Plan van eisen m.b.t. het thermisch comfort van gebouwen

Auteur(s): Luc François (WTCB)

Datum: februari 2012

Deze studie werd uitgevoerd in het kader van het IWT-VIS traject Smart Geotherm (2011-2017)

Contents

1 Omschrijving subtaak 4
2 Bepalende comfortparameters voor de beoogde gebouwtypes 5
2.1 Algemene thermische gewaarwording 5
2.2 Lokaal thermisch discomfort 6
2.2.1 Stralingsasymetrie 6
2.2.2 Tocht 6
2.2.3 Verticale temperatuurverschillen 7
2.2.4 Koude en warme vloeren 7
2.3 Categorieën van thermisch comfort 8
2.3.1 Categorie A 9
2.3.2 Categorie B 9
2.3.3 Categorie C 9
2.4 temperatuursveranderingen 9
2.4.1 cyclische veranderingen 9
2.4.2 Drifts en ramps 9
2.4.3 Overgangsfluctuaties 10
2.5 Lange termijn evaluatie van de thermische omstandigheden 10
2.6 Luchtvochtigheid 10
2.7 Luchtsnelheid 11
2.7.1 algemeen 11
2.7.2 Luchtsnelheid en de invloed op de maximum operatieve temperatuur 12
2.8 Ventilatie-eisen 13
2.8.1 Algemene eisen 13
2.9 Algemeen geldende eisen 14
3 Beperkingen van het gebruik van de PMV-formule 15
3.1 Algemeen 15
3.2 Metabolisme 16
3.3 Kledij 16
3.4 Evaluatiemodellen 17
3.4.1 ISO 7730 17
3.4.2 Adaptieve thermische comfortmodellen 17
3.5 Operatieve temperatuur 22
3.5.1 Definitie 22

3.5.2 Hc: overdrachtscoëfficient voor convectie 23
3.5.3 Hr: overdrachtscoëfficient voor straling 24
3.5.4 Gemiddelde stralingstemperatuur 24
3.5.5 Impact door verschil in lucht- en gemiddelde stralingstemperatuur 32
3.6 Besluiten 34
4 Indeling van de thermische comfortparameters in functie van gebouwtypes 36
4.1 Kantoorgebouwen 36
4.1.1 literatuuronderzoek 36
4.1.2 Overschrijdingsuren 36
4.1.3 Samenvattende tabel 36
4.2 Ziekenhuizen 38
4.2.1 Literatuuronderzoek 38
4.2.2 Berekeningen met het model van “Fanger” 38
4.2.3 Temperatuur 38
4.2.4 Overschrijdingsuren 40
4.2.5 Samenvattende tabel 41
4.3 Rust- en verzorgingstehuizen 42
4.3.1 Literatuuronderzoek 42
4.3.2 Kledij en metabolisme 42
4.3.3 Overschrijdingsuren 43
4.3.4 Samenvattende tabel 45
4.4 Scholen 46
4.4.1 Literatuuronderzoek 46
4.4.2 Temperatuur 46
4.4.3 Overschrijdingsuren 47
4.4.4 Samenvattende tabel 47
4.5 Residenties 49
4.5.1 Literatuur 49
4.5.2 badkamer 49
4.5.3 Slaapkamer 50
4.5.4 Andere ruimten 50
4.5.5 Samenvattende tabel 51

1 Omschrijving subtaak

Subtaak 1.1 Plan van eisen m.b.t. het thermisch comfort van gebouwen

In subtaak 1.1. worden de criteria vastgelegd voor het bekomen van een comfortabel thermisch binnenklimaat in een gebouw dat uitgerust is met een afgiftesysteem dat de combinatie kan zijn van een zeer lage temperatuurverwarming (ZLTV) en een zeer hoge temperatuurkoeling (ZHTK).

Het is bekend dat de operatieve temperatuur die door dergelijke afgiftesystemen in een gebouw gerealiseerd wordt, veel dichter aanleunt bij de gewenste binnenluchttemperatuur, waardoor de gebruikers deze vorm van verwarmen en koelen dan ook als zeer comfortabel ervaren en appreciëren.

Buiten de lucht- en stralingstemperatuur, zijn ook andere comfortparameters van belang bij de beoordeling van het thermisch comfort (o.a. luchtvochtigheid, verticale temperatuurgradiënt, stralingsasymmetrie, tocht, oppervlaktetemperaturen, …) en deze dienen allen te beantwoorden aan bepaalde criteria, waarvoor limietwaarden zijn vastgelegd in een aantal specifieke normen. Daarnaast zal het gebruikersgedrag zelf op zijn beurt de gewaarwording van comfort beïnvloeden.

Een bijkomend belangrijk criterium, dat voornamelijk voor kantoorgebouwen geldt, is de maximale duur van de tijd binnen dewelke de operatieve temperatuur mag onder- en/of overschreden worden (de zogenaamde GTO-uren) en waarbij ook de invloed van de gebouwmassa is meegerekend.

In functie van de gewenste comfortklassen, ook beschreven in normen, kunnen de tolerantiegrenzen verschillen. Dit is van groot belang omdat het duidelijk is dat hoe strenger de tolerantiegrenzen, hoe moeilijker het is eraan te voldoen, wat een grote invloed kan hebben op de keuze en de prestatie van het klimatisatiesysteem.

<u>Resultaten</u>

Overzicht van alle bepalende comfortparameters voor de beoogde gebouwtypes

Programma van eisen met betrekking tot het thermisch binnenklimaat op basis van een relevante selectie van de bepalende comfortparameters, door toetsing aan de specifieke kenmerken van de ZLTV- en ZHTK-systemen.

2 Bepalende comfortparameters voor de beoogde gebouwtypes

Hierna wordt een beschrijving gegeven van de algemeen geldende comfortparameters. Een samenvatting hiervan wordt gegeven in de algemene tabel (zie §2.9)

2.1 Algemene thermische gewaarwording

De criteria voor het thermisch binnenklimaat zijn gebaseerd op de NBN EN ISO 7730:2005: *Ergonomie van de thermische omgeving – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV- en PPD-waarden en door criteria voor de plaatselijke thermische behaaglijkheid.*

De norm is parallel ontwikkeld met de standard 55 van de ASHRAE (American Society of Heating, Refigerating and Air-conditioning Engineers).

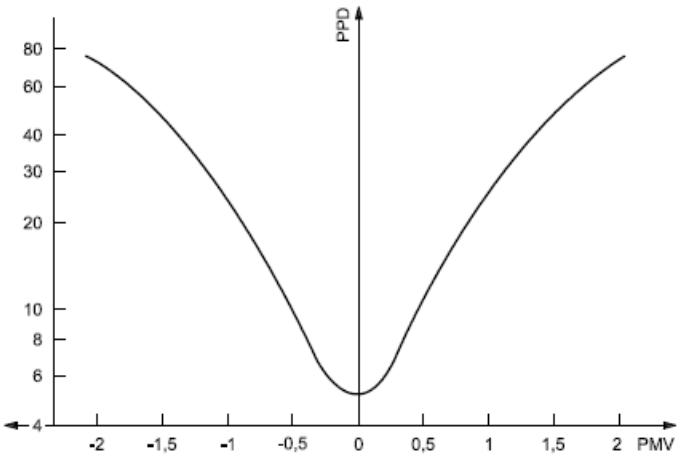
Het menselijk thermisch gevoel wordt voornamelijk bepaald door het thermisch evenwicht van zijn lichaam als geheel. Dit evenwicht wordt enerzijds beïnvloed door zijn fysische activiteit en zijn kledij en anderzijds door omgevingsparameters zoals de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur, de luchtsnelheid en de luchtvochtigheid.

Op basis van deze parameters kan men het thermisch comfort van het menselijk lichaam voorspellen door de PMV-index (Predicted Mean Vote) te berekenen.

De PPD-index (Predicted Percentage Dissatisfied) geeft een inschatting van het percentage van personen die het te warm of te koud hebben in een bepaalde omgeving. De PPD-index wordt afgeleid van de PMV-index. De PMV-index heeft een waarde van +3 voor te warm tot -3 voor te koud.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp\left(-0{,}033\,53 \cdot PMV^4 - 0{,}217\,9 \cdot PMV^2\right)$$

Er bestaat geen set van parameters waarbij 100% van een populatie tevreden is. Zelfs voor een PMV-index van 0 (neutraal) zullen statistisch gezien nog 5% van de aanwezigen de ruimte als te koud of te warm ervaren.



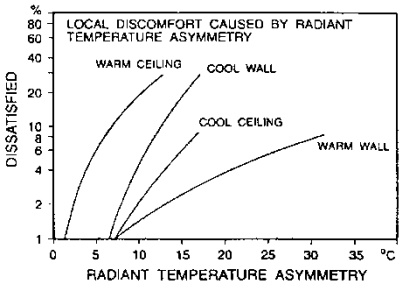
2.2 Lokaal thermisch discomfort

Thermisch discomfort kan ook veroorzaakt worden door een ongewenste lokale afkoeling of opwarming van het lichaam. De meest voorkomende oorzaken van dit discomfort zijn: stralingsasymetrie, tocht, verticale temperatuurverschillen en te koude of te warme vloeren.

2.2.1 Stralingsasymetrie

Men spreekt van asymmetrische straling als de warmte-uitwisseling door straling van een persoon in een ruimte in verschillende richtingen sterk verschilt. Dit wordt veroorzaakt door de verschillen die er bestaan tussen de oppervlaktetemperaturen binnen één ruimte.

Stralingsasymmetrie wordt vaak veroorzaakt door grote ramen, verwarmings- of koelplafonds plafonds. In volgende grafiek wordt het percentage ontevredenen gegeven dat overeenkomt met het effect van koude en warme wanden. Onderzoek heeft bovendien aangetoond dat mensen gevoeliger blijken te zijn voor koude verticale wanden en warme horizontale wanden dan omgekeerd (warme muren en koelplafonds).



Percentage ontevredenen bij koude ramen en verwarmde plafonds

De maximale percentages ontevredenen per categorie en de maximale stralingsasymetrie zijn opgenomen in de algemene tabel.

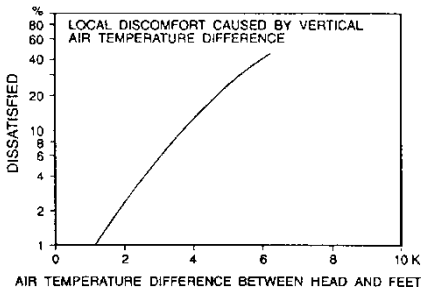
2.2.2 Tocht

De hinder door tocht wordt weergegeven door het DR (Draught Rate) -percentage en duidt op het aantal mensen dat de luchtstroming als hinderlijk ervaart.(zie verder §2.7 “luchtsnelheid”)

Het maximale percentage ontevredenen is opgenomen in de algemene tabel.

2.2.3 Verticale temperatuurverschillen

Een te groot luchttemperatuurverschil tussen hoofd en enkels kan een thermische onbehaaglijkheid veroorzaken. In de volgende figuur wordt het percentage ontevredenen gegeven als functie van dit temperatuurverschil. De grafiek is toepasbaar voor luchttemperatuurverschillen < 8°



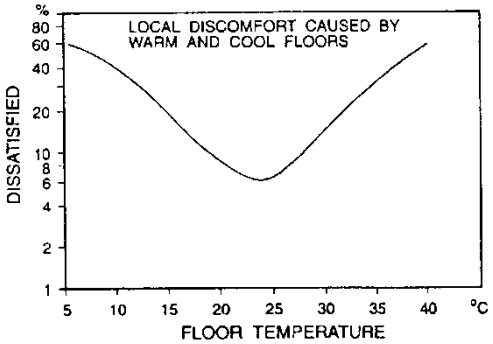
Percentage ontevredenen i.f.v. het luchttemperatuurverschil tussen hoofd en enkels

Het maximale percentage ontevredenen en de maximale temperatuursgradient zijn opgenomen in de algemene tabel.

2.2.4 Koude en warme vloeren

Mensen kunnen een thermisch discomfort ervaren als de vloer te koud of te warm is. Zeker bij het dragen van licht schoeisel is het eerder de temperatuur van de vloer dan de vloerafwerking die belangrijk is.

Het procentueel aantal ontevredenen in functie van de vloertemperatuur wordt weergegeven in volgende grafiek.



Percentage ontevredenen en vloertemperatuur

Alhoewel deze grafiek gebaseerd is op studies waarbij de proefpersonen zaten of stonden, kan ze ook worden toegepast op personen die op de vloer zitten of liggen.

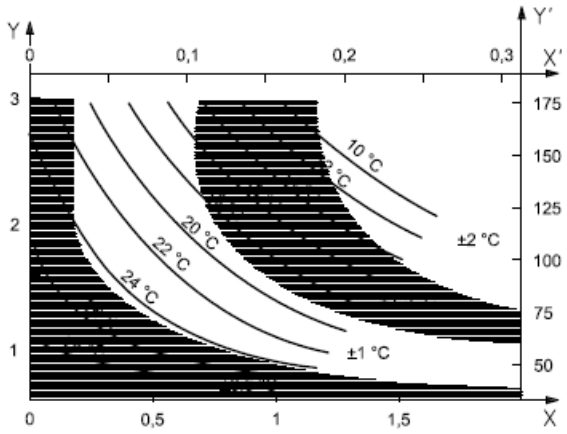
In de algemene tabel is het temperatuurbereik opgenomen voor de verschillende categorieën.

