

Åtgärder för att förbättra tilluftens kvalitet på kontor

Pär Fjällström, Erica Bloom, Bengt Christensson, Bo Sahlberg,
Gabriella Östlund, Ann-Beth Antonsson

B 2166
Januari 2014

Rapporten godkänd:
2014-04-09

John Munthe
Forskningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel Anslagsgivare för projektet
Telefonnr 08-598 563 00	AFA Försäkring D-nr 090019
Rapportförfattare Pär Fjällström, Erica Bloom, Bengt Christensson, Bo Sahlberg, Gabriella Östlund, Ann-Beth Antonsson	
Rapporttitel och undertitel Vilka åtgärder kan vidtas för att förbättra tilluftens kvalitet på kontor? What measures can improve the quality of supply air in offices?	
Sammanfattning <p>Mätningar har gjorts för att studera ventilationssystemets betydelse för luftkvaliteten i fyra kontorsbyggnader. Byggnaderna valdes så att de skulle representera kontor utan några särskilda eller påtalade inomhusmiljöproblem. Speciellt har luftens sammansättning och hur denna förändras vid transporten genom ventilationssystemet studerats. Mätningarna visar att halterna av vissa ämnen som i tillräckligt höga halter kan vara irriterande för slemhinnor och luftvägar, bland annat formaldehyd, acetaldehyd, myrsyra och ättiksyra ökar när luften passerar genom ventilationssystemet. Reaktionen med vatten antas bidra till att dessa ämnen bildas. Även om halterna inte låg över några gränsvärden, kan man inte utesluta att dessa ämnen ibland kan bidra till upplevda besvär i kontorsmiljöer.</p> <p>Mätningarna visar också att avskiljningen av partiklar över tilluftsfilter fungerar sämre än förväntat. Ofta avskiljs enbart i storleksordningen 50 % av partiklar även i den grövsta fraktionen (PM 10), vilket leder till onödigt höga dammhalter i tilluften (om än halter som ligger väl under gällande hygieniska gränsvärden). Otillräcklig rening av tilluften leder till att en del av partiklarna avsätts invändigt i ventilationskanalerna som gradvis smutsas ner.</p> <p>Mot bakgrund av litteratur och andra studier av ventilationen samt mätningarna inom detta projekt, har rekommendationer sammanställts för åtgärder 1) i samband med nybyggnation av ventilationssystem, 2) underhåll av ventilationssystem samt 3) när problem med luftkvalité påtalas, som misstänks bero på brister i ventilationen.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Ventilation, tilluft, underhåll, rening, filter, ozon, organiska syror, aldehyder, salpetersyra	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B2166	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Summary

Measurements were made to study how ventilation systems may affect the quality of indoor air in office buildings. Four office buildings were selected to represent buildings without any distinct or addressed indoor air problems. The study was focused on the composition of air contaminants and how they changed, when passing through the supply air part of the ventilation system.

Measurements show increasing concentrations of potentially irritating substances when the air passes through the ventilation system, e.g. formaldehyde, acetic aldehyde, formic acid and acetic acid. It is assumed that these substances are formed through reactions with water. Even if the concentrations were well below threshold limit values, it cannot be excluded that the presence of all these substances may contribute to perceived malaise in office buildings.

The measurements also reveal that the filters reduce the particle concentration less effectively than expected. The filters used were F7-filters. Often only about 50 % of the particles (PM 10) were separated, resulting in unnecessary high particle levels in the supply air (even though concentrations were below the threshold limit values). Inadequate separation of particles in the supply air results in deposition of particles in the ventilation ducts, resulting in gradual contamination of the air ducts over time.

In view of literature and other studies on ventilation, as well as the findings of the current study, recommendations for suitable measures have been formulated for 1) construction of ventilation systems, 2) maintenance of ventilation systems, and 3) when issues arise that are suspected to be caused by inadequacies of the ventilation.

Innehållsförteckning

Summary.....	1
1 Inledning.....	4
2 Syfte.....	5
3 Metoder.....	5
3.1 Urval.....	5
3.2 Mätningar.....	6
3.2.1 Mätpunkter.....	6
3.2.2 Ämnen som vi mätt.....	7
3.3 Uppgifter om ventilationssystemen.....	8
3.4 Upplevda besvär.....	8
4 Luftkvalitet och upplevda besvär.....	8
4.1 Andra orsaker till besvär än ventilationen.....	10
5 Ventilationssystemet och dess betydelse för inomhusmiljön.....	10
5.1 Luftintaget.....	11
5.2 Tilluftsfilter.....	12
5.2.1 Tilluftsfilters avskiljningsgrad.....	12
5.2.2 Effekter på hälsa och produktivitet av använda (smutsiga) tilluftsfilter.....	12
5.2.3 Fuktens betydelse.....	13
5.2.4 Kemiska reaktioner i tilluftsfilter.....	13
5.2.5 Tilluftsfilter som havererar.....	13
5.3 Värmeväxling.....	14
5.4 Kanaler efter tilluftsfiltret.....	14
5.5 Övriga problem som är eller kan vara kopplade till ventilationssystemet.....	14
6 Mikroorganismer i ventilationssystem.....	15
6.1 Vad styr förekomsten av mikroorganismer.....	15
7 Resultat och diskussion – djupstudier av fyra ventilationssystem.....	16
7.1 De studerade ventilationssystemen.....	16
7.2 Luftföroreningars öde i ventilationssystemen.....	16
7.2.1 Partiklar.....	17
7.2.2 Gasformiga luftföroreningar.....	21
7.2.3 TVOC.....	26
7.2.4 Koldioxid.....	28
7.2.5 Mikroorganismer.....	29
8 Slutsatser.....	30
8.1 Samvariation mellan olika luftföroreningar.....	31
9 Åtgärder som minskar besvär från ventilationssystem.....	32
9.1 Installation av nytt ventilationssystem.....	32
9.1.1 Tillräckligt luftflöde.....	32
9.1.2 Intag av torr och ren luft.....	32
9.1.3 Effektivt filter för rening av luft.....	33
9.1.4 Värmeåtervinning men ingen returluft.....	33
9.2 Drift av ventilationssystem.....	33
9.2.1 Undvik total avstängning av ventilationen.....	33
9.2.2 Filterbyte.....	34

9.2.3	Rengöring av ventilationskanaler.....	34
9.2.4	Kontrollera luftfuktigheten.....	35
9.3	När ventilationen misstänks ge dålig luftkvalitet	35
9.3.1	Börja kontrollera det som är enklast att kontrollera	35
9.3.2	Kontrollera att ventilationssystemet är väl utformat	36
9.3.3	Kontrollera att underhållet fungerar	36
9.3.4	Är tilluftsfiltret helt och korrekt monterat?.....	37
9.3.5	Säkerställ att det inte finns fuktskador i ventilationssystemet	37
10	Referenser	38
	Bilaga 1. Sammanställning av mätdata från mätningarna	43
	Kontor 1	43
	Kontor 2.....	45
	Kontor 3.....	49
	Kontor 4.....	53

1 Inledning

Enligt Socialstyrelsen är cirka en miljon personer i Sverige besvärade av inneluftens kvalitet i bostaden, på arbetsplatsen eller i skolan (Ahlgren et al. 2003). En stor del av dessa upplever besvär på sitt arbete, exempelvis på kontor, i skola eller inom vården. En studie har visat att 45 % av dem som behandlats för ospecifika byggnadsrelaterade symptom inte kunnat återgå till ett yrkesverksamt liv och att symptomen varit mer eller mindre oförändrade efter så lång tid som sju år (Edvardsson et al. 2008). Även lättare symptom kan få stor effekt då många är berörda.

Bedömningen av innemiljön och inneluftens kvalitet baseras huvudsakligen på upplevelsen av inneklimatet. Trots omfattande forskning, har det inte gått att identifiera luftföroreningar som kan förklara upplevelsen av luftkvaliteten, även om det ibland är möjligt att identifiera vissa ämnen som korrelerar med besvär, exempelvis koldioxid. Koldioxiden i sig är dock inte irriterande, utan samvarierar med andra irriterande ämnen. Det är dessutom svårt att identifiera orsaker till besvär, även om fuktskador i byggnader är grundorsaken till de flesta klagomål på besvär och även till ohälsa.

Det finns skäl att misstänka att ventilationssystemets funktion har betydelse för upplevelsen av luftkvaliteten. I en studie har till och med produktiviteten kunnat kopplas till ventilationssystemets funktion (Wargoocki 2004).

Brister i ventilationssystem och underhåll av dem som konstaterats i utredningar rör:

- ✓ Dålig luftväxling
- ✓ Felmonterade tilluftsfilter
- ✓ Tilluftsfilter som inte blivit utbytta i tid
- ✓ Felaktig uppvärmning av tilluften
- ✓ Läckage i roterande värmeväxlare
- ✓ Befuktning och mikroorganismer

Misstankar finns även om att upplevelse av dålig luft kan bero på:

- ✓ Dåligt utformat luftintag
- ✓ Smutsig isolering i luftintag
- ✓ Drift av ventilationen enbart under dagtid
- ✓ Obalans i fläktar
- ✓ Svampbevuxning i tilluftsfilter och luftintag
- ✓ Allergiframkallande ämnen som frigörs från främst svamp och pollen som fastnat i tilluftsfilteret.
- ✓ Reaktionen mellan olika ämnen som finns i tilluften, exempelvis ozon som reagerar och bildar irriterande ämnen t.ex. aldehyder, eller kvävedioxid som reagerar med vatten och bildar salpetersyra.

Uppskattningsvis har cirka 70 % av de upplevda hälsoproblemen, relaterade till innemiljön i kontor, ett samband med inadekvat drift eller underhåll av luftbehandlingsaggregatet och ventilationskanalsystemet (ASHRAE 1996). Den obligatoriska ventilationskontrollen,

OVK, som infördes 1991 har haft en positiv inverkan på ventilationssystemens funktion i Sverige. OVK kontrollerar dock främst den grundläggande funktionen och utförs (beroende på typ av byggnad och ventilationssystem) en gång per 2-9 år.

För att förbättra upplevelsen av luftkvalitén på arbetsplatser som kontor finns ett stort behov av att öka kunskapen om hur ventilationssystem påverkar luftens kvalitet och vilka åtgärder som kan förbättra luftkvalitén.

2 Syfte

Projektets långsiktiga mål är att förbättra tilluftens kvalitet på kontor med mekanisk ventilation.

Syftet med detta projekt är att:

- Öka kunskapen om orsakerna till de förändringar i tilluftens kvalitet som sker under luftens väg genom ventilationssystem.
- Korrelera tekniska parametrar som filtertyp och filterbyte samt halten av luftföroreningar till upplevt arbetsklimat.
- Sammanställa lämpliga åtgärdsförslag som förbättrar luftkvaliteten samt att utarbeta lämplig informationsspridningsmetod.

Utgångspunkten för projektet är att tilluftsanläggningens design, kapacitet och skötsel har betydelse för kontorsanställdas upplevelse av luftkvalitén, men även för hälsa och produktivitet.

3 Metoder

3.1 Urval

Studien omfattar fyra stora kontorsbyggnader i Stockholm. Avgränsningen till större kontor gjordes eftersom ambitionen var att mäta upplevelsen av luftkvalitén med en enkät, vilket kräver ett tillräckligt stort antal respondenter för att svaren ska bli användbara.

Vid urvalet av kontor valde vi att enbart inkludera byggnader utan dokumenterade eller påtalade problem med inomhusmiljön, d.v.s. "sjuka hus" ingår inte i studien. Detta urval gjordes för att renodla frågeställningen till eventuella problem med ventilationen och utesluta andra byggnadsrelaterade problem.

3.2 Mätningar

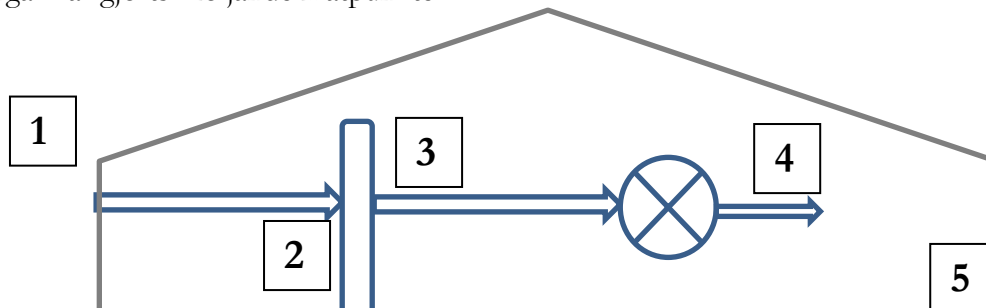
Mätningar har gjorts i fyra kontor och under olika årstider. Syftet med mätningarna har varit att ge en bild av hur luftkvaliteten kan förändras vid transport genom ventilationssystem. Fokus har därför legat på hur luftens sammansättning förändras när den transporteras genom ventilationssystemet men också på variationer mellan olika ventilationssystem och även variationer mellan årstider. Dessa variationer diskuteras i rapporten ur perspektivet vilka faktorer som kan ha betydelse för variationerna. Syftet med mätningarna har således varit att kvalitativt undersöka hur luften påverkas vid passage genom ventilationssystem för kontorsventilation. Mot bakgrund av diskussionen om vilka faktorer som har betydelse för luftkvaliteten, diskuteras sedan vilka åtgärder som kan förbättra luftkvaliteten. Diskussionen utgår från att ventilationssystem är komplexa och att det i varje enskilt fall kan finnas flera olika faktorer som försämrar luftkvaliteten. Det är därför viktigt att känna till vilka dessa faktorer är, för att det ska vara möjligt att identifiera vilken eller vilka faktorer som är av betydelse i det enskilda fallet.

De förändringar i tilluften som sker i ventilationssystemet studerades med hjälp av mätningar av ett urval av luftföroreningar. Eftersom klimatet kan ha betydande påverkan på luftkvaliteten utfördes mätningarna under olika årstider vid två till fyra tillfällen under ett år. På grund av de omfattande mätningarna samt svårigheter att rekrytera studieobjekt, hanns inte alla kontor med under ett år utan studien pågick under två år.

Luftprover togs före och efter ventilationssystemet och ibland även mellan olika delar av ventilationssystemet. Vid oväntade förändringar gjordes mätningar för att fastställa var i ventilationssystemet förändringen inträffade.

3.2.1 Mätpunkter

Mätningar har gjorts i följande mätpunkter:



1. Utomhus
2. Före tilluftsfilter
3. Eftertilluftsfilter och före värmeväxlare/värmeaggregat
4. I tilluften, efter värmeväxlare
5. I kontoret

3.2.2 Ämnen som vi mätt

Mätningarna omfattade:

- **Partiklar** (antal, massa och storleksfördelning)
 - Direktvisande mätningar och filterprover för efterföljande analys.
 - Prov togs på avsatt damm i ventilationssystemet för massbestämning och analys av svamppåväxt.
- **Gasformiga luftföroreningar.** Förändringar i halt av olika föroreningar före och efter ventilationssystemet användes för att studera kemiska reaktioner i ventilationssystemet, under vilka betingelser som reaktionerna kan ske och vilka ämnen som kan bildas. Ämnen som mättes (i de flest fall med extraktiv provtagning) var
 - ozon,
 - nitrösa gaser,
 - koldioxid, (direktvisande instrument).
 - kolväten.
- **Mikroorganismer:** Luftburna mögelsvampar och deras sporer, pollen, fragment från mögelsvamp och pollen, samt påväxt av mögelsvamp på ytor. Uppsamlade provtagning med efterföljande odling och artbestämning av levande mögelsvamp.
- **Fysiska parametrar.** Temperatur och relativ luftfuktighet mättes kontinuerligt före, i och efter ventilationssystemet. Uppgifter inhämtades om utomhustemperatur och relativ luftfuktighet.

I rapporten anges partikelhalten med några olika mått:

- Respirabelt damm och inhalerbart damm
- PM 1, PM 2,5 och PM 10.

I arbetsmiljösammanhang mäts vanligtvis dammhalten som inhalerbart damm eller respirabelt damm. Vid inandning kommer i stort sett alla luftburna partiklar in i näsa eller munhåla. Denna fraktion motsvarar det inhalerbara dammet. I detta projekt har vi valt att mäta den respirabla dammhalten. Det respirabla dammet har en sådan storlek att det vid inandning kan komma ner i lungorna. Inhalerbart damm och respirabelt damm definieras av de provtagningsmetoder som används vid mätning.

PM 1, PM 2,5 och PM 10 är begrepp som brukar användas vid mätningar i inomhusmiljö och utemiljö, men sällan i arbetsmiljö. PM 1 är den partikelfraktion som har en aerodynamisk diameter under 1 μm . För PM 2,5 är gränsen 2,5 μm och för PM 10 10 μm . Respirabelt damm skulle ”översatt” till PM bli i cirka PM 4,3.

Partiklar som är mindre än ca 10 μm kan passera struphuvudet och komma ned i lungornas bronkiala region. För omgivningsluft används begreppet PM 10 (Particulate Matter) och för arbetsmiljön bronkialt damm. I lungorna sker sedan en successiv avskiljning där partiklar mindre än ca 5 μm kan nå ända ut i de finaste förgreningarna och lungblåsorna. För

utomhusluft används begreppet PM 2,5 och i arbetsmiljön respirabelt damm. Alla mått avser partiklarnas aerodynamiska diameter.

3.3 Uppgifter om ventilationssystemen

Uppgifter inhämtades om:

- **Ventilationssystemets drift och underhåll.** Anläggningarna okulärbesiktigades. Systemen har dokumenterats med beskrivning och även med bilder där så var möjligt. Filterklass, samt filterbyten noterades.
- **Ventilationens betydelse för transport av föroreningar** bedömdes.
- Kontorets läge i förhållande till andra föroreningskällor och luftintagets placering. Luftintagets placering var bra och inga föroreningskällor som kunde påverka tilluftens kvalitet kunde identifieras. Frånluftsdonens var också så placerade att det knappast kunde förekomma någon kortslutning mellan frånluftsdon och tilluftsintag.

