

HALTER AV VOC I NYBYGGDA LOKALER

- en förstudie



Illustration: Tengbom Arkitekter

Angela Sasic Kalagasidis, Sarka Langer, Fredrik Domhagen

2020-12-18

FÖRORD

Medverkande

Projektleddare:	Angela Sasic Kalagasidis, Chalmers, Byggnadsteknologi
Medsökande:	Andreas Furenberg, PEAB
Projektsamordnare:	Pär Åhman, Byggföretagen
Utredare:	Sarka Langer, IVL Fredrik Domhagen, Chalmers, Byggnadsteknologi Angela Sasic Kalagasidis, Chalmers, Byggnadsteknologi
Referensgrupp:	Per Löveryd och Fredrik Andersson, Akademiska Hus Andreas Furenberg, PEAB och Johan Bergström, Wästbygg

Flera personer till referensgruppen tillsätts i samråd med FoU-Väst och SBUF.

Huvudförfattare

Angela Sasic Kalagasidis

Medförfattare: Sarka Langer och Fredrik Domhagen

Vi vill rikta ett stort tack till Per Löveryd, Marie Joelsson och Olle Nyström från Akademiska Hus i Göteborg för deras engagemang i projektet, tillgång till försökslokalerna i AWL huset samt värdefulla kontakter med övriga medarbetare. Utan Olle skulle vi aldrig kunna få så noggrann styrning av ventilation i försökslokalerna samt data från mätningar på inomhusluft. Sist men inte minst vill vi tacka de medarbetare som var med i luktpanelen och svarade i enkätundersökningen om den upplevda luftkvaliteten.

Tack också till PEAB och FoU-Väst för deras engagemang i projektet och viktiga synpunkter på arbetet i egenskap av medlemmar i referensgruppen.

Göteborg, december 2020

SAMMANFATTNING

Projektet bidrar med nya insikter kring sambandet mellan ventilationsflöde och TVOC halter inomhus efter att en ny byggnad tas i bruk, samt hur dessa påverkar den upplevda luftkvaliteten.

Till skillnad från det traditionella sättet att mäta TVOC halter i fält, visar projektet hur mätningarna kan göras på en kortare tid samtidigt som man får fler resultat om emissioner i rummet. Grundidén är att mätningen startar utan ventilation och utförs i ungefär en vecka. Därefter mäts följande två till tre veckor med en konstant ventilation. Med insamlade data kan man ta fram rummets tröghet som tillsammans med ventilation är en de avgörande parametrarna för hur snabbt TVOC halterna i rummet sjunker.

Resultaten av energiberäkningarna visar att det är mer tids- och energieffektivt att tillämpa en forcerad ventilation dygnet runt tills man når den önskade gränsen i TVOC halter än att ha ett lägre eller varierande luftflöde under en längre tid. När TVOC sänks, kan ventilationen återgå till det normala driftschemat.

INNEHÅLL

<i>Medverkande</i>	1
<i>Huvudförfattare</i>	1
1. INLEDNING	4
1.1 SYFTET	5
1.2 AVGRÄNSNINGAR	5
2. METODER OCH GENOMFÖRANDE	6
2.1 TESTRUM OCH MÄTPLATSER	6
2.2 MÄTNINGAR.....	7
<i>Ventilationsschema och inneklimat</i>	7
<i>Mätning av luftföroreningar TVOC och aldehyder</i>	7
2.3 ENKÄTUNDERSÖKNING OM UPPLEVD LUFTKVALITÉ	8
2.4 NUMERISKA SIMULERINGAR.....	9
<i>Koncentration av TVOC i luften vid dörröppningen</i>	10
<i>Energianvändning för ventilation</i>	11
3. RESULTAT OCH DISUSSION	12
3.1 VENTILATIONSSCHEMA OCH INNEKLIMAT	12
3.2 SAMBAND MELLAN TVOC OCH ALDEHYDER OCH VENTILATION.....	12
3.3 UPPLEVD INNEMILJÖ	15
3.4 NUMERISKA BERÄKNINGAR	18
<i>Energianvändning för ventilation</i>	21
4. SLUTSATSER	24
5. LITTERATURFÖRTECKNING	25
BILAGA 1 VENTILATIONSSCHEMA OCH PLAN FÖR MÄTNINGAR	27

1. INLEDNING

Karaktäristisk lukt från nya föremål och material i nybyggda eller renoverade kontorslokaler i Sverige är normalt ofarliga men kan orsaka tillfälligt obehag hos de boende. Av erfarenhet är det känt att luktintensiteten minskar med tiden men ändå långsammare i utrymmen som används mer sällan. Det senare kan förklaras av mindre ventilation eftersom dagens ventilationssystem för kontorsbyggnader i Sverige drivs efter behov för att spara energi för luftkonditionering och drift. Medan energibesparingar står i fokus vid utformning av system och kontrollscheman för ventilation, är nivåer av luftföroreningar (som inte är relaterade till personer så som aldehyder och totala flyktiga organiska föreningar, TVOC) som orsakar lukt i nya anläggningar det inte.

I överensstämmelse med de nationella regler för hälsosamma inomhusmiljöer, som specificerar en byggnads funktionella prestanda men inte åtgärder för hur man ska uppnå det, finns det en etablerad praxis bland byggtreprenörer att använda lågemitterande byggnadsmaterial och byggprodukter för att behålla luftföroreningar som inte relateras till personer inomhus på önskade nivåer [1]. Effekterna av emissioner från möbler och andra varor och föremål i byggnader beaktas inte i föreskrifterna. Efter att byggnaden har tagits i bruk är ägaren ansvarig för att underhålla byggnaden så att dess design och tekniska prestanda bevaras. Normalt finns det ingen uppföljning från den offentliga myndigheten om att underhållsskyldigheten uppfylls. Även om ägaren till fastigheten köper möbler med låga emissioner finns det ingen information om möblernas och andra (lågemitterande) byggmaterials sammanlagda inverkan på luftkvaliteten inomhus. Följaktligen finns det inga data om koncentrationer av luftföroreningar inomhus som kan övervägas vid design och drift av ventilationssystem i byggnader.

Korrekt utformad ventilation är viktigt för att uppnå god inomhusluftkvalitet (Indoor Air Quality, IAQ) oavsett om den är kombinerad med kontroll av föroreningskällor, t.ex. användning av lågemitterande material eller används i miljöer med okontrollerbara föroreningskällor. Byggnadsmaterial kan vara stora källor till föroreningar inomhus [2], vilket är anledningen till att mycket ansträngningar har lagts för att utforma material med låga emissioner och tillhörande standarder [3]. Ng et al. [4] visade att endast användningen av material med låga emissioner inte är en tillräcklig åtgärd för att säkra IAQ om ventilationsflödet är lågt, eller om inte alla kemikalier som avges redovisas i produkternas emissionsdeklarationer. Järnström et.al [5] rapporterade liknande resultat genom att visa att koncentrationerna av flyktiga organiska ämnen kan vara höga i nya lägenheter i Finland även om endast material med låg emission har använts.

Förhållandet mellan ventilationsflöden och halter av luftföroreningar inomhus är inte alltid enkelt. Medan lägre koncentrationer av formaldehyd har uppmätts i svenska lågenergibygnader som har betydligt högre ventilationsflöde än de konventionellt byggda husen, gäller det motsatta för TVOCs [6]. Koncentrationen av CO₂ i inomhusluften är en vanlig indikator för god ventilation och avlägsnande av människorelaterade luftföroreningar. Dock är samma signal otillräcklig som indikator för luftföroreningar som inte genereras av människor [7].

I nya byggnader minskar koncentrationen av luftföroreningar inomhus snabbt efter att byggnaden har tagits i bruk, och baserat på [5] uppnås normala värden efter 6 månader. För att fånga och förstå denna process bör mätningar på luftföroreningar inomhus göras så tidigt som möjligt och helst innan byggnaden tas i bruk [5]. Liknande studier om VOC-emissioner i tidiga

skeden i svenska byggnader är sällsynta även om de kan ge värdefull insikt i hur IAQ skiljer sig åt inom en byggnad [8].

Datainsamling på emissioner inomhus är en tids- och resurskrävande process. För att få mer insikter i sambandet mellan ventilationsflöde och emissioner inomhus i byggnadens tidiga skede har författarna till detta arbete utformat och genomfört fältförsök där koncentrationer av aldehyder och TVOC har mätts direkt efter att en nybyggd kontorsbyggnad har tagits i bruk. Fältkampanjen startade i oktober 2019 och avslutades i april 2020. Fältkampanjen omfattade också en bedömning av upplevd inomhusluftkvalitet med hjälp av en enkät. En VOC-simuleringsmodell för tidsförloppet av luftföroreningshalter i byggnader har utvecklats och verifierats med hjälp av uppmätta data.

1.1 Syftet

Projektet syftar till att undersöka och beskriva samband mellan ventilationsflöde och emissioner inomhus under det första året efter att en byggnad tas i bruk, samt hur dessa påverkar den upplevda luftkvaliteten.

Målet är att ta fram en robust metod för datainsamling i fält som kvantifierar befintliga emissionsskällor med ett begränsat antal mätningar.

Data från fält ska vara av hög kvalitet för att möjliggöra numeriska studier som visar om en annan styrning av ventilationssystemet, t.ex. kontinuerligt och/eller med förhöjt luftflöde, skulle ventilerat bort de förhöjda TVOC-halterna och därmed förbättra den upplevda luftkvaliteten.

Studien ska ge en uppskattning av hur mycket mer energi som förbrukas i byggnaden p.g.a. av förändrat ventilationsschema.

1.2 Avgränsningar

Resultat på TVOC halter som redovisas i rapporten är specifika för byggnaden som har använts i studien. De analytiska och numeriska metoderna är generella och kan tillämpas i andra sammanhang.

