

# Inomhusluftens kvalitet i svenska bostäder – utvärdering av data från undersökningen Betsi

IVL Svenska Miljöinstitutet har genomfört ett projekt om luftkvalitet i svenska lågenergibyggnader, Strategi och metodik för bedömning av inomhusluftkvalitet i lågenergibyggnader (Smil). Drygt ett tjugotal bostäder i passivhus och motsvarande antal bostäder i nybyggda konventionella hus undersöktes med avseende på koncentrationer av vanliga gasformiga luftföroreningar som kvävedioxid, ozon, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen samt temperatur, relativ luftfuktighet, luftomsättning och mikrobiell kontaminering. Ett av de nybyggda passivhusen som ingått i studien visas i figur 1. En av målsättningarna med Smil-projektet är att jämföra mätdata med befintliga svenska studier, riktvärden föreslagna av Världshälsoorganisationen (WHO) och internationella studier, utvärderingar och databaser. Närmast i tiden låg den svenska Betsi-studien som genomfördes för ett par år sedan av Boverket, varför denna studie valts som bas för att jämföra resultaten från Smil-projektet med befintliga svenska undersökningar.

Luftkvalitet utomhus kan bedömas genom lagligt bindande gränsvärden som beskrivs i svenska miljökvalitetsnormer för utomhusluft, i Luftkvalitetsförordning 2010:477. Gränsvärdena är framförallt framtagna för att skydda människors hälsa och miljö. Det har dock påvisats i vetenskapliga studier att människor tillbringar endast en liten del av sin tid, ungefär 10 till 15 procent, utomhus. Exponering för luftföroreningar sker övervägande i olika



Figur 1: Exempel på ett passivhus från Smil-projektet.

inneklimat för vilka det inte finns några lagligt bindande gränsvärden.

WHO ger rekommendationer, så kallade riktvärden (*guideline values*) om acceptabla koncentrationer i inomhusluft för ett mindre antal utvalda ämnen som till exempel bensen, formaldehyd och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>). Flyktiga organiska ämnen är ett samlingsbegrepp för många individuella organiska ämnen, vars totalhalt mäts som *Total Volatile Organic Compounds* (TVOC). Rekommendation om en säker koncentration ges av den tyska myndigheten Umweltbundesamt som är ungefär en kombination av Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen. Luftkvalitet inomhus behandlas också av Boverkets byggregler som anger att byggnader och deras installationer ska utformas och placeras så att halten av föroreningar i tilluften inte är högre än gällande gränsvärden för uteluft. Boverket ställer dessutom krav på ventilationsflödet på 0,35 l/s per kvadratmeter golvyta som i de flesta inneklimat motsvarar en luftomsättning på 0,5 h<sup>-1</sup>. Kvävedioxid, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen (VOC) är de mest studerade luftföroreningar i inomhusluft. Kvävedioxid bildas i förbränningsprocesser och kan irritera luftvägarna. Om det inte finns någon förbränningskälla inomhus, så som gasspis eller öppna eldstäder, kommer kvävedioxid huvudsakligen in från utomhusluften genom ventilationssystemet. VOC avges till inomhusluften huvudsakligen från byggmaterial, möbler och inredning, hushålls- och hygienprodukter. De flesta

VOC är inte direkt förknippade med kända hälsoproblem men både individuellt och tillsammans kan de vara irriterande. TVOC är därför en övergripande indikator för inomhusluftkvalitet. Formaldehyd är klassad av International Agency for Research on Cancer (IARC) som ett känt cancerframkallande ämne och av CPL-direktivet (*Classification, labelling and packaging of substances and mixtures*) som ett misstänkt cancerframkallande ämne. Formaldehyd avges från till exempel spånskivor.

## Betsi-studien

Boverket fick uppdrag av regeringen att med hjälp av besiktningar, mätningar och enkäter ta fram en uppdaterad beskrivning av det svenska byggnadsbeståndet och bedöma åtgärder och kostnader för eventuella skador och brister. Uppdraget fick arbetsnamnet Betsi som står för Byggnaders energianvändning, tekniska status och inomhusmiljö. Undersökningarna som utfördes i cirka 1 800 byggnader byggda före 2006 i sammanlagt 30 kommuner gjordes under 2007 och 2008. Bostäderna – småhus och lägenheter i flerbostadshus – valdes ut av Statistiska centralbyrån med syfte att representera hela det svenska bostadsbeståndet ([www.boverket.se](http://www.boverket.se)). I ett urval av bostäderna genomfördes mätningar av luftföroreningarna kvävedioxid, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen. Temperatur, relativ luftfuktighet och luftomsättning mättes i alla bostäder.

