

---

---

Rapport SGC 112

# Experimentell utredning om hur gasspisar påverkar exponering för kvävedioxid i bostäder

©Svenskt Gastekniskt Center - Mars 2001

Hans Stymne  
HÖGSKOLAN I GÄVLE

## UPPDRAGETS OMFATTNING

1. Uttestning av experimentell teknik att bestämma sådana parametrar i en lägenhet medgasspis som kan antagas påverka koncentrationen av  $\text{NO}_2$ .
2. Formulering av förslag till fältmätningsteknik för motsvarande parametrar.
3. Provning av förslaget i fält.
4. Diskussion om uppfångningsverkningsgradens betydelse för exponeringen och huruvida Boverkets nuvarande regler avseende ventilation av bostäder är adekvata med hänsyn till utredningsresultatet.

## SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION

Rapporten behandlar vilka faktorer som bestämmer expositionen för kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) i hushåll med gasspis. En matematisk modell som beskriver koncentrationen av  $\text{NO}_2$  som funktion av dessa faktorer har tagits fram. För att kunna simulera koncentrationen av  $\text{NO}_2$  och dess variation med tiden måste vissa av de parametrar som ingår i modellen bestämmas experimentellt i det aktuella fallet. Rapporten beskriver utvecklingen av en teknik att bestämma dessa parametrar i fält. De viktigaste parametrarna är spiskåpens uppfångningsverkningsgrad och ventilationsförhållandena i objektet. Med utgångspunkt i erfarenheterna vid metodutvecklingen har en enkel fältmätningsspecerur föreslagits. Fältmätningstekniken har testats i fält med gott resultat.

Ett omfattande försöksprogram för att undersöka hur spiskåpens uppfångningsverkningsgrad påverkas av sådana faktorer som kåpens höjd över spishällen, ventilationsflödet i spiskåpan, brännarens effekt och brännarens placering på hällen har genomförts. Resultatet visar att uppfångningsverkningsgraden ökar 10-20% i absoluta tal, om spiskåpan sänks från 65 cm (som är föreskrivet för gasspisar) till 50 cm (som är föreskrivet för elektriska spisar. Vid höjden 65 cm måste frånluftsflödet vara i storleksordningen 40 l/s för att uppnå 70% verkningsgrad, medan det räcker med 20 l/s vid höjden 50 cm (vissa resultat indikerar att verkningsgraden kan bli betydligt försämrade vid användning av de främre brännarna vid kåphöjden 65 cm).

Med användning av den framtagna modellen har  $\text{NO}_2$ -koncentrationen i luften simulerats under ett dygn med typisk spisanvändning, under olika antaganden om uppfångningsverkningsgraden, uteluftens koncentration av  $\text{NO}_2$  och värdet på kvävedioxidens reaktiva hastighetskonstant. Ur simuleringarna har korrelationsdata framtagits, som visar att dygnsmedeldosen är approximativt linjärt beroende av uppfångningsverkningsgraden. Korrelationslinjernas lutning är starkt beroende av värdet på den reaktiva hastighetskonstanten, medan dess vertikala höjd är starkt beroende av uteluftens koncentration av  $\text{NO}_2$ . Approximativa korrelationslinjer kan enkelt beräknas med kännedom om lägenhetens ventilationsflöde, den reaktiva hastighetskonstanten och den totalt avgivna mängden  $\text{NO}_2$  från förbränningen.

Resultatet av simuleringarna visar att dosen kan approximeras med summan av den dos som uteluften förorsakar och ökningen av dosen p g a spisanvändning. Dosen p g a spisanvändningen minskar alltså linjärt från maxvärdet då ingen spiskåpa finns till 0 vid 100% uppfångningsverkningsgrad. Värdet på den reaktiva hastighetskonstanten är av största betydelse för dosen vid spisanvändning. Om  $k_r$  är  $1 \text{ h}^{-1}$  kommer inomhusdosen aldrig att överstiga utomhusdosen ens om man inte har någon spiskåpa om utomhuskoncentrationen är  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vid en utomhushalt av  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  måste dock uppfångningsgraden överstiga 50% för att man inte skall överskrida utomhusdosen vid den antagna spisanvändningen. Om  $k_r$  däremot är endast  $0.47 \text{ h}^{-1}$ , måste man ha en uppfångningsverkningsgrad på minst 70% vid utomhuskoncentrationen  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och minst 30% vid  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Med de antagna värdena på källstyrka och ventilation är det alltså inte troligt att den genomsnittliga medeldosen av  $\text{NO}_2$  når upp till i storstadsmiljön vanliga nivåer om spisen är välventilerad och används vid rimliga effekter under kortare tid. Vid oventilerade spisar blir förhållandena det motsatta.

Resultatet av fältmätningen antyder att den reaktiva hastighetskonstanten ligger närmare  $0.5 \text{ h}^{-1}$  än  $1 \text{ h}^{-1}$ . Bestämningen är dock högst osäker. Med tanke på betydelsen av den reaktiva

hastighetskonstanten för slutsatser om dosens storlek syns det mig viktigt att forska vidare om dess verkliga värde och variation i bostadsbeståndet.

I rapporten diskuteras också betydelsen av luftomblandning i lägenheten ingående. Det har visat sig att spisanvändningen radikalt ändrar omblandningsförhållandena i lägenheten, vilket försvårar den experimentella bestämningen av omblandningsparametrar i modellen. Mera forskning behövs på detta område för att erhålla detaljer om exponeringen i olika delar i lägenheten.

Sammanfattningsvis kan konstateras att medeldosen kan fördubblas i förhållande till den som härrör från uteluften i storstadsmiljö, vid normal spisanvändning om ingen spiskåpa används. Vid en uppfångningsverkningsgrad på 70% kan ökningen bli i storleksordningen 30% från de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som förorsakas av uteluften. Om forcering i spiskåpan inte används vid matlagning kan uppfångningsverkningsgraden sjunka till 20-30%. Det förefaller därför viktigt att spisanläggningen utformas så att forceringen måste aktiveras för att tända brännarna. För övrigt bör krav ställas så att uppfångningsverkningsgraden uppfyller 70% även när främre låga används och rörelse förekommer framför spisen. Det förefaller inte realistiskt att kräva högre direkt verkningsgrad än 70%. Däremot bör rekommendationerna eller bestämmelserna gälla den direkta uppfångningsverkningsgraden och inte den verkningsgrad som avses i standardtestning av spiskåpor.

# Innehållsförteckning

<u>Uppdragets omfattning</u>	1
<b>SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION</b>	1
<b>1. INLEDNING</b>	5
1.1 Hälsokonsekvenser av användning av gasspis i bostäder	5
1.2 Problemställningen	5
<b>2. BESKRIVNING AV DE I MODELLEN INGÅENDE PARAMETRARNA OCH VARIABLERNA</b>	5
2.1 Diskussion av parametrarna	6
2.1.1 Materialparametrar	6
2.1.1.1 Emissionshastigheten av NO <sub>2</sub> :	6
2.1.1.2 Reaktiv avklingning	6
2.1.2 Installationsspecifika parametrar	7
2.1.2.1 Uppfångningsverkningsgrad	7
2.1.2.2 Allmänventilation	7
2.1.3. Miljöspecifika parametrar	8
2.1.3.1. Utomhushalt av NO <sub>2</sub>	8
2.1.4 Användningsspecifika variabler	8
2.1.4.1 Användningssätt (inklusive spiseffekt)	8
2.1.4.2 Aktivitetsmönster	8
<b>3. EXPERIMENTELL BESTÄMNING AV PARAMETRAR</b>	9
3.1. Bestämning av uppfångningsverkningsgrad i provlägenheten	9
3.1.1 Resultat	9
3.1.2 Diskussion om uppfångningsverkningsgraden	10
3.2 Bestämning av ventilationsparametrar.	10
3.2.1 Luftens medelålder i de olika rummen.	10
3.2.2 Renande flöde i köket.	11
3.2.3 Förorenings-spridning från köket till övriga rum	12
3.3 Om möjligheten att använda den av lågan alstrade koldioxiden som spårämne för förorenings-spridning från spisen.	13
<b>4. MATEMATISK MODELL OCH SIMULERING AV NO<sub>2</sub>-KONCENTRATIONER</b>	14
4.1 Modell för kvävedioxidens koncentration inomhus vid samtidig kvävedioxid i ventilationsluften och inre källa i gasspis.	14
4.1.1 Not om experimentell bestämning av förorenings-spridningen	16
4.2 Simulering av NO <sub>2</sub> -dos och känslighetsanalys av modellen	16
4.2.1 Simulering av NO <sub>2</sub> -koncentrationen och integrerade dosen.	18
4.2.2 Diskussion om ofullständig omblandning	21

<b>5. FÖRSLAG TILL FÄLTMÄTNINGSPROCEDUR</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Testprocedur för bestämning av uppfångningsverkningsgrad.</b>	22
5.1.1 Typ av spårgas	22
5.1.2 Utrustning för spårgasspridning vid kokkärl	22
5.1.3 Spårgasspridningspunkter	22
5.1.4 Mätpunkter och mätförfarande	22
5.1.5 Beräkningsteknik	23
5.1.6 Mättider	23
5.1.7 Upprepade mätningar	24
5.1.8 Avklingningsförhållanden	24
5.1.9 Normala ventilationsförhållandena i lägenheten.	24
5.1.10 Spridning av föroreningar från köket till övriga bostadsrum	24
<b>6. FÄLTMÄTNINGAR</b>	<b>25</b>
<b>6.1 Försöksuppställning:</b>	25
6.1.1 Injektionspunkter för SF <sub>6</sub> och N <sub>2</sub> O	25
6.1.2 Mätpunkter för spårgaserna.	25
<b>6.2 Resultat</b>	26
<b>6.3 Allmänventilation</b>	27
6.3.1 Mätning med passiv spårgas	27
<b>6.4 Diskussion och jämförelse med NO<sub>2</sub>-mätningar från Stockholms miljöförvaltning</b>	28
<b>6.5 Jämförelse mellan mätning och simulering av NO<sub>2</sub>-koncentration</b>	29
<b>APPENDIX 1. UTVECKLING AV TEKNIK ATT BESTÄMNING DEN DIREKTA UPPFÅNGNINGSVÄRKNINGSGRADEN.</b>	<b>31</b>
<b>1. Inledning</b>	31
<b>2.. Beräkning ur spårgasspridning vid kokkärl.</b>	31
<b>3. Princip för bestämning av (den direkta) uppfångningsverkningsgraden</b>	31
3.1 Bestämning av förhållandet mellan Q <sub>e</sub> och q <sub>SF6</sub>	32
3.2 Mätning av spårgaskoncentrationer	32
3.3 Bestämning av C <sub>e</sub>	32
3.4 Bestämning av C <sub>b</sub>	33
3.5 Bestämning av Q <sub>e</sub>	33
3.6 Bestämning av q <sub>SF6</sub>	33
3.7 Beräkningsalternativ för C <sub>e</sub> och C <sub>b</sub>	34
<b>APPENDIX 2: EXPERIMENT, SAMMANFATTNING</b>	<b>36</b>
<b>APPENDIX 3. BESKRIVNING AV PROVLÄGENHET.</b>	<b>37</b>
<b>Provlägenhet för ventilationsmätningar</b>	37

# 1. INLEDNING

## 1.1 Hälsokonsekvenser av användning av gasspis i bostäder

Åtskilliga undersökningar indikerar att personexponeringen för kvävedioxid är avsevärt högre i hem med gasspis än i hem med elektrisk spis. I de av WHO nyligen antagna riktlinjerna för luftkvalitet (WHO, Air quality guidelines for Europe) rekommenderas en högsta långtidsexposition för kvävedioxid i intervallet 40-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Den huvudsakliga motiveringen är analyser som visar en ökad incidens av sjukdomar i de undre luftvägarna hos barn som i genomsnitt utsätts för en ökad exponering om 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  p g a inomhuskällor.

Det epidemiologiska faktaunderlaget för detta låga gränsvärde är emellertid svagt och får ses som ett uttryck för försiktighetsprincipen. Det är också oklart hur hälsoeffekterna av de kortvariga toppexponeringarna som förekommer i hem med gasspis förhåller sig till effekterna av långvarig lågdosexponering. För en utförligare genomgång av hälsoeffekterna av  $\text{NO}_2$ -exponering hänvisas till Stymne (1999).

## 1.2 Problemställningen

De underliggande frågeställningar som föranlett undersökningen är följande:

- Hur stor är ökningen av expositionen för kvävedioxid i hem med gasspis, jämfört med användningen av elektrisk spis?
- Vilka krav bör ställas på installationer och ventilation för att minimera riskökningen p g a ökad exposition för kvävedioxid?

En mängd vetenskapliga undersökningar har presenterats om exponering för kvävedioxid och dess samband med användningen av gasspis. Så gott som alla sådana undersökningar är av epidemiologisk karaktär, varför utvärderingen är baserad på statistiska analyser av relativt stora undersökningar. Sådana statistiska analyser är av begränsat värde för att dra slutsatser om vilka faktorer som påverkar expositionen i de enskilda fallen, och därmed hur man bäst kan begränsa riskökningen.

I denna undersökningen har jag valt att ställa upp en ventilationsteknisk modell för rumskoncentrationen av kvävedioxid. I denna modell ingår en mängd parametrar och variabler, av vilka några är specifika för installationen och hemmet i fråga och de speciella utomhusmiljöförhållandena som råder.

En central frågeställning för att i det enskilda fallet kunna uppskatta spisanvändningens betydelse för expositionen är därför hur man skall gå till väga för att uppskatta de boendespecifika parametrarna i modellen. Den experimentella delen av undersökningen har därför inriktats på uttestning av teknik för att bestämma olika ventilationsparametrar och spiskåpens uppfångningsförmåga under olika förhållanden. Uttestningen har gjorts i testlägenheten i BMGs laboratorium, men med speciell tanke på att tekniken skall vara enkelt tillämpningsbar i fält.

## 2. BESKRIVNING AV DE I MODELLEN INGÅENDE PARAMETRARNA OCH VARIABLERNÄ

I den experimentella delen av undersökningen ingår endast vad jag kallar de installationsspecifika parametrarna. Dessa parametrar är mer eller mindre givna av

installationen och kan normalt inte ändras utan att installationerna modifieras. Det är också dessa parametrar som kan påverkas genom myndighetskrav eller funktionskrav på spis och ventilationssystem vid installationsarbeten.

De variabler som det är av intresse att undersöka effekten av, är vad jag kallar de användningsspecifika variablerna, d v s sådana som brukarna av spisen kan ha kontroll över. Det bör dock påpekas att spiskåpens uppfångningsförmåga också kan påverkas starkt av hur spisen används och vilken aktivitet det är i köket under användningen. Jag antar dock att spisen används på ett normalt sätt som vid matlagning och att aktiviteten i köket är normal, liknande den som förekommer vid bestämning av uppfångningsverkningsgraden i fält.