3.4 Upplevda besvär

Ventilationssystemets effekter på personalens upplevelse av luftkvaliteten studerades genom kartläggning av personalens upplevelse av inomhusluftens kvalitet med hjälp av en enkät som normalt används vid utredningar av upplevelsen av inomhusmiljön (den s k Örebroenkäten).

4 Luftkvalitet och upplevda besvär

Det finns flera studier av inomhusmiljöer som visar samband mellan förekomst av besvär i form av irritation i luftvägarna och astma och bristfällig ventilation. God luftväxling (hög luftutbyteseffektivitet) i byggnader är viktig för att undvika negativa hälsoeffekter och besvär (Sundell 1994). Ju högre luftutbyteseffektivitet, desto mindre risk för att luftkvaliteten ska uppfattas som undermålig. Det är dock inte enbart luftutbytet som har betydelse. Även tilluftens kvalitet har betydelse.

Det finns flera orsaker till att luftkvaliteten inomhus upplevs som undermålig. Faktorer som typ av ventilationssystem, hög rumstemperatur, låg tillförsel av uteluft och låg luftfuktighet har visat sig påverka förekomsten av symtom som irritation i slemhinnorna, ospecifika symtom från ögon, övre luftvägar och huden i ansiktet (Apter et al. 1994, Hodgson 1995, Mendell och Norbäck 2009). Enligt Socialstyrelsen är cirka en miljon personer i Sverige besvärade av inomhusluftens kvalitet (skola, arbete, bostad) (Ahlgren et al.2003).

Effekten av ventilation på hälsa, komfort och produktivitet i icke industriella inomhusmiljöer har granskats av en tvärvetenskaplig grupp av forskare som kallas EUROVEN (Wargocki 2002). Baserat på tillgängliga data konstaterade gruppen att ventilationens funktion är starkt förknippad med komfort, hälsa och symtom från ögon och övre luftvägar. Enligt tidigare studier har lågt ventilationsflöde också förknippats med

en ökning av symtom (Seppanen et al. 1999, Wargocki et al. 2000 Fisk et al. 2009). Symtom är vanligare vid luftflöden under 10 l/s, person (Wargocki et al., 2000 Fisk et al. 2009). Det har också konstaterats att ökad tillförsel av utomhusluft i icke industriella miljöer förbättrar upplevd luftkvalitet och att luftflöden under 25 l/s och person ökar risken för olika typer av symptom och besvär som relateras till inomhusluftens kvalitet (Wargocki 2002). I byggnader med en CO₂-nivå lägre än 800 ppm är risken för symptom mindre (Seppanen et al. 1999). Dessutom kan det bildas föroreningar och partiklar i ventilationssystemet som kan påverka upplevelsen av luftkvaliteten inomhus.

I flera studier av utomhusluft har samband mellan halterna av gas- och partikelformiga luftföroreningar och hälsa konstaterats. Epidemiologisk och toxikologisk forskning stöder en koppling mellan stadsluftens föroreningar och en ökad förekomst av luftvägssjukdomar. Skadliga effekter av ozon (O₃), kvävedioxid (NO₂) och partiklar (PM), samt trafikrelaterade föroreningar som helhet och luftvägssymtom är väl dokumenterade (Kelly och Fussell 2011). Övriga hälsopåverkan kan påvisas vid mycket låga halter av partiklar. Olika partikelfraktioner och var i luftvägarna de avsätts redovisas i tabell 1. Tabell 1 anger var i luftvägarna som partiklarna huvudsakligen deponeras.

Tabell 1. Partikelfraktioner var i luftvägarna de avsätts. (Möriz et al. 2001)

Partikeldiameter i µm	Avsättningsområde i luftvägarna
> 7,0	Näsan
4,7 – 7,0	Svalget
3,3 – 4,7	Luftstrupen
2,1 – 3,3	Bronkerna
1,1 – 2,1	Bronkiolerna
0,65 – 1,1	Alveolerna

En hypotes har presenterats i sökandet efter tänkbara förklaringar till sensoriska irritationer i kontorsmiljöer. Hypotesen bygger på antagandet att kemiska reaktioner kan ge upphov till irriterande ämnen. Ozon är en av de reaktiva kemikalier som kan ha en effekt på symtom (Buchanan et al. 2008, Apte et al. 2008). Sensoriska irriterande ämnen produceras när ozonet reagerar med vissa alkener och bildar oxidationsprodukter som kan förekomma både i gas- och aerosolform. Dessa oxidationsprodukter kan bidra till ögon- och luftvägssymtom under vissa förhållanden och vid låg relativ fuktighet (Wolkoff et al. 2006).

De symptom som ofta är förknippade med besvär i inomhusmiljön, exempelvis ihållande besvär från slemhinnorna, huvudvärk och trötthet är mycket vanliga symptom i den allmänna befolkningen. Ett orsakssamband mellan inomhusmiljön och dessa symptom är i vissa fall svåra att påvisa (Brauer et al. 2006).

Kunskapen om vilka ämnen som kan bidra till besvären är otillräcklig. Vid utredningar av besvär från luftkvalitet i kontorsmiljöer och liknande miljöer, utgår man därför vanligtvis från upplevelsen av besvär. Upplevelsen kartläggs vanligtvis med en standardiserad enkät och svaren kan jämföras med resultat från andra fastigheter som anses vara ”normala” och utan överfrekvens av besvär.

4.1 Andra orsaker till besvär än ventilationen

Vid utredning av hus med klagomål är enligt skadereglernas erfarenhet fuktproblem huvudsaklig eller bidragande orsak i cirka 90 % av husen. När hus med fuktskador är åtgärdade minskar antalet personer som besväras av luften i huset. Erfarenheten visar att det inte är helt ovanligt att känsligare personer, t.ex. atopiker, har svårt att vistas längre stunder även i åtgärdade hus.

Några exempel på fuktskador utöver direkt vattenskada är:

- ✓ PVC-golv mattor och lim som påverkats av fuktig betong.
- ✓ Svampväxt (mögel) på fuktiga gipsskivor.
- ✓ Vattenskadade linoleummattor och kaseinhaltig golv massa.

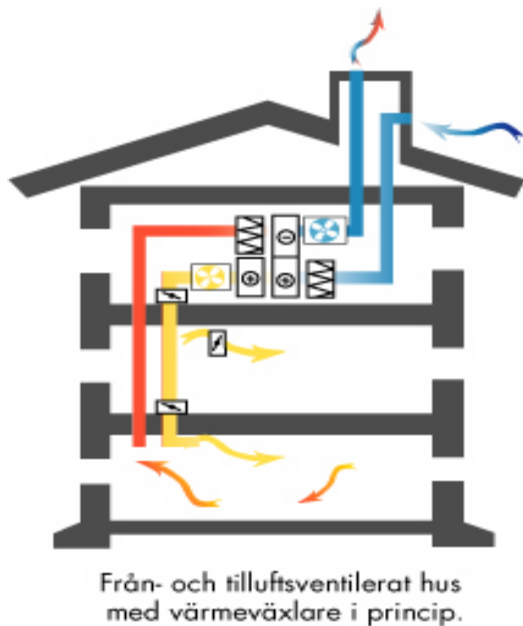
Tidigare var det inte ovanligt att byggmaterialet var vattenskadat redan när huset byggdes. Idag är man betydligt försiktigare och mycket arbete läggs på att undvika fukt under byggprocessen.

Det finns även andra faktorer än fuktskador som kan påverka upplevelsen av inneluften, till exempel:

- ✓ Formaldehyd från byggmaterial och möbler.
- ✓ Damm på grund av otillräcklig städning.

5 Ventilationssystemet och dess betydelse för inomhusmiljön

Kontor i hus som byggts under de senaste fyrtio åren har vanligtvis mekanisk ventilation med både tillufts- och en frånluftsfläkt(ar). På luftens väg in i huset sker droppavskiljning (för att förhindra att eventuell nederbörd följer med luften in i ventilationssystemet), partikelavskiljning, värmeåtervinning (genom överföring av värme från utgående luft), temperaturjustering och i undantagsfall befuktning innan luften distribueras genom allt smalare kanaler till respektive lokal. I fortsättningen är det dessa hus som beskrivs.



Figur 1. Principer för från- och tilluftsventilerat hus med värmeväxlare. Bild från Svensk ventilation

5.1 Luftintaget

Husets liksom luftintagets placering kan vara viktigt för inomhusmiljön. Husets placering påverkar mängden föroreningar i omgivningsmiljön och även föroreningshalten inomhus. Kontorsfastigheter placeras ofta centralt och på senare år ofta även nära trafikerade leder. Nackdelen med placering av fastigheter nära trafikerade leder är att gaser, exempelvis kvävedioxiderna inte avskiljs utan tillförs huset via ventilationen. Beroende på tilluftsfilterets klass kommer en större eller mindre andel av partiklarna att skiljas av i filtret. Partikelhalten styrs därmed av halten utomhus och luftrensningens effektivitet (Ancker och Christensson 2006).

Luftintaget brukar med tiden bli smutsigt. Särskilt i större byggnader med höga luftflöden brukar luftintaget snabbt bli mycket smutsigt.

Intagen brukar utformas så att vatten i största möjliga mån avskiljs. Eftersom dropparna är relativt stora, avsätts de (sedimenterar eller impakterar) relativt snabbt i ventilationskanalen. Även om intaget är bra utformat kan en del vatten ändå följa med tilluften. Problemet är störst för små vattendroppar (dimma) och partiklar som har stor area i förhållande till vikt (snö). Vattendroppar och snöflingor som avskiljs brukar ledas bort till avlopp. Det är viktigt att avloppet har vattenlås (med vatten i) så att luft (och lukt) från avloppssystemet inte sprids med tilluften.

Intagskanalen (före tilluftsfiltret) är isolerad för att det inte ska bli kondens och fuktskador på ytor i luftintaget. Partiklar och fukt avsätts i den invändiga isoleringen, vilket innebär att det är svårt att hålla luftintaget rent. Det är inte ovanligt att rengöringen av luftintaget är eftersatt. Det har tidigare funnits en rekommendation om att den avsatta damnmängden på kanalens insida inte ska överskrida 1 g/m^2 (Boverket, 1992:3E).

5.2 Tilluftsfilter

5.2.1 Tilluftsfilters avskiljningsgrad

Vanligtvis används finfilter av glasfiber som effektivt avskiljer i stort sett alla partiklar med en diameter $>1 \mu\text{m}$. Dessa finfilter avskiljer också mindre partiklar, ofta cirka 50 % av $0,1 \mu\text{m}$ stora partiklar. I hus med mekanisk och filtrerad tilluft är partikelhalten i tilluften vanligtvis betydligt lägre än i lokalluften och utomhusluften. Avskiljningsgraden i mekaniska filter förväntas öka då filtren används och blir tätare eftersom partiklar ansamlas i filtren, d.v.s. tilluften förväntas bli renare. Med ökad drifttid ökar också tryckfallet över filtren, vilket leder till ökad strömförbrukning och minskat luftflöde. Tryckfallet användes tidigare som enda indikator på när det var dags att byta filter. Idag rekommenderas byte en gång vart annat år till två gånger per år beroende på lokala förutsättningar. Vid två byten per år kan dessa med fördel förläggas till vår och höst, efter eldnings- respektive pollensäsongen.

Två vanliga tilluftsfilters avskiljningsgrad för olika partikelstorlekar redovisas i tabell 2. Hi-Flo XLT filtren uppfyller krav enligt den europeiska standarden EN779: 2002 och den nya standarden EN779: 2012 för inomhusmiljö kvalitet. Där F7 motsvarar den äldre beteckningen F85 och F9 motsvarar den äldre beteckningen F95.

Tabell 2. Avskiljningsgrad (anges i % för olika partikelstorlekar) för två filter, F85 och F95 som ofta används i ventilationssystem.

Partikeldiameter	F7 (F85)	F9 (F95)
0,1 μm	40 %	65 %
0,5 μm	65 %	90 %
1 μm	90 %	99 %
5 μm	100 %	100 %

5.2.2 Effekter på hälsa och produktivitet av använda (smutsiga) tilluftsfilter

Tilluftsfilters inverkan på inomhusmiljö och hälsa har undersökts i flera studier. I en skola fanns två tilluftsaggregat som betjänade olika delar av skolan. Efter tio månader var det dags att byta filter, men filtren byttes endast i ett av aggregaten. Efter två månader skiftade man de två filtren mellan aggregaten. I lokalerna som erhöll tilluft genom det gamla filtret hade eleverna mer ögon- och halsbesvär och nässlemhinnan var mer svullen (Smedje 2001).

Vid en innemiljöstudie på ett call-center konstaterades högre produktivitet med rena filter jämfört med smutsiga (Wargocki 2004).

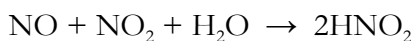
5.2.3 Fuktens betydelse

Om luftburet vatten inte skiljs av strax efter luftintaget, avskiljs det istället av filtret där det rinner ner längs filtret. En del av vattnet avdunstar men en del penetrerar filtret på grund av kapillärkraften och bildar större droppar på filtrets baksida.

Luftfuktigheten i åtminstone södra Sverige är tillräcklig för kraftig tillväxt av svamp i tilluftfilter enligt en studie av tilluftfilter i fyra fastigheter. (Ivansson 2006). I en studie har högre halter av mögel kunnat påvisas efter tilluftfilter än före filtret (Möriz et al. 2001). Luftfuktigheten har också betydelse vid vissa kemiska reaktioner i tilluftfilter så som bildning av formaldehyd (Sidheswaran 2013).

5.2.4 Kemiska reaktioner i tilluftfilter

I flera studier har glas fungerat som katalysator där luftens kväveoxid och kvävedioxid reagerar med vatten och bildar **salpetersyrighet** (HNO_2) (Ferm och Sjödin 1985, Febo och Perrino 1995).



Eftersom tilluftfiltret består av en mycket stor yta med tunna respirabla glasfibrer bör motsvarande reaktion kunna ske i stor omfattning i fuktiga glasfiberfilter. Glasfiberfilter emitterar betydligt mer formaldehyd än ett polyesterfilter vid samma luftfuktighet och flöde genom filtret. Mängden formaldehyd som emitteras är relaterad till luftfuktigheten. Vid 80 % RH ökade halten formaldehyd med 48 – 64 %. (Sidheswaran 2013). Det är även känt att organiskt material i luft kan reagera med luftens ozon och bilda irriterande ämnen som **aldehyder** (Pommer et al. 2004).

Det har diskuterats om **allergen från pollen** kan frisättas och medföra en ökad halt allergen i inomhusluften (Nybom 2008). Bland annat diskuteras om frisättningen av allergen kan ske när pollen kolliderar med tilluftfiltret.

I en studie har det påvisats att finfilter av glasfibrer kan frigöra **tunna respirabla glasfibrer** (Christensson och Krantz 1994). Halten av respirabla fibrer i luften efter filtret var ca 0,001 f/ml eller 1 000 f/m³. Den uppmätta halten är dock så låg att hälsopåverkan bedöms vara försumbar. Glasfibrerna i ett finfilter kan vara några tiondels µm i diameter. Respirabla fibrer är tunnare än tre µm i diameter. Mätningen gjordes på laboratorium. Det är okänt vilka fiberhalter som kan bildas i en anläggning vid normal drift.

5.2.5 Tilluftfilter som havererar

Det är inte vanligt men det händer att filter havererar, d.v.s. faller sönder. Resultatet blir att glasfibrer från filtret sprids med tilluften. När ett filter havererar försämras naturligtvis avskiljningsgraden. Orsaken till filterskadorna kan vara att filtret vibrerar eller är i självsvängning på grund av exempelvis felmontering eller obalans i fläkten. Det kan också vara filter som suttit kvar alldeles för länge. I enstaka sådana fall har högre halt av partiklar

med en diameter $>1 \mu\text{m}$ uppmätts efter filtret än före. En anledning kan vara att uppsamlade partiklar med lite större massa skakas loss av vibrerande eller självsvängande filter (Gustavsson 1993).

5.3 Värmeväxling

Roterande värmeväxlare är en möjlig källa till försämrad kvalitet hos tilluften, om orenad frånluft läcker över i tilluften. Problem kan t.ex. uppstå om tryckskillnaderna mellan rotorns från- och tilluftssida inte upprätthålls, men även på grund av otäthet mot renblåsningszonen och fläktproblem. Det har även diskuterats om partiklar lossnar från rotorns yta och förs tillbaka till lokalerna, särskilt om rotorn är mycket smutsig.

5.4 Kanaler efter tilluftsfiltret

Efter tilluftsfiltret är kanalerna normalt sett rena. Det har tidigare funnits rekommendationer om att den avsatta dammängden på kanalens insida inte ska överskrida 1 g/m^2 .

Vid på- och avslag i ventilationen kan tryckstötter uppstå som medför att avsatt damm lossnar från ventilationskanalerna (Nilsson et al. 1990) och kanske även från andra delar av ventilationssystemet.

Vid uppvärmning av tilluft kan partiklar frigöras. Detta gäller i synnerhet i system med återluft. Under varmare perioder när värme inte tillförs avsätts föroreningar på kanalytorna. När uppvärmningsperioden börjar drivs föroreningarna bort av värmen och halten föroreningar i lokalluften kan tillfälligt bli mycket hög (Arbetslivsinstitutet 1992). I en utredning av klagomål på dålig luft i ett hus med luftburen värme konstaterades att besvären sammanföll med början av eldningsperioden.

5.5 Övriga problem som är eller kan vara kopplade till ventilationssystemet

I vissa lokaler stängs ventilationen av när inga vistas i lokalerna, t.ex. kontor på nätter och helger. När systemet är helt avstängt styrs luftväxlingen av självdrag, vilket styrs av tryck- och temperaturskillnader samt vindförhållanden. Det kan leda till att lokaler blir utkylda på grund av för hög (oavsedd) luftomsättning eller att luften upplevs som instängd på grund av för låg luftomsättning. Om luften går i fel riktning när systemet är avstängt kan föroreningar som avsatts i frånluftskanaler transporteras tillbaka in i lokalerna och göra att luften upplevs som dålig när personalen återvänder på morgonen eller efter helgen. I extrema fall kan exempelvis doft av härsket fett från matos i dåligt rengjorda kanaler från pentryn och cigarettrök i kanaler från röktrum spridas till andra lokaler (Christensson 2014).

