

Simuleren van het sproeipatroon van douchekoppen

Aanzet tot prestatie-indicatoren in Engeland

Als onderdeel van het beleidsplan van de afdeling ST wordt door die afdeling deelgenomen aan het jaarlijkse CIB-W062 Symposium. CIB staat voor International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Het congres dient om wereldwijd kennis uit te wisselen op het gebied van sanitaire installaties. In september 2006 organiseerde de Nationale universiteit van Taipei het symposium. Deelnemers uit verschillende landen presenteerden de resultaten van hun onderzoek. Arup in Engeland verricht veel onderzoek naar onderdelen van sanitaire installaties. Dankzij dit onderzoek wordt meer bekend van het waterverbruik van douchekoppen en het daarmee gepaard gaande energiegebruik voor het verwarmen van drinkwater. Onderzoeken van het Arup leiden veelal tot aanbevelingen voor richtlijnen en normen in Engeland.

- door D. Woolf*

*Vertaling en bewerking ing. W.G. van der Schee**
en W.J.H. Scheffer****

Het Market Transformation Programme (MTP) van de regering in Engeland ondersteunt de ontwikkeling en het in de praktijk toepassen van duurzame producten en technieken, met het oogmerk het milieu minder te belasten. Op de Britse markt is een grote ver-

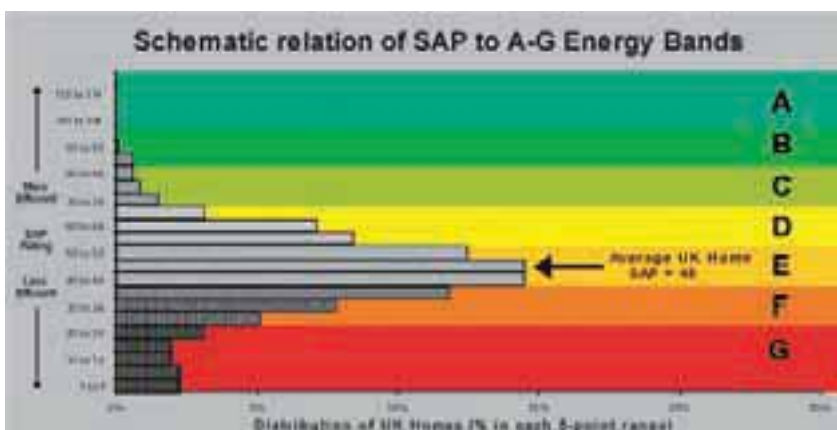
scheidenheid aan douchekoppen voor totale lichaamsreiniging verkrijgbaar, elk met zijn specifieke eigenschappen jegens de benodigde voordruk en volumestroom. Om inzicht te krijgen in het sproeibeeld, waterverbruik, energiegebruik en comfort bij een bepaald sproeipatroon van de douchekop is een

programma gestart om deze aspecten van de douchekop in kaart te brengen. Het onderzoek moet leiden tot aanbevelingen voor een gestandaardiseerde testmethode om een productvergelijk te kunnen maken. Een tweede doelstelling is te onderzoeken hoever de volumestroom kan afnemen met het behoud van comfortabele straal. Het zou te kostbaar worden deze experimenten met een grote hoeveelheid echte douchekoppen uit te voeren. Daarom maken de onderzoekers gebruik van een speciaal voor dit doel ontwikkeld simulatiemodel. Voor gebruik van het simulatiemodel zijn uitkomsten uit het simulatiemodel vergeleken met meetresultaten van experimenten met echte douchekoppen.

De kwaliteit van een douchekop wordt over het algemeen beoordeeld op het zichtbare en voelbare sproeipatroon. Uit het onderzoek blijkt, dat door de afmeting van de gaatjes in de douchekop te verkleinen, het mogelijk is met kleine volumestromen een goed en comfortabel sproeipatroon te handhaven. Er wordt ook aangetoond dat de watertemperatuur op het lichaam slechts weinig daalt door het gebruik van kleine gaatjes met een kleine volumestroom ten opzichte van douchekoppen met grote gaatjes met een grote volumestroom.

