

UDC 697.912.001.41 : 519.2 : 725.2.003

TOEPASSING VAN EEN STEEKPROEF  
ALS MEETPROCEDURE VOOR DE KEURING  
VAN EEN KLIMAATINSTALLATIE

*Ing. P. A. Bossers*

INHOUD

1. Inleiding
  2. Het gebouw en de installatie
  3. De bestekseisen
  4. Keuze van de grootte van de steekproef
  5. Het meetprogramma
  6. De resultaten van het onderzoek
  7. Conclusie
  8. Slotopmerking
-

Het gebouw waarin het onderzoek  
heeft plaatsgevonden



## 1 INLEIDING

Om in een groot gebouw, voorzien van een klimaatinstallatie, vast te stellen of deze installatie voldoet aan de eisen, die in het bestek zijn gesteld ten aanzien van het klimaat in de vertrekken, staan verschillende wegen open. Men zou een enquête kunnen houden om de mening van de bewoners over het temperatuurniveau e.d. te peilen, of er zouden metingen in de vertrekken kunnen worden gedaan om temperatuur, relatieve vochtigheid enz. te bepalen.

De Interne Dienst, die het beheer heeft over het hier te bespreken gebouw en waaronder ook de Technische Dienst ressorteert, koos voor de laatste mogelijkheid, en riep daartoe de hulp in van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO.

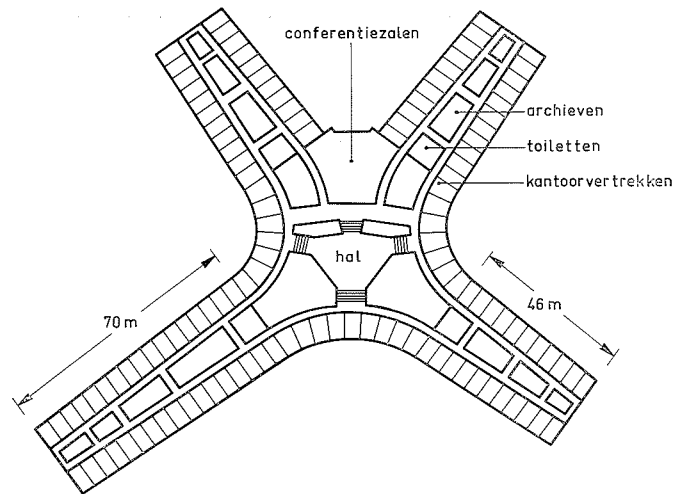
Hoewel ons Instituut adviseerde een meetprogramma uit te voeren aan de installaties zelf, omdat bij eventuele tekortkomingen aan het geheel of van onderdelen ervan, ook direct de oorzaak zou kunnen worden aangewezen, besloot de Interne Dienst toch om te proberen via klimaatmetingen in de vertrekken tot een goed- of afkeuring van de installaties te komen. Verder bestond de hoop, dat via deze metingen indicaties zouden kunnen worden verkregen over de oorzaak van de eventueel geconstateerde afwijkingen.

Door de grootte van het gebouw moest het aantal metingen tot een steekproef uit de aanwezige kantoorvertrekken beperkt blijven. De methode om de grootte van de steekproef, met het toegestane aantal daarin aan te treffen afgekeurde vertrekken, te berekenen, werd door het Instituut voor Wetenschap, Informatieverwerking en Statistiek TNO (IWIS) uitgewerkt. Ook de berekeningen werden door dit Instituut uitgevoerd.

## 2. HET GEBOUW EN DE INSTALLATIE

De nevenstaande foto geeft een indruk van het gebouw en vooral ook van de grootte. Het gebouw heeft dertien verdiepingen bovengronds en vier verdiepingen ondergronds. Bij het onderzoek zijn voornamelijk de verdiepingen 1 t/m 12 betrokken, omdat zowel de dertiende als de ondergrondse verdiepingen een afwijkende wijze van klimatisering hadden. De onderzochte verdiepingen omvatten ongeveer 1500 kantoorvertrekken, die, achter elkaar geplaatst, een afstand zouden overbruggen van ca. 6 km. Het gebouw heeft een kern waaraan vier vleugels zijn gebouwd. Figuur 1 toont de indeling van een verdieping. Elke vleugel heeft zijn eigen klimatiseringsinstallatie; ook voor de conferentiezalen in de kern is een aparte installatie aangebracht. Deze installaties bevinden zich in het ondergrondse deel. Alle installaties zijn van het tweekanaalstype en leveren via verticale bouwkundige kana-