Avstängning av ventilationsanläggningen exempelvis nattetid, vilket är ganska vanligt, ökar risken för att VOC och andra ämnen ansamlas i ventilationssystemet. Dessa kan omvandlas kemiskt och avge partiklar i ventilationssystemet (Fick et al. 2005).

Ozon kan reagera med terpenier och bilda olika aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd) men även organiska syror så som myrsyra och ättiksyra (Finlayson-Pitts and Pitts 2000).

6 Mikroorganismer i ventilationssystem

6.1 Vad styr förekomsten av mikroorganismer

Innemiljöfloran av mikroorganismer styrs främst av floran utomhus och varierar med årstiden (Burge et al. 2000). Detta verkar dock inte gälla för byggnader där mikroorganismer växer till inomhus och i ventilationssystemet där utomhusfloran inte är den enda källan som tillför mikroorganismer (Tsai och Macher 2005).

Vattenaktiviteten, definierad som mängden fritt vatten som finns tillgängligt för mikrobiell tillväxt, är den enskilt viktigaste faktorn för att mikroorganismer ska etablera sig (Nielsen 2002). Under långvarig (dygn), hög relativ fuktighet (> 70-80 %) kan mikroorganismer växa till i ventilationsfilter (på båda sidor) och även frigöras, transporteras med tilluften och släppas ut i rumsluften. Ökad partikelemission från filter kan vara mätbar efter tillväxt under ett dygn.

Tabell 3. Spordiameter hos olika familjer av mögel (enhet μm).

Familj	Spordiameter	Familj	Spordiameter	Familj	Spordiameter
<i>Cladosporium</i> :	3 – 11	<i>Alternaria</i>	18 – 83	<i>Geomyces</i>	3 – 6
<i>Penicillium</i> :	2,5 – 3	<i>Aureobasidium</i>	9 – 11	<i>Phialophora</i> :	3 – 6
<i>Aspergillus</i> :	1,5 – 5	<i>Botrytis</i>	7 – 14	<i>Stachybotrys</i>	7 – 12
<i>Acremonium</i> :	3,2 – 5,8	<i>Fusarium</i>	24 – 89	<i>Trichoderma</i>	2,8 – 4,5

Mögelsvamparna *Cladosporium herbarum* och *Penicillium spp* samt bakterier av familjen *Bacillus spp* kan inte bara kolonisera ventilationsfilter utan också växa till i ventilationssystemet (Burge et al. 2000, Ahearn et al. 1996 och 1997, Stanley et al. 2008). Mikroorganismer avger partiklar och dessa är respirabla (Möritz et al. 2001). Inte bara relativt stora sporer frigörs, se tabell 3, utan också små partiklar som lossnar från svampmycel. Dessa partiklar har en diameter på minst 0,3 μm (vilket var detektionsgränsen i studierna) och är flera hundra gånger fler i antal än sporer (Cho et al. 2005). Också organiska flyktiga ämnen producerade av mikroorganismer (MVOC:s) sprids från ventilationssystemet till rumsluften (Ahearn et al. 1996 och 1997). Dock går det inte alltid att finna ett samband mellan tillväxt i filter och halt av sporer i tilluften. Uppmätta halter av luftburna mikroorganismer kan vara felvisande eftersom de styrs av mikroorganismernas sporadiska spridning (aerosolering) av sporer och partiklar. Aerosoleringen beror på luftförelser och vibrationer i det kontaminerade materialet samt materialytans struktur (Myatt et al. 2004)]. Olika arter av

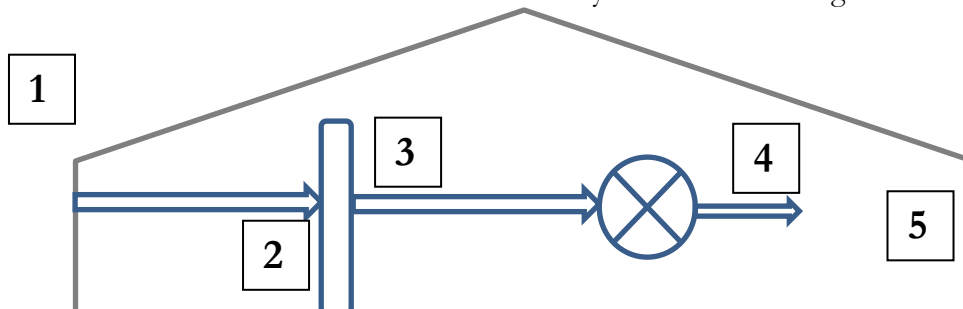
mögel släpper ifrån sig olika mycket sporer och partiklar beroende på de material de växer på. (Görny et al. 2001, Sivasubramani et al. 2004).

Eftersom partikelsläppet från mikroorganismer inte är konstant och eftersom enbart levande partiklar bestämts i projektet (för att kunna kartlägga florasammansättning), har fokus lagts på att identifiera *avvikelser i mikroflora* snarare än *antal* levande mikrobiella partiklar. Detta bedöms mer relevant för frågeställningen då en avvikelse i mikroflora innebär en alternativ källa till kontamination än uteluften, d.v.s. speglar om mikroorganismer växer till i ventilationssystemet eller i byggnaden.

7 Resultat och diskussion – djupstudier av fyra ventilationssystem

7.1 De studerade ventilationssystemen

Samtliga studerade ventilationssystemers tilluftsdelen var utformade enligt figur 2 nedan. Luften tas in utifrån och leds genom ett filter. Efter filtret leds luften genom en värmeväxlare/ett värmeaggregat för att därefter via tilluftsdon tillföras till kontorslokalen. Mer detaljerade uppgifter om och skisser över de studerade ventilationssystemen finns i bilaga 1.

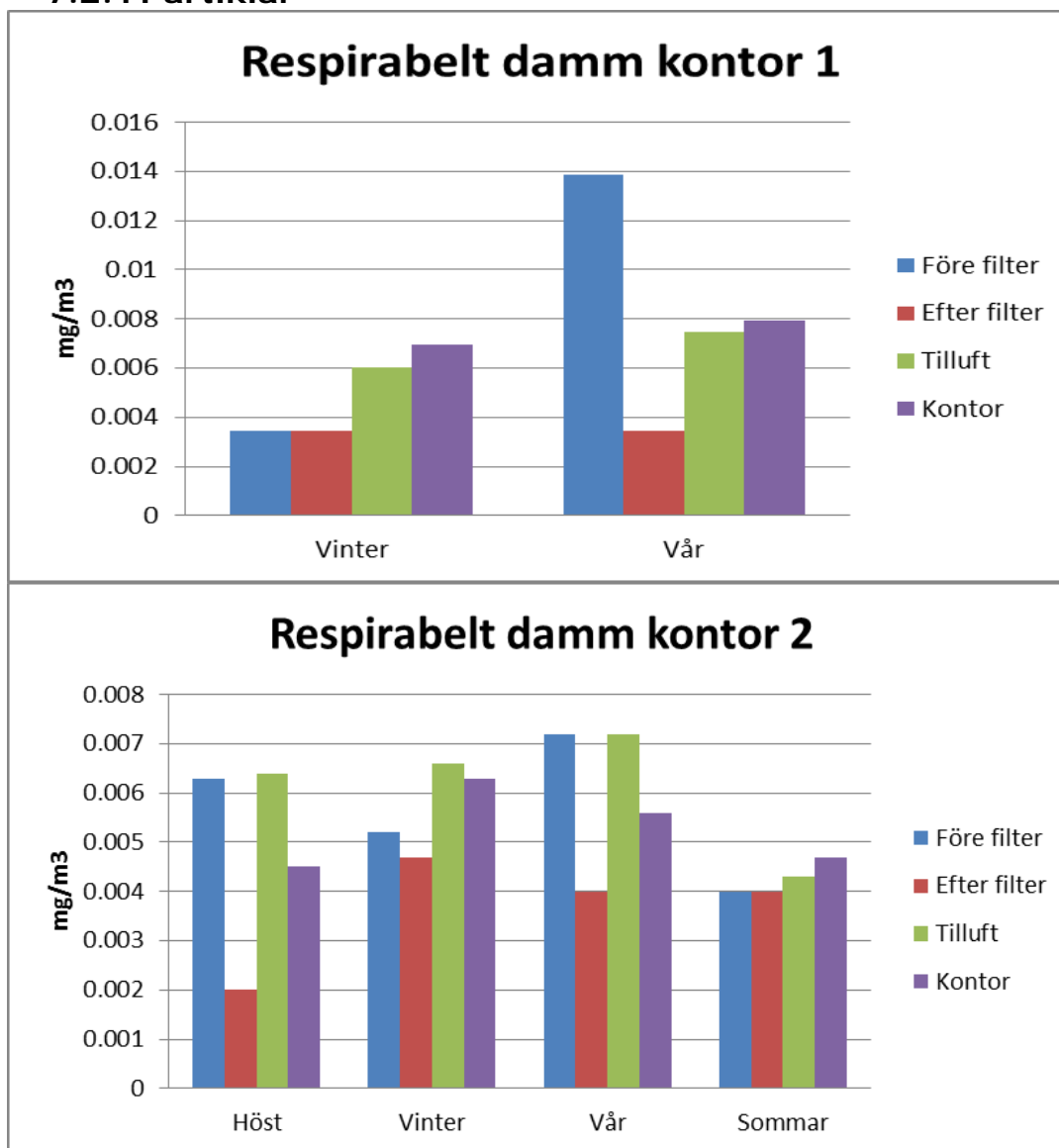


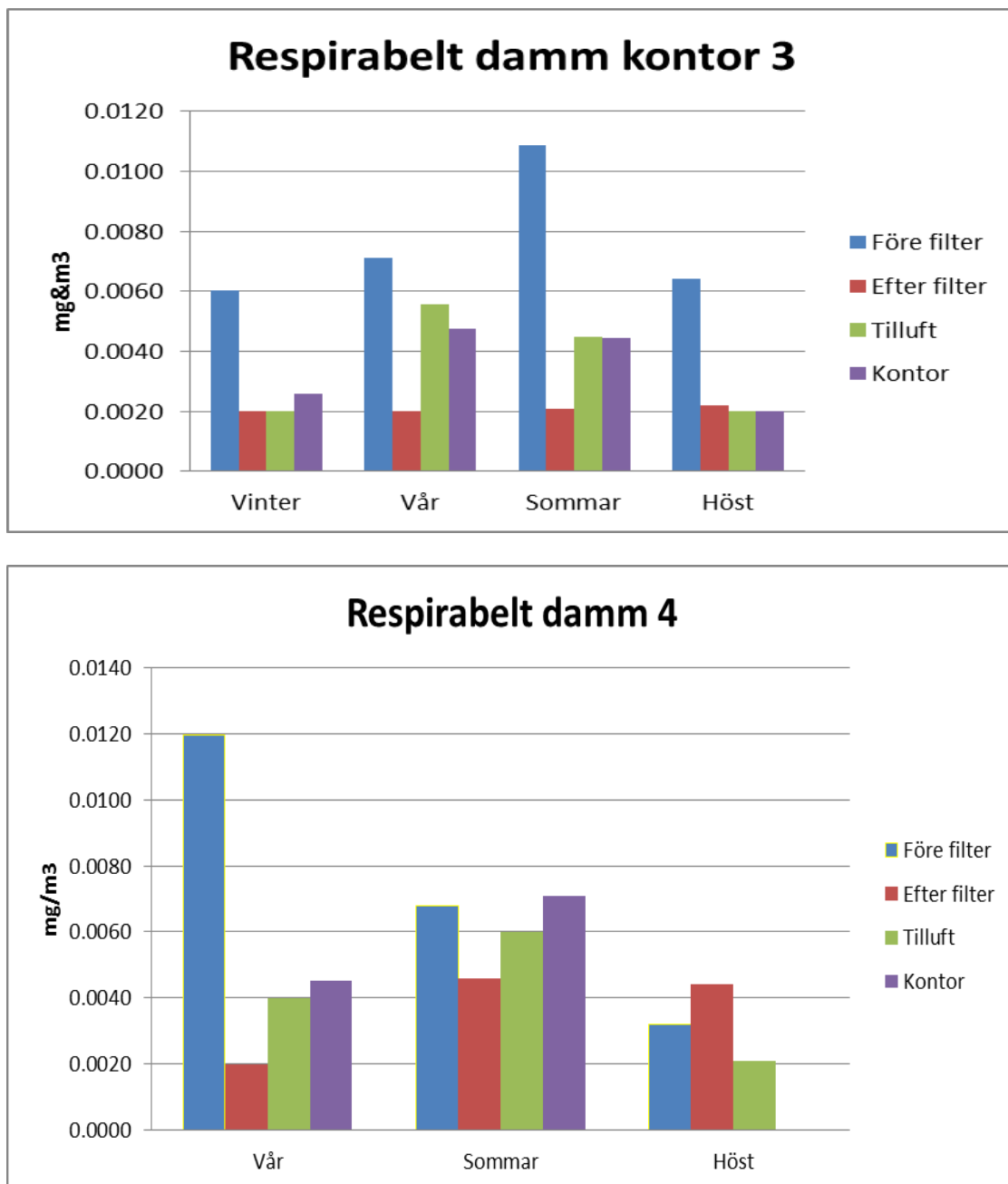
Figur 2. Principiell översikt över studerade ventilationssystemers tilluftsdelen och de mätplatser där mätningar gjorts.

7.2 Luftföroreningars öde i ventilationssystemen

Sammansättningen av föroreningar i luften styrs initialt av den uteluft som tas in till ventilationssystemet. Därefter förändras sammansättningen under luftens passage genom ventilationssystemet. Nedan redovisas de viktigaste resultaten från undersökningen. En sammanställning av de olika föroreningar och partiklar i ventilationssystemet redovisas för varje mätplats i bilaga 2.

7.2.1 Partiklar





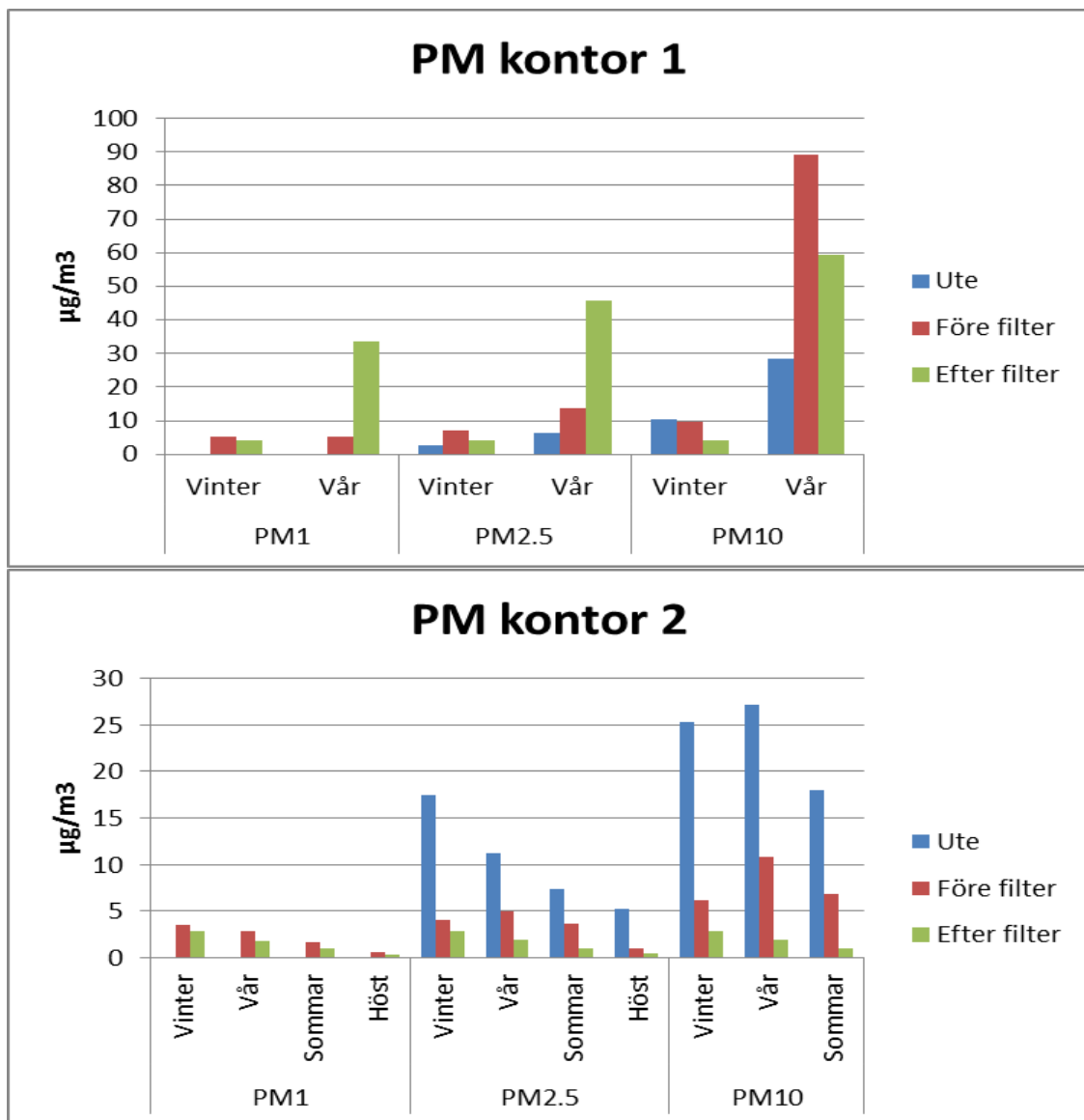
Figur 3 – 6. Uppmätta halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av respirabla partiklar utomhus, före filter, efter filter, efter värmeväxlare samt i kontor i de fyra kontorsfastigheterna.

