

## Het Europese "IAQ-Audit project": Methodologie\*



**N**aarmate er meer verontreiniging aanwezig is, is er meer ventilatie gewenst. Voor het verlagen van de benodigde ventilatie is het dus essentieel nodige bronnen van verontreiniging te voorkomen. De vraag is echter hoe groot is de verontreiniging in bestaande gebouwen?

Voor het beantwoorden van deze en andere vragen, werd eind 1992 een Europees project voor het optimaliseren van binnenluchtkwaliteit en energiegebruik gestart. Hierin werden zowel de gangbare methoden als getrainde sensorische panels gebruikt om kantoorgebouwen in Europa te onderzoeken. Vijftien instituten uit elf landen (Nederland, Denemarken, Frankrijk, België, Engeland, Griekenland, Zwitserland, Finland, Noorwegen, Duitsland en Portugal) namen deel. In negen landen werden gebouwen volgens een standaardmethode onderzocht. Dit project werd gefinancierd door de Europese Unie in het Joule II programma en in Nederland door NOVEM en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer (Directoraat Generaal Milieubeheer). In deze publikatie wordt de toegepaste procedure voor het onderzoeken van zes gebouwen in elk land en de aanpak in Nederland toegelicht [1].

*Het bereiken van een gezond en comfortabel binnenmilieu, gecombineerd met een efficiënt gebruik van energie, vereist zowel minimalisering van de blootstelling aan binnenluchtverontreiniging als een goed functionerende en energie efficiënte verwarmings-, ventilatie- en luchtbehandelingsinstallatie. Veel onderzoeken zijn verricht, internationaal en nationaal, om klachten die verband hebben met het verblijf in kantoorgebouwen te bepalen. Verscheidene methodieken zijn ontwikkeld om via de klachten en de oorzaken tot oplossingen te komen van binnenmilieuproblemen. De meeste van deze methoden richten zich op het oplossen van problemen van bewoners, gebruikmakend van gangbare methoden zoals enquêtes, inspecties, chemische en fysische metingen, die in het algemeen na elkaar worden uitgevoerd. Het binnenmilieu kan echter van dag tot dag en van lokatie tot lokatie veranderen. Het trekken van eenduidige conclusies op grond van resultaten van metingen die niet tegelijkertijd zijn uitgevoerd is dan moeilijk. Daarnaast variëren de toegepaste methoden per land en zelfs op nationaal niveau, hetgeen vergelijking van verschillende studies moeilijk maakt.*

*- door dr. ir. P.M. Bluysen\*\**

### AUDIT PROCEDURE

Voor het onderzoeken van de binnenluchtkwaliteit en het energiegebruik in Europese kantoorgebouwen werd een Audit procedure ontwikkeld. Door het bepalen van de binnenluchtverontreiniging (zowel chemisch als sensorisch), de ventilatiehoeveelheid en het energiegebruik, en door het identificeren van de verontreinigende bronnen, kunnen aanbevelingen ten aanzien van bronbeheersing en ventilatie ter waarborging van de binnenluchtkwaliteit worden gegeven. Een handboek waarin deze Audit procedure is beschreven werd in samenwerking met alle deelnemers gemaakt [2]. Door middel van het handboek werd gestreefd naar het in elk land op dezelfde manier uitvoeren van de veldexperimenten. Alleen dan kan een zinvolle vergelijking tussen de resultaten van de verschillende landen worden gemaakt. In het handboek worden de minimaal benodigde metingen voorgeschreven.

Voor het verkrijgen van een minimaal gegevensbestand van Europese gebouwen, werden per land zes gebouwen geselecteerd. In elk gebouw werden vijf representatieve lokaties onderzocht. Om hoge en instabiele emissies van nieuwe gebouwen te voorkomen, moesten de gebouwen minimaal twee jaar oud zijn. De voornaamste bezigheid in die gebouwen moest bestaan uit algemeen kantoorwerk. De te bestuderen populatie moest bestaan uit tenminste 125 werknemers per gebouw.