Alla uppgifter från Betsi-undersökningen samlades i en databas. Boverket sammanställde resultatet och publicerade rapporten "Så mår våra hus" (Boverket, september 2009). Denna rapport kompletterades med ett antal fördjupningsrapporter, bland annat "Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa" (Boverket, oktober 2009). Efter publiceringen av Boverkets egna rapporter gjordes uppgifter i Betsi-databasen tillgängliga för intresserade forskare för ytterligare analyser i början av 2011.

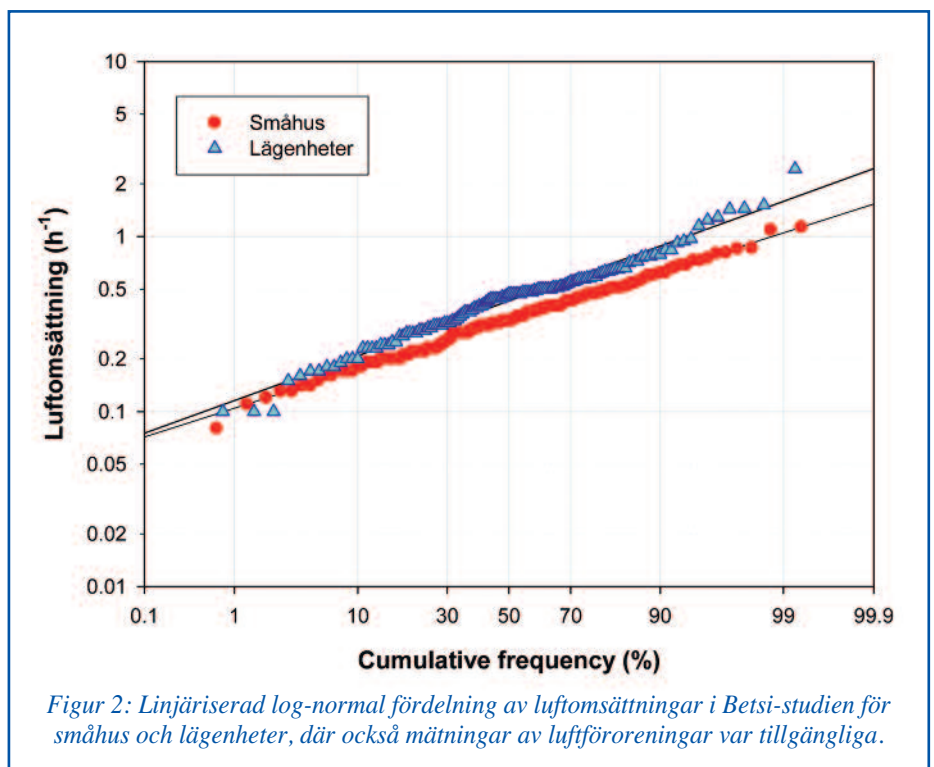
Enkätundersökningen om de boendes uppfattning om den egna bostaden och hälsan innehöll bland annat en fråga om den upplevda inomhusluftskvaliteten med en femgradig bedömningsskala: mycket bra – bra – acceptabel – dålig – mycket dålig. Nästan 100 procent av de boende i småhus graderade luftkvaliteten som

Artikelförfattare är  
**Sarka Langer**,  
IVL Svenska Miljö-  
institutet AB,  
Göteborg.



mycket bra till acceptabel medan en mindre andel boende i lägenhet bedömde luftkvaliteten som dålig (sex procent) eller till och med mycket dålig (en procent). I genomsnitt var 96 procent av de tillfrågade nöjda med luftkvaliteten. På grund av denna uppfattning kan resultaten beskrivna i den följande texten betraktas som normala värden för luftkvalitet i det svenska bostadsbeståndet och tjäna som en baslinje för jämförelser för alla slags nybyggda, ombyggda eller renoverade bostäder, lågenergibygnader och byggnader i allmänhet.