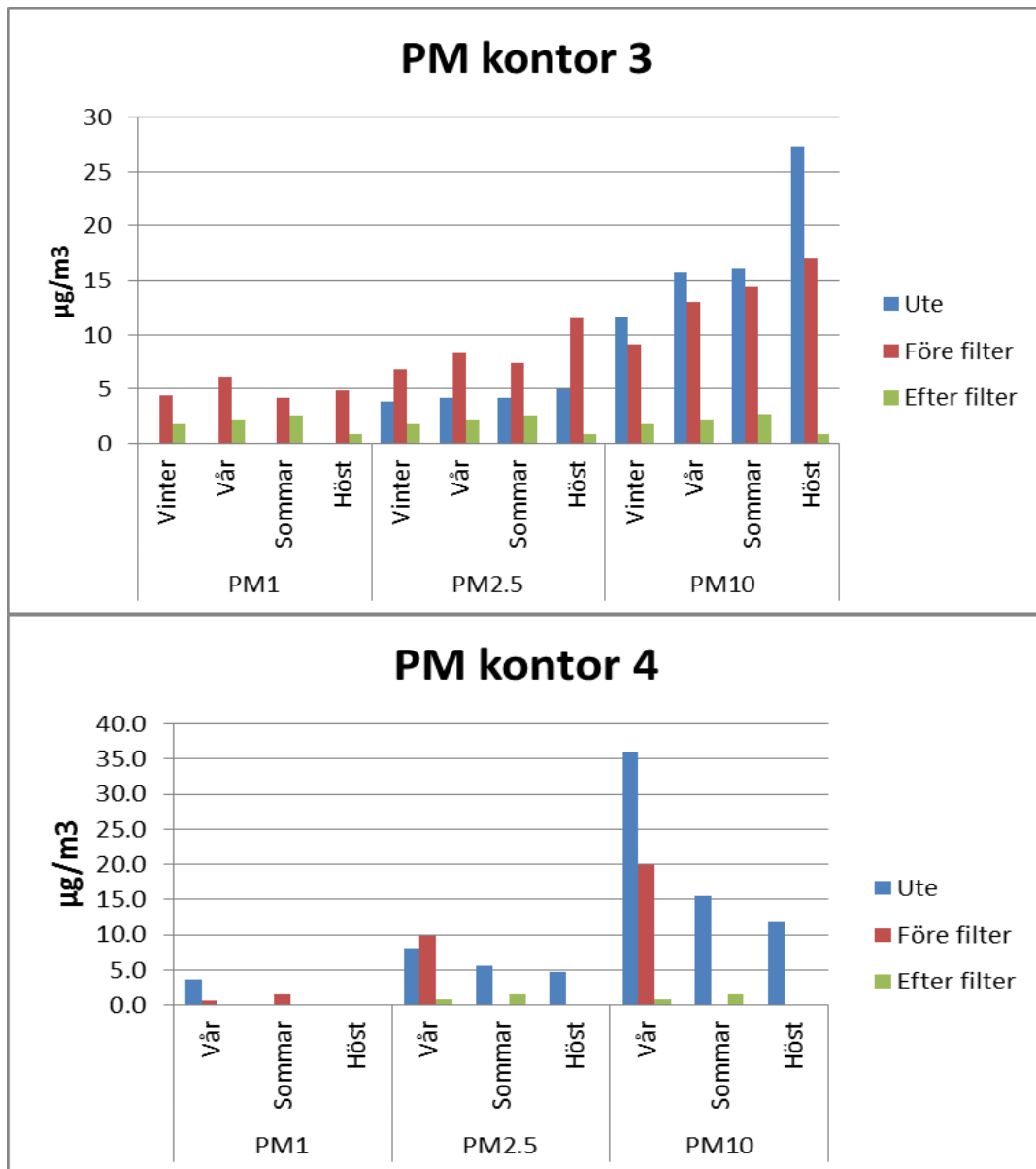
I ventilationssystemet synes det ske en ökning av dammhalten efter värmeväxlare och innan luften tillförs kontoren (figur 3-6). Detta är inte vad som förväntas. Möjligen kan det bero på att mätpunkterna för mätning efter värmeväxlare placerades strax innanför tilluftsdonet. Om ventilationen stängs av nattetid, kan denna mätpunkt påverkas av inläckande luft från kontoret. Det kan inte uteslutas att dessa mätpunkter i någon grad påverkas av luft från kontoren. Om mätningarna påverkats av kontorsluften innebär detta även att kanalerna kan smutas ner av damm från inomhusmiljön. Det är också möjligt att det

genereras och frigörs partiklar i ventilationskanalerna eftersom ventilationskanalerna innehöll damm som avsatts.

I kontoret är de uppmätta dammhalter jämförbara och i vissa fall högre än före filtret. De respirabla dammhalterna i kontoret påverkas dock främst av aktiviteten i kontoret. De dammhalter som uppmäts i kontoret är dock låga, i storleksordningen 4 till 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och med mycket god marginal under gällande hygieniska gränsvärden.

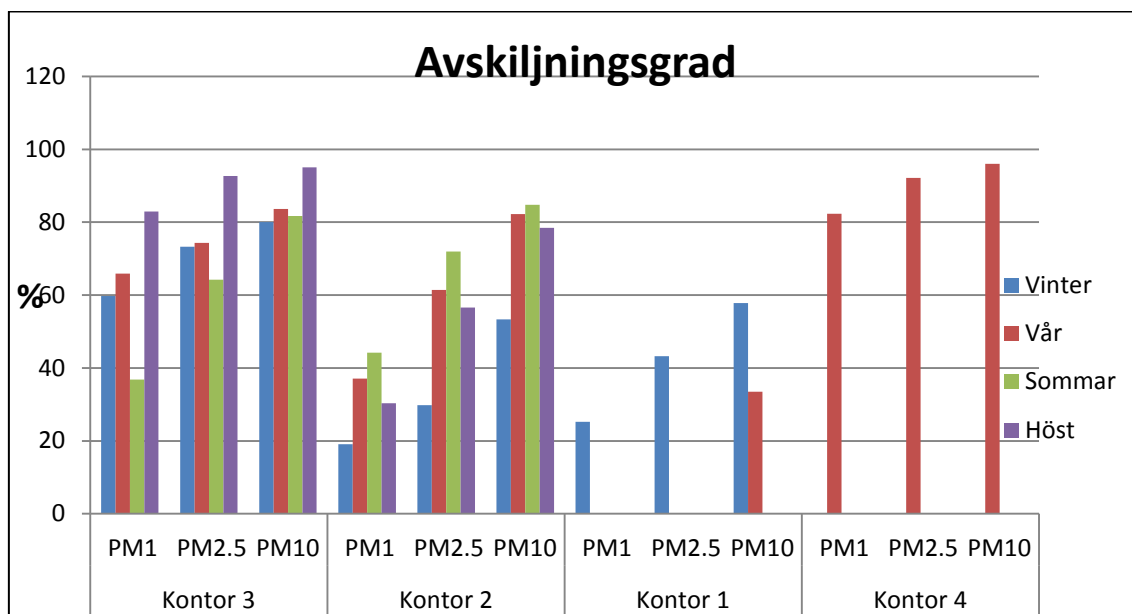
Filtren i ventilationssystemet reducerar partikelhalten av partikelstorleksfraktionerna PM1, PM2,5 och PM10. Det sker en minskning av halten efter filtret i jämförelse med före filtret i alla kontor utom kontor 1, där halten av PM1 och PM2.5 (de respirabla partiklarna) ökar kraftigt efter filter (Figur 7).





Figur 7 - 10. Uppmätta halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av partiklar (fraktionerna PM , 2,5 och 10) utomhus, före filter samt efter filter i de fyra kontorsfastigheterna.

I figur 11 har avskilningsgraden över filtret sammanställts för samtliga mätningar.



Figur 11. Sammanställning över avskiljningsgraden över filtret för samtliga mätningar. Avskiljningsgraden är beräknad som minskningen i partikelhalt över filtret dividerat med halten före filtret. Avskiljningsgraden anges i %.

Som synes, ökar avskiljningsgraden med ökande storlek hos partiklarna, vilket är vad som kan förväntas. Avskiljningsgraden över filtret varierar dock mycket mellan de olika kontoren. I kontor 2 var avskiljningsgraden mellan 19 och 44 % för de allra finaste partiklarna (PM 1) och mellan 30 och 72 % för respirabla partiklar (PM 2,5). Kontor 4 hade bäst avskiljning med 82 % för PM 1, 92 % för PM 2,5 och 96 % för PM 10.

Vid några av mätningarna synes filtren ha fungerat dåligt. Exempelvis vintermätningen i kontor 2 (avskiljning 25 % för PM 1, 43 % för PM 2,5 och 58 % PM 10). Mätningarna visar också att avskiljningsgraden i en och samma anläggning kan variera kraftigt över tid.

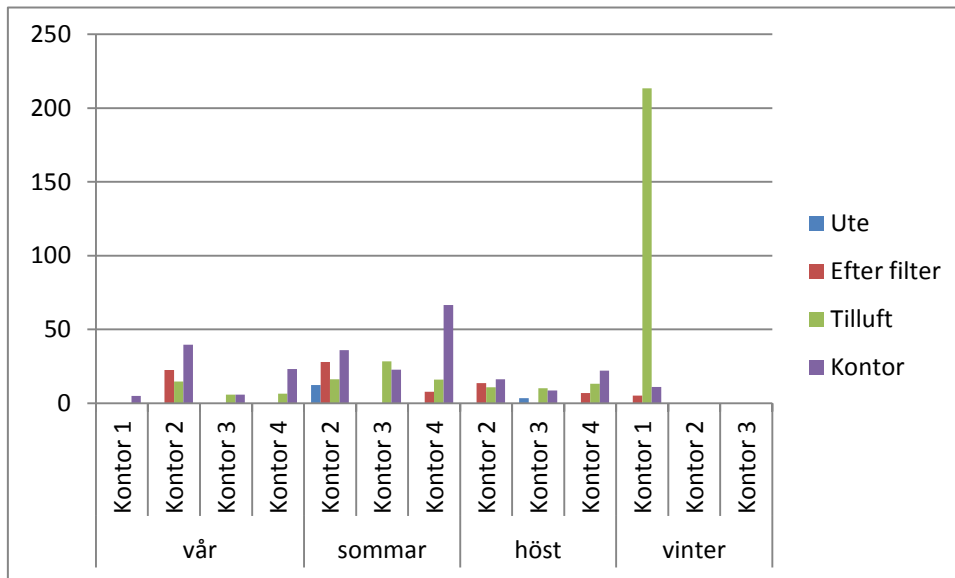
Filterbyte har genomförts i 3 av de fyra kontoren. Effekten av filterbytet har utvärderats. Bytet av filter i ventilationsanläggningen medförde en betydligt bättre avskiljningsgrad av partiklar i två av kontoren. I ett kontor blev dock effekten den motsatta och avskiljningsgraden minskade avsevärt. Teoretiskt borde filtren ha blivit tätare med tiden, vilket anses öka avskiljningsgraden. I två av kontoren var avskiljningsgraden istället högre med nya filter än med gamla. En förklaring kan vara att det fanns läckor vid filtren. Vid ökande tryckfall över filtret, ökar andelen luft som istället passerar genom läckorna och inte renas.

7.2.2 Gasformiga luftföroeningar

7.2.2.1 Organiska syror

I ventilationssystemet bildas flera organiska syror. I figur 12 redovisas resultatet av mätningen av myrsyra i de fyra kontoren. Figuren visar att halterna utomhus vanligtvis är

låga och oftast under mätmetodens detektionsgräns. Halterna ökar när luften passerar genom ventilationssystemet. Halterna har mätts i uteluften, efter filter, i tilluften samt i kontoret.



Figur 12. Uppmätta halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av myrsyra i de fyra kontoren.

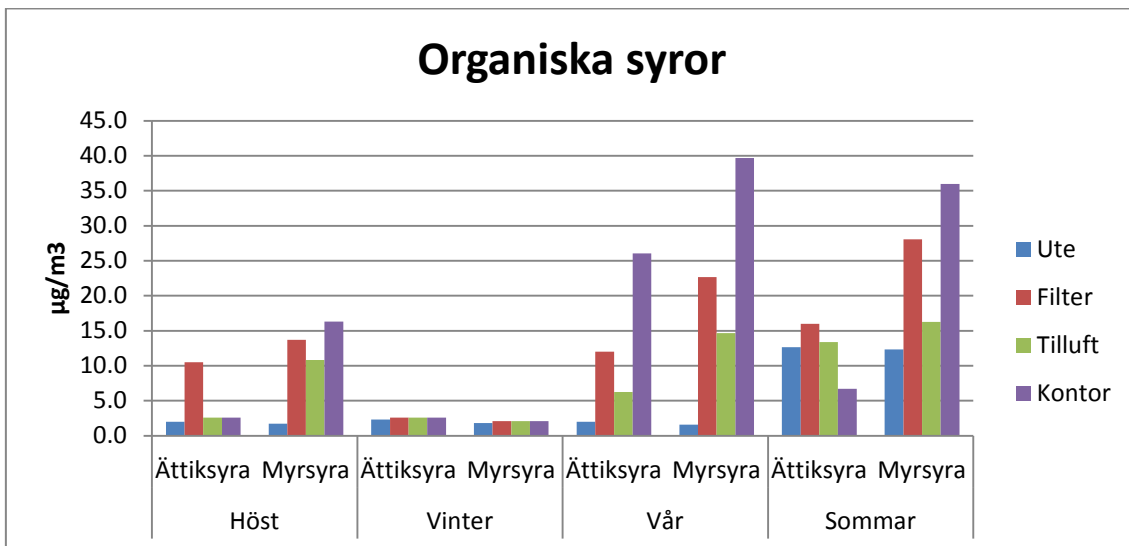
I figur 13, 14, 15 och 16 redovisas samtliga mätningar av organiska syror uppdelat på respektive kontor. Som synes är halterna av organiska syror genomgående högst i kontoren, vilket beror att organiska syror också bildas där (från de människor som vistas där).

Vintertid är halten av de organiska syrorna lägst i kontor 2, 3 och 4. Övriga årstider visar mätningarna att det bildas organiska syror i ventilationssystemet. Under vintern och våren sker en snabb uppvärmning av den inkommande luften efter filtret till en temperatur på 20 °C. Samtidigt minskar den relativa luftfuktigheten, vilket sannolikt innebär att förutsättningarna för att det ska bildas organiska syror är sämre än under övriga årstider då den relativa luftfuktigheten är högre. Den relativa luftfuktigheten efter filtret var vintertid cirka 30 %.

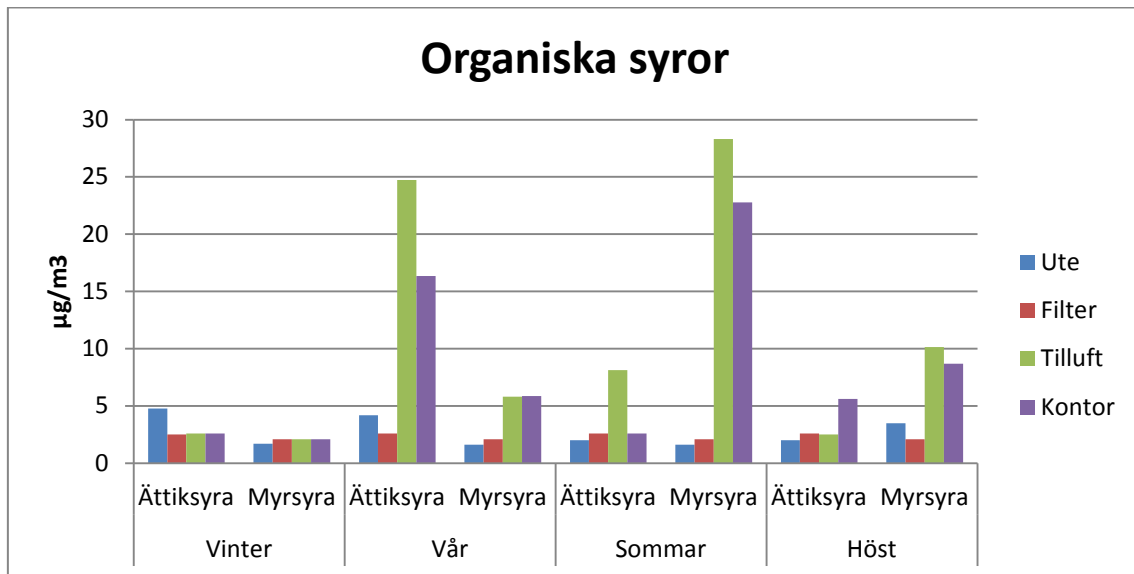
I kontor 1, var dock halterna av organiska syror höga i tilluften också under vintern. Halten minskade kraftigt i kontoret (figur 13). Det är svårt att förklara vad detta resultat beror på.



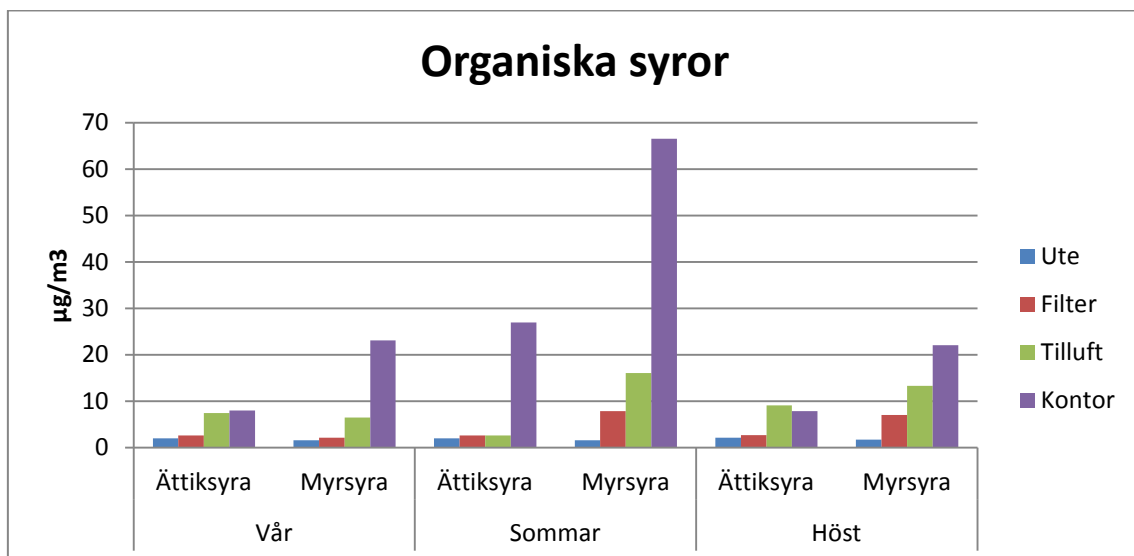
Figur 13. Uppmätta halter (µg/m³) av organiska syror i kontor 1.