2. METODER OCH GENOMFÖRANDE

Undersökningen kombinerar mätningar av aldehyder och TVOC i fält och numerisk analys. Eftersom emissioner i ett tidigt skede är av intresse har mätningarna genomförts i en nybyggd kontorsbyggnad med namnet "A Working Lab" på Chalmers campus Johanneberg. Byggnaden uppfördes under 2019 och togs i bruk i oktober samma år. Det är en lågenergibygnad och rankas som "guld", vilket är det högsta betyget i det svenska miljöcertifieringssystemet för byggnader 'Miljöbyggnad' [9]. Det bärande systemet är tillverkat av korslaminerat trä (innerväggar), stålramar och betong (golv). Det finns ett behovsstyrt ventilationssystem i byggnaden med temperatur- och närvarosensorer.

Byggnadens tidiga ålder, tillgång till två nära på identiska rum som användes som mätplatser och möjlighet att enkelt kunna anpassa ventilationsflöden i båda rum enligt en experimentell matris var avgörande parametrar i valet av denna byggnad för fältmätningar.

2.1 Testrum och mätplatser

Två identiska men olikventilerade rum på våning 3 och våning 4 har använts för mätningar av halter av aldehyder och TVOC. Andra parametrar för inomhusluft som temperatur, relativ luftfuktighet, CO₂ och ventilationsflöden har mätts av ett automatiserat system installerat i byggnaden. Båda rummen är placerade inne i byggnaden, ovanpå varandra och utan anslutning till utomhusmiljön. Rummens storlek är cirka 3x4x3,5 m. Rummen har identiska möbler, ventilationssystem och extrautrustning (se Figur 1). Väggar är klädda med gipsskivor och målade. Det finns en heltäckande matta på golvet. Andra möbler och föremål är: whiteboard på en vägg, undertak av akustiska träpaneler, ett bord, 8 stoppade stolar, låg hylla, datorprojektor, klädhängare, central taklampa, högtalare och spotlights för whiteboard.



Figur 1 Inuti testkontoren: kontor 3104 till vänster och 4104 till höger. Aldehyd- och TVOC-provtagare fästs på skivorna som hänger från spotlight-skenorna under taket.

2.2 Mätningar

Ventilationsschema och inneklimat

För att hitta ett samband mellan ventilationsflöden och halter av TVOC i inomhusluften genomfördes följande ventilationskampanj i testrummen. Tilluften till båda testrummen stängdes av under en vecka (vecka 44). Mellan veckorna 45 till 52 var tilluften i rum 3104 10 L/s (eller 1 oms/h). Under samma period ökades tilluften till rum 4104 gradvis och varierades sedan likt schemat visas i Tabell 1. Syftet var att möjliggöra bättre ventilation i rum 4104 än i rum 3104.

Tabell 1 Uppmätta tilluftsflöden till testrummen mellan veckor 44(2019) – 17(2020) (28 oktober 2019 – 26 april 2020).

Datum	vecka nr.	mättillfälle nr.	rum 3104 tilluft L/s	rum 4104 tilluft L/s
14 - 20 okt 2019	42	0	8,0	8,7
28 okt - 3 nov 2019	44	1	1,4	0
4 - 10 nov 2019	45	2	8,6	8,8
11 - 17 nov 2019	46	3	9,3	18,6
25 - 1 dec 2019	48	4	9,4	19,6
16 - 22 dec 2019	51	5	9,7	9,9
13 - 19 jan 2020	3	6	9,8	9,7
24 feb - 1 mar 2020	9	7	9,6	9,0
20 - 26 apr 2020	17	8	13,6	11,6

Ett detaljerat ventilationsschema samt plan för mätningar finns i Bilaga 1. Luftflödesmätningar utfördes med den inbyggda utrustningen som finns i ventilationssystemet i huset, av typ Wise (Swegon). Data loggas vanligtvis med korta och ojämna tidssteg med minutupplösning. De uppmätta tilluftsflödena som visas i Tabell 1 avser tidsviktade medelvärden som har beräknats enligt

$$K_{vent.medel} = \frac{\sum_i K_{vent,i} \cdot \Delta t_i}{\sum_i \Delta t_i} \quad \text{E. 1}$$

där $K_{vent,i}$ är luftflödet och Δt_i är tidssteg som visar hur länge har detta flöde varat.

Samma system loggar även data på inomhustemperatur och CO₂ halter. Resultat av dessa mätningar finns i sektion 3.1.

Mätning av luftföroreningar TVOC och aldehyder

Både flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) och aldehyder mättes med passiva (diffusiva) 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 med olika tekniker och resultat av mätningen är medelvärdet för halter under provtagningsperioden. Provtagningsperioden för båda grupper av organiska föreningar var 1 vecka. Detaljer om de analytiska metoderna för aldehyder finns i [6].

För passiv provtagning av VOC:er användes rör innehållande Tenax adsorbentmedium (Tenaxrör, model N9307005, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). Provtagning och analys följde ISO 16017-2-standarden [10]. VOC:erna analyserades med gaskromatografi/masspektrometri (GC/MS; GC 6890, MS 5973N, Agilent, USA) som summa av VOC i provet. 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.

Aldehyder $c_1 - c_{10}$ (formaldehyd till dekanal, inklusive aceton) provtogs med hjälp av en kassett - DSD-DNPH Aldehyd Diffusive sampling Device (Supelco, Bellefonte, PA). Provtagningsperioden och analytisk teknik (extraktion med ett lösningsmedel och högpresterande vätskekromatografi) följde de procedurer som beskrivs i ISO 16000-4-standarden [11].

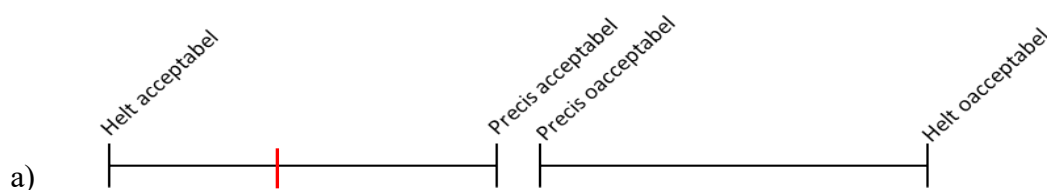
2.3 Enkätundersökning om upplevd luftkvalité

Sensorisk bedömning av luftkvalitet inomhus är grunden till dagens ventilationsstandarder. Undersökningar av inomhusmiljökvalitet har nyligen avancerat från antingen mätningar eller enkäter till en kombinerad metodik för båda [12], [13], [14]. Upplevd luftkvalitet undersöktes med en enkät. Respondenter svarade på frågor om acceptansen av luftkvalitet och luktstyrka. Enkätundersökningen genomfördes vid samma tillfällen som mätningarna av TVOC och aldehyder.

Luktpanelen rekryterades genom annonsering bland husets brukare, både skriftligt (affisch) och elektroniskt (e-post). Paneldeltagarna bedömde luftkvaliteten i båda rummen vid två tidpunkter: kl. 9:00 och kl. 11:30 på onsdagar för den aktuella mätveckan (mitt i veckan för att undvika effekter av eventuella psykologiska effekter av arbetsveckans förlopp).

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) [15]. Bedömningen av lukten (ingen till mycket starkt) enligt Wargocki m.fl. [16] görs också på en analog skala och kodas från 0 (ingen lukt, kall) till 10 (mycket stark lukt, het).

Det faktiska utseendet av enkätfrågorna visas i Figur 2.





Figur 2 Utseende av enkätfrågor om acceptansen (a) och luktstyrkan (b) på frågeformuläret

Formuläret innehöll också frågor om respondentens kön, ålder och arbetsfattning (ledningsposition, medarbetare). Markeringarna på skalor för de två frågorna kodades och medelvärden med standardavvikelser beräknade för varje svartillfälle.

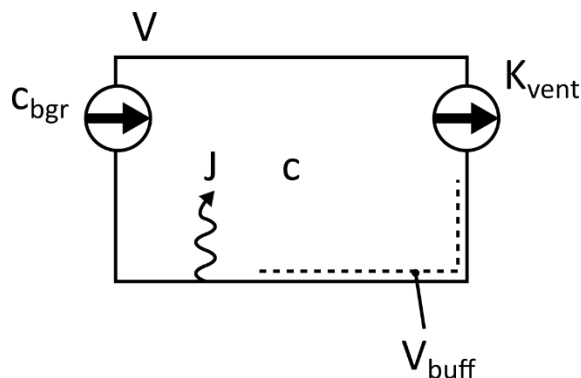
2.4 Numeriska simuleringar

Förändringen av TVOC halten i rummet över tid beror på ventilationen i rummet, bakgrundshalt, emissionerna som emitteras i rummet samt rummets tröghet.

Förändringen av TVOC halt över tid beskrivs med följande balansekvation:

$$(V + V_{buff}) \cdot \frac{dc}{dt} = K_{vent} \cdot (c_{bgr} - c) + J \quad \text{E. 2}$$

där K_{vent} [m^3/h] är ventilationsflödet till rummet, c_{bgr} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] är bakgrundshalt, dvs. halten i tilluften, c [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] är halten i rummet, J [$\mu\text{g}/\text{h}$] är källan i rummet, V [m^3] är rummets volym, och V_{buff} [m^3] motsvarar trögheten som uppstår på grund av lagring i material och på ytor.



Figur 3 En schematisk bild över parametrarna som ingår i E. 2 och deras fysikaliska betydelse.