### Materialparametrar

emissionshastigheter  
reaktiv avklingning

### Installationsspecifika parametrar

uppfångningsverkningsgrad  
allmänventilation

### Miljöspecifika parametrar

utomhushalt av NO<sub>2</sub>

### Användningsspecifika variabler

användningssätt (inklusive spiseffekt)  
aktivitetsmönster

## **2.1 Diskussion av parametrarna**

### **2.1.1 Materialparametrar**

#### **2.1.1.1 Emissionshastigheten av NO<sub>2</sub>:**

Emissionshastigheten av NO<sub>2</sub> (uttryckt i sorten [ $\mu\text{g},\text{h}^{-1},\text{kW}^{-1}$ ]) varierar framförallt beroende på brännarens konstruktion, men varierar också med typ av bränsle. Ju högre flamtemperaturer är desto mer NO<sub>x</sub> bildas det. Förhållandet mellan NO<sub>2</sub> och totalt NO<sub>x</sub> blir dock högre ju lägre rökgastemperaturen är. Om flammorna t ex slår emot kokkärlestöden kan NO<sub>2</sub>-halten öka avsevärt. Betydande kunskap om emissionshastighetens beroende av sådana faktorer lär finnas hos gasföretagen (uppgift från British Gas), men är svåråtkomlig. Jag har ansett att det ligger utanför uppdraget att forska vidare i detta. Som exempel i beräkningarna har jag genomgående använt en uppgift att emissionshastigheten i spisbrännare är 36000 [ $\mu\text{g},\text{h}^{-1},\text{kW}^{-1}$ ].

#### **2.1.1.2 Reaktiv avklingning**

NO<sub>2</sub> reagerar relativt snabbt i ytkontakt med oxiderbara ämnen. Avklingningshastigheten är alltså starkt beroende på vilka typ av ytmaterial som förekommer i miljön. Efter en värdering av litteraturdata (se Stymne 1999) har jag som realistiskt antagande genomgående använt en första ordningens hastighetskonstant av 1 [ $\text{h}^{-1}$ ], vilket betyder att NO<sub>2</sub> självavklingar till hälften på 0.7 timmar eller till 37 % av utgångskoncentrationen på en timme. Enligt en nyligen publicerad uppgift (Ross 2000), har en analys av BREs (Brittiska byggforskningsinstitutet) databas för hem utan kända inomhuskällor gett en uppskattning av

hastighetskonstanten på 0.84 [h<sup>-1</sup>]. Detta värde innebär en något långsammare avklingning av NO<sub>2</sub> än det antagna men bekräftar å andra sidan att det antagna värdet 1 [h<sup>-1</sup>] är realistiskt. Jag har inte funnit någon anledning att revidera konstanten. Se vidare appendix om mätning i fält.

## **2.1.2 Installationsspecifika parametrar**

### **2.1.2.1 Uppfångningsverkningsgrad**

Spiskåpens uppfångningsverkningsgrad anger hur stor andel av rökgaserna som direkt uppfångas av spiskåpan och alltså inte sprids ut till köket och bidrar till exponeringen för NO<sub>2</sub> och andra föroreningar från spisen. Uppfångningsförmågan beror på en mängd olika faktorer som:

- Brännarens placering på spisen
- Brännarens effekt
- Luftflödet i spiskåpan
- Spiskåpens höjd över hällen
- Spiskåpens utformning
- Temperaturen på kokkärlet
- Luftströmningar i köket

I den experimentella undersökning har de fyra första faktorerna varierats, medan vi genomgående har använt samma typ av spiskåpa och strävat efter att hålla de två sista faktorerna likartade genom försöken. Att upprätthålla samma temperaturförlopp i kokkärlet vid alla försök visade sig dock ogörligt med den typ av termostatering som vi använde. Kokkärlets temperatur hölls i de flesta fall vid ca 80 grader under större delen av förbränningsförloppen, men med "sparlåga" uppnåddes i allmänhet aldrig denna temperatur.

För att simulera "normal" omblandning i köket förorsakad av personer, har en långsamtgående oscillerande fläkt använts.

### **2.1.2.2 Allmänventilation**

Allmänventilationens uppgift är att transportera bort föroreningar som alstras inomhus. De ventilationsparametrar som är av intresse för borttransport av NO<sub>2</sub> är t ex:

- Totalventilationsflödet
- Luftens medelålder i lägenhetens olika rum
- Det renande flödet i köket
- Överföringssannolikheterna från kök till andra rum

De två första parametrarna har mätts i separata försök med aktiv och passiv spårgasteknik. Det renande flödet i köket har uppskattats med spårgasspridning i köket i samband med spisexperimentet. Överföringssannolikheterna från köket till de andra rummen är emellertid mycket svåra att kvantifiera utan omfattande spårgasmätningar. Spridningsmönstret kan emellertid uppskattats från samtidiga mätningar i samtliga rum av spårgas som sprids i köket.

Ventilationsluften bidrar inte bara till att transportera bort NO<sub>2</sub> från lägenheten. Speciellt i storstadsmiljö kan utomhusluften innehålla betydande koncentrationer av NO<sub>2</sub> som dras in med ventilationsluften. På grund av den reaktiva avklingningen innehåller inomhusluften i allmänhet lägre halt av NO<sub>2</sub> än utomhusluften, så att ökat ventilationsflöde bidrar med ett nettotillskott av NO<sub>2</sub> i lägenheten. I de beräkningar som redovisades av Stymne (1999) antogs



att ett forcerat spiskåpsflöde inte bidrog till ökningen av totalventilationsflödet. Så tycks emellertid i allmänhet vara fallet. En forcering av flödet i spiskåpan leder normalt till en motsvarande ökning av tilluftflödet till lägenheten och inte bara till en omfördelning av frånluften. Vid en forcering av spiskåpsflödet från 10 l/s till 20 l/s sker alltså en totalökning av tilluften med 10 l/s. I såväl experimenten som i beräkningarna har jag tagit hänsyn till detta.

### **2.1.3. Miljöspecifika parametrar**

#### **2.1.3.1. Utomhushalt av NO<sub>2</sub>**

Biltrafiken är i Sverige den huvudsakliga källan till exponering för kvävedioxid. I storstäder som Stockholm och Göteborg ligger innerstadsvärdena nära de av WHO rekommendera gränsvärdena (40 µg/m<sup>3</sup>) för långtidsexponering. Betydande lokala och temporala variationer kan förekomma. Beräkningarna utförs med två olika antaganden om utomhuskoncentrationen.

### **2.1.4 Användningsspecifika variabler**

#### **2.1.4.1 Användningssätt (inklusive spiseffekt)**

Som nämnts är emissionshastigheten för NO<sub>2</sub> och spiskåpans uppfångningsverkningsgrad starkt beroende på hur spisen används.

Vid matlagning används oftast en snabb uppvärmning på högsta effekt och en längre stunds färdiglagning på reducerad eller lägsta effekt. Vid beräkningarna antages ett normalförfarande om 10 minuters upphettning på högsta effekt och 20-30 minuters färdigkokning på sparlåga.

Vägning av gasförbrukningen i den använda försöksspisen har gett följande resultat avseende förbränningseffekter, varvid de två största brännarna har använts (antaget förbränningsvärme 13 kWh/kg). Vid simuleringarna antages något högre effekter.

**Tabell 1. Värmeeffekt i W vid olika brännare och inställning**

brännare	full låga	sparlåga
bakre	2000	330
främre	1300	250

#### **2.1.4.2 Aktivitetsmönster**

Förutom på vilket sätt och hur ofta spisen används, är givetvis de boendes vistelsemönster avgörande för den totala dosen de utsätts för. Det kan dock antagas att närvaro i hemmet i genomsnitt är större under matlagningsperioderna och någon timme efter denna än under övrig tid på dygnet. Om medeldosen räknas som orsakad av medelvärdet av ett helt dygns exponering i hemmet, erhålls sannolikt ett undre värde för exponeringsdosen, åtminstone i hushåll i storstäder, där koncentrationen utomhus normalt är större än inomhus. Därför beräknas medelxponering utan hänsynstagande till att man långa stunder vistas utanför hemmet.

### 3. EXPERIMENTELL BESTÄMNING AV PARAMETRAR

#### 3.1. Bestämning av uppfångningsverkningsgrad i provlägenheten

Vid användning av gasspis kommer inte alla förbränningsgaser att direkt extraheras i spiskåpan. En del läcker ut i köket där de bidrar till kontaminering av luften och också sprids till resten av lägenheten. För att karaktärisera förorenings-spridningen från spisen används storheten direkt uppfångningsverkningsgrad ( $\epsilon_d$ ), som anger hur stor andel av emissionerna från spisen som direkt uppfångas i spiskåpan. Andelen ( $1-\epsilon_d$ ) av emissionerna kommer alltså att tillföras köket och bidra till föroreningshalten i lägenheten.

I texten avser beteckningen "uppfångningsverkningsgrad" alltid den direkta uppfångningsverkningsgraden såvida inte annat specifikt anges. Den direkta uppfångningsverkningsgraden skall inte förväxlas med den uppfångningsförmåga som bestäms enligt standardprovning av spiskåpor.

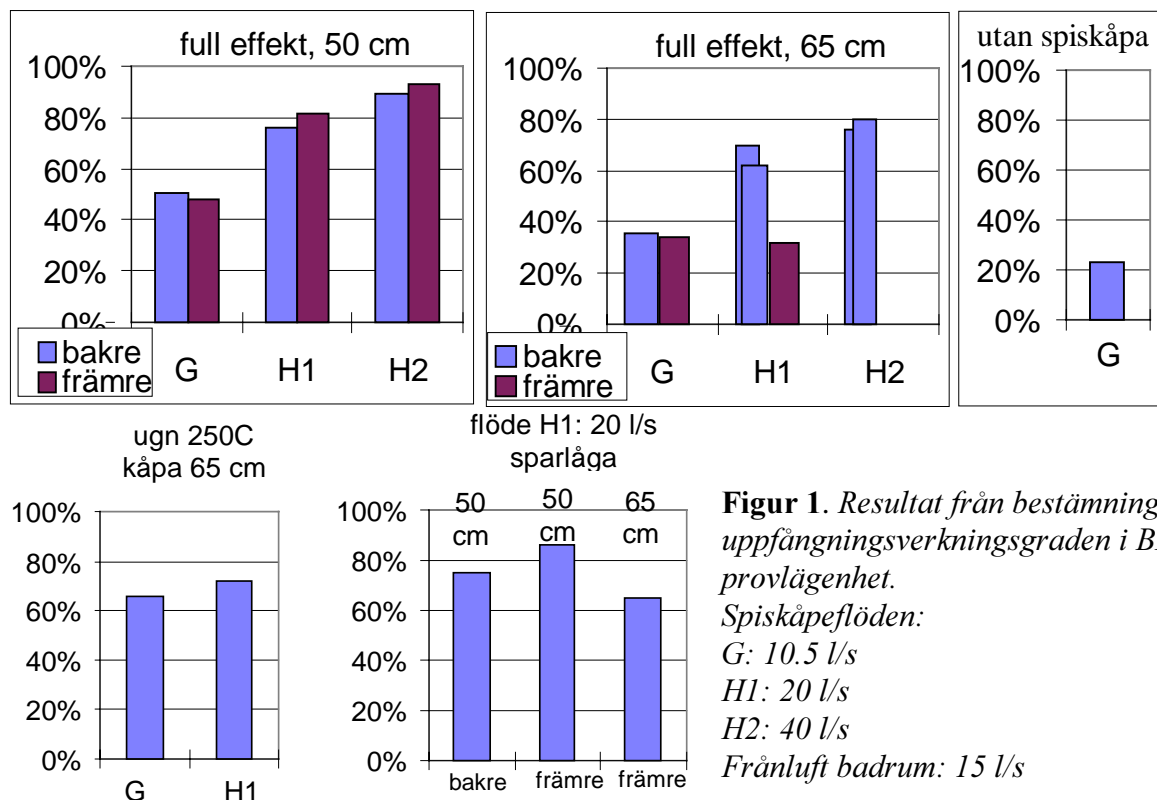
I **appendix 1** beskrivs detaljerat hur vi har gått till väga för att utveckla en teknik för att bestämma spiskåpans uppfångningsförmåga.

Tester har gjorts av uppfångningsförmågans beroende av följande faktorer:

- Brännarens placering på spishällen  
främre brännare  
bakre brännare  
ugn 250 °C
- Brännarens effekt  
full effekt bakre brännare: 2 kW  
full effekt främre brännare: 1.3 kW  
sparlåga bakre brännare: 0.33 kW  
sparlåga främre brännare: 0.25 kW
- Spiskåpans höjd över spishällen  
ingen spiskåpa  
50 cm (minimum för el.spis)  
65 cm (minimum för gasspis enligt elektriska normer)
- Flöde i spiskåpans avluftkanal  
G: grundflöde 10.5 l/s  
H1: forcerat flöde 20 l/s  
H2: forcerat flöde 40 l/s

##### **3.1.1 Resultat**

Resultaten för bestämning av uppfångningsverkningsgraden sammanfattas i diagramform nedan. Fullständig tabell över resultaten redovisas i **appendix 2**.



**Figur 1.** Resultat från bestämning av uppfångningsverkningsgraden i BMGs provlägenhet.  
Spiskåpeflöden:  
G: 10.5 l/s  
H1: 20 l/s  
H2: 40 l/s  
Frånluft badrum: 15 l/s

### 3.1.2 Diskussion om uppfångningsverkningsgraden

Uppfångningsverkningsgraden varierar kraftigt med luftflödet i spiskåpan. Vid grundflödet kommer ca 50% av föroreningarna att transporteras ut i köket om spiskåpan är 50 cm över hällen. Med kåpan 65 cm över hällen spills så mycket som 65% över till köket. För höjden 50 cm är trenden med ökande upptagningsförmåga vid ökande flöde likartad för bakre och främre brännare, medan en mätning vid höjden 65 cm indikerar att uppfångningsförmågan inte förbättras vid forcering vid användning av den främre brännaren på full effekt.

Uppfångningsförmågan påverkas inte av effekten vid 50 cm kåphöjd. Medan den tycks öka avsevärt vid användning av den främre brännaren på sparlåga. Det skall påpekas att bestämningen i vissa fall är behäftad med rätt stor osäkerhet på grund av bristande mätstatistik.

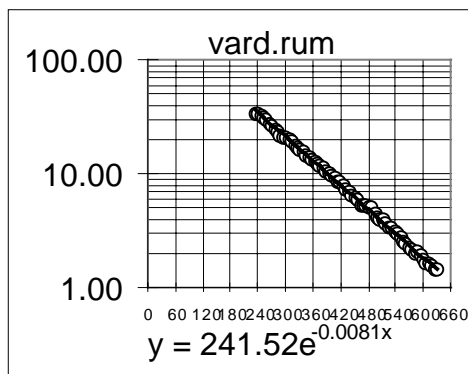
## 3.2 Bestämning av ventilationsparametrar.

### 3.2.1 Luftens medelålder i de olika rummen.

Luftens lokala medelålder i de olika rummen bestämmer vilken deras halt av NO<sub>2</sub>, härrörande från utomhusluften de har. Bestämningen har skett med spårgas på klassiskt sätt med avklingningsteknik, dels med grundflöde (10.5 l/s) i spiskåpan och dels med forcerat (20 l/s) i spiskåpan. Som i alla andra försök har avluftsflödet från badrummet hållits konstant vid 15 l/s.