Figur 14. Uppmätta halter (µg/m³) av organiska syror i kontor 2.



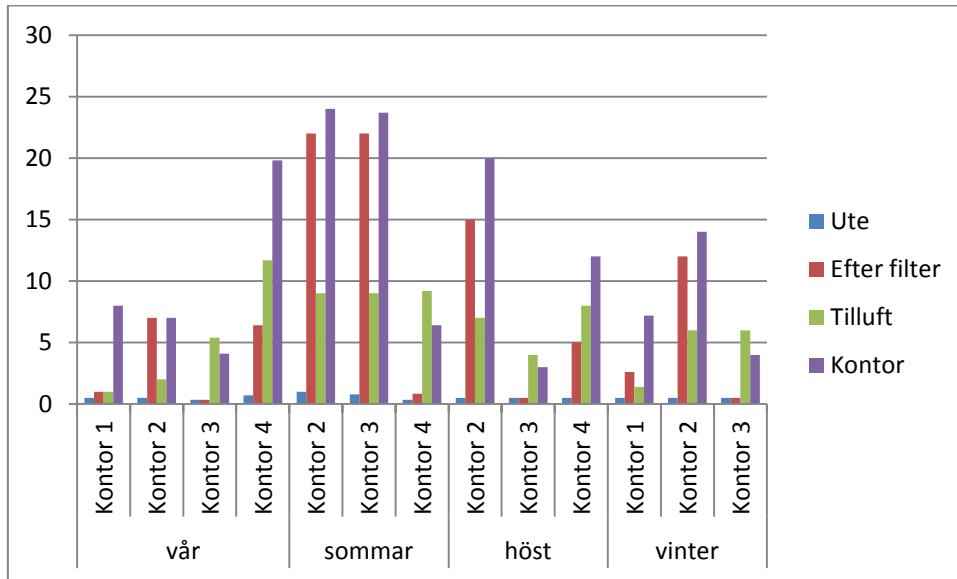
Figur 15. Uppmätta halter (µg/m³) av organiska syror i kontor 3.



Figur 16. Uppmätta halter (µg/m³) av organiska syror i kontor 4.

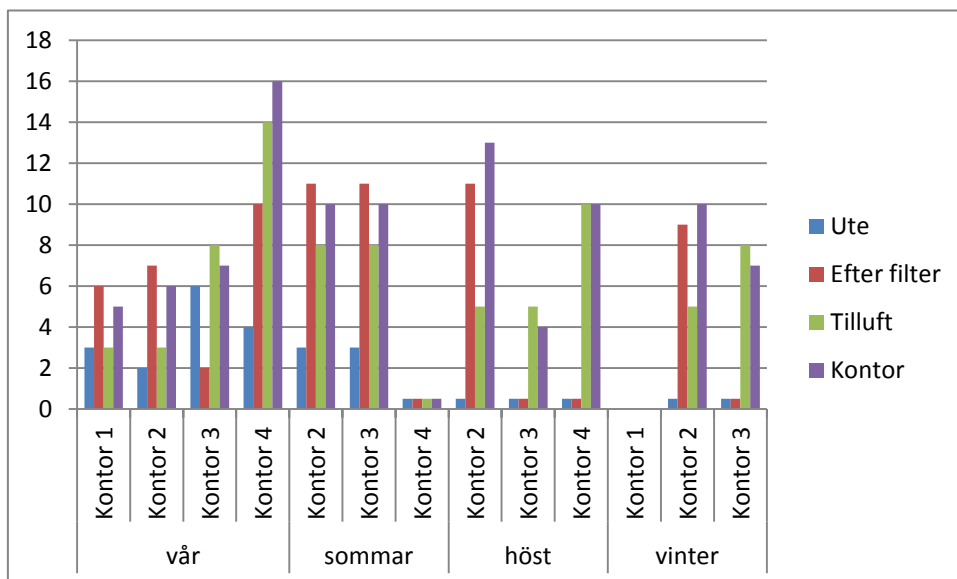
7.2.2.2 Aldehyder och ketoner

Den aldehyd som förekom i högst halter var formaldehyd, som är den enklaste aldehyden. I figur 11 redovisas resultatet från formaldehydmätningar i de olika mätobjekten. Som högst var halten 24 µg/m³. Det hygieniska gränsvärdet för formaldehyd är 370 µg/m³. Ett riktvärde för formaldehyd i inomhusmiljö (bostadsmiljö) är 100 µg/m³ (enligt WHO). Mätningarna tyder på att även om uteluften är fri från formaldehyd, kan transporten av luft genom ventilationssystemet göra att formaldehydhalten ökar till 10 – 25 % av detta riktvärde. Eftersom endast ett fåtal mätningar har gjorts inom detta projekt, kan det inte utslutas att halterna ibland kan bli ännu högre.



Figur 17. Sammanställning av mätningarna av **formaldehyd** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i olika mätpunkter i ventilationssystemet samt i kontoren.

Utöver formaldehyd förekom även förhöjda halter av den enklaste ketonen, aceton, se figur 18.



Figur 18. Sammanställning av mätningarna av **aceton** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i olika mätpunkter i ventilationssystemet samt i kontoren.

I ventilationssystemet bildas dessutom flera andra aldehyder, men i halter som vanligtvis var i storleksordningen under ett eller några $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

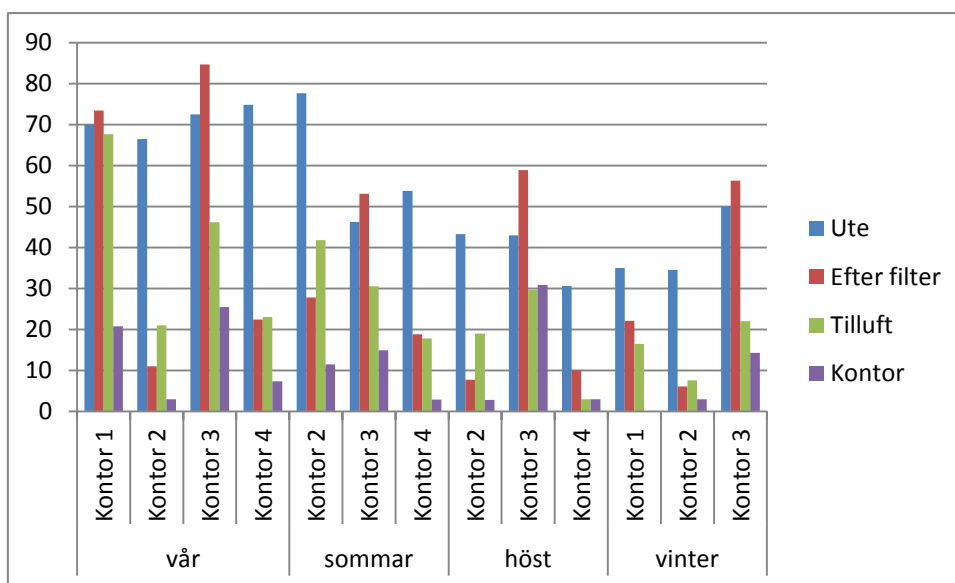
I flera av kontoren noterades att halten av aldehyder ökade när luften passerade genom ventilationssystemet. Även om halterna ökade, var de endast i undantagsfall över $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Exempel på detta är:

- Acetaldehyd (Kontor 1 och 4)
- Bensaldehyd (kontor 4)
- Hexanal (Kontor 4)
- Pentanal (Kontor 4)
- Propanal (Kontor 4)

I kontor 2 ökade halten av flera aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd, propanal, pentanal och hexanal) efter filtret för att därefter minska.

7.2.2.3 Ozon

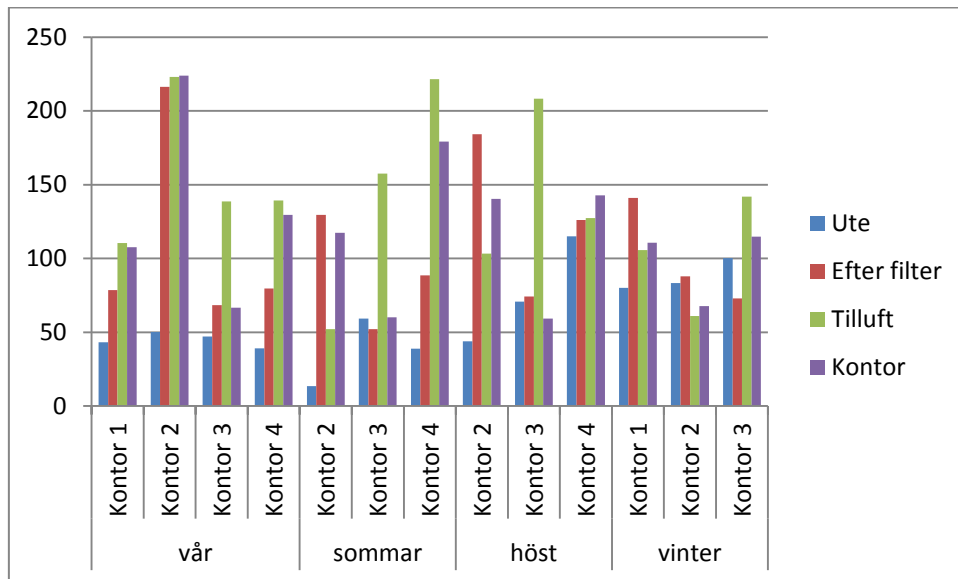
I figur 19 har mätningarna av ozon i olika delar av ventilationssystemet sammanställts. Den dominerande trenden är att ozonhalten gradvis minskar under passagen genom ventilationssystemet. Detta är också vad som kan förväntas, eftersom ozon är reaktivt och halterna minskar när ozonet reagerar med andra ämnen.



Figur 19. Sammanställning av ozonmätningar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ute, efter filter, i tilluften efter värmewäxling samt i kontor.

7.2.3 TVOC

Totalhalten av flyktiga organiska kolväten, TVOC, i inomhusluftprover är ett ospecifikt värde, som inte kan korreleras direkt till hälsoeffekter. Totalhalten, VOC eller TVOC, måste alltså tolkas med stor försiktighet. Man måste alltid bedöma dels vilka ämnen som finns i provet och dels om vissa enskilda ämnen bidrar till totalhalten med onormalt stor andel.



Figur 20. Uppmätta halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av TVOC i de fyra kontoren.

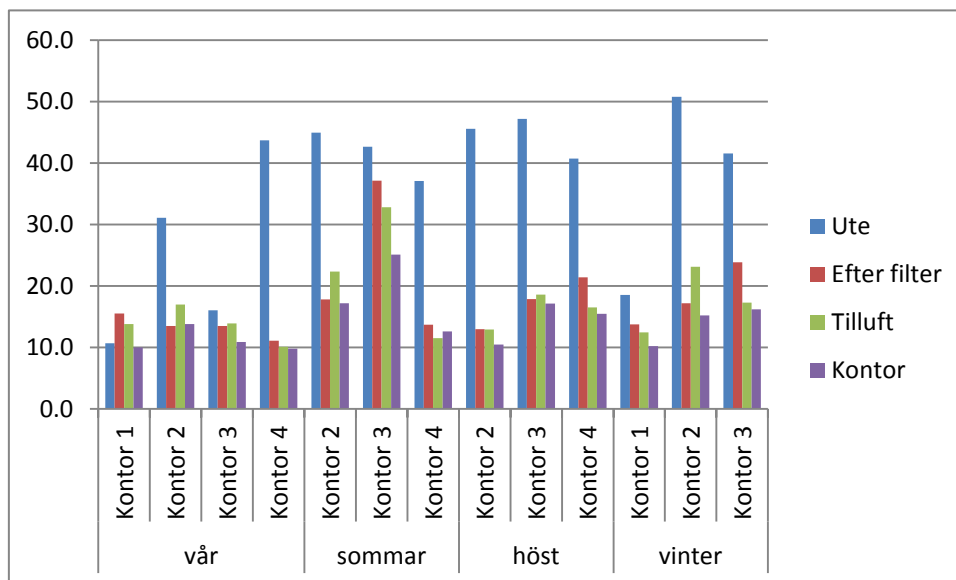
Som framgår av figur 20, ökar TVOC-halten när luften passerar genom ventilationssystemet. Vintertid är ökningen relativt liten. Vintertid är dessutom utomhushalterna högre än övriga årstider. Mätningarna tyder på att det sker reaktioner när luft passerar ventilationssystemet och att det då bildas flyktiga organiska kolväten.

Analys har gjorts av vilka flyktiga organiska ämnen som ingår i den uppmätta TVOC-halten. De flesta av de ämnen som identifierats, förekommer i halter om enstaka $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I två av kontoren förekom 2-etylhexanol i halter runt 10 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I ett kontor fanns undekan och dodekan i halter runt 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I kontor 3 ökade halten toluen under sommarmätningen från 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ utomhus till 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i tilluften, men var i övrigt låg.

De uppmätta halterna ligger med mycket god marginal under gällande hygieniska gränsvärden.

7.2.3.1 Kvävedioxid

I figur 21 redovisas uppmätta kvävedioxidhalter i de fyra kontoren.



Figur 21. Uppmätta kvävedioxidhalter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i de fyra kontoren.

I de flesta fall minskar kvävedioxidhalten under luftens väg genom ventilationssystemet. Den största minskningen sker från uteluften till efter filtret. Halten som tillförs kontoren har legat mellan 10 och 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Variationen i kvävedioxidhalt mellan årstiderna är relativt liten liksom skillnaden mellan kontoren.

Riktvärdena sätts med hänsyn till känsliga grupper och innebär att halten av kvävedioxid inte överstiger 20 mikrogram per kubikmeter luft beräknat som årsmedelvärde eller 60 mikrogram per kubikmeter luft beräknat som ett timmedelvärde (98-percentil). Mätningarna tyder på att i inomhusmiljöer kan kvävedioxidhalten uppgå till 50 – 75 % av riktvärdet, förutsatt att de mätningar som redovisas i figur 21 är representativa. Kvävedioxiden tillförs från uteluften och halten reduceras något vid passage genom ventilationssystemet. En möjlig förklaring är att kvävedioxiden delvis omvandlas till salpetersyrighet, vilket studier tidigare visat är möjligt.

7.2.4 Koldioxid

Koldioxidhalterna har uppmätts i de olika mätpunkterna i ventilationssystemet. Halten koldioxid förändrades inte vid passage genom ventilationssystemet. Koldioxiden ökar i kontoret, eftersom koldioxid alstras av de personer som vistas i lokalerna.

7.2.5 Mikroorganismer

7.2.5.1 Generella slutsatser

Sammansättningen av arter av mikroorganismer, den s.k. mikrofloran, utomhus varierar normalt över säsongerna. Detta observeras också i samtliga mätningar. När luften kommit in i ventilationssystemet, via luftintaget, förändras inte floran förutom att halten bakterier ökar, framförallt under våren. Detta kan sannolikt förklaras med att förmultnande växtmaterial kommer upp i dager under våren och att skräp utifrån lätt kan komma in i luftintaget. Detta verkar inte spela så stor roll då nästan samtliga mikrobiella partiklar sedan fångas upp av filtret. På utsidan av filtret, (mätpunkt 2, den sida som vetter mot luftintaget) uppmättes höga halter mikrobiella partiklar medan det på andra sidan filtret (mätpunkt 3, som vetter mot värmeväxlaren) knappast kunde uppmätas några levande mikroorganismer. Det verkar inte heller växa mikroorganismer på filtret. Filtret skiljer alltså mycket effektivt av den stora massan av mikroorganismer och därmed återfinns de inte i värmeväxlaren, ventilationskanalen eller i tilluftsdonet. I kontoret återfinns en normalflora, med en förväntad artsammansättning och i lägre halt. Skillnaden är att bakterier dominerar floran i kontoret. Detta stämmer väl med resultatet från andra vetenskapliga studier där det konstaterats att bakterierna oftast inte kommer från ventilationskanalen utan härstammar från de människor (huden) som vistas i byggnaden. Bakteriehalterna kan därmed anses ingå i normalfloran.

7.2.5.2 Slutsatser per mätplats

Kontor 1

Kontoret följer inte i början av ventilationssystemet det generella mönstret beskrivet ovan. Förvisso återfinns en normalflora i luftintaget, men den är markant mer artrik jämfört med uteluften. Lika mycket mikrobiella partiklar återfinns sedan på båda sidor om filtret vilket indikerar läckage av orenad luft genom filtret. Halten bakterier är också onormalt hög och i luftkanalen mellan filtret och värmeväxlaren återfinns den fuktskadeindikerande arten *Ulocladium* sp. Fram till denna punkt bedöms det föreligga någon form av fuktproblematik eller problem med smuts i systemet. Efter värmeväxlaren bryts dock detta mönster och halten mikroorganismer är sedan låg och artsammansättningen är normal.

Kontor 2

Kontoret följer det generella mönstret beskrivet ovan. Mikrofloran och mängderna ser normala ut, undantaget att den fuktskadeindikerande arten *Ulocladium* sp. återfinns i kontoret. Denna rubbning i mikroflora antas dock härstamma från en gammal fuktskada i taket (då läckage uppstod runt ett takfönster) och bedöms inte vara associerad till ventilationssystemets funktion.

Kontor 3

Kontoret följer det generella mönstret beskrivet ovan fram till luftkanalen mellan filtret och värmeväxlaren. Där dyker den fuktskadeindikerande och toxinproducerande arten *Chaetomium* sp. upp. Den återfinns även i tilluftsdonet tillsammans med, redan där, förhöjda halter av bakterier. Den uppmätts dock inte i kontorslandskapet, men det beror sannolikt

bara på tillfälligheter. Finns den i systemet nedströms filtret kommer den förr eller senare att deponeras i kontoret. Att den återkommer på flera ställen i senare delen av ventilationssystemet väcker frågan om kondensationsproblem föreligger i systemet. Där finns hur som helst en källa till fukt på något sätt.