2.3 Categorieën van thermisch comfort

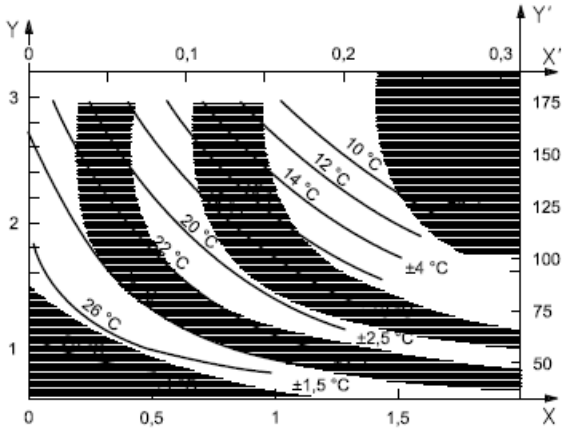
De thermische comforteisen worden bepaald door het maximaal aantal ontevredenen dat men toelaat.

Het spreekt voor zich dat een verstrenging van de thermische comforteisen meestal een verhoging van de kostprijs van de technische installatie teweeg zal brengen.

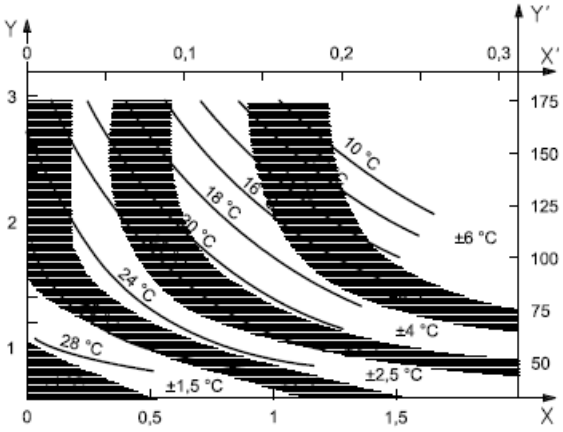
Terwijl de streefwaarde voor bijvoorbeeld de operatieve temperatuur voor elke categorie hetzelfde zal zijn, worden de grenswaarden ruimer voor minder strenge categorieën.



Catégorie A: PPD < 6 %



Catégorie B: PPD < 10 %



Catégorie C: PPD < 15 %

In de studie “Classification of Thermal Environments for Comfort Assessement”[1]wordt een voorzet gegeven om in functie van drie factoren een bepaalde klasse te voorzien. Deze factoren hebben

[1] Classification of Thermal Environments for Comfort Assessement; P.Lenzuni, D.Freda, M.Del Gaudio; Department of Florence, Italian National Institute for Occupational Prevention and Safety, mrt.2009

betrekking op de ouderdom (Fs), de nauwkeurigheid van de taak (Fa) en de mogelijkheid voor thermische manipulatie (Ft). Hoe lager het product van de factoren vermenigvuldigd met een weegfactor, hoe strenger de vereiste ontwerpcategorie.

2.3.1 Categorie A

Dit is de strengste klasse. De PPD-max is 6%.

De ISO/TS 14415:2005 (ergonomics of the thermal environment – application of international standards of people with special requirements) voorziet deze categorie voor een aantal doelgroepen zoals ouderen, kinderen, zwangere vrouwen, …

2.3.2 Categorie B

De PPD-max is 10%. Dit is de standaardcategorie. In de categorie vallen alle nieuwe gebouwen bestemd voor gezonde mensen

2.3.3 Categorie C

De PPD-max is15%. De kans op ernstige hinder is wel nog beperkt, maar er is geen garantie voor algemene tevredenheid of een comfortabele werkomgeving. Deze categorie mag enkel toegepast worden op bestaande gebouwen of tijdelijk bij renovatie.

2.4 temperatuursveranderingen

Thermische omstandigheden zijn zelden stabiel, maar eerder variabel. Men maakt een onderscheid tussen drie fenomenen: cyclische veranderingen, drifts & ramps en overgangsfluctuaties.

2.4.1 cyclische veranderingen

De amplitude van de variatie moeten kleiner blijven dan **1°K** om geen invloed te hebben op het thermisch comfort. (ISO 7730:2005)

Volgens de ASHRAE55-2004 moeten deze veranderingen moeten optreden binnen de 15 min, anders worden ze beschouwd als drift of ramps. De maximum piek-tot-piek variatie volgens deze norm is **1.1°K**.

2.4.2 Drifts en ramps

Drifts zijn ongecontroleerde temperatuursveranderingen; ramps zijn gestuurd door bijv. de thermostaat en hebben een periode groter dan 15min. (ASNI/ASHRAE 55-2004)

TABLE 5.2.5.2
Limits on Temperature Drifts and Ramps

Time Period	0.25 h	0.5 h	1 h	2 h	4 h
Maximum Operative Temperature Change Allowed	1.1°C (2.0°F)	1.7°C (3.0°F)	2.2°C (4.0°F)	2.8°C (5.0°F)	3.3°C (6.0°F)

De snelheid in temperatuurwijzigingen moeten kleiner zijn dan °**2K/h** (ISO 7730:2005)

2.4.3 Overgangsfluctuaties

Sprongen naar hogere operatieve temperaturen zijn onmiddellijk voelbaar; men kan de PMV en PPD gebruiken om het comfort in te schatten.

Een vermindering van temperatuur wordt in eerste instantie als lager comfortabel ervaren dan de overeenkomstige PMV/PPD. Na een overgangsperiode (30min) regulariseert dit fenomeen dit. (ISO7730:2005)

2.5 Lange termijn evaluatie van de thermische omstandigheden

Om de thermische omstandigheden op langere termijn (seizoen, jaar) te evalueren, voorziet de NBN EN ISO 7730:2005 in annex H, 5 verschillende methodes om de meetgegevens of computersimulaties te evalueren.

1. Percentage aan uren dat PMV of temp. buiten toelaatbare zone was. (TO)
2. Tijd gewogen met factor die weergeeft hoeveel de overschrijding in °C was
3. Tijd gewogen met factor functie van PPD of GTO-methode genoemd (gewogen temperatuuroverschrijdingen)
4. Gemiddelde PPD over tijd
5. Som van PPD's over een bepaalde tijd

De TO en GTO-methode worden in de praktijk het meest gehanteerd. De gebruikelijke richtwaarden worden per gebouwtype besproken en in de tabellen per gebouwtype opgenomen.

2.6 Luchtvochtigheid

Hoewel de luchtvochtigheid in de PMV-formule als parameter is opgenomen, wordt zijn invloed bij temperaturen lager dan 26°C en bij lichtere activiteiten (<2 Met) als zeer beperkt beschouwd.

Een verhoging van 10% vertaalt zich in een gevoel van temperatuursverhoging van 0.3°C.

Voor de algemene tabellen wordt een relatieve vochtigheid van 60% gerekend in de zomerperiode en 40% voor de winterperiode.

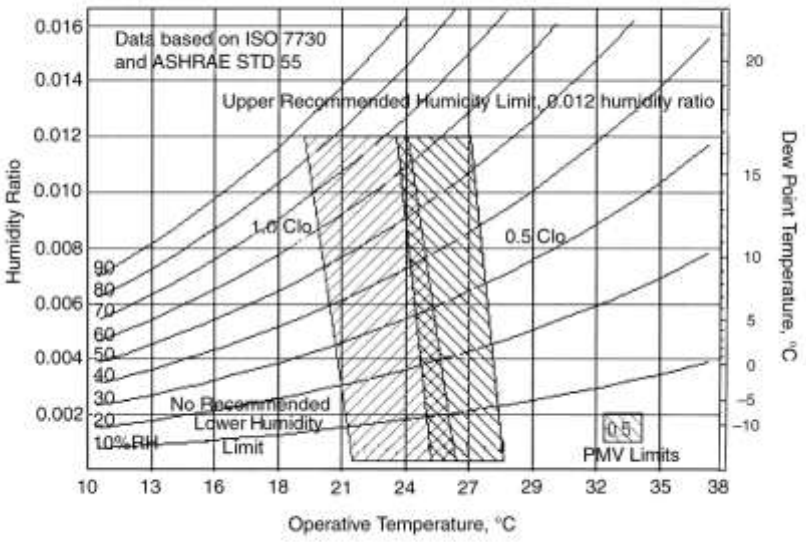
De EN 15251:2007 vermeldt dat de bevochtiging van binnenlucht meestal niet nodig is. Te hoge vochtigheid geeft microbiologische groei. Te lage luchtvochtigheid (<15-20%) veroorzaakt droogheid en irritatie van de ogen en luchtwegen.

Bepaalde gebouwen zoals musea, kerken en historische gebouwen kunnen wel bijkomende vereisten hebben.

In de Vliet-bis 'E-gids' worden grenswaarden per categorie opgenomen. Deze waarden werden opgenomen in de tabel van algemeen geldende eisen (zie § 2.9)

ANSI/ASHRAE 55-2004

In de volgende figuur wordt de optimale operatieve temperatuur weergegeven in functie van de relatieve vochtigheid. We lezen dat een verhoging van de relatieve vochtigheid een verlaging van de optimale comforttemperatuur als gevolg heeft in ordegrootte als aangegeven in de ISO7730 namelijk 0.3°C per 10% vochtigheid.



2.7 Luchtsnelheid

2.7.1 algemeen

Voor het model van Fanger is de gemiddelde luchtsnelheid t.o.v. het lichaam belangrijk. Tochtverschijnselen worden gerekend tot het lokaal discomfort

NBN EN ISO7730:2007

Het percentage mensen dat last van tochtverschijnselen wordt berekend aan de hand van onderstaande formule en is afhankelijk van de luchttemperatuur, de luchtsnelheid en de graad van turbulentie:

$$DR = (34 - t_{a,l})(\bar{v}_{a,l} - 0{,}05)^{0{,}62}(0{,}37 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot Tu + 3{,}14) \qquad (6)$$

Pour $\bar{v}_{a,l} < 0{,}05$ m/s, utiliser $\bar{v}_{a,l} = 0{,}05$ m/s

Si $DR > 100$ %, utiliser $DR = 100$ %

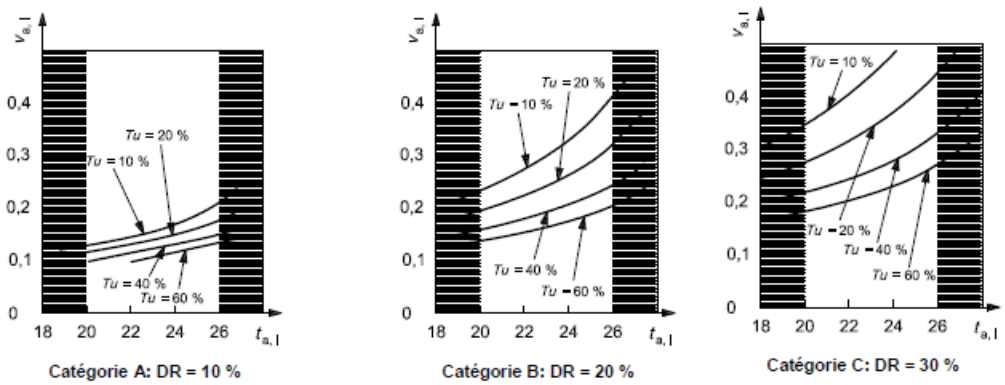
où

$t_{a,l}$ est la température locale de l'air, en degrés Celsius, 20 °C à 26 °C;

$\bar{v}_{a,l}$ est la vitesse moyenne locale de l'air, en mètres par seconde, < 0,5 m/s;

Tu est l'intensité locale de turbulence, en pourcentage, 10 % à 60 % (si la valeur n'est pas connue, il est possible d'utiliser 40 %).

De maximaal toelaatbare gemiddelde luchtsnelheid is dus functie van de luchttemperatuur en de turbulentiegraad. Deze laatste kan variëren tussen de 30% en 60%



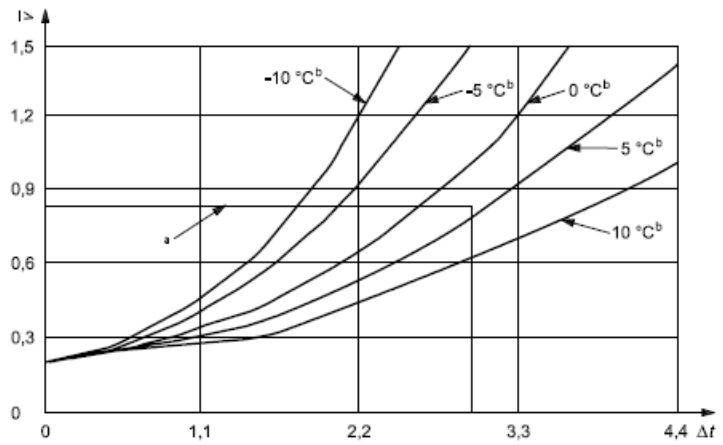
De waarden die verder in de tabel zijn opgenomen veronderstellen een turbulentiegraad van 40% en een luchttemperatuur gelijk aan de operatieve temperatuur, een vochtigheidsgraad van 60% en 40% voor respectievelijk de zomer en winter.

