

Fig. 9. Atrium and external temperatures for July 25, 1990.

References

1. IHVE Guide Section A8 Summertime temperature in buildings. 1975.
2. Milbank N O and Harrington-Lynn J. Thermal response and the admittance procedure, Building Research Establishment. Current paper 61/74. 1974.
3. Bajpai A C, Calus I M and Fairley J A. Numerical methods engineers and scientists. John Wiley & Sons. 1978.
4. Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings, Advanced Case Studies Seminar. April 1991. Energy Technology support Unit, Harwell, UK.

Zwembaden Thermisch comfort en prestatie-eisen binnenmilieu

Dr.Ir. J. Hensen

Technische Universiteit Eindhoven Faculteit der Bouwkunde Vakgroep FAGO

Samenvatting

Het vastleggen van toetsingscriteria in de vorm van prestatie-eisen, hoeft niet beperkt te blijven tot het energiegebruik van een gebouw. Met name bij complexere gebouwen zouden ook prestatie-eisen moeten worden gesteld aan het binnenklimaat. Een zwembad is hiervan een duidelijk voorbeeld. Vanuit een globale beschrijving van de factoren en processen die een rol spelen bij de thermische behaaglijkheid van de mens en de samenhang met het energiegebruik, wordt eerst een aantal uitgangspunten voor het programma van eisen (PvE) voor een zwembad toegelicht. Door enerzijds de toegenomen complexiteit van de klimaat-eisen en de huidige informatie-technologische mogelijkheden anderzijds, kan het PvE worden gebaseerd op prestatie-eisen en zou bij de toetsing gebruik gemaakt moeten worden van computersimulatie ten behoeve van een integrale benadering.

Achtergrond

In de bouwregelgeving en -praktijk is er een duidelijke trend om toetsingscriteria in de vorm van prestatie-eisen vast te leggen. Ten aanzien van het thermisch binnenklimaat worden gewoonlijk (afhankelijk van de functie van het gebouw) binnentemperaturen opgelegd. Hoewel wellicht vanuit nor-

meringsoogpunt gezien wenselijk, zou men met name bij complexere gebouwen en vanuit de opdrachtgever/exploitant gezien, nog een stapje verder moeten gaan door ook aan het binnenmilieu prestatie-eisen te stellen.

Bij beschouwingen over het binnenmilieu kunnen aspecten zoals bijvoorbeeld gezondheid, veiligheid, behaaglijkheid, kosten, onderhoud, marketing en organisatie een rol spelen. Dit artikel beperkt zich tot de thermische behaaglijkheid van de gebruikers en de samenhang met het energiegebruik van een complexe gebouwsoort: een zwembad.

Een globale beschrijving wordt gegeven van de factoren en processen die een rol spelen bij de thermische behaaglijkheid van de mens en er wordt ingegaan op de samenhang tussen thermische behaaglijkheid en het energiegebruik van een gebouw. Belangrijk is hoe en met welke gereedschappen we met deze samenhang rekening kunnen houden. Vanuit deze benadering worden vervolgens prestatiegerichte uitgangspunten voor het PvE van een zwembad geformuleerd.

Thermische behaaglijkheid

Thermische behaaglijkheid wordt meestal gedefinieerd in termen van 'gevoel van tevredenheid over de thermische

omgeving'. Een gevoel van onbehaaglijkheid kan worden veroorzaakt doordat het menselijk lichaam in zijn geheel te warm of te koud is, of door ongewenste afkoeling van een gedeelte van het lichaam (lokale onbehaaglijkheid).

Thermische behaaglijkheid hangt nauw samen met de thermofysiologie van de mens. Deze is gericht op het handhaven van een optimale lichaamstemperatuur van circa 37°C. Belangrijke begrippen met betrekking tot de thermofysiologie zijn de warmtebalans (eigenlijk 'energiebalans') en de thermoregulatie van de mens. De warmtebalans van de mens is afhankelijk van:

- omgevingsparameters zoals: luchttemperatuur, gewogen gemiddelde stralingstemperatuur, relatieve luchtsnelheid en relatieve vochtigheid
- persoonsgebonden parameters zoals: activiteitsniveau (of metabolisme) en thermische weerstand van de kleding.