Kontor 4

Kontoret följer det generella mönstret beskrivet ovan förutom att bakteriehalten är förhöjd i luftintaget. Bakterier börjar normalt sett inte dominera förrän i tilluften (då för att andelen mögel totalt är reducerad) eller i kontorslandskapet (då de som vistas där tillför luften bakterier från hudfloran). Är luftintaget tillräckligt rengjort eller finns där förutsättningar för bakterietillväxt?

7.2.5.3 Enkätstudien

När projektet planerades, var avsikten att jämföra mätdata med upplevelsen av luftkvalitén bland dem som vistades i lokalerna. En enkät delades i samråd med arbetsgivaren ut till dem som vistades i de aktuella kontoren. Svarefrekvensen blev dock, trots påminnelser, alltför låg i samtliga fyra kontor. Vi har därför valt att inte redovisa eller använda resultaten av enkäten. Vår bedömning är att ett stort bortfall gör att svaren blir otillförlitliga. Det finns en mycket stor risk att vissa grupper (exempelvis de som upplever besvär av luften alternativt inte upplever några besvär alls) blir över- eller underrepresenterade, vilket skulle snedvrída resultatet av enkäten.

Vi har inom projektet noterat att det varit svårt att intressera arbetsplatser och företag för att delta i studien. Initialt var flera företag mycket intresserade, men flera av dem backade ur när det blev klart att det i studien ingick att de som arbetade i kontoren skulle svara på en enkät vid flera tillfällen under ett år. Problemet var inte i första hand tidsåtgången för att svara på enkäten, utan snarare att det fanns en oro för att enkäten skulle initiera svårhanterliga diskussioner om inomhusmiljö och luftkvalitet.

8 Slutsatser

De mätningar som gjorts visar att:

- Uppmätta halter av damm, mikroorganismer och organiska gasformiga ämnen i ventilationssystemet ligger väl under gällande hygieniska gränsvärden och riktvärden.
- Flera organiska irriterande ämnen uppmättes. Halterna var så låga att dessa ämnen var för sig inte kan förväntas ge upphov till besvär. Om den additiva effekten av dessa ämnen beräknas, kan man inte uteslutas att de totalt kan orsaka besvär särskilt om man beaktar att det kan finnas irriterande oorganiska irriterande ämnen som NO₂ och HNO₂ som också kan bidra till irritation i luftvägar och runt ögon.

Mätningarna visar att det sker kemiska reaktioner i ventilationskanalen som ändrar luftens sammansättning. Nya ämnen och partiklar bildas medan andra reduceras och möjligen

försvinner när de reagerar med filtret. Ozon är mycket reaktivt och har visat sig reagera med filtermaterial, partiklar och avsatt damm i ventilationssystemet.

Även om halterna är låga, visar mätningarna också att:

- Avskiljningen av partiklar i filtret är inte så effektiv som man skulle kunna tro, utgående från den typ av filter som används (F7-filter). Det kan finnas många olika skäl till det, exempelvis dåligt infästa filter (vilket förekomsten av bakterier efter filtret i kontor 1 tyder på). Efter filterbyte är avskiljningen av partiklar bra men effekten avtar med tiden. Detta är överraskande, eftersom avskiljningsgraden anses öka när filtret sätts igen.
- Det bildas ämnen i ventilationssystemet, bland annat organiska syror, aldehyder och ketoner, främst aceton. Speciellt de organiska syrorna och aldehyderna kan i tillräckligt höga halter upplevas som irriterande i luftvägar och för slemhinnor. Sannolikt bildas dessa ämnen genom reaktioner i filtret och i närvaro av fukt (exempelvis vid hög luftfuktighet).

8.1 Samvariation mellan olika luftföroreningar

De tidigare studier som genomförts har fokuserat på olika delar av ventilationssystem; exempelvis tilluftsintaget, filter eller ventilationskanalerna. Studierna handlar antingen om mikrober, partiklar, luftrörelser eller kemiska ämnen, men aldrig samtliga parametrar samtidigt. Vissa studier handlar om konsekvenserna av ett icke-fungerande ventilationssystem och då särskilt hälsobesvär eller prestationsförmåga kopplat till ventilationssystemet som helhet utan att titta närmare på luftkvalitén. Det finns få (om ens några) studier om samtliga delar av ventilationssystemet och som innefattar mätningar av flera parametrar för att definiera luftkvalité.

Mätning av mikrober, partiklar, luftrörelser eller kemiska ämnen samt registrering av förekomst av fukt hör samman då dessa parametrar är beroende av varandra. Exempelvis har luftrörelserna inverkan på temperatur och luftfuktighet. Fukt orsakar en ökning av emissioner av kemiska ämnen samt gynnar mikrobiell tillväxt, vilket också ökar mängden emissioner samt ökar frisättningen av partiklar (sporer och hyffragment). Dessa komplexa interaktioner och orsakssamband bör därför beskrivas som en helhet.

Tidigare studier tyder på att det är av vikt och intresse att dokumentera luftkvalitén i ventilationssystemet under dygnet för att fånga upp korttidsvariationer, speciellt vid intermittent drift av ventilationen. Att mäta mängden mikroorganismer flera gånger under ett dygn ökar också tillförlitligheten i bestämningen av halter och flora då detta verkar variera över tid och mellan arter. Vidare bör av samma skäl luftkvalitén övervakas också veckovis för att studera hur luften påverkas av en längre avstängning under helgen. Utöver mätningar över dygnet och veckan bör mätningar även utföras under längre tid, exempelvis ett år för att i ett längre perspektiv studera säsongsvariationer då detta har en avgörande inverkan på inneluftens sammansättning. Eventuella byggnadstekniska fukt- och

mögelskador bör också dokumenteras eftersom detta kan inverka på slutresultaten och en feltolkning av dessa.

9 Åtgärder som minskar besvär från ventilationssystem

Åtgärder som minskar upplevda besvär som kan bero på ventilationssystemet kan vidtas vid planering och installation av ventilationssystem, som en integrerad del i driften av ventilationssystemet men också som riktade insatser när anställda upplever problem. Nedan sammanställs åtgärder som kan vidtas i dessa tre situationer. Åtgärderna bygger dels på tidigare studier och dels på mätningar som gjorts inom detta projekt. Resultaten från detta projekt har använts som underlag för att identifiera faktorer som skulle kunna bidra till upplevelsen av ”dålig innemiljö”. Det är oklart i vilken utsträckning dessa faktorer kan bidra till reella besvär. I en situation när inga andra orsaker till besvären har kunnat identifieras, kan man undersöka dessa faktorer och om de möjligen kan bidra till upplevda besvär.

9.1 Installation av nytt ventilationssystem

9.1.1 Tillräckligt luftflöde

Luftomsättningen har också visat sig ha stor betydelse för upplevd luftkvalité. Hög luftomsättning medför förutom förbättrad luftkvalitet och sänkt koldioxidhalt inne också minskad risk för smittspridning av till exempel förkylningsvirus mellan byggnadens brukare, sannolikt genom att en stor luftgenomströmning minskar koncentrationen av smittspridande aerosoler (Seppänen och Fisk 2004). Ett uteluftsintag lägre än 25 l/s och person ökar risken för byggnadsrelaterade symptom (BRS, tidigare SBS symptom).

9.1.2 Intag av torr och ren luft

Dålig utformning av luftintaget kan leda till intag av fukt och förorenad luft som kontaminerar ventilationssystemet. Bättre design av tilluftsintaget, så att fukt avskiljs effektivt är viktigt för att filtret inte ska bli fuktigt. De mätningar som gjorts inom detta projekt, tyder på att fukt kan bidra till bildning av organiska syror och eventuellt även aldehyder och ketoner. Dessutom är tillgång till fukt den enskilt viktigaste faktorn vid tillväxt av mikroorganismer.

Om luftintaget placeras nära gatumiljön eller nära föroreningskällor, kan den luft som tas in i ventilationssystemet vara förorenad. Intag av tilluften från högre höjder, har föreslagits som en möjlig åtgärd. Rekommendationen är att placera luftintaget så högt över marken som möjligt (Mendell et al.2008). Placeringen brukar dock bli en kompromiss mellan arkitekten, ingenjören och verklighetens förutsättningar (Hanssen 2004).

9.1.3 Effektivt filter för rening av luft

Vilket filter som väljs för rening av luft har betydelse för luftkvalitet men också för driftekonomi. Ett effektivt filter (F9) innebär ett något högre tryckfall, vilket ökar fläktens elförbrukning. Av detta skäl väljs därför ofta ett enklare filter (F7). Dessutom väljer man ofta (sannolikt av ekonomiska skäl) att använda filtren så lång tid som möjligt. Detta projekt har visat att byte av filter årligen medför en betydande reduktion av damm i ventilationssystemet. Dessutom visade även projektet att verkningsgraden på filtren minskar avsevärt med tiden (under året) och att minst ett och helst två byten av filter per år är att rekommendera.

Typ av filter kan också vara avgörande eftersom mängden och sammansättningen av damm, och därmed näringssammansättningen för mikroorganismer, verkar skilja sig mellan filter, men även driftsförhållanden samt lokalisering (Maus et al. 2001). Tilluftsfilter av organiskt material, exempelvis växtfibermaterial, som ibland används av ekologiska skäl kan i kombination med fukt i sig utgöra en näringskälla för mikroorganismer.

Glasfibrer är ett vanligt filtermaterial. Studier tyder på att glasfibern kan katalysera kemiska reaktioner.

9.1.4 Värmeåtervinning men ingen returluft

Moderna ventilationssystem innehåller vanligtvis någon form av värmeåtervinning eller värmeväxlare. Två metoder för värmeåtervinning kan leda till att luften upplevs som dålig:

- Recirkulering av luft (med eller utan rening av luften). Föroreningar i frånluften, speciellt gasformiga sådana, förs tillbaka till lokalerna istället för att ventileras bort.
- Roterande värmeväxlare. I denna typ av värmeväxlare finns risk vid felfunktion att förorenad frånluft driver över till renluftsidan och tilluften.

Det finns många olika typer av värmeåtervinning och värmeväxlare som inte har de nackdelar som recirkulering och roterande värmeväxlare har.

9.2 Drift av ventilationssystem

9.2.1 Undvik total avstängning av ventilationen

Noterbart är att klagomålen på lukt och ”tung” luft är vanligare på måndag morgon och efter periodisk avstängning av ventilationssystemet, åtgärder som vidtas för att spara energi. Studier har visat att byggnader som tillämpar denna energisparande, intermittenta, ventilationsdrift har mer mikrob-relaterade problem än de som tillämpar kontinuerlig drift av ventilationssystemet (Ahearn et al.1996, Bonetta et al.2010, Law et al.2001). En förklaring skulle kunna vara att då luften står still, när ventilationssystemet är avstängt, höjs temperaturen och luftfuktigheten, vilket gynnar mikrobiell tillväxt (Ahearn et al.1996,

Möritz et al.2001). Det är också möjligt att ökad fuktighet kan bidra till ökad bildning av organiska syror, aldehyder och ketoner.

Hel avstängning av ventilationsanläggningen under exempelvis natten förekommer. Detta ökar risken för att tillfälliga tryckskillnader driver luft i frånluftssystemet i fel riktning och in i lokalerna. Detta innebär en risk för att lukter och föroreningar från avsättningar i frånluftskanalerna tillförs lokalen. (Fick et al. 2005). Dessutom finns risk för att tryckskillnader driver förorenad lokalluft in i tilluftsdon och tilluftskanaler.

Det kan även förekomma reaktioner i ventilationskanalerna. Ozon kan reagera med terpenier och bilda olika aldehyder (formaldehyd, acetaldehyd) men även organiska syror så som myrsyra och ättiksyra (Finlayson-Pitts and Pitts 2000).

9.2.2 Filterbyte

Uppskattningsvis är cirka 70 % av de upplevda hälsoproblemen, relaterade till inomhusmiljön i kontor och beror (helt eller delvis) på inadekvat drift eller underhåll av luftbehandlingsaggregat och ventilationskanaler (ASHRAE 1996). Efter filterbyte minskar ofta kontorsarbetarens klagomål på hälsobesvär (ASHRAE 1996). Detta har också visats i skolor där mängden mögel och bakterier ökade i äldre filter – främst under hösten, vilket skulle kunna motivera ett filterbyte inte bara efter pollensäsongen utan också efter den mögelrika fuktiga hösten (Smedje et al. 2002). Filterbyte sker vanligtvis en gång per år.

9.2.3 Rengöring av ventilationskanaler

Ventilationskanaler som är smutsiga invändigt har uppmärksammats och bland annat den obligatoriska ventilationskontrollen syftar till att uppmärksamma detta och rengöra smutsiga ventilationskanaler. De mätningar av dammhalt som gjorts inom detta projekt tyder på att dammhalten i luften ökar i ventilationssystemet, vilket bland annat kan bero på att damm lossar från invändigt smutsiga ventilationskanaler.

Hur smutsiga kanalerna blir invändigt, beror bland annat på hur effektiva filtren är. Om ventilationsfiltren släpper igenom cirka hälften av inkommande partiklar (vilket var vanligt vid de mätningar som gjorts), kommer partiklar att sedimentera i kanalerna. Detta är också ett skäl att välja filter med högre avskiljningsgrad (F9 istället för F7). Om ventilationen står nattetid finns risk för att tilluftsdon och tilluftskanaler förorenas av lokalluft.

Om ventilationskanaler är smutsiga invändigt, ökar sannolikt risken för kemiska reaktioner, speciellt sommartid, då den relativa luftfuktigheten är betydligt högre än på vintern.

Särskilt viktigt är renhållningen av luftintag och kanalsträckan fram till tilluftfiltret. Dessutom är det en fördel om ventilationskanalerna är åtkomliga för invändig rengöring.

9.2.4 Kontrollera luftfuktigheten

Som ett sätt att minska mikrobiell tillväxt i filtren har föreslagits att luftfuktigheten hålls under 80 % genom att förvärma luften före passage genom luftfiltren i HVAC systemet (Möritz et al. 2001). Dock rekommenderas inte avfuktningssystem, vilka sällan underhålls på ett adekvat sätt (Mendell et al. 2008).

9.3 När ventilationen misstänks ge dålig luftkvalitet

Luftens kvalitet har betydelse inte bara för komfort utan också för produktivitet och kvalitet. Arbetsplatser där det finns klagomål på ”dålig luft” och symptom från de övre luftvägarna eller diffusa symptom på trötthet och huvudvärk, gör därför klokt i att undersöka vad klagomålen beror på och genomföra åtgärder för att förbättra innemiljön. Här finns några tips om vad man kan kontrollera om det framkommer klagomål på luftkvaliteten och där orsaken misstänks vara brister i ventilationen.

9.3.1 Börja kontrollera det som är enklast att kontrollera

- Vilken **lufttemperatur** är det i lokalerna? Temperaturer på 24 °C eller högre upplevs ofta som att luften är kvav eller instängd, vilket kan tolkas som bristfällig ventilation. Sänk temperaturen till exempelvis 22 °C (om det främst är lokaler avsedda för stillasittande och orörligt arbete.) Sommartid kan man ofta acceptera att temperaturen tillfälligtvis vara högre när det är varmt ute.
- Kontrollera den relativa **luftfuktigheten**. Speciellt kalla dagar vintertid kan luftfuktigheten sjunka till under 20 %. Om luftfuktigheten är mycket låg (cirka 10 %) kan man få symptom som irritation i slemhinnorna, ospecifika symptom från ögon, övre luftvägar och huden i ansiktet. Symptomen försvinner när luftfuktigheten ökar. Rekommendationen är att inte vidta några åtgärder för att öka luftfuktigheten, eftersom luftbefuktning (via ventilationssystemet) ofta ger andra problem (och dessutom kräver god skötsel för att fungera väl och problemfritt). **Observera** att upplevelsen av torr luft också kan bero på förhöjda halter av föroreningar, oftast partiklar/damm.
- Är **städningen** tillräcklig? Otillräcklig städning kan öka dammhalterna, vilket kan upplevas som irriterande för luftvägarna, speciellt av dem som är känsliga, exempelvis atopiker.
- Är ventilationen tillräcklig för att ventilerar bort **koldioxid** från utandningsluft? Koldioxidhalten bör inte överstiga 1 000 ppm mer än under korta stunder (AFS 2009:2).
- Det kan också vara motiverat att **undersöka omfattningen av besvär** med hjälp av en standardiserad och validerad **enkät** (exempelvis enkät MM 040 NA om innemiljö från Örebro läns landsting).
- Inträffar besvaren när eldningssäsongen börjar? Om lokalerna värms genom tillförsel av varm tilluft, kontrollera om ventilationskanalerna är nedsmutsade invändigt. I så fall kan avsatta föroreningar drivas av när tilluften börjar värmas upp. Problemen brukar gå över efter en tid, när föroreningarna drivits av från

ventilationssystemets ytor. Åtgärda gärna problemet genom att göra rent ventilationskanalerna invändigt.

9.3.2 Kontrollera att ventilationssystemet är väl utformat

Se under avsnitt 9.1 ovan. Kontrollera särskilt att:

- Ventilationsflödet är tillräckligt, minst 25 liter/sekund, person.
- Luftintaget är placerat så att luften är så ren som möjligt, på avstånd från trafik och andra föroreningskällor.
- Luftintaget placeras så att det är åtkomligt för kontroll och rengöring.
- Luftintaget till ventilationssystemet är utformat så att fukt och vatten i form av regndroppar och snö avskiljs innan luften når fram till filtret.
- Luftintagets invändiga ytor är utformade så att smuts inte ansamlas och att de är lätta att rengöra.
- Det filter som används håller god kvalitet, minst F7 och gärna F9.
- Ventilationskanalerna gärna är utformade så att de är enkla att komma åt, kontrollera och rengöra
- Värmeåtervinning inte görs genom att recirkulera luft, d.v.s. återföra frånluft till lokalerna. Kan förekomma i äldre kontorsbyggnader främst under extra kalla och extra varma utomhustemperaturer.
- Roterande värmeväxlares funktion eftersom tryckdifferenser och tätning mellan de olika zonerna är viktiga.