**Tabell 2.** Luftens lokala medelåldrar bestämda med avklingningstekniken.  
spiskåpsflöde 20 l/s      spiskåpsflöde 10 l/s

	volym m <sup>3</sup>	lokal ålder h	spec. flöde min <sup>-1</sup>	lokal ålder h	spec. flöde min <sup>-1</sup>
bad	12.5	1.37	0.0122	2.14	0.0078
vard.rum	55	1.32	0.0126	2.06	0.0081
sovrum	36.25	1.32	0.0126	2.08	0.008
hall	36.25	1.34	0.0124	2.11	0.0079
kök	35	1.38	0.0121	2.14	0.0078
frånluft		1.38	0.0121	2.14	0.0078
total volym beräkn.	175				
totalflöde		35.3 l/s	127 m <sup>3</sup> /h	22.75 l/s	81.9 m <sup>3</sup> /h



**Figur 2.** Illustration till bestämning av luftens lokala medelålder med avklingningsteknik. Koefficienten i exponenten är negativa värdet av rumsspecifika flödet.

### 3.2.2 Renande flöde i köket.

För att bestämma hur föroreningar som tillförs köket transporteras bort spreds en spårgas (N<sub>2</sub>O - lustgas) i köket. Spårgasen spreds med en liten fläkt som blandar spårgasen med luft, för att undvika densitetseffekter.

Det renande flödet är det luftflöde som bestämmer jämviktsskoncentrationen i källrummet, när föroreningen har nått jämvikt i hela lägenheten.

$$C_j = \frac{S}{U} \quad (1)$$

där  $C_j$  är jämviktsskoncentrationen i källrummet,  $S$  är källstyrkan och  $U$  är det renande flödet. Det visade sig att det renande flödet i köket, varierade något mellan försöken, med ett medelvärde av:

$$U = 43 \text{ l/s vid forcering med kåpflöde } 40 \text{ l/s}$$

$$U = 34 \text{ l/s vid forcering med kåpflöde } 20 \text{ l/s}$$

$$U = 23 \text{ l/s vid grundflödet } 10 \text{ l/s}$$

Variationsmönstret är väntat. Vid låga spiskåpeflöden är det ett stort utbytesflöde mellan kök och hall, vilket innebär att föroreningar från köket sprider sig till hallen, där också badrumsflödet är effektivt för borttransport av föroreningen. Vid låga spisflöden närmar sig alltså det renande flödet totalluftflödet i lägenheten. Vid högre spiskåpeflöden närmar man sig alltmer ett envägsflöde från hall till kök, vilket innebär att endast spiskåpeflödet är effektivt

för borttransport av föroreningar i köket. Luftutbytet mellan kök och hall är emellertid starkt beroende av skillnaden i temperatur mellan köket och hallen. När spisen är tänd ökar temperaturskillnaden kraftigt. Spridningen av föroreningar i köket ökar, och det renande flödet ökar, genom att också badrumsventilationen hjälper till med borttransporten av föroreningar. Allt detta gäller om köksdörren är öppen. Om köksdörren är stängd blir det alltid ett envägsflöde genom köksdörren, och endast spiskåpeflödet bidrar till borttransporten av föroreningar, men i gengäld hindras spridning av föroreningar från köket.

### 3.2.3 Föroreningsspridning från köket till övriga rum

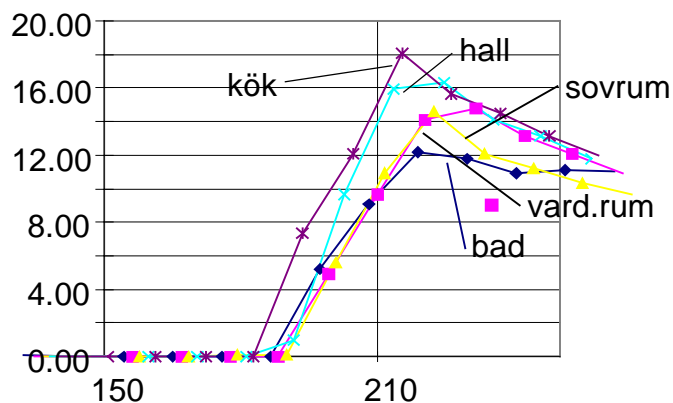
Jämviktsskoncentrationerna av lustgas i de andra rummen i förhållande till källrummet blev med reservation för stora variationer mellan olika försök enligt tabell 3.

**Tabell 3.** Jämviktsskoncentration av lustgas i olika rum i förhållande till koncentrationen i köket

rumsnr		10 l/s	20 l/s	40 l/s
4	hall	82%	30%	20%
1	bad	82%	30-70%	43%
2	vard.rum	66%	30%	10%
3	sovrum	42%	30%	10%
5	kök	100%	100%	100%

Ju högre frånluftflöde man har i spiskåpan, desto mindre blir alltså spridningen av luft från köket till de övriga rummen, vilket kan förväntas på en mer utpräglad envägsströmning genom den öppna köksdörren.

Förhoppningen var att man skulle kunna använda sig av sådana här data på spridningen till andra rum för att beräkna koncentrationerna av NO<sub>2</sub> i andra rum än köket. Det visar sig emellertid att spridningsmönstret förändras radikalt vid spisanvändning. När spisen tänds stiger SF<sub>6</sub>-koncentrationen snabbt i köket och efter en viss tidsfördröjning stiger den också snabbt i de övriga rummen. Efter en halv timmes spisanvändning med spridning av SF<sub>6</sub> i spisen är koncentrationsskillnaderna mellan de olika rummen betydligt mindre än vad försöken utan spisanvändning föranleder en att tro. Anledningen till det ändrade strömningmönstret är sannolikt att spisen värmer luften i köket, vilket radikalt ökar luftutbytet med den kallare luften utanför köket. Den varma luften skiktas vid taknivå och sprider sig genom hela lägenheten, huvudsakligen genom dörröppningarnas övre del, varför koncentrationsförhöjningen i mätpunkterna (på ca 1.5 m höjd) fördröjs tills den varma luften hinner blanda sig i rummen.

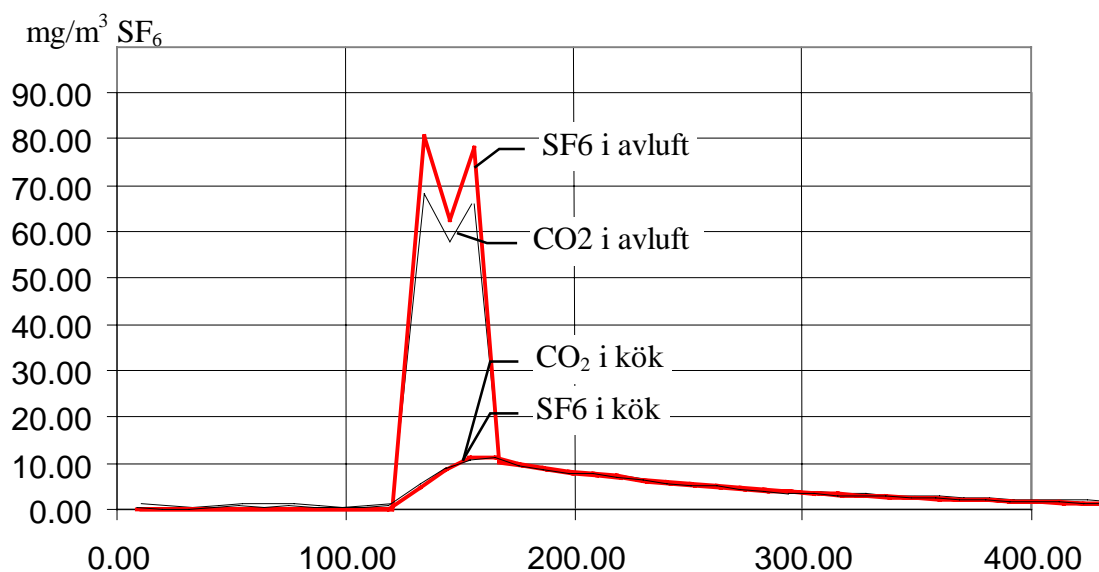


**Figur 3.** Typisk illustration hur spårgasen från spisen snabbt sprider sig från köket till resten av lägenheten vid användning av spisen (grundflöde 10 l/s). (Data från försök 6)

Observationen betyder att den först tilltänkta modellen för föroreningsspridning bör modifieras. Modifieringen innebär ingen beräkningsmässig komplikation, men det försvårar den experimentella bestämningen av föroreningsspridningen från köket. Passiv spårgasteknik kan t ex inte användas för att undersöka spridningsmönstret eftersom den ger resultat gällande huvudsakligen under tid då spisen inte används. Att simulera hur spridningsmönstret ändras p g a temperaturförhöjning i köket när spisen används kan göras med avancerade CFD-beräkningar eller enklare "compartmentmodeller". Compartmentmodellerna förutsätter dock att luftutbytet sker mellan rum med enhetlig temperatur i varje rum. Det är osäkert om en sådan enkel modell ger erforderlig noggrannhet. Förmodligen föreligger temperaturskiktning i varje rum. I vilket fall som helst ligger sådana beräkningar av temperatureffekter utanför uppdragets ram.

### 3.3 Om möjligheten att använda den av lågan alstrade koldioxiden som spårämne för föroreningsspridning från spisen.

Under försöken i lägenheten mättes i de flesta fall koldioxidkoncentrationen i alla rum parallellt med de andra två spårgaserna. Koldioxidkoncentrationen visade sig förlöpa så gott som parallellt med koncentrationen av SF<sub>6</sub> (se figur 4), vilket antyder att det är möjligt att använda koldioxiden som indikator. Det finns emellertid flera problem som gör att bestämningen av uppfångningsverkningsgraden då blir osäker.



**Figur 4.** Jämförelse mellan förloppen av CO<sub>2</sub> och SF<sub>6</sub> i avluft och kök. Observera att koldioxidens bakgrundkoncentration är avdragen och dess koncentration skalad med faktorn 0.016 (Data från försök 13).

- Man måste känna till källstyrkan av CO<sub>2</sub>, dvs hur mycket koldioxid som avges per tidsenhet i lågan. För ett rent bränsle som propan kan den beräknas teoretiskt ur förbrukningen (vilken också är osäker), men för andra bränslen är beräkningen osäker.
- Bakgrundskoncentrationen kan variera på grund av andra källor (människor).
- Man måste göra oberoende mätningar av flödet i kåpan.

Fördelningen av koldioxid mellan de olika rummen utgör dock ett bra mått på spridningen av föroreningar från spisen och kan användas som underlag för överslag av expositionen i olika rum. En annan fördel är att det finns tillgång till billig analysutrustning för koldioxid.

## 4. MATEMATISK MODELL OCH SIMULERING AV NO<sub>2</sub>-KONCENTRATIONER

Den matematiska modellen beskriver hur koncentrationen av NO<sub>2</sub> varierar som funktion av tiden och gasförbränningens effekt. Modellen har beskrivits i rapporten "Utredning angående NO<sub>2</sub>-förorening från gaseldade hushållspisar" (Stymne1999).

Små förändringar har gjorts i modellen vilket framgår i texten. Den viktigaste förändringen är att det nu antages att totalventilationsflödet ökar i samma utsträckning som spisskåpeflödet ökar vid spisanvändningen. Undersökningen visar också att föroreningar från köket sprids effektivt i hela lägenheten när spisen är på, och når i stort sett samma koncentration med en viss tidsfördröjning i alla rum. Detta kan naturligtvis bara gälla i små lägenheter, där dörrarna hålls öppna.

### 4.1 Modell för kvävedioxidens koncentration inomhus vid samtidig kvävedioxid i ventilationsluften och inre källa i gasspis.

Koncentrationen av förorening i rummen kan beskrivas med en superposition av koncentrationerna härrörande från utomhusluften och koncentrationen härrörande från spisemissionen.

Vi har följande parametrar som bestämmer NO<sub>2</sub>-halten inomhus:

$\dot{m}$  = källstyrkan av NO<sub>2</sub> i spisen [ $\mu\text{g}/\text{h}$ ]

$\epsilon$  = spiskåpans uppfångningsverkningsgrad vid effekten i fråga = mängd uppfångad NO<sub>2</sub> dividerad med total avgivning av NO<sub>2</sub> per tidsenhet i spisen

$C_{\text{in}}$  = koncentrationen av NO<sub>2</sub> i uteluften [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$V$  = bostadens totala volym [ $\text{m}^3$ ] (i flerzonsmodellen en matris)

$k_r$  = den reaktiva hastighetskonstanten för NO<sub>2</sub>:s inomhussänkor [ $\text{h}^{-1}$ ]

$C$  = koncentrationen av NO<sub>2</sub> i bostaden (i flerzonsmodellen en vektor)

$Q$  = totala utluftflödet till bostaden (i flerzonsmodellen en matris)

$n$  = specifika ventilationsflödet = utluftflödet dividerat med bostadsvolymen

En lägenhet kan beskrivas som bestående av flera zoner, i vilken varje zon kan anses fullt omblandad. Enligt flerzonsteorin måste koncentrationen av NO<sub>2</sub> då beskrivas med en matrisekvation för massbalanserna av föroreningen i systemets olika delar.

$$\dot{\mathbf{m}} + \mathbf{Q}C_{\text{in}} - \mathbf{Q}C - k_r \mathbf{V}C = \mathbf{V} \frac{dC}{dt} \quad (2)$$

$C$  är de tidsberoende föroreningskoncentrationerna.  $\dot{\mathbf{m}}$  är vektorn som beskriver styrkorna av inre källor i systemet, vilken i vårt fall bara har ett enda element skild från 0 (nämligen i köket).  $Q$  är flödesmatrisen, som beskriver hur friskluften fördelar sig och hur luften rör sig mellan de olika rummen medan  $V$  är den diagonala rumsvolymmatrisen.  $k_r$  är hastighetskonstanten för den reaktiva sänkan för NO<sub>2</sub>.  $C_{\text{in}}$  är utomhusluftens koncentration av NO<sub>2</sub>.

För fullständig lösning av detta ekvationssystem måste man känna till flödesmatrisen  $\mathbf{Q}$ . Det är dock inte möjligt att bestämma den totala flödesmatrisen med rimliga arbetsinsatser i fält. Förhoppningen var att man med passiv spårgasteknik skulle kunna bestämma vissa andra parametrar som ger en information om spridningen av luften i en lägenhet, nämligen sannolikheten för överföring av luft från köket till de andra rummen, samt luftens lokala medelålder i de olika rummen.

Omskrivs ekvation (2) på lämplig sätt erhålls:

$$\mathbf{Q}\mathbf{Q}^{-1}\dot{\mathbf{m}} + \mathbf{Q}\mathbf{C}_{in} - \mathbf{Q}\mathbf{C} - k_r\mathbf{V}\mathbf{C} = \mathbf{V} \frac{d\mathbf{C}}{dt} \quad (3)$$

där  $\mathbf{Q}^{-1}\dot{\mathbf{m}} = \frac{\dot{m}}{s}\mathbf{C}_s$  och  $\mathbf{C}_s$  anger jämviktsskoncentrationerna av en icke reaktiv förorening som sprids i köket med en hastighet  $s$ . Denna koncentrationsvektor kan alltså i princip bestämmas i ett separat experiment med passiv spårgasspridning i köket.