Het binnenmilieu kent periodieke veranderingen. Met name ventilatie en chemische/fysische componenten in de lucht, kunnen sterk variëren, niet alleen dagelijks maar ook van kamer tot kamer in een bepaald

\* Voordracht gehouden tijdens de 'Sluitingsmiddag' TVVL-cursusseizoen 1994-1995 in de Reehorst te Ede, 21 juni 1995

\*\* TNO Bouw, Afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties

gebouw. Om de kans te vergroten dat alle van belang zijnde gegevens representatief zijn voor een bepaalde binnenmilieuconditie, is het belangrijk dat alle metingen op hetzelfde tijdstip en parallel aan elkaar worden uitgevoerd. Het onderzoeksplan is daarom opgesteld om één gebouw op één dag te onderzoeken. In alle negen landen werden de experimenten tijdens het stookseizoen uitgevoerd, zodat vergelijkbare thermische condities in de gebouwen van de verschillende landen werden bereikt. De gebouwen werden onderzocht tijdens normale bezetting en onder normale ventilatiecondities.

Het onderzoek bevatte fysische en chemische metingen, evaluatie van de waargenomen luchtkwaliteit in de geselecteerde ruimten door een getraind sensorisch panel, en metingen van de ventilatiestromen naar de ruimten. De fysische en chemische metingen in de ruimten omvatten het meten van thermische parameters (operatieve temperatuur, luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid), geluidsmetingen, en het meten van de concentratie van koolmonoxyde (CO), kooldioxyde (CO<sub>2</sub>), en vluchtige organische stoffen (VOC) in de lucht. Luchtstromingen tussen de geselecteerde ruimten en de aangrenzende ruimten (gangen) werden gemeten indien nodig. Bijkomende metingen in de aangrenzende ruimten waren CO, CO<sub>2</sub> en TVOC metingen en evaluaties van de waargenomen luchtkwaliteit. In de mechanisch geventileerde gebouwen werd tevens de waargenomen luchtkwaliteit van de toevoerlucht bepaald. Alle chemische metingen werden tevens in de buitenlucht uitgevoerd.

Al deze metingen dienden voor het bepalen van de chemische en sensorische bronsterkten van verontreinigingen afkomstig van personen, roken, materialen in kamers en het ventilatiesysteem. Met behulp van de vergelijkingen zoals geplaatst in het kader werden deze bronnen gekwantificeerd. In één van de vijf geselecteerde ruimten van elk gebouw werden enkelvoudige organische vluchtige stoffen en stofdeeltjes in de lucht gemeten. Een enquête voor het evalueren van symptomen en klachten werd door de werknemers van de gebouwen

#### Sensorische bronsterkten (Gs):

- in geselecteerde kamers:

$$G_s = 0,1((C_{pr}-C_a)Q_{ar} + (C_{pr}-C_{pv})Q_{vr} + (C_{pr}-C_{po})Q_{or}) \text{ (olf)} \quad 1$$

- door het ventilatiesysteem:

$$G_{sv} = 0,1(C_{pv}-C_{po})Q_{vr} - 0,1.R(C_{pr}-C_{po})Q_{vr} \text{ (olf)} \quad 2$$

- door personen:

$$G_{sp} = 3600((CCO_{2r}-CCO_{2a})Q_{ar} + (CCO_{2r}-CCO_{2v})Q_{vr} + (CCO_{2r}-CCO_{2o})Q_{or}) \times 10^{-6}/P_{CO_{2p}} \text{ (olf)} \quad 3$$

- andere bronnen in kamers (o.a. materialen, activiteiten en roken):

$$G_{sm} = G_s - G_{sp} \text{ (olf)} \quad 4$$

met:

C<sub>pr</sub> = waargenomen luchtkwaliteit in kamer (decipol)