Artikelförfattaren och doktor *Gabriel Bekö* från Danmarks Tekniske Universitet (DTU), International Centre for Indoor Environment and Energy, genomförde och publicerade den fördjupade analysen av luftkvalitet i de svenska bostäderna och hur den berodde på byggnadstekniska parametrar, baserad på Betsi-databasen. Uppgifter från databasen som bedömdes relevanta var de mätta parametrar (enheter i parenteser): temperatur (°C), relativ luftfuktighet (%), luftomsättning ( $\text{h}^{-1}$ ) och koncentrationer av kvävedioxid, formaldehyd och TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tillgängliga var också byggnadstekniska parametrar som typ av byggnad: småhus eller lägenhet i flerbostadshus; byggnadsår som sträckte sig från år 1800 till år 2005 och delades upp i sju intervaller: hus byggda före 1940, 1941 till 1955; 1956 till 1970, 1971 till 1980, 1981 till 1990, 1991 till 2000 och efter 2000. Geografiskt läge för byggnaderna var indelat i fyra kategorier: innerstad, förort, villakvarter och glesbygd. Typer av ventilationssystem var självdrag, frånluftssystem, frånluft/tilluftssystem, frånluft/tilluft med värmväxlare och värmepump. Totala antalet bostäder tillgängliga för statistiska analyser var 157 småhus och 148 lägenheter i flerbostadshus. För de mätta parametrarna beräknades medelvärden med standardavvikelser, medianer och geometriska medelvärden. Statistiska analyser genomfördes i



Figur 2: Linjäriserad log-normal fördelning av luftomsättningar i Betsi-studien för småhus och lägenheter, där också mätningar av luftföroreningar var tillgängliga.

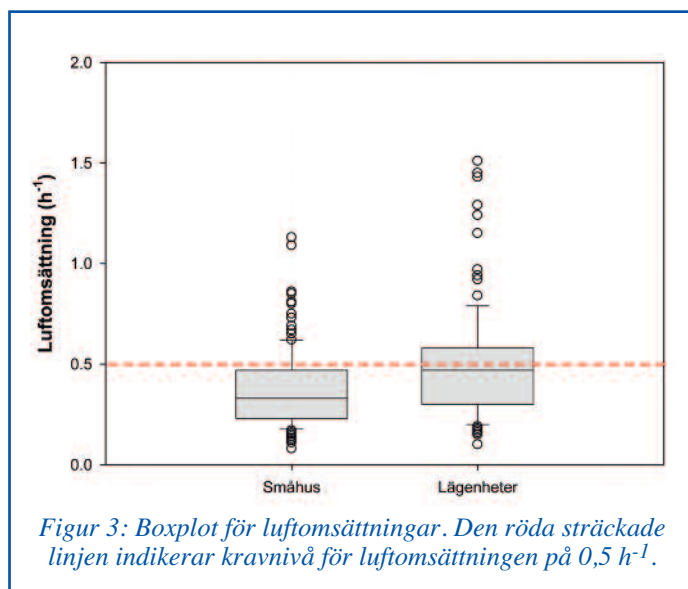
programmet Stata, där man testade skillnader för de mätta parametrarna mellan småhus och lägenheter i flerbostadshus och mellan kategorierna byggår, geografiskt läge och typ av ventilationssystem. Flera olika parametriska och icke-parametriska tester gjordes på alla tillgängliga data för alla parametrar. Multivariat linjär modell tillämpades för att undersöka hur alla parametrarna – både de mätta och de byggnadstekniska – var beroende av varandra.