Fig. 1  
Plattegrond van een verdieping

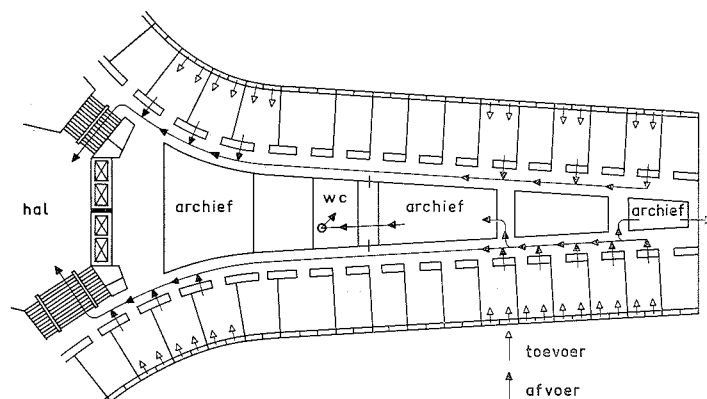


len in de kern warme en koude lucht aan de vleugels via horizontale aftakkingen.

Uit de horizontale aftakkingen, die centraal in de vleugels liggen, wordt naar beide zijden van de vleugels de lucht aan mengboxen toegevoerd. Per twee modules (elk van 2 m breed) is één mengbox geïnstalleerd. De mengverhouding van warme en koude lucht wordt door de mengbox geregeld op commando van een kamerthermostaat. De totale luchthoeveelheid per mengbox zou binnen  $\pm 5\%$  van de nominale hoeveelheid moeten blijven. De luchttoevoer aan het vertrek vindt plaats door twee horizontale roosters per moduul geplaatst in de vensterbank. In het achterste gedeelte van het vertrek werd nog een kleine hoeveelheid lucht toegevoerd via één plafondrooster per moduul. Van deze roosters waren er 6 à 7 aangesloten op één mengbox.

De luchtafvoer uit de vertrekken geschiedde via een geluiddemper in de kastenwand naar de gang. Een gedeelte van deze lucht gaat via de centraal in de vleugel gelegen archief-

Fig. 2  
Luchtransport in een vleugel



ruimten naar de toiletten en wordt naar buiten afgevoerd; een ander deel gaat via de archieven direct naar buiten met behulp van een ventilator. Het grootste deel van de lucht wordt van de gangen naar de centrale hal gevoerd, die als retourlucht-kanaal functioneert. Deze loop van de lucht is schematisch weergegeven in de plattegrond van een vleugel (figuur 2).

### 3. DE BESTEKSEISEN

Ten aanzien van de condities in de kantoorvertrekken waren in het bestek de volgende bepalingen opgenomen.

winter:	buiten $-10^{\circ}\text{C}$	binnen $20^{\circ}\text{C}$
	R.V. 80%	R.V. 40-70%
zomer:	buiten max. $35^{\circ}\text{C}$	binnen $27,5^{\circ}\text{C}$
	R.V. 50%	R.V. 40-70%

In de zomercondities mag vanaf  $20^{\circ}\text{C}$  de binnentemperatuur  $1^{\circ}\text{C}$  stijgen per  $2^{\circ}$  stijging van de buitentemperatuur. De per mengbox aanwezige kamerthermostaat geeft de bewoners de gelegenheid tot individuele regeling van  $2^{\circ}\text{C}$  boven of beneden de vast ingestelde bestektemperatuur. Hierdoor kunnen dus in de vertrekken temperaturen gevonden worden met een spreiding om de bestekseisen zoals geschetst in figuur 3. In een Mollierdigram zijn de bestekseisen