C<sub>a</sub> = waargenomen luchtkwaliteit in aangrenzende kamer (decipol)

C<sub>pv</sub> = waargenomen toevoerluchtkwaliteit (decipol)

C<sub>po</sub> = waargenomen buitenluchtkwaliteit (decipol)

Q<sub>vr</sub> = mechanische toevoerluchtstroom (l/s)

Q<sub>or</sub> = infiltratieluchtstroom (l/s)

Q<sub>ar</sub> = luchtstroom van aangrenzende kamer (l/s)

R = recirculatie (fractie)

CCO<sub>2v</sub> = gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in toevoerlucht (ppm)

CCO<sub>2r</sub> = gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in kamer (ppm)

CCO<sub>2a</sub> = gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in aangrenzende kamer (ppm)

CCO<sub>2o</sub> = gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in buitenlucht (ppm)

PCO<sub>2p</sub> = productie CO<sub>2</sub> per olf = 18 (l/h.olf)

- **Chemische bronsterkten (TVOC in µg/m<sup>3</sup> (tolueen) gemeten) (Gc):**

- in geselecteerde kamers:

$$G_c = 10^{-3}(CTVOC_r-CTVOC_a)Q_{ar} + (CTVOC_r-CTVOC_v)Q_{vr} + (CTVOC_r-CTVOC_o)Q_{or} \text{ (µg/s)} \quad 5$$

- door het ventilatiesysteem: Voor de berekening van de bronsterkten veroorzaakt door het ventilatiesysteem kan een soortgelijke vergelijking als bij de sensorische berekening worden gebruikt.

met:

CTVOC<sub>r</sub> = TVOC-concentratie in kamer (µg/m<sup>3</sup>)

CTVOC<sub>a</sub> = TVOC-concentratie in aangrenzende kamer (µg/m<sup>3</sup>)

CTVOC<sub>v</sub> = TVOC-concentratie in toevoerlucht (µg/m<sup>3</sup>)

CTVOC<sub>o</sub> = TVOC-concentratie in buitenlucht (µg/m<sup>3</sup>)

ingevuld. De gebouweigenschappen werden verzameld door middel van een check-list. Het jaarlijkse energiegebruik van de gebouwen en de weercondities werden opgevraagd.

## DE NEDERLANDSE AUDIT

### Selectie gebouwen

In Nederland werden in het najaar van 1993 zes gebouwen geselecteerd. Behalve de eerder genoemde eisen waaraan die gebouwen moesten voldoen, werden een aantal criteria toegevoegd:

- aanwezigheid van een mechanisch ventilatiesysteem en overdruk in de te meten lokaties: het meten van de ventilatie werd daardoor eenvoudiger verondersteld;
- 200 werknemers of meer;
- 1 uur rijden van TNO in Delft, vanwege het strakke tijdschema.

Vijf van de zes gebouwen werden in februari 1994 onderzocht; gebouw A werd reeds in november 1993 onderzocht als "pilot studie". In Tabel 1 zijn

enkele karakteristieken van de geselecteerde gebouwen gepresenteerd.

### Tijdschema

De gebouwen werden bezocht op dinsdag of donderdag. De dag voor de bewuste onderzoeksdag ("Auditdag") werden de benodigde instrumenten naar het gebouw gebracht en gecalibreerd; de inspectie werd met behulp van de check-list uitgevoerd. Elke ochtend van een auditdag werd het onderzoeksteam in tweeën gesplitst. Het ene team verzorgde de voorbereidingen in het te onderzoeken gebouw en het andere team hertrainde het sensorische panel in de zogeheten nul-decipol kamer [3]. Na de training werd het panel vervoerd naar het desbetreffende gebouw en naar een verversingslokatie gebracht (een lokatie in of buiten het gebouw waar naar de mening van de onderzoekers de beste luchtkwaliteit heerste). De panelleden werden één voor één vanuit de verversingslokatie naar elke

