1997). *Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations*. European Commission.

Tillgänglig:http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report19.pdf [2014-02-18]

Encyclopedia Britannica (2014). *Ether*.

Tillgänglig:<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/193965/ether> [2014-02-02]

Energimyndigheten (2011). *Självdagsventilation*.

Tillgänglig:<https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/Sjalvdagsventilation/> [2014-04-18]

Energimyndigheten (2013). *Framtidens hus är resurseffektiva*.

Tillgänglig:<http://www.energimyndigheten.se/Foretag/Energieffektivt-byggande/> [2014-01-18]

Energimyndigheten (2013). *Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system)*. Tillgänglig:<https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Ventilation/FTX-system/> [2013-01-19]

EPA (2014). *Volatile Organic Compounds (VOCs)*.

Tillgänglig:<http://www.epa.gov/iaq/voc.html> [2014-01-23]

EU-direktiv (2004). *EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2004/42/EG*.

Tillgänglig:<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004L0042:20101210:SV:PDF> [2014-04-19]

Eurofins (2013). *What does VOC mean?*

Tillgänglig:<http://www.eurofins.com/product-testing-services/services/testing/voc-testing/what-means-voc-.aspx> [2014-02-11]

Exhausto (2014). *DCV – Demand controller air volume*.

Tillgänglig:<http://www.exhausto.com/projektering/Learning%20-%20Skoleventilation/Design%20af%20system/Control%20princip/DCV> [2014-01-27]

Hallstedt, Å. (1994). *Varsam ombyggnad av ventilationssystem i äldre hus*. Byggnadsrådet

Hygienevision (2014). *Vision air*.

Tillgänglig:<http://www.hygienevision.com/datoteke/1000122.pdf> [2014-05-07]

IARC (2006). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*.

Tillgänglig:[IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans](http://www.iarc.fr/monographs/monographs.asp)

Volume 88 (2006) Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol
[2014-02-02]

IEST (2009). *Recommended practice - IEST-RP-CC001: HEPA and ULPA Filters*.
Tillgänglig: <http://www.iest.org/Standards-RPs/Recommended-Practices/IEST-RP-CC001> [2014-02-03]

IUPAC (2012). *Compendium of Chemical Terminology*.
Tillgänglig: <http://goldbook.iupac.org/PDF/goldbook.pdf> [2014-02-17]

Ivansson, K. (2006). *Fältmätningar av tilluftsventilationsfilter*. Lunds universitet.

Johansson, D., Bagge, H. (2011). *Measured indoor temperature, moisture supply, CO₂ concentrations and mixed gas concentrations in apartment buildings – correlation between parameters*. Lunds universitet.

Johansson, D., Bagge, H., Lindström, L. (2011). *Measurements of occupancy levels in multi-family dwellings. Application to demand controlled ventilation*. Energy and Buildings.

Johansson, G. (2010). *Flyktiga organiska ämnen (V O C)*. Karolinska institutet.
Tillgänglig: <http://ki.se/ki/jsp/polopoly.jsp?d=39033&a=5718&l=sv> [2014-02-06]

Jones, A. (1999). *Indoor air quality and health*. Pergamon.

Kemi (2012). *Byggprodukter*. Tillgänglig: <http://www.kemi.se/sv/Innehall/Fragor-i-fokus/Byggprodukter/> [2014-04-18]

Kostainen, R. (1995). *Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses*. Pergamon.

Lago, L. (2004). *Makt, planering och miljonprogrammet - En maktanalys av bostadsområdet Navestad och dess planering och utformning*. Linköpings universitet.

Lawrence, A., Masih, A., Taneja, A. (2004) *Indoor/Outdoor relationships of carbon monoxide and oxides of nitrogen in domestic homes with roadside, urban and rural locations in a central Indian region*, Indoor Air.