2.7.2 Luchtsnelheid en de invloed op de maximum operatieve temperatuur

De luchtsnelheid heeft een effect op de convectieve warmte-uitwisseling tussen een persoon en de omgeving. Op deze wijze kan tocht de warmte-ervaring bij hoge temperaturen verminderen. Door de vensters te open of gebruik te maken van ventilatoren kan dit verschijnsel bewust worden gebruikt om de toelaatbare temperatuur te verhogen vanaf 26°C. Onderstaande grafiek geeft de verhoging weer (Δt) in functie van de luchtsnelheid (v) en het verschil de lucht- en stralingstemperatuur. Aannamen: clo =0.5, 1.2 met. (volgens ASRI 0.5<clo<0.7 en 1.0 < met <1.3)

Het effect van hoge luchtsnelheden is het grootst wanneer de luchttemperatuur laag is in vergelijking met de stralingstemperatuur.

Ref. NBN EN ISO 7730:2005, fig. G.1



Pour une activité légère essentiellement sédentaire, il convient que $\Delta t < 3$ °C et $\bar{v} < 0{,}82$ m/s.

Légende

Δt augmentation de la température au-dessus de 26 °C

$\bar{v}$ vitesse moyenne de l'air, m/s

a Limites pour une activité légère essentiellement sédentaire.

b ($\bar{t}_r - t_a$), °C (t_a, température de l'air, °C; $\bar{t}_r$, température moyenne de rayonnement, °C).

Figure G.1 — Vitesse de l'air requise pour compenser une augmentation de la température

Bij een activiteit tot 1.2 Met is de grafiek beperkt de lijn a.

Opmerkingen:

- ISO 7730:2005: deze benadering is enkel geldig voor lichte, vooral zittende werkzaamheden. Voor activiteiten >1.2 met wordt tocht minder snel als storend ervaren.
- De bewoners moeten zelf de snelheid kunnen regelen.
- Voor zittend werk: Δt < 3°C en v<0.82m/s
- Voor zwaarder werk wordt door de aanwezigheid van zweet het effect van tocht nog groter

2.8 Ventilatie-eisen

2.8.1 Algemene eisen

Voor de ventilatie-eisen wordt verwezen naar EN 15251:2007 (tabel B4) waarbij categorie I overeenkomt met categorie A, categorie II met categorie B, enz.

Category	Corresponding CO_2 above outdoors in PPM for energy calculations
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

2.9 Algemeen geldende eisen

Onderstaande tabel met eisen is geldig voor alle besproken gebouwtypes tenzij uitdrukkelijk anders vermeld bij de betreffende specifieke tabel per gebouwtype.

	categorie		
	A	**B**	**C**
Algemene eisen			
PPD%	<6	<10	<15
PMV	-0.2< PMV< +0.2	-0.5< PMV< +0.5	-0.7< PMV< +0.7
Lokaal discomfort			
DR %	< 10	<20	<30
PD % t.g.v…			
een verticale temp.gradient van de luchttemp.	< 3	< 5	< 10
een te koude of te warme vloer	< 10	< 10	< 15
een stralingsasymetrie	< 5	< 5	< 10
Vertikale temp.gradient (°C)			
luchttemp. tussen hoofd en enkels (0.1m-1.1m)	< 2	< 3	< 4
Temperatuurbereik (°C)			
Van de vloer	19-29	19-29	17-31
Stralingsasymetrie t.g.v. (°C)			
Warm plafond	< 5	< 5	< 7
Koude muur	< 10	< 10	< 13
Koud plafond	< 14	< 14	< 18
Warme muur	< 23	< 23	< 35
Maximale gemiddelde luchtsnelheid (m/s)			
Winter Bij 60% vocht en 40% turbulentie	0.1	0.16	0.21
Zomer Bij 40% vocht en 40% turbulentie	0.12	0.19	0.24
Temperatuursveranderingen			
Maximale variatie in amplitude (°C)	1	1	1
Maximale temp.wijzigingen (°C/u)	2	2	2
Vochtigheid			
Relatieve vochtigheidsgraad (%)	40-65	30-70	30-70

3 Beperkingen van het gebruik van de PMV-formule

3.1 Algemeen

De PMV kan berekend worden door verschillende combinaties van het metabolisme, de thermische weerstand van de kledij, de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid en dampdruk. De oppervlaktetemperatuur van de kleding en de convectieve warmteovergangscoëfficient worden berekend door middel van iteratie.

$$PMV = [0.303 exp(-0.036M) + 0.028].$$
$$[M - 3.05.10^{-3}(5733 - 6.99M - p_v) - 0.42(M - 58.15) - 1.7.10^{-5} M(5867 - p_v) - \quad [1]$$
$$0.0014M(34 - \theta_a) - 3.96.10^{-8} f_{cl}((\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_r + 273)^4) - f_{cl} h_c(\theta_{cl} - \theta_a)]$$

met $\theta_{cl} = 35.7 - 0.028M - I_{cl}[3.96.10^{-8} f_{cl}((\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_r + 273)^4) + f_{cl} h_c(\theta_{cl} - \theta_a)]$

als $2.38(\theta_{cl} - \theta_a)^{0.25} \geq 12.1\sqrt{v_a}$
dan $h_c = 2.38(\theta_{cl} - \theta_a)^{0.25}$
anders $h_c = 12.1\sqrt{v_a}$;

als $I_{cl} \leq 0.078$
dan $f_{cl} = 1.00 + 1.290 I_{cl}$
anders $f_{cl} = 1.05 + 0.645 I_{cl}$.

met

PMV	voorspelde gemiddelde uitspraak (-)
M	metabolisme (W/m²)
I_{cl}	thermische weerstand van de kleding (m²K/W)
f_{cl}	verhouding buitenoppervlak van de mens/het huidoppervlak (-)
θ_{cl}	oppervlaktetemperatuur van de kleding (°C)
θ_a	luchttemperatuur (°C)
θ_r	gemiddelde stralingstemperatuur (°C)
v_a	gemiddelde luchtsnelheid (m/s)
p_v	dampdruk (Pa)
h_c	convectieve warmteovergangscoëfficiënt (W/(m²K))

In de NBN EN ISO 7730:2005 raadt aan om bovenstaande formule enkel te gebruiken als de parameters binnen de volgende grenzen blijven:

M	46 W/m^2 à 232 W/m^2 (0,8 met à 4 met);
I_{cl}	0 m^2·K/W à 0,310 m^2·K/W (0 clo à 2 clo);
t_a	10 °C à 30 °C;
$\bar{t}_r$	10 °C à 40 °C;
v_{ar}	0 m/s à 1 m/s;
p_a	0 Pa à 2 700 Pa.

Uit: Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, Kate E.Charles, IRC Research Report RR-162, okt. 2003

Our review indicated that the PMV model is not always a good predictor of actual thermal sensation, particularly in field study settings. Discrepancies between actual and predicted thermal sensations reflect, in part, the difficulties inherent in obtaining accurate measures of clothing insulation and activity level. In most practical settings, poor estimations of these two variables are likely to reduce the accuracy of PMV predictions. Our review also suggested that the bias in PMV predictions varies by context. The model was a better predictor in air-conditioned buildings than naturally ventilated ones, in part because of the influence of outdoor temperature, and opportunities for adaptation.

3.2 Metabolisme

Bij het opstellen van de thermische comforteisen is het van belang om een juiste inschatting te maken van het metabolisme van de toekomstige gebruiker van het gebouw en de thermische weerstand van de kledij.

In annex B van de NBN EN ISO 7730:2005 wordt een overzicht gegeven van het metabolisme in functie van de activiteit. Enkel de NBN EN 15251:2007 geeft waarden voor residenties.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 (appendix A) geeft een uitgebreidere lijst van activiteiten. Hierbij wordt ook vermeld dat men het tijdsgewogen gemiddelde moet maken als er een variatie van activiteiten is. Wanneer bepaalde activiteiten langer dan een uur duren, moeten ze als afzonderlijke energetische metabolismen worden beschouwd. Als personen onderling diverse activiteiten uitvoeren, mag hierover niet worden gemiddeld.

3.3 Kledij

In annex C van de NBN EN ISO 7730:2005 wordt een raming gegeven van de thermische isolatie van een combinatie van kledingstukken en eventuele correctiefactoren hierop. De bijkomende isolatiewaarden voor zittende en liggende personen, dienen hierbij in acht te worden genomen.

In algemene tabellen wordt een waarde van 1.0 clo aangenomen voor de winter- en 0.5 clo voor de zomerperiode.

Voor bepaalde type van gebouwen zoals ziekenhuizen en rusthuizen, dient er speciale aandacht te worden besteed aan de bijkomende isolatiewaarde van stoelen en bedden. (zie verder § 4.2, § 4.3)

Omwille van een dresscode (uniform, veiligheidskledij) kan het vereist zijn om een bepaalde vaste clo-waarde gedurende het hele jaar te hanteren.

De ANSI/ASHRAE 55-2004 vermeldt nog dat:

- De norm is niet van toepassing voor kledij met clo >1.5 of bij kledij die dampdicht is (vb chemische veiligheidskledij)
- Als er verschillende kledijgewoontes zijn (vb managers met kostuum en mensen in lichte kledij) mag er geen gemiddelde clo worden berekend. Elke groep moet afzonderlijk worden beschouwd.
- Het effect op de optimale operatieve temperatuur is 6°C per clo.(een trui per lange mouwen → -1.5°C) Dit effect vergroot bij toenemend metabolisme.

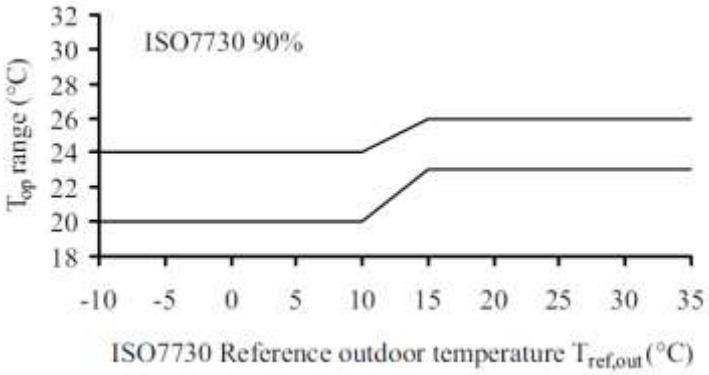
3.4 Evaluatiemodellen

3.4.1 ISO 7730

De voorgaande tabellen voor diverse typegebouwen en categorieën zijn hoofdzakelijk gebaseerd op de NBN EN ISO 7730:2005.

De marge rond de optimale temperatuur wordt bepaald door de categorie die vereist wordt én de buitentemperatuur. De optimale temperatuur volgt uit een vooropgesteld metabolisme en kledijweerstand. Het verschil in de optimale temperatuur tussen zomer- en winterperiode is louter het gevolg van de verandering van kledijweerstand die men laat variëren in winter- en zomerperiode.

Men veronderstelt m.a.w. dat de aanpassing van de kledij de enige factor is die een persoon hanteert om zijn thermisch evenwicht te herstellen.



De NBN EN ISO 7730:2005 voorziet wel in een verhoging van de operatieve temperatuur boven een luchtsnelheid van 0.2 m/s. (zie ook § 2.7.2). De verhoging van temperatuur is groter naarmate er een positief verschil is tussen de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur.

3.4.2 Adaptieve thermische comfortmodellen

3.4.2.1 Algemeen

Er wordt steeds meer kritiek geuit op het statisch model van gering aanpassingsvermogen van de mens. Het gevolg immers van dit weinig flexibel model resulteert immers in een vast geloof van mechanische koeling.

Uit:

Adaptieve Temperatuurgrenswaarden (ATG), deel1: Theoretische achtergronden van de nieuwe richtlijn voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat, S.R. Kurvers, A.C. van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, (na 2004):

De PMV-methode is gebaseerd op het model van Fanger. Dit model is ontwikkeld in een laboratorium, waarbij onder gecontroleerde omstandigheden de thermische omgeving werd gevarieerd en de thermische waardering van de proefpersonen werd geregistreerd. De proefpersonen konden zelf geen invloed op de thermische omgeving uitoefenen. Fanger heeft ook expliciet in zijn boek "Thermal Comfort" [3] aangegeven dat zijn model is ontwikkeld voor de toepassing van "kunstmatige klimaten" in "gecontroleerde ruimten".

De wereldwijde generalisatie van het PMV-model voor niet geklimatiseerde ruimten is een oneigenlijke toepassing. Recente veldonderzoeken hebben bevestigd dat het model van Fanger ook in de praktijk zou moeten worden beperkt tot het oorspronkelijke toepassingsgebied.