Gebouw	Situatie	Totaal vloer oppervlak [m <sup>2</sup> ]	aantal verdiepingen	aantal werknemers	ventilatie systeem	bevochtiging	recirculatie	bouwjaar
A	buitenwijk	8.500	5	200	lijnroosters	geen	0-67%	1990
B	stad	10.000	11	450	inductie units	verdamping	geen	1965
C	stad	10.000	11	450	inductie units	sproei	geen	1967
D	buitenwijk	7.500	5	180	vloerroosters, klimaatraam	stoom	0-50%	1989
E	buitenwijk	5.600	5	150	inductie units	stoom	geen	1968
F	stad	32.000	5	1050	vloerroosters, klimaatraam	sproei	0-100%	1986

KARAKTERISTIEKEN VAN DE ZES GESELECTEERDE GEBOUWEN

-TABEL 1-

		9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Nul-decibel kamer	Hertraining/calibraties sensorisch panel									
	Enquête									
Gebouw	Sensorisch									
	CO, CO <sub>2</sub> , temp., RV									
	TVOC1*									
	Stof									
	Geluid, luchtsnelheid									
	(T)VOC2*									
	Ventilatie									

\*TVOC1 werd direct gemeten met behulp van de B&K gasmonitor en uitgedrukt in ppm (methaan), terwijl TVOC2 werd gemonstert met behulp van Tenax buisjes en geanalyseerd met gaschromatografie, uitgedrukt in µg/m<sup>3</sup> toluen

TJDSHEMA

-FIGUUR 1-

geselecteerde ruimte geleid, waar de beoordeling van de waargenomen luchtkwaliteit plaatsvond. Voor, na en tijdens deze beoordelingen werden chemische/fysische- en ventilatiemetingen uitgevoerd. Het toegepaste tijdschema is in Figuur 1 weergegeven.

## MEETMETHODEN

### Sensorische evaluatie

#### Selectie van de panelleden

Uit een totaal van 54 personen tussen 18 en 30 jaar werd eind oktober 1993 door middel van een test het sensorische panel geselecteerd. De selectietest bestond uit een interview (de beschikbaarheid van de desbetreffende persoon, uitleg van het experiment, etc..) en een test waarin acht onbekende 2-propanon concentraties moesten worden beoordeeld. Met behulp van vier bekende niveaus (2, 5, 10 en 20 decipol) werden de proefpersonen geïnstrueerd om de acht onbekende een decipolwaarde toe te kennen. Zij werden verteld dat één sniff 2-propanon gevolg moest worden door tenminste twee normale ademhalingen in de kamerlucht van de nul-decibel kamer [3]. De 15 best scorende personen werden

geselecteerd. Voor elk beoordeeld niveau werd het absolute verschil tussen de gegeven en de juiste waarde berekend en de som van deze verschillen gaf de totaalscore. De beste persoon was degene met de laagste totaalscore.

#### Training

De geselecteerde personen werden in vier groepen verdeeld. Elke groep werd gedurende vier dagen getraind, 1 uur per dag zoals beschreven in [4]. Op de eerste dag begonnen de panelleden met een introductie. De decipol als maat voor de ontevredenheid met de waargenomen luchtkwaliteit werd hierbij uitgelegd. De training bestond uit het beoordelen van verschillende onbekende 2-propanon niveaus in decipol, met gebruik van de referenties (2, 5, 10 en 20 decipol). Op de derde dag werd de panelleden het eerste examen en op de vierde dag het tweede examen afgenomen. Examen 1 bestond uit het beoordelen van 8 onbekende 2-propanon concentraties zonder dat de juiste antwoorden werden gegeven. Examen 2 bestond uit vier onbekende andere bronnen. In examen 1 ging het om

een individueel examen, in examen 2 om een groepsexamen. Voor meer informatie wordt verwezen naar [2].