NCBI (2013). *2-ethylhexanol*.
Tillgänglig: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=7720> [2014-02-07]

Onset (2014). *HOBO U12 Temperature/Relative Humidity Data Logger*.
Tillgänglig: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-011> [2014-04-01]

Orestål, U. (1992). *Ventilation, Förre och nu*. Svensk Byggtjänst.

Pavlovas, V. (2004). *Demand controlled ventilation - A case study for existing Swedish multifamily buildings*. Energy and Buildings.

Peterson, G. (2008). *Kolväten*. Chalmers.

Tillgänglig:<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/72646.pdf> [2014-01-27]

Regin (2013). HTDT2500(420)

Tillgänglig:http://www.regincontrols.com/Root/Documentations/56_52508/HTDT2500%28-420%29_prsh_sv.pdf [2014-02-26]

Riksbanken (2004). *Oljepriset och penningpolitiken*.

Tillgänglig:http://www.riksbank.se/Pagefolders/16758/2004_3_ruta1.pdf [2014-01-29]

Sauter Controls (2011). *Indoor air quality*. Tillgänglig:http://www.sauter-controls.com/uploads/tx_cabagpdm/621222.pdf [2013-01-26]

Seppänen OA. Fisk WJ (2004). *Summary of human responses to ventilation*. Indoor Air.

Skanska (2012). *Spara energi*. Tillgänglig:<http://www.skanska.se/sv/om-skanska/miljo/energi-och-klimat/spara-energi/> [2014-01-16]

SP (2009). *Energianvändning i hemmet. Vardagliga aktiviteter*.

Tillgänglig:<http://www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETk/BroschyrEnergianvandningihemmetfinalweb.pdf> [2014-05-10]

SP (2009). *Energianvändning i hemmet – vardagliga aktiviteter*. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Stengård, L. (2011). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning överskattad*.

Tillgänglig:http://www.byggindustrin.com/energi-miljo/bygg--och-fastighetssektorns-energianvan_8289 [2014-01-16]

Stipe, M. (2003). *Demand-Controlled Ventilation: A Design Guide*.

Tillgänglig:<http://www.oregon.gov/ENERGY/CONS/BUS/DCV/docs/DCVGuide.pdf> [2014-01-24]

Strålsäkerhetsmyndigheten (2012) *Radonkällor*.

Tillgänglig:<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/start/radon/radonkallor/> [2014-04-18]

Swegon (2013). *WISE Apartment Solution*.

Tillgänglig:<http://www.swegon.com/wisepartment/> [2014-02-03]

Svenska Lantägg (2014). *Äggets anatomi*.

Tillgänglig:<http://www.svenskalantagg.se/aeggskolan.aspx> [2014-03-04]

- TOXNET (2014a). *Ethyle Acetate*. Tillgänglig: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+83>
- TOXNET (2014b). *Isopropyle Ether*. Tillgänglig: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+624>
- TOXNET (2014c). *Dibutyl Ketone*. Tillgänglig: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+921>
- UMO (2014). *Rökning*. Tillgänglig: <http://www.umo.se/alkohol-tobak-droger/rokning/> [2014-07-01]
- Warfvinge, C., Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur
- Wickman, C., Vindelstam, J. (2011). *Energieffektivisering av miljonprogrammet – En studie av ett flerfamiljshus i Malmö*. LTH-Byggnadsfysik.
- Woloszyn, M., Kalamees, T., Abadie, M., Steeman, M., Kalagasidis, A. (2009). *The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings*. Building and Environment.
- Öhlund, P (2005). *Doft och stereoisomeri*.
Tillgänglig: <http://school.chem.umu.se/Experiment/P183> [2014-05-07]

Bilagor

Intervju

Intervjuare: Akram Abdul Hamid (Byggnadsfysik, LTH), Sulaiman El-Zoubi (CI-student, VoV, LTH), Sulaiman Omid (CI-student, VoV, LTH).