Vi skriver om ekvationen ytterligare en gång

$$\frac{\dot{m}}{s}\mathbf{C}_s + \mathbf{C}_{in} - (\mathbf{1} + k_r\boldsymbol{\tau})\mathbf{C} = \boldsymbol{\tau} \frac{d\mathbf{C}}{dt} \quad (4)$$

där vi har infört transportmatrisen  $\boldsymbol{\tau}$  i stället för  $\mathbf{Q}$ .

När det gäller  $\boldsymbol{\tau}$ -matrisen är det lika svårt att bestämma denna som  $\mathbf{Q}$ -matrisen. Däremot är det möjligt att bestämma radsummorna av  $\boldsymbol{\tau}$ -matrisen, som bildar vektorn för luftens medelåldrar, med hjälp av passiv spårgasteknik.

På grund av svårigheterna att bestämma flödes- eller  $\boldsymbol{\tau}$ -matrisen har jag ansatt ett approximativt förfaringsätt för att modellera rumskoncentrationernas tidsberoende. Bakom approximationen ligger antagandet att koncentrationsändringarna i varje rum förändras exponentiellt mot sitt jämviktsvärde med en tidskonstant av  $(\tau_p/(1+k_r\tau_p))$  där  $\tau_p$  är luftens lokala medelålder. Strikt gäller detta endast när man har full omblandning mellan rummen och alltså alla  $\tau_p$  är lika eller när alla rum är helt separerade från varandra. Simuleringar visar emellertid att approximationen är tillfredsställande även i andra fall.

Koncentrationens tidsutveckling i ett rum från startkoncentrationen  $C(0)$  ansätts alltså enligt denna modell till

$$C(t) = \frac{\frac{\dot{m}}{s}C_s + C_{in}}{(1 + k\tau)} + \left( C(0) - \frac{\frac{\dot{m}}{s}C_s + C_{in}}{(1 + k\tau)} \right) e^{-\frac{1+k\tau}{\tau}t} \quad (5)$$

där olika rum kan karaktäriseras med olika  $C_s$  och olika  $\tau$ .

För fallet fullständig omblandning övergår uttrycket till:

$$C(t) = \frac{\frac{\dot{m}}{V} + \frac{Q}{V}C_{in}}{(\frac{Q}{V} + k_r)} + \left( C(0) - \frac{\frac{\dot{m}}{V} + \frac{Q}{V}C_{in}}{(\frac{Q}{V} + k_r)} \right) e^{-(\frac{Q}{V} + k_r)t} \quad (6)$$

eller



$$C(t) = C_j + (C_0 - C_j)e^{-\left(\frac{Q}{V} + k_r\right)t} \quad (7)$$

där  $C_j$  är steady-state-koncentrationen som ges av uttrycket

$$C_j = \frac{\left(\frac{(1-\varepsilon)\dot{m}}{V} + \frac{Q}{V}C_m\right)}{\left(\frac{Q}{V} + k_r\right)} \quad (8)$$

där även spiskåpens uppfångningsverkningsgrad  $\varepsilon$  har införts.

Om det inte finns några inre källor kan koncentrationerna orsakade av utomhusluften innehåll av  $\text{NO}_2$  (vid fortfarighetstillstånd) beskrivas med matrisekvationen:

$$(\mathbf{1} + k\boldsymbol{\tau})\mathbf{C} = C_m(\mathbf{1}) \quad (9)$$

I den approximativa modellen kan rumskoncentrationen beräknas ur:

$$C = C_m \frac{1}{[1 + k\tau]} \quad (10)$$

där  $\tau$  är luftens lokala medelålder. Ekvation (10) säger att ju längre luften har befunnit sig inomhus, desto lägre är koncentrationen p g a den reaktiva avklingningen.

#### **4.1.1 Not om experimentell bestämning av föroreningsspridningen**

Under experimenten visade det sig att det inte är möjligt att enkelt bestämma koncentrationerna  $C_s$  och luftens medelåldrar  $\tau$  (i ekvation 5) med hjälp av passiv spårgasteknik, så att dessa värden kan användas även under användning av spisen. Det finns två anledningar till detta. Den viktigaste är att strömningsmönstret i lägenheten radikalt ändrar karaktär när spisen är tänd, vilket beror på uppvärmningen av luften i köket. Genom de ökade temperaturdifferenserna ökar lufttransporten kraftigt mellan rummen. I försöklägenheten, där ju dörrarna var öppna ledde detta till en så gott som total omblandning i hela lägenheten. Den andra anledningen är att totalflödet av friskluft också ökar när spisevakueringen forceras, vilket leder till ett annorlunda fördelningsmönster av föroreningen, men framförallt till förändrade värden på luftens ålder i de olika rummen. Åldersfördelningen som erhålls med passiv spårgasteknik är alltså inte användbar vid spisanvändning.

Vid de beräkningar som redovisas i denna rapport har jag därför inte använt mig av den modell som jag förslagit för ofullständigt omblandade system, utan i stället antagit fullständig omblandning i hela lägenheten. Jag anser att detta är fullt tillräckligt för att analysera effekten av spiskåpens uppfångningsverkningsgrad på  $\text{NO}_2$ -koncentrationen. I moderna bostäder förekommer också ofta en öppen planlösning, där man kan vänta sig en god spridning från köket till övriga rum.

#### **4.2 Simulering av $\text{NO}_2$ -dos och känslighetsanalys av modellen**

Om den grundläggande ekvation (7) integreras över ett dygn för att erhålla den integrerade dosen erhålls:

$$\int_0^{24} C(t)dt = \sum_i \left( \int_{t_i}^{t_i+\Delta t_i} C_j^i dt + \int_{t_i}^{t_i+\Delta t_i} C_0^i e^{-\left(\frac{Q}{V}+k_r\right)t} dt - \int_{t_i}^{t_i+\Delta t_i} C_j^i e^{-\left(\frac{Q}{V}+k_r\right)t} dt \right) \quad (11)$$

där  $\Delta t_i$  utgör perioder med olika förhållanden (med index i) under dagen och

$$C_j^i = \frac{\left( \frac{(1-\varepsilon)\dot{m}_i}{V} + \frac{Q_i}{V} C_{in} \right)}{\left( \frac{Q_i}{V} + k_r \right)} \quad (12)$$

$C_0$  kan beräknas genom rekursion från den grundläggande ekvation 7.

$$C_0^{i+1} = C_j^i + (C_0^i - C_j^i) e^{-\left(\frac{Q}{V}+k_r\right)\Delta t_i} \quad (13)$$

och därmed kan man i princip analysera alla möjliga kombinationer av spisanvändning, ventilationsförhållanden och uteluftkoncentrationer.

En generell känslighetsanalys blir alltför komplicerad och svåröverskådlig i det här sammanhanget. Åskådligare information kan erhållas genom att numeriskt beräkna några fall vid samma mönster av spisanvändning, men med olika värden på parametrarna.

Som exempel har jag valt försökslägenheten vid BMG med sådana data som har bestämts experimentellt. För simuleringen har valts ett typiskt användningsmönster enligt tabell 4.

**Tabell 4.** Simulerad spisanvändning

kl	effekt	aktivitet
07.00-07.05	3kW	kaffe
09.30-09.35	3kW	kaffe
11.30-11.40	3kW	potatiskok
11.40-11.50	0.5kW	potatiskok
11.50-12.00	3.5 kW	kok+stek
12.15-12.20	3 kW	kaffe
15.00-15.05	3 kW	kaffe
17.30-17.35	3kW	kok
17.35-17.45	0.5 kW	kok
17.45-17.50	3 kW	stek
18.10-18.15	3 kW	kaffe
21.00-21.05	3kW	te

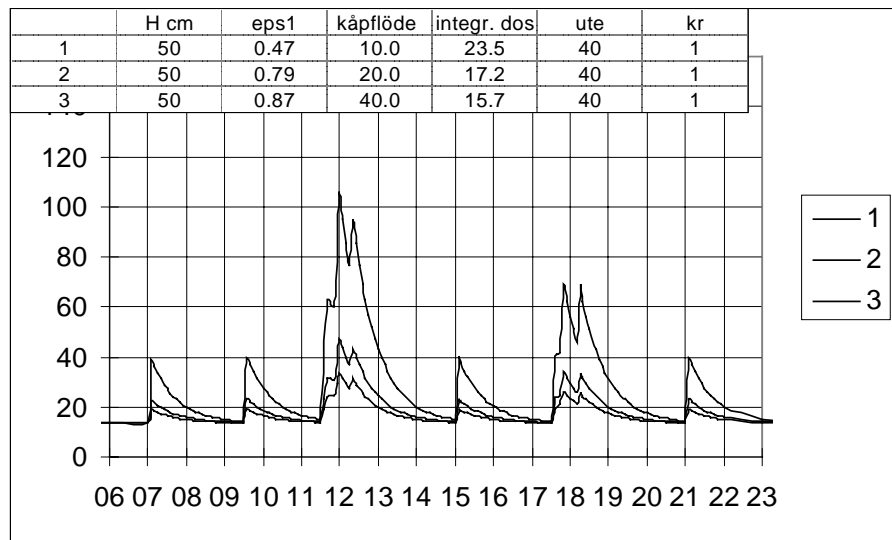
Nedan ges använda värden för andra parametrar under simuleringen.

- $\dot{m}$ : antages proportionell mot effekten = 36000 [ $\mu\text{g}, \text{h}^{-1}, \text{kW}^{-1}$ ] (ur litteratur)
- $\varepsilon$ : uppfångningsförmågan skall enligt BBR vara minst 75% enligt standardtestningen. (Den direkta uppfångningsverkningsgraden kan vara betydligt mindre även om detta uppfylls, p g a skillnaden i definition). Data från experimenten.
- $C_{in}$ : 40 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] vilket är typiskt för storstadsmiljö (ur litteratur), alternativt 15 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
- $V$ : bostadens totala volym är 175  $\text{m}^3$
- $k_r$ : mycket varierande värden anges men 1 [ $\text{h}^{-1}$ ] tycks vara typiskt, alternativt användes 0.47 [ $\text{h}^{-1}$ ], som uppskattades från fältprovningenslägenheten.
- $n$ : 0.5 [ $\text{h}^{-1}$ ], skall också enligt BBR vara minst 0.5 [ $\text{h}^{-1}$ ] men är ofta lägre

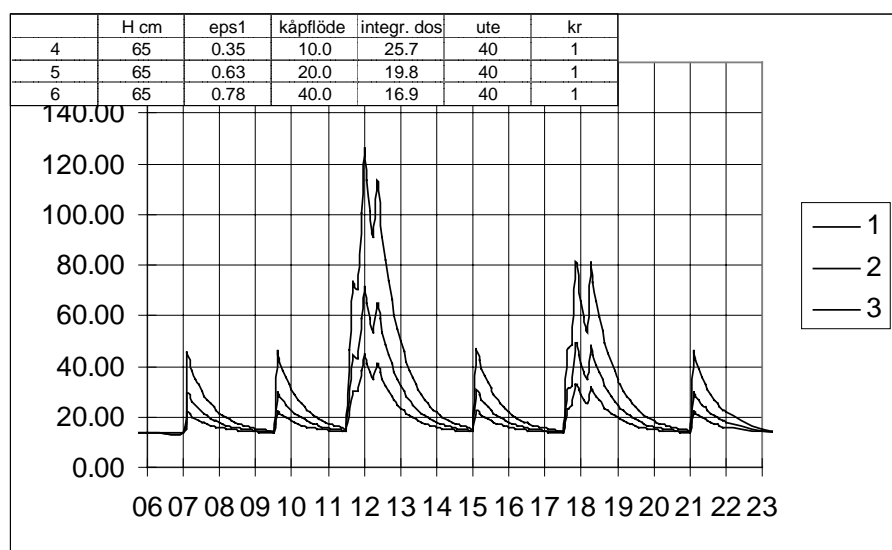
- $Q = n \cdot V = 90 \text{ m}^3/\text{h}$ . Vid forcering av spiskåpeflödet antages att det totala tillflödet av uteluft till lägenheten ökar lika mycket som forceringen. Om t ex flödet i spiskåpan ökar från 10 l/s till 40 l/s vid spisanvändning, så ökar också det totala tilluftsflödet till lägenheten med 30 l/s utöver grundflödet. I den tidigare rapporten till Birka Energi (Stymne 1999) antogs att totalflödet till lägenheten är oförändrat vid forcering.

#### 4.2.1 Simulering av NO<sub>2</sub>-koncentrationen och integrerade dosen.

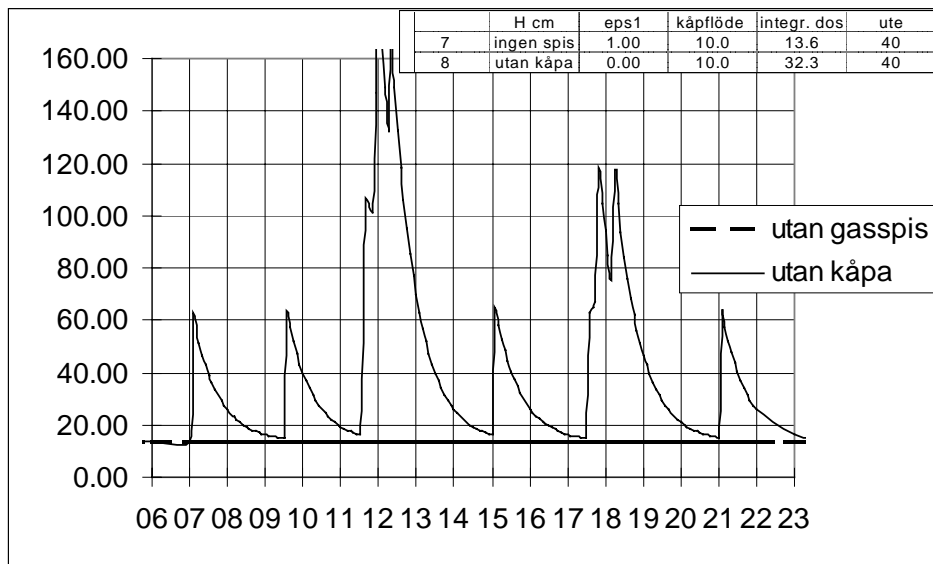
Resultatet av simuleringen visas i figur 5a-5c, för spiskåpehöjden 50 och 65 cm, med de uppmätta uppfångningsverkningsgraderna vid olika spiskåpeflöden.