Uit uitgebreid onderzoek en experimenten met grote aantallen proefpersonen zijn methoden afgeleid waarmee de mate van thermische (on)behaaglijkheid kan worden voorspeld voor personen in een stationaire (d.w.z. niet veranderend in de thermische omgeving. Meest bekend en alom geaccepteerde methoden zijn:

1. Fanger's 'Comfort Equation' (behaaglijkheidsvergelijking) en zijn voor de praktijk zeker zo belangrijke concepten 'Predicted Mean Vote' en 'Predicted Percentage of Dissatisfied' [3] en
2. het 'J.B. Pierce'-model van de menselijke thermofysiologie [6, 7].

Met behulp van deze methoden zijn gedurende de laatste tien jaren verschillende normen met betrekking tot de thermische behaaglijkheid ontwikkeld (bijv. [1, 4, 10, 16]).

Deze normen specificeren bandbreedtes (behaaglijkheidsgebieden) waarvoor geldt dat, mits de bovengenoemde omgevingsparameters binnen die grenzen blijven, een groot gedeelte (meestal ten minste 80%) van de gebruikers (uitgaande van gegeven persoonsgebonden parameters) dat binnenklimaat als acceptabel beschouwt.

De zwembad is binnenklimaattechnisch een complex geheel omdat er binnen een bouwkundige ruimte gelijktijdig een grote variëteit in menselijke activiteiten en 'kleding' wordt aangetroffen:

1. de toeschouwer (meestal op een ander 'klimaat' gekleed)
2. de badmeester en ander personeel
3. de zwemmer in het water
4. de opdrogende zwemmer
5. de droge zwemmer/recreant.

Deze verschillende gebruikers van een zwembad stellen zeer uiteenlopende eisen aan het binnenklimaat. In figuur 1 (gebaseerd op gegevens van [11] en [12]) zijn behaaglijkheidsgebieden voor de verschillende zwembadgebruikers aangegeven, waarbij is uitgegaan van een relatieve luchtsnelheid van ongeveer 0.1 m/s en een relatieve vochtigheid van circa 60%. Wat betreft de persoonsgebonden parameters zijn de volgende uitgangspunten gekozen (zie tabel 1).

Hierbij wordt het metabolisme gegeven per m² lichaams-

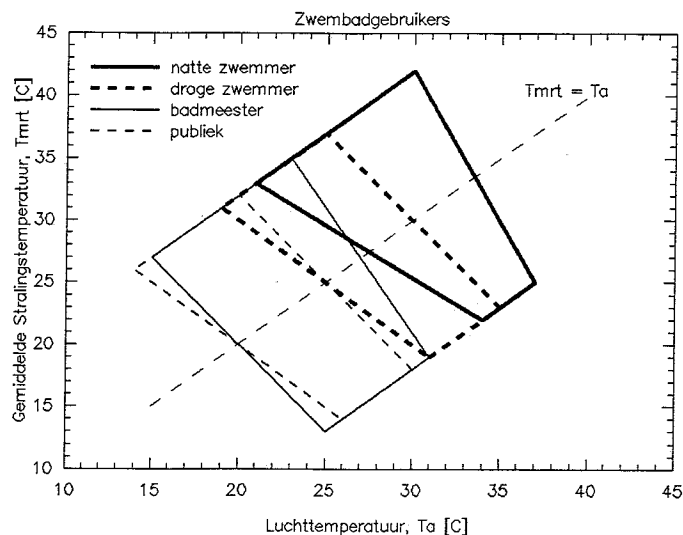


Fig. 1. Behaaglijkheidsgebieden voor de verschillende zwembadgebruikers (gebaseerd op [1] en [12]).

oppervlak en de kledingweerstand in clothing-units (clo) waarvoor geldt dat 1 clo = 0.155 m²K/W. De grenzen voor de aangegeven gebieden corresponderen per gebruikerstype met respectievelijk de overgang van onbehaaglijk koel naar behaaglijk koel aan de koude kant, en met de overgang van behaaglijk warm naar onbehaaglijk warm aan de warme kant. Er is geen 'overlap' aan te wijzen voor alle gebruikersgroepen. Dit betekent dat met het instellen van slechts één lucht- en stralingstemperatuur-combinatie op zijn minst één van de gebruikerscategorieën zich niet behaaglijk zal voelen. In het algemeen (en zeker in de stookseizoen-situatie) zal gelden dat $T_{mrt} < T_a$, zodat er zelfs voor de badmeester en de 'natte zwemmer' al geen overlapping meer is te vinden. Zonder speciale voorzieningen kan men dus niet aan alle eisen tegemoet komen; vooral niet aan de eisen van de opdrogende zwemmer.