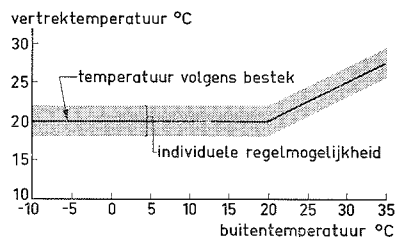


Fig. 3  
Mogelijke binnentemperaturen

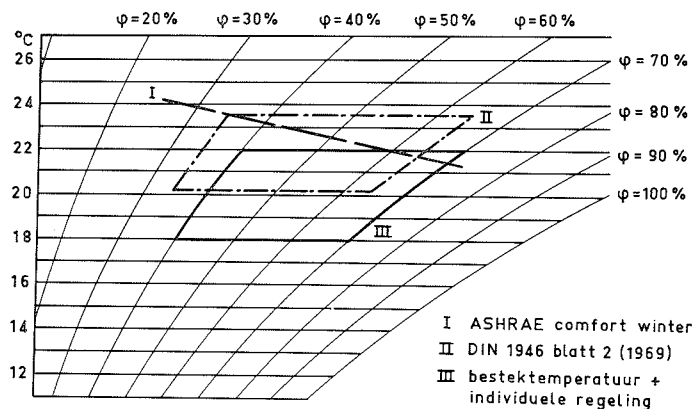


Fig. 4  
Mollierdigram met bestekseisen in vergelijking met ASHRAE en DIN

voor de winterperiode voorgesteld in vergelijking met de waarden voor kantoorvertrekken uit de Comfort Chart (winter) van de ASHRAE en DIN 1946 Blatt 2 (1969). Min of meer in tegenstelling met de opmerkingen van het personeel zou men verwachten dat er 's winters klachten zouden moeten zijn over een te lage vertrektemperatuur.

Terugkomend op de vraag uit de inleiding werd opdracht gegeven om via klimaatmetingen tot een uitspraak te komen over het al of niet naar behoren functioneren van de installatie.

#### 4. KEUZE VAN DE GROOTTE VAN DE STEEKPROEF

Om op grond van een steekproef te besluiten tot goed- of afkeuren van een product (in dit geval de installatie) moeten tevoren een aantal afspraken worden gemaakt. Ten eerste moet worden vastgesteld hoeveel afwijkingen men bereid is te accepteren om toch nog tot goedkeuren over te gaan. De hoeveelheid afwijkingen wordt uitgedrukt in een percentage van het totale aantal vertrekken. Dan blijft echter nog de kans bestaan, dat een goed product ten onrechte wordt afgekeurd of dat een slecht product ten onrechte wordt goedgekeurd. Deze risico's worden respectievelijk het producentenrisico en het gebruikersrisico genoemd. De toelaatbaar geachte grenzen van deze risico's moeten tevoren worden afgesproken.

Als de grenzen zijn bepaald kan de steekproefgrootte berekend worden en het aantal 'foute' exemplaren, dat maximaal in de steekproef mag voorkomen. Als fout zouden die vertrekken worden aangewezen die buiten de grenzen van de bestekseisen lagen met inachtneming van de breedte van de individuele regeling.

Voor negen mogelijke combinaties van grenzen heeft IWIS-TNO de steekproefgrootte berekend en daarbij het maximum toelaatbare aantal foute exemplaren per steekproef. Het resultaat van deze berekening is weergegeven in de tabel.

geval	$P_1$ %	$P_2$ %	$\alpha$ %	$\beta$ %	N	c
1	1	2,5	5	2,5	610	9
2	1	2,5	5	5	550	8
3	1	2,5	5	33	272	5
4	1	10	5	2,5	80	2
5	1	10	5	5	70	2
6	1	10	5	33	30	1
7	2,5	10	5	2,5	150	7
8	2,5	10	5	5	125	6
9	2,5	10	5	33	64	4

Hierin is:

$P_1$  = maximaal toegestaan percentage fouten in goed product

$P_2$  = minimaal percentage fouten in slecht product

$\alpha$  = producentenrisico

$\beta$  = gebruikersrisico

N = steekproefgrootte

c = maximum aantal foute exemplaren in steekproef.