PRESTATIE-INDICATOREN VOOR DOUCHEKOPPEN

In Engeland is een tendens gaande dat bewoners meer gebruik gaan maken van de douche voor de persoonlijke hygiëne. Volgens de huidige statistieken



Voorbeelden van prestatie-indicatoren

- FIGUUR 1-

* Ove Arup & partners, Londen, Engeland.

** Wolter & Dros te Amersfoort

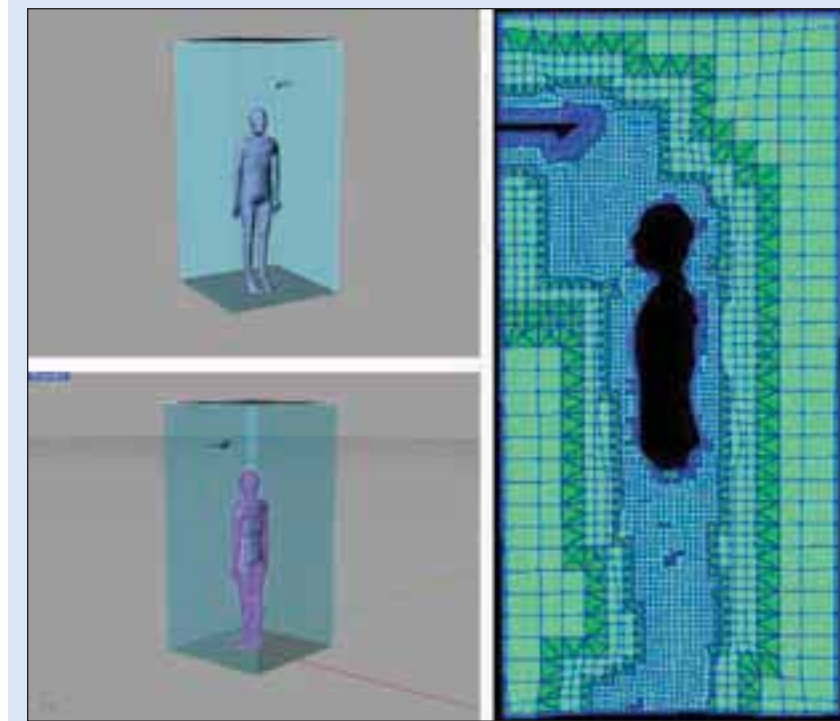
*** UNETO-VNI te Zoetermeer

neemt het waterverbruik voor het douchen 13 % van het totale waterverbruik per persoon per dag voor zijn rekening. De verwachting is dat dit aandeel in 2020 zal groeien tot 17 %. Het relatief lage percentage van 13 % voor het douchen ontstaat doordat veel bewoners gebruik maken van een bad. Er is een tendens gaande dat de bewoners in Engeland minder het bad gaan gebruiken en meer gaan douchen voor de lichamelijke verzorging. De onderzoekers stellen dat er behoefte bestaat aan indicatoren om de prestaties van verschillende douchekoppen te kunnen vergelijken. Criteria hierbij zijn de volumestroom, comfort en energiegebruik. Een bijkomend effect van het onderzoek is, dat inzicht ontstaat in het gedrag van het sproei-patroon en hoe deze het lichaam raakt. Dit biedt de onderzoekers de gelegenheid te bepalen hoever de volumestroom kan afnemen om het watergebruik te reduceren, met behoud van comfort tijdens het douchen.

Om de prestatie van verschillende douchekoppen met elkaar te vergelijken zijn meerdere indicatoren te bedenken:

- het watergebruik. Dit is te bepalen volgens de schaalverdeling van A tot en met G. Figuur 1 toont een voorbeeld van deze in Engeland gebruikelijke indicatie. Dit is te vergelijken met het in ons land gebruikte systeem met labels om het energiegebruik van koelkasten aan te geven;
- energiegebruik. Een kleinere volumestroom leidt uiteraard tot een lager energiegebruik;
- comfort. Het comfort van de douchekop wordt bepaald door het oppervlak van het lichaam dat door de douchestraal wordt geraakt in combinatie met de temperatuur van het water.