### Resultat av den fördjupade utvärderingen av Betsi-studien

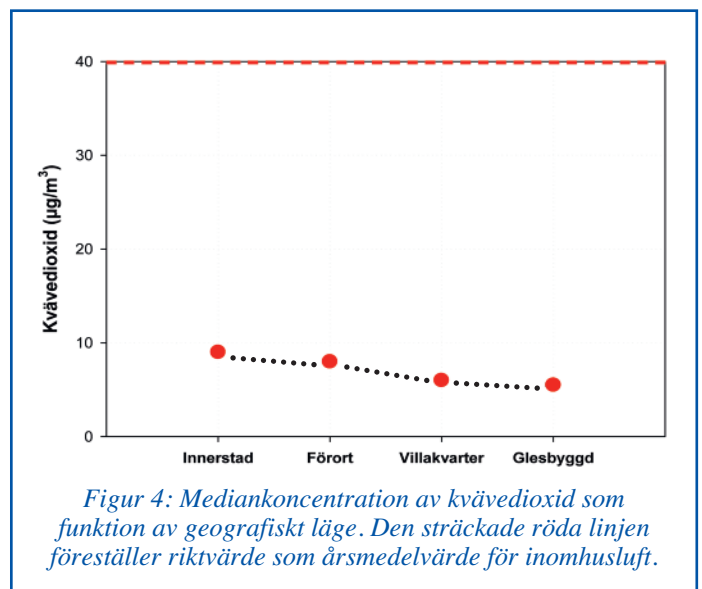
**Temperatur, relativ luftfuktighet och luftomsättning.** Riktvärde för termisk komfort i form av temperaturintervallet 20 till 24 °C rekommenderas av Socialstyrelsen. Enligt Boverkets byggregler borde relativ luftfuktighet hållas under 75 procent för att undvika mögelskador. Me-

delvärdet på temperaturen var lägre för småhus (21,4 °C) än i lägenheter (22,5 °C). Orsaken till denna skillnad kan vara utformning av byggnader såsom flera gemensamma innerväggar och mindre fasadyta eller bero på de boendes beteenden och deras preferenser och uppfattning av trevlig temperatur. Relativ luftfuktighet var å andra sidan högre i småhus och lägre i lägenheter (34 respektive 31 %). Dessa skillnader var statistiskt säkerställda.

Medianvärdet för luftomsättningen i småhus var lägre än för lägenheter (0,33 respektive 0,47  $\text{h}^{-1}$ ) och den skillnaden var också statistiskt säkerställd. Alla mätvärden på luftomsättningen var log-normalt fördelade som stämmer överens med förväntningar för beteendet av miljöföroreningar. I figur 2 visas luftomsättningar (logaritmisk skala) som funktion av så kallad kumulativ frekvens. Om det blir rätta linjer som i vårt fall betyder det att



Figur 3: Boxplot för luftomsättningar. Den röda sträckade linjen indikerar kravnivå för luftomsättningen på 0,5  $\text{h}^{-1}$ .



Figur 4: Mediankoncentration av kvävedioxid som funktion av geografiskt läge. Den sträckade röda linjen föreställer riktvärde som årsmedelvärde för inomhusluft.

mätningen uppför sig som den ska. *Figur 3* visar en boxplot för luftomsättningen. Det är en sammansatt bild av hela statistiken för denna mätparameter. Mittlinjen i boxar föreställer median; det betyder att den ena hälften av alla mätdata ligger över och den andra hälften faller under detta värde. Kanterna av boxar är 25:e och 75:e percentiler; felstaplarna är 10:e och 90:e percentiler. Cirklarna är de tio procent av småhusen eller lägenheterna med de högsta eller lägsta luftomsättningarna. 80 procent av luftomsättningar faller under nivån på  $0,5 \text{ h}^{-1}$  som krävs av Boverket. 85 procent av småhusen och 74 procent av lägenheterna uppfyller inte ventilationskravet. Tidigare svenska studier och en färsk dansk studie visade samma resultat – våra hus är till stor del underventilerade. Om man jämför ventilationsgraden så är den lägre i de Skandinaviska länderna jämfört med i länderna i Sydeuropa. Orsaken till denna observation är att vi har tätare hus på grund av vårt kalla klimat och energibesparande åtgärder samt att det troligen förekommer mindre fönsteröppnande för att vädra. De lägsta luftomsättningarna observerades i bostäder (både småhus och flerbostadshus) byggda under perioden 1971 till 1980. Hus i innerstäder och förorter hade högre ventilationsgrad än hus i villakvarter och i glesbygden. En tredjedel av husen ventilerades genom självdrag, en tre-

djedel med frånluftsventilation och en tredjedel med andra ventilationssystem.

**Kvävedioxid, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen.** Även halterna av de gasformiga luftföroreningarna skiljer sig åt mellan småhus och lägenheter i flerbostadshus.