De betekenis van de waarden in de tabel kunnen wij verduidelijken aan de hand van een voorbeeld, waarvoor het geval 5 zal dienen. Met een keuze van geval 5 accepteert men een kans  $\alpha = 5\%$  dat een goed gebouw, dat wil zeggen met ten hoogste  $P_1 = 1\%$  foute vertrekken, ten onrechte zou worden afgekeurd en tevens accepteert men dat er een kans bestaat

van  $\beta = 5\%$  dat een slecht gebouw, dat wil zeggen met ten minste  $P_2 = 10\%$  foute vertrekken ten onrechte zou worden goedgekeurd. Indien in de steekproef van 70 vertrekken er meer dan 2 worden gevonden die niet voldoen, kan de installatie als afgekeurd worden beschouwd. Op grond van een aantal overwegingen, waarin ook de hoeveelheid werk werd betrokken, die evenredig is met de steekproefgrootte, is het ook geval 5 geweest waarop de keuze is gevallen. Voor dit geval is in figuur 5 nog globaal geschetst hoe het verloop van de kans op goedkeuren is, afhankelijk van het percentage foute vertrekken in het gebouw. Het zal duidelijk zijn dat de kans op goedkeuren snel daalt bij toeneming van het werkelijk aanwezige percentage foute vertrekken. De aanvaarde grenzen voor het gebruikers-, respectievelijk producentenrisico zijn in de figuur aangegeven.

Een groot voordeel van deze methode is, dat als  $c + 1$  foute exemplaren worden gevonden, met het onderzoek kan worden gestopt omdat de installatie dan is afgekeurd. Een belangrijke voorwaarde daarbij is echter dat de vertrekken aselekt, dus zonder voorkeur, zijn gekozen. Aan deze voorwaarde bleek echter niet te zijn voldaan, om andere dan technische redenen, en bovendien hoopte de opdrachtgever door een grote serie metingen duidelijker indicatie te verkrijgen over de bron van de fouten.

kans op goedkeuren bij  $N=70$  en  $c=2$

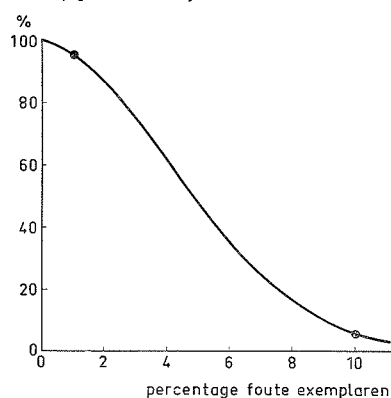


Fig. 5  
Globaal verloop van de goedkeuringskans bij geval 5 uit de tabel

## 5. HET MEETPROGRAMMA

Voor de goed- of afkeurprocedure zou het voldoende zijn geweest gedurende enige tijd de luchttemperatuur in de leefzone en de relatieve vochtigheid te registreren, doch om de mogelijkheid tot ontdekken van de foutenbron te behouden zijn ook de temperatuur van de ingeblazen lucht, de constantheid van de luchtsnelheid in de toevoerroosters en de temperaturen in het koude en warme kanaal gemeten.

Deze metingen werden per serie vertrekken gedurende een week gedaan, omdat een momentane meting niet in staat is de gemiddelde toestand goed weer te geven.

De temperatuur in het warme en koude kanaal wordt geregeld op grond van de buitentemperatuur. De waarden van de buitentemperatuur werden verstrekt door het nabij gelegen weerstation Ukkel van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.

Door de grote afstanden binnen het gebouw konden maximaal slechts vijf vertrekken per serie worden gemeten.

## 6. DE RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Bij de uitwerking van de meting is eerst nagegaan of het wellicht verantwoord was een bepaalde keuze te doen uit het

verkregen geregistreerde waarnemingsmateriaal. Ten eerste was slechts behoefte aan een beoordelingsmogelijkheid gedurende de kantooruren. Ten tweede bleek dat het verwerken van de waarnemingen om 09.00 uur, 14.00 uur en 17.00 uur voldoende was om de situatie in een vertrek gedurende de werktijd te karakteriseren. Ter wille van de overzichtelijkheid beperken wij ons nu verder tot de bespreking van de resultaten in één installatie (één vleugel), die ook vrijwel representatief was voor de andere installaties.