**Figur 5a.** Simulerad koncentration vid kåphöjd 50 cm



**Figur 5b.** Simulerad koncentration vid kåphöjd 65 cm



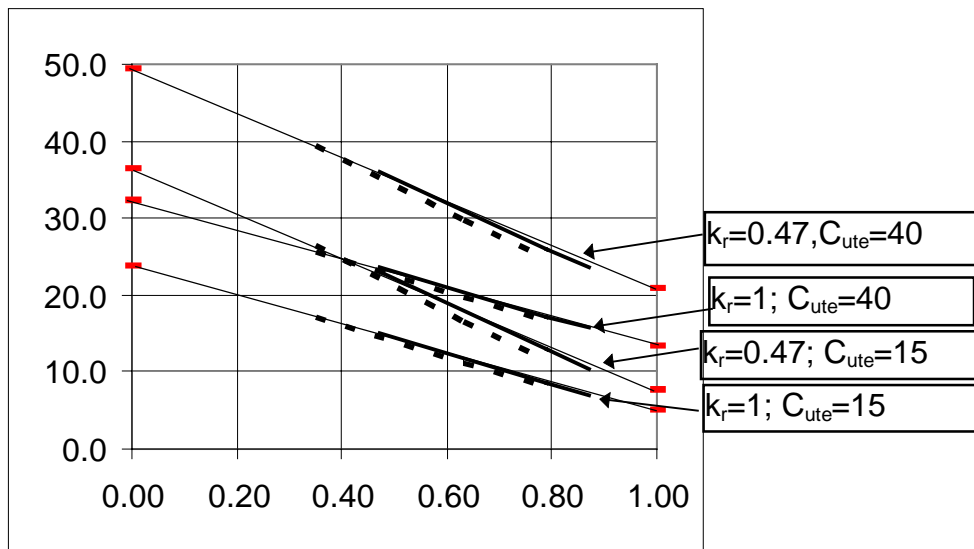
**Figur 5c.** Simulerad koncentration utan kåpa samt utan NO<sub>2</sub>-emission

De från hälsosynpunkt intressanta storheterna är max.koncentrationer och medeldos. I fortsättningen anges dygnsmedeldosen (kallas även integrerad dos) som ett timmedelvärde av exponeringen över dygnet. I tabell 5 visas de integrerade doserna vid olika förhållanden gällande spiskåpehöjd, uppfångningsverkningsgrad, utomhuskoncentration och den reaktiva hastighetskonstanten.

**Tabell 5.** Integrerad dos vid olika förhållanden

H cm	$\epsilon$	kåpflöde l/s	$C_{ute}=40$	$C_{ute}=40$	$C_{ute}=15$	$C_{ute}=15$
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
			integr. dos $k_r=1 \text{ h}^{-1}$	integr. dos $k_r=0.47 \text{ h}^{-1}$	integr. dos $k_r=1 \text{ h}^{-1}$	integr. dos $k_r=0.47 \text{ h}^{-1}$
50	0.47	10.0	23.5	36.1	15.0	23.0
50	0.79	20.0	17.2	26.0	8.6	12.9
50	0.87	40.0	15.7	23.6	7.0	10.3
65	0.35	10.0	25.7	39.5	17.2	26.4
65	0.63	20.0	19.8	29.8	11.2	16.7
65	0.78	40.0	16.9	25.2	8.2	11.9
ingen spis	(1)	10.0	13.6	20.9	5.1	7.8
utan kåpa	(0)	10.0	32.3	49.5	23.8	36.4

I diagrammet i figur 6 har den integrerade medeldosen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) plottats som funktion av uppfångningsverkningsgraderna för de olika fallen. För varje fall ligger dosen på en rät linje.



**Figur 6.** Diagram som visar hur den integrerade dygnsdosen förändras med uppfångningsverkningsgraden vid olika förhållanden. De heldragna grova linjerna anger resultatet för spiskåpan på 50 cm, medan de streckade avser 65 cm höjd. De tunna linjerna sammanbinder dosen utan gasspis ( $\epsilon=1$ ) med dosen för gasspis utan spiskåpa ( $\epsilon=0$ ).

Som framgår av figur 6 ansluter kurvorna ganska väl till de räta korrelationslinjer som sammanbinder den punkt vid  $\epsilon=1$  som anger vilken medeldos som erhålls utan gasspis och den punkt vid  $\epsilon=0$  som anger vilken dos som erhålls om spiskåpa saknas. Dessa två punkter kan relativt lätt beräknas:

$$dos_{\epsilon=1} = \frac{C_{ute}Q}{Q + k_r V} \quad (14)$$

$$dos_{\epsilon=0} = \frac{C_{ute}Q + \frac{m_{tot}}{24}}{Q + k_r V} \quad (15)$$

där  $m_{tot}$  är den totala mängden avgiven  $\text{NO}_2$  på ett dygn.

Vi kan alltså göra en relativt bra uppskattning av den medeldos som erhålls vid olika spisanvändning och olika uppfångningsverkningsgrader bara genom att interpolera linjärt mellan de två ytterlighetspunkterna. Felet blir mindre än 10%, förutsatt att man känner de ingående parametrarna: utomhuskoncentrationen, ventilationsflödet (grundflöde utan forcering), den reaktiva hastighetskonstanten, avgiven mängd  $\text{NO}_2$  per dygn och uppfångningsverkningsgraden. Avvikelserna från korrelationslinjen beror på att ett högre flöde än grundflödet används vid spisanvändningen. Ju högre flöde som behövs för att upprätthålla en viss uppfångningsverkningsgrad, desto större blir avvikelserna. Man gör dock alltid en överskattning av timmedeldosen vid interpoleringen, vilket är bra ur säkerhetssynpunkt.

Som framgår av resultatet är värdet på den reaktiva hastighetskonstanten av största betydelse för dosen vid spisanvändning. Om  $k_r$  är  $1 \text{ h}^{-1}$  kommer inomhusdosen aldrig att överstiga utomhusdosen ens om man inte har någon spiskåpa om utomhuskoncentrationen är  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vid en utomhushalt av  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  måste dock uppfångningsgraden överstiga 50% för att man

inte skall överskrida utomhusdosen vid den antagna spisanvändningen. Om  $k_r$  däremot är endast  $0.47 \text{ h}^{-1}$ , måste man ha en uppfångningsverkningsgrad på minst 70% vid utomhuskoncentrationen  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och minst 30% vid  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Med de antagna värdena på källstyrka och ventilation är det alltså inte troligt att den genomsnittliga medeldosen av  $\text{NO}_2$  når upp till i storstadsmiljön vanliga nivåer om spisen är välventilerad och används vid rimliga effekter under kortare tid. Vid oventilerade spisar blir förhållandena det motsatta.

#### **4.2.2 Diskussion om ofullständig omblandning**

Beräkningarna ovan har gjorts med antagande om fullständig omblandning i lägenheten. Vid öppna planlösningar sprids också föroreningar effektivt från köket till övriga utrymmen. Om dörren till köket däremot är stängd, uppträder envägsströmning till köket. Uppskattningen av dosen i köket kan därvid göras på exakt samma sätt, men då skall totalflödet  $Q$  ansättas till spiskåpeflödet. Frånluft i andra delar är då inte tillgänglig för borttransport av  $\text{NO}_2$  och andra föroreningar från köket. Vidare skall systemvolymen sättas till volymen av köket. Övriga utrymmen kan antagas fria från  $\text{NO}_2$ . Vid andra fall av ofullständig omblandning blir förhållandena mera svårberäkningsbara.

Förslagsvis kan en uppfattning om hur dosen fördelar sig på de olika rummen erhållas genom att vid bestämningen av uppfångningsförmågan med spårgas också mäta spårgasens ( $\text{SF}_6$ ) i köket och de övriga rummen. Förhållandena mellan spårgaskoncentrationerna vid en tidpunkt då avklingningen efter spisens avstängning närmar sig ett exponentiellt förlopp, kan användas för att vikta den beräknade dosen. Härvid jämförs rumskoncentrationen med den rumsvolymviktade koncentrationen. Förhållandet kan användas för att korrigera den beräknade dosen enligt den förenklade modellen  $dos_{\text{ber}}$  där fullständig omblandning antages.

$$w_i = \frac{c_i \sum V_i}{\sum V_i c_i}; \quad dos_i \approx w_i dos_{\text{ber}} \quad (16)$$

I början på detta kapitel angavs ett sätt att mera exakt uppskatta effekten av ofullständig omblandning, utan att hela flödesmatrisen måste bestämmas. Metoden går ut på att bestämma jämviktswärdet för koncentrationerna av en passiv förorening som sprids i köket. Problemet är att spridningsbilden förändras då spisen används. Detta faktum tillsammans med att man inte kan mäta jämviktswärden då spisen används gör att metoden har begränsat värde. Här krävs ytterligare forskning.

## 5. FÖRSLAG TILL FÄLTMÄTNINGSPROCEDUR

Förslaget till fältmätningsspecifikation är anpassad efter de erfarenheter som vunnits under utvecklingsarbete i lägenhet och testningen i fält.

### 5.1 Testspecifikation för bestämning av uppfångningsverkningsgrad.

#### **5.1.1 Typ av spårgas**

Använd spårgas skall vara opåverkad av värme och skall inte vara brännbar. Svavelhexafluorid eller dikväveoxid (lustgas) är lämpliga gaser.

#### **5.1.2 Utrustning för spårgasspridning vid kokkärl**

Spårgasen skall spridas med konstant hastighet i periferin av ett termostaterat kokkärl, vars diameter skall vara avpassad till den brännare som skall undersökas (se figur A1 i appendix 1).

Termostatering kan enklast ske med öppen kondensor som kyls med kallvatten från tappvattenkran. Innan mätningen börjas skall vattnet värmas till kokpunkten.

#### **5.1.3 Spårgasspridningspunkter**

Spårgasflödet justeras så att lämplig signal erhålls i analysatorn. Spårgasflödet behöver inte vara känt för att mäta uppfångningsverkningsgraden, men bör vara det eftersom det tillåter bestämning av tilluftflödet.

Spårgasen leds via en trevägsventil så att det opåverkat kan skiftas genom tre lika långa slangar, som går till följande tre fördelningspunkter:

- 1 Spiskåpens avsug så nära öppningen mot spiskåpens undre del att all injicerad spårgas dras in i avluften och ingenting läcker ut till köket
- 2 Fördelarröret på kokkärlet
- 3 Utomhusluften via ett nyckelhål, brevinkast, uteluftintag eller annan minimal öppning i lägenheten.

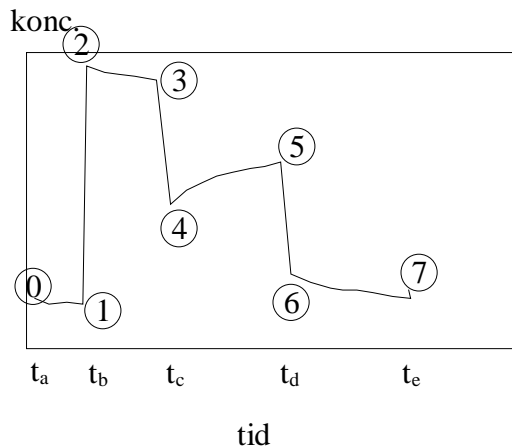
Spårgastuben placeras med fördel utanför lägenhet (ex.vis i trapphall) för att undvika ofrivilligt läckage till lägenheten.

#### **5.1.4 Mätpunkter och mätförfarande**

Anledningen till att spårgasflödet skall kunna skiftas mellan dessa tre punkter är att mätningar i frånluftskanalen skall ske i följande tre fall med oförändrat flöde.

- 1 Bakgrundsmätning utan spårgastillförsel, vilket ger begynnelsekoncentrationen av spårgas i köket. Spårgasflödet är då skiftat till utomhusluften.
- 2 Mätning med 100% uppfångningsverkningsgrad, vilket ger summan av begynnelsekoncentrationen i köket och koncentrationen motsvarande spårgasens utspädning med avluftsflödet. Spårgasflödet är då skiftat till spiskåpens avsug - punkt 1 ovan.
- 3 Mätning med spårgasspridning i kokkärlets periferi - punkt 2 ovan. Koncentrationen motsvarar då summan av den aktuella koncentrationen i köket och koncentrationen motsvarande utspädning av den direkt uppfångade spårgasen med avluftsflödet.

Koncentrationerna i de olika fallen illustreras schematiskt i diagrammet i figur 7.



**Figur 7.** Schematisk illustration till hur koncentrationerna i frånluften ändras med tiden då injektionspunkterna skiftas.

$t_a-t_b$  : 0-1 ingen injektion  
 $t_b-t_c$  : 2-3 injektion i avluft  
 $t_c-t_d$  : 4-5: injektion i kokkärlet  
 $t_d-t_e$  : 6-7: ingen injektion

Med hänvisning till beteckningarna i diagrammet beräknas följande koncentrationvärden:

- $C_1$  koncentrationen under tiden  $t_a-t_b$  extrapolerad till  $t_b$
- $C_2$  koncentrationen under tiden  $t_b-t_c$  extrapolerad till  $t_b$
- $C_3$  koncentrationen under tiden  $t_b-t_c$  extrapolerad till  $t_c$
- $C_4$  koncentrationen under tiden  $t_c-t_d$  extrapolerad till  $t_c$
- $C_5$  koncentrationen under tiden  $t_c-t_d$  extrapolerad till  $t_d$
- $C_6$  koncentrationen under tiden  $t_d-t_e$  extrapolerad till  $t_d$

Extrapoleringen bör göras med minsta kvadratmetoden, varvid  $C_1$  och  $C_6$  bör bestämmas med exponentiell anpassning, medan de övriga kan göras med linjär anpassning. Vid bestämning av  $C_6$  skall inga mätningar tas med i anpassningen som härrör från de första 2 minuterna efter avslutad injektion.

### **5.1.5 Beräkningsteknik**

Med spårgasflödet betecknat "S" beräknas följande storheter:

$$\text{Spiskåpeflödet } Q_s = \frac{S}{C_2 - C_1} \quad (17)$$

$$\text{Uppfångningseffektiviteten vid } t_d \quad \varepsilon_d' = \frac{(C_3 - C_4)}{(C_2 - C_1)} \quad (18)$$

$$\text{Uppfångningseffektiviteten vid } t_e \quad \varepsilon_d'' = \frac{(C_5 - C_6)}{(C_2 - C_1)} \quad (19)$$

$$\text{Uppfångningseffektivitet (medelvärde)} \quad \varepsilon_d = \frac{\varepsilon_d' + \varepsilon_d''}{2} \quad (20)$$

### **5.1.6 Mättider**

På grund av normalt kraftiga variationer av spårgaskoncentrationen i avluften då spårgasen sprids vid kokkärlet, måste ett tillräckligt antal koncentrationmätningar göras för att få



tillfredsställande statistik under tiden  $t_d-t_e$ . Under övrig tid kan koncentrationssvängningarna vara betydligt lugnare.

### **5.1.7 Upprepade mätningar**

Tack vare att bakgrundskoncentrationen (utan spårgasspridning) i köket mäts före ( $C_1$ ) och efter ( $C_6$ ) försöket, kan försöket upprepas t ex med en annan spiseffekt, brännare eller spiskåpeflöde utan att spårgasen behöver vädras ut mellan omgångarna.

### **5.1.8 Avklingningsförhållanden**

Efter avslutade mätningar av uppfångningseffektiviteten bör fortsatta mätningar göras utan spårgasflöde och med normalt grundflöde under minst så lång tid att koncentrationen i avluften sjunker till en tredjedel av begynnelsekoncentrationen. Detta tillåter beräkning av tidskonstanten för bortventilering av föroreningar i köket. Tidskonstanten erhålls som inverterade värdet av lutningen i en logaritmisk plot av koncentrationen mot tiden.