In natuurlijk geventileerde gebouwen blijkt psychologische adaptatie een zeer belangrijke rol te spelen. Doordat het binnenklimaat mee fluctueert met het buitenklimaat ervaren mensen meer contact met buiten en hierdoor verwachten ze en hebben ze zelfs een voorkeur voor hogere binnentemperaturen. Verder blijken mensen in de praktijk in natuurlijk geventileerde gebouwen actiever hun kleding en metabolisme aan te passen aan de weersomstandigheden. Gebruikers van airconditioned gebouwen passen zich minder aan. Dat maakt hen gevoeliger voor temperatuurveranderingen, waardoor de comforttemperaturen in airconditioned gebouwen binnen een kleinere bandbreedte vallen. De gebruikers raken geadapteerd aan het mechanisch gecontroleerd binnenklimaat omdat hun verwachtingspatroon daarop is ingesteld.[2]

Het concept van adaptieve thermische behaaglijkheid wordt door Nicol en Humphreys [6] als volgt omschreven: *"Als er een verandering optreedt die thermische onbehaaglijkheid veroorzaakt, reageren* mensen op zo´n wijze dat hun thermische behaaglijkheid wordt hersteld." Er worden 3 hoofdcategorieën van adaptatie onderscheiden:

1. Gedragsmatige adaptatie
2. Fysiologische adaptatie
3. Psychologische adaptatie

3.4.2.2 Normen

Er zijn verschillende normen die intussen de adaptatie van de mensen in functie van de buitentemperatuur hebben voorzien: EN 15251, ASHRAE55 en ISSO 7774.

[2] Adaptieve Temperatuurgrenswaarden (ATG) Deel 1:Theoretische achtergronden van de nieuwe richtlijn voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat, *S.R. Kurvers,1,2, A.C. van der Linden1, A.C. Boerstra3, A.K. Raue4*

In de studie van M.Sourbron en L.Helsen wordt een overzicht gegeven van de verschillende temperatuursbanden[3] waarbij ook de referentie buitentemperatuur wordt gedefinieerd.

Onderstaande grafieken zijn van toepassing op kantoren en ruimten met gelijkaardige activiteiten.

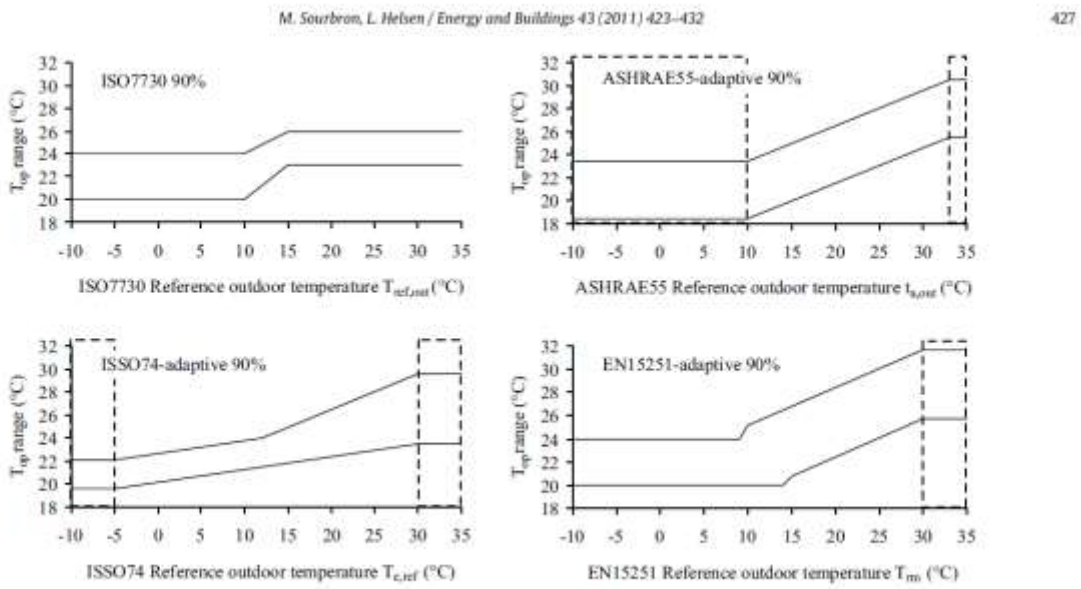
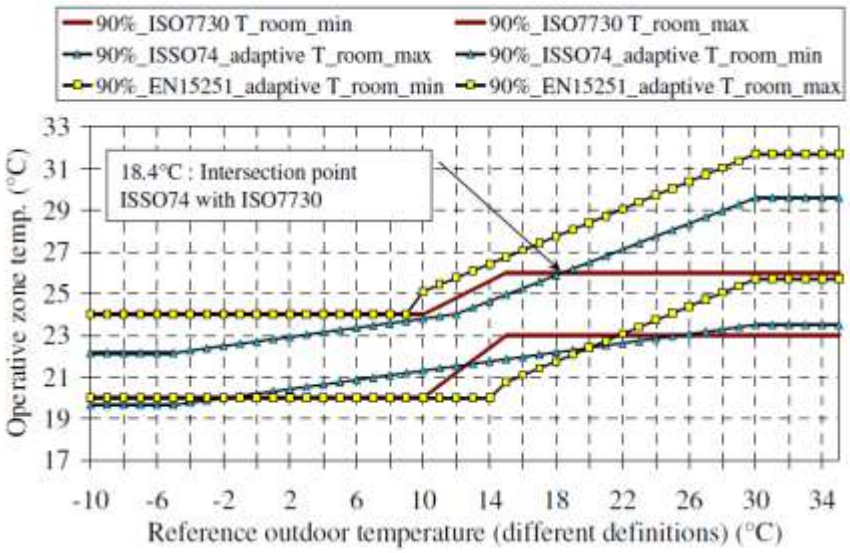


Fig. 1. Operative temperature range as a function of the reference outdoor temperature, according to the different thermal comfort models (boxed areas indicate the extrapolated values).



(Bovenvermelde en andere studies hebben aangetoond dat voor ons gematigd klimaat de energiewinsten eerder beperkt zijn als men rekent met gemiddelde maandtemperaturen)

De voorbeeldprojecten zullen geëvalueerd worden op basis van de NBN EN 15251:2007.

De referentie-buitentemperatuur zal worden berekend met de volgende formule uit diezelfde norm:

[3] Evaluation of adaptive thermal comfort models in moderate climates and their impact on energy use in office buildings, Maarten Sourbron, Lieve Helsen, 2011

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed\,-1} + 0{,}8\ \Theta_{ed\,-2} + 0{,}6\ \Theta_{ed\,-3} + 0{,}5\ \Theta_{ed\,-4} + 0{,}4\ \Theta_{ed\,-5} + 0{,}3\ \Theta_{ed\,-6} + 0{,}2\ \Theta_{ed\,-7})/3{,}8$$

Met

$\Theta_{ed\,-1}$ is the daily mean external temperature for the previous day

$\Theta_{ed\,-2}$ is the daily mean external temperature for the day before and so on.

3.4.2.3 Toepassingsgebied

Adaptieve thermische comfortmodellen mogen slechts onder bepaalde omstandigheden toegepast worden.

De NBN EN 15251:2007 maakt een onderscheid tussen "mechanically heated and/or cooled buildings" en "buildings without mechanical cooling"

3.4.2.3.1 mechanically heated and/or cooled buildings

Mechanical cooling wordt eerder gedefinieerd als *"cooling of the indoor environment by mechanical means used to provide cooling of supply air, fan coil units , cooled surfaces, ect. The definition is related to people's expectation regarding the internal temperature in warm seasons. Opening of windows during day and night time is not regarded as mechanical cooling. Any mechanical assisted ventilation (fans) is regarded as mechanical cooling"*

Belangrijke opmerking:

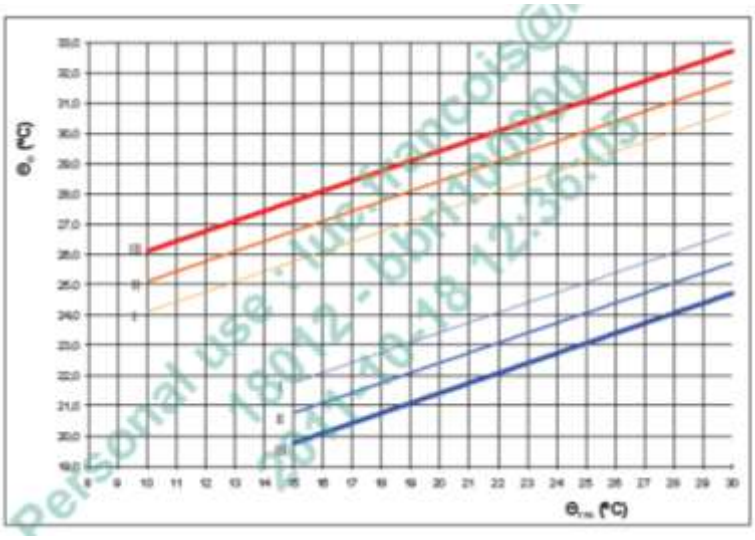
Gebouwen met betonkernactivering hebben "cooled surfaces" en vallen dus in die hoedanigheid onder de rubriek "mechanically heated and/or cooled buildings". Deze gebouwen moeten volgens de NBN EN 15251:2007 dan ook voldoen aan de NBN EN ISO 7730 waar de temperatuurmarges in detail worden beschreven.

Deze temperatuurmarges mogen volgens een van de methodes bepaald in annex F overschreden worden gedurende een bepaald percentage (3% en 5%) van de benuttingstijd of totale tijd (annex G)

3.4.2.3.2 buildings without mechanical cooling

Bij dit type gebouw moeten passieve systemen zoals zonnewering, de thermische capaciteit van het gebouw, het ontwerp en de oriëntatie, het openen van de ramen enz..worden aangewend om oververhitting in het gebouw te vermijden.

Volgende temperatuurgrenzen in functies van de verschillende categorieën mogen worden aangewend.



Key

Θ_{rm} = Outdoor Running mean temperature °C.

Θ_0 = Operative temperature °C.

Figure A1 - Design values for the indoor operative temperature for buildings without mechanical cooling systems as a function of the exponentially-weighted running mean of the outdoor temperature

De NBN EN 15251:2007 vermeldt dat deze adaptieve grenzen enkel mogen gebruikt worden

- Als de gebruikers zelf de buitenramen kunnen openen en sluiten.
- Als er geen operationele mechanische koeling aanwezig is. Hier wordt echter wel aangehaald dat *" there may in addition be other low-energy methods of personally controlling the indoor environment such as fans, shutters, night ventilation etc."*
- Als de gebruikers een bijna zittende activiteit hebben (1.0-1.3 Met)
- Als er geen strikte kledingpolicy is, zodat de gebruiker zijn kledingweerstand kan aanpassen.

In residentiële gebouwen mag deze adaptieve methode toegepast worden omdat er een grote vrijheid is om zijn metabolisme en kledij aan te passen.

Met betrekking tot landschapskantoren wordt attent gemaakt op het feit dat de meeste gebruikers slechts beperkt toegang hebben tot opengaande ramen en de methode van adaptieve temperatuurgrenzen NIET mag worden toegepast.

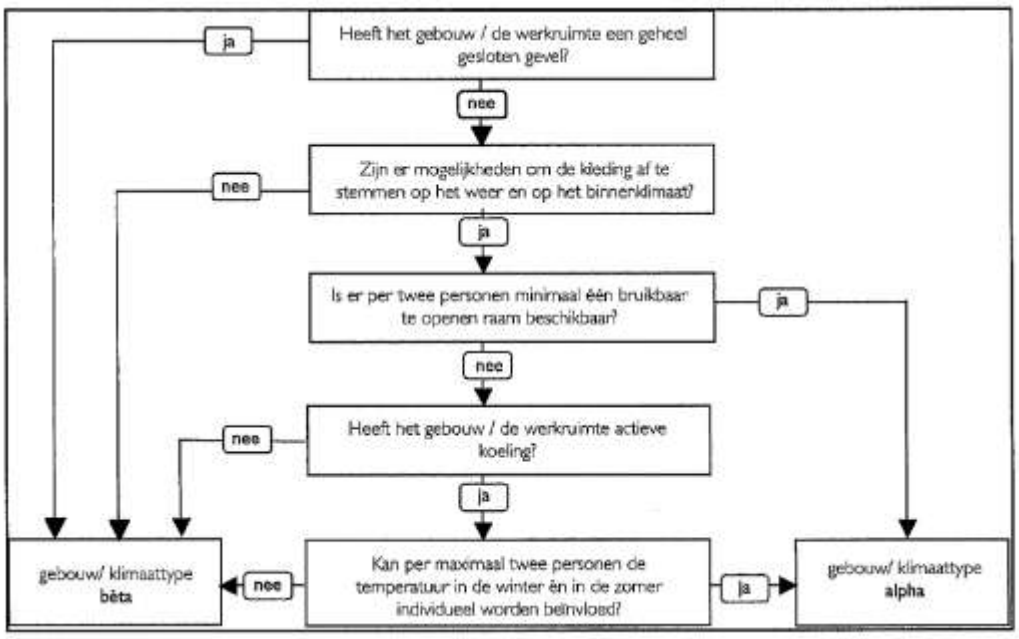
In de Nederlandse ISSO-publicatie 74[4] wordt de benaming alpha en bèta-gebouwen gehanteerd.