De waarden van de luchttemperatuurmetingen in de vertrekken zijn verdeeld in groepen van 1° C. Het aantal waarnemingen per groep werd uitgedrukt in een percentage van het totaal aantal waarnemingen en in een grafiek uitgezet. Dit histogram is weergegeven in figuur 6. Doordat de metingen in december en januari werden uitgevoerd konden in genoemd histogram de grenzen van de (door de individuele regeling verruimde) bestekseisen worden getekend. Slechts 52% van de waarnemingen bleek binnen deze grenzen te vallen. Als men ervan uitgaat, dat waarschijnlijk niemand van de bewoners bewust een temperatuur beneden 20° C zal hebben gekozen, wordt de toestand nog ongunstiger. De metingen vonden plaats in 20 vertrekken.

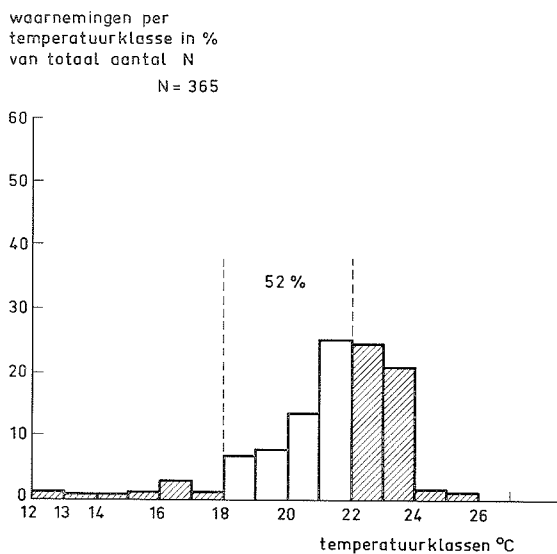


Fig. 6  
Histogram van de temperatuurwaarnemingen

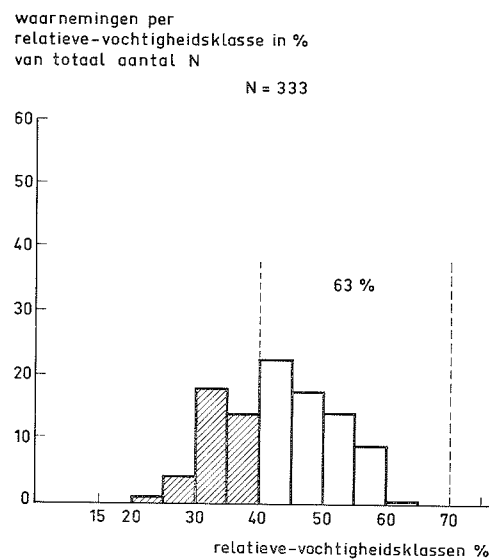


Fig. 7  
Histogram van de waarnemingen van de relatieve vochtigheid

In figuur 7 is geschetst hoe op dezelfde tijdstippen in dezelfde serie vertrekken de relatieve vochtigheid verdeeld was. Hiertoe zijn de waarnemingen, in groepen van 5% relatieve vochtigheid verdeeld, in een histogram bijeengebracht. Niet min-



der dan 37% van de waarnemingen bleek beneden de bestekseisen te blijven. Op grond van de waarnemingen in deze groep kon reeds de conclusie worden getrokken dat tenminste 3% van de kamers in deze vleugel te grote afwijkingen van de geëiste waarden had. De combinatie van temperatuur en relatieve vochtigheid is voorts in het Mollierdiagram van figuur 8 ingetekend, waarmee nog duidelijker is te zien hoe groot de spreiding van de waarnemingen was.

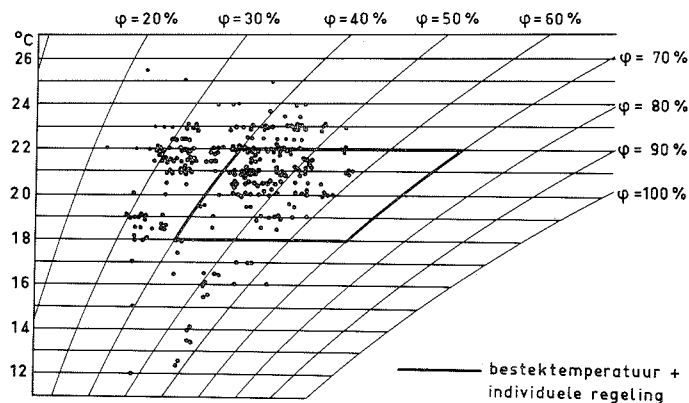


Fig. 8  
Mollierdiagram met bestekseisen en meetresultaten in 20 vertrekken

Uit de metingen van de luchtsnelheid in de toevoerroosters kon de conclusie worden getrokken, dat de constantheid van de luchthoeveelheid zeer te wensen overliet, met andere woorden de mengboxen, die een maximale afwijking van  $\pm 5\%$  mochten hebben, voldeden niet aan deze specificatie. De hoeveelheid lucht werd niet gemeten. Uit de waarnemingen

