



Nr B
XXXX
December
2017

Innemiljö i HSB Living Lab

En studie av innemiljön under en fastighets första år

Sarka Langer, Karin Hallgren, Vera Öberg, Henrik Jönsson



I samarbete med: Peab, HSB Levande Lab
Utveckling HB, Bengt Dahlgren AB

Författare: Sarka Langer, Karin Hallgren, Vera Öberg, IVL Svenska Miljöinstitutet; Henrik Jönsson, Bengt Dahlgren Göteborg

Medel från: SBUF, HSB Levande Lab Utveckling, Stiftelsen IVL

Fotograf: Sarka Langer

Rapportnummer B xxxx

ISBN Klicka här för att ange ISBN nr

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2017**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Detta projekt har initierats av HSB Living Lab och har finansierats av SBUF, HSB Levande Lab Utveckling och Stiftelsen IVL.

Vi vill rikta ett stort tack till Stefan Andersson från HSB Living Lab och Göran Westerfors från Peab för deras engagemang i projektet och viktiga synpunkter på arbetet i egenskap av ledamöter i styrgruppen.

Stort tack till Erik Svensson på Miljöförvaltningen i Göteborg för data från mätningarna i utomhusluft från stationen Femman. Vi vill också tacka Anders Flyckt från Camfil för lån av partikelinstrument.

Sist men inte minst vill vi tacka de boenden i huset som har upplåtit sina bostäder för mätningarna och alla de som svarade i enkätundersökningen om den upplevda luftkvaliteten.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary	6
Inledning	7
Innemiljö	7
Källor och hälsoeffekter av luftföroreningar inomhus	8
Mål för projektet.....	10
Metoder och genomförande	11
Huset och mätplatser	11
Mätningar.....	13
Ventilation	13
Inneklimat och luftföroreningar.....	13
Enkätundersökning om upplevd luftkvalitet	15
Resultat och diskussion.....	16
Ventilation.....	16
Inneklimat	16
Luftföroreningar	18
Upplevd innemiljö	24
Slutsatser.....	27
Referenser.....	28
Bilaga.....	30
Bilaga 1. Mätmetoder.....	30



Sammanfattning

HSB Living Lab är en fastighet som byggts för att fungera både som student- och forskarbostäder och som ett levande laboratorium för test och utvärdering av bland annat innemiljö men även olika byggnadstekniska lösningar mm.

Under fastighetens första år, har en studie gjorts av innemiljön. Resultatet redovisas i denna rapport. Undersökningen har omfattat uppmätt och upplevd luftkvalitet inomhus under mer än ett år i två lägenheter i HSB Living Lab. Målet med projektet var att följa upp och dokumentera luftkvaliteten och att bedöma påverkan av byggnaden, inredningen och mänskliga aktiviteter på den.

Mätningarna har utförts i ett oinrett och oventilerat rum med rester av byggmaterial och ouppackade möbler, i ett gemensamt utrymme med köksinredning, i ett studentrum och i en bebodd trerumslägenhet. I mätningarna ingick parametrar för inneklimat som temperatur och relativ luftfuktighet, halter av gasformiga luftföroreningar koldioxid, kvävedioxid, ozon, flyktiga organiska ämnen och formaldehyd samt partikelhalter PM_{10} och $PM_{2.5}$. Dessutom undersöktes upplevd luftkvalitet och termisk komfort med en enkät.

Resultaten av mätningarna jämfördes med rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet inomhus. Med undantag för det oinredda och oventilerade rummet var luftkvaliteten bra och halterna under de rekommenderade riktvärdena. Den upplevda luftkvaliteten var betydligt bättre i de möblerade, bebodda och ventilerade bostäderna än i det oinredda rummet.

När ventilationen startades efter avslutade byggarbeten, hade det en positiv inverkan på luftkvalitet i byggnaden, vilket är vad som kan förväntas. Andra parametrar som påverkade innemiljö var mänskliga aktiviteter som vädring/öppnade fönster som påverkade temperaturen och matlagning som påverkade partikelhalten.



Summary

HSB Living Lab is a property built to function both as student dormitory and residences for visiting scientists and as a living laboratory for testing and evaluation of indoor environment, but also various building engineering solutions, etc.

During the first year of the building, an investigation of the indoor environment has been performed. The results are reported in this report. The survey included both the measured and perceived indoor air quality during more than a year in two apartments in HSB Living Lab. The aim of the project was to monitor and document air quality and to assess the impact of the building, interior and human activities.

The measurements have been carried out in an uninhabited and unventilated room with residues of building materials and unpacked furniture, in a common room with kitchen furniture, in a one-room student apartment and in a residential three-room apartment. The measurements included indoor climate parameters such as temperature and relative humidity, gaseous air pollutants carbon dioxide, nitrogen dioxide, ozone, volatile organic compounds and formaldehyde, and PM₁₀ and PM_{2.5} particles. In addition, perceived air quality and thermal comfort were investigated with a questionnaire.

The results of the measurements were compared with recommended guidelines for indoor air quality. With the exception of the unfurnished and unventilated room, the air quality was good and the levels of the air pollutants were below the recommended target values. The perceived indoor air quality was significantly better in the furnished, inhabited and ventilated apartments than in the uninhabited room.

When the ventilation was started after completion of construction work, it had a positive impact on indoor air quality in the building, which is what can be expected. Other parameters that affected indoor environment were human activities like airing/ opening windows that affected the temperature and cooking that affected the particle content.



Inledning

Innemiljö

Människor tillbringar huvuddelen, upp till 90 %, av sina liv inomhus. Därför har inomhusmiljön stor betydelse för människors hälsa. Till det svenska miljömålet "God bebyggd miljö" finns en indikator som handlar om hur stor andel av den vuxna befolkningen som upplever besvär av inomhusmiljön. Besvär orsakade av faktorer i inomhusmiljön inkluderar bland annat luktolägenhet, irritation, astma, allergi och annan överkänslighet, huvudvärk och trötthet. I en nationell miljöhälsoenkät MHE 15 (Miljöhälsoenkät 2017) var andelen som rapporterade symtom som de förknippade med inomhusmiljön (i bostaden, i skolan eller på arbetet) 20 procent, vilket motsvarar drygt 1,4 miljoner människor. Andelen med besvär har inte förändrats nämnvärt sedan de tidigare nationella miljöhälsoenkäterna från 1999 och 2007.

En nationell undersökning om det svenska Bostadsbeståndets Energianvändning, Tekniska Status och Innemiljö, BETSI, genomfördes av Boverket 2007-2008. BETSI studerade inomhusmiljöaspekter i ett stort antal bostäder samt undersökt upplevelse av inomhusmiljön. Resultat om den tekniska statusen har sammanställts i rapporten Så mår våra hus (BETSI, 2009a) och resultat från enkätundersökningarna i rapporten Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa (BETSI, 2009b).

En analys av resultat från BETSI-databasen visade att 80 % av bostäderna som undersöktes hade ventilationsflöden som understeg krav i Boverkets byggregler. Halterna av luftföroreningar var under internationella riktvärden för god inomhusmiljö (UBA; WHO, 2010), men det fanns statistiskt signifikanta skillnader mellan uppmätta halter av kvävedioxid, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) mellan småhus och lägenheter i flerfamiljshus. Medianhalter av formaldehyd och VOC var högre i småhus medan medianhalten av kvävedioxid var högre i lägenheterna i flerfamiljshus. Temperatur och relativ luftfuktighet skilde sig också åt mellan småhus och lägenheter. Detta belyser att byggnadens tekniska utformning har betydelse för inomhusmiljö och luftkvalitet (Langer and Bekö, 2013). Enkätundersökningen visade att cirka 96 % var nöjda med luftkvaliteten inomhus (BETSI, 2009b). Studien var utformad för att representera det svenska bostadsbeståndet så på det sättet kan resultat från BETSI betraktas som en baslinje som luftkvaliteten i andra bostäder kan jämföras med.

En liknande studie av inomhusmiljö i svenska lågenergibygnader visade att luftomsättningen i nybyggda passivhusbostäder och även i nya konventionellt byggda bostadshus var betydligt högre än i de bostäder som ingick i BETSI-studien (Langer et al., 2015). Detta beror på att de nybyggda bostäderna är utrustade med mekaniska ventilationssystem, vilket inte är fallet för alla de bostäder som ingick i BETSI-studien. Halterna av flyktiga organiska ämnen visade sig dock vara signifikant högre i lågenergibygnader än i konventionellt byggda hus.

Ett annat sätt att utvärdera luftkvalitet inomhus är att undersöka hur människor upplever luften. Detta görs med hjälp av enkätundersökningar där man poängsätter den upplevda luftkvaliteten. BETSI studien undersökte hur upplevelse av inomhusmiljöfaktorer termisk komfort, luftkvalitet och ljudkvalitet bidrog till den övergripande upplevelsen av inomhusmiljö. Det visade sig att av de studerade faktorerna hade luftkvaliteten störst inverkan på den totala upplevelsen (Zalejska-Jonsson and Wilhelmsson, 2013)



I en annan innemiljöstudie simulerades lågt och högt ventilationsflöde och hur detta påverkade upplevd luftkvalitet, sjuka-hus-syndrom (SBS Sick-Building-Syndrom) symptom och mentala (kognitiva) funktioner (Maddalena m.fl., 2015). Vid låga ventilationsflöden sjönk poängen för mentala funktioner medan upplevelse av luftkvalitet och SBS symptom förblev opåverkade. I en annan studie visades att upplevd luftkvalitet inomhus samvarierade med uppmätta halter av vissa luftföroreningar (Langer m.fl., 2017).

Halter av luftföroreningar som avges från byggnaden till inomhusluft är högst när huset är nybyggt och minskar därefter med tiden. Det visar till exempel en finsk studie där man har följt halter av flyktiga organiska ämnen i nybyggda lägenheter. Mätningarna utfördes först när byggnaden var klar och ventilationen var i drift men före inflyttning. Mätningarna upprepades 6 månader och 12 månader efter inflyttning. Totalhalt av VOC sjönk med ungefär 60 % under de första 6 månaderna och sedan ytterligare 10 % efter nästa 6 månaders-period (Järnström m.fl., 2006). En fransk studie visar hur halterna av VOC förändrades under hela byggandsfasen, från konstruktion av stommen, montering av isolering, installation av innerväggar, arbete med ytskikt, driftsättning av mekanisk ventilation och möblering. Hela denna process tog mer än 2 år. Halten sjönk kraftigt från ~ 8 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till ~ 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ från konstruktion av stommen tills innerväggar monterades och ytskikt lades på. När det mekaniska ventilationssystemet togs i drift sjönk halten ytterligare och gradvis under 10 veckor av kontinuerlig ventilation till ~ 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Plaisance m.fl., 2017).