Differentialekvationen kan lösas både numeriskt och analytiskt. Den analytiska lösningen¹ till differentialekvationen visar att detta är ett ickelinjärt samband där TVOC halten i rummet sjunker exponentiellt med tid enligt

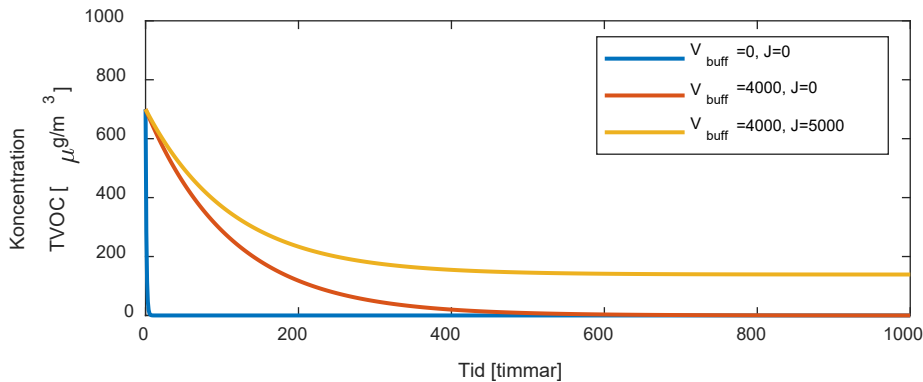
¹ Ekvationen E.3 är en lösning på den första ordningens ordinära differentiella ekvation där en variabel förändras i tid stegvis medan andra är konstanter. Om en eller flera variabler ändras stegvis kan en mer allmän lösning framställas genom en överlagring av de partiella lösningarna från ekvationen E.3. Exempel på den så kallad superpositionsteknik finns i [21].

$$c(t) = c_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_{voc}}} + \left(c_{bg} + \frac{J}{K_{vent}} \right) \cdot (1 - e^{-t/t_{voc}}) \quad E. 3$$

där c_0 är halten i rummet i början av mätkampanjen och t_{voc} är den så kallade tidskonstanten som indikerar hur lång tid behövs det för att sänka TVOC halter i rummet. Tidskonstanten beräknas enligt

$$t_{voc} = \frac{V + V_{buff}}{K_{vent}} \quad E. 4$$

c_{bgr} och J avgör de lägsta möjliga koncentrationerna. Om det inte finns någon annan källa till TVOC i rummet än vad som finns i byggnadsmaterial och möbler, blir den lägsta halt av TVOC i rummet lika med c_{bgr} , annars $c = c_{bgr} + J/K_{vent}$. Vid fältmätningar behöver man därför ta hänsyn till tiden som har gott sedan byggnaden har tagits i bruk samt skilja mellan c_{bgr} och J för att kunna ta fram pålitliga samband mellan K_{vent} och c .

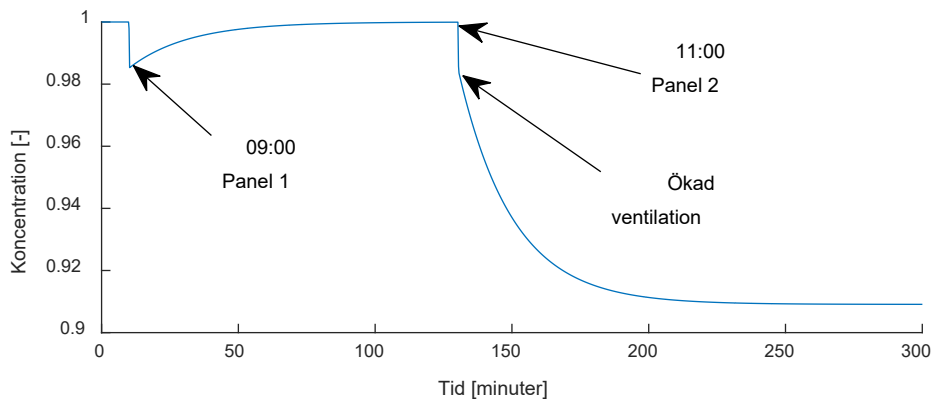


Figur 4 Resultat från numeriska simuleringar med olika ingångsvärden för V_{buff} och J . Simuleringarna illustrerar hur stor betydelse rummets lagringsförmåga samt emissioner från material har för koncentrationen av TVOC i rummet.

Koncentration av TVOC i luften vid dörröppningen

Vid varje dörröppning förändras luftkvaliteten i testrummet på grund av luftväxlingen med intilliggande korridoren. Detta skulle skapa olika testförhållanden för luktpanelen och påverka resultaten för upplevd luftkvalité. För att förhindra detta, har en nödvändig tidsskillnad mellan två mättider på onsdagar undersökts med hjälp av numeriska simuleringar.

Resultaten från simuleringen visas i Figur 5. Enligt resultaten har den initiala (och normaliserade) koncentrationen i rummet återhämtat sig efter dörröppningen efter cirka en timme. För att vara säker på att inomhusförhållandena i det efterföljande luktpanelen inte påverkas av det första testet gjordes testerna vid kl. 9:00 och kl. 11:30 på onsdagar.



Figur 5 Ändring av den normaliserade koncentrationen av luftföroreningen i tid efter en dörröppning. Resultat av numeriska simuleringar.

Energianvändning för ventilation

Eleffektbehovet som uppstår för att driva en fläkt kan uppskattas med SFP värdet (specifik fläkteffekt) och luftflöde

$$P_{fläkt} = SFP \cdot K_{vent} \text{ [kW]} \quad \text{E. 5}$$

En bra fläkt kan ha SFT värdet kring 1,5 kW/(L/s).

Om fläkten är i gång en vis tid, kan energiförbrukning uppskattas enligt

$$E_{fläkt} = P_{fläkt} \cdot t_{fläkts.tid} \text{ [kWh]} \quad \text{E. 6}$$

där $t_{fläkts.tid}$ är tiden i timmar då fläkten är i gång. Energibehovet minskar om flödet och/eller drifttid kan reduceras.

3. RESULTAT OCH DISUSSION

3.1 Ventilationsschema och inneklimat

Värden som visas i tabellen är tidsviktade medelvärden under angiven tidsperiod.

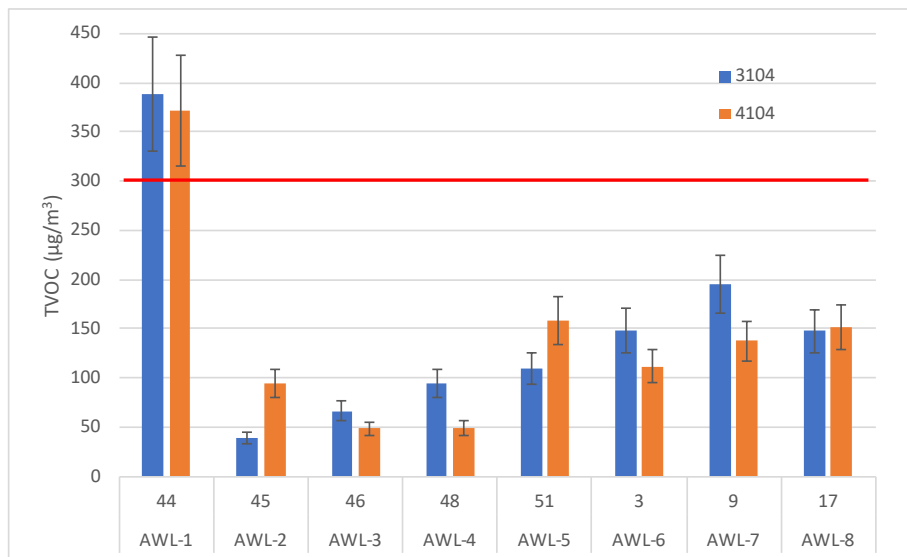
Vecka	Startdatum	Tilluft L/s		Temperatur, oC		CO ₂ , ppm	
		rum 3104	rum 4104	rum 3104	rum 4104	rum 3104	rum 4104
41	2019-10-07	10,3	14,2	23,7	23,2	405	409
42	2019-10-14	8,0	8,7	23,2	22,9	417	413
43	2019-10-21	8,4	0	22,9	23,4	407	409
44	2019-10-28	1,4	0	23,2	21,9	439	454
45	2019-11-04	8,6	8,8	21,6	20,3	410	412
46	2019-11-11	9,3	18,6	21,1	19,9	413	411
47	2019-11-18	9,7	19,7	21,2	20,1	417	407
48	2019-11-25	9,4	19,6	21,6	20,1	415	406
49	2019-12-02	9,0	17,7	21,7	20,5	405	405
50	2019-12-09	10,8	14,4	22,4	20,4	421	409
51	2019-12-16	9,7	9,9	22,0	20,4	413	408
52	2019-12-23	9,3	9,3	21,8	20,2	405	406
1	2019-12-30	9,7	9,9	21,4	20,2	405	404
2	2020-01-06	9,5	9,9	20,4	20,2	418	404
3	2020-01-13	9,8	9,7	23,2	20,2	427	404
4	2020-01-20	9,4	9,4	24,1	21,5	436	405
5	2020-01-27	5,8	9,3	23,9	21,2	413	404
6	2020-02-03	8,5	10,7	24,0	21,6	428	423
7	2020-02-10	6,0	18,7	22,7	22,6	411	416
8	2020-02-17	6,0	9,7	21,9	21,7	432	412
9	2020-02-24	9,6	9,0	22,1	21,5	441	408
10	2020-03-02	9,6	6,0	21,7	21,7	441	411
11	2020-03-09	7,4	5,2	22,2	22,0	316	412
12	2020-03-16	9,4	5,7	22,6	22,2	472	420
13	2020-03-23	12,4	5,8	22,9	22,7	417	406
14	2020-03-30	11,7	7,1	23,1	23,0	412	411
15	2020-04-06	12,2	9,1	23,1	23,1	414	418
16	2020-04-13	11,9	7,9	23,0	23,1	408	404
17	2020-04-20	13,6	11,6	23,4	23,4	410	413

3.2 Samband mellan TVOC och aldehyder och ventilation

De uppmätta halterna av TVOC, formaldehyd och summa $c_1 - c_{10}$ aldehyder visas i följande figurer. De initialt förhöjda TVOC-halterna (Figur 6) har sjunkit från det att rummen började ventileras. Ventilationsflöden i rum 3104 förändrades från 14 L/s till $9,4 \pm 0,4$ L/s (medelvärde och standardavvikelse för mättillfällen 2 – 7). Trots det jämna tilluftsflödet har halterna successivt ökat för att stanna på ungefär $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under senare tiden i mätserien.