In onderstaand schema worden de criteria voor elk type gebouw duidelijk.

Toegang tot opengaande ramen wordt als volgt omschreven:

[4] ISSO-publicatie 74, thermische behaaglijkheid – eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen, Stichting ISSO, Rotterdam, 2004

Is er per 2 personen minimaal 1 te openen raam beschikbaar?
Per travee dient het te openen oppervlak minimaal 0,5 m2 te zijn en het raam moet zijn voorzien van een windvaste raamuitzetter met een regelbare kierstand.



3.5 Operatieve temperatuur

3.5.1 Definitie

De temperatuur die in de tabellen wordt weergegeven, is de operatieve temperatuur.

Ze is de belangrijkste comfortparameter en wordt gedefinieerd als de uniforme temperatuur van een imaginaire zwarte doos waarin een gebruiker dezelfde convectieve en stralingsuitwisseling kent als in een reële niet-uniforme omgeving.

Bij de optimale operatieve temperatuur is de PMV=0. De operatieve temperatuur is afhankelijk van de kledij en het metabolisme. De toelaatbare spreiding op deze temperatuur is afhankelijk van de categorie (A,B,C). Per categorie leidt de algemene formule tot grafieken in functie van de kledingweerstand en het metabolisme.

De operatieve temperatuur wordt gedefinieerd als:

$$\theta_0 = \frac{h_c\theta_a + \bar{h}_r\bar{\theta}_r}{h_c + h_r}$$

waarin:

θ_0	operatieve temperatuur (K)
θ_a	luchttemperatuur (K)
$\bar{\theta}_r = \sum_i F_i\theta_s$	gemiddelde stralingstemperatuur (K)
F_i	hoekfactor van het beschouwde punt naar het betrokken vlak (-)
θ_s	oppervlaktetemperatuur (K)
h_c	convectieve warmteovergangscoëfficiënt (K)
h_r	warmteovergangscoëfficiënt voor straling(K)

Omdat de overgangscoëfficienten afhankelijk zijn van de luchtsnelheid, wordt de operatieve temperatuur ook als volgt berekend:

$$T_{op} = AT_a + (1-A)T_r = \frac{h_cT_a + h_rT_r}{h_c + h_r}$$

$$A = \frac{h_c}{h_c + h_r}$$

De operatieve temperatuur wordt berekend met:

$$\theta_o = A \cdot \theta_a + (1-A) \cdot \theta_r$$

formule 3.11 Operatieve temperatuur

waarin:

θ_o = operatieve temperatuur (°C)

θ_r = gemiddelde stralingstemperatuur (°C)

θ_a = luchttemperatuur (°C)

A = factor, functie van de relatieve luchtsnelheid V_{ar} t.o.v. het lichaam (-)

V_{ar} [m/s]	A [-]
< 0,2	0,5
0,2 – 0,6	0,6
0,6 – 1,0	0,7

Voor luchtsnelheden < 0.2 m/s is de operatieve temperatuur gelijk aan het gemiddelde van de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur.

3.5.2 Hc: overdrachtscoëfficient voor convectie

For free convection, h_c depends on the temperature difference between clothing, t_{cl} and air, t_a:

$$h_c = 2.38\ (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad \text{W/m}^2\text{K} \qquad (14)$$

For forced convection, h_c depends on the relative air velocity:

$$h_c = 12.1\ \sqrt{v_{ar}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \qquad (15)$$

In each individual case it is necessary to evaluate if free or forced convection is the most significant. In most cases free convection is valid when $v_{ar} < 0{,}1$ m/s. It is important to emphasize that it is the relative air velocity which has to be used. When a person walks or performs an activity where he moves arms and/or legs, the increased relative air velocity increases the convective heat loss coefficient h_c.

3.5.3 Hr: overdrachtscoëfficient voor straling

2.3.2. *Waarden van h_r en h_c van een holle sfeer [5]*

1° Waarde van h_r

De warmteafgifte door straling van een klein lichaam (A_{sf}, ε_{sf}, Θ_{sf}) dat volledig ingesloten wordt door een veel grotere omgeving (A_2, ε_2, Θ_{Rm}) wordt gegeven door

$$\Phi_{sf \rightarrow 2} = \varepsilon_{sf} \times \sigma \times F_t \times A_{sf} \cdot (\Theta_{sf} - \Theta_{Rm}) \qquad W \qquad (34)$$

Hierin is
- ε_{sf} : de emissiefaktor van de sfeer
- σ : de konstante van Boltzmann
  $\sigma = 5{,}67\ W/(m^2K^4)$
- F_t : de temperatuurfaktor

$$F_t = \frac{\left(\frac{T_{sf}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{\Theta_{sf} - \Theta_2}$$

Indien we nu benaderend aannemen dat $F_t = 1$ en dat $\varepsilon_{sf} = 0{,}97$
en met $\sigma = 5{,}67\ W/(m^2K^4)$ wordt de vorige uitdrukking

$$\Phi_{sf \rightarrow 2} = 0{,}97 \times 5{,}67 \times 1 \times A_{sf} \cdot (\Theta_{sf} - \Theta_{Rm})$$

$$\Phi_{sf \rightarrow 2} = 5{,}5\ A_{sf} \cdot (\Theta_{sf} - \Theta_{Rm}) \qquad (35)$$

Besluit : De stralingsovergangskoëfficiënt h_r tussen de sfeer en de omgevings is dus

$hr \approx 5{,}5 \quad W/m^2K \qquad (36)$

3.5.4 Gemiddelde stralingstemperatuur

De gemiddelde stralingstemperatuur wordt gedefinieerd als de uniforme oppervlakte temperatuur van een denkbeeldige zwarte omhulling waarmee een gebouwgebruiker dezelfde hoeveelheid stralingswarmte zou uitwisselen als in de werkelijke niet-uniforme omgeving waarin die gebouwgebruiker zich bevindt.

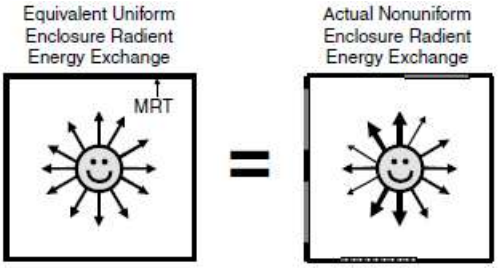


FIGURE 3.1 Pictorial representation of the mean radiant temperature (MRT).

In een eerste berekeningsmethode voor de gemiddelde stralingstemperatuur maakt men gebruik van de oppervlaktetemperatuur van de omringende oppervlakken. Elke temperatuur wordt “gewogen” in functie van de hoekfactor van de persoon naar het betrokken vlak.

Deze hoekfactor is een geometrische factor die geen enkele optische eigenschappen inhoudt.

$$\left(T_{MR}^{ir}\right)^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \ldots + T_n^4 F_{p-2} \qquad (1)$$

with:

T_{MR}^{ir} the mean radiant temperature in [K],

T_i the surface temperature of the surface i in [K],

F_{p-i} the view factor between a person and the surface i.

3.5.4.1 Bepaling van de zichtfactoren

Omdat de zichtfactor, en dus de gemiddelde stralingstemperatuur, afhankelijk is van de positie van de persoon in de ruimte wordt er vaak gebruik gemaakt van vereenvoudigde formules.

In eerste benadering wordt de zichtfactor bepaald door het relatieve aandeel van het oppervlak te berekening t.o.v. het totaal omhullende oppervlak.

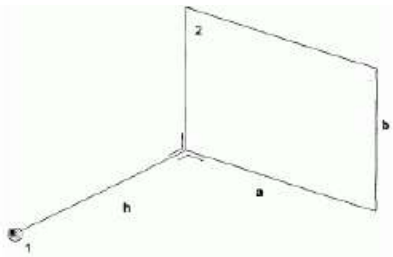
$$F_{i,j} = \frac{A_j}{\sum A_j}$$

In een tweede benadering wordt gebruik gemaakt door formules uit de ASHRAE (1997). Voor een staande en zittende persoon, wordt dit respectievelijk:

$$\overline{T}_{\text{r,standing}} = \frac{0.08(T_{\text{pr,up}} + T_{\text{pr,down}}) + 0.23(T_{\text{pr,right}} + T_{\text{pr,left}}) + 0.35(T_{\text{pr,front}} + T_{\text{pr,back}})}{2(0.08 + 0.23 + 0.35)} \qquad (3.3)$$

$$\overline{T}_{\text{r,seated}} = \frac{0.18(T_{\text{pr,up}} + T_{\text{pr,down}}) + 0.22(T_{\text{pr,right}} + T_{\text{pr,left}}) + 0.30(T_{\text{pr,front}} + T_{\text{pr,back}})}{2(0.18 + 0.22 + 0.30)} \qquad (3.4)$$

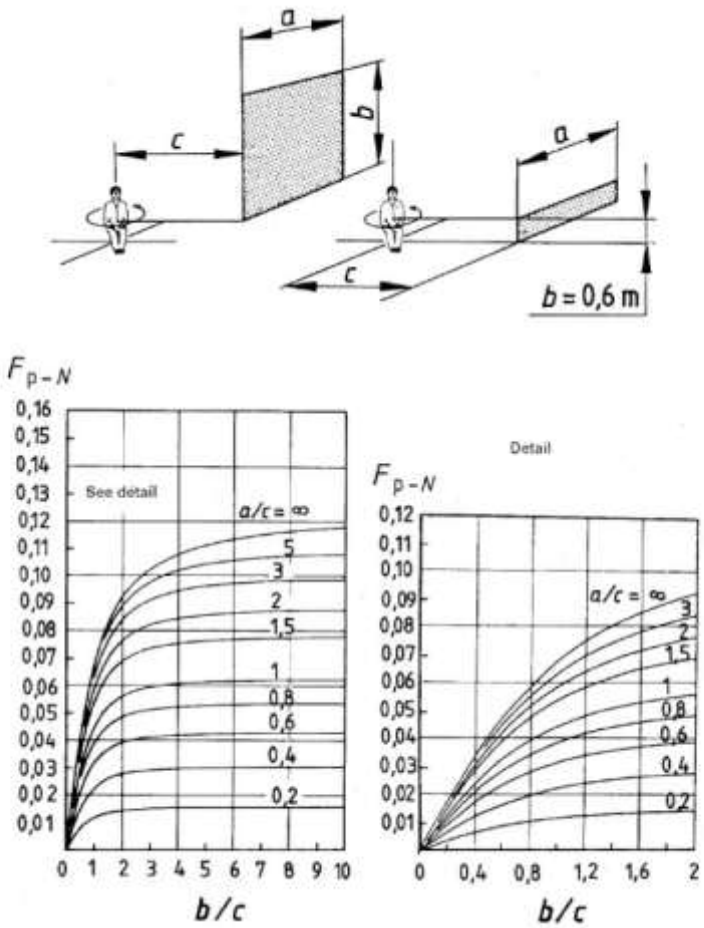
Als men rekening wil houden met de positie van de gebruiker en de oriëntatie van de stralende vlakken, moet men de zichtfactor exact berekenen door gebruik te maken van volgende formule:



figuur 3.1 bolvormig elementje gelegen boven een hoek van een rechthoekig vlak

$$\Phi = \frac{1}{4\pi} \cdot arctg \frac{a \cdot b}{h \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}}$$

De waarden uit deze berekening kunnen ook afgelezen worden uit grafieken zoals hieronder wordt aangegeven:



Resultaten uit berekening door middel van zichtfactoren.

3.5.4.1.1 Voorbeeld 1

Beschouw een ruimte van 5.00 op 8.00m waarvan alle omringende muren en de vloer een gelijkmatig verdeelde temperatuur hebben van 20°C. Als het plafond een temperatuur van 22°C heeft, dan geeft het volgend beeld de niet-uniforme temperatuurverdeling weer. Op een hoogte van 1.10m boven de vloer (zithouding) is er een horizontale temperatuurgradiënt van 0.4°C over dit vlak.

bovenaanzicht

	20										
20	20.22	20.28	20.32	20.34	20.35	20.35	20.34	20.32	20.28	20.22	20
	20.31	20.39	20.45	20.48	20.49	20.49	20.48	20.45	20.39	20.31	
	20.35	20.45	20.51	20.55	20.57	20.57	20.55	20.51	20.45	20.35	
	20.38	20.48	20.54	20.59	20.60	20.60	20.59	20.54	20.48	20.38	
	20.39	20.49	20.56	20.60	20.62	20.62	20.60	20.56	20.49	20.39	
	20.39	20.49	20.56	20.60	20.62	20.62	20.60	20.56	20.49	20.39	
	20.38	20.48	20.54	20.59	20.60	20.60	20.59	20.54	20.48	20.38	
	20.35	20.45	20.51	20.55	20.57	20.57	20.55	20.51	20.45	20.35	
	20.31	20.39	20.45	20.48	20.49	20.49	20.48	20.45	20.39	20.31	
	20.22	20.28	20.32	20.34	20.35	20.35	20.34	20.32	20.28	20.22	
	20										

Een dwarsdoorsnede in het midden van de ruimte geeft de volgende temperatuurverdeling. Tussen vloer en plafond is er een temperatuurgradiënt van 0.5°C.