### **5.1.9 Normala ventilationsförhållandena i lägenheten.**

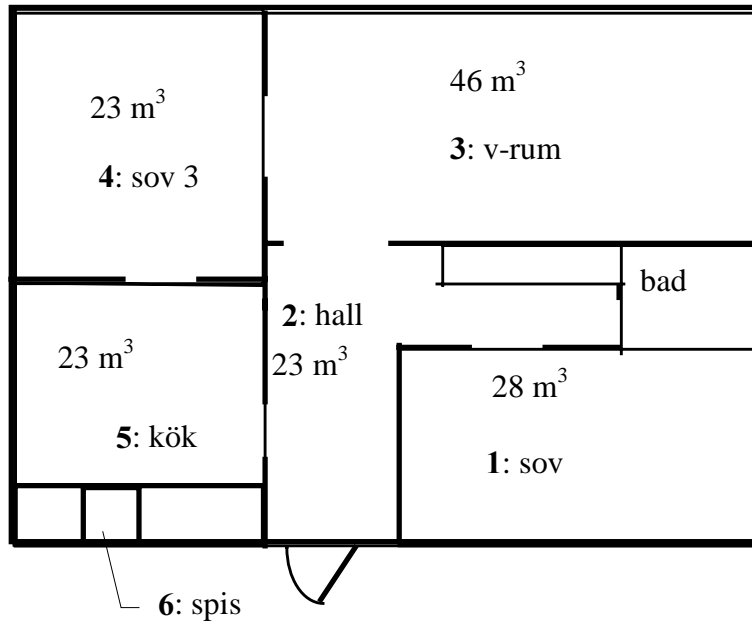
För beräkning av nivån av kvävedioxid som dras in med ventilationsluften behöver man känna till medelvärdet av luftens uppehållstid i olika rum. Detta görs genom att mäta luftens lokala medelåldrar i alla bostadsrum med den passiva spårgasteknik som finns beskriven i Nordtest NT VVS 118.

### **5.1.10 Spridning av föroreningar från köket till övriga bostadsrum**

Det har visat sig att spridningsbilden från köket till övriga lägenhetsutrymmen skiljer sig avsevärt när spisen används i förhållande till vad som gäller vid normala förhållanden. Passiv spårgasteknik som ger medelvärden över lång tid kan därför inte användas för att erhålla sådana data för de tider då spisen används.

## 6. FÄLTMÄTNINGAR

Provning av tekniken har skett i en 177 m<sup>3</sup> stor 3-rums lägenhet i Blackeberg (figur 8) utanför Stockholm den 24 februari. Gasspisen i köket är försedd med en spiskåpa med ett grundflöde och forceringsmöjlighet med hjälp av en i kåpan inbyggd fläkt.



Figur 8. Skiss över Blackebergslägenheten

### 6.1 Försöksuppställning:

#### 6.1.1 Injektionspunkter för SF<sub>6</sub> och N<sub>2</sub>O

- SF<sub>6</sub> i samma termostaterbara kokkäril som användes i experimentlägenheten (se **appendix 1**), placerad på spisens bakre stora kokplats
- SF<sub>6</sub> strax under fläkten, men ovanför fettfiltret
- N<sub>2</sub>O på ca 1 m höjd ca 1.5 m från spisen mot ingången från hallen

#### 6.1.2 Mätpunkter för spårgaserna.

Provtagnings slang drogs från analysatorn till provtagningspunkt i avluftskanalen ca 0.6 m ovanför fläkten. Slangen stacks in i ett för ändamålet uppborrat hål i kanalen och riktades snett uppåt.

70 cm framför spisen på en höjd av 90 cm blandades luftprover från 4 punkter längs spisens bredd.

Provtagnings slangar drogs till alla rum samt hallen där luftprov drogs från ungefär mitt i rummen på en höjd av 60-80 cm.

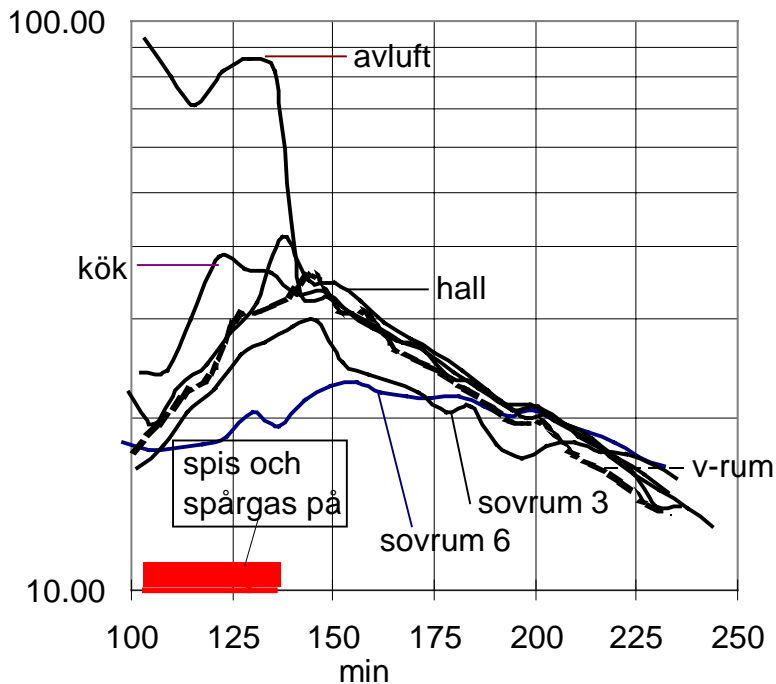
Spårgasflaskorna med tillhörande rotametrar placerades först i köket. Efter igångsättning av lustgasflödet och påbörjande av mätningarna upptäcktes att stora mängder N<sub>2</sub>O läckt ut i lägenheten på grund av ett läckage mellan strypventil och rotameter. Försöket fick därför avbrytas och lägenheten vädras ut. Felet kunde inte åtgärdas på plats, varför

lustgasmätningarna ströks från programmet. För säkerhets skull placerades sedan flaskan med svavelhexafluorid och rotameter i trapphallen, medan injektionsslangen drogs genom brevlådeöppningen. SF<sub>6</sub> spreds med en hastighet enligt rotametern av 31.2 ml/min. Försöket utfördes med båda dörrarna till köket öppna. Även de andra dörrarna var öppna, utom till badrummet.

## 6.2 Resultat

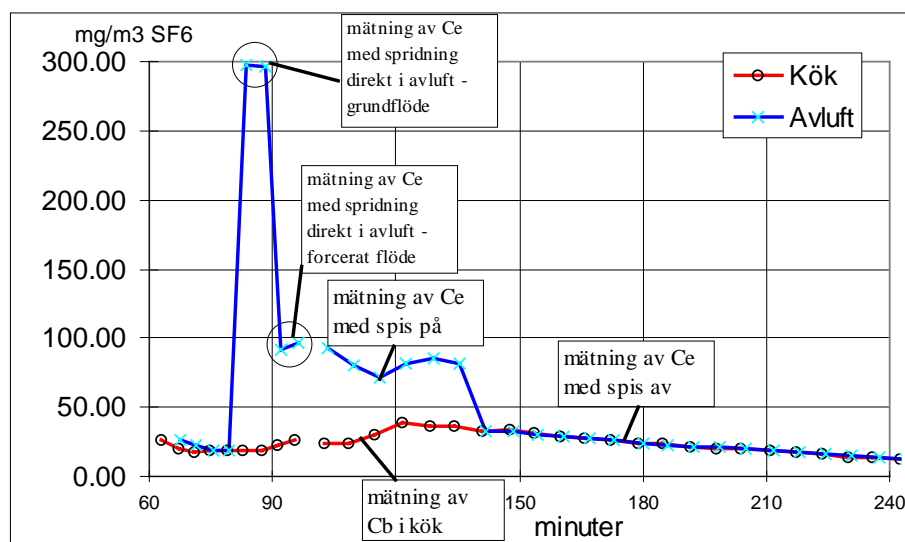
I figur 8 visas hur spårgaskoncentrationen ändras med tiden under experimentet.

mg/m<sup>3</sup> SF<sub>6</sub>



**Figur 8.** Variation av SF<sub>6</sub> i olika mätpunkter under spridning av spårgasen vid kokkärlet

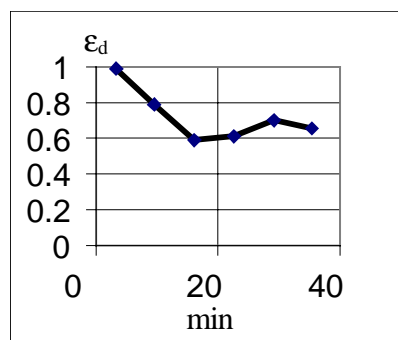
Figur 9 illustrerar hur bestämningen av uppfångningsverkningsgraden beräknas.



**Figur 9.** Mätvärden för bestämning av uppfångningsverkningsgrad.

Beräkning av grundflöde: 11 l/s  
Beräkning av forceringsflöde: 45 l/s

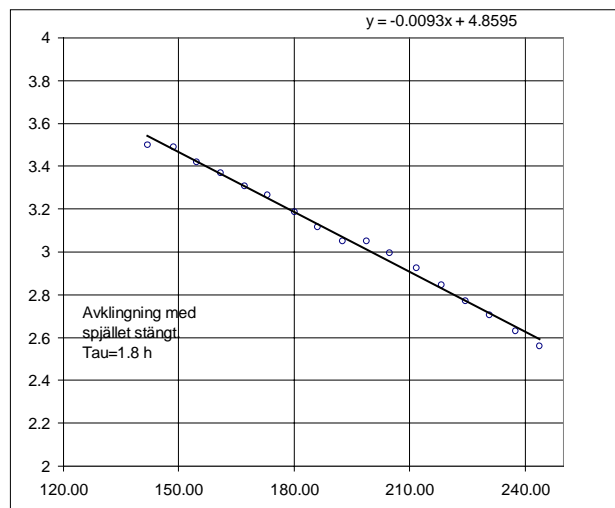
Beräkning av uppfångningsverkningsgraden visar kraftiga variation enligt figur 10.



**Figur 10.** Variation av uppfångningsverkningsgraden som funktion av tiden.

### 6.3 Allmänventilation

Avklingningen efter spisens avstängning kan användas för att få ett mått på ventilationen i köket utan forcerat flöde. Figur 11 visar resultatet av avklingningsberäkningen. Luftens medelålder i köket beräknades till 1.8 timmar, motsvarande en luftomsättning av  $0.56 \text{ h}^{-1}$  eller 26 l/s. Forceringen bidrar med ytterligare 34 l/s. Vardagsrummet och hallen har ungefär samma ventilationsförhållande, medan de två sovrummen uppvisar något sämre ventilation.



**Figur 11.** Logaritmiskt diagram över avklingningen i köket för bestämning av ventilationsflödet under grundflöde i spiskåpan

#### 6.3.1 Mätning med passiv spårgas

Mätning av allmänventilationen med passiv spårgasteknik har utförts genom Stockholms miljöförvaltning med Pentiaq's homogenspridningsteknik och Nordtestmetoden NT-VVS 118 "Local mean age of air - homogeneous emission techniques.

Enligt den passiva spårgasmätningen erhöles resultat enligt tabell 6.

**Tabell 6.** Resultat från den passiva spårgasmätningen.

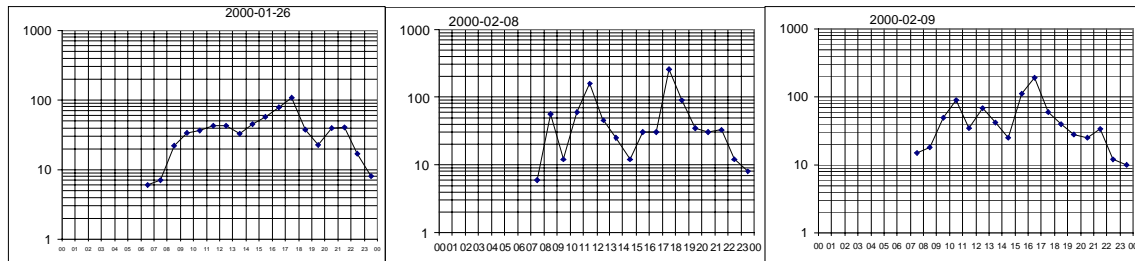
rum	hall	kök	sov 3	v-rum	bad	sov 6	mede	medel l/s
lokal medel-ålder [h]	1.02	1.27	1.40	1.14	1.24	37		

Mätningen med den passiva spårgastekniken gjordes under tiden 26 januari till 14 februari och visar på genomsnittligt betydligt bättre ventilation än mätningen vid spisförsöket. Detta gäller speciellt i köket. Anledningen är inte känd, men kan bero på skillnaden i utomhustemperaturen vid de två tillfällena.

## 6.4 Diskussion och jämförelse med NO<sub>2</sub>-mätningar från Stockholms miljöförvaltning

Preliminära data från mätning av NO<sub>2</sub>-koncentrationen i lägenheten under tiden 26 januari till 14 februari finns tillgängliga.

Diagram i figur 12 visar resultat från fältmätningar för 3 dagar.



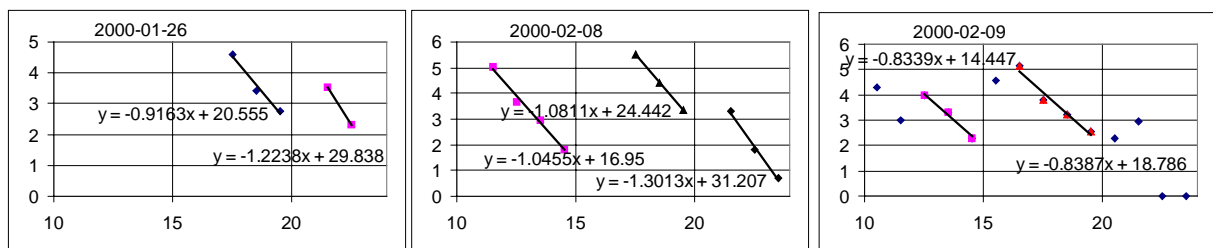
**Figur 12.** Uppmätt NO<sub>2</sub>-koncentration i Blacquebergslägenheten under 3 vinterdagar.

Vissa delar av dessa kurvor kan analyseras med avseende på avklingningen. Figur 13 visar avklingningen vid sju olika tillfällen i logaritmiskt diagram efter avdrag av uppskattning av uteluftens NO<sub>2</sub>-halt.

Avklingningningarna visar i medeltal en tidskonstant av ca 1.0±0.2 h. Om full ombländning antages är tidskonstanten med hänsyn till ventilation och reaktiv avklingning:

$$\bar{\tau}_{NO_2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\tau} + k_r\right)} \quad (21)$$

Om det värde som erhöles vid mätningen i lägenheten ( $\frac{1}{\tau} = 0.56 \text{ h}^{-1}$ ) användes erhöles  $k_r=0.47 \text{ h}^{-1}$ , vilket är mindre än hälften av det som antagits i modellen. NO<sub>2</sub> avklingar alltså enligt mätningarna betydligt långsammare än väntat. Ett ännu mindre värde (ca 0.35 h<sup>-1</sup>) erhöles om resultatet från den passiva spårgastekniken används. Resultatet bidrar ytterligare till den osäkerhet som vidlåter uppskattningen av  $k_r$ .