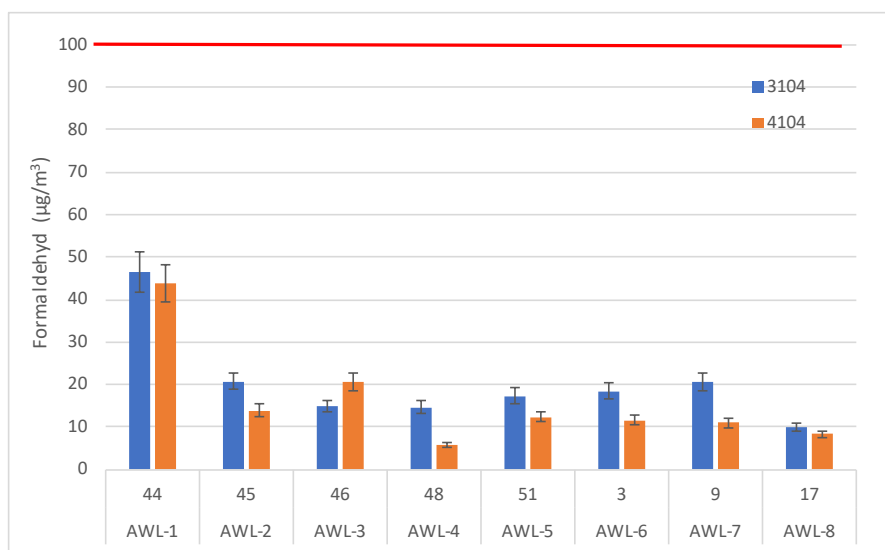
Ventilationsflöden i rum 4104 var $9,3 \pm 0,5$ L/s (medelvärde och standardavvikelse) för mättillfällen 2 och 5 – 7) medan det var $19,1 \pm 0,5$ L/s (medelvärde och standardavvikelse) för mättillfällen 3 och 4. Det fördubblade tilluftsflödet innebar ytterligare sänkning av TVOC-halter i rum 4104 jämfört med standardventilation.

Under den ventilerade perioden har TVOC-halterna sjunkit under det rekommenderade riktvärde för god luftkvalitet inomhus på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (långtidsvärde), fastställt av den tyska myndigheten Umweltbundesamt [17]. Halterna kan jämföras med den genomsnittliga TVOC-halten (median) i det svenska bostadsbeståndet på $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [18].



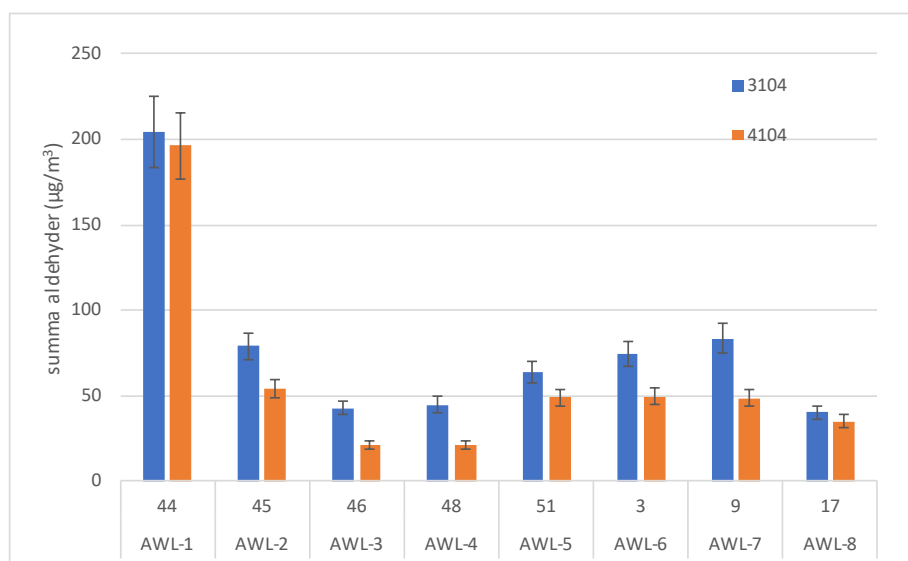
Figur 6 Tidsförlopp av TVOC halter. Felstaplarna representerar 15% standardavvikelser för dubbelprov.

Halter av formaldehyd har också sjunkit från att ventilationen startade (Figur 7) och den har generellt minskat mera i rum 4104 som var mer ventilerat än rum 3104. Halterna har också legat långt under det rekommenderade riktvärde på god luftkvalitet inomhus på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-timmars medelvärde), satt av Världshälsoorganisation WHO [19]. Medianhalten för formaldehyd i det svenska bostadsbeståndet ligger på $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som kan jämföras med ett medelvärde från alla 'ventilerade' mätningar (båda rum) på $14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



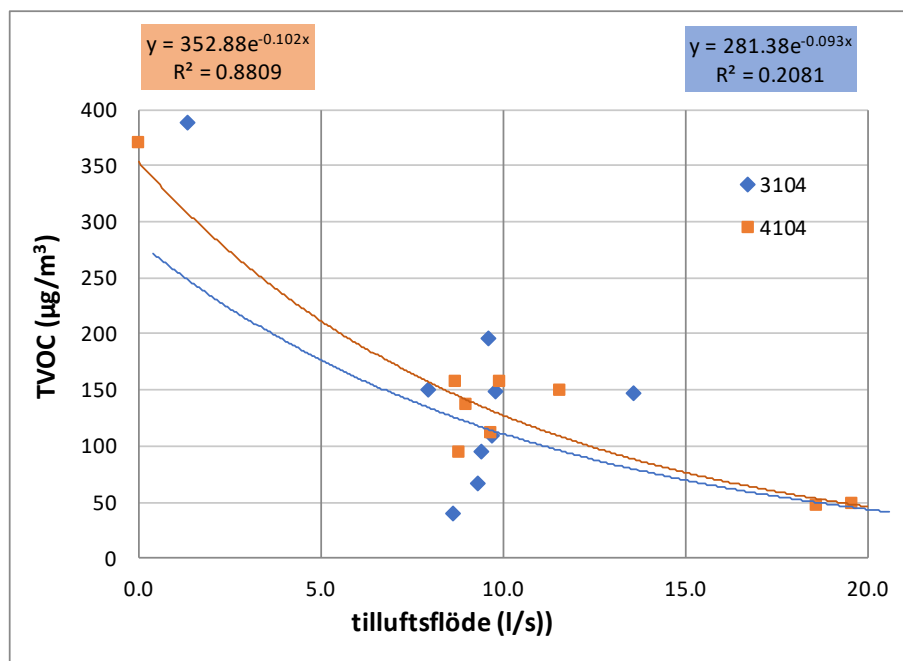
Figur 7 Tidsförlopp av formaldehydhalter. Felstaplarna representerar 10% standardavvikelser för dubbelprov.

Summa $c_1 - c_{10}$ aldehyder (formaldehyd till dekanal) visar liknande förlopp med ventilationsscenarier som TVOC. Det finns inget rekommenderat riktvärde för dessa luftföroreningar.



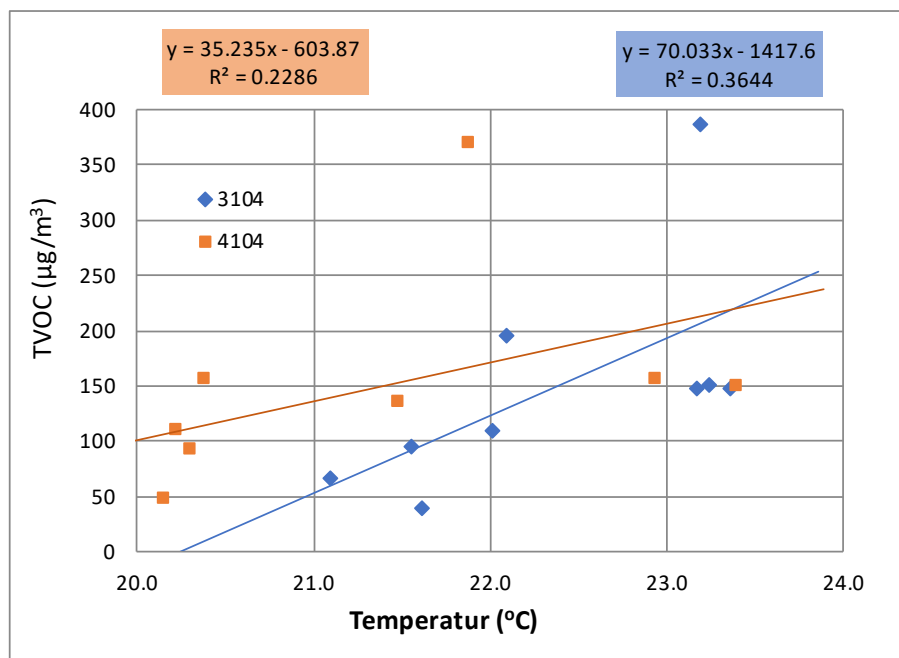
Figur 8 Tidsförlopp av summa $c_1 - c_{10}$ aldehyder. Felstaplarna representerar 10% standardavvikelser för dubbelprov.

Sambandet mellan halter av TVOC och ventilationsflöden visas i Figur 9. Halterna sjunker exponentiellt som funktion av tilluftsflöden. De flesta mätpunkterna ligger kring 10 L/s och TVOC-halter ligger mellan 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 9 Samband mellan TVOC-halter och tilluftsflöden.

Den ökningen TVOC-halter som observerades under andra delen av mätserien skulle kunna förklaras av förändringar i rumstemperatur [20]. Vi antar att förändringar i TVOC-halter i rummen snarare beror på ökad temperatur än på att nya föroreningskällor tillkommit i byggnaden.



Figur 10 Samband mellan TVOC-halter och rumstemperatur.