Källor och hälsoeffekter av luftföroreningar inomhus

Gasformiga luftföroreningar med ursprung i utomhusluft

Luftföroreningar som bildas utomhus tillförs innemiljön via ventilationen.

Kvävedioxid bildas i förbränningsprocesser och ingår bland annat i avgaser från bilar och andra motordrivna transportmedel. Den primära kväveinnehållande förbränningsprodukten är egentligen kväveoxid (NO) som snabbt omvandlas till kvävedioxid genom reaktion med ozon. NO₂ irriterar ögonen, kan orsaka luftvägsinflammation, nedsatt lungfunktion och nedsatt immunförsvar.

Marknära **ozon** är en del av s.k. fotokemisk smog. Ozon bildas genom en serie fotokemiska reaktioner (dvs. solljus initierar den kemiska reaktionen) i utomhusluft och tillförs innemiljön via ventilationen. Ozon är irriterande för ögon, näsa och hals, orsakar andningsproblem och lungsjukdomar, ger försämrad lungfunktion och kan trigga astma.

Partiklar i olika storlekar förekommer i uteluften. Partiklar bildas genom olika mekanismer, både naturliga processer så som vulkanutbrott, sandstormar, pollenspridning och mänskliga aktiviteter så som mekanisk nötning, slitage och förbränningsprocesser. Beroende på partiklarnas storlek kan de nå mer eller mindre långt ner i luftvägarna och lungorna. Hälsoriskerna med partiklar beror till stor del på vilka ämnen som ingår i partiklarna och även på partiklarnas storlek. Det finns ett statistiskt samband mellan exponering för förhöjda partikelhalter och ökad sjuklighet och dödlighet, speciellt för de minsta partiklarna. PM står för engelska benämningen "particulate matter". Det används för att klassificera storleken av PM₁₀ och PM_{2.5} som är halt av partiklar, i $\mu\text{g}/\text{m}^3$, med aerodynamisk diameter mindre än 10 μm respektive 2.5 μm .

Gasformiga luftföroreningar med ursprung i inomhusluft

Flyktiga organiska ämnen (VOC) och **formaldehyd** har sina huvudsakliga källor inomhus. De avges från byggmaterial, inredning, mänskliga aktiviteter och människor själva. Formaldehyd är en beståndsdel i lim som används vid tillverkning av spånskivor och andra träbaserade kompositmaterial. Formaldehyd är irriterande och är klassad som cancerframkallande för människor av IARC (International Agency for Research on Cancer).

En del luftföroreningar inomhus alstras av människor själva. Till exempel har man studerat andel av flyktiga organiska ämnen (VOC) i en lärosal och konstaterat att människor bidrog med 57 % av VOC medan andelen från inredning var 8 % och resterande 35 % kom från tilluften (Tang m.fl. 2016).

Ett annat ämne, som förekommer i utandningsluften och som förekommer inomhus i halter som vida överskridande andra luftföroreningar är **koldioxid** (CO₂). Dess halt är en praktisk indikator på om ventilationen tillför tillräckligt mycket luft i lokaler där människors utandningsluft är den viktigaste koldioxidkällan.

Partiklar

Partiklar i olika storlekar förekommer i uteluften men kan även genereras inomhus, exempelvis av matlagning och tillfälligt vid städning. Undermålig eller otillräcklig städning innebär att bakgrundshalten av partiklar ökar.

Guidelines och riktvärden för luftkvalitet inomhus

Epidemiologiska och toxikologiska studier visar på samband mellan exponering för luftföroreningar och hälsoeffekter. För gasformiga ämnen och partiklar och som förekommer i innemiljöer finns internationella eller nationella rekommenderade riktvärden som baseras på forskning. Exempel på luftföroreningar som kan förekomma i bostäder och som har riktvärden för innemiljön är kvävedioxid (NO₂), ozon (O₃), flyktiga organiska ämnen (VOC), formaldehyd samt partiklar (damm).

I lokaler där luftföroreningar huvudsakligen uppkommer genom personbelastning kan koldioxidhalten användas som en indikator på om luftkvaliteten är tillfredsställande. Folkhälsomyndigheten (FoHMFS 2014:18) ger allmänna råd om ventilation i bostäder och lokaler för allmänna ändamål. I sådana lokaler ska en koldioxidhalt under 1000 ppm eftersträvas. Om koldioxidhalten i ett rum vid normal användning regelmässigt överstiger 1 000 parts per million (ppm), bör detta ses som en indikation på att ventilationen inte är tillfredsställande.

Världshälsoorganisationen (WHO, 2005; WHO, 2010) och Umweltbundesamt (UBA) – den tyska motsvarigheten till Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen – har definierat så kallade riktvärden (guideline values) för ett urval relevanta luftföroreningar i innemiljöer: ozon, NO₂, SO₂, partiklar PM₁₀ och PM_{2.5}, flyktiga organiska ämnen och formaldehyd. Dessa rekommenderade riktvärden/guidelines gäller främst för bostäder och andra icke-industriella miljöer.

Halter av VOC i inomhusluft anges ofta som en summa av analyserade ämnen, s.k. TVOC. Det kan finnas upp till 6 000 olika VOC i inomhusluft och sammansättningen varierar mellan olika innemiljöer och över tid. Eftersom det finns en stor variation i vilka ämnen som ingår i TVOC, går det inte att dra några slutsatser om hälsoeffekter baserat på uppmätta TVOC-halter. TVOC relaterar inte till några enskilda hälsoeffekter och kan därför inte användas som hälsoindikator. Däremot kan storleken på TVOC halten ge en indikation på föroreningsnivå av flyktiga organiska ämnen.



Temperatur (T) och relativ luftfuktighet (RF) är parametrar som har betydelse för upplevelse av komfort inomhus. De flesta människor upplever god termisk komfort inom temperaturintervallet 20–24 °C (SOFS 2005:15; FoHMFS 2014:17). Förhöjd temperatur (35–40 °C) leder till fysiska och fysiologiska symptom från obehag, koncentrationssvårigheter, risk för misstag i arbetet och risk för olyckor, störning av metabolism, överbelastning av hjärt-kärlsystem, trötthet och utmattningsproblem. Prestationsförmågan påverkas redan vid 25 °C (Wyon, 1986).

Människans förmåga att objektivt ta ställning till luftens fuktighet är dåligt utvecklad. Högt luftfuktighet kan orsaka fuktproblem och ökad risk för mögelpåväxt. Rekommenderad luftfuktighet är 30–70 % relativ luftfuktighet (RF). Besvär orsakade av torr luft kan uppträda vid nivåer under 20 % RF och orsaka torra ögon, läppar, hud, och slemhinnor i näsan, allergi och andningsproblem, samt näsblod. Torr luft med en RF på 20 procent och något lägre kan förekomma på vintern utan att orsaka besvär för människor (SOFS 2005:15).

Tabell 1. Sammanställning av rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet i inomhus. De flesta riktvärden anger medelvärden för en viss tidsperiod. I tabellen anges den tid som respektive riktvärde gäller för i kolumnen Medelvärdesperiod.

Parameter	Riktvärde inomhus	Medelvärdesperiod	Referens
CO ₂ koldioxid	1 000 ppm	momentana värden	FoHMFS 2014:18
NO ₂ kvävedioxid	40 µg/m ³	1 år	WHO 2010
O ₃ Ozon	100 µg/m ³	8 timmar	WHO 2005
TVOC	300 µg/m ³	momentana värden	UBA
Formaldehyd	10 µg/m ³	hela livet*	Mandin m.fl. (2009)
	100 µg/m ³	30-minuter	WHO 2010
PM ₁₀	20 µg/m ³	1 år	WHO 2005
	50 µg/m ³	24 timmar	WHO 2005
PM _{2.5}	10 µg/m ³	1 år	WHO 2005
	25 µg/m ³	24 timmar	WHO 2005
Temperatur	20 – 24 °C	momentana värden	FoHMFS 2014:17
Relativ luftfuktighet	30 – 70 %	momentana värden	SOFS 2005:15

Mål för projektet

I detta projekt har vi fått tillfälle att studera luftkvalitet och inneklimat i HSB Living Lab under första året efter inflyttning; detta både genom mätningar av halter av luftföroreningar och via studie av boendes upplevda luftkvalitet.

Projektets mål har varit att:

- Följa upp och dokumentera uppmätt och upplevd luftkvalitet i HSB Living Lab under ett år
- Utvärdera hur innemiljö och luftkvalitet påverkas av byggnad, inredning och mänskilda aktiviteter

Metoder och genomförande

Huset och mätplatser

HSB Living Lab (<https://www.hsb.se/hsblivinglab/>), se figur 1, som har uppförts på Chalmers inom ramen för Johanneberg Science Park Open Area Urban Development, är en flyttbar byggnad med fem våningar som också fungerar som en samverkansplattform för gränsöverskridande idé- och kunskapsutbyte, HSB Living Lab har byggts för att vara en forsknings- och testarena för att utveckla framtidens boende, där man bl.a. ska testa nya material, ny teknik och arkitektoniska lösningar. Byggnaden inrymmer bostäder för studenter och gästforskare. De boende deltar i undersökningar, testar nya material, lösningar och medverkar i utvärdering av idéer om det framtida boendet. Det är ett unikt projekt där helt nya tekniska och arkitektoniska innovationer ska testas under 10 år. Tester som förhoppningsvis ska resultera i ny kunskap som kan användas för att bygga framtidens bostäder, men även höja kvaliteten i befintliga bostäder.



Figur 1. HSB Living Lab huset.

I samråd med HSB Living Labs projektledning valdes två bostäder i huset för undersökningar. Det första var en lägenhet som HSB förfogar över – ett studentrum tillhörande ett kluster om 6 studentlägenheter på plan 2. Klustret innefattar också ett utrymme med köksinredning och en gemensam yta för umgänge med soffor och fåtöljer. HSB-rummet var färdigbyggt men inte möblerat. Inne i rummet fanns under hela projektperioden rester av byggprodukter och ouppackade möbler. Denna lägenhet benämns lgh 0204, se figur 2. De andra fem studentrum var inredda och bebodda under projektperioden.



Figur 2. Utseende av lgh. 0204.