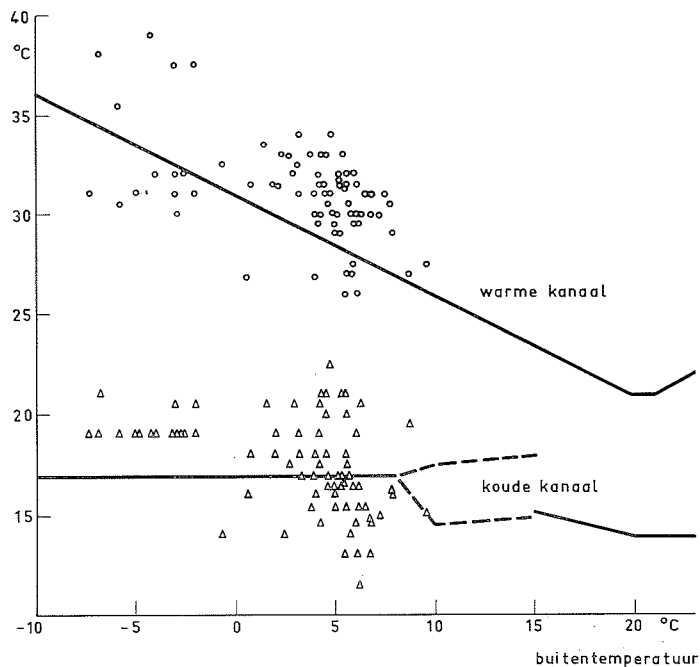


Fig. 9  
Temperatuurverloop volgens het bestek in het warme en in het koude kanaal afhankelijk van de buitentemperatuur en de resultaten van de waarnemingen

van de luchtsnelheid in deze groep vertrekken bleek dat de laagste en hoogste snelheid 27% afweken van een waarde midden tussen deze twee uitersten.

Ten slotte werden de gemeten temperaturen in het warme en koude kanaal, gerelateerd aan de buitentemperatuur, vergeleken met hetgeen daarover in het bestek vermeld is.

In figuur 9 zijn de voorgeschreven temperatuurverlopen ingetekend afhankelijk van de buitentemperatuur. Het voorkomende, onbepaalde gebied in het koude kanaal houdt verband met het al of niet bevochtigen van de lucht in dit kanaal in dit temperatuurbereik. De ingetekende waarnemingen tonen aan dat niet alleen het gemiddelde niveau, als daar al van gesproken kan worden, niet juist is, maar vooral de enorme spreiding om de vereiste temperaturen moet aanleiding zijn om de regeling te verbeteren.

## 7. CONCLUSIE

Hoewel wij van mening zijn, dat bij het constateren van afwijkingen in het binnenklimaat het de voorkeur verdient om de installatie bij de bron aan te pakken, heeft ook de bovenomschreven methode mogelijkheden om de oorzaken van de afwijkingen aan te duiden. Daarnaast kan, als de gebruikers zien dat er veel aandacht aan hun eventuele klachten wordt besteed, onrust in het bedrijf sterk wordt beperkt of zelfs weggenomen.

Als methode voor een goed- of afkeurprocedure voor de werking van een installatie als geheel, biedt de methode van de aselecte steekproef goede mogelijkheden. Men moet de grenzen van te voren goed afspreken om de steekproefgrootte te kunnen berekenen, waardoor naderhand discussies over de uitslag van het onderzoek worden vermeden.

## 8. SLOTOPMERKING

Wij zijn onze opdrachtgever zeer erkentelijk voor zijn toestemming om de resultaten van het onderzoek in zijn gebouw voor deze publicatie te mogen gebruiken.