3.3 Upplevd innemiljö

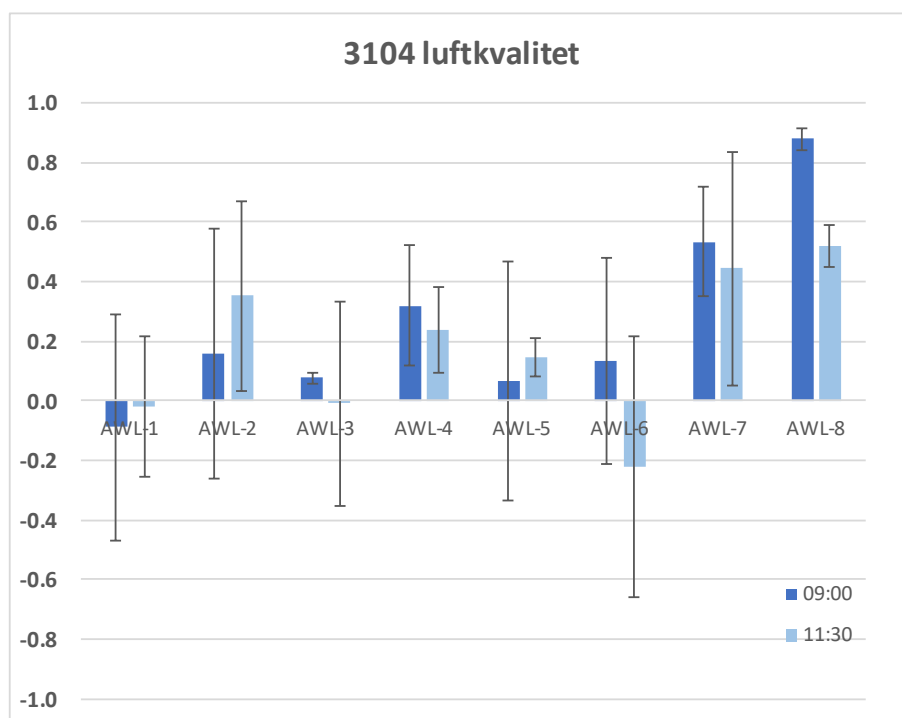
Resultaten från undersökningen av den upplevda luftkvaliteten visas i figurer nedan. Trots en rejäl insats för att rekrytera paneldeltagare från husets brukare har det varit väldigt få bedömare vid varje tillfälle. Detta påverkar resultaten i den meningen att standardavvikelseerna för bedömningar vid de individuella tillfällena är mycket stora.

Table x. Antal personer i luktpanelen vid de 8 bedömningstillfällena.

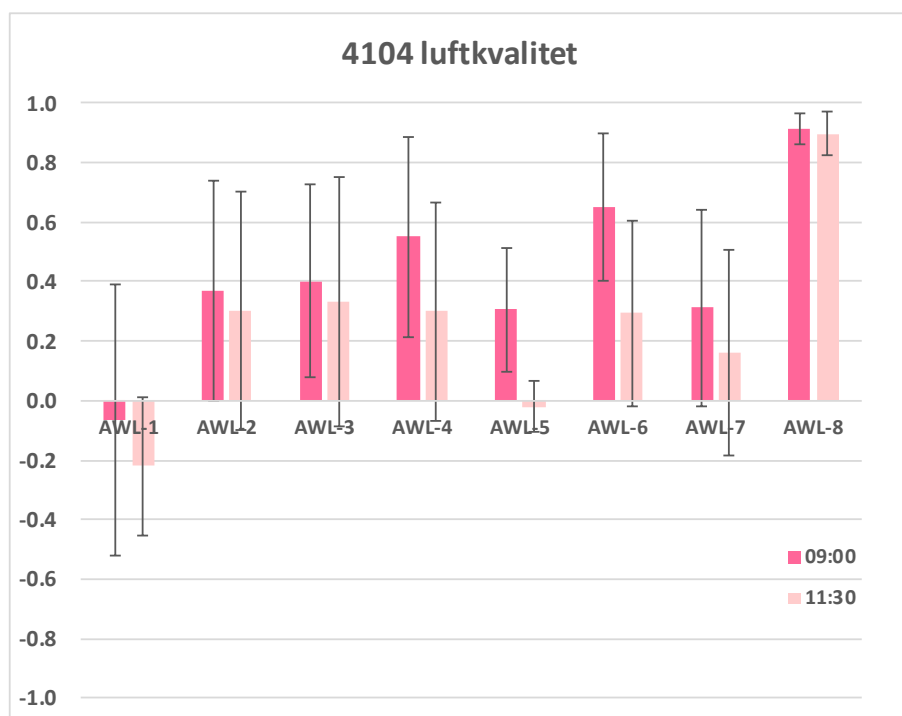
	09:00	11:30
AWL-1	6	5
AWL-2	7	5
AWL-3	3	3
AWL-4	6	3
AWL-5	5	2
AWL-6	4	6
AWL-7	5	4
AWL-8	2	3

Panelen bedömde luftkvalitet som något 'precis oacceptabel' vid det första bedömningstillfället i båda rummen (Figur 11 och Figur 12). I det mindre ventilerade rummet (rum 3104) har bedömningen legat med stora variationer på ungefär +0,26 (medelvärde över alla bedömningar

under den ventilerade perioden). I rum 4104 upplevdes luftkvaliteten bättre än i rum 3104; rankningen blev +0,41 (medelvärdet över alla bedömningar under den ventilerade perioden).



Figur 11 Upplevd luftkvalitet i rum 3104, medelvärden och standardavvikelser över antal observationer.



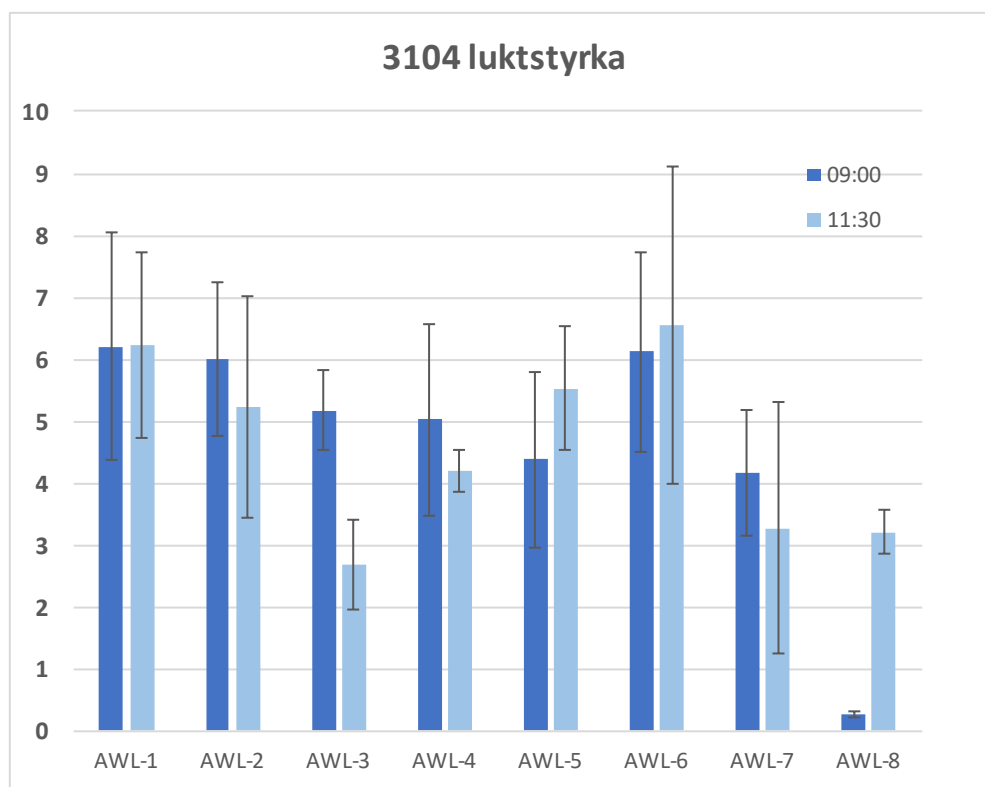
Figur 12 Upplevd luftkvalitet i rum 4104, medelvärden och standardavvikelser över antal observationer.

I en mer detaljerad analys kunde det påvisas en svag positiv linjär korrelation mellan upplevelsen av luftkvalitet och tilluftsflöden för samtliga mättningar; lutning 0,038 och $R^2 = 0,3697$.

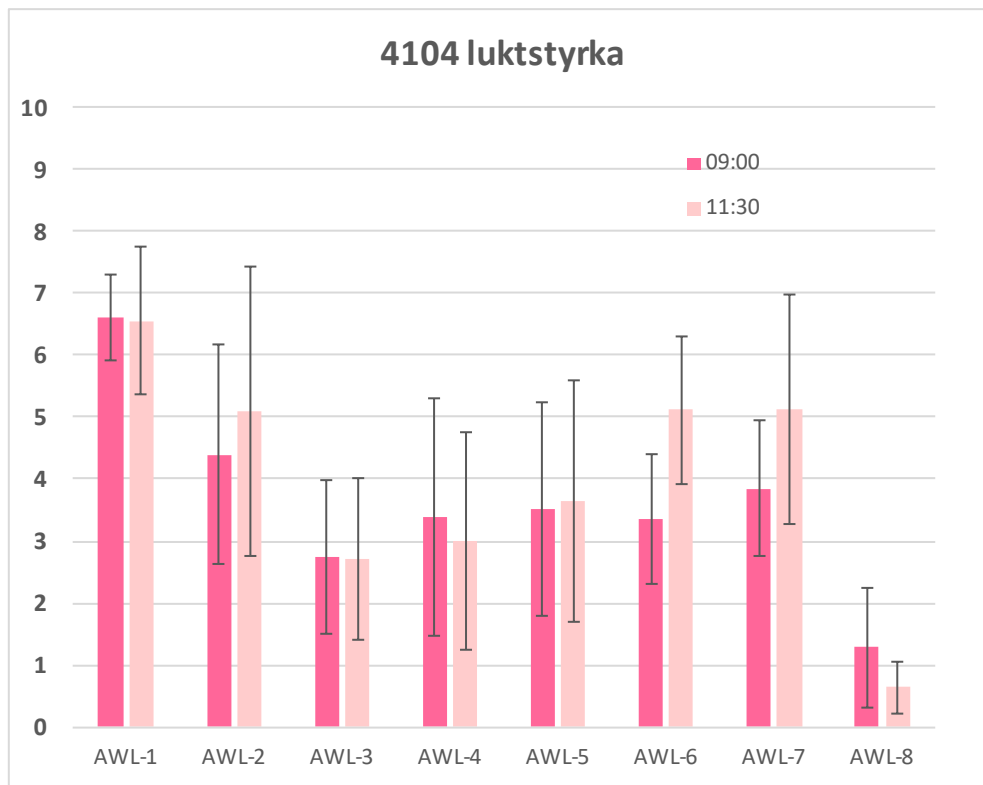
Upplevelsen av luktstyrka visas i Figur 13 och Figur 14. Rankning 0 betyder ingen lukt och rankning 10 betyder mycket starkt lukt. Det blev inte heller någon väldigt tydligt mönster mellan de varierande tilluftsflöden och rankningen av luktstyrkan. Medelvärdet och standardavvikelsen för alla bedömningstillfällen var $4,4 \pm 1,6$ för det mindre ventilerade rummet (rum3104) och $3,4 \pm 1,3$ för det mera ventilerade rummet (rum 4104); dvs. upplevelsen av lukt var ungefär lika i båda rummen inom standardavvikelser.