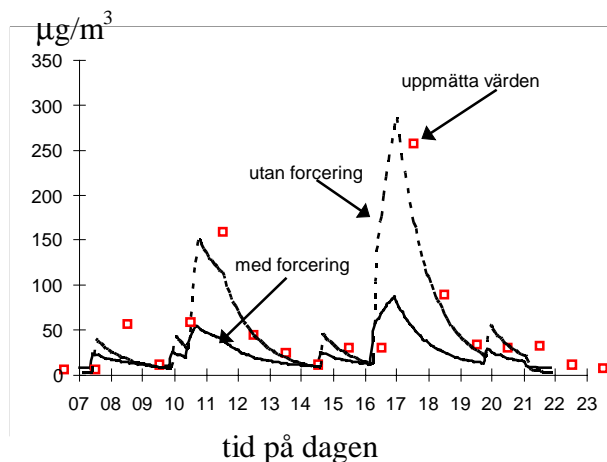
**Figur 13.** Sju identifierade avklingningar av NO<sub>2</sub> efter subtraktion av bakgrund.

## 6.5 Jämförelse mellan mätning och simulering av NO<sub>2</sub>-koncentration

För att testa modellen mot fältmätningarna har NO<sub>2</sub>-koncentrationen för den 8 februari simulerats med de parametrar som bestämts i försöket:  $\epsilon = 0.7$ , spiskåpsflöde = 43 l/s, grundflöde 11 l/s och totalventilationsflöde 26 l/s (utan forcering). För den reaktiva avklingningen har hastighetskonstanten  $k_r = 0.47$  använts. Spisanvändningen har simulerats med hjälp av det protokoll som de boende upprättat (tabell 7). Enligt protokollet har spisfläkten ej använts. I figur 14 anges därför också resultatet om flödet ej forceras. Eftersom uppfångningsverkningsgraden ej bestämts för grundflödet ansattes ett värde  $\epsilon=0.3$ . Övriga parametrar är lika i de båda fallen.

**Tabell 7.** Indata om spisanvändning för simulering av hel dag: 8/2 -2000

kl.		uppskattad effekt	
7.25-7.30	kok	3 kW	
9.55-10.00	kok	3 kW	
10.25-11.25	kok	3 kW 10 min	0.5 kW 50 min
14.35-14.40	kok	3 kW	
16.15-17.00	kok+ugn	6 kW 10 min	3 kW 35 min
19.50-19.55	kok	3 kW	



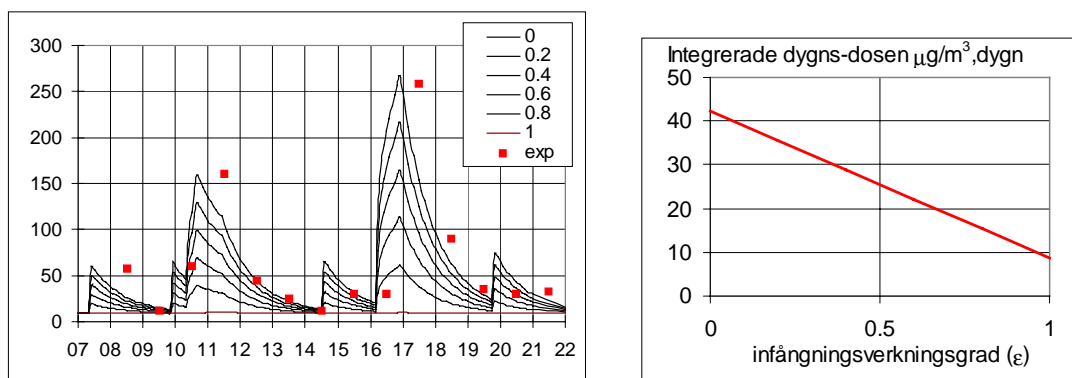
**Figur 14.** Simulering av NO<sub>2</sub>-koncentrationen den 8 februari under antagande om forcering (kåpflöde = 43 l/s,  $\epsilon = 0.7$ ) av kåpflöde under användningen och utan forcering (kåpflöde = 11 l/s,  $\epsilon = 0.3$ ). Spisens användningsschema enligt protokoll. Enligt protokollet har forcering ej använts under dagen. Utomhusvärdet antaget till 15 µg/m<sup>3</sup>.

Som framgår av diagrammet i figur 14 så kan den uppmätta koncentrationen simuleras någorlunda väl, under givna antaganden. Den integrerade dygnsexponeringen (tabell 8) motsvarar en medelkoncentration av 41.2 µg/m<sup>3</sup>, i jämförelse med 8.5 µg/m<sup>3</sup> om ingen gasspis hade använts. Om flödesforcering hade använts uppskattas dosen vid denna spisanvändning motsvara en dygnsmedelkoncentration av 18.8 µg/m<sup>3</sup>. Utluftens koncentration har antagits till 15 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabell 8.** Medel exponering under dygnet

	dygnsmedel- värde, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
utan gasspis	8.5
$\varepsilon = 0.7$	18.8
$\varepsilon = 0.3$	41.2

Hur den integrerade dosen generellt ändras med uppfångningsverkningsgraden är svårt att ange eftersom det kräver kännedom om sambandet mellan spiskåpeflöde och uppfångningsverkningsgrad. Men om vi försummar att ett en högre uppfångningsgrad kräver ett större forceringsflöde erhålls teoretiskt ett linjärt samband mellan integrerad dos och uppfångningsverkningsgrad (figur 15). Se vidare diskussion under rubriken känslighetsanalys i modellkapitlet.



**Figur 15.** Simulerad koncentration av  $\text{NO}_2$  vid olika uppfångningsverkningsgrader. Kvadratsymbolerna visar uppmätta värden i Blackebergslägenheten. I denna simulering har samma ventilationsflöde = grundflödet antagits för alla tidpunkter, utom då spisen används, då 60 l/s ventilationsflöde används genomgående. I högra diagrammet visas de integrerade doserna.

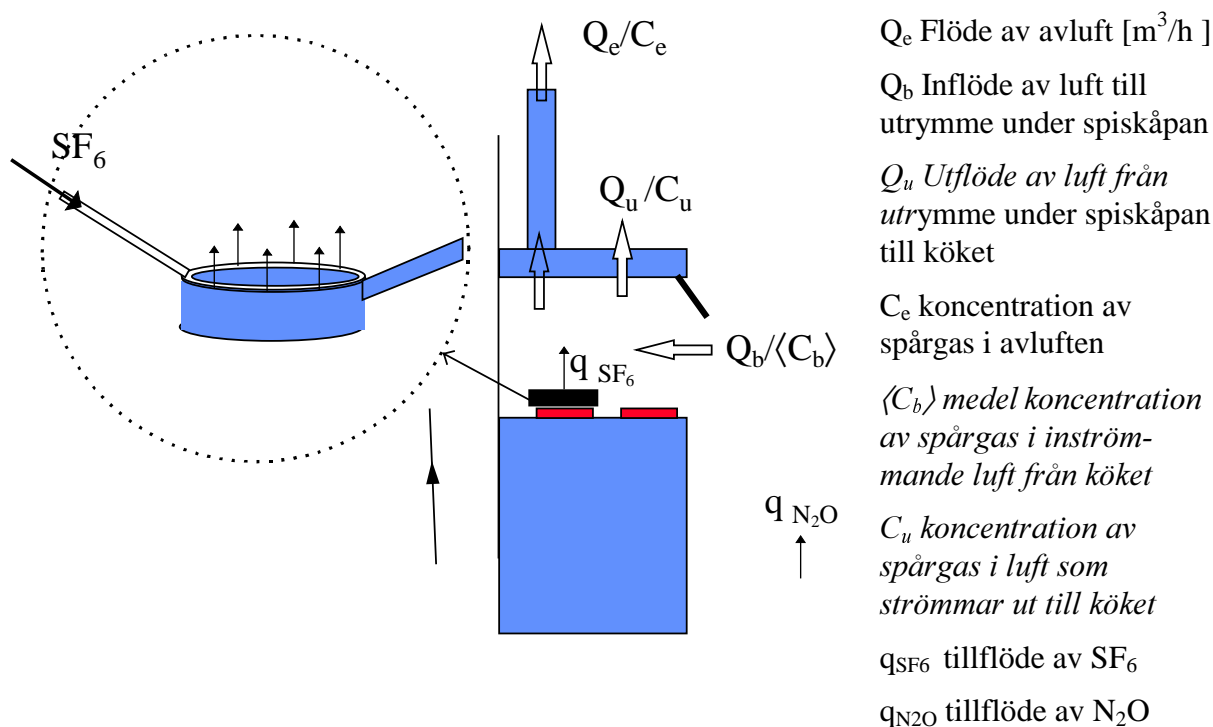
## APPENDIX 1. UTVECKLING AV TEKNIK ATT BESTÄMNING DEN DIREKTA UPPFÅNGNINGSVVERKNINGSGRADEN.

### 1. Inledning

Vid användning av gasspis kommer inte alla förbränningsgaser att direkt extraheras i spiskåpan. En del läcker ut i köket där de bidrar till kontaminering av luften och också sprids till resten av lägenheten. För att karakterisera föroreningsspridningen från spisen används storheten direkt uppfångningsverkningsgrad ( $\epsilon_d$ ), som anger hur stor andel av emissionerna från spisen som direkt uppfångas i spiskåpan. Andelen  $(1-\epsilon_d)$  av emissionerna kommer alltså att tillföras köket och bidra till föroreningshalten i lägenheten.

### 2.. Beräkning ur spårgasspridning vid kokkärl.

I figur A1 visas en schematisk bild av försöksuppställningen runt spisen.



**Figur A1.** Försöksuppställning i köket för bestämning av uppfångningsverkningsgrad

### 3. Princip för bestämning av (den direkta) uppfångningsverkningsgraden

I texten avser beteckningen "uppfångningsverkningsgrad" alltid den direkta uppfångningsverkningsgraden såvida inte annat specifikt anges. Den direkta



uppfångningsverkningsgraden skall inte förväxlas med den uppfångningsförmåga som bestäms enligt standardprovning av spiskåpor.

Med den direkta uppfångningsverkningsgraden ( $\epsilon_d$ ) avses hur stor del av den totala mängden spårgas som sprids på spisen som direkt uppfångas till avluften från spiskåpan (d v s utan att först transporteras ut i köket).

Med de beteckningar som ges i figur A1 erhålls

$$\epsilon_d = \frac{Q_e (C_e - \langle C_b \rangle)}{q_{SF_6}} \quad (A1)$$

$Q_e C_e$  är den mängd spårgas som per tidsenhet extraheras genom spiskåpan och  $Q_e \langle C_b \rangle$  är den del av den extraherade spårgasmängden som tillförs spiskåpan från köket.  $q$  är tillförselflödet av spårgas.

Vid bestämning av uppfångningsverkningsgraden skall alltså följande storheter vara kända:

- $Q_e$  Flöde av avluft [ $m^3/h$ ]
- $C_e$  koncentration av spårgas i avluften
- $\langle C_b \rangle$  medel koncentration av spårgas i inströmmande luft från köket
- $q_{SF_6}$  tillflöde av  $SF_6$

### **3.1 Bestämning av förhållandet mellan $Q_e$ och $q_{SF_6}$**

Förhållandet mellan avluftflödet  $Q_e$  och spårgasflödet  $q_{SF_6}$  måste vara känt. Dessa kan uppmätas var och en för sig (se nedan), men ett enklare sätt är att innan man börjar injicera spårgas vid spishällen, injicera spårgas med samma flöde direkt i avluftskanalen och mäta den resulterande spårgaskoncentrationen uppströms i avluften. Förutsatt att ingen spårgas finns i lägenheten så erhålls då koncentrationen  $C_0$  i avluften:

$$C_0 = \frac{q_{SF_6}}{Q_e} \quad (A2)$$

Ekvationen för uppfångningsverkningsgraden kan därför skrivas:

$$\epsilon_d = \frac{C_e - \langle C_b \rangle}{C_0} \quad (A3)$$

I detta arbete har båda teknikerna att bestämma förhållandet mellan  $Q_e$  och  $q_{SF_6}$  använts.

### **3.2 Mätning av spårgaskoncentrationer**

Vid samtliga mätningar av spårgas- och koldioxidkoncentrationer har Innova's (Brüel&Kjær) fotoakustiska infrarödanalysator använts, normalt tillsammans med tillhörande doserings- och samplingsapparat.

### **3.3 Bestämning av $C_e$**

Under försökets gång mäts koncentrationen av spårgas i avluftskanalen på samma ställe där  $C_0$  uppmättes.

### 3.4 Bestämning av $C_b$

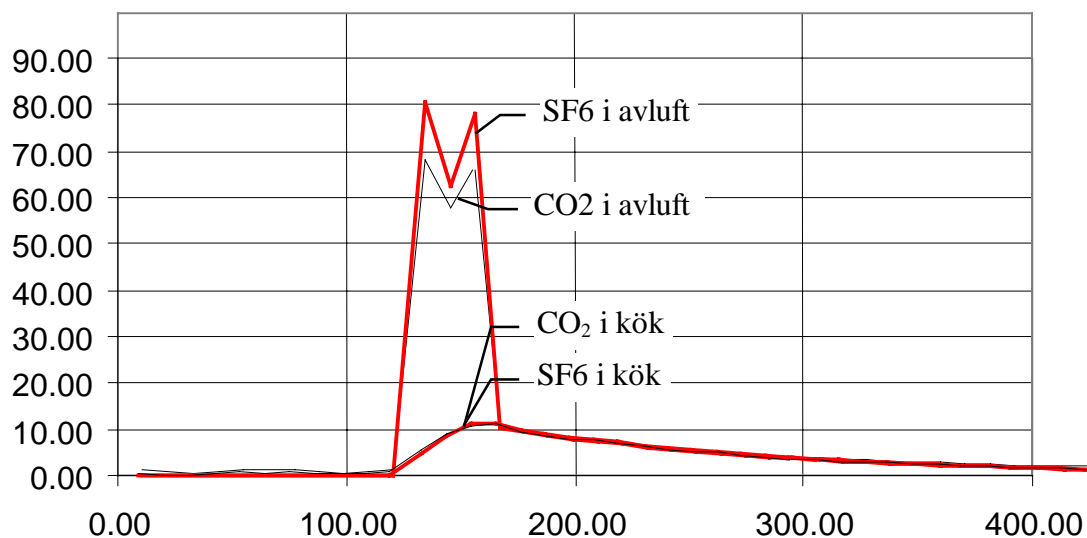
Den största svårigheten med att bestämma uppfångningsverkningsgraden ligger i att mäta medelkoncentrationen  $\langle C_b \rangle$  i den luft som tillförs spiskåpan från köket, på ett tillfredsställande sätt. Jag har därvid antagit att den luft som dras in under spiskåpan har samma koncentration av spårgas som rumsluften har. Om fördelningen av spårgas i köket är ojämn kan det vara besvärligt att mäta ett representativt värde för  $\langle C_b \rangle$ . Lösningen på problemet har blivit att vi dels har blandat om luften i köket med en långsamtgående oscillerande fläkt, som var riktad så att dess flöde inte direkt påverkade strömningsförhållandena under spiskåpan, dels att luftprovtagning har skett i fyra punkter 70 cm framför och 20 cm ovanför spishällens plan. Omblandningsfläkten kan anses simulera sådana lufrörelser som induceras av en person som vistas i köket.