De bovenstaande indicatoren moeten worden gezien als suggesties waar nog overeenstemming moet worden bereikt. De onderzoekers zien het watergebruik als de belangrijkste prestatie-indicator om een beoordelingssysteem voor douchekoppen op te zetten, omdat dit een directe relatie heeft met het energiegebruik voor het verwarmen van het drinkwater. Men realiseert zich, dat als het energiegebruik eveneens binnen het beoordelingssysteem een prestatie-indicator is, dat in Groot Brittannië



Afbeeldingen van het CFD-rekenmodel.

- FIGUUR 2-

een standaardmethode moet worden ontwikkeld om het gebruik van de douchekop over het gehele jaar door te rekenen, waarbij men rekening zou kunnen houden met de afkoeling van het water dat onderweg is van de douchekop naar het lichaam. Een goed comfort tijdens het douchen is de belangrijkste randvoorwaarde tijdens het onderzoek. Dit komt tot uitdrukking in de volumestroom, de levering van "warmte" op het lichaam, oftewel de temperatuur van de huid van een proefpersoon, en de kracht van het sproeibeeld. Dit laatste houdt verband met de snelheid waarmee de druppels op de huid belanden.

De onderzoekers maken gebruik van een numerieke benadering met de naam computational fluid dynamics (CFD) met een virtueel model van een doucheruimte (met of zonder proefpersoon) met als resultaat de zogenaamde doucheomgeving. De maaswijdte van het model bestaat uit 170.000 kubusvormige elementen die de doucheomgeving representeren rondom een proefpersoon. De doucheomgeving wordt gedefinieerd door de luchtstroming, luchttemperatuur en vochtniveau (figuur 2). De thermische behaaglijkheid die de proefpersoon ondervindt, wordt naast de luchttemperatuur bepaald door het stromen

van het warme water over de huid. Gedurende het transport van het water door de lucht in de doucheruimte staan de waterdruppels warmte af aan de omgeving, waardoor de ruimtetemperatuur toeneemt. Ieder mens ervaart dit als men uit een warme doucheruimte stapt. De voorruimte is "koud". Dit effect van warmte-uitwisseling met de omgeving wordt meegenomen in het CFD-rekenmodel. Het model is eveneens in staat de kracht uit te rekenen waarmee een druppel het lichaam raakt.

VERGELIJK VAN EXPERIMENTEN EN DE WAARDEN BEREKEND MET HET CFD-REKENMODEL

Gedurende de ontwikkeling van het CFD-rekenmodel door de onderzoekers van Arup zijn tegelijkertijd experimenten met echte douches uitgevoerd aan John Moores University in Liverpool. Primair diende dit onderzoek om mogelijkheden voor waterbesparende douchekoppen te ontwikkelen. Het was eveneens een goede gelegenheid om de numerieke voorspellingen van het CFD-rekenmodel te toetsen aan de werkelijkheid.

Om stroming van de waterstraal vanuit een douchekop nauwkeurig te beschouwen is gebruik gemaakt van een fotoapparaat met flitser. De foto's

zijn gemaakt bij verschillende volumestromen. Met het blote oog lijkt het overgrote deel van het sproei patroon te bestaan uit meerdere kleine aaneengesloten stralen tot op een bepaalde afstand vanaf de douchekop. Vervolgens lijkt de straal uiteen te vallen in druppels. Maar de foto's tonen dat de zogenaamde aaneengesloten straaltjes kort na het verlaten van de gaatjes in de douchekop uiteen te vallen in druppels wat de warmte-uitwisseling met de omgeving beïnvloedt.

De onderzoekers vergeleken de resultaten van de testen en metingen en het door het CFD-rekenmodel voorspelde stromingspatroon bij een bepaalde volumestroom met de BS 6340-4: 1984. Deze norm specificeert de uitvoering van het testen van douchekoppen voor huishoudelijk gebruik.

De volumestroom van de douchestraal is onderzocht met een ronde opvangbak met een diameter van 150 mm. De opvangbak is verdeeld in drie meetzones: in het midden de kern, een middenring en buitenring. Gedurende 60 seconden is gemeten op de afstand vanaf de douchekop waar het sproei patroon overgaat in druppels. De massa water in iedere zone wordt gewogen en vergeleken met de in de British Standard voorgeschreven massa en de berekende massa door het CFD-rekenmodel. Tabel 1 toont de resultaten van de metingen en de berekende waarden. Het valt op dat de grootste afwijking tussen de gemeten en berekende massa slechts 7 % bedraagt.