Linjär korrelation mellan luktupplevelsen och tilluftsflöden visade en svag negativ trend, med lutning -0,2336 och $R^2 = 0,4222$.

Vi tillskriver kvaliteten av resultaten från enkätundersökningen till det otillräckliga antalet bedömare.



Figur 13 Upplevelsen av luktstyrka i rum 3104.



Figur 14 Upplevelsen av luktstyrka i rum 4104.

3.4 Numeriska beräkningar

Traditionellt undersöker man sambandet mellan c och K_{vent} på ett empiriskt sätt med hjälp av fältmätningar som görs i flera veckor utsprida över flera månader såsom i detta projekt. Det slutliga sambandet hittas då med hjälp av regressionsanalys enligt Figur 9.

Den analytiska lösningen i ekvationen E. 3 visar att V_{buff} är en tredje, inflytelserik faktor som bör tas hänsyn till genom en kombination av fältmätningar och beräkningar. Grundidén är att börja mätningen från en högsta TVOC-halt i rummet, c_0 , som uppstår när ventilation är helt avstängd i några dagar. Därefter ska man genomföra mätningar på c i två efterföljande veckor med ett förbestämt ventilationsflöde, K_{vent} . Under mätperioden bör man inte tillföra nya källor till TVOC i rummet än vad som finns där från början. Dessa tre mättillfällen räcker till att ta fram V_{buff} och t_{VOC} med hjälp av ekvation E. 3. Följande resultat visar att man kan uppnå en mycket bra överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade data.

I Figur 16 och Figur 15 visas resultat från numeriska lösningar där lösaren ODE3 för ordinära differentialekvationer i MATLAB använts. I beräkningarna jämförs beräknade och uppmätta halter av TVOC för rum 3104 och 4104. En mycket bra överensstämmelse uppnås under de första veckorna efter att mätperioden startades, särskilt i rum 4104 där tilluftsflödet var konstant. Luftvolymen för rummen är beräknade från rummens dimensioner och ventilationen är hämtad från byggnadens ventilationssystem. Värden till V_{buff} , J och c_{bgr} som visas i Tabell 2 är passningsvärden som ger en bäst passning mellan fältdata och beräknade koncentrationen.

Eftersom de uppmätta koncentrationerna representerar medelvärden under en mätperiod, har även beräknade värdena redovisats som medelvärden.

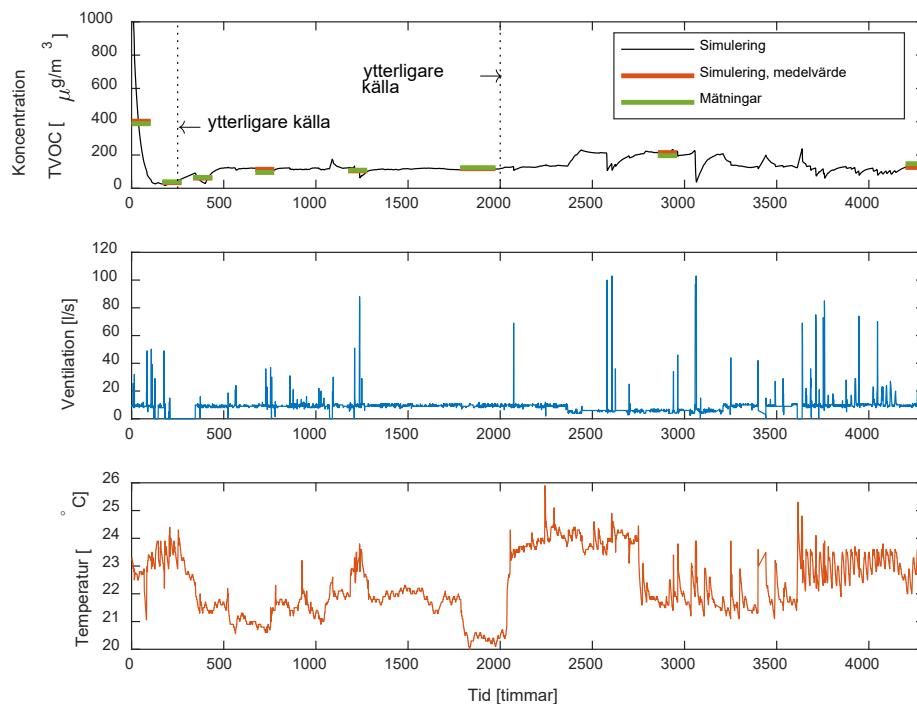
Tabell 2 Indata som används för numeriska beräkningar av koncentrationer av TVOC i rum 3104 och 4104. Källtermen, J , varierar beroende på tiden t [h].

	Rum 3104	Rum 4104
V [m ³]	42	42
V_{buff} [m ³]	1000	1000
c_{bgr} [μg/m ³]	0	0
K_{vent} [m ³ /h]	Uppmätta värden på tilluftsflödet	
J [μg/h]	500 för $t \leq 400$ 4000 för $400 < t \leq 2000$ och 4500 för $t > 2000$	500 för $0 < t \leq 900$ 4500 för $t > 900$

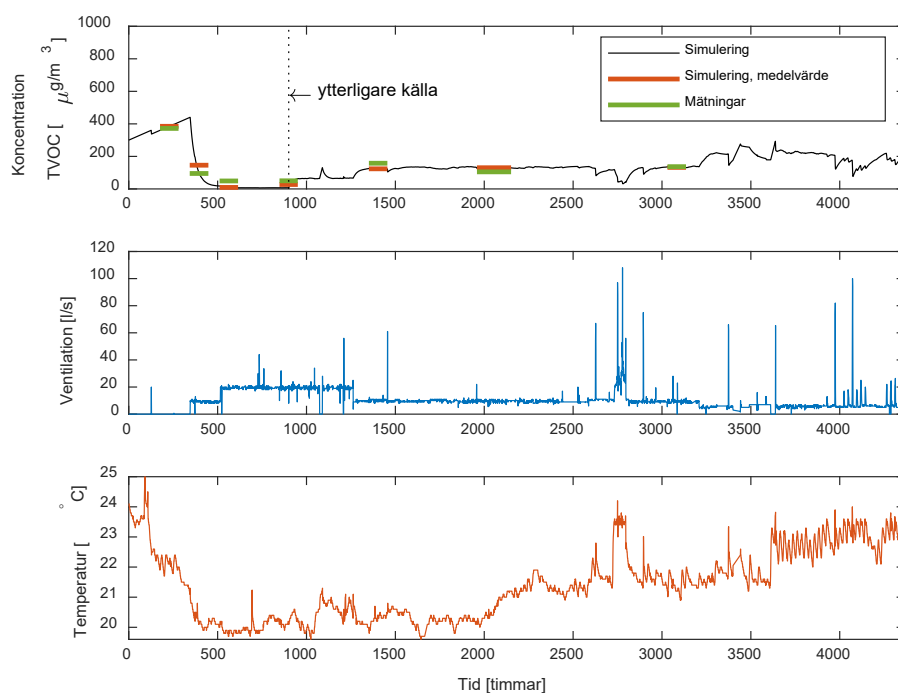
TVOC finns i uteluften och av den anledning är c_{bgr} oftast större än 0 μg/m³. Under mätperioden gjordes, av praktiska skäl, dock inga mätningar av TVOC i varken uteluften eller i tilluften. Uteluften passerar ett luftbehandlingsaggregat och diverse ventilationskanaler i huset tills den kommer in i testrummen som tilluft. Då andra källor av TVOC kan uppstå längst tilluftskanalerna, är inte TVOC halt i uteluften alltid representativ. Det var i praktiken svårt att mäta TVOC halter i endast tilluften då man inte kunde installera och byta passiva provtagare i tilluftsdonen efter behov. Som resultat, visar både c och c_0 relativa avvikelser från en okänd bakgrundshalt av TVOC i uteluften

$$c \rightarrow \Delta c = c - c_{bgr} \text{ och } c_0 \rightarrow \Delta c_0 = c_0 - c_{bgr}$$

I senare skeden av mätperioden indikerar både mätningar och beräkningar att nya källor av TVOC har uppstått i rummen. I verkligheten hade inte innehållet i rummen förändrats jämfört med i början av mätperioden. Efter en detaljerad analys av enstaka TVOC som redovisas i kapitel 3.3 och Figur 10 har man konstaterat att en sannolik anledning till nya TVOC källor är temperaturändringarna. Det betyder att V_{buff} och därmed också c beror på temperatur vilket gör sambandet i ekvationen E. 2 ännu mer komplicerat. Därför bör man se till att innetemperaturen hålls konstant vid TVOC mätningar.



Figur 15 Koncentrationer, temperatur och ventilationsflöden i rum 3104. Jämförelse mellan numeriska beräkningar och uppmätta medelvärden. Ventilationsflöden och temperaturer är hämtade från byggnadens ventilationssystem.



Figur 16 Koncentrationer, temperatur och ventilationsflöden i rum 4104. Jämförelse mellan numeriska beräkningar och uppmätta medelvärden

Energianvändning för ventilation

I figurerna nedan redovisas resultat av numeriska simuleringar med olika ventilationsstrategier. Indata till simuleringarna som visas i Tabell 3 är hämtade från numeriska simuleringar som passats mot mätningar, enligt Figur 15 och Figur 16.