Den andra mätplatsen var en tretrumslägenhet på plan 3. I början av juni 2016 flyttade en gästforskarfamilj in bestående av två föräldrar och ett litet barn. Familjen flyttade ut i slutet av juni 2017 och ersattes av en ny hyresgäst. Denna lägenhet benämns lgh 0305, se figur 3. Lägenheten var från början utrustad med den fasta köksinredningen. Före inflyttningen möblerades lägenheten med bord, stolar och sängar.



Figur 3. Vardagsrummet i lgh 0305 (vänster bild) och tillhörande balkong som användes för utomhusmätningen (höger bild).



Mätningar

Ventilation

HSB Living Lab är ventileras via ett FTX-system (från och tilluft med värmeåtervinning) och har balanserade luftflöden. Detta är standard i moderna och energieffektiva flerbostadshus. Även luftflöden på rumsnivå är projekterade och injusterade för att följa gällande regelverk (BFS 2011) och branschstandard.

Projekterade flöden

Lgh 0204 liksom övriga studentrum i klustret har ett projekterat konstant luftflöde om 15 l/s vilket motsvarar luftomsättning 1,16 oms/h. Ventilationskanalen till lgh 0204 var proppad under den tid studien av luftkvalitet genomförts, vilket innebär att lägenheten inte haft någon mekanisk ventilation alls under mätperioden.

Det gemensamma utrymmet i det studentkluster som lgh 0204 tillhör har ett projekterat grundluftflöde om 60 l/s med en möjlighet till forcering av frånluftsflödet över köket med ytterligare 20 l/s vid matlagning. Detta ger i grundfallet utan forcering en luftomsättning på 0,71 oms/h.

I lgh 0305 är respektive sovrum projekterade för att ventileras med ett konstant tilluftsflöde om 8 l/s vilket motsvarar 0,75 oms/h. Vidare är projekterat grundflöde för kök/vardagsrum 35 l/s med en möjlighet till forcering av frånluftsflödet över köket med ytterligare 20 l/s vid matlagning. Detta ger i grundfallet utan forcering en luftomsättning på 0,8 oms/h.

Inneklimat och luftföroreningar

Mätningarna var planerade att utföras under ett års tid en gång i månaden med början i maj 2016, innan hyresgästerna flyttade in i huset. På grund av oförutsedda problem blev det ett avbrott i mätningarna efter de första tre mätomgångar. Arbetet återupptogs i januari 2017 och fortsatte till november 2017.

De mätningar som genomfördes i de två lägenheterna avsåg dels innemiljöparametrarna temperatur och relativ luftfuktighet. Därutöver mättes halten av CO₂, NO₂, ozon, VOC, formaldehyd och partiklar. De gasformiga luftföroreningarna NO₂, ozon, VOC, formaldehyd mättes med IVL:s diffusiva (passiva) provtagare; inneklimatparametrarna temperatur, relativ luftfuktighet och halten CO₂ med en loggande sensor (Wöhler CDL 210 CO₂-logger) och partiklarna med ett direktvisande instrument (Grimm Mini-WRAS 1371). Detaljer om mätmetoderna finns i Bilaga 1.

I lgh 0204 var inte el inkopplat och därför mättes temperatur, relativ luftfuktighet, halten av CO₂ och partiklar i klustrets gemensamma rum. De gasformiga luftföroreningarna som provtogs passivt (utan behov av strömförsörjning) mättes med några undantag inne i lgh 0204. En mätning utfördes i ett bebott studentrum (anmärkning lgh 1101 i Tabell 2) och tre av dessa mätningar utfördes i klustrets gemensamma rum (anmärkning Kluster i Tabell 2). Dessa variationer infördes för att kunna undersöka halterna i ett färdigbyggt men oinrett rum, i ett möblerat utrymme och i ett möblerat och bebott rum. I lgh 1101 (studentrummet) utfördes mätning av alla parametrar.



I Tabell 2 redovisas när och var mätningarna gjordes.

Tabell 2. Sammanställning av tidpunkter för mätningarna samt var mätningarna gjordes.

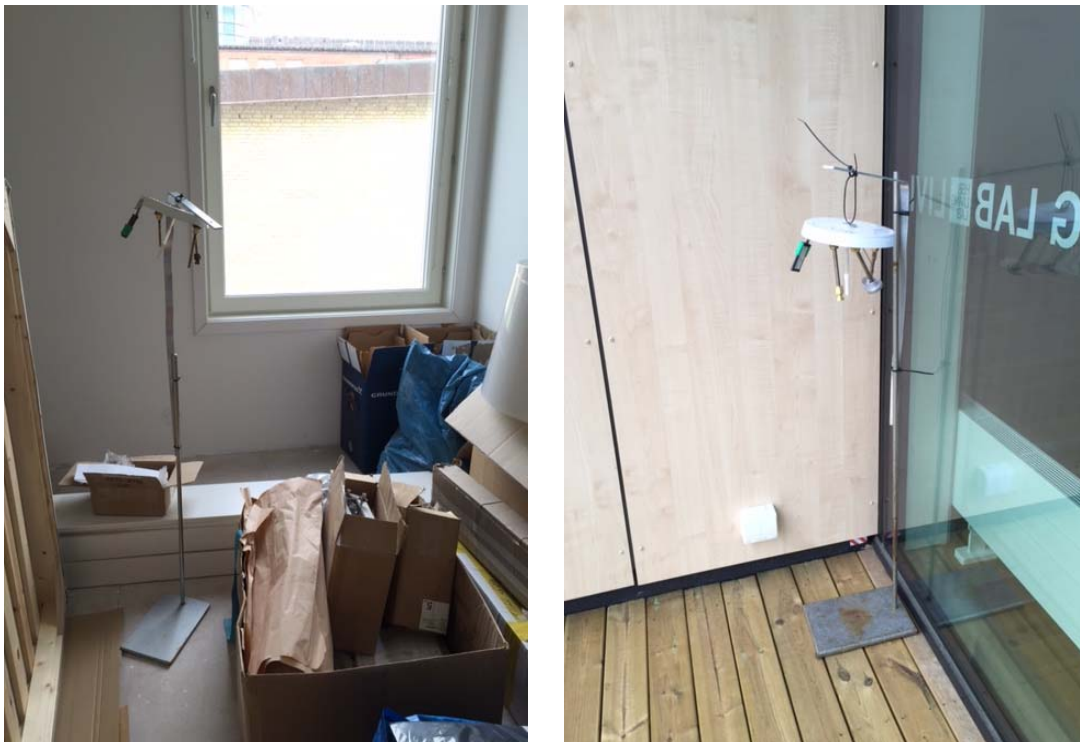
Mätning nr	År-månad	Start	Stopp	Vecka nr löpande	Anmärkning
1	2016-maj	2016-05-20	2016-05-27	1	Lgh 0204
2	2016-juni	2016-06-20	2016-06-27	5	Lgh 0204
3	2016-augusti	2016-08-01	2016-08-08	11	Lgh 0204
4	2017-januari	2017-01-12	2017-01-19	35	Lgh 0204
5	2017-februari	2017-02-08	2017-02-15	38	Lgh 0204
6	2017-mars	2017-03-01	2017-03-07	41	Lgh 1101
7	2017-april	2017-04-04	2017-04-11	46	Kluster
8	2017-maj	2017-05-03	2017-05-10	50	Kluster
9	2017-juni	2017-06-08	2017-06-15	55	Kluster
10*	2017-augusti	2017-08-10	2017-08-17	65	Lgh 0204
11	2017-november	2017-11-27	2017-12-04	75	Lgh 0204

* ingen mätning i lgh 0305

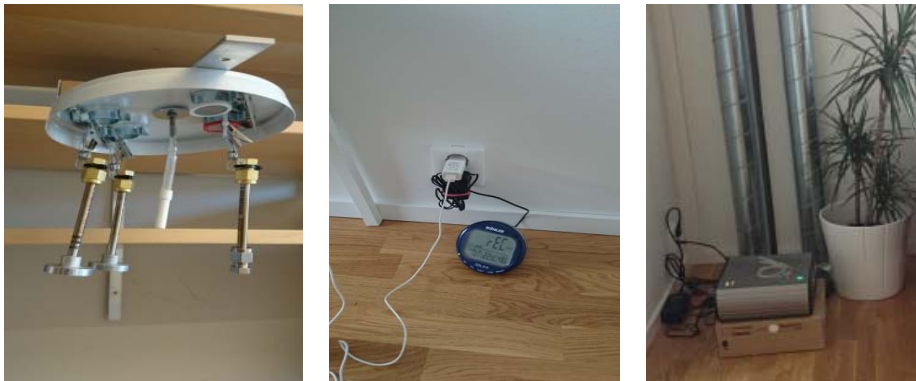
I lgh 0305 genomfördes mätningen av inneklimateparametrar och CO₂ i föräldrarnas sovrum medan de gasformiga luftföroreningarna och partiklarna mättes i vardagsrummet.

Mätningarna av NO₂, ozon, VOC och formaldehyd i utomhusluft utfördes på balkongen tillhörande lgh 0305. Temperatur, relativ luftfuktighet, NO₂, ozon och partikelhalter PM₁₀ och PM_{2.5} har erhållits från Göteborgs Stads Miljöförvaltnings luftövervakning.

Partiklarna mättes med mini-WRAS partikelräknare, 3-4 dagar på varje mätplats eftersom det bara fanns ett instrument till förfogande: i det gemensamma rummet i klustret och i vardagsrummet i lgh 0305. Bilderna i figurer 4 och 5 visar mätutrustningens placering.



Figur 4. Bilder från mätningarna med diffusiva provtagare i lgh 0204 (vänster bild) och på balkongen vid lgh 0305 (höger bild).



Figur 5. Bilder från mätningarna: detalj från mätningen med diffusiva provtagare (vänster bild); Wöhler sensor för temperatur, relativ luftfuktighet och halten av CO₂ (mittenbild); mini-WRAS partikelräknare (höger bild).