Van de douchestraal zijn eveneens de watertemperaturen op verschillende afstanden vanaf de douchekop gemeten en vergeleken met de door het CFD-rekenmodel berekende waarden.

De temperaturen zijn in de kegel van de douchestraal gemeten met thermokoppels, gemonteerd in een metalen bak om zo effectief mogelijk de temperaturen van de binnen- en buitenstraal te middelen. Van de door het CFD-rekenmodel berekende waarden werden ook de temperaturen van de binnen- en buitenstraal gemiddeld op verschillende afstanden vanaf de douchekop: 0,05, 0,25, 0,45, 0,65, 0,85 en 1,50 m. De waarden berekend met het CFD-rekenmodel geven een betrouwbare voorspelling van de temperatuur van de douchestraal op verschillende afstanden.

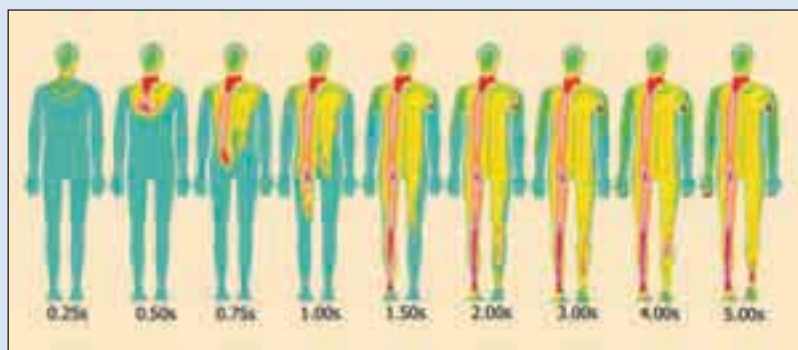
SIMULATIE VAN HET SPROEIPATROON

Het toegepaste CFD-rekenmodel is in staat zeer uitgebreide berekeningen te maken om in detail onder andere de luchttemperatuur, de lichtsnelheid, luchtbeweging en de kracht van het sproei patroon te berekenen. Om in het kader van het onderzoek het aantal variabelen te beperken, zijn de volgende waarden aangenomen:

- het oppervlak van het lichaam van de proefpersoon heeft een constante temperatuur van 34 °C;
- de douchekop is gemonteerd onder

- een hoek van 45 °. De watertemperatuur bedraagt 40 °C;
- het debiet varieert van 3 tot 30 liter per minuut;
- er treedt geen warmte-uitwisseling op met de scheidingswanden en vloer van de doucheruimte.

Met het CFD-rekenmodel zijn berekeningen gemaakt om de stroming van het water over het lichaam te voorspellen. Figuur 3 toont de ontwikkeling van de dikte en de vorm van de waterfilm op het lichaam van de proefpersoon gedurende vijf seconden vanaf het moment dat de douchestraal is ingeschakeld. De onderzoekers gebruikten maximale tijd van vijf seconden om de verschillende scenario's te vergelijken. In werkelijkheid duurt een doucheperiode langer, maar dat gaat gepaard met een stijging van de temperatuur van de huid. En deze variabele was omwille van een beperking van het aantal berekeningen als constant verondersteld. Als de invloed van het opwarmen van de huid moet worden meegenomen in de berekeningen, dan moet het rekenmodel worden uitgebreid. Deze uitbreiding valt buiten het bereik van dit onderzoek en de gekozen benadering is nauwkeurig genoeg om de effecten van verschillende dou-