### 3.5 Bestämning av $Q_e$

Flödet från spiskåpan med öppet strypspjäll (forcering) ställdes in på önskat värde (ca 21.4 l/s eller ca 39.3 l/s) med varvtalsreglerad fläkt, varefter strypspjället ställdes in så att grundflödet vid stängt spjäll blev 10.5 l/s. Avluftflödet från spiskåpan mättes med kalibrerad strypfläns vid varje experiment.

### 3.6 Bestämning av $q_{SF_6}$

Spårgasen  $SF_6$  som sprids vid kokkärlets periferi, för att simulera avgivning av förbränningsgaser distribuerades på två olika sätt. Dels användes den inbyggda doseringsutrustningen i Brüel&Kjær's doserings- och provtagningsenhet, dels spreds  $SF_6$  via rotameter. I båda fallen späddes gasen med ca 300 ml/min luft, för att undvika effekter på grund av svavelhexafluoridens höga täthet.



**Figur A2.** Illustration till hur  $SF_6$  och  $CO_2$  koncentrationer ändras parallellt.

Figur A2 visar hur koncentrationerna av  $SF_6$  och  $CO_2$  förändras i avluften och i köket före, under och efter spisanvändningen vid ett försök där man har det forcerade flödet 21.4 l/s under spisanvändningen och grundflödet 10.5 l/s före och efter.

flöde i spiskåpan 21.4 l/s (uppmätt med strypfläns)

flöde av spårgas SF<sub>6</sub> 2.17 mg/s (korrigerat 2.17 mg/s)

### 3.7 Beräkningsalternativ för C<sub>e</sub> och C<sub>b</sub>

Såväl C<sub>e</sub> som C<sub>b</sub> varierar normalt mer eller mindre under försöket.

Tre olika tekniker har prövats för att uppskatta värdena av C<sub>e</sub> och C<sub>b</sub>, vilka illustreras med beräkningsexempel enligt figur A2.

3.7.1. Medelvärdet av uppmätta koncentrationer i avluft och kök under den tid då spisen är på.

Beräknad koncentration i avluften vid 100% uppfångning 101.4 mg/m<sup>3</sup>

Beräknad uppfångningsverkningsgrad: (73.75-10)/101.4 = 63%

3.7.2. Medelvärdet av löpande uppmätta koncentrationsskillnader C<sub>e</sub> - C<sub>b</sub> under den tid då spisen är på.

Denna teknik har fördelen att man kan se förändringen i uppfångningsverkningsgrad under försöket.

**Tabell A1.** Bestämning av glidande uppfångningsverkningsgrad

min	C <sub>e</sub> -C <sub>b</sub> mg/m <sup>3</sup>	ε <sub>d</sub> %
10	75.57	75
20	53.88	53
30	66.75	66
<b>medel</b>	<b>65.40</b>	<b>64</b>

3.7.3. C<sub>e</sub> sätts till det löpande medelvärde av uppmätta koncentrationen i avluften, extrapolerat till den tidpunkt då spårgasen stängs av. C<sub>b</sub> sätts till den koncentration som uppmäts i köket i det ögonblick som spårgasen stängs av.

Den sistnämnda tekniken har den fördelen att några mätningar av C<sub>b</sub> inte behöver göras i köket. Efter det ögonblick som spårgasflödet i spisen stängs av kommer definitionsmässigt ingenting att fångas in direkt och C<sub>b</sub> kan mätas direkt i frånluftkanalen. I allmänhet kommer spårgaskoncentrationen att klinga av exponentiellt efter avstängningen, varför ett säkrare värde på C<sub>b</sub> erhålls om mätningarna fortsätter efter avstängningen av spårgasen och bestämningen görs genom en logaritmisk tillbakaextrapolering till avstängningsögonblicket.

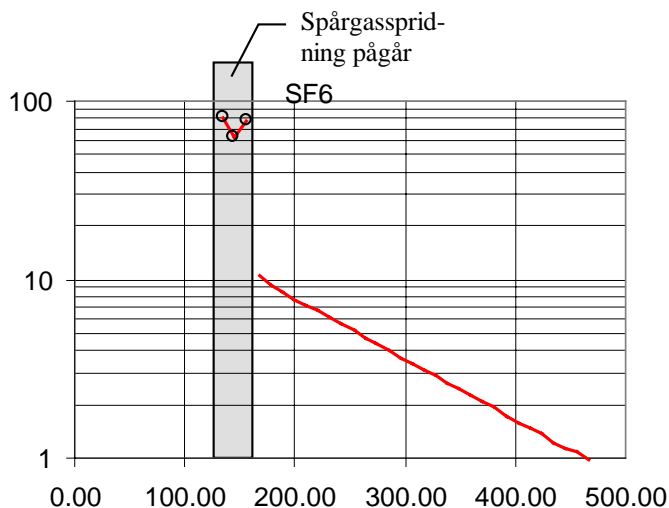
Med denna teknik erhålls i exemplet:

$$C_0 = 101.4$$

$$C_e = 74.8$$

$$C_b = 13.2$$

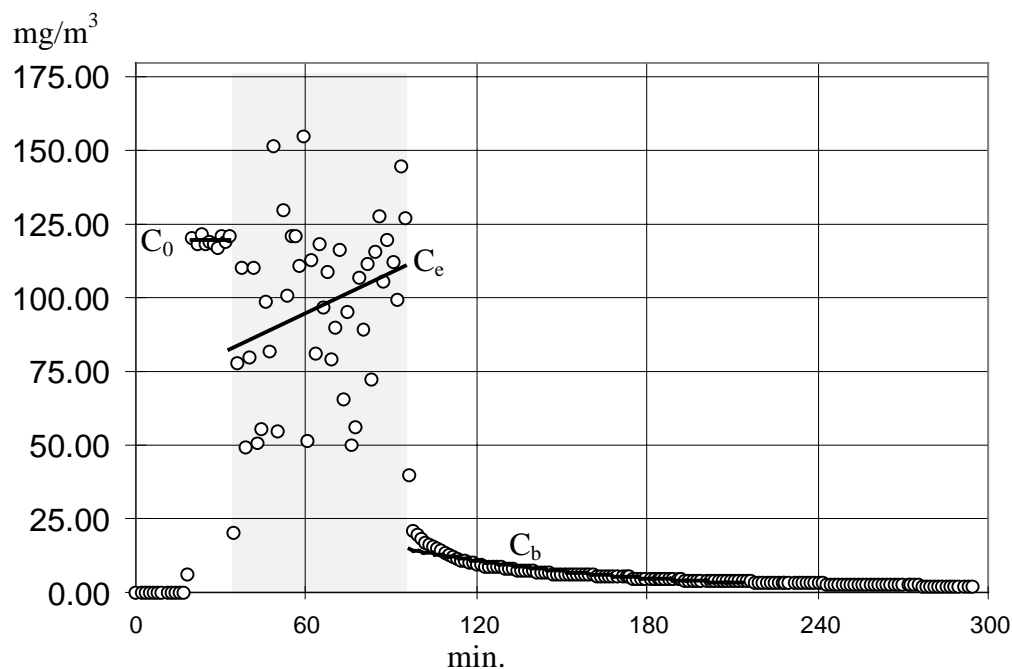
$$\epsilon_d = 60.8\%$$



**Figur A3.** Logaritmisk tillbakaextrapolering till tidpunkten för avstängning av spis och spårgas.

Det har visat sig att spårgaskoncentrationen i avluften ofta varierar kraftigt med tiden. Denna variation beror dels på fluktuationer i luftrörelserna under kåpan (beroende på t ex att personer rör sig i köket - i experimentet förorsakad av omblandningsfläkten), dels beroende på att uppfångningsverkningsgraden förändras med tiden t ex på grund av temperaturförändringar.

Ett extremt exempel visas i figur A4 nedan (från körning 25), där koncentrationen i avluften varierar mellan ca  $150 \text{ mg/m}^3$  och ca  $50 \text{ mg/m}^3$  med en tydlig trend mot ökande uppfångningsförmåga under den timme spisen är på. Beräkningen av uppfångningsverkningsgraden blir i sådana här fall naturligtvis mycket osäker. Då kraftiga variationer förekommer redovisas ett medelvärde av uppfångningsförmågan (I detta fall 75%).



**Figur A4.** Ett extremt exempel på instabila koncentrationer i avluften.

## APPENDIX 2: EXPERIMENT, SAMMANFATTNING

Nr	Pa	flöde l/s i kåpan	dos korr	teor.	erhållet	kök	eps- prim	eps-bis	verkn. grad	låga	effekt	kåpa	låga, anm.
4	180	21.4	2.50	116.63	74.69	76.91			0%	ingen	ingen	65cm	ingen effekt
5	180	21.4	2.50	116.63	90.80	9.20			70%	bakre	full	65cm	bakre låga
6	42	10.5	2.47	235.88	102.00	18.00			36%	bakre	full	65cm	bakre låga
7	180	21.4	2.40	111.91	55.62	19.75			32%	främre	full	65cm	främre låga
8	42	10.5	2.40	228.97	97.00	19.76			34%	främre	full	65cm	främre låga
9	180	21.4	2.38	111.10	87.78	15.59			65%	främre	spar	65cm	främre sparlåga
10	42	10.5	2.12	201.65	66.25	19.71			23%	bakre	full	ingen	bakre
11	615	39.2	2.43	61.90	53.10	6.00			76%	bakre	full	65cm	bakre låga
12	619	39.3	2.42	61.62	59.60	10.40			80%	bakre	full	65cm	bakre låga
13	180	21.4	2.17	101.18	73.75	11.38			62%	bakre	full	65cm	bakre låga
14	182	21.6	2.42	112.26	88.47	7.39			72%	ugn	225C	65cm	ugn 225 C
15	42	10.5	2.39	227.90	162.42	12.67			66%	ugn	225C	65cm	ugn 225 C
16	42	10.5											vent.test
17	180	21.4											vent.test
19	179	21.4	2.64	116.79	101.26	14.32	74%	77%	74%	bakre	full	50cm	bakre, full
20	42	10.5		207.09	120	20	50%	52%	48%	bakre	full	50cm	bakre, full
21	182	21.6		106.92	90	7	80%	82%	78%	främre	full	50cm	främre, full
22	182	21.6					71%	37%		ugn	190C	50cm	ugn 190 C kaka
23	42	10.5					45%	51%		främre	full	50cm	främre
24	182	21.6					81%	92%		främre	spar	50cm	främre
25	182	21.6					81%	70%		bakre	spar	50cm	bakre
26	640	40.0					78%	101%		bakre	full	50cm	bakre
27	650	40.3					92%	95%		främre	full	50cm	främre
28	fält 1	check											
29	fält 2	black1											

## Byggd Miljö

### Provlägenhet för ventilationsmätningar

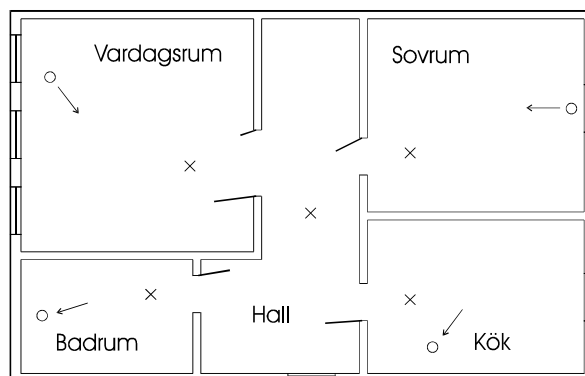
Vid institutionen för byggd miljö har i laboreriehallen byggts upp en provlägenhet där olika typer av ventilation kan provas. Lägenheten är utförd med tanke på att ventilationssystemet lätt ska kunna anpassas efter olika önskemål. Särskild vikt har ägnats åt att lufttätheten är god, varför mätpunkter för temperatur-, tryck- och spårgasmätningar från början installerats i varje rum.

Provlägenheten är utformad som en normal tvårumms bostad med vardagsrum, sovrum, badrum och kök vilka förbinds med en hall (se figur).

I vidstående skiss visas lägenhetens utseende.

Den vänstra väggen utgörs av laboreriehallens yttervägg och utanför den högra väggen finns en klimatkammare där temperaturen kan styras ned till  $-20^{\circ}\text{C}$  för att kunna simulera utetillståndet vintertid.

Den totala lägenhetsytan är  $70\text{m}^2$  och volymen är  $175\text{m}^3$ . Uppvärmningen sker med elradiatorer under varje fönster. Badrummet är försett med VA-installationer för att t.ex. fuktbelastningen på lägenheten vid olika aktivitet i badrummet ska kunna uppskattas.



### **Mätutrustning och reglering**

Temperaturregleringen i sker med ett datorbaserat reglersystem som möjliggör individuell reglering av temperaturen i varje rum. Reglernoggrannheten är  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

För mätning av temperaturen är varje rum försett med två fasta temperaturgivare av halvledartyp. För ytterligare temperaturmätningar kan rummet förses med termoelement för anslutning till datalogger.

Tryckmätning utrustning finns installerad för mätning av tryck i varje rum och i angränsande utrymmen såväl ute som inomhus.

För spårgasmätningar finns möjlighet att tillföra gas och mäta gaskoncentration i varje rum. Detta ger möjlighet att använda olika spårgasmätmetoder för undersökning av luftfördelning och luftväxling i lägenheten, samt spridning av föroreningar mellan rummen. I varje rum finns dessutom mätgivare för koldioxidkoncentration och fuktighet för användning vid försök med t.ex. behovsstyrd ventilation.

Alla mätningar kan ske med hjälp av dator som registrerar tryck, temperatur och spårgaskoncentration. Det finns även möjlighet att styra spårgastillförseln automatiskt via datorns mjukvara.

Styrning av ventilationen kan ske med hjälp av fyra fläktar som kan varvtalsregleras manuellt eller automatiskt.

I varje dörröppning finns en traverseringsutrustning installerad. Denna kan förses med lufthastighetsgivare för uppmätning av luftrörelserna i dörröppningarna. Även dessa mätningar kan styras av datorutrustningen. Visualisering av luftrörelserna med hjälp av rök kan också utföras

### ***Specifikationer***

Antal rum	5, inkl badrum, kök och hall
Takhöjd	2,5 m
Rumsytor (m <sup>2</sup> )	
Vardagsrum	22
Sovrum	14,5
Hall	14,5
Kök	14
Badrum	5
Total lägenhetsvolym	175 m <sup>3</sup>



Lägenhetsexteriör



Rökvisualisering av luftströmning genom en dörröppning

För ytterligare information kontakta

Claes Blomqvist  
Institutionen för Byggd miljö  
Högskolan i Gävle  
SE-801 76 GÄVLE

Tel           026-64 81 50  
Fax           026-64 81 82  
e-mail       cbt@hig.se