Tabell 3 Indata som använts i numeriska simuleringar med olika ventilationsstrategier

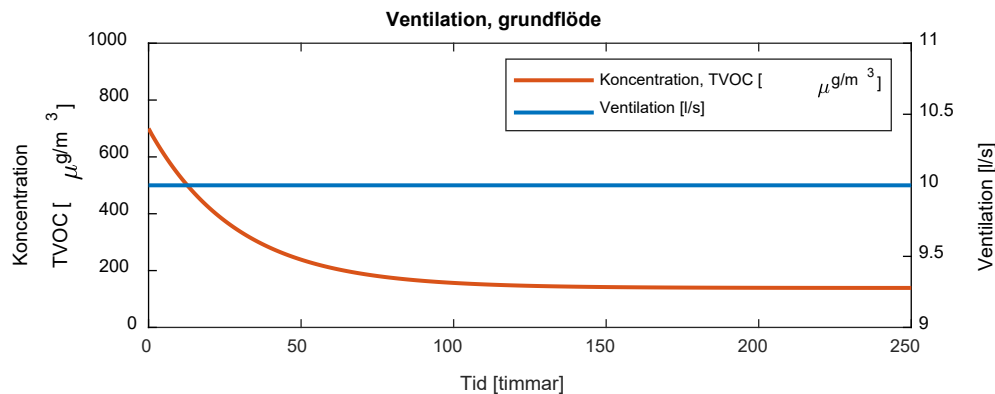
	K_{vent}		
	10 L/s	20 L/s	30 L/s
V [m ³]	42	42	42
V_{buff} [m ³]	1000	1000	1000
c_{bgr} [µg/m ³]	0	0	0
J [µg/h]	5000	5000	5000
$t_{VOC} = \frac{V+V_{buff}}{K_{vent}}$ [h]	29	15	10
$\frac{J}{K_{vent}}$ [µg/m ³]	ca 140	ca 70	ca 50

Figur 19 visar hur koncentrationen av TVOC sjunker när ventilationen är inställd på grundflödet 10 L/s. I detta fall tar det ungefär $4 \cdot t_{TVOC} = 4 \cdot 29h =$ ca 5 dygn innan koncentrationen når stationärt tillstånd med en koncentration på 140 µg/m³. I Figur 20 visas istället hur koncentrationen sjunker när ventilationen är inställd på ett högre flöde, 30 L/s. I detta fall tar det ungefär $4 \cdot t_{TVOC} = 4 \cdot 10h =$ ca 2 dygn innan koncentrationen når stationärt tillstånd med en koncentration på 50 µg/m³ men endast ca 20 h för att sänka TVOC halter till 140 µg/m³.

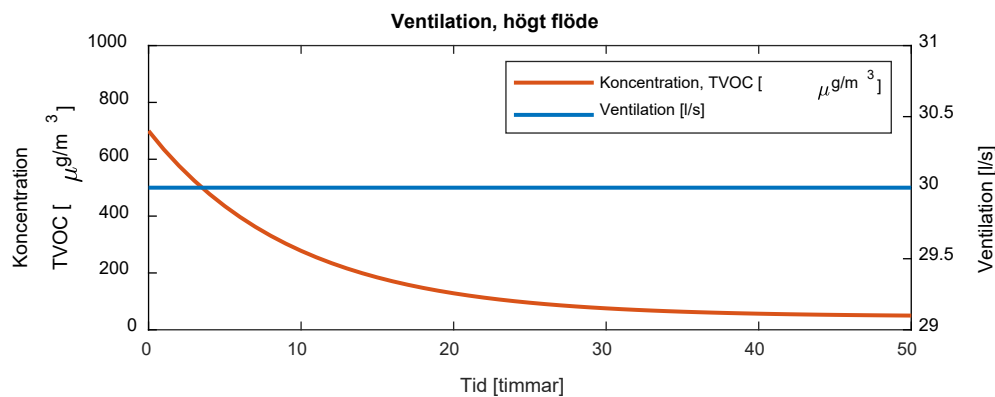
Energibehovet för att driva fläkten i dessa två fall visas i Tabell 4. För att sänka TVOC halter till 140 µg/m³, är det mer energieffektivt att ställa in grundflödet på 30 L/s än på 10 L/s. Energibehovet för att driva fläkten med 30 L/s är endast 50 % av den om behövs vid 10 L/s. TVOC halter sjunker exponentiellt över tid och snabbast i början av ventilationskampanjen vilket också indikeras av lösningen i ekvationen E. 3.

Tabell 4 Energibehovet för att driva fläkten enligt olika driftscheman

$t_{fläkts.tid}$	Driftschema enligt Figur 17	Driftschema enligt Figur 18
	24 h, 5 dygn	24 h, 0.8 dygn
K_{vent}	10 L/s	30 L/s
mål TVOC halt	140 µg/m ³	140 µg/m ³
SFP	1,5 kW/(L/s)	1,5 kW/(L/s)
$P_{fläkt}$	15 kW	45 kW
$E_{fläkt}$	15kW·24h·5dygn=1800 kWh	45kW·24h·20h=900 kWh



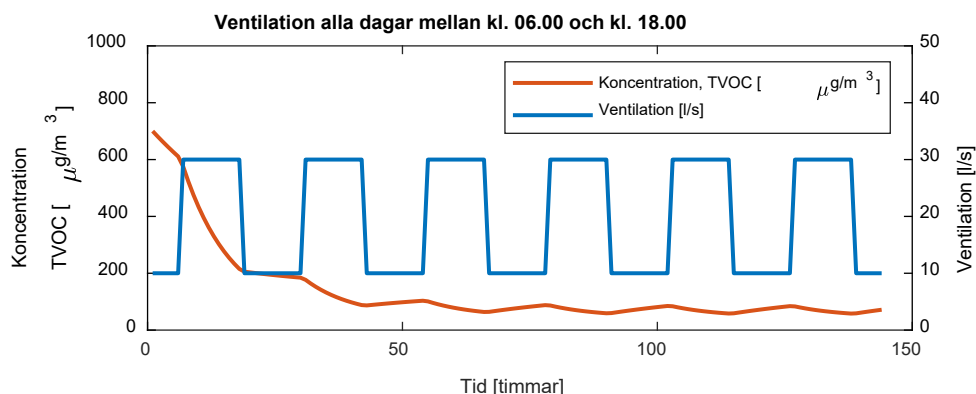
Figur 17 Visar koncentrationen av TVOC i ett rum med ventilationsflöde inställt på 10 L/s, det vill säga endast grundflöde.



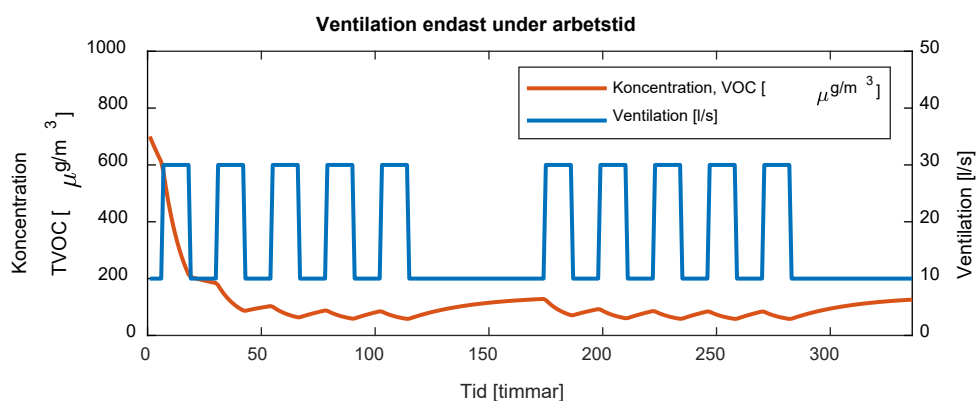
Figur 18 Visar koncentrationen av VOC i ett rum med ventilationsflöde inställt på 30 L/s.

Vill man sänka TVOC halter ytterligare, behöver grundflödet vara större än 10 L/s. Mätningarna på den upplevda luftkvalitén indikerar att bättre luftkvalitén uppnåddes med 20 L/s vilket motsvarar ca $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det skulle ta ca $4 \cdot t_{TVOC} = 4 \cdot 15\text{h} = \text{ca } 2.5$ dygn och för att sänka TVOC halter i rummen till $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och ca 25h med 30 L/s. Fläktenergin i dessa två fall är 1800 kWh och 1125 kWh (se Tabell 5).

I kontors- och undervisningslokaler används ofta ett varierande ventilationsschema även i byggnadens tidiga skede när TVOC halter är höga. I Figur 19 och Figur 20 visas hur koncentrationen sjunker när ventilationsflödet är inställt på grundflöde 10 L/s halva dygnet (kl.18 – kl.06) samt 30 L/s halva dygnet (kl.06- kl.18). Det senare gäller arbetstid när det är viktigt att hålla TVOC halter ner för att uppnå en bättre luftkvalité. I Figur 19 är ventilationen dessutom inställd på grundflöde under lördagar och söndagar. I Figur 19 tar det 2.7 dygn innan koncentrationen når stationärt tillstånd med en koncentration på $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I Figur 20, med grundflöde under helgen, tar det lika lång tid att sänka TVOC till $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under arbetsdagarna med en skillnad att koncentrationen går upp under helgen till ca $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 19 Visar koncentrationen av VOC i ett rum där ventilationsflödet är inställt på 30 L/s mellan klockan 06.00 och 18.00 (arbetstid). Under tiderna där emellan är ventilationsflödet inställt på 10 L/s.



Figur 20 Visar koncentrationen av VOC i ett rum där ventilationsflödet är inställt på 30 l/s mellan klockan 06.00 och 18.00 (arbetstid). Under tiderna där emellan, samt lördagar och söndagar, är ventilationsflödet inställt på 10 L/s.