Möte om WISE Apartment Solutions styrfunktioner, 2014-02-07, 9:00-12:00, Swegon, Tomelilla

Vilken strategi utnyttjade ni när ni valde utrustningen? Finns där några utvärderingar gjorda av de ingående delarna?

Inköpsavdelningen sköter upphandlingen av våra sensorer. Vi har valt utrustning som uppfyller de funktioner som vi kräver och inte är för billig, men är inte den dyraste som finns heller. Den uppfyller våra krav och är tillverkad av stora aktörer på marknaden som ger garantier. Det finns förmodligen utvärderingar gjorda av Dennis Johansson på LTH.

Vilken programvara använder ni er av? Är den kommersiell eller har ni själva utvecklat den? Vilka parametrar kan man ställa in? Finns det något minvärde eller maxvärde på dessa?

Programvaran är skräddarsydd av vår underleverantör. Vi anger vad vi vill ha och de tillverkar den åt oss. Därefter verifierar dess funktioner och testar av. Jag vet ej hur exakt vi har gjort testerna, Lenny Nilsson på Swegon vet mer om detta.

Hur har ni ställt in övergången mellan frånvaroläge till närvaroläge? Vart ligger gränsen för VOC- och fukttillskott i frånluften för denna övergång? Vad baserar ni detta värde på? Är detta värde ett förinställt värde eller ställs det in automatiskt i efterhand?

Det är ej utformat så att flödet ställs in efter detektion av frånvaro eller närvaro, för i så fall skulle vi behöva placera närvarosensorer i varje rum, vilket inte är ekonomiskt försvarbart. Systemet fungerar på så sätt att det går att ställa in ett minflöde (från 0 oms/h) och ett maxflöde (till 0,8 oms/h).

Vi menar att Boverket bör ändra på reglementet kring ventilationsflöden i en bostad så att vi istället styr efter luftkvalité och inte fastställda luftflöden. Ett flöde på 0,35 l/s,kvm kan ibland vara otillräckligt och annars ofta överdrivet. Då belastningen är låg skulle ett sådant flöde orsaka drag och därmed komfortproblem. Då belastningen är hög så är flödet otillräckligt vilket kan orsaka hygieniska problem såsom mögelpåväxt. I en lägenhet med genomsnittlig fuktproduktion får vi vid 0,8 oms/h ett genomsnittligt fukttillskott på 2 g/m³. Systemet reglerar ventilationsluften så att det är proportionellt mot fukttillskottet.

Vad gäller VOC-halten så tillåter systemet en halt på 25% VOC. Över den halten reglerar systemet ventilationsflödet och tillåter maximalt 35% VOC. Detta är ett intervall på 800-1000 ekv. ppm på den totala frånluften för hela lägenheten och inte individuellt per rum. Det är upp till fastighetsägaren att själv bestämma minflöde och

maxflöde. I vissa hus, såsom radonhus, går det ej att ha 0,1 l/s,kvm utan måste sättas till 0,35 l/s,kvm.

Ingen avvägning sker i styrningen utan prioritering sker automatiskt på maxvärdet mellan de uppmätta värdena. Dvs. om fuktillskottet motsvarar en högre ventilationsgrad än VOC-halten så är ventilationsgraden enligt fuktillskottet den som är aktuell. Det går att styra på temperatur också om så önskas, men detta görs inte.

Forskare från LTH har rådfrågats och de har även varit och tittat på systemet.

Hur tar systemet hänsyn till skillnaden i olika lägenheters fuktbelastning vid frånvaro? En lägenhet kan ju ha en högre s.k. "baseline load" (noll-last) än en annan, och är systemet då inställt efter ett särskilt värde så kanske det antingen bidrar till en för låg ventilation eller en för hög ventilation.

Se föregående svar. Detta problem kringgås pga. hur styrningen är utförd.

Hur känsligt är systemet för förändringar? Känner det av skillnaden mellan 0 och 1 och 2 personer? Känner det av skillnaden mellan en vuxen och ett barn? Denna skillnad kommer nog inte att märkas av eftersom frånluften späds ut.