	22										
20	20.74	20.94	20.97	20.97	20.97	20.97	20.97	20.97	20.94	20.74	20
	20.55	20.80	20.87	20.89	20.90	20.90	20.89	20.87	20.80	20.55	
	20.49	20.69	20.77	20.81	20.82	20.82	20.81	20.77	20.69	20.49	
	20.45	20.61	20.69	20.74	20.75	20.75	20.74	20.69	20.61	20.45	
	20.42	20.54	20.62	20.67	20.69	20.69	20.67	20.62	20.54	20.42	
	20.39	20.49	20.56	20.60	20.62	20.62	20.60	20.56	20.49	20.39	
	20.36	20.45	20.51	20.55	20.57	20.57	20.55	20.51	20.45	20.36	
	20.34	20.41	20.46	20.50	20.51	20.51	20.50	20.46	20.41	20.34	
	20.31	20.37	20.42	20.45	20.47	20.47	20.45	20.42	20.37	20.31	
	20.29	20.34	20.38	20.41	20.43	20.43	20.41	20.38	20.34	20.29	
	20										links

Een vergelijking tussen de verschillende berekeningsmethoden geeft het onderstaand resultaat:

oppervlakte gewogen gemiddelde stralingstemperatuur		20.55
ASHRAE formule	Zittend	20.26
	Staand	20.12
volgens berekening zichtfactoren	Zittend	20.62
	Staand	20.77

Bemerk dat de oppervlakte gewogen methode dichter komt bij de uitgebreide berekening dan de ASHRAE-formule. Bovendien zijn geeft deze laatste formule een hoger waarde voor de zittende dan voor de staande persoon. Dit is opmerkelijk omdat de temperatuur van het plafond hoger is dan de vloertemperatuur.

3.5.4.1.2 Voorbeeld 2

In dit geval hebben 3 muren een oppervlaktetemperatuur van 20°C, een derde (buiten-)muur heeft een oppervlaktetemperatuur van 18°C.

Een horizontale snede op 1.10m boven het vloeroppervlak geeft het volgende beeld:

bovenaanzicht

	20										
18	19.51	19.89	20.04	20.14	20.19	20.22	20.23	20.23	20.20	20.15	20
	19.38	19.78	20.04	20.19	20.28	20.33	20.35	20.34	20.30	20.23	
	19.42	19.79	20.06	20.22	20.32	20.38	20.40	20.39	20.34	20.27	
	19.44	19.80	20.07	20.23	20.34	20.40	20.42	20.41	20.36	20.28	
	19.45	19.81	20.07	20.24	20.34	20.40	20.43	20.42	20.37	20.29	
	19.45	19.81	20.07	20.24	20.34	20.40	20.43	20.42	20.37	20.29	
	19.44	19.80	20.07	20.23	20.34	20.40	20.42	20.41	20.36	20.28	
	19.42	19.79	20.06	20.22	20.32	20.38	20.40	20.39	20.34	20.27	
	19.38	19.78	20.04	20.19	20.28	20.33	20.35	20.34	20.30	20.23	
	19.51	19.89	20.04	20.14	20.19	20.22	20.23	20.23	20.20	20.15	
	20										

Men noteert een temperatuurverschil van +/- 1°C.

Een dwarsdoorsnede in het midden van de kamer geeft het volgende:

snede AA

	22										
18	20.02	20.50	20.61	20.69	20.75	20.79	20.82	20.84	20.84	20.65	20
	19.67	20.25	20.46	20.58	20.65	20.70	20.73	20.73	20.69	20.46	
	19.57	20.07	20.33	20.47	20.56	20.62	20.64	20.64	20.58	20.40	
	19.52	19.95	20.22	20.38	20.48	20.54	20.56	20.55	20.49	20.35	
	19.48	19.87	20.14	20.31	20.41	20.47	20.49	20.48	20.43	20.32	
	19.45	19.81	20.08	20.24	20.35	20.41	20.43	20.42	20.37	20.29	
	19.43	19.79	20.04	20.20	20.30	20.35	20.38	20.37	20.33	20.26	
	19.42	19.79	20.02	20.16	20.25	20.31	20.33	20.32	20.29	20.24	
	19.43	19.82	20.02	20.14	20.22	20.27	20.29	20.29	20.26	20.22	
	19.57	19.90	20.03	20.13	20.20	20.24	20.26	20.26	20.23	20.20	
	20										links

Een vergelijking tussen de verschillende berekeningsmethoden leert ons het volgende:

oppervlakte gewogen gemiddelde stralingstemperatuur		20.28

ASHRAE formule	zittende	19.94
	Staand	19.77

volgens berekening zichtfactoren	Zittend	20.38

Staand	20.53

Men kan dezelfde besluiten trekken als bij voorbeeld 1.

3.5.4.1.3 Voorbeeld 3

Omdat de gemiddelde stralingstemperatuur afhankelijk is van de positie in die ruimte, zal er ook een verschil optreden indien men de vloer of plafond een temperatuursverhoging geeft t.o.v. de omliggende wanden. Uiteraard zal voor zittende personen de temperatuursverhoging van de vloer een groter effect hebben op de gemiddelde stralingstemperatuur dan voor staande personen. Voor deze laatste zal dan een temperatuursverandering van het plafond dan weer een groter effect hebben [5]

Voor dezelfde ruimte als hierboven omschreven van 5.00 op 8.00m met een hoogte van 2.50m hebben alle gebouwdelen een temperatuur van 20°C uitgezonderd de vloer of het plafond. Met een stijging van 5°C van de vloer of het plafond geeft dit het volgende resultaat:

temp.verhoging	zittende	staand
vloer + 5°	1.72	1.37
plafond + 5°	1.53	1.91

Opmerking: bij de berekening van de operatieve temperatuur is de convectieve overgangscoëfficient en dus ook de totale warmte-overdrachtscoëfficient, wel verschillend bij plafond- of vloerverwarming en –koeling.

3.5.4.1.4 Besluiten

1. De temperatuur is slechts volledig uniform verdeeld over de ruimte als de temperatuur van alle oppervlakken uniform en hetzelfde is. Een verschillende plafond- en/of vloertemperatuur t.o.v. de wanden veroorzaken een horizontale en verticale temperatuurgradiënt voor de gemiddelde stralingstemperatuur.
2. Bij grotere temperatuurverschillen tussen de vloer en/of plafond met de omringende wanden, kan men overwegen om de randzone van de vloer en /of plafond een verhoogde temperatuur te geven om zodoende een gelijkmatigere temperatuur te verkrijgen.
3. De formule van ASHRAE geeft een te lage inschatting van de gemiddelde stralingstemperatuur.
4. De oppervlakte-gewogen gemiddelde stralingstemperatuur leunt beter aan bij de berekende stralingstemperatuur die gebruik maakt van de zichtfactoren.

3.5.4.1.5 Beperkingen

[5] Radiant Floor Heating In Theory and Practice, Bjarne W.Olensen, ASHRAE Journal, july 2002

Het lichaam beschouwen als een punt (of sfeer in geval van metingen van een thermometer) is een goede benadering van het complex menselijk lichaam voor de meeste situaties.[6]Zeker voor zittende personen zijn er weinig afwijkingen. Voor staande personen wordt echter de invloed van het plafond en de vloer overschat. Ook dit zou geen opmerkelijke fout teweeg brengen behalve bij ruimten met grote temperatuurverschillen.

Het punt of de sfeer in de ruimte wordt verondersteld geen temperatuur te hebben en dus geen stralingsuitwisseling te hebben met de omgeving. In een voldoende grote ruimte leidt deze veronderstelling tot geringe afwijking in de berekening van de gemiddelde stralingstemperatuur.

De gemiddelde stralingstemperatuur is bovendien afhankelijk van de oriëntatie van elk lichaamsdeel naar de betreffende wanden.[7],[8],[9]

3.5.4.2 Emittantie

Voorgaande berekeningswijze is juist voor ruimten waarvan de omhullende oppervlakken een voldoende hoge emittantie hebben en kunnen worden beschouwd als een zwart lichaam. Deze veronderstelling geldt voor de meeste ruimtes. Als de oppervlakten een onvoldoende hoge emittantie hebben, kunnen de resultaten onbetrouwbaar zijn.

Dit kan met name het geval zijn bij glasvlakken die een lage emittantie hebben.[10]

De emitantie is de hoeveelheid straling die weer wordt uitgezonden en wordt weergegeven op een schaal van 0 tot 1. Voor niet-zwarte lichamen is de emittantie afhankelijk van de temperatuur, de golflengte en de richting. Voor zwarte lichamen bedraagt de emittantie 1.

Uit: Development of a Simplified Methodology to Incorporate Fenestration Systems into Occupant Thermal Comfort Calculations, Kirby S.Chapman, Jeet Sengupta, jan.2003

The first method of calculation uses the values of the surrounding surface (i.e., wall,window, or sofa) temperature. Each temperature is weighted according to its position relative to the person. The equation assumes the surface materials have a high enough emittance to be considered black or ideal.This assumption is reasonably valid for most rooms, but its effect should be considered when analyzing the results.
If the surfaces of the enclosure being analyzed do not have a high emittance, the results may not be reliable. This assumption imposes a small yet important limitation on the use of this method.
In addition, this method does not take into account low-E glass. The published emissivity of low-E glass is less than 0.1 in the infrared wavelength range (Carmody et al., 1996). Since the glass is opaque in that range, the rest of the radiant energy is reflected back into the room. The classical ASHRAE standard method does not have the capability to handle this situation.

[6] Integration of low-E surfaces and shortwave solar radiation into human comfort calculation in TRNSYS 17, Marion Hiller, Johannes Aschaber, Marius Dillig, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH

[7] Radiative and convective heat transfer coefficients of the human body in natural convection, Yoshihito Kurazumia,_, Tadahiro Tsuchikawab, Jin Ishiia, Kenta Fukagawaa, Yoshiaki Yamatoc, Naoki Matsubarad, dec.2007

[8] Assesment of mean radiant temperature in indoor environments, Barbara E. Tredere, feb.1964

[9] Predicting human geometry-related factors for detailed radiation analysis in indoor spaces, K.Kubanha, D.Fiala, K.J. Lomas, aug.2003

[10] The mean radiant temperature, chapter 3 from radiant heating and cooling handbook, p 3.30.

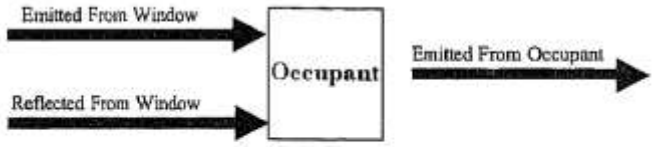


Figure 2 *Radiative energy exchange between a window and an occupant.*

Om rekening te houden met de emittantie van de verschillende omringende oppervlakken, zeker deze met een lage emittantie, worden de zogenaamde Gebhart factoren toegepast.[11]

De gemiddelde stralingstemperatuur wordt dan als volgt berekend:

$$T_{MR}^{ir} = \left[\sum_{i=1}^{n} T_i^4 G_{s,i}^{ir} \right]^{1/4} \qquad (1)$$

With:

$G_{s,i}^{ir}$ the Gebhart factor from sensor surface s to surface i in the IR range

Deze factor is de verhouding tussen de straling geabsorbeerd door elk ander oppervlak t.o.v. de totaal emitteerde straling van een gegeven oppervlak. De Gebhart factor (Bij) wordt na herrekening:

$$B_{ij} = F_{ij} \cdot \epsilon_j + \sum_{k=1}^{N_s} ((1 - \epsilon_k) \cdot F_{ik} \cdot B_{kj})$$

where

- F_{ij} is the view factor for surface i to j

Hierbij wordt rekening gehouden met de energietransfer van een oppervlak t.o.v. alle andere vlakken.

Hoe rekening houden met de berekening van gemiddelde stralingstemperatuur met laag E-glas? Hoe moet de straling van vloer, plafond, wanden op glas meegerekend worden in de Tmrt?

3.5.4.3 Invallende korte golf zonnestraling

Uit: Development of a Simplified Methodology to Incorporate Fenestration Systems into Occupant Thermal Comfort Calculations, Kirby S.Chapman, Jeet Sengupta, jan.2003

Another case in which the ASHRAE method would fail is solar radiation, which is short-wavelength radiation shining through a window. This method fails to consider any window transmission and only considers the wall surface temperatures as boundary conditions.