Resultaten i Tabell 5 visar att det inte är energieffektivt att ventilerat rummet med ett varierande luftflöde när TVOC halter är höga. Det tar 1944 kWh och 2.7 dygn med ett varierande ventilationsschema (30 L/s / 10 L/s) att sänka TVOC halter till $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Om man ventilerar i stället med ett konstant luftflöde på 20 L/s, tar det 1800 kWh och 2.5 dygn att sänka TVOC till $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lägre luftflöde under helgdagar (10 L/s) sparar energin men på bekostnad av högre TVOC halter i början av nästa arbetsvecka ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Först när en önskad TVOC halt uppnås, kan ventilationen minskas.

Tabell 5 Energibehovet för att driva fläkten enligt olika driftscheman

$t_{\text{fläkt}} \cdot \text{tid}$	Driftschema 24 h, 2.5 dygn	Driftschema 24 h, 25 h	Driftschema enligt Figur 19 12 h / 12 h, 2.7 dygn
K_{vent}	20 L/s	30 L/s	30 L/s / 10 L/s (medel 20 L/s)
mål TVOC halt	$70 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$70 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$70 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SFP	1,5 kW/(L/s)	1,5 kW/(L/s)	1,5 kW/(L/s)
$P_{\text{fläkt}}$	30 kW	45 kW	45 kW / 15 kW medel 30 kW
$E_{\text{fläkt}}$	$30\text{ kW} \cdot 24\text{ h} \cdot 2.5\text{ dygn}$ =1800 kWh	$45\text{ kW} \cdot 24\text{ h} \cdot 1\text{ dygn}$ =1125 kWh	$30\text{ kW} \cdot 24\text{ h} \cdot 2.7\text{ dygn}$ = 1944 kWh

Dessa beräkningsexempel visar att val av fläktens driftschema är ett optimeringsproblem som är värd att undersöka närmare. Syftet med optimeringen är att hitta en kombination av luftflödet och luftkvaliteten som uppnås på ett energieffektivt sätt.

Energiresultaten som presenteras här är endast indikativa och gäller så länge fläktens SFP värdet inte ändras avsevärt med luftflöde. I energiberäkningar tas inte hänsyn till lufttryckförluster i ventilationskanalerna som är större vid större luftflöde.

4. SLUTSATSER

- a. En tidig mätning, dvs. så nära inflyttningen som möjligt, kan ge viktiga uppgifter om typer och koncentrationer av olika TVOCs halter. Nya källor av TVOCs kan uppstå när som helst och ge en annan bild av luftkvaliteten i nya lokaler.
- b. Traditionellt syftar fältmätningar att hitta samband mellan TVOC halter och ventilationsflöde. Resultat av detta projekt visar att rummets tröghet är också en avgörande parameter som bör tas hänsyn till. En annan viktig parameter är temperatur i rummet.
- c. Det rekommenderas att fältmätningen startar med helt avstängd ventilation för att få de högsta halter av TVOC i luften. Därefter räcker det med att mäta TVOC halterna under påföljande 2 till 3 veckor. Både luftflöde och innetemperatur i rummet bör hållas konstant. Dessa data räcker till att kalibrera beräkningsverktyg.
- d. Ett kalibrerat beräkningsverktyg kan användas för att planera och optimera ventilation så att koncentration av TVOCs hålls under en viss gräns.
- e. Resultaten av energiberäkningar visar att det är mer tids- och energieffektivt att tillämpa en forcerad ventilation dygnet runt tills man når den önskade gränsen i TVOC halter än att ha ett lägre eller varierande luftflöde under en längre tid. När TVOC sänks, kan ventilationen återgå till det normala driftschemat.
- f. Gränsvärden för vad anses som bra luftkvalité bör undersökas närmare. Gränsvärdena är vanligtvis långt under kritiska gränsvärden för hälsorisker samt under rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet inomhus.

Slutsatserna b-e bidrar till nya insikter i TVOC problematiken. Liknande analyser som ligger bakom dessa slutsatser finns inte med eller är sällsynta i litteratur.

5. LITTERATURFÖRTECKNING

- [1] Kemikalieinspektionen, “Hälsoskadliga kemiska ämnen i byggprodukter – förslag till nationella regler, rapport 8/15.”
- [2] P. Wolkoff, “How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective,” *Sci. Total Environ.*, vol. 227, no. 2–3, pp. 197–213, Mar. 1999.
- [3] H. Järnström, *Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2007.
- [4] L. Ng, D. Poppendieck, W. S. Dols, and S. J. Emmerich, “Evaluating indoor air quality and energy impacts of ventilation in a net-zero energy house using a coupled model,” *Sci. Technol. Built Environ.*, vol. 24, no. 2, pp. 124–134, 2018.
- [5] H. Järnström, K. Saarela, P. Kalliokoski, and A.-L. Pasanen, “Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland,” *Atmos. Environ.*, vol. 40, no. 37, pp. 7178–7191, Dec. 2006.
- [6] S. Langer, G. Bekö, E. Bloom, A. Widheden, and L. Ekberg, “Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden,” *Build. Environ.*, vol. 93, no. P1, pp. 92–100, 2015.
- [7] C. Y. H. Chao and J. S. Hu, “Development of a dual-mode demand control ventilation strategy for indoor air quality control and energy saving,” *Build. Environ.*, vol. 39, no. 4, pp. 385–397, 2004.
- [8] S. Langer and K. Hallgren, *Innemiljö i HSB Living Lab En studie av innemiljön under en fastighets första år*. 2018.
- [9] SGBC, “Miljöbyggnad - Sweden Green Building Council - Sweden Green Building Council.” [Online]. Available: <https://www.sgbc.se>. [Accessed: 23-Jan-2020].
- [10] ISO, *ISO - ISO 16017-2:2003 - Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling*. 2003.
- [11] ISO, *ISO - ISO 16000-4:2004 - Indoor air — Part 4: Determination of formaldehyde — Diffusive sampling method*. 2004.
- [12] S. Langer, O. Ramalho, E. Le Ponner, M. Derbez, S. Kirchner, and C. Mandin, “Perceived indoor air quality and its relationship to air pollutants in French dwellings,” *Indoor Air*, vol. 27, no. 6, pp. 1168–1176, Nov. 2017.
- [13] W. W. Langer S., Ekberg L., Teli D., Cabovska B., Bekö G., “Study of the measured and perceived indoor air quality in Swedish school classrooms,” in *Beyond 2020*, 2020, p. Paper ID 4712888.
- [14] W. H. Jin Q., “Improving indoor environmental quality (IEQ) for occupant health and well-being: A case study of Swedish office building,” in *Beyond 2020*, 2020, p. ID 4713150.

- [15] P. Wargocki, "Sensory pollution sources in buildings," *Indoor Air, Suppl.*, vol. 14, no. SUPPL. 7, pp. 82–91, 2004.
- [16] F. P. Wargocki, Pawel, Wyon D. P., Baik Y. K., Clausen G., "Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads," *Indoor Air*, vol. 9, no. 3, pp. 165–179, 1999.
- [17] "Federal Environment Agency of Germany. Health and Environmental Hygiene. Guide values for indoor air quality." [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/gesundheit-e/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>. [Accessed: 07-Dec-2020].
- [18] S. Langer and G. Bekö, "Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics," *Build. Environ.*, vol. 69, no. 2, pp. 44–54, 2013.
- [19] W. R. O. for E. Organization, World Health, *Selected pollutants. WHO indoor air quality guidelines*. Copenhagen, 2010.
- [20] J. Xiong, W. Wei, S. Huang, and Y. Zhang, "Association between the emission rate and temperature for chemical pollutants in building materials: General correlation and understanding," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, no. 15, pp. 8540–8547, Aug. 2013.
- [21] C. E. Hagentoft, *Introduction to Building Physics*. Studentlitteratur, 2001.

BILAGA 1 VENTILATIONSSCHEMA OCH PLAN FÖR MÄTNINGAR

Basflöde avser ett konstant luftflöde där

15% motsvarar 6 L/s
 25% motsvarar 10 L/s
 50% motsvarar 20 L/s
 100 % motsvarar 40 L/s

Tillägg avser en ökning i tilluftsflöde vid närvaro

NS motsvarar 15 % basflöde och närvarostyrd
 + NS motsvarar basflöde och närvarostyrd

Vecka	Startdatum	Rum 3104		Rum 4104		Mätningar		
		basflöde	tillägg	basflöde	tillägg	enkät	VOC	VOC
41	2019-10-07							
42	2019-10-14							
43	2019-10-21							
44	2019-10-28	0%		0%		ons	må-fre	helg
45	2019-11-04	25%		25%		ons	må-fre	helg
46	2019-11-11	25%		50%		ons	må-fre	helg
47	2019-11-18	25%		50%		-	-	-
48	2019-11-25	25%		50%		ons	må-fre	-
49	2019-12-02	25%		50%		-	-	-
50	2019-12-09	25%		38%	+ NS	-	-	-
51	2019-12-16	25%		25%	+ NS	ons	må-fre	-
52	2019-12-23	25%		25%	+ NS	-	-	-
1	2019-12-30	25%		25%	+ NS	-	-	-
2	2020-01-06	25%		25%	+ NS	-	-	helg
3	2020-01-13	25%		25%	+ NS	ons	må-fre	helg
4	2020-01-20	25%		25%	+ NS	-	-	helg
5	2020-01-27	15%	+ NS	25%	+ NS	-	-	-
6	2020-02-03	15%	+ NS	25%	+ NS	-	-	-
7	2020-02-10	15%	+ NS	25%	+ NS	-	-	-
8	2020-02-17	15%	+ NS	25%	+ NS	-	-	-
9	2020-02-24	15%	+ NS	25%	+ NS	ons	-	-
10	2020-03-02	NS		15%		-	-	-
11	2020-03-09	NS		15%		-	-	-
12	2020-03-16	NS		15%		-	-	-
13	2020-03-23	NS		15%		-	-	-
14	2020-03-30	NS		15%		-	-	-
15	2020-04-06	NS		15%		-	-	helg
16	2020-04-13	NS		15%		ons	må-fre	helg
17	2020-04-20	NS		15%		-	-	helg