Een voor de hand liggende speciale voorziening is het toepassen van stralingsverwarming, hetgeen leidt tot (plaatselijke) verhoging van de gemiddelde stralingstemperatuur. Asymmetrie in thermische belasting van de mens door stralingswarmte dient binnen bepaalde grenzen te blijven: de zogenaamde 'Vector Radiant Temperature', dient kleiner te zijn dan 25°C voor de natte zwemmer en kleiner dan 20°C voor de andere zwembadgebruikers [14].

In studies van [2, 12] is met behulp van computersimulatie nagegaan wat men zou kunnen bereiken door toepassing van lokale stralingsverwarming. Dit werk had betrekking op een zogenaamd 'standaardbad' (min of meer traditionele, rechthoekige zwemzaal met een 25-meter bassin en een instructie-

Tabel 1: Als uitgangspunt gekozen persoonsgebonden parameters

Zwembad-gebruiker	Metabolisme W/m ²	Kledingweerstand clo
natte zwemmer	70	0
droge zwemmer	70	0
badmeester	90	0.4
publiek	60	0.6

bassin). De belangrijkste conclusies, in het huidige verband, die aan dat werk kunnen worden ontleend, zijn:

- door toepassing van lokale aanvullende stralingsverwarming is het mogelijk om voor iedere gebruikersgroep thermisch behaaglijke zones te creëren,
- met behulp van computersimulatie is het mogelijk om voorspellingen te doen over de consequenties voor behaaglijkheid en energiegebruik van bepaalde installatietechnische en bouwkundige maatregelen in een specifieke situatie,
- de geometrie van het zwembad is erg belangrijk in verband met de stralingseffecten.

Met name de laatste conclusie is belangrijk, omdat er tegenwoordig vrijwel geen enkel zwembad meer wordt gemaakt dat qua vorm nog lijkt op het 'standaardbad' van weleer. De vormgevers hebben een veel grotere vrijheid, zodat in de praktijk ieder zwembad weer anders is. Dit betekent dat het vrijwel onmogelijk is geworden om voor de hier beschouwde problemen ontwerphulpmiddelen (in de vorm van eenvoudige vuistregels of grafieken) te maken die algemeen geldig zijn.

Bij al het voorgaande is uitgegaan van stationaire situaties die in de praktijk vrijwel nooit voorkomen ten gevolge van de thermische interactie tussen het gebouw, de gebruikers, het buitenklimaat en de verwarmingsinstallatie. Voor relatief eenvoudige gebouwen registreerde Madsen [13] bijvoorbeeld al binnentemperatuurfuctuaties tussen 0.5 en 3.9 °C (gedurende 24 uur bij een constant set-point) afhankelijk van het type installatie en de toegepaste regeling.

Uit een literatuurstudie [9] is gebleken dat er momenteel, voor wat betreft niet-stationaire situaties, geen andere manier is om na te gaan of bepaalde variërende omgevingscondities al dan niet aanvaardbaar zijn, dan uit te gaan van de resultaten van experimenten. De belangrijkste resultaten uit de literatuur voor wat betreft toelaatbare temperatuurfuctuaties, zijn samengevat in figuur 2.

Ondanks belangrijke verschillen in de opzet en uitwerking van de verschillende experimenten, lijken alle resultaten er toch op te wijzen dat bij cyclisch variërende omgevingstemperaturen de bandbreedte van aanvaardbare temperaturen geringer wordt bij toenemende fluctuatiefrequentie. Deze bandbreedte lijkt maximaal te zijn in het geval van stationaire omstandigheden. De experimentele resultaten worden, hoewel aan de veilige kant, vrij goed beschreven door de ASHRAE norm 55-1981 [1] waarin met betrekking tot cyclische veranderingen (vrij vertaald) wordt gesteld 'Als de piek-variëte van de operationele temperatuur groter is dan 1.1 K, dan mag de snelheid van temperatuurverandering niet groter zijn dan 2.2 K/uur. Er zijn geen restricties ten aanzien van de snelheid van temperatuurverandering indien de piek-tot-piek amplitude kleiner of gelijk is aan 1.1 K'.

De kledingweerstand is uiteraard belangrijk voor thermische behaaglijkheid, maar schijnt vrijwel geen invloed te hebben op de gevoeligheid voor veranderende temperaturen. Dit kan worden verklaard uit het feit dat verschillende temperatuur-gevoelige delen van het lichaam (bijvoorbeeld gezicht, nek en handen) toch meestal onbekleed blijven onafhankelijk van het totale kledingpakket.

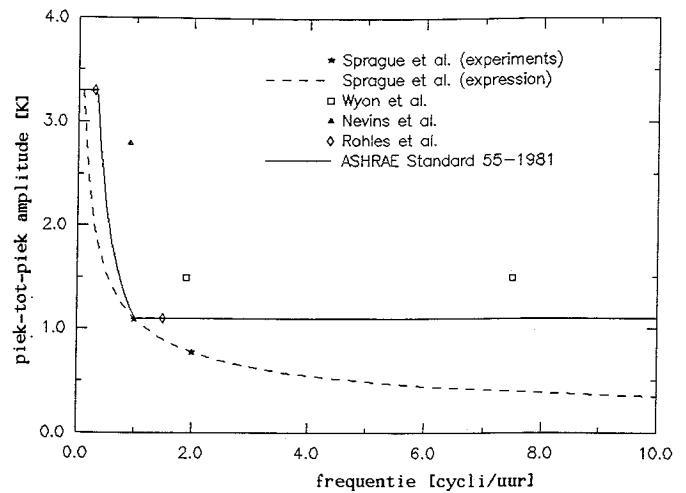


Fig. 2. Maximaal toelaatbare piek-tot-piek amplitude bij cyclisch variërende operationele temperatuur als functie van de periodefrequentie bij voornamelijk zittende activiteit en het dragen van zomerse kleding (afgeleid uit [18, 19, 15, 17, 1]). De waarde bij 0,0 cycli/uur geeft een indicatie van de breedte van het behaaglijkheidsgebied onder stationaire omstandigheden.

Waarschijnlijk vanwege de vrij geringe invloed van normale luchtvochtigheden op thermische behaaglijkheid en temperatuur-gewaarwording, zijn er slechts een paar experimenten te vinden die erop waren gericht het effect van veranderende luchtvochtigheid te onderzoeken. Deze tonen aan dat wanneer de operationele temperatuur in of dichtbij het behaaglijkheidsgebied is, veranderingen in relatieve vochtigheid (zolang deze tussen 20% en 70% blijven), geen belangrijke invloed hebben op de thermische behaaglijkheid van normaal geklede personen in rust of met geringe activiteit. De relatieve vochtigheid wordt pas belangrijker bij warmere omstandigheden en wanneer de temperatuurregeling meer afhankelijk wordt van warmteverlies door verdamping. Dit zou belangrijk kunnen zijn voor de zogenaamde natte zwemmer; nadere informatie hierover ontbreekt echter nog.

Voor wat betreft veranderende luchtsnelheden zijn er geen referenties gevonden behalve natuurlijk de onderzoeken naar het effect van turbulentie- of tocht-gewaarwording. Snelheids-variëtes ten gevolge van turbulentie zijn echter in het algemeen veel sneller (in de orde van 0.01 Hz tot 10 Hz) dan fluctuaties van de omgevingstemperatuur die in het algemeen gemeten kunnen worden in eenheden van cycli per uur. Fanger en anderen [5] concludeerden dat een luchtstroming met hoge turbulentiegraad meer klachten veroorzaakt dan een minder turbulente luchtstroom met dezelfde gemiddelde snelheid. Als mogelijke redenen hiervoor werden genoemd de relatie tussen turbulentie en convectieve warmte overdracht en de relatie tussen turbulentie en de warmteflux (of snelheid van temperatuurverandering) zoals waargenomen door de thermische sensoren in de huid.

Dit soort informatie met betrekking tot niet-stationaire omstandigheden moet worden gezien als een aanvulling op de in het begin van deze paragraaf genoemde toetsingmethoden voor de thermische behaaglijkheid van de verschillende zwembadgebruikers. Voorspellen van niet-stationaire binnen-

klimaat omstandigheden kan alleen door gebouw, installaties en gebruik(ers) integraal te benaderen.

Samenhang met energiegebruik

Zoals schematisch weergegeven in figuur 3, wordt het klimaat binnen een gebouw bepaald door een aantal 'bronnen' en overdrachtmechanismen. De belangrijkste bronnen in dit verband zijn:

- het buitenklimaat met als belangrijkste variabelen: lucht- en stralingstemperatuur, vochtigheid, zonnestraling, windsnelheid en windrichting;
- de gebruikers die een interne warmtelast veroorzaken ten gevolge van hun metabolisme en door het gebruik van apparatuur, verlichting, etc.;
- de installaties die zorgen voor verwarming, koeling en/of ventilatie.

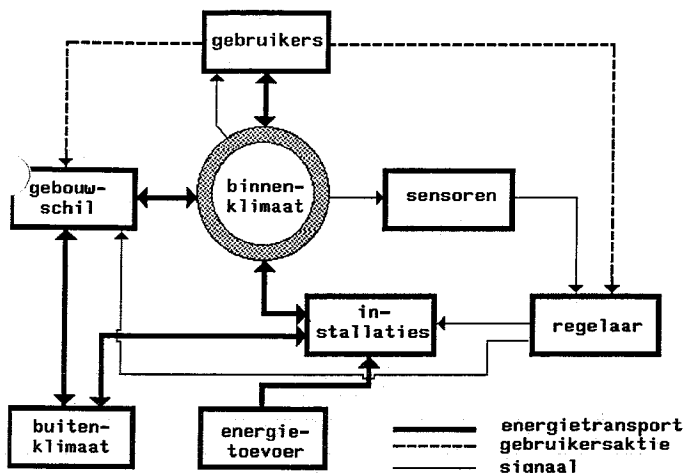


Fig. 3. Schematische weergave van de belangrijkste aspecten bij de thermische interactie tussen gebouw, installatie, gebruikers en buitenklimaat.

Deze bronnen werken in op het binnenklimaat via verschillende warmte- en massatransportprocessen:

- warmtegeleiding door binnen- en buitenwanden;
- straling in de vorm van zonnestraling door transparante delen van de gebouwschil en in de vorm van langgolelige straling tussen oppervlakken onderling;
- convectieve warmteoverdracht tussen de wanden en de lucht;
- luchttransport via de kieren etc. door de gebouwschil, in de binnenruimte zelf, en door de installaties;
- verdamping aan het wateroppervlak.

Het binnenklimaat kan in principe op twee manieren door de 'gebruikers' worden geregeld:

- aanpassingen van de gebouwschil of binnenwanden door bijvoorbeeld openen of sluiten van deuren, ramen, zonwering, etc.
- instellen van de set-point van een of andere regelaar die ingrijpt op de installatie of het gebouw door het automatiseren van bovengenoemde taken (bijvoorbeeld open/sluiten van zonwering).

Binnen het totale systeem zoals aangegeven in figuur 3, kunnen diverse sub-systemen worden onderscheiden, die ieder

hun eigen typische kenmerken hebben met betrekking tot dynamisch thermisch gedrag:

- de gebruikers, die in feite kunnen worden gezien als zeer gecompliceerde dynamische systemen, leiden tot eisen zoals weergegeven in figuur 2;
- het gebouw waarvan de meeste delen door relatief grote tijdconstanten worden gekenmerkt (reageren dus relatief traag bij thermische veranderingen);
- de installaties waarvan de verschillende delen een grote variatie qua tijdconstante vertonen, variërend van enkele seconden tot vele uren in het geval van een warmwater-opslagtank.

De frequenties waarmee de verschillende bronnen inwerken op het totale systeem omvatten ook een enorme range. Deze variëren van seconden (installatie), via minuten (gebruikers), tot uren en dagen (buitenklimaat).

Al met al een uitermate gecompliceerd, geïntegreerd, dynamisch systeem.

Het brandstofverbruik van de installatie is de resultante van de thermische interactie tussen omgeving, gebouw, gebruikers en installatie. De voor thermische behaaglijkheid gewenste binnencondities moeten als uitgangspunt worden beschouwd. Vanwege de thermische interactie moet het geheel van gebouw, installaties en gebruikers, als een samenhangend geheel worden benaderd.

Hulpmiddelen voor integrale benadering

Voor een dergelijke integrale benadering moet er echter wel gereedschap zijn. Dit gereedschap is er in de vorm van computersimulatie software. Computersimulatie is een van de belangrijkste ingenieursgereedschappen op het gebied van ontwerpen en beheer aan het worden. De belangrijkste redenen hiervoor zijn, dat computersimulatie belangrijke voordelen biedt (ten opzichte van bijvoorbeeld experimenteren) met betrekking tot:

- economische aspecten; in steeds meer gevallen zijn simulaties sneller, beter en goedkoper dan experimenten,
- voorspellend waarde; simulatie biedt de mogelijkheid tot het analyseren van (een model van) een nog niet bestaand systeem, en
- educatieve waarde; de modellen zijn meestal eenvoudig aan te passen, economisch in het gebruik, in staat om 'onmogelijke' situaties na te bootsen en kunnen als hulpmiddel dienen ten behoeve van kennisoverdracht.

Opgemerkt dient te worden dat simulatie en experimenteel werk complementair zijn: experimenten om nieuwe fenomenen te onderzoeken of voor validatie van modellen, en simulatie voor het begrijpen van interacties tussen bekende componenten van een systeem.

Simulatieprogramma's op het gebied van energiegebruik en behaaglijkheid in gebouwen zijn al in ontwikkeling sinds de jaren '70. In het begin lag de nadruk meestal op de bouwkundige kant van het probleem, of juist op de installatietechnische kant. Pas vrij recent zijn er ontwikkelingen waarbij

zowel gebouw als installatie op gelijk niveau worden beschouwd, om zodoende onderzoeksgereedschap te bieden voor de thermische interactie van gebouw, gebruikers en installaties (bijvoorbeeld [8]).

Alhoewel al lang in ontwikkeling, zien we echter pas in de laatste paar jaren dat simulatie beschikbaar is gekomen voor (en werkelijk zijn intrede begint te doen in) de bouwindustrie. Uiteraard lopen de (nog volop in ontwikkeling zijnde) research-versies van dit soort programma's altijd een aantal jaren voor op wat als 'commerciële' software wordt aangeboden op de markt. Dit neemt echter niet weg dat de momenteel beschikbare software en zeker de programmatuur die momenteel in gebruik is bij organisaties zoals bijvoorbeeld TNO-Bouw al zeer geschikte hulpmiddelen zijn voor integrale benadering van gebouw, gebruikers en installaties. We kunnen/moeten daar nu dan ook meer gebruik van gaan maken, met name bij gecompliceerde gebouwen zoals een zwembad.

Uitgangspunten voor het PvE

In het voorgaande is duidelijk gemaakt dat de complexiteit van het ontwerp van een zwembad (nog steeds) toeneemt:

- ontwerpers willen vrij zijn in hun keuze t.a.v. vorm en indeling van de zwemhal (lijkt dan ook meestal niet meer op een standaardbad);
- we weten momenteel meer over thermische behaaglijkheid en de factoren die daarop van invloed zijn;
- er dient rekening gehouden te worden met de thermische interactie tussen gebouw, installaties en gebruikers;
- we zouden ook graag rekening houden met andere hiermee direct verband houdende aspecten zoals verlichting en condensatierisico, maar liefst (in de toekomst) ook nog met andere hiermee indirect verband houdende aspecten zoals akoestisch klimaat, visuele aspecten, kosten, etc.

Dit maakt het vrijwel onmogelijk om vooraf relatief eenvoudige ontwerp-hulpmiddelen (zoals grafieken, vuistregels e.d.) of 'receptmatige' voorschriften, in het geval van een PvE, voor het 'algemene geval' te maken.

Er zijn nu echter wel mogelijkheden om dit soort problemen integraal, en daardoor beter dan in het verleden, aan te kunnen pakken door gebruik te maken van simulatie met een computermodel dat de thermische interactie tussen gebouw, installatie en gebruikers integraal benadert.

Uit deze twee overwegingen kan worden geconcludeerd dat het verstandig is om, in ieder geval voor zover het comfort- en energiegebruiks-aspecten betreft, in het PvE prestatie-eisen op te nemen in plaats van voorgeschreven waarden voor een of andere grootheid. In het PvE komt dan niet meer zoiets als '*de luchttemperatuur zal ... °C moeten zijn*', maar iets in de trant van '*voor gebied in de zwemzaal, zal het binnenklimaat zodanig moeten zijn dat:*

1. het percentage ontevreden (PPD volgens het Fanger model) kleiner is dan $\pm 20\%$.
2. de stralings-asymmetrie (VRT) kleiner is dan 25 °C voor natte zwemmers en kleiner dan 20 °C voor andere zwembadgebruikers.

3. als de piekvariatie van de operationele temperatuur groter is dan 1.1 K , dan mag de snelheid van de temperatuurverandering niet groter zijn dan 2.2 K/uur . Er zijn geen restricties ten aanzien van de snelheid van temperatuurverandering indien de piek-tot-piek amplitude kleiner of gelijk is aan 1.1 K .

En ook (in principe) niet meer zoiets als '*de warmteweerstand van de buitenwanden dient ... te bedragen*', maar iets als '*het energiegebruik per m^2 zwembad mag niet hoger zijn dan*' en '*er mag slechts gedurende% van de tijd condensatie op oppervlak optreden*'.

Op basis van de gewenste thermische behaaglijkheid voor de verschillende zwembadgebruikers en een door de opdrachtgever gewenst 'optimaal' brandstofverbruik van de installaties, kunnen dan de prestatie-eisen nader worden ingevuld. Het is uiteraard mogelijk om met behulp van computersimulatie realistische prestaties te bepalen.

Uiteraard kunnen naast de prestatie-eisen in het PvE ook nog bepaalde specificaties worden vastgelegd. Doordat de prestatie-eisen echter het zwaarst moeten wegen, zal aan het ontwerp-team de mogelijkheid worden geboden om van die specificaties af te wijken mits wordt aangetoond (bijvoorbeeld met computersimulatie) dat wel aan de prestatie-eisen kan worden voldaan. Een dergelijke benadering biedt in principe de mogelijkheid om creatieve oplossingen buiten het gangbare traject te genereren.

Als er een ontwerp is gemaakt kan vervolgens met computersimulatie worden getoetst of een bepaald voorstel wel of niet aan de prestatie-eisen voldoet. Ook als het gebouw eenmaal is opgeleverd kan computersimulatie worden gebruikt om bijvoorbeeld korte-duur prestaties te vertalen naar verwachtingen voor een langere periode, of om prestatie-toetsingen van een bepaald deelaspect te plaatsen binnen het geheel.

Tot slot

Deze bijdrage heeft willen aantonen dat de complexe samenhang tussen zwembad, installaties, thermisch comfort en brandstofverbruik, vanuit de opdrachtgever of beheerder gezien, beter benaderd kan worden door het PvE te baseren op prestatie-eisen. Zowel bij het specificeren van die eisen, als bij het toetsen van een ontwerpvoorstel of de uiteindelijke resultaten, kan/moet gebruik worden gemaakt van computersimulatie-technieken ten behoeve van een integrale benadering van het totale probleem.

Literatuur

1. ASHRAE 1981. 'Thermal environmental conditions for human occupancy,' ANSI/ASHRAE Standard 55-1981, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
2. Bosma, C.L.A.M. and J. Vorenkamp, 1988. Thermisch comfort in zwembaden, Stichting Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechnologie, Delft. PAO cursus: Ontwerp en beheer van openbare circulatiebaden, therapiebaden, sauna's en whirlpools.

3. Fanger, P.O., 1972. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering, McGraw-Hill, New York.
4. Fanger, P.O., 1980. 'Proposed Nordic standard for ventilation and thermal comfort,' in Proc. Int. Conf. On Building Energy Management, Povo de Varzim (P).
5. Fanger, P.O., A.K. Melikov, H. Hanzawa, and J. Ring 1988. 'Air turbulence and sensation of draught,' Energy and Buildings, vol. 12, no. 1, pp. 21-39.
6. Gagge, A.P., 1973. 'Rational temperature indices of man's thermal environment and their use with a 2-node model of his temperature regulation,' Federation Proceedings, vol. 32, no. 5, pp. 1572-1582, Federation of American Societies for Experimental Biology.
7. Gagge, A.P., A.P. Fobelets and L.G. Berglund, 1986. 'A standard predictive index of human response to the thermal environment,' in ASHRAE Transactions, vol. 92:2B, pp. 709-731, Atlanta, GA.
8. Hensen, J.L.M., 1991. 'On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system,' PhD dissertation Eindhoven University of Technology (FAGO).
9. Hensen, J.L.M., 1991. 'Thermische behaaglijkheid in niet-stationaire omstandigheden; een literatuuronderzoek,' Klimaatbeheersing, vol. 20, no. 6, pp. 173-181.
10. ISO, 1984. 'Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort,' International Standard ISO 7730, International Organisation for Standardization.
11. Lammers, J.T.H., 1983. Toepassing van stralingsverwarming in overdekte zwembaden, Stichting Postacademische Vorming Gezondheidstechniek, Delft. PAO cursus: Zweminrichtingen; modernisering, renovatie en energieproblematiek
12. Lammers, J.T.H. and C.E.E. Pernot, 1984. 'De warmtehuishouding van zwembaden, in relatie tot mens en gebouw,' Verwarming en Ventilatie, pp. 189-198.
13. Madsen, T.L., 1987. 'Measurement and control of thermal comfort in passive solar systems,' in Proc. 3rd Int. Congress on Building Energy Management ICBEM'87, ed. A. Faist, E. Fernandes and R. Sagelsdorff, vol. IV, pp. 489-496, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne (CH).
14. McIntyre, D.A., 1980. Indoor climate, Applied Science Publishers Ltd, London.
15. Nevins, R.G., R.R. Gonzalez, Y. Nishi and A.P. Gagge, 1975. 'Effect of changes in ambient temperature and level of humidity on comfort and thermal sensations,' in ASHRAE Transactions, vol. 81:2, pp. 169-182, Atlanta, GA.
16. NNI, 1989. 'Gematigde thermische binnencondities. Bepaling van de PMV- en de PPD-waarde en specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid,' NEN-ISO 7730, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.

DEFINITIES

- de **gewogen gemiddelde stralingstemperatuur** is die temperatuur van een denkbeeldige zwarte omgeving, die dezelfde warmte-uitwisseling door straling met de mens zou veroorzaken als de werkelijke omgeving.
- de **PMV** geeft een voorspelling van de gemiddelde beoordeling (door een grote groep personen) van een bepaalde thermische omgeving (gedefinieerd door de z.g. omgevingsparameters) bij gegeven activiteitsniveau en kledingweerstand.
- de **PPD** geeft, als functie van de PMV en weer uitgaande van gelijk activiteitsniveau en identieke kleding, het percentage mensen dat niet tevreden zal zijn met een bepaalde thermische omgeving. Uit experimenten is gebleken dat de PPD minimaal 5% is. In de praktijk mikt men meestal op een PPD kleiner dan 20%.
- de **operatieve temperatuur** (T_o) is een denkbeeldige temperatuur die is samengesteld uit de luchttemperatuur (T_a) en de gemiddelde stralingstemperatuur (T_{mrt}) volgens:

$$T_o = aT_a + (1 - a)T_{mrt}$$
 waarbij a een zogenaamde weegfactor (kleiner dan 1) is.
- de **VRT** is gedefinieerd als het verschil in stralingstemperatuur tussen twee denkbeeldige evenwijdige vlakken, rakend aan het lichaam, bijvoorbeeld aan de voor- en achterzijde.

17. Rohles, F.H., G.A. Milliken, D.E. Skipton and I. Krstic, 1980. 'Thermal comfort during cyclical temperature fluctuations,' in ASHRAE Transactions, vol. 86:2, pp. 125-140, Atlanta, GA.
18. Sprague, C.H. and P.E. McNall jr., 1970. 'The effects of fluctuating temperature and relative humidity on the thermal sensation (thermal comfort) of sedentary subjects,' in ASHRAE Transactions, vol. 76:1, pp. 146-156, Atlanta, GA.
19. Wyon, D.P., T. Asgeirsdottir, P. Kjerulf Jensen and P.O. Fanger, 1973. 'The effects of ambient temperature swings on comfort, performance and behaviour,' Arch. Sci. Physiol., vol. 27, pp. A441-A458.

Vergelijken van reken- en meetresultaten bij geluidwering van gevels en lucht- en contactgeluidisolatie tussen woningen

ir. W.G.M. Beentjes

Bouwcentrum Advies BV (afdeling Technologie)

Abusievelijk zijn bij het artikel van de heer Beentjes in het vorige nummer de formules weggefallen. Om deze reden wordt het artikel hier opnieuw, nu volledig, geplaatst.

Samenvatting

De rekenresultaten voor geluidwering van gevels uit de Herziening van de rekenmethode geluidwering van gevels, en

PAKWEG, een vereenvoudigde versie van het lucht- en geluidisolatierekenmodel Iluco, worden vergeleken met meetresultaten. Ingegaan wordt op gebruik en op de toekomstige ontwikkelingen op dit gebied.

Inleiding

Het voorspellen van de geluidisolatiekwaliteit in de woningbouw staat reeds lang in de belangstelling van de bouw-