In dit geval wordt de gemiddelde stralingstemperatuur gecorrigeerd op de volgende wijze:

[11] Integration of low-E surfaces and shortwave solar radiation into human comfort calculation in TRNSYS 17, Marion Hiller, Johannes Aschaber, Marius Dillig, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH

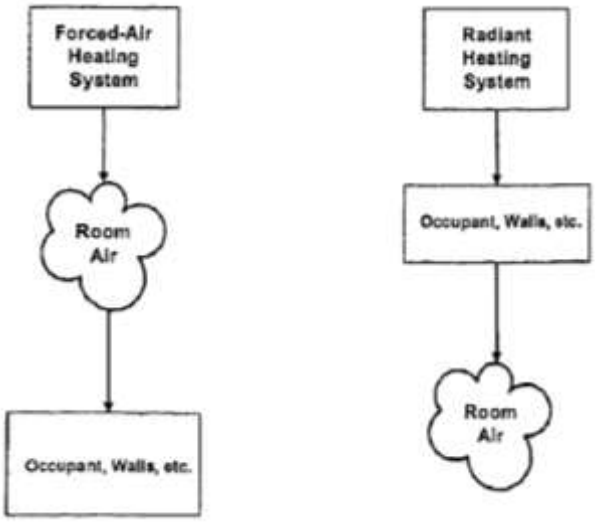
$$T_{MR} = \left[\left(T_{MR}^{ir}\right)^4 + \frac{1}{\varepsilon_s^{ir} \sigma \cdot A_s} (\dot{Q}_{diff}^{solar} + \dot{Q}_{dir}^{solar}) \right]^{1/4}$$

3.5.5 Impact door verschil in lucht- en gemiddelde stralingstemperatuur

3.5.5.1 algemeen

Straling en convectieve warmtesystemen produceren een verschillende thermische comfortomgeving.

Volgende figuur illustreert het verschil. Convectieve verwarming verwarmt eerst de lucht die op zijn beurt warmte levert aan de gebruiker. Stralingssystemen leveren rechtstreeks energie aan de gebruiker. De andere oppervlakten zoals muren verwarmen de lucht.



Uit: de behaaglijkheidstheorie (Ing.D.J. de Rotte)

Om thermische behaaglijkheid te bereiken moet aan de voorwaarde worden voldaan dat er thermisch evenwicht is tussen de door het lichaam van de mens ontwikkelde warmte en de warmteafgifte van datzelfde lichaam aan zijn omgeving.
Bij lagere luchttemperaturen zal het convectieve aandeel in de warmteafgifte groot zijn en bij lage wandtemperaturen is het stralingsaandeel groot. Voorts zal bij toenemende luchtvochtigheid en bij dalende luchtsnelheid de warmteafgifte door verdamping afnemen.
Onder “normale” omstandigheden is de verhouding van de aandelen in de warmteafgifte ongeveer als volgt:

- Afgifte door convectie : 30%
- Afgifte door straling : 50%
- Afgifte door verdamping : 20%

In het algemeen speelt warmtegeleiding geen rol van enige betekening, op voorwaarde dat de vloertemperatuur binnen bepaalde grenzen dient de blijven (ca. 18°C – 25°C). Daarnaast hebben door F.A. Chrenko in 1956 uitgevoerde proeven aangetoond dat bij stralingsplafonds eveneens een grens aan de toegelaten temperatuur moet worden gesteld om de warmtestroomdichtheid ten gevolge van straling op het niveau van het hoofd van de mens niet boven de 12,5 W/m2, de maximaal toelaatbare waarde, te doen uitkomen.

3.5.5.2 Verhouding lucht- en stralingstemperatuur

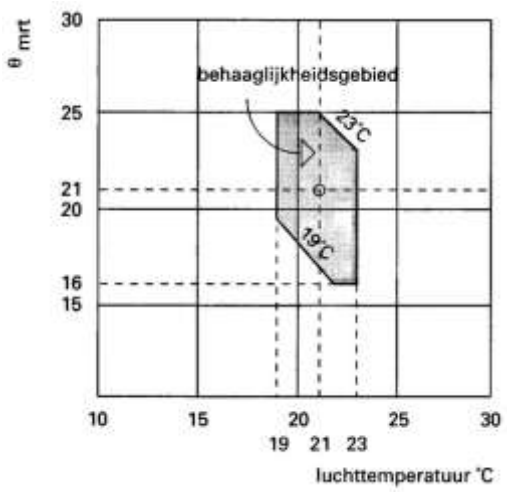
Uit: Literature study on radiant heating in a thermally-comfortable indoor environment: a summary report, Maria Nila Alban, KULeuven,sept. 2010

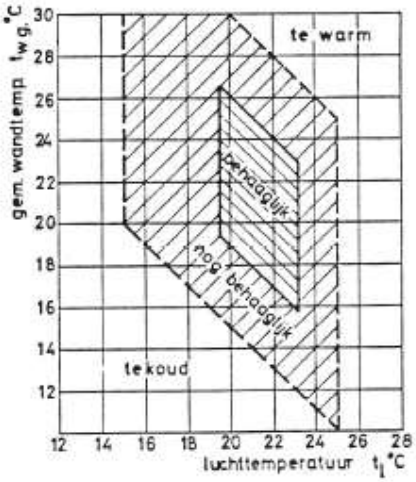
> Compared to convective heaters, ***radiant heaters*** may be **operated at a lower air temperature** (Hart, 1981; Zmeureanu et al., 1988; Howell and Suryanarayana, 1990; Kalisperis et al., 1990; Ling and Deffenbaugh, 1990) because the radiant heat from the heater falls directly (or indirectly through surfaces) on the occupants thus **producing more comfortable conditions**. This means that ***radiant heating*** systems increase the mean radiant temperature (MRT; average room surface temperature) to which occupants are exposed, thereby allowing **comfort at lower temperatures**. Thus, it is possible to **maintain the air temperature by 5°C lower** compared to classical methods at the **same comfort level** (Dudkiewicz and Jezowiecki, 2009).

Om eenzelfde operatieve temperatuur te behouden, betekent een verhoging van de gemiddelde stralingstemperatuur met x graden een verlaging van de luchttemperatuur met x graden.

Omgekeerd moet een lagere stralingstemperatuur gecompenseerd worden met een hogere luchttemperatuur om de optimale behaaglijkheid te behouden.

In een ideale situatie is de gemiddelde stralingstemperatuur gelijk aan de luchttemperatuur.





Een te lage gemiddelde stralingstemperatuur is vaak de oorzaak van klimaatklachten. In veel bedrijven wordt de verwarming in het weekeinde op de nachtverlaging geschakeld. Als maandagochtend de werkzaamheden weer worden hervat, is het de eerste uren niet behaaglijk te krijgen. Door de nachtverlaging koelt niet alleen de lucht af, maar ook de gebouwconstructie. Op

maandagochtend is de luchttemperatuur snel op de gewenste waarde, het opwarmen van de gebouwconstructie duurt echter langer.
De comforttemperatuur is feitelijk te laag, omdat de gemiddelde stralingstemperatuur te laag is. Pas als het gebouw rond het middaguur op temperatuur is, wordt het klimaat als behaaglijk ervaren.

3.5.5.3 Energie-efficiency

Convectieve verwarmingssystemen produceren een omgeving waarin de luchttemperatuur hoger is dan de MRT waardoor de infiltratieverliezen groter zijn dan bij stralingssystemen. Deze verliezen vormen een groot deel van de energieverliezen.

Omgekeerd zullen hogere oppervlaktetemperaturen grotere transmissieverliezen tot gevolg hebben, deze kunnen gecompenseerd worden door een verbeterde isolatie.

3.5.5.4 Verticale temperatuurgradiënten

Een hogere luchttemperatuur leidt tot een grotere luchttemperatuurgradiënt met een hogere temperatuur aan het plafond.

Het is mogelijk om de operatieve temperaturen vanaf 26°C te verhogen, indien men de mogelijkheid heeft om de luchtsnelheid aan te passen door een raam te openen of door een ventilator gestuurd door de gebruiker. De mogelijke verhoging wordt bepaald door de luchtsnelheid en het verschil tussen de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur. Het effect van hoge luchtsnelheden is het grootst wanneer de luchttemperatuur laag is in vergelijking met de stralingstemperatuur

3.6 Besluiten

De PMV/PPD indices zijn over de jaren en de hele wereld uitgebreid onderzocht in termen van validiteit (validity) en betrouwbaarheid (reliability).[12]

Naast de algemeen geldende aandachtspunten zoals de juiste inschatting van het metabolisme en de kledij, kunnen ook hier de adaptieve thermische grenswaarden worden toegepast indien men rekening houdt met de randvoorwaarden zoals hoger vermeld. De vraag wordt zelfs gesteld of het zinvol is om de vergelijking van de warmtebalans verder uit te diepen en complexe modellen op te stellen als de realiteit (de inschatting van het metabolisme en de kledij) elke verbetering in het model ondermijnt.

Er zijn geen aantoonbare redenen gevonden dat het Fanger-model en de bijhorende operatieve comforttemperaturen niet van toepassing zouden zijn bij lage temperatuurverwarming of hoge temperatuurkoeling.

Omdat men de operatieve temperatuur meestal aanneemt als zijnde het rekenkundig gemiddelde van luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur, dient men bij de bepaling van de gemiddelde stralingstemperatuur omzichtig te werk te gaan. De stralingstemperatuur is afhankelijk

[12] Introduction to thermal comfort standards, K.C. Parsons, Loughborough University, UK

van de positie in de ruimte. De temperatuurgradiënt in de ruimte is afhankelijk van de grootte van de ruimte en het verschil in de temperatuur van de verschillende oppervlakken.

De stralingsasymetrie moet gecheckt worden aan de opgelegde maxima. Deze criteria moeten zeker afgetoetst worden bij gebouwdelen met een aanzienlijke lage E-factor zoals glas.

De verticale temperatuurgradiënt bij stralingssystemen is kleiner dan bij convectieve systemen.

Het verschil in lucht en stralingstemperatuur mag niet meer dan 5°C bedragen. Dit fenomeen kan optreden bij een te lage (of te hoge) temperatuur van de gebouwdelen met een grote thermische inertie.

4 Indeling van de thermische comfortparameters in functie van gebouwtypes

In de volgende tabellen worden de comfortparameters voor de meest typische ruimten per gebouwtype omschreven.

4.1 Kantoorgebouwen

4.1.1 literatuuronderzoek

De thermische comforteisen voor kantoorgebouwen worden omschreven in tal van publicaties.
In de tabel A.5 van de NBN EN ISO7730:2005 worden eisen weergegeven voor kantooractiviteiten met een metabolisme van 70 W/m².
Ook de volgende publicaties gaan dieper in op deze eisen.

- *'E-gids: Aanbevelingen voor het opstellen van een programma van eisen voor het ontwerpen en uitvoeren van energiezuinige en gezonde kantoorgebouwen'*, Cenergie, WTCB en Inter-Regies, met steun van het Vlaams Gewest (IWT), december 2001.
- *'Moderne kantoren: meer comfort met minder energie. Een gids voor bouwheer en bouwteam over binnenklimaat en energieverbruik'*, IWT, WTCB en Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, maart 2005.

In principe wordt enkel categorie B toegepast.

4.1.2 Overschrijdingsuren

Voor de berekening van het maximaal aantal overschrijdingsuren wordt een totale bezettingstijd van 2000 uren op jaarbasis aangenomen.

De drempelwaarden waarboven de overschrijdingsuren worden berekend, zijn voor gesloten en open gevels, respectievelijk 26°C en 28°C

4.1.3 Samenvattende tabel

Kantoorgebouwen			
	Specifieke ruimte		
Activiteit: 70 W/m², 1.2 met Kledij zomer: 0.5 clo Kedij winter: 1.0 clo	Individuele kantoren, landschapskantoren, Vergaderzalen, Auditorium, Mess, cafetaria		
Operatieve temperatuursgrenzen	**A**	**B**	**C**
Zomer (°C)	23.5-25.5	23.0-26.0	22.0-27.0
Winter (°C)	21.0-23.0	20.0-24.0	19.0-25.0

Overschrijdingsuren			
➢ 26°C (gesloten gevels) ➢ 28°C (opengaande vensters)	100h	150h	200h

4.2 Ziekenhuizen

4.2.1 Literatuuronderzoek

Uit:
Singnaleringsrapport Thermische behaaglijkheid in verpleeghuizen, college bouw ziekenhuisvoorzieningen, 8 juli 2002

In een literatuuronderzoek aangevuld met directe contacten met vooraanstaande onderzoeksinstituten op het gebied van thermische behaaglijkheid in de wereld, is een overzicht samengesteld van het activiteitenniveau, metabolisme en kledingweerstand (clo-value) van liggende, zittende en lopende patiënten.
Een belangrijke conclusie hierbij is dat met name voor liggende patiënten de acceptabele temperatuur lager dient te zijn dan voor zittende en lopende patiënten.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat de thermische weerstand van kleding bij bedlegerige verpleeghuisbewoners aanzienlijk hoger is dan bij mensen in normale woon- en werkomgeving. Door de thermisch isolerende werking van het bed is de effectieve thermische weerstand in de orde van 2 à 3 clo voor bedlegerige mensen versus 0.7 à 1.0 clo in woon-werkomstandigheden.