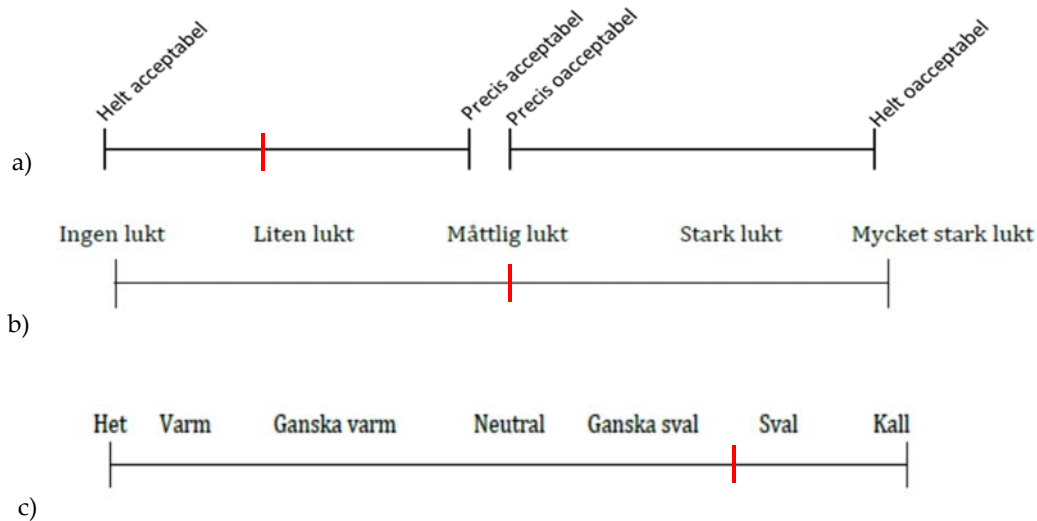
Enkätundersökning om upplevd luftkvalitet

Upplevd luftkvalitet undersöktes med en enkät. Respondenter svarade på frågor om acceptansen av luftkvalitet, lukten och den termiska komforten.

Enkätsvaren bygger på att man markerar sitt svar som ett streck på en så kallad visuell analog skala. Denna skala rekommenderas för otränade respondenter som inte är vana att bedöma luftkvaliteten inomhus. Allmän acceptans av luftkvalitet bedöms från Helt acceptabel till Helt

oacceptabel; svaren kodas från -1 till +1 med den delade övergången som kodas som 0 (noll) (Wargocki, 2004). Bedömningen av lukten (ingen till mycket starkt) enligt Wargocki m.fl. (1999) och den termiska komforten (kall – het) görs också på de analoga skalorna och kodas från 0 (ingen lukt, kall) till 10 (mycket stark lukt, het).

Det faktiska utseendet av enkäten visas i figur 6.



Figur 6. Utseende av enkätfrågor om acceptansen (a), lukten (b) och den termiska komforten (c) på frågeformuläret.

Enkäterna delades ut i brevlådorna för alla boende i huset, samt i samband med mätningarna i lägenheterna 0204 och 0305, detta tillsammans med ett informationsbrev om undersökningens karaktär. Ifyllda enkäter med uppgifter om lägenhetsnummer och datum samlades in i en plastficka fäst på brevlådorna. Dessutom besvarades enkäterna av personalen från IVL som utförde mätningarna (inspektörer, 2 personer) i båda lägenheterna under samma tillfällen som mätningarna för att få en uppfattning hur tillfälliga besökare upplever luftkvaliteten.

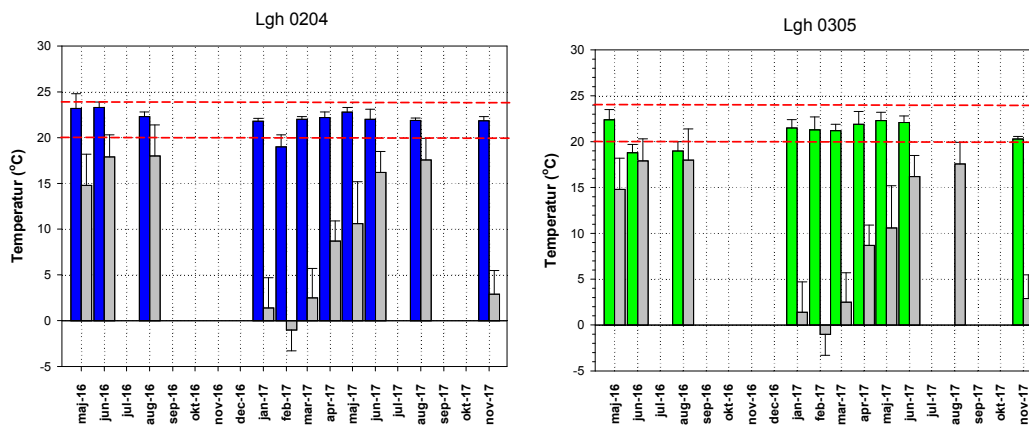
Resultat och diskussion

Ventilation

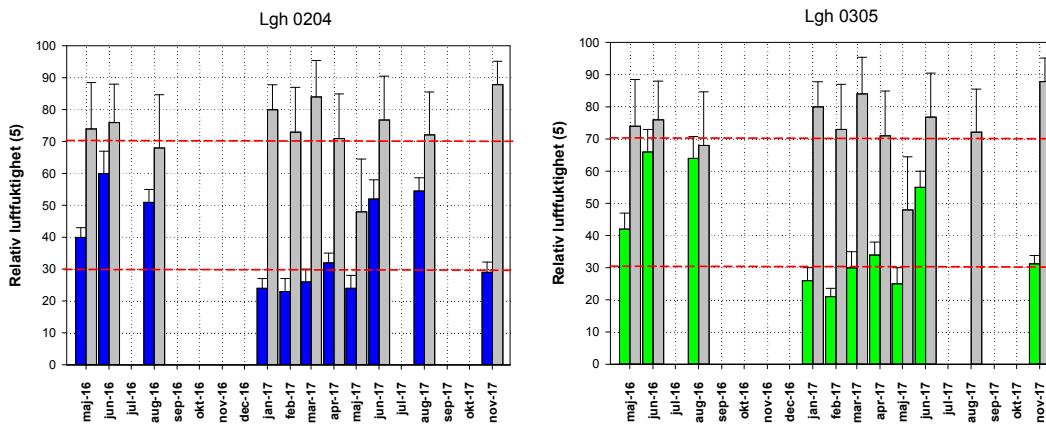
För ventilation och luftomsättning i de studerade lägenheterna och klustret antas att lgh 0204 hade inte någon ventilation alls och de andra utrymmen hade luftomsättning som var högre än Boverkets minimikrav 0,5 oms/h.

Inneklimat

Temperatur, relativ luftfuktighet och uppmätta halter av koldioxid presenteras i figur 7- 9. Staplarna representerar veckovisa medelvärden för varje mättillfälle i respektive lägenhet, tillsammans med värden från utomhusluft för motsvarande mätperioder. Värden för lgh 0204 är mätdata från det gemensamma utrymmet i klustret.



Figur 7. Temperatur i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: temperatur i utomhusluft för motsvarande mätperioder.



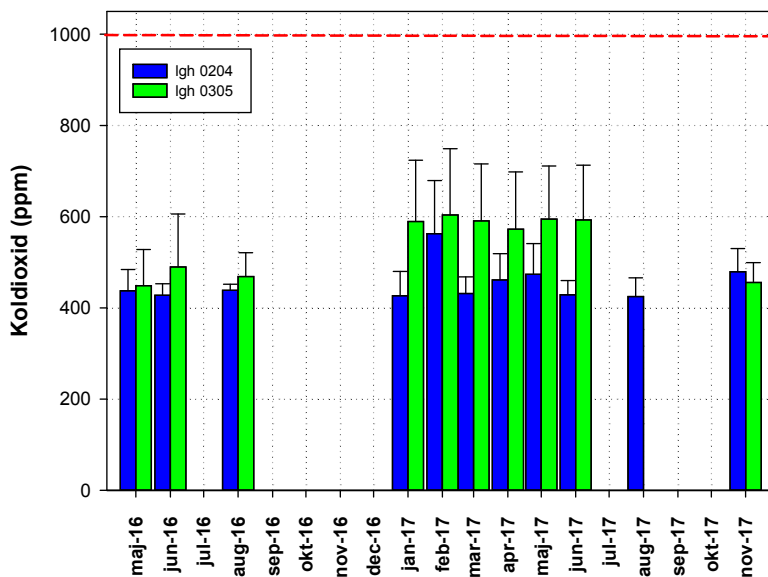
Figur 8. Relativ luftfuktighet i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: relativ luftfuktighet i utomhusluft för motsvarande mätperioder.

Medeltemperatur över hela mätperioden var $(22,0 \pm 1,2)$ °C i lgh 0204 och $(21,2 \pm 1,4)$ °C i lgh 0305, se figur 7. Temperaturen var inom ramen för komfortgränserna 20 – 24 °C. Det var större variation i temperatur i lägenheten 0305 eftersom de boende öppnade fönstren/dörren till balkongen under mätmånaderna juni och augusti: då medeltemperaturen var $(18,9 \pm 0,1)$ °C. Övrig tid den var medeltemperaturen $(21,8 \pm 1,1)$ °C. Relativ luftfuktighet över hela mätperioden var (39 ± 15) % i lgh 0204 och (40 ± 17) % i lgh 0305, se figur 8. Den har inte överstigit det övre rekommenderade riktvärdet på 70 % RF men vid flera tillfällen underskridit det lägre rekommenderade riktvärdet på 30 % RF.

Temperaturen i de undersökta bostäderna i HSB Living Lab låg på samma nivå som i vanliga svenska bostäder. Medeltemperaturen i det svenska bostadsbeståndet, i nybyggda konventionella

hus och i passivhus var $(21,9 \pm 1,5)^\circ\text{C}$, $(22,0 \pm 1,1)^\circ\text{C}$ respektive $(22,1 \pm 1,4)^\circ\text{C}$. Motvarande medelvärden för relativ luftfuktighet var $(33 \pm 6) \%$, $(38 \pm 9) \%$ och $(30 \pm 7) \%$. RF varierar naturligt under året med låga värden under vintern och högre värden under sommaren, vilket redovisats i andra studier (Langer och Bekö, 2013; Langer m. fl. 2015; Frankel m. fl., 2012).

Medelvärden av koldioxidhalten var (452 ± 42) ppm i lgh 0204 och (550 ± 62) i lgh 0305, se figur 9. Dessa värden var väl under det rekommenderade riktvärde för god inomhusluftskvalitet på 1 000 ppm. Det betyder att ventilationen i de båda utrymmen klarade att ventilerade bort den koldioxid som alstrades av de personer som vistades i lägenheterna. Halterna varierade mera i lgh 0305 än i lgh 0204 (modul 2). Detta beror på att boendetätheten var högre i lgh 0305 jämfört lgh 0204 som stod tom den största delen av tiden.