#### Hertraining

Eind januari 1994 werden de getrainde panelleden uitgenodigd voor een hertrainingsperiode van 2 dagen. Tijdens deze hertraining werd de panelleden 13 onbekende concentraties en 4 andere bronnen van verontreiniging aangeboden. Op basis van deze resultaten werden 12 panelleden uitgenodigd voor de audits in gebouwen B tot en met F (Gebouw A werd reeds in november '93 onderzocht).

#### Auditdagen

Op de auditdagen werden de panelleden hertraind met 3 of 4 onbekende 2-propanon concentraties. Na de hertraining werd elk panellid een calibratietest afgenomen (juiste antwoorden werden hierbij niet gegeven), hetgeen bestond uit 6 onbekende 2-propanon concentraties (elke auditdag dezelfde, maar in verschillende volgorde).

#### Enquête

Besloten werd om de enquête aan

minimaal 200 bewoners per gebouw uit te delen, om zeker te zijn dat tenminste 100 ingevulde exemplaren zouden worden geretourneerd. In gebouwen A, D en E werd daarom aan de gehele populatie een enquête gegeven, terwijl in gebouwen B, C en F slechts een deel van de populatie een enquête kreeg. De selectie van de personen was hierbij gericht op delen van het gebouw, zoals verdiepingen.

### **Chemische metingen**

De chemische metingen bestonden uit lange- en korte-duurmetingen. De korte-duurmetingen van CO<sub>2</sub>, CO en TVOC werden met de volgende instrumenten uitgevoerd.

- CO/CO<sub>2</sub> op 1,1 m hoogte, in 5 kamers, de toevoerlucht, gangen en buiten: met een B&K Multigas monitor 1302 gedurende 20 minuten per locatie.
  - TVOC op 1,1 m hoogte: met een B&K Multigas monitor 1302, gedurende 20 minuten per locatie.
- De lange-duurmetingen van CO en CO<sub>2</sub> werden met behulp van een datalogger gedurende circa zes uur uitgevoerd:
- CO op 1,1 m hoogte: met een Maihak Unor-6 (slechts 3 lokaties per gebouw vanwege het aantal beschikbare instrumenten).
  - CO<sub>2</sub> op 1,1 m hoogte: met een Horiba ABPA-250E CO<sub>2</sub> monitor (in 5 kamers + toevoerlucht + buiten, indien genoeg instrumenten beschikbaar).

### **Andere lange-duurmetingen:**

VOC werd gedurende 2 uur op 1,1 m hoogte gemeten in 5 kamers, de toevoerlucht, gangen en buiten, met Tenax-buisjes geleverd door één van de Zwitserse participanten. Met behulp van pompjes werd lucht door de Tenax-buisjes gezogen. De buisjes werden vervolgens naar Zwitserland gestuurd en daar geanalyseerd. TVOC werd in 1 kamer op 1,1 m hoogte gemeten met de B&K 1302. De meting werd gestart de dag voor de Auditdag (circa 12.00 uur) en beëindigd op de Auditdag (circa 11.00 uur).

### **Fysische metingen**

De klimaatmetingen bestonden eveneens uit lange- en korte-duurmetingen. De korte-duurmetingen van circa 5 minuten bestonden uit:

- equivalent geluidsniveau (in dB(A)) op 1,1 m hoogte, in 5 kamers, met

- een geluidsniveaumeter B&K 2230.
- luchtsnelheid op 0,1, 0,6 en 1,1 m hoogte, in 5 kamers, met een B&K 1213.

Dezelfde dataloggers als voor de chemische metingen werden gebruikt om gedurende circa zes uur te meten:

- relatieve vochtigheid op 1,1 m hoogte, in 5 kamers, de toevoerlucht en buiten, met een Vaisala.
- luchttemperatuur op 0,1, 0,6 en 1,1 m hoogte, in 5 kamers, de toevoer en buiten, met een thermistor.
- globe temperatuur op 1,1 m, in 5 kamers, met een globe thermometer, voor de berekening van de operationele temperatuur.