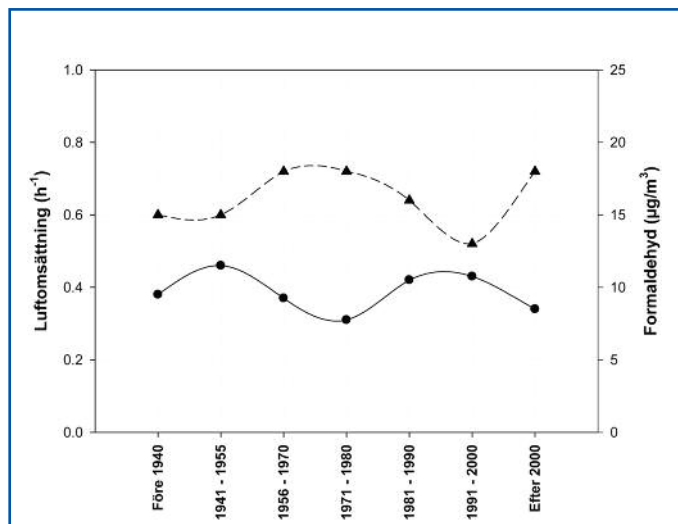
Emission av kväveoxider ( $\text{NO}_x$  är summan av  $\text{NO}$  och  $\text{NO}_2$ ) från bilmotorer och andra förbränningsprocesser är den största källan till kvävedioxid i stadsmiljöer. Kvävedioxid transporteras till inomhusluften från uteluften med ventilationen. Den så kallade ”indoor-to-outdoor ratio” visar förhållandet mellan inne- och utehalter för kvävedioxid mätta samtidigt och är normalt ungefär 1,0 under förutsättning att inga förbränningskällor som till exempel gasspis för matlagning finns inomhus. Det betyder att inomhuskoncentrationer av kvävedioxid helt och hållet är beroende av de aktuella halterna i utomhusluften, både i tid och i rum. Detta borde beaktas i certifieringsprogram för byggnader som använder kvävedioxid som en indikator av luftkvalitet och mäta parallellt inne och ute. Mediankoncentration av kvävedioxid var högre i lägenheter ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) än i småhus ( $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Det riktvärde som praktiskt kan användas för koncentrationen av kvävedioxid i inomhusmiljöer är  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som årsmedelvärde enligt både svensk miljökvalitetsnorm och WHO. Koncentrationen av kväve-

dioxid var lägre än riktvärdet i alla bostäder där mätningen genomfördes och mediankoncentrationer låg långt under. Mätningarna genomfördes två veckor under uppvärmningssäsongen 2007/2008 så resultaten är inte riktigt representativa för hela året. Å andra sidan är halterna av kvävedioxid utomhus högre under vintern än under sommaren. Det är värt att notera att våra resultat representerar vinterförhållanden och att de uppmätta värdena sannolikt inte är underskattade. Den multivariata analysen visade ett svagt men ändå signifikant positivt samband mellan luftomsättningen och inomhuskoncentration av kvävedioxid. Det är konsekvensen av att kvävedioxid har huvudsakligen utomhuskällor. Bostäder med lägre ventilationsgrad – småhus, bostäder i villakvarter och på glesbygden samt hus med självdrag för ventilation hade generellt lägre halter av kvävedioxid. Högre halter i lägenheter beror på högre luftomsättning, och att flerbostadshus oftare finns i innerstäder och förorter där man också kan hitta förhöjda halter av kvävedioxid utomhus. *Figur 4* är en illustration av hur halterna av kvävedioxid varierar med geografiskt läge, det vill säga hur det kan bli när man flyttar till exempel från innerstaden till glesbygden.

Koncentrationerna (medianer) av formaldehyd och TVOC (summan av de flyktiga organiska ämnena) var till skillnad



från kvävedioxid högre i småhus än i lägenheter, se figur 5. De aktuella värdena för formaldehyd var  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i småhus och  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i lägenheter och för TVOC  $236 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i småhus och  $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i lägenheter. Betydligt högre halter av formaldehyd och TVOC påvisades i hus och lägenheter byggda mellan 1955 och 1980. Samtidigt var koncentrationerna lägre i både äldre och nyare byggnader. Koncentrationerna var högre i hus på landet jämfört med i hus i städer och i bostäder med självdrag jämfört med i bostäder med mekanisk ventilation. Multivariatmodellen visade signifikanta negativa samband mellan luftomsättningen och koncentrationerna av formaldehyd och TVOC, det vill säga dessa ämnen har huvudsakligen inomhuskällor. Dessa observationer bekräftar att formaldehyd och flyktiga organiska ämnen har sitt ursprung inomhus och att ventilationen hjälper till att minska halterna, speciellt i nya bostäder. Koncentrationerna av formaldehyd låg mycket under det framtagna riktvärdet på  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (trettio minuters medelvärde; WHO) i alla bostäder förutom en. Enligt det tyska Umwelbundesamt