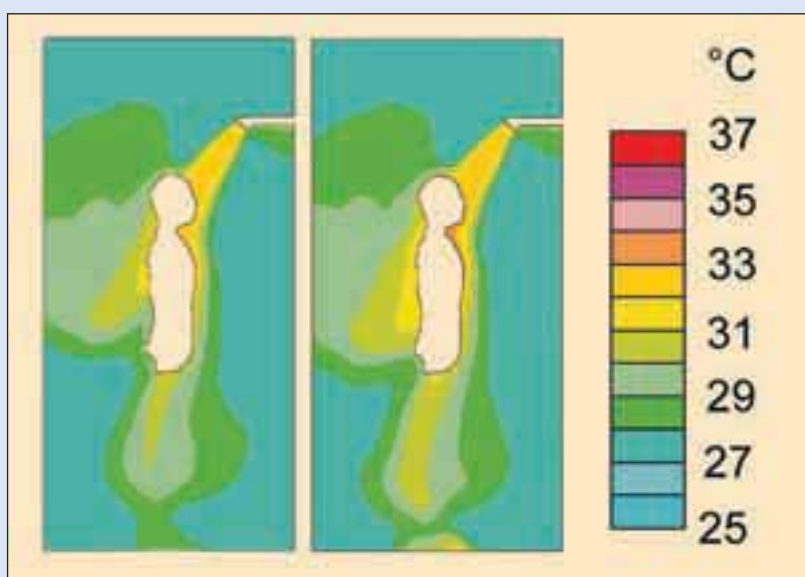
Ontwikkeling van de waterfilm over het lichaam in een tijdsinterval van vijf seconden.

- FIGUUR 3-

Zone	% van geheel	% volgens BS	Gemeten		Berekend		Verschil (%)
			Massa (kg)	in zone (%)	Massa (kg)	in zone (%)	
Kern	12,0	0 tot 35	1,17	32	1,04	25	7
Middenring	32,4	10 tot 70	0,86	23	1,04	25	2
Buitenring	55,6	25 tot 85	1,68	45	2,08	50	5
Totaal			3,71		4,16		

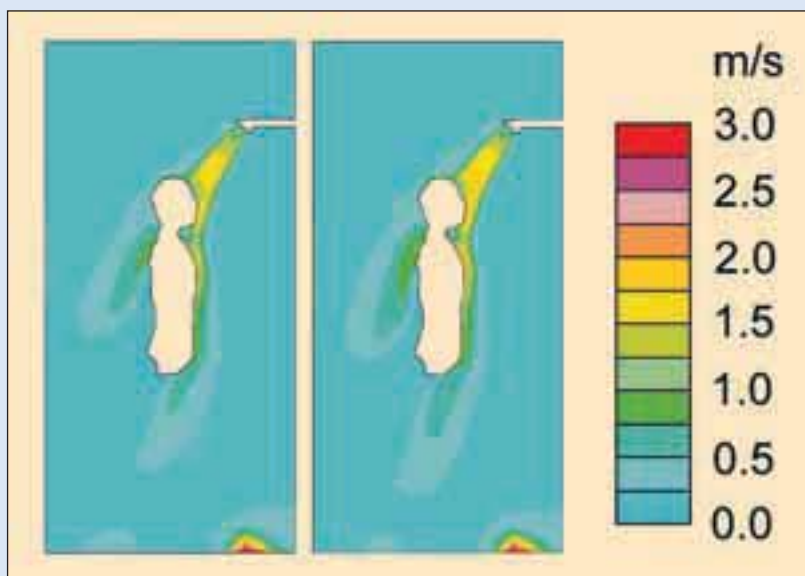
Vergelijk van de gemeten en berekende waarden.

- TABEL 1-



Berekende luchttemperatuur van de douchestraal. Links volumestroom 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut.

- FIGUUR 4-



Berekende luchtsnelheid. Links volumestroom 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut.

- FIGUUR 5-



Berekend vochtgehalte in de doucheruimte. Links volumestroom 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut.