Är det så att koncentrationer av olika fuktillskott och VOC-tillskott i de individuella rummen späds ut i den totala frånluften för lägenheten? I så fall, hur tar systemet hänsyn till detta? Hur har ni bestämt systemets funktioner för att hantera detta, vilka strategier har ni använt er av? Kommer det att ventilera för att hantera större fuktillskott än vad som faktiskt mäts?

Då frånluft finns i kök/bad så blir sensorn känsligare för belastningen i dessa rum. Men ja, luften späds ut och vi tror att vi måste gå ner i riktvärden, t.ex. 600 ekv. ppm minvärde på VOC.

Då kök och bad har lika stor belastning så utgör inte styrningen efter detta något problem. Men så är det oftast inte och därför kanske riktvärdena måste sänkas pga. att belastningen späds ut. För att motverka de fuktproblem som detta kan orsaka så rekommenderar vi att alltid ha de två största frånluftsflödena i badrummet. Detta hoppas vi att ni på LTH kan utvärdera.

Är frånlufts- och tilluftsflöden alltid lika stora i lägenheterna? Eller är detta också något som går att ställa in om man t.ex. vill ha undertryck?

Det går att ändra på ration mellan de olika flödena och ställa in dem hur man än vill. Ett exempel är systemets samarbete med spiskåpan i en tät lägenhet. Då flödet genom spiskåpan forceras kommer luftomväxlingen i lägenheten att sättas ur balans och tryck mot vissa innerdörrar kommer att öka/minska. För att då uppfylla brandsäkerhetskrav så tar systemet hänsyn till detta och ökar tilluftsflödet lika mycket som det totala frånluftsflödet minskar. Swegon inser att ett tätt klimatskal är det bästa för systemet men vi påpekar inget om tätningar. Det är upp till byggherren att ta de besluten.

Hur har ni tänkt samla data för fortsatt utveckling av systemet?

Vi sysslar med utvecklingsarbete hela tiden. Kontinuerligt samlar våra system in data för framtida forskning. På samma gång jobbar vi med att anpassa och förbättra systemet för annan användning och andra marknader, t.ex. Tyskland. Vissa förändringar måste ske för att systemet även ska installeras vid nyproduktion. Vi vill även dela lådan för att placera till- och frånluftsdelarna separat men ändå så att de kommunicerar. Intresset är sanslöst, även i Danmark och Finland.

Bilder

Testlägenheten

I detta avsnitt ligger bilder tagna i testlägenheten som har använts för mätningar.



Figur 40: Vänster ingång är entredörr till vardagsrum och höger ingång är entredörr till hall och badrum. Sett utifrån testlägenheten.



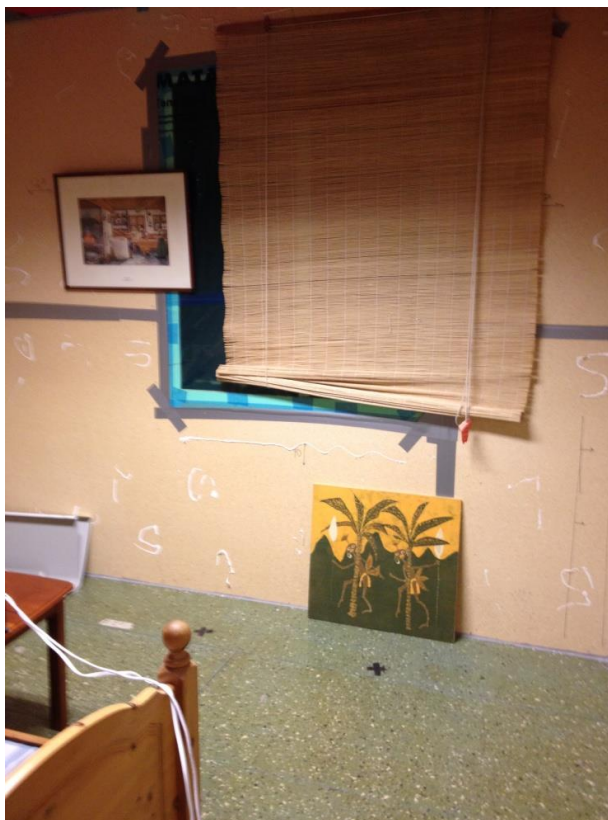
Figur 41: Vardagsrum sett från entrédörr.