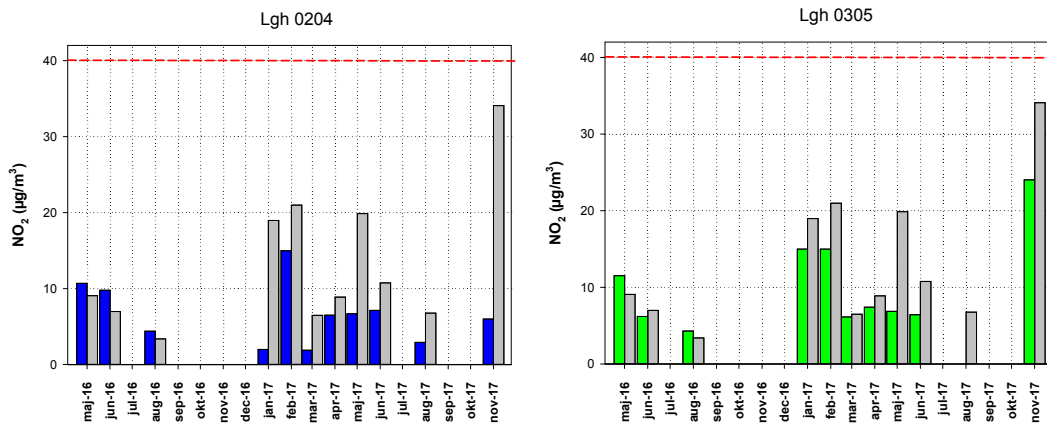
Figur 9. Halten av koldioxid i lägenheterna 0204 (blå staplar) och 0305 (gröna staplar).

Luftföroreningar

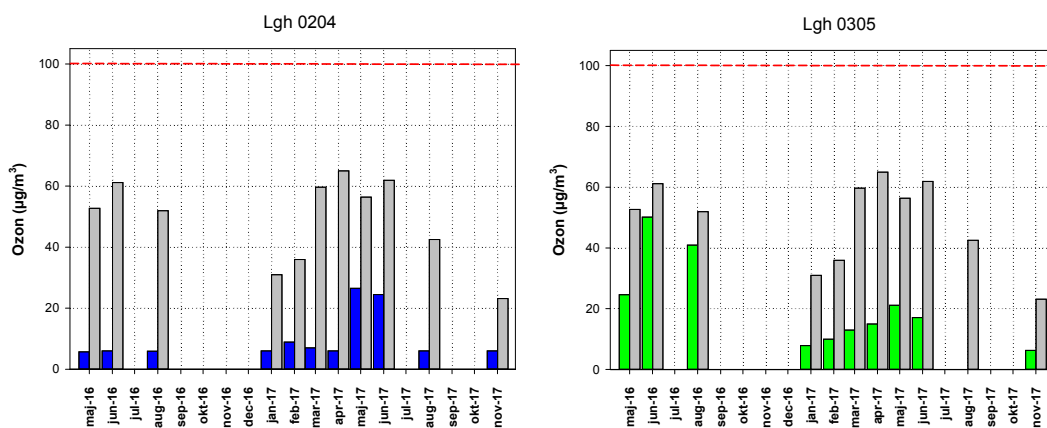
Halter av luftföroreningar redovisas som medelvärden för varje provtagningsperiod på en vecka.

Kvävedioxid och ozon

Uppmätta halter av NO_2 och ozon i båda lägenheterna/mätplatserna samt halterna i utomhusluft och hur de varierade under året visas i figur 10 och 11.



Figur 10. Halter av NO₂ i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: NO₂-halt i utomhusluft för motsvarande mätperioder. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för NO₂ i inomhusluft på 40 µg/m³.



Figur 11. Halter av ozon i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: ozon-halt i utomhusluft för motsvarande mätperioder. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för O₃ i inomhusluft på 100 µg/m³.

Halterna av NO₂ och ozon låg väl under de rekommenderade riktvärdena för inomhusluft i båda lägenheterna, se figur 10-11. Dessa två luftföroreningar har ursprung i utomhusluft. Kvoten mellan halterna i inomhus- och utomhusluft, så kallad "indoor-to-outdoor ratio (I/O)" visar var specifik luftförorening kommer ifrån. I/O kvoten < 1 tyder på utomhuskällor och I/O > 1 på inomhuskällor.

I/O för kvävedioxid ligger normalt runt 1 och för ozon under 1 i inomhusmiljöer. Det var fallet också för NO₂-halter i de båda undersökta lägenheterna; variationerna i NO₂ halter över tid visar att inomshalter samvarierade med halterna i utomhusluft.

Ozon är mycket reaktivt ämne och reagerar bland annat med andra ämnen på ventilationskanalernas ytor varför halterna i inomhusluft normalt sett är lägre än i utomhusluft. I/O kvoterna är beroende på luftomsättningen och är lägre vid låga luftomsättningar och tvärtom. De förhöjda ozonhalterna i lgh 0305 under de första tre mätomgångarna (maj, juni och augusti 2016) beror på att fönstren och/eller balkongdörr hölls öppna och att detta innebar att mera ozon från utomhusluft kom in i lägenheten utan att passera ventilationskanalen.

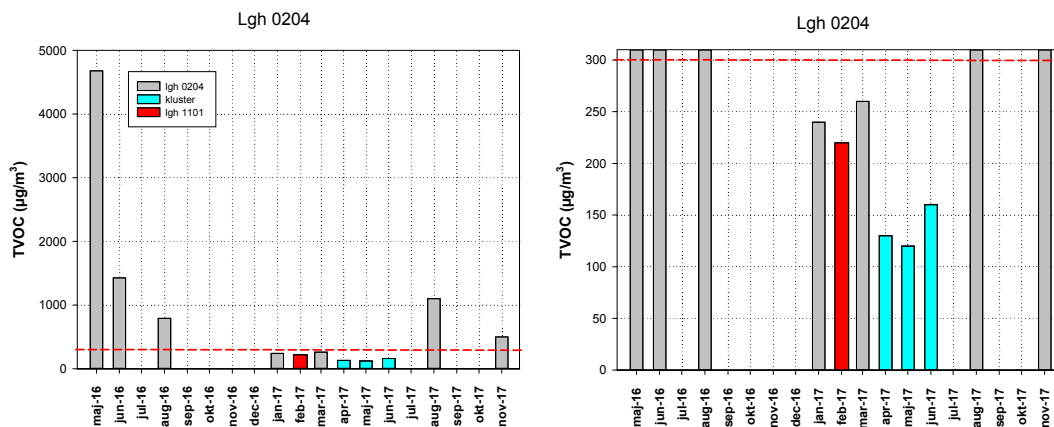
Årsmedelvärden för NO₂ var $(6,7 \pm 4,2) \mu\text{g}/\text{m}^3$ och $(8,8 \pm 4,0) \mu\text{g}/\text{m}^3$ i lgh 0204 och lgh 0305. Medelvärdena var i samma storleksordning som NO₂-halterna i det svenska bostadbeståndet på $8,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (median; Langer and Bekö, 2013) och i nybyggda hus på $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (median; Langer m.fl., 2015). Årsmedelvärden av ozonhalter var $(10 \pm 8,1) \mu\text{g}/\text{m}^3$ och $(22 \pm 14) \mu\text{g}/\text{m}^3$ i lgh 0204 och lgh 0305. Medianhalt av ozon inomhus i de nybyggda bostäderna var $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Langer m.fl., 2015).

TVOC och formaldehyd

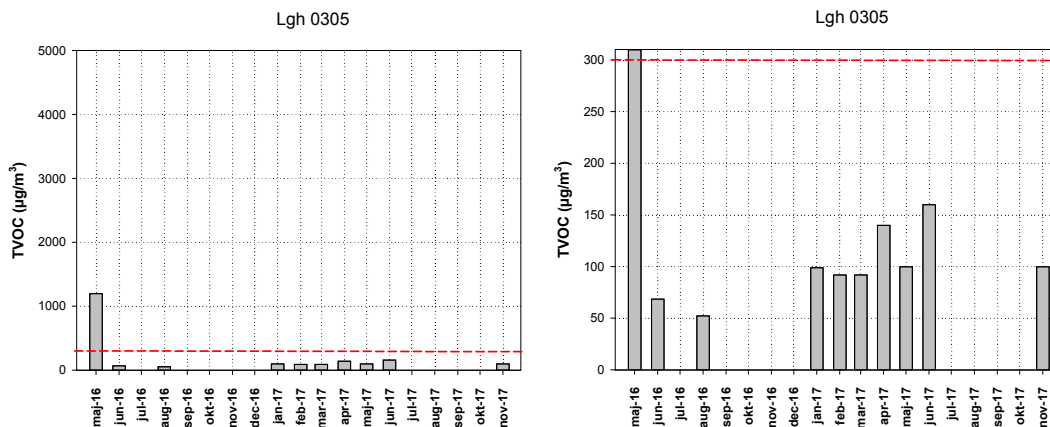
De uppmätta halterna av TVOC och formaldehyd och hur de varierade under mätperioden visas i figur 12 – 15.

Totalhalten av VOC, TVOC, i lgh 0204 (figur 12) och i lgh 0305 (figur 13) var initialt hög och över UBA:s riktvärde på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ för halter som inte bör överskridas momentant i innemiljöer. Denna höga halt uppmättes före inflyttning.

TVOC-halten i lgh 0305 sjönk till låga värden när de boende flyttade in (juni 2016) då från denna tidpunkt har ventilationen körts med kontinuerlig drift. TVOC-halten sjönk också i lgh 0204, som inte var inrett eller bebodd. Mätningen i lgh 0204 (gråa staplar i Figur 12) visar att TVOC halten sjönk med tiden även i detta oventilerade utrymme. Senare under året med början i januari 2017 steg halterna av TVOC återigen i båda lägenheterna, men inte över riktvärdet. I studentlägenheten (lgh 1101) var halten jämförbar med det gemensamma utrymmet (klustret).