4.2.2 Berekeningen met het model van “Fanger”

De huidige internationale normen met betrekking tot thermische behaaglijkheid, zoals ISO 7730 (1990) en de aanstaande uitgave van ASHRAE 55 (Olesen 2000), zijn gebaseerd op de theorie en het rekenmodel van Fanger (1970).
Uit diverse studies, zoals bijvoorbeeld door Parsons en Webb (1997), is gebleken dat de theorie van Fanger in principe ook geldig is voor mensen met fysieke gebreken zoals in het geval van verpleeghuisbewoners. Aangezien thermische behaaglijkheid sterk samenhangt met de warmtehuishouding van de mens, ligt het in de lijn der verwachting dat de “normale theorie” niet zal kloppen wanneer de warmtehuishouding is verstoord, zoals bijvoorbeeld bij patienten met een verhoogde lichaamstemperatuur.
Overigens bleek uit het onderzoek van Parsons en Webb (1997) dat bij mensen met fysieke gebreken welliswaar de PMV gelijk blijft, maar dat de PPD hoger is; m.a.w. bij PMV=0.5 is PPD>10%.

De voorspellingen kunnen als volgt worden samengevat.

Bij berekeningen met het “Fanger” model betekent dit dat een PMV waarde van 0.5 voor een liggende patiënt wordt bereikt bij 25.5 ◦C.

4.2.3 Temperatuur

De op simulaties gebaseerde voorspellingen ten aanzien van thermische behaaglijkheid van verpleeghuisbewoners zijn samengevat in onderstaande tabel. Hieruit blijkt de temperatuurrange van 22.5 tot 25°C te voldoen voor alle onderzochte zomersituaties.

Tabel 3.1 Thermisch behaaglijke operatieve temperatuur (To[2]) in de zomersituatie uitgaande van een "Predicted Mean Vote" (PMV) van +/- 0.5 (zie Bijlage 3)

patiënt in bed met laken + zomerdeken	18.5 … 25.0°C
patiënt in bed met alleen laken	19.5 … 25.5°C
patiënt zittend in stoel	22.5 … 28.0°C
patiënt niet in bed en in stoel	19.5 … 26.0°C

		Zomer		Winter		Voor- en najaar	
patient in bed laken + deken	clo	2.0	2.5	2.4	3.2	2.0	3.2
	met	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
	To (PMV=0)	23.0	21.0	21.5	18.5	23.0	18.5
	To (PMV= -0.5)	21.0	18.5	19.0	15.5	21.0	15.5
	To (PMV= +0.5)	25.0	23.5	24.0	25.0	25.0	21.5
patient in bed alleen laken	clo	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9
	met	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
	To (PMV=0)	23.5	22.0	23.5	22.0	23.5	22.0
	To (PMV= -0.5)	21.5	19.5	21.5	19.5	21.5	19.5
	To (PMV=+0.5)	**25.5**	**24.0**	25.5	24.0	**25.5**	24.0
patient uit bed zittend in stoel	clo	0.5	0.7	0.6	1.0	0.5	1.0
	met	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2
	To (PMV=0)	27.0	24.0	26.0	22.5	27.0	22.5
	To (PMV= -0.5)	25.5	22.5	**25.0**	**20.0**	25.5	**20.0**
	To (PMV= +0.5)	28.0	26.0	27.5	24.5	28.0	24.5
patient uit bed bewegend	clo	0.4	0.7	0.5	0.8	0.4	0.8
	met	1.4	1.6	1.4	1.6	1.4	1.6
	To (PMV=0)	24.5	22.0	24.0	20.5	24.5	20.5
	To (PMV= -0.5)	22.5	19.5	22.0	18.0	22.5	18.0
	To (PMV= +0.5)	26.0	24.5	26.0	23.0	26.0	23.0

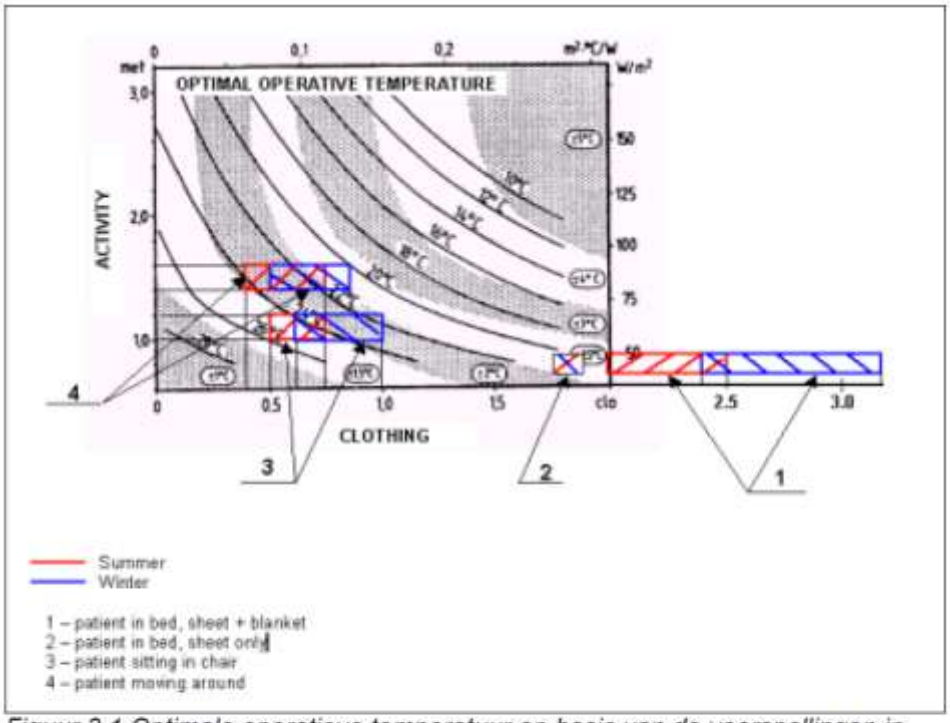
Tabel 21. Operatieve temperatuur (To) op basis van kledingweerstand (clo) en metabolisme (met)[Rutten, Hensen, 2002].

Indien we deze denkwijze ook toepassing voor de wintersituatie, komen we tot de volgende tabel

	Winter
Patiënt in bed met laken en deken	15.5…24.0°C
Patiënt in bed alleen laken	19.5…25.5°C
Patiënt zittend in stoel	20.0…27.5°C
Patiënt uit bed bewegend	18.0…26.0°C

Hieruit blijkt de temperatuurrange van 20.0 tot 24°C te voldoen voor alle onderzochte zomersituaties.

De voorspellingen voor PMV=0 zijn grafisch weergegeven in onderstaande figuur. Hieruit blijkt duidelijk dat met name de situatie van bedlegerige patienten geheel buiten het normale gebed voor de normale woon- en werksituatie.



Figuur 3.1 Optimale operatieve temperatuur op basis van de voorspellingen in Hoofdstuk 3 voor PMV=0, d.w.z. PPD < 5%.

Ter vergelijking, ASHRAE (1999) beveelt voor patientenkamers in verpleeghuizen gedurende het hele jaar 24°C aan en voor “special care” verpleeghuizen 24-27°C.

4.2.4 Overschrijdingsuren

Topkoeling is noodzakelijk voor alle zomers ervan uitgaande dat nieuw te bouwen ziekenhuizen een hoge bouwfysische kwaliteit hebben.
Voor de gemiddelde zomer is topkoeling op zich voldoende om de overschrijdingsuren binnen aanvaardbare grenzen te houden.
Voor extreme zomers is het optimaliseren van het inschakelpunt van de topkoeling uitermate belangrijk. Door de regeling van de topkoeling te optimaliseren met betrekking tot de inschakeltemperatuur en de mate van tempering van de buitenluchttemperatuur kan het aantal overschrijdingsuren aanzienlijk worden verminderd, waardoor een acceptabel klimaat kan worden gehandhaafd.

De VIPA criteria van duurzaamheid bijlage 7 stelt dat:

1.2 Zomercomfort :

“In alle voorzieningen met het zomercomfort van de gebruikers/bewoners gegarandeerd zijn. Het comfort van de bewoners krijgt in deze voorzieningen voorrang op de energiezuinigheid: het streven naar een laag energieverbruik gaat niet ten koste van het gebruikerscomfort. In verzorgingsvoorzieningen kan een goed zomercomfort zelfs van levensbelang zijn voor de bewoners. Het zorgvuldig ontwerpen van de gevel en gebouwschil in het algemeen is daarom een belangrijk aandachtspunt. Bovendien is het maximaal beperken van de warmtelast zowel van ecologisch als vanuit economisch standpunt een absolute noodzaak.”

criterium 1.2.1:
Op de noordoriëntatie (tussen NO en NW over noord) volstaat zonwerende beglazing.
Een zontoetredingsfactor g < 0,45 is vereist.
Op de andere oriëntaties (NO en NW over zuid) wordt minstens regelbare buitenzonwering voorzien. Een zontoetredingsfactor g < 0,15 is vereist voor het geheel van de beglazing en de zonwering samen.

criterium 1.2.2:
In de individuele kamers van voorzieningen wordt, uitgaande van een gemiddelde oppervlakte van 20m², bovendien het volgende criterium gehanteerd (A = glasoppervlak, g= zontoetredingsfactor):
- op de noordoriëntatie (tussen NO en NW over noord): g.A < 1,8 m²
- op de andere oriëntaties (NO en NW over zuid): g.A < 0,6 m²
OF
Er wordt aangetoond dat het zomercomfort gegarandeerd is. De beoordeling van het thermisch comfort is gebaseerd op NBN EN ISO 7730 2005; de beoordeling van de comfortklasse is gebaseerd op NBN EN 15251.
Het aantal overschrijdingsuren van de operatieve temperatuur voor klasse B mag maximaal 260 uur bedragen (3% van de gebruikstijd).

Verder wordt ook aangehaald in punt 1.3 Openen van ramen:

om “de mogelijkheid te voorzien om ramen in verblijfsruimten zoals individuele kamers, patientenkamers, leefruimtes te openen. Dit biedt de patiënten de mogelijkheid om het thermisch comfort en de ventilatie in uitzonderlijke omstandigheden zelf te manipuleren hetgeen resulteert in hoger aanvaardbare binnentemperaturen om eenzelfde zomercomfort te realiseren en heeft ook een belangrijke invloed op de comfortervaring van de ruimte.”

Tenslotte wordt in 1.5 regeling thermisch comfort gesteld dat:

“Onderzoek heeft aangetoond dat de individuele controle over het binnenklimaat een positieve impact heeft op de beoordeling van het binnenklimaat én op het energieverbruik.”

criterium 1.5:
De bediening van de opengaande raamdelen is mogelijk (voor zover verenigbaar met veiligheid)
EN
De binnentemperatuur is regelbaar per verblijfsruimte.

4.2.5 Samenvattende tabel

Ziekenhuizen			
	Specifieke ruimte		
	patientenkamers		
Operatieve temperatuursgrenzen			
zomer	22.5-25.0 °C		
winter	20.0-24.0°C		
overschrijdingsuren			
EN 15251:2007 annex G tabel G.1 VIPA criteria duurzaamheid sector verzorgingsinstellingen	3% → 259u/jaar, 22u/mnd, 5u/week, 43 min/dag		

Opgelet, voor de andere thermische comforteisen dient categorie A van de algemeen geldende eisen te worden aangenomen.

4.3 Rust- en verzorgingstehuizen

4.3.1 Literatuuronderzoek

Inzake de comfortparameters wordt in Vlaanderen wordt voornamelijk gerefereerd naar de voorschriften van het Vlaams Infrastructuurfonds voor Persoonsgebonden Aangelegenheden (VIPA).

Als agentschap van de Vlaamse overheid verleent het VIPA financiële steun aan welzijns- en gezondheidsvoorzieningen die infrastructuurwerken willen uitvoeren. Dat maakt het mogelijk voorzieningen aan te bieden die betaalbaar zijn en tegelijk beantwoorden aan de hedendaagse eisen inzake woon- en zorgcomfort.

Concreet komen volgende sectoren in aanmerking voor financiële steun van het VIPA:

- verzorgingsvoorzieningen
- ouderen- en thuiszorgondersteunende voorzieningen
- personen met een handicap
- gezinnen met kinderen
- preventieve en ambulante gezondheidszorg
- algemeen welzijnswerk
- bijzondere jeugdbijstand

Omdat ze belangrijke financiële steun leveren aan o.a. rust- en verzorgingsinstellingen zijn de voorschriften van het VIPA vaak bepalend voor het ontwerp.

Volgende werken werden geraadpleegd:

1. VIPA criteria duurzaamheid, bijlage 4 sector: voorzieningen voor bejaarden en voorzieningen in de thuiszorg.
2. VIPA criteria duurzaamheid, bijlage 5 sector: algemeen welzijnswerk.
3. Evaluatiecriteria ecologisch bouwen ter