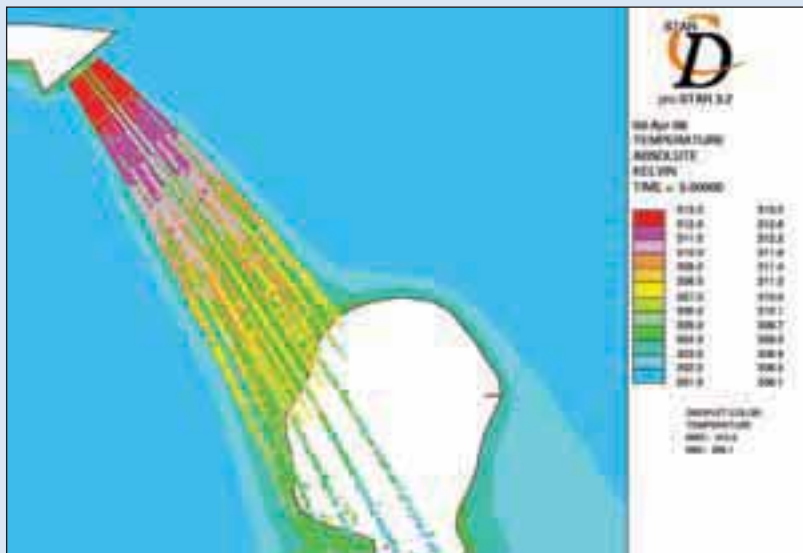
- FIGUUR 6-

chestrallen met elkaar te vergelijken. In figuur 3 komt duidelijk het verloop van de waterfilm en de watertemperatuur tot uitdrukking.

In de figuren 4, 5 en 6 zijn respectievelijk de berekende luchttemperatuur, luchtsnelheid en het vochtgehalte op een verticale doorsnede van de proefpersoon in de doucheruimte te zien. Aan de linkerkant van de figuren 4, 5 en 6 staat de douchekop met een volumestroom van 6 liter per minuut afgebeeld, aan de rechterkant 15 liter per minuut. De uitwisseling van warmte en vocht tussen de waterdruppels en de omgeving is meegenomen in de berekeningen. De stralen en druppels van het sproei patroon verwarmen de omgeving tijdens de afgelegde weg naar het lichaam. De verschillen in warmteoverdracht tussen een douchekop met een volumestroom van 6 of 15 liter per minuut zijn relatief klein.

In figuur 7 is het verloop van de water- en luchttemperatuur na uittrede uit de douchekop duidelijk te volgen. Het water treedt uit de douchekop met een temperatuur van 40 °C en raakt het hoofd met een temperatuur van ca. 37 °C. Uit de simulatieberekeningen volgt dat de grootste opwarming optreedt direct nadat de waterstralen de douchekop verlaten. Aan de kleuren in de figuur is ook te zien dat de lucht rond de douchestraal en douchekop in temperatuur stijgt. De mate van opwarmen van de omgeving in de doucheruimte hangt af van het aantal stralen uit de douchekop, de druppels, de afmeting en snelheid.

Figuur 8 toont de dikte van de berekende waterfilm en figuur 9 de watertemperatuur op het huidoppervlak van de proefpersoon. In het CFD-rekenmodel is het lichaam van de proefpersoon ondoorlaatbaar, waardoor de dikte van de waterfilm relatief veel varieert tijdens de stroming. De dikte van de waterfilm wordt in hoge mate beïnvloed door de plaats op het lichaam en de volumestroom. In werkelijkheid zullen deze effecten niet optreden omdat de mens tijdens het douchen onder de douchestraal continu in beweging is. De twee afbeeldingen in figuur 8, volumestroom links 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut, tonen een even grote dekking van de waterfilm, maar met een dunnere waterfilm



Berekende temperatuur van de lucht en druppels.

- FIGUUR 7-

bij de volumestroom van 6 liter per minuut. Dit toont aan dat met een relatief kleine volumestroom in combinatie met een optimale grootte en positie van de gaatjes in de douchekop een voldoende grote dekking op het lichaamsoppervlak wordt bereikt. In figuur 9 links is te zien dat met de kleine volumestroom de temperatuur op het lichaam van de proefpersoon slechts circa 1 K varieert.

Uit de berekeningen van het CFD-rekenmodel blijkt dat bij een douchekop met een volumestroom van 15 liter per minuut, met een temperatuur van 40 °C, het energiegebruik met 9 % stijgt als de temperatuur van het water met 3 K toeneemt. Het energiegebruik vermindert met 60 % indien de volumestroom afneemt tot 6 liter per minuut. Dit is te vergelijken met

een temperatuurdaling van 8 K bij een volumestroom van 15 liter per minuut. Bij een klein debiet stijgt het energiegebruik eveneens met 9 % indien de toevoertemperatuur stijgt met 3 K, maar het totale energiegebruik is slechts 40 % van dat bij het hoge debiet. Oftewel het is in termen van energiegebruik veel efficiënter het waterverbruik tijdens het douchen te reduceren en dan, indien gewenst, de temperatuur van het water te verhogen om de lagere temperatuur op de huid te compenseren. Een halvering van het debiet leidt tot een halvering van het energiegebruik.