9.3.3 Kontrollera att underhållet fungerar

Se under avsnitt 9.2 ovan. Kontrollera särskilt att:

- Filterbyte görs regelbundet, gärna två gånger per år, på våren efter pollensäsongen och på hösten. Filterbyte skall dock minst ske en gång per år om inte tryckfallet över filtret innan dess blivit för stort.
- Att ventilationskanaler hålls rena. Om mindre effektiva filter används, behöver ventilationskanalerna kontrolleras oftare för att säkerställa att de inte blir smutsiga invändigt.
- Undvik att stänga av ventilationssystemet helt, exempelvis nattetid, eftersom det ökar risken för fukt och kontamination av ventilationssystemet. Flera studier tyder dessutom på att bildningen och/eller halten av olika potentiellt irriterande ämnen ökar om ventilation stängs av helt, exempelvis nattetid.
- Luftintaget inte har blivit alltför nedsmutsat. Ofta avsätts partiklar och fukt på isoleringen vid luftintaget och i kombination med fukt kan dels mikroorganismer växa till, dels kan kemiska reaktioner initieras som ger upphov till ämnen som kan irritera slemhinnor och luftvägar.

9.3.4 Är tilluftsfilter helt och korrekt monterat?

Det förekommer att tilluftsfilter inte monteras korrekt eller skadas vid monteringen i ventilationskanalen. Effekten kan bli att det bli springor vid filtrets ram eller otätheter i filtret, där orenad lufta kan läcka förbi. Orenad luft tillförs då lokalerna med ventilationen och kan dessutom smutsa ner ventilationskanalerna invändigt.

- Kontrollera att filtret är rätt monterat, så att det inte släpper förbi orenad luft.
- Kontrollera också att filtret är helt. Det förekommer (även om det är ovanligt) att filter skadas vid montering eller havererar. Havererade (trasiga) filter släpper igenom orenad luft.
- Det kan vara svårt att okulärt besiktiga filtrens kvalitet likväl som deras inpassning. En möjlighet är att mäta avskiljningsgraden över filtret med direktvisande partikelinstrument eller med gravimetriska metoder (filterprovtagning med luftpump).

9.3.5 Säkerställ att det inte finns fuktskador i ventilationssystemet

Fukt i ventilationssystemet kan leda till ökad tillväxt av mikroorganismer men också till kemiska reaktioner där det bildas ämne som i tillräckligt höga halter kan vara irriterande för luftvägar och slemhinnor. Fuktskador kan uppkomma på många olika sätt bland annat om luftintaget är utformat så att fukt inte avskiljs effektivt men också om det förekommer kalla ytor där vatten kan kondensera. Läckage av vatten kan naturligtvis också leda till fuktskador. Vatten som tillförs med tilluften, t ex regndroppar och snö kan också ansamlas i ventilationssystemet, exempelvis i lågt liggande och odränerade ”fickor” i början av ventilationssystemet.

- Kontrollera att det inte finns synlig påväxt av mögel eller andra synliga mikroorganismer på filtret. Kontrollera även filtrets renluftssida. Förekommer det påväxt där, är det ett tecken på att fukt tränger igenom filtret.
- Kontrollera att det inte finns tecken på fuktskador på andra ställen i ventilationssystemet, exempelvis fickor med vattenansamlingar.
- Finns dränering (golvbrunn) på de ställen i ventilationssystemet där vatten kan ansamlas? Finns rutiner för att kontrollera att vattenlås i golvbrunnarna inte torkar ut?

Luftfuktigheten har inte bara betydelse för förekomsten av mikroorganismer i ventilationssystemet utan även för bildandet av formaldehyd. Lufthastigheten genom filtret har visat sig ha betydelse för förändringen av formaldehydkoncentrationen. Vid en låg hastighet 0,013 m/s ökar koncentrationen vid 50 % RH med 5 – 10 % och blir som högst vid 80 % RH där koncentrationsökningen kan vara 50 %. Även vid en lufthastighet på 0,5 m/s sker en ökning av formaldehydkoncentrationen med 4 – 12 %.

En metod att identifiera förekomst av fuktskador är att undersöka vilka mikroorganismer som finns i ventilationssystemet. Vid de mätningar som gjorts inom detta projekt, har vi

exempelvis identifierat förekomst av mögelarter som tyder på fuktskador i två av fyra ventilationssystem.

Det är också möjligt att det förekommer fuktskador på andra ställen i fastigheten än i ventilationssystemet och att dessa fuktskador sprider ämnen (Texanol och TXIB) som kan försämrar luftkvaliteten. Exempel på sådana fuktskador är:

- ✓ PVC-golv mattor och lim som påverkats av fuktig betong.
- ✓ Svampväxt (mögel) på fuktiga gipsskivor.
- ✓ Vattenskadade linoleummattor och kaseinhaltig golvmassa.

10 Referenser

1. 3H-studien. (Hälsomässigt Hållbara Hus – 3H). (2009). Rapporter 1-4.
2. AFS 2009:2 (2009) Arbetsplatsens ventilation. Arbetsmiljöverket.
3. Ahearn DG, Crow SA, Simmons RB, Price DL, Mishra SK, Pierson, DL. (1997). Fungal colonization of air filters and insulation in a multi-story office building: production of volatile organics. *Curr Microbiol.* 35(5):305-308.
4. Ahearn DG, Crow SA, Simmons RB, Price DL, Noble JA, Mishra SK, Pierson, DL. (1996). Fungal colonization of fiberglass insulation in the air distribution system of a multi-story office building: VOC production and possible relationship to sick building syndrome. *J Ind Microbiol.* 16(5):280-285.
5. Ahlgren Å, Becker M, Carlsson P, Eckerlund I, Håkansson S, Ohlsson I-M, Pettersson B, Ressner M, Svartengren M, Thuvander A, Wickman M. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet - Människors hälsa i miljö kvalitetsmålen. Socialstyrelsen. Stockholm 2003.
6. Ancker K, Christensson B. Förenklad utvärdering av inomhusluftkvaliteten på ett kontor – en metodstudie. IVL rapport 1694. IVL, Stockholm oktober 2006.
7. Apter A, Bracker A, Hodgson M, Sidman J, Leung WY. Epidemiology of the sick building syndrome. *Journal of Allergy & Clinical Immunology* 1994;94(2 Pt 2):277-88.
8. . Apte MG, Buchanan IS, Mendell MJ. Outdoor ozone and building-related symptoms in the BASE study. *Indoor Air.* 2008 Apr;18(2):156-70. 2008.
9. Arbetslivsinstitutet Mätning av partikulära föroreningar i två villor med luftvärme. Arbetslivsinstitutet, Solna januari 1992. Görny RL, Reponen T, Grinshpun SA, Willeke K. (2001). Source strength of fungal spore aerosolization from moldy building material. *Atmos Environ.* 35(28):4853-4862.
10. ASHRAE. (1996). Building maintenance linked to indoor air quality problems. *ASHRAE Journal.* April

11. Bonetta S, Bonetta S, Mosso S, Sampò S, Carraro E. (2010). Assessment of microbiological indoor air quality in an Italian office building equipped with an HVAC system. *Environ Monit Assess.* 161(1-4):473-483.
12. Buchanan IS, Mendell MJ, Mirer AG, Apte MG. Air filter materials, outdoor ozone and building-related symptoms in the BASE study. *Indoor Air.* 2008 Apr;18(2):144-55. 2008.
13. Burge HA, Pierson DL, Groves TO, Strawn KF, Mishra SK. (2000). Dynamics of airborne fungal populations in a large office building. *Curr Microbiol.* 40(1):10-16.
14. Cho, S.-H., S.-C. Seo, D. Schmechel, S. A. Grishpun, and T. Reeponen. (2005). Aerodynamic characteristics and respiratory deposition of fungal fragments. *Atmos Environ.* 39(30): 5454-5465.
15. Christensson B, Juringe L. Partikulära luftföroreningar på allergianpassade barndaghem. Undersökningsrapport 1995:23. Arbetslivsinstitutet, Solna oktober 1995.
16. Christensson B, Krantz S. Glass fibre emission from air filters. Proceedings of the 4th International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, September 5-9, 1994. *Arbete och hälsa* 1994:18. Stockholm, Arbetsmiljöinstitutet, s. 437-440
17. Christensson B. (2014) Personlig kommunikation om iakttagelse i samband med utredning av sjuka hus där ventilationen stod stilla under natten.
18. Edvardsson B, Stenberg B, Bergdahl J, Eriksson N, Lindén G, Widman L. Medical and social prognoses of non-specific building-related symptoms (Sick Building Syndrome): a follow-up study of patients previously referred to hospital *Int Arch Occup Environ Health* (2008) 81:805–812).
19. Febo A, Perrino C. Measurement of high concentration of nitrous acid inside automobiles. *Atmospheric Environment* Vol 29. No 3 pp 345-351. 1995
20. Ferm M, Sjödin Å. A sodium carbonated denuder for determination of nitrous acid in the atmosphere. *Atmospheric Environment* Vol 19. No 6 pp 979-983. 1985
21. Fisk WJ, Mirer AG, Mendell MJ. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air.* 2009 Apr;19(2):159-65. *Epub* 2009 Jan 22. 2009.
22. Funktionskontroll a ventilationssystem. Boverket 1992. **ISBN 91-38-12745-8**
23. Gustavsson Jan. Personligt meddelande. Camfil AB, Trosa 1993.
24. Hanssen SO. (2004). HVAC- the importance of clean intake section and dry air filter in cold climate. *Indoor Air.* 14(suppl 7):195-201.
25. Hodgson M. The sick-building syndrome. *Occupational Medicine* 1995;10(1):167-75

26. Ivansson K. Fältmätningar av tilluftsfilter. Rapport TVIT-06/5009. Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet 2006.
27. Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and airway disease. *Clin Exp Allergy*. 2011 Aug;41(8):1059-71.
28. Law AKY, Chau CK, Chan GYS. (2001). Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong. *Build Environ*. 36:527-541.
29. Maus R, Goppelsröderb A, Umhauer H. (2001). Survival of bacterial and mold spores in air filter media. *Atmos Environ*. 35(1):105-113.
30. Mendell MJ, Lei-Gomez Q, Mirer AG, Seppänen O, Brunner G. (2008). Risk factors in heating, ventilating, and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE Study. *Indoor Air*. 18(4):301-316.
31. Mendell MJ. Non-specific symptoms in office workers: A review and summary of the epidemiological literature. *Indoor Air* 1993;3.
32. Myatt TA, Johnston SL, Zuo Z, Wand M, Keadze T, Rudnick S, Milton DK. (2004). Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office buildings. *Am J Respir Crit Care Med*. 169(11):1187-1190.
33. Möritz M, Peters H, Nipko B, Rüden H. (2001) Capability of air filters to retain airborne bacteria and moulds in heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems. *Int J Hyg Environ Health*. 203(5-6):401-409.
34. Nielsen KF. (2002). Mold growth on building materials: Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers [PhD thesis]. Lyngby, Denmark: BioCentrum-DTU, Technical University of Denmark.
35. Nilsson S, Cederholm W, Christensson B, Krantz S. Mätning av luftföroreningar. Tekniska byråns information 108. Byggnadsstyrelsen, Stockholm maj 1990.
36. Norback D. An update on sick building syndrome. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 2009;9(1):55-9.
37. Norlén U, Andersson K (red). Bostadsbeståndets inneklimat. ELIB-rapport nr 7. TN:30. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle, 1993.
38. Nybom R. Personligt meddelande. Karolinska institutet, Solna 2008
39. Pommer L, Jerker F, Andersson B, Nilsson C. The Influence of O₃, Relative Humidity, NO and NO₂ on the Oxidation of α -Pinene and Δ^3 -Carene. *Journal of Atmospheric Chemistry* 2004 48, 2:173-89

40. Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 1999;9(4):226-52.
41. Seppänen OA and Fisk WJ. (2004). Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air*. 14(suppl7):102-118.
42. Sivasubramani SK, Niemeier RT, Reponen T, Grinshpun SA. (2004). Assessment of the aerosolization potential for fungal spores in moldy homes. *Indoor Air*. 14(6):405-412.
43. Smedje G, Norbäck D, Wieslander G, Wålander R. (2002). Effects of contaminated supply air ducts on symptoms from the eyes and nose- a double-blind experimental study. *Proceedings* from the 9th International conference on indoor air quality and climate – *Indoor Air*, Santa Cruz, California. Vol 2(1032-1037).
44. Smedje, G (2001) Smutsiga filter irriterar. *Arbete, Mäniska, Miljö* Nr 1, s.2
45. SNBH (1992) Checking the performance of ventilation systems, The Swedish National Board of Housing, Building and Planning, General Guidelines, Karlskrona, (1992:3E).
46. Stanley NJ, Kuehn TH, Kim SW, Raynor PC, Anantharaman S, Ramakrishnan MA, Goyal SM. (2008) Background culturable bacteria aerosol in two large public buildings using HVAC filters as long term, passive, high-volume air samplers. *J Environ Monit*, 10:474-481.
47. Sundell J. On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptoms reports. *Indoor Air* 1994;Suppl 2.
48. Tsai FC and Macher JM. (2005). Concentrations of airborne culturable bacteria in 100 large US office buildings from the BASE study. *Indoor Air*. 2005(suppl 9):71-81.
49. Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppänen O, Wouters P. (2002). Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air*. 12(2):113-28.
50. Wargocki P, Wyon D, Fanger O. (2004). The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates. *Indoor Air* No.14, s. 7-16
51. Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air* 2000;10(4):222-36.

52. Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air*. 2006 Feb;16(1):7-19. 2006.

Bilaga 1. Sammanställning av mätdata från mätningarna

Kontor 1

Ämne	Årstid	Mättid	Halt $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
			Ute	Före filter	Efter filter	Tilluft	Kontor
Damm, resp (mg/m^3)	Vår			0.014	0.007	0.007	0.008
	Vinter			<0,0203	<0,0846	0.006	0.007
Damm PM 1	Vår			5	4		
	Vinter			5	34		
Damm PM 2,5	Vår		2.6	7	4		
	Vinter		6.2	14	46		
Damm PM 10	Vår		10.3	10	4		
	Vinter		28.3	89	59		
Oorganiska gaser							
Kvävedioxid, NO_2	Vår		10,7		15,5	13,8	10
	Vinter		18,5		13,8	12,5	10,2
Ozon, O_3	Vår		69,9		73	68	21
	Vinter		35		22	16	<5,8
Organiska syror							
– Myrsyra	Vår		1,6		2	2,1	4,9
	Vinter		1,7		5	213	11
– Ättiksyra	Vår		1,9		2,5	2,5	2,6
	Vinter		5		25	642	21
Aldehyder och ketoner							
– Formaldehyd	Vår		<1		1	1	8
	Vinter		<1		2,6	1,4	7,2
– Acetaldehyd	Vår		<1		1	2	4
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Akrolein	Vår		<1		<1	<1	<1
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Propanal	Vår		<1		<1	<1	<1
	Vinter		<1		<1	<1	<1

– Krotonaldehyd	Vår		<1		<1	<1	<1
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Butanal	Vår		<1		<1	<1	<1
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Bensaldehyd	Vår		7		7	5	2
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Pentanal	Vår		<1		<1	<1	2
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Hexanal	Vår		<1		<1	<1	7
	Vinter		<1		<1	<1	<1
– Aceton	Vår		3		6	3	5
	Vinter		<1		<1	<1	3,3
TVOC	Vår		43		79	110	108
	Vinter		80		141	106	111
– Bensen	Vår		0,9		1,0	0,9	0,7
	Vinter		2,0		2,3	1,2	1,5
– n-Dekan	Vår		0,1		0,3	0,3	0,5
	Vinter		0,3		1,7	1,5	1,5
– α -pinen	Vår		0,1		0,2	0,3	1,2
	Vinter		0,1		0,8	1,1	1,4
– Toluen	Vår		1,2		2,0	2,0	1,4
	Vinter		2,5		6,5	2,6	2,6
– n-Hexanal	Vår		0,6		0,6	1,0	2,4
	Vinter		0,9		1,6	1,0	1,5
– n-Butanol	Vår		0,3		0,9	0,8	1,3
	Vinter		0,3		1,7	1,1	1,3
– m-Xylen	Vår		0,8		1,4	1,6	0,7
	Vinter		1,5		3,8	1,8	1,8
– 3-caren	Vår		0,0		0,0	0,1	0,3
	Vinter		0,0		0,3	0,6	0,8
– Limonen	Vår		0,0		0,0	0,0	0,4
	Vinter		0,1		0,4	1,9	6,4
–1,3,5-trimetylbenzen	Vår		0,1		0,1	0,1	0,1
	Vinter		0,1		0,3	0,2	0,1
– 1-Okten-3-ol	Vår		0,0		0,0	0,0	0,0
	Vinter		0,0		0,0	0,0	0,0
– 2-Etylhexanol	Vår		2,4		3,4	1,8	3,0
	Vinter		6,4		17	13	6,0
– Bensylalkohol	Vår		0,2		0,2	0,5	1,4
	Vinter		0,4		0,4	4,9	0,5