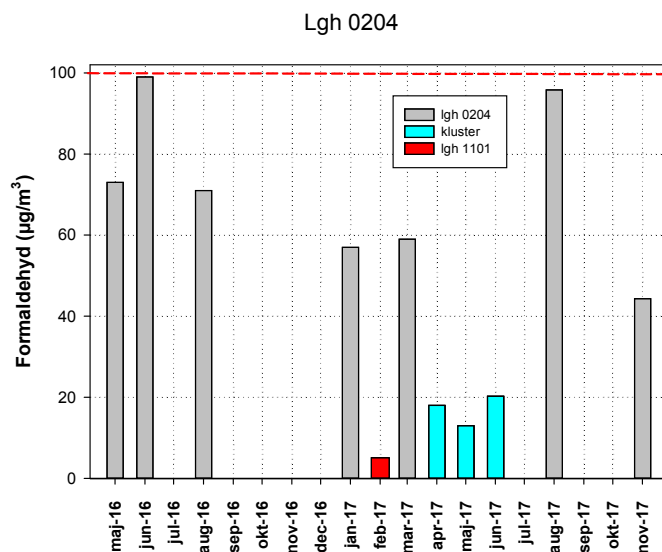
Figur 12. TVOC halterna i lgh 0204 och närliggande mätplatser. Grå staplar: lgh 0204; röd stapel: lgh 1101 (studentbostad); blå staplar: kluster (gemensamt utrymme). Observera att de två bilderna har olika skalor; den vänstra bilden är detalj av den högra bilden. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för TVOC i inomhusluft på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



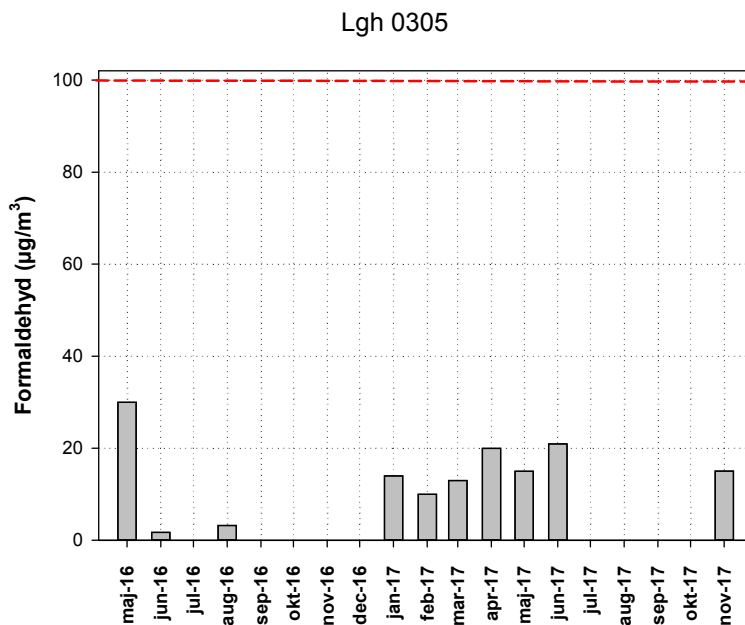
Figur 13. TVOC halterna i lgh 0305. Observera att de två bilderna har olika skalor; den vänstra bilden är detalj av den högra bilden. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för TVOC i inomhusluft på 300 µg/m³.

Halterna av formaldehyd låg också under det rekommendera riktvärde på 100 µg/m³ i båda lägenheterna under hela mätperioden, se figur 14-15. Halterna i figur 14 i studentlägenheten (lgh 1101) och i det gemensamma utrymmet var betydligt lägre än i det oinredda och oventilerade rummet (lgh 0204).

I lgh 0305 (Figur 15) ser man hur formaldehydhalterna har förändrats över tid: något högre före inflyttningen (maj 2016), mycket låg under sommarmånaderna 2016 då fönstren/balkongdörren stod öppna och sedan något högre men på ungefär samma nivå under resten av mätperioden.



Figur 14. Halter av formaldehyd i lgh 0204 och närliggande mätplatser. Grå staplar: lgh 0204; röd stapel: lgh 1101 (studentbostad); blå staplar: kluster (gemensamt utrymme). Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för formaldehyd i inomhusluft på 100 µg/m³.



Figur 15. Halter av formaldehyd i lgh 0305. Ingen mätning gjordes i augusti 2017. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för formaldehyd i inomhusluft på 100 µg/m³.

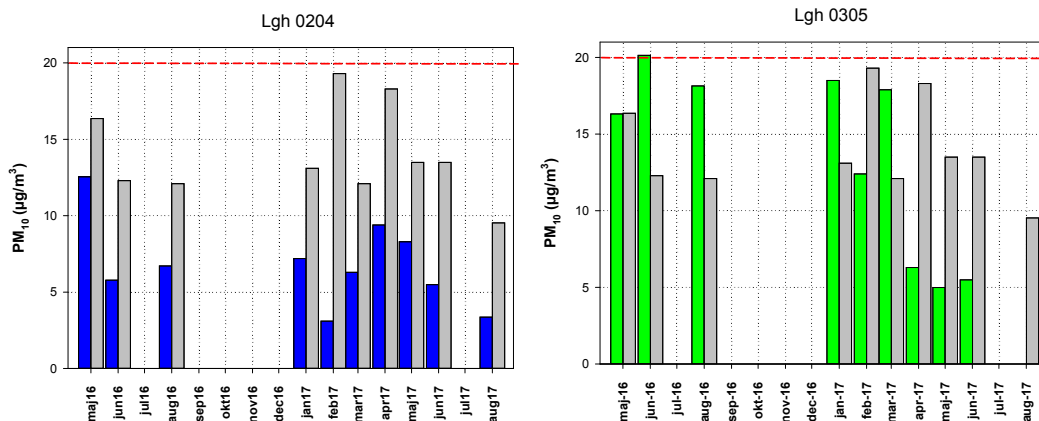
En fransk studie (Plaisance m.fl., 2017) visade att TVOC halten sjönk kraftigt från byggskedet till tidpunkten då lägenheterna tagits i drift. Ventilation hade mindre påverkan på TVOC halter än färdigställande och möbleringen. I finska bostäder sjönk halterna av TVOC i bebodda lägenheter till ungefär hälften sex månader efter inflyttningen och ytterligare 10 % efter ytterligare sex månader (Järnström m.fl., 2006). Denna utveckling har inte observerats i den bebodda lägenheten 0305 där TVOC halter till och med steg något efter drygt 6 månader.

TVOC-medelvärden var 1 100 µg/m³ i lgh 0204 och 100 µg/m³ i lgh 0305; motsvarande medelvärden för formaldehyd var 65 µg/m³ och 13 µg/m³. Formaldehydhalten verkar ha tangerat riktvärdet (30-minutersmedelvärdet) vid två mättillfällen i lgh 0204. Det var dock i oventilerat och obebott utrymme, varför det nog inte är så relevant för bedömning av innemiljö i den lägenheten.

En tidigare studie i svenska bostäder visade medianhalter av TVOC och formaldehyd på 180 µg/m³ respektive 17 µg/m³ (Langer and Bekö, 2013). I de nybyggda bostäderna var det statistiskt signifikanta skillnader mellan passivhus och konventionellt byggda hus i medianhalter av TVOC (270 respektive 150 µg/m³) och formaldehyd (11 respektive 16 µg/m³).

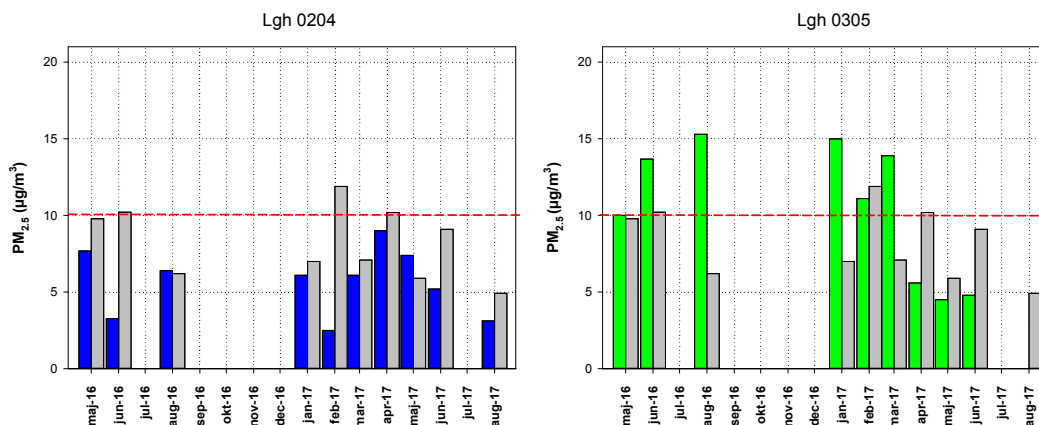
Partiklar

Halter av partiklar mätt som PM₁₀ och PM_{2.5} under mätperioden visas i figur 16 och 17. Medelvärden för partikelhalter PM₁₀ (se figur 16) för hela mätperioden var (6,8 ± 2,8) µg/m³ för lgh 0204 (klustret) och (13,4 ± 6,2) µg/m³ för lgh 0305. Dessa medelvärden var under det rekommenderade riktvärdet (årsmedelvärde) på 20 µg/m³.



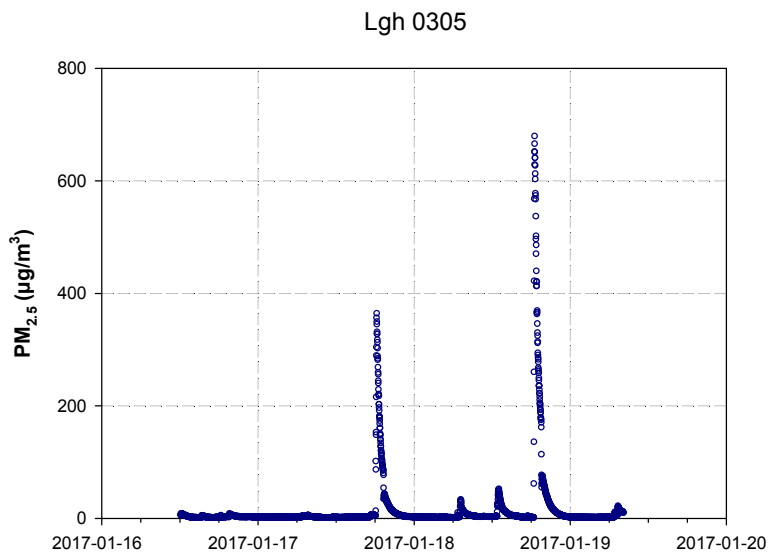
Figur 16. Halter av PM₁₀ i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: halter av PM₁₀ i utomhusluft för motsvarande mätperioder. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för PM₁₀ i inomhusluft på 20 µg/m³, detta riktvärde gäller som årsmedelvärde.

Medelvärden för partikelhalter PM_{2.5} (se figur 17) för hela mätperioden var (5,7 ± 2,1) µg/m³ för lgh 0204 (klustret) och (10,4 ± 4,4) µg/m³ för lgh 0305. Medelvärdet för PM_{2.5} i lgh 0305 låg strax över det rekommenderade riktvärde (årsmedelvärde) på 10 µg/m³ medan det var under riktvärdet i lgh 0204.