Figur 42: Vardagsrum sett från kök. På vänster sida ligger entrédörren och till höger ligger en soffgrupp.



Figur 41: Sängen i sovrummet.



Figur 42: Sovrummets andra sida.



Figur 43: Spisplattor på bord i kök.



Figur 46: Stol med givare mitt i köket.



Figur 44: Duschetrymme i badrum.

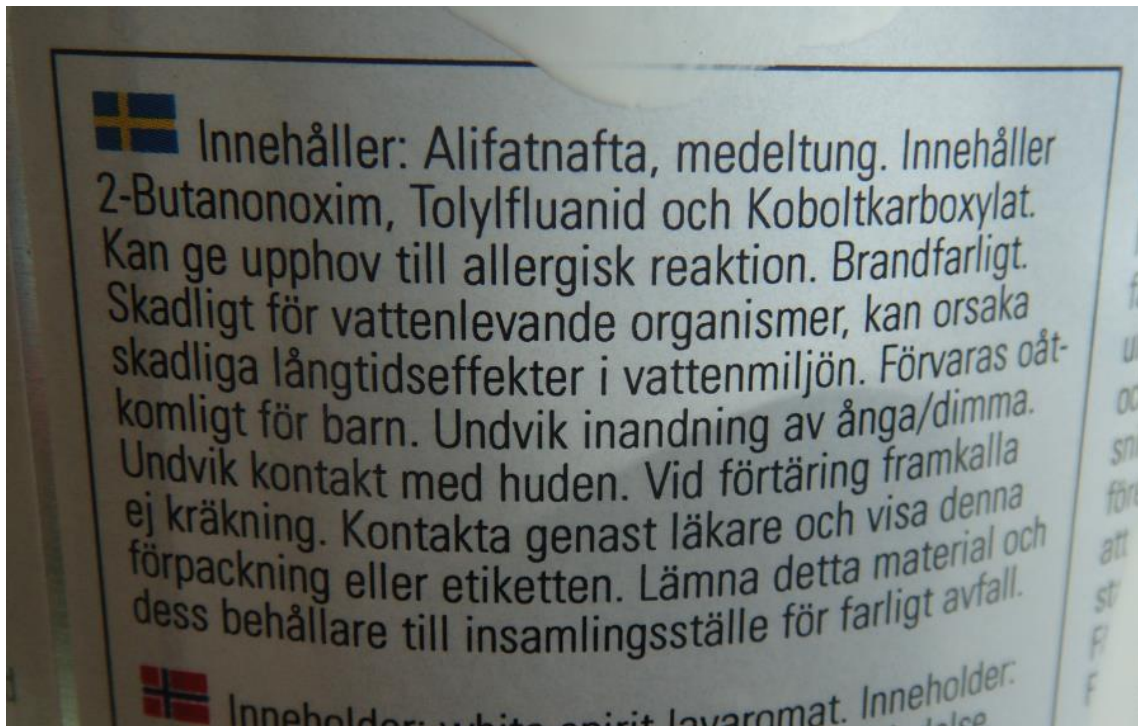
Innehållsförteckning för Testprodukter



Figur 458: Axe deodorant som använts vid utförande av tester.



Figur 469: W5 Chlorine Hygiene spray som använts vid utförande av tester.



Figur 50: Målarfärg som användes vid utförande av tester.