Kontor 2

Ämne	Årstid	Mättid	Halt $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
			Ute	Före filter	Efter filter	Tilluft	Kontor
Damm, resp (mg/m^3)	Vår			0.0072	0.0040	0.0072	0.0056
	Sommar			0.004	0.004	0.0043	0.0047
	Höst			0.0063	0.002	0.0064	0.0045
	vinter			0.0052	0.0047	0.0066	0.0063
Damm PM 1	Vår			2.92	1.837		
	Sommar			1.72	0.96		
	Höst			0.564	0.393		
	vinter			3.471	2.807		
Damm PM 2,5	Vår		11.166188	4.939	1.904		
	Sommar		7.4256538	3.646	1.021		
	Höst		5.2822217	0.966	0.419		
	vinter		17.41221	4.042	2.836		
Damm PM 10	Vår		27.194818	10.768	1.916		
	Sommar		17.980713	6.776	1.029		
	Höst		18.939012	1.989	0.429		
	vinter		25.354988	6.162	2.874		
Oorganiska gaser							
Kvävedioxid, NO_2	Vår		31.1		13.5	17.0	13.8
	Sommar		44.9		17.8	22.4	17.2
	Höst		45.6		13.0	12.9	10.5
	vinter		50.8		17.2	23.1	15.2
Ozon, O_3	Vår		66.5		11	21	3
	Sommar		77.6		28	42	11
	Höst		43.3		8	19	3
	vinter		34.6		6	8	3
Organiska syror							
– Myrsyra	Vår		<3.2		22.7	14.6	39.7
	Sommar		12.3		28.1	16.2	36.0
	Höst		< 3,4		13.7	10.8	16.3
	vinter		<3,7		<4,3	<4,3	<4,2
– Ättiksyra	Vår		<4		12.0	6.2	26.1
	Sommar		12.7		16.0	13.4	6.7
	Höst		< 4,1		10.5	< 5,3	< 5,3

	vinter		<4,6		<5,3	<5,2	<5,2
Aldehyder och ketoner							
– Formaldehyd	Vår		0.5		7	2	7
	Sommar		1		22	9	24
	Höst		0.5		15	7	20
	vinter		0.5		12	6	14
– Acetaldehyd	Vår		<1		8	5	7
	Sommar		<1		9	3	9
	Höst		1		9	4	7
	vinter		<1		7	3	5
– Akrolein	Vår		<1		<1	<1	<1
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	<1	<1
– Propanal	Vår		<1		2	1	2
	Sommar		<1		2	<1	2
	Höst		0.5		4	0.5	2
	vinter		<1		2	<1	1
– Krotonaldehyd	Vår		<1		1	<1	2
	Sommar		0.5		0.5	0.5	0.5
	Höst		0.5		0.5	0.5	0.5
	vinter		0.5		0.5	0.5	0.5
– Butanal	Vår		<1		1	<1	3
	Sommar		<1		2	<1	2
	Höst		0.5		0.5	0.5	0.5
	vinter		0.5		0.5	0.5	0.5
– Bensaldehyd	Vår		4		2	<1	3
	Sommar		<1		3	<1	3
	Höst		0.5		0.5	0.5	2
	vinter		6		0.5	0.5	0.5
– Pentanal	Vår		<1		3	2	5
	Sommar		<1		4	<1	4
	Höst		0.5		2	0.5	3
	vinter		0.5		1	0.5	0.5
– Hexanal	Vår		<1		8	3	8
	Sommar		<1		8	3	9
	Höst		0.5		8	2	6
	vinter		0.5		4	0.5	3
– Aceton	Vår		3		11	8	10
	Sommar		<1		11	5	13

	Höst		0.5		9	5	10
	vinter		2		7	3	6
TVOC	Vår		50		216	223	224
	Sommar		13		130	52	117
	Höst		44		184	103	140
	vinter		83		88	61	68
– Bensen	Vår		0.5		1	1	0
	Sommar		2,0		1	1	1
	Höst		1.2		1.1	0.9	0.8
	vinter		3		2	1.8	2
– n-Dekan	Vår		0.5		1	1	1
	Sommar		0		1	1	1
	Höst		0.4		2.7	1.0	1.3
	vinter		1		1	1	1
– α -pinen	Vår		0		3	2	3
	Sommar		0		3	1	4
	Höst		0.1		3.2	2.5	4.1
	vinter		0		2	1	2
– Toluen	Vår		1		2	2	2
	Sommar		2		4	3	4
	Höst		2.1		3.1	2.4	2.3
	vinter		3		3	3	2
– n-Hexanal	Vår		0		5	3	5
	Sommar		0		6	0	6
	Höst		0,3		4.3	1.1	2.0
	vinter		0		1	0	0
– n-Butanol	Vår		0		3	2	4
	Sommar		0		4	2	5
	Höst		0,3		3.6	2.1	3.2
	vinter		0		2	1	1
– m-Xylen	Vår		1		1	1	1
	Sommar		2		2	1	2
	Höst		1,2		1.7	1.3	1.2
	vinter		1		1	1	1
– 3-caren	Vår		0		1	1	1
	Sommar		0		1	1	2
	Höst		0		1.1	0.7	1.4
	vinter		0		1	0	1
– Limonen	Vår		0		0	0	1
	Sommar		0		0	0	2
	Höst		0		2.9	2.5	5.4
	vinter		0		2	0	3
–1,3,5-trimetylbenzen	Vår		1		3	5	4

	Sommar		0		0	0	0
	Höst		0		0.1	0.1	0.1
	vinter		0,1		0	0	0
- 1-Okten-3-ol	Vår		0		0	0	0
	Sommar		0		0	0	0
	Höst		0		0	0	0
	vinter		0		0	0	0
- 2-Etylhexanol	Vår		0		3	3	4
	Sommar		0		3	2	3
	Höst		1,2		3.6	3.7	4.1
	vinter		5		12	2	2
- Bensylalkohol	Vår		0		0	0	0
	Sommar		0		12	0	0
	Höst		0,2		0.5	0.2	0.2
	vinter		0		0	0	0
-TXIB	Vår		0		0	0	0
	Sommar		0		1	0	1
	Höst		0,2		3.2	1.5	1.2
	vinter		0		1	0	0
-Naftalen	Vår		0		0.1	0.1	0.1
	Sommar		0,1		0.1	0.1	0.1
	Höst		0,1		0.4	0.1	0.1
	vinter		0,1		0.1	0.1	0.5

Kontor 3

Ämne	Årstid	Mättid	Halt					
			µg/m ³	Ute	Före filter	Efter filter	Tilluft	Kontor
Damm, resp (mg/m ³)	Vår				0.0071	0.0056	<0,0040	0.0048
	Sommar				0.011	<0,0042	0.0045	0.0045
	Höst				0.0064	<0,0045	<0,0041	<0,0040
	vinter				0.0060	<0,0041	<0,0041	<0,0052
Damm PM 1	Vår				6.1	2.1		
	Sommar				4	2.6		
	Höst				4.9	0.8		
	vinter				4.4	1.8		
Damm PM 2,5	Vår		4.2	8.3	2.1			
	Sommar		4.2	7.3	2.6			
	Höst		5.0	11.5	0.8			
	vinter		3.8	6.8	1.8			
Damm PM 10	Vår		15.8	13.0	2.1			
	Sommar		16.1	14.4	2.6			
	Höst		27.3	17.0	0.8			
	vinter		11.7	9.1	1.8			
Oorganiska gaser								
Kvävedioxid, NO ₂	Vår		16.0	13.5	13.9	10.9	1.469609	
	Sommar		42.6	37.1	32.8	25.1	1.697996	
	Höst		47.2	17.9	18.6	17.1	2.752114	
	vinter		41.6	23.9	17.3	16.2	2.564164	
Ozon, O ₃	Vår		72		85	46	25	
	Sommar		46		53	31	15	
	Höst		43		59	30	31	
	vinter		50		56	22	14	
Organiska syror								
– Myrsyra	Vår		<3.2		<4.2	5.8	5.9	
	Sommar		<3.3		<4.3	28.3	22.8	
	Höst		3.5		<4.2	10.1	8.7	
	vinter		<3.4		<4.2	<4.2	<4.2	
– Ättiksyra	Vår		4,2		<5.2	24.7	16.3	
	Sommar		<4.1		<5.3	8.1	<5.3	

	Höst		<4.1		<5.2	<5.1	<5.2
	vinter		4.8		<5.1	<5.2	<5.2
Aldehyder och ketoner							
– Formaldehyd	Vår		<0,7		<0,7	5.4	4.1
	Sommar		0.8		22	9	23.7
	Höst		<1		<1	4	3
	vinter		<1		<1	6	4
– Acetaldehyd	Vår		<1		6	4	3.3
	Sommar		<1		6	4	7.4
	Höst		<1		6	4	2
	vinter		<1		<1	4	4
– Akrolein	Vår		<1		<1	<1	<1
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	<1	<1
– Propanal	Vår		<1		<1	1	1
	Sommar		<1		2	1	2
	Höst		<1		2	1	2
	vinter		<1		<1	1	<1
– Krotonaldehyd	Vår		<1		<1	<1	<1
	Sommar		<1		1	<1	2
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	<1	<1
– Butanal	Vår		<1		<1	<1	<1
	Sommar		<1		1	<1	3
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	1	<1
– Bensaldehyd	Vår		8		5	2	1
	Sommar		4		2	<1	3
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	<1	<1
– Pentanal	Vår		<1		<1	2	2
	Sommar		<1		3	2	5
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter		<1		<1	2	2
– Hexanal	Vår		<1		<1	5	6
	Sommar		<1		8	3	8
	Höst		<1		<1	4	4

	vinter		<1		<1	5	5
– Aceton	Vår		6		2	8	7
	Sommar		3		11	8	10
	Höst		<1		<1	5	4
	vinter		<1		<1	8	7
TVOC	Vår		47		68	139	67
	Sommar		59		52	158	60
	Höst		71		74	208	59
	vinter		100		73	142	115
– Bensen	Vår		1.1		1.0	1.2	0.6
	Sommar		0.8		1.0	1.1	0.7
	Höst		1.4		1.4	1.1	0.8
	vinter		1.5		1.2	0.9	0.9
– n-Dekan	Vår		0.3		0.4	1.8	0.9
	Sommar		0.5		0.9	1.9	0.4
	Höst		0.3		0.6	3.1	0.6
	vinter		0.4		0.4	2.0	2.2
– α -pinen	Vår		0.0		0.1	5.3	4.4
	Sommar		0.2		0.3	4.2	2.7
	Höst		0.0		0.1	4.6	2.3
	vinter		0.1		0.1	7.9	5.0
– Toluen	Vår		1.6		1.6	1.6	1.6
	Sommar		2.0		2.0	2.0	2.0
	Höst		1.9		1.9	1.9	1.9
	vinter		2.3		2.6	4.6	2.1
– n-Hexanal	Vår		0.7		0.4	0.0	0.0
	Sommar		0.0		0.0	6.8	9.4
	Höst		0.4		0.9	0.0	1.5
	vinter		0.9		0.0	0.0	0.0
– n-Butanol	Vår		0.2		1.1	2.4	1.3
	Sommar		0.2		0.3	4.8	2.1
	Höst		0.1		0.1	4.1	1.1
	vinter		0.5		0.4	3.2	2.9
– m-Xylen	Vår		1.2		1.5	4.0	1.3
	Sommar		1.5		3.4	5.2	1.9
	Höst		1.1		2.4	4.5	1.4
	vinter		1.2		2.2	3.8	2.1
– 3-caren	Vår		0.0		0.0	2.2	2.2
	Sommar		0.0		0.0	1.7	2.3
	Höst		0.0		0.0	2.4	0.9
	vinter		0.0		0.0	4.0	2.3
– Limonen	Vår		0.0		0.0	0.5	0.2
	Sommar		0.0		0.0	0.9	0.8
	Höst		0.0		0.0	2.5	0.4

	vinter		0.0		0.0	3.3	0.6
–1,3,5-trimetylbenzen	Vår		0.1		0.1	0.2	0.1
	Sommar		0.1		0.1	0.3	0.1
	Höst		0.1		0.2	0.3	0.1
– 1-Okten-3-ol	vinter		0.1		0.2	0.2	0.1
	Vår		0.0		0.0	0.0	0.0
	Sommar		0.0		0.0	0.0	0.0
	Höst		0.0		0.0	0.0	0.0
	vinter		0.0		0.0	0.0	0.0
	Vår		2.9		4.7	3.9	3.6
– 2-Etylhexanol	Sommar		0.5		0.3	2.6	1.3
	Höst		0.8		1.0	5.1	2.4
	vinter		0		2.3	5.4	2.8
– Bensylalkohol	Vår		0.1		0.1	0.3	0.2
	Sommar		0.4		0.2	0.4	0.1
	Höst		0.0		0.0	0.0	0.0
	vinter		0.1		0.3	0.3	0.2
	Vår		1.2		1.6	1.1	1.6
	Sommar		0.2		0.2	0.8	0.4
–TXIB	Höst		0.6		0.4	0.9	0.5
	vinter		0.5		0.3	0.5	1.0
	Vår		0.1		0.1	0.1	0.1
–Naftalen	Sommar		0.1		0.1	0.1	0.1
	Höst		0.1		0.1	0.1	0.1
	vinter		0.2		0.2	0.2	0.2
– Acetonitril	Vår		5.9				
	Sommar		4.8				
	Höst		18.7				
	vinter		8.1				

Kontor 4

Ämne	Årstid	Mättid	Halt µg/m ³				
			Ute	Före filter	Efter filter	Tilluft	Kontor
Damm, resp (mg/m ³)	Vår			0.0120	0.0040	0.0040	0.0045
	Sommar			0.0068	0.0046	0.0060	0.0071
	Höst			<0.0064	0.0044	<0.0042	
	vinter						
Damm PM 1	Vår			3.7	0.65		
	Sommar				1.5		
	Höst						
	vinter						
Damm PM 2,5	Vår		8.1	9.9	0.8		
	Sommar		5.6		1.5		
	Höst		4.7				
	vinter						
Damm PM 10	Vår		36.1	19.9	0.8		
	Sommar		15.5		1.5		
	Höst		11.7				
	vinter						
Oorganiska gaser							
Kvävedioxid, NO ₂	Vår		43.7		11.097	10.121	9.795
	Sommar		37.1		13.682	11.512	12.595
	Höst		40.7		21.402	16.533	15.452
	vinter				11.097	10.121	9.795
	Höst						
	vinter						
Ozon, O ₃	Vår		74.8		22.44	23.03	7.338
	Sommar		53.8		18.861	17.802	2.9
	Höst		30.6		10.088	3	3

	vinter						
Organiska syror							
– Myrsyra	Vår		1.6		2.1	6.478012	23.11518
	Sommar		1.6		7.877007	16.04068	66.529
	Höst		1.7		7.015271	13.3044	22.03578
	vinter				2.7	9.085692	7.838423
– Ättiksyra	Vår		2		2.6	7.428486	7.951264
	Sommar		2		2.6	2.6	26.93424
	Höst		2.1				
	vinter						
Aldehyder och ketoner							
– Formaldehyd	Vår		0.7		6.4	11.7	19.8
	Sommar		<0,7		0.84	9.2	6.4
	Höst		<1		5	8	12
	vinter						
– Acetaldehyd	Vår		0.8		5.9	13	15.2
	Sommar		<0,9		<0,8	<0,8	<0,8
	Höst		<1		<1	8	9
	vinter						
– Akrolein	Vår		<1		<1	<1	<1
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter						
– Propanal	Vår		<1		1	2	2
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	<1

	vinter						
– Krotonaldehyd	Vår		<1		2	2	<1
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	2	<1
	vinter						
– Butanal	Vår		<1		2	2	2
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	<1
	vinter						
– Bensaldehyd	Vår		<1		2	3	3
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	<1	2
	vinter						
– Pentanal	Vår		<1		1	5	5
	Sommar		<1		<1	2	2
	Höst		<1		<1	2	2
	vinter						
– Hexanal	Vår		<1		2	10	12
	Sommar		<1		<1	7.8	7.5
	Höst		<1		<1	4	6
	vinter						
– Aceton	Vår		4		10	14	16
	Sommar		<1		<1	<1	<1
	Höst		<1		<1	10	10
	vinter						
TVOC	Vår		39		80	139	129
	Sommar		39		89	222	179
	Höst		115		126	127	143
	vinter						
– Bensen	Vår		0.5		0.8	0.7	0.5
	Sommar		0.4		0.7	0.5	0.6
	Höst		1.9		2.4	1.8	1.7
	vinter				0.4	0.6	0.4
– n-Dekan	Vår		0.1		0.3	0.2	0.2

	Sommar		0.2		0.3	0.5	0.4
	Höst		0.7				
	vinter						
– α -pinen	Vår		0.1		2.3	4.5	5.6
	Sommar		0.2		3.0	6.9	9.1
	Höst		0.2		1.4	4.3	6.0
	vinter						
– Toluen	Vår		0.8		3.9	13.1	2.3
	Sommar		1.5		3.8	90.3	3.2
	Höst		2.3		6.9	15.3	3.8
	vinter						
– n-Hexanal	Vår		0.5		1.8	5.5	7.2
	Sommar		0.3		8.5	13.7	17.4
	Höst		3.1		1.1	1.1	1.6
	vinter						
– n-Butanol	Vår		0.1		0.1	0.1	0.1
	Sommar		0.4		0.4	0.4	0.4
	Höst		0.0		0.0	0.0	0.0
	vinter						
– m-Xylen	Vår		0.5		1.9	1.9	1.6
	Sommar		1.1		2.2	2.4	2.0
	Höst		1.4		3.4	2.6	2.6
	vinter						
– 3-caren	Vår		0.0		0.8	1.9	2.8
	Sommar		0.1		1.4	2.7	5.0
	Höst		0.2		0.5	1.3	2.3
	vinter						
– Limonen	Vår		0.0		0.1	1.1	4.1
	Sommar		0.0		0.6	1.9	5.4
	Höst		0.4		1.2	6.8	13.4
	vinter						
–1,3,5-trimetylbensen	Vår		0.0		0.0	0.0	0.0
	Sommar		0.1		0.1	0.1	0.1
	Höst		0.1		0.1	0.1	0.1
	vinter						

- 1-Okten-3-ol	Vår		0.0		0.0	0.0	0.0
	Sommar		0.0		0.0	0.0	0.0
	Höst		0.0		0.0	0.0	0.0
	vinter						
- 2-Etylhexanol	Vår		1.4		3.5	5.8	5.0
	Sommar		3.0		3.8	4.7	7.4
	Höst		0.0		1.7	5.1	5.7
	vinter						
- Bensylalkohol	Vår		0.1		0.2	0.5	0.8
	Sommar		0.3		0.8	0.8	1.0
	Höst		0.2		0.0	0.0	0.0
	vinter						
-TXIB	Vår		0.6		0.5	1.1	1.4
	Sommar		0.0		0.5	1.2	1.2
	Höst		0.3		0.0	0.0	0.0
	vinter						
-Naftalen	Vår		0.0		0.1	0.1	0.1
	Sommar		0.1		0.1	0.1	0.1
	Höst		15.4		0.0	0.0	0.0
	vinter						
-Isopropan	Vår						
	Sommar				2.2	3.8	3.8
	Höst						
	vinter						