Stof werd op gravimetrische wijze gemeten. Gedurende 7 tot 8 uur werd in 1 kamer met behulp van een pomp lucht over een filter gezogen. De filters waren geplaatst in filterhouders met een conische luchtaanzuigopening van 6 mm (PAS 6). De filters waren van het whatman type GF/F en  $\varnothing$  25 mm (retentie deeltjes > 0,7  $\mu$ m). De filters werden voor het wegen minimaal 24 uur geconditioneerd in een kamer met een constante temperatuur van 20°C en een relatieve vochtigheid van 60%.

### **Ventilatiemetingen**

De ventilatiemetingen op de auditdagen waren zo gekozen en gepland dat het mogelijk was om ze tijdens de beschikbare tijd uit te voeren, en zo dat het nog steeds mogelijk was een evaluatie van de belangrijkste luchtstromingen te maken. Daarom werden in de meeste gebouwen drie soorten metingen uitgevoerd:

- lange-duurmeting van het drukverschil tussen de geselecteerde kamers en de gangen (indicatie van de luchtstroming tussen gang en kamer);
- korte-duurmeting van de mechanische toevoer- en afvoerlucht en
- een decay-meting in tenminste 1 kamer (indicatie van in- en exfiltratie).

Voor de lange-duurmeting van het drukverschil tussen kamer en gang werd een drukverschilmeter (EMA of Validyne) verbonden met een datalogger.

Voor de korte-duurmeting van de mechanische toevoer- en afvoerlucht (indien mogelijk) werden de volgende methoden toegepast:

- in gebouwen A, B, C, D en F: de Flowfinder (nul-compensatie methode) met een adapter indien nodig.
- in gebouw E: een vleugelrad anemometer (gecombineerd met luchtsnelheid-volumestroom karakteristiek van de inductie-unit) voor het bepalen van de luchttoevoer via de inductie-units; en de Flowfinder voor het meten van de afvoerluchtstromen.

Voor het schatten van de infiltratie van de buitenlucht werd in elk gebouw minimaal één kamer geselecteerd, waarin de totale ventilatiehoeveelheid werd bepaald met de zogeheten decay-meting. Verder werden de toevoer- en afvoerluchthoeveelheid en het drukverschil tussen de kamer en de gang gemeten.

### **Weersomstandigheden**

Gegevens over de weersomstandigheden op de auditdagen werden aan KNMI-gegevens van het dichtstbijzijnde meetstation per gebouw ontleend. Voor gebouw A was dit Rotterdam, voor gebouwen B en C Schiphol en voor gebouwen D, E en F Valkenburg (ZH).

### **RESULTATEN**

De resultaten en conclusies van de Nederlandse Audit zullen worden gepresenteerd in de publicatie "Nationale resultaten", in dit nummer van TVVL-Magazine. De resultaten en conclusies van het gehele Audit project, in totaal gaat het hier om 56 onderzochte gebouwen in negen landen, zullen naar verwachting aan het einde van dit jaar worden gepubliceerd.

### **REFERENTIES**

1. Bluysen P.M., Cox C., *Het Europese "IAQ-Audit project": methodologie en nederlandse resultaten*, TNO-rapport 95-BBI-R0211, januari 1995.
2. Clausen G., Pejtersen J., Bluysen P.M., *Research manual of European Audit project to optimize Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings*, November 1993.
3. Bluysen P.M., *De Nul-decopol kamer: Een kamer voor het trainen van mensen in het beoordelen van de luchtkwaliteit*, Klimaatbeheersing, jaargang 22, oktober 1993, no.10, p.41-45.
4. Bluysen P.M., *Het evalueren van de luchtkwaliteit met behulp van getrainde personen*, Klimaatbeheersing, jaargang 20, mei 1991, no.5, p.153-158.