Figur 17. Halter av PM_{2.5} i lägenheterna 0204 (vänster bild, blå staplar) och 0305 (höger bild, gröna staplar). Grå staplar: halter av PM_{2.5} i utomhusluft för motsvarande mätperioder. Den streckade röda linjen anger rekommenderat riktvärde för PM_{2.5} i inomhusluft på 10 µg/m³, detta riktvärde gäller som årsmedelvärde.

I figur 18 presenteras hur halterna PM_{2.5} varierade under några dygn i januari 2017 i den bebodda lägenheten 0305. De extrema topparna sammanfaller med tiderna för frukost, lunch och middag och tyder på att partiklarna uppkom i samband med matlagning. Under övrig tid var halterna cirka 5 µg/m³. Figuren illustrerar att mänskliga aktiviteter, åtminstone momentant är av större betydelse för partikelhalten än utomhusluft som förs in via ventilationen eller läckage själva byggnaden.



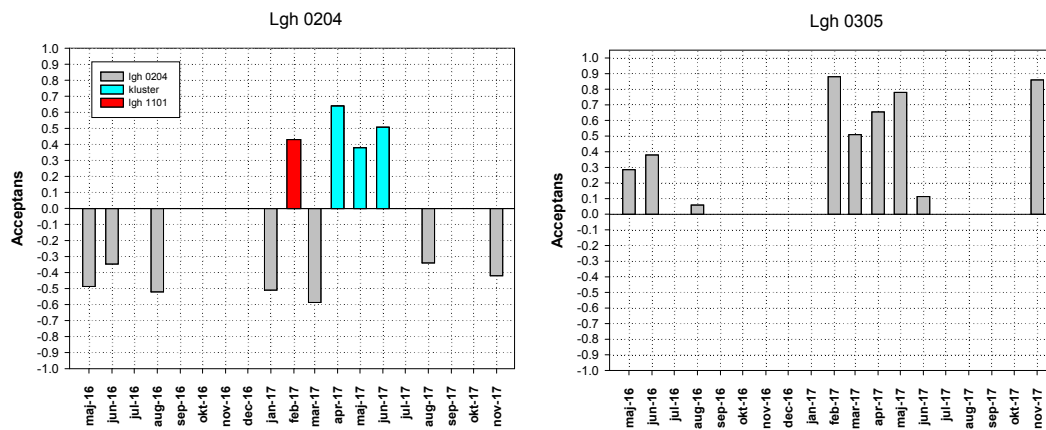
Figur 18. Tidsförlopp av halterna av PM_{2.5} i lgh 0305 under mätomgången i januari 2017.

En översiktartikel (review) om partikelhalter i inomhusluft som bygger på studier från flera länder visar att medianhalten av PM₁₀ var 35 µg/m³ och av PM_{2.5} 18 µg/m³ (Morawska m.fl., 2013). Partikelhalterna från de båda studerade lägenheterna i denna studie var lägre än dessa medelvärden beräknade från flera andra studier.

Upplevd innemiljö

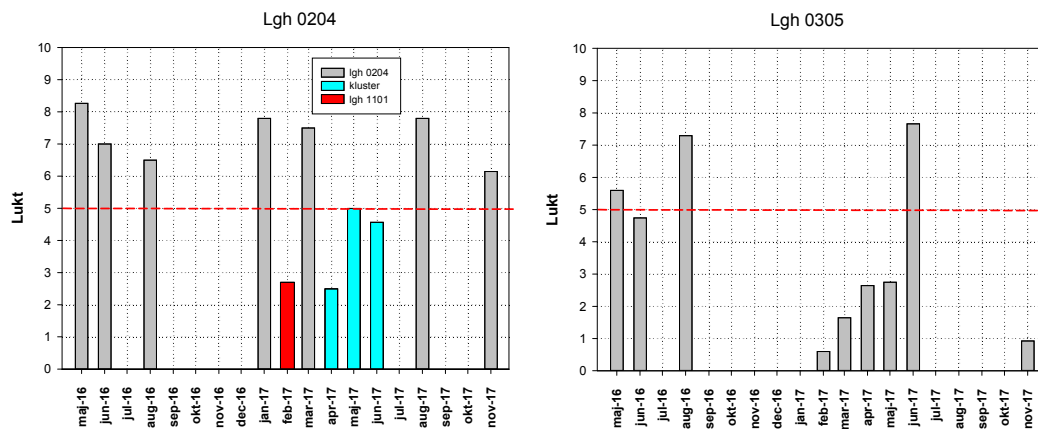
Inspektörer

Mätpersonal från IVL, här kallad "inspektörer", bedömde luftkvalitet med avseende på acceptans och lukt samt den termiska komforten i samband med installation av mätutrustningen vid de månatliga mätningarna. Resultat från enkätundersökningen för inspektörer presenteras grafiskt i figur 19 – 21. Staplarna i diagrammen är medelvärden från två bedömare.



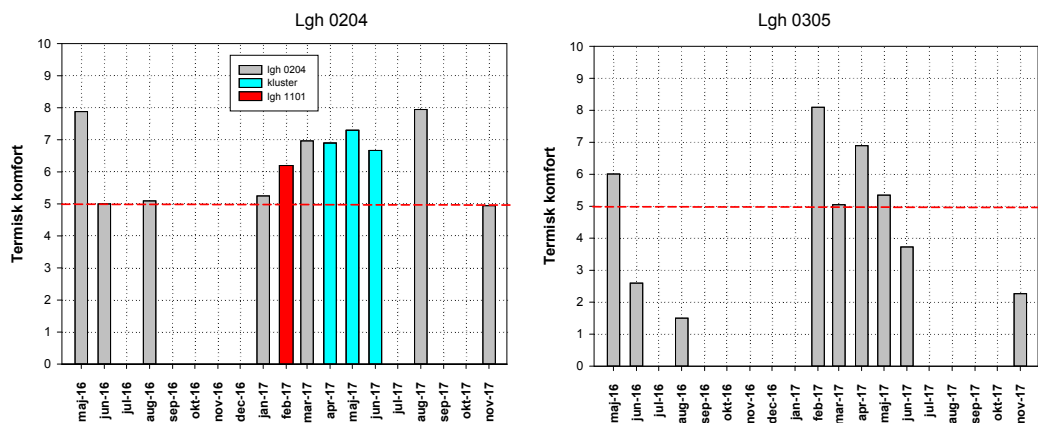
Figur 19. Acceptans av luftkvalitet bedömd av inspektörer. I den vänstra bilden är grå staplar: lgh 0204; röd stapel: lgh 1101 (studentbostad); blåa staplar: klustret (gemensamt utrymme). Höger bild gäller lgh 0305.

Bedömning av acceptansen i lgh 0204 visar tydligt på skillnaden mellan den oinredda och oventilerade lägenheten 0204 och studentlägenheten (lgh 1101) samt det gemensamma utrymmet – klustret (vänster bild i figur 19). I lgh 0305 var poäng för acceptansen positiva men låga i början av mätperioden och de steg allteftersom tiden gick (vänster bild i figur 19), troligen på grund av ventilation/vädning under sommarmånaderna.



Figur 20. Lukt bedömd av inspektörer. I den vänstra bilden är grå staplar: lgh 0204; röd stapel: lgh 1101 (studentbostad); blå staplar: klustret (gemensamt utrymme). Röd streckad linje betyder "måttlig lukt".

Bedömning av lukten i lägenheten 0204 visar också tydligt skillnad mellan det omöblerade, obebodda och oventilerade rummet och de andra mätplatserna, se figur 20. Den streckade röda linjen i figur 20 markerar bedömningen "måttlig lukt". I lgh 0305 varierade bedömningarna mellan besöken; de tillfällena med sämre upplevelse av lukten berodde oftast på matos.



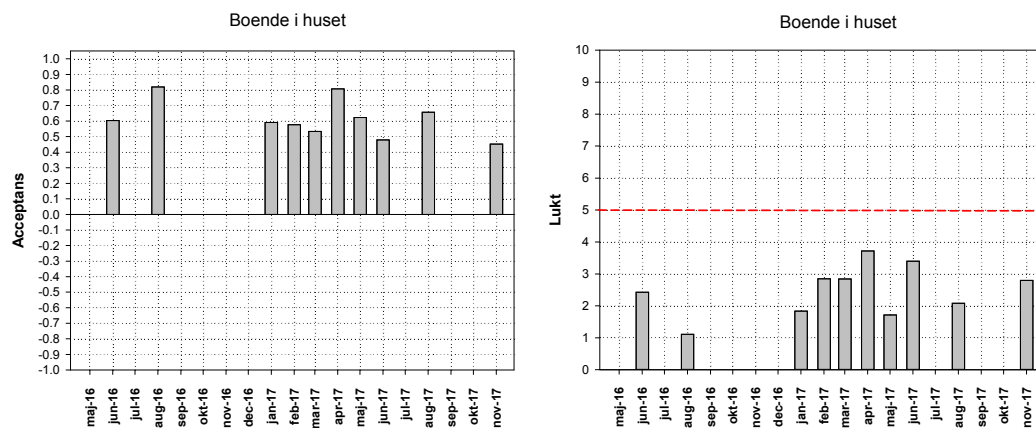
Figur 21. Termisk komfort bedömd av inspektörer. I den vänstra bilden är grå staplar: lgh 0204; röd stapel: lgh 1101 (studentbostad); blå staplar: klustret (gemensamt utrymme). Röd streckad linje betyder "neutral" temperatur.

Den termiska komforten upplevdes av inspektörer för det mesta som varm i lgh 0204, i studentbostaden och i det gemensamma utrymmet klustret, se figur 21. Upplevelsen av den termiska komforten i lgh 0305 varierade en del och berodde på öppna eller stängda fönster (juni och augusti 2016).

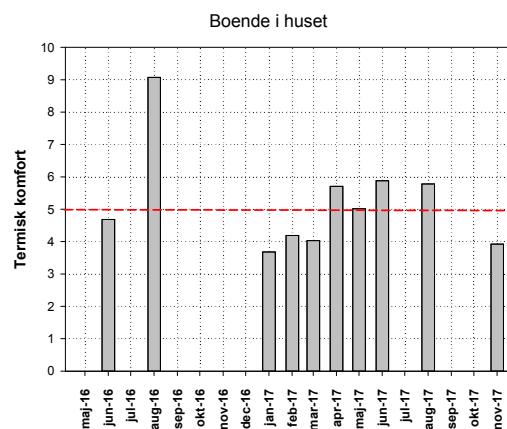
Boende

Boende ombads att svara i enkätundersökningen vid samma tidpunkter som inspektörerna. Enkäterna delades ut 10 gånger under projekttiden till samtliga 29 bostäder i huset, totalt 290 enkäter. Totalt lämnades 65 ifyllda enkäter in, vilket motsvarar 22 % svarsfrekvens. Svar inkom från 27 av de 29 bostäderna, två lägenhetsinnehavare svarade aldrig. För de 27 bostäderna inkom 1 – 5 svar per bostad (av 10). På grund av det låga antalet svar beräknades medelvärden för samtliga inkomna svar, oberoende av andra faktorer som t.ex. studentbostad eller flerrumsbostad, våningsplan, kön eller ålder.