CONCLUSIE

De onderzoekers trekken op basis van de uitkomsten van de simulaties met het CFD-rekenmodel naar het sproei patroon van douchekoppen meerdere

conclusies:

- de waterstralen vallen kort na het verlaten van de douchekop uiteen in druppels;
- de douchestraal brengt de omgevingslucht in beweging en verwarmd deze;
- de verdamping aan het oppervlak van de druppels onttrekt warmte aan de druppel en voegt vocht toe aan de omgeving;
- de warmteoverdracht op de huid is afhankelijk van dekking van de waterfilm op de huid en de temperatuur van het douchewater;
- de temperatuur van de waterdruppels neemt af door blootstelling aan de omgevingslucht, de binnenconus is warmer dan de buitenconus;
- het grootste warmteverlies treedt op in een sproei patroon met kleine druppels.

Zij stellen dat:

- de dekkingsgraad van de waterfilm kan worden gehandhaafd door een juiste plaatsing, afmeting en aantal gaatjes in een douchekop;
- de temperatuur van de waterfilm enigszins lager is bij een kleine volumestroom ten opzichte van een grote volumestroom;
- de kracht van de straal kan bij een laag debiet worden verhoogd door kleinere gaatjes.

Verder stellen zij na ervaring te hebben opgedaan met het simulatieprogramma:

- een CFD rekenprogramma is goed in staat om de prestaties van verschillende douchekoppen te beoordelen en voorspellen;
- er is behoefte om een standaard richtlijn (Standard Assessment Pro-

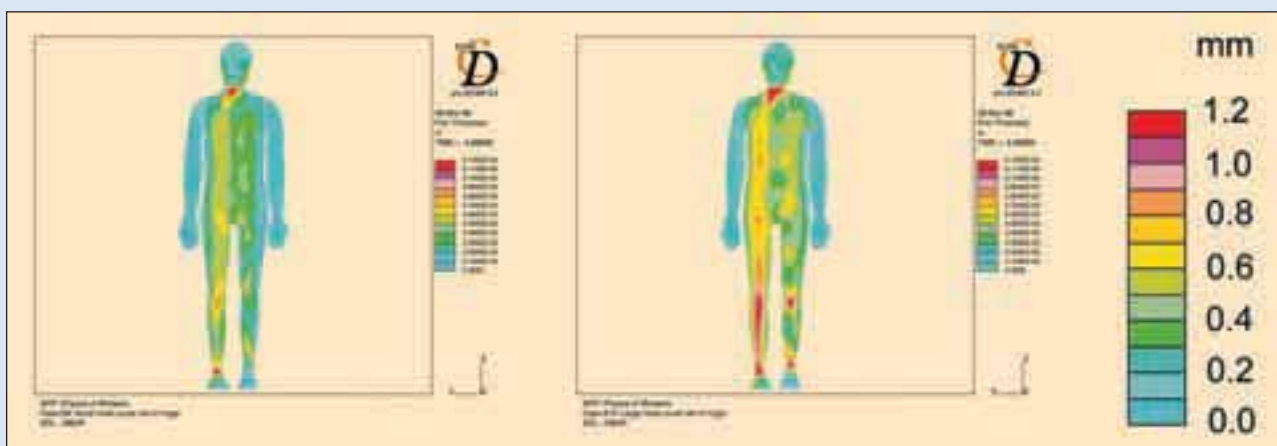



Figure 9a: Predicted water film thickness.

Berekende dikte van de waterfilm op het huidoppervlak van een proefpersoon. Volumestroom links 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut.

- FIGUUR 8-

cedure (SAP) or British Standard) op te stellen om de prestatie van douchekoppen te bepalen;

- fabrikanten en leveranciers moeten worden aangezet andere producten te leveren en prestatie-indicatoren van hun producten op te geven met aspecten zoals volumestroom, voldoen aan richtlijnen en energiegebruik. Met als doel de potentiële gebruiker van dienst te zijn met betere informatie bij de aankoop. 