Figur 5: Luftomsättning och koncentration av formaldehyd (median) som funktion av byggår i alla bostäder.

(motsvarigheten till Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen) innebär  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  av TVOC ingen risk för hälsa eller olägenhet. Median TVOC-värden låg under denna gräns både i småhus och lägenheter.

För varje bostad identifierades och kvantifierades också de tio individuella organiska ämnen som hade de högsta koncentrationerna. Över 120 olika organiska ämnen påvisades i proverna, dock

de flesta väldigt sällan. Bara elva individuella organiska ämnen hittades i mer än 50 procent av alla undersökta bostäder. Bland dessa ämnen fanns terpenen limonen,  $\alpha$ -pinen och 3-karen (doftämnen i parfymer och hushållsprodukter samt i träprodukter), bensen och toluen (avgaser, lösningsmedel), högre aldehyder hexanal och nonanal (material och omvandlingsprodukter från andra ämnen genom inomhusluftkemi), 1-butanol och 2-etyl-1-hexanol (nedbrytningsprodukter av golvmaterial, dålig lukt), hexansyra (stekning av kött) och dekametylcyclosiloxan (kosmetika, deodoranter, hårspray). Exempel på några av dessa kemiska ämnena finns i tabell 1.

## Slutsatser

Koncentrationerna av luftföroreningarna i inomhusluften var i denna studien jämförbara med andra skandinaviska eller nordeuropeiska studier genomförda efter år 2000. I andra världsdelar som Afrika eller Asien kan halterna framförallt av formaldehyd i inomhusluft vara betydligt högre. 80 procent av de svenska bostäderna uppfyller inte ventilationskravet på 0,5 luftomsättningar per timme. Medianvärdet för luftomsättningen var lägre för småhus jämfört med lägenheter (0,33 mot  $0,47 \text{ h}^{-1}$ ). Koncentrationerna av kvävedioxid var lägre och koncentrationerna av formaldehyd och TVOC var högre i småhus än i lägenheter. Arbetet i sin helhet är publicerat i den vetenskapliga litteraturen Langer & Bekö (2013). ■

## Litteratur:

BBR 18: Boverkets byggregler. BSF 1993:57. Boverket 2009.

Boverket september 2009. *Så mår våra hus – redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.* ISBN pdf: 978-91-86342-29-6.

Boverket oktober 2009. *Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa – resultat från projektet Betsi.* ISBN pdf: 978-91-86342-45-6.

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

Umweltbundesamt. Federal Environment Agency of Germany. *Health and Environmental Hygiene. Guide values for indoor air quality.* Available from: <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>.

World Health Organization. *Selected pollutants. WHO indoor air quality guidelines.* Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010. p. 1e454. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf).

Tabell 1: Exempel på några individuella kemiska ämnen som påvisades i större delen av bostäderna.

Namn	Kemisk struktur	Var kommer den ifrån?
Limonen		Parfymer, hushållsprodukter med citrondoften
Hexansyra		Matlagning, främst stekning av kött
Dekametyl-cyclopentasiloxan		Kosmetika, deodoranter, hårspray

## Tackord och avgränsningar

Arbetet med utvärderingen av Betsi-data finansierades av forskningsrådet Formas genom kontrakt nummer 244-2011-222 inom ramen av projektet – Strategi och metodik för bedömning av inomhusluftkvalitet i lågenergibygnader (Smil). IVL Svenska Miljöinstitutet var inte delaktig i framtagandet av mätdata utan detta gjordes av ett annat svenskt forskningsinstitut. Jag vill rikta ett stort tack till Björn Mattsson från Boverket för tillhandahållandet av uppgifter från databasen och svar på otaliga frågor.