Acceptansen av luftkvalitet, upplevelse av lukt och termisk komfort visas i figur 22 – 23. De boende upplevde luftkvaliteten som positiv och alla månatliga värden var $\geq 0,5$ på en skala mellan -1 till +1. Upplevelsen av lukt varierade något men bedömdes alltid under "måttlig lukt" (det luktade mindre). Den termiska komforten (figur 23) bedömdes för det mesta som "neutral".



Figur 22. Upplevd innemiljö av boende i huset. Upplevelsen av acceptans (vänster bild) och lukt (höger bild). Röd streckad linje i den högra bilden betyder "måttlig lukt".



Figur 23. Upplevelsen av termisk komfort av boende i huset. Röd streckad linje betyder "neutral temperatur".

Tabell 4 nedan summerar medelvärden från enkätsvaren för acceptans, lukt och termisk komfort. De boende upplevde innemiljö i det gemensamma utrymmet i modul 2 och lgh 0305 som bättre än inspektörerna: högre poäng för acceptans, lägre för lukt och neutralt för termisk komfort.



Inspektörer bedömde de ventilerade och bebodda utrymmena som ungefär likvärdiga. Rum 0204 upplevdes som sämst och luften ansågs oacceptabel, det luktade starkt och det var varmt.

Tabell 4. Sammanställning av medelvärden från enkätundersökning om upplevd innemiljö.

	Inspektörer lgh 0204 tom	Inspektörer lgh 1101/modul 2	Inspektörer lgh 0305	Boende
Acceptans	-0.56	0.49	0.46	0.63
Lukt	7.7	3.7	4.1	2.4
Termisk komfort	6.3	6.8	4.9	5.5

Bostadsinnehavare tyckte att luftkvaliteten i deras bostäder var bättre än inspektörer som utförde besiktningar och mätningar.

Slutsatser

Innemiljörelaterade mätningar utfördes på två mätplatser i HSB Living Lab under perioden maj 2016 till november 2017. Mätningar gjordes i 11 omgångar. Den ena mätplatsen var en oventilerad, oinredd och obodd lägenhet i ett kluster med studentlägenheter och den andra mätplatsen var en ventilerad och bebodd trerumslägenhet.

Halterna av luftföroreningarna som tillförs med ventilationsluften, kvävedioxid och ozon, var låga under undersökningsperioden och de låg under respektive rekommenderade riktvärden. Totalhalten flyktiga organiska ämnen överskred det rekommenderade riktvärde i den oinredda och oventilerade lägenheten medan den var under riktvärdet i den ventilerade och bebodda lägenheten. Halten av formaldehyd var betydligt högre i den oventilerade lägenheten; där hade den vid några mättilfällen t.o.m. tangerat rekommenderat riktvärde. Medelvärdet över mätperioden i den bebodda lägenheten för TVOC var lägre än och medelvärdet för formaldehyd var på samma nivå som respektive medianvärden i svenska bostäder.

Årsmedelvärden av partiklar PM₁₀ och PM_{2.5} var under de rekommenderade riktvärdena med undantag för den bebodda trerumslägenheten 0305. Det största bidraget till momentant höga partikelhalten kom från matlagning.

Enkätundersökningen av den upplevda innemiljön visade att acceptansen av luftkvalitet var lägst och lukt och termisk komfort upplevdes som sämst i den oinredda lägenheten. I det möblerade utrymmet – klustret, i studentlägenheten och den bebodda bostaden upplevdes luft, lukt och termisk komfort som bra av inspektörerna. Den uppfattningen delades enligt enkätundersökningen av de boende i huset.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att luftkvaliteten i de möblerade och bebodda lägenheterna i HSB Living Lab var bra. Faktisk luftkvaliteten enligt mätningar och upplevd enligt enkäterna var sämre i den lägenheten som inte var ventilerad och där det fanns rester av byggmaterial, färgburkar och ouppackade möbler. I den bebodda lägenheten var luftkvaliteten bra och på samma nivå under hela tiden från inflyttning och ett år därefter. Detta skiljer sig från resultat från tidigare publicerade studier då halterna av luftföroreningar varit högre i nybyggda bostäder för att minska först efter några månader.



När ventilationen startades efter avslutade byggarbeten hade det, inte oväntat, en positiv inverkan på luftkvaliteten. Andra parametrar som påverkade innemiljö var mänskliga aktiviteter såsom vädring/öppnade fönster som påverkade temperaturen och matlagning som påverkade partikelhalterna.

Denna studie visar att luftkvaliteten i en modern bostad ventilerad med högre luftflöden än gällande krav kan bli god till mycket god dels som halten av luftföroreningar, temperatur och relativ luftfuktighet, dels mätt som upplevd luftkvalitet. En intressant fortsättning på projektet skulle vara att närmare studera just ventilationsflödets påverkan på luftkvaliteten. Gällande Boverkets byggregler (BFS 2011) ger här en möjlighet att sänka luftflödet från 0,35 l/s,m² till 0,1 l/s,m² "då ingen vistas i bostaden". Det skulle vara intressant att studera vilken påverkan detta har på faktisk och upplevd luftkvalité inomhus.

Referenser

BETSI 2009a. Så mår våra hus. Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.

http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/sa_mar_vara_hus.pdf

BETSI 2009b. Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa – resultat från projektet BETSI. <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/betsi--enkätundersokning-om-boendes-upplevda-inomhusmiljo-och-ohalsa.pdf>

BFS 2011:6 - BBR 18. Boverkets byggregler. Kapitel 6:25 Ventilation.

EN 15251 (2007) Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. European committee for Standardisation.

FoHMFS 2014:17. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus. Folkhälsomyndigheten, Stockholm.

FoHMFS 2014:18 Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation. Folkhälsomyndigheten, Stockholm.

Frankel M, Bekö G, Timm M, Gustavsen S, Hansen EW, Madsen M. (2012) Seasonal variation of indoor microbial exposures and their relations to temperature, relative humidity and air exchange rates. *Applied and Environmental Microbiology* 78, 8289-8297.

Järnström H., Saarela K., Kalliokoski P., Pasanen A.-L. (2006) Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland. *Atmospheric Environment* 40, 7178–7191.

Langer S., Bekö G. (2013) Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics. *Building and Environment* 69, 44-54.

Langer S., Bekö G., Bloom E., Widheden A., Ekberg L. (2015) Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. *Building and Environment* 93, 92-100.



- Langer S., Ramalho O., Le Ponner E., Derbez M., Kirchner S., Mandin C. (2017) Perceived indoor air quality and its relation to air pollutants in French dwelling. *Indoor Air* 27, 1168–1176.
- Miljöhälsorapport 2017. Folkhälsomyndigheten. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/m/miljohalsorapport-2017/>
- Morawska L., Afshari A., Bae G.N., Buonanno G., Chao C.Y.H., Hänninen O., Hofmann W., Isaxon C., Jayaratne E.R., Pasanen P., Salthammer T., Waring M., Wierzbicka A. (2013). Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment. *Indoor Air* 23, 462–487.
- Plaisance H., Vignau-Laulhere J., Mocho P., Sauvat N., Raulin K., Desauziers V. (2017) Volatile organic compounds concentrations during the construction process in newly-built timberframe houses: source identification and emission kinetics. *Environmental Science: Processes and Impacts* 19, 696-710.henri
- Tang X., Misztal PK., Nazaroff WW., Goldstein AH. (2016) Volatile Organic Compound Emissions from Humans Indoors. *Environmental Science and Technology* 50, 12686–12694.
- Wargocki P., Wyon D. P., Baik Y. K., Clausen G., Fanger PO. (1999). Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air* 9, 165-179.
- Wargocki P. (2004) Sensory pollution sources in buildings. *Indoor air* 14, 82-91.
- Wyon D. (1986) VVS & Energi nr 3, 1986.
- Zalejska-Jonsson A., Wilhelmsson M. (2013) Impact of perceived indoor environment quality on overall satisfaction in Swedish dwellings. *Building and Environment* 63, 134-144.



Bilaga

Bilaga 1. Mätmetoder

Temperatur, relativ luftfuktighet och CO₂-halt registrerades var 5 minut med en sensor (Wöhler CDL 210 CO₂-logger) under mätperioden.

Halter av gasformiga luftföroreningar ozon och NO₂ mättes med IVLs diffusiva (passiva) provtagare. Arbetsprincipen för passiv, eller med andra ord diffusiv, provtagning är molekylär diffusion av gaser vid konstant hastighet. Gasmolekylerna diffunderar in i provtagaren där de kvantitativt uppsamlas under provtagningstiden. Efter provtagningen analyserades proverna på IVLs laboratorium med våtkemiska metoder. Resultat av mätningen är medelvärdet för halter över provtagningstiden.

För passiv provtagning av flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) användes rör innehållande Tenax adsorbentmedium (Tenaxrör, model N9307005, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). VOC analyserades med gaskromatografi/masspektrometri (GC/MS; GC 6890, MS 5973N, Agilent, USA) som summa av VOC i provet med masspektrometer. Totalhalter av flyktiga organiska ämnen, TVOC, uttrycks i toluenekvivalenter enligt internationell praxis. Detta innebär att beräkningarna har gjorts som om alla ämnen var enbart toluen. Detta görs för att man ska få en uppfattning om totalhaltens storlek. Bensen har kvantifierats ämnesspecifikt.

Formaldehyd provtogs också passivt med DSD-DNPH Aldehyde Diffusive Sampling Device (Supelco, Bellefonte, PA, USA) och analyserades med vätskekromatografi (HPLC) med en UV detektor.

Partiklar i storleksområdet 0.3 – 25 µm fördelat på 15 storleksintervaller mättes med en optisk partikelräknare (Portable Dust Monitor, Grimm 11-A, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co) med tidsupplösning på 1 minut. Inbyggd mjukvara räknar om antalet partiklar i de olika storleksintervallen till masshalt av PM₁₀ och PM_{2.5}.

[Infoga bild/logga]