REFERENTIES

1. *Shower head design: Increasing performance at lower flow rates*, D. Woolf, I. Pau, M. Shouler. CIB W026 symposium, Taipei 2006.
2. BS 6340-4: 1984 "Shower units – Part 4: Specification for shower heads and related equipment".
3. *Het ontwerpen van sanitaire installaties*, W.J.H Scheffer, Elsevier Bedrijfsinformatie, 2000.

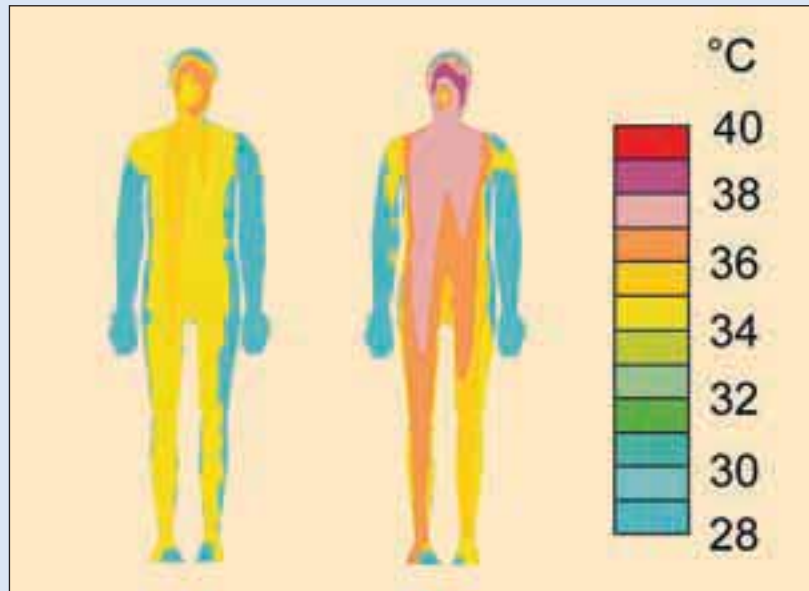


Figure 9b: Predicted water film temperature.
Berekende temperatuur op het huidoppervlak van een proefpersoon.
Volumestroom links 6 liter per minuut en rechts 15 liter per minuut.

- FIGUUR 9-

Bij de voorplaat

Komende zomer zal het nieuwe Deventer Ziekenhuis geopend worden. Dan zitten 4 jaar bouwen en een lange periode van voorbereiding erop. Een modern en technisch hoogwaardig ziekenhuis is het resultaat. Ook het klimaatbeheersingssysteem moest voldoen aan hoogwaardige eisen. Adviseur Deerns en Kropman Installatietechniek stonden voor de uitdaging een systeem te selecteren die zowel zeer efficiënt als energiezuinig is. Daarnaast zijn de geringe koudemiddelinhoud en de compactheid van het systeem doorslaggevend geweest te kiezen voor koelmachines van Carrier Airconditioning.



Watergekoelde
vloeistofkoelmachines
30 HXC, fabrikaat
Carrier Airconditioning

Het systeem bestaat uit 9 stuks 30 HXC watergekoelde vloeistofkoelmachines met capaciteiten variërend van 300 – 400 kW.

De koeling verloopt via het bodemopslag systeem met een watertemperatuur van 5°.

De verwarming via warmtepompen met een watertemperatuur van 55°.

De warmte/koudeopslag loopt door het hele ziekenhuis en per bouwdeel naar een decentrale warmtepomp.

Met name de specialisatie van Kropman Installatietechniek in LON-technologie zorgt ervoor dat het klimaatsysteem aangesloten wordt op het gebouwbeheersysteem.

Project Nieuwbouw Deventer Ziekenhuis

Adviseur: Deerns

Installateur: Kropman Installatietechniek

Leverancier airconditioning: Carrier Airconditioning

Carrier Nederland BV

Divisie Airconditioning

Rijndijk 141

Hazerswoude Rijndijk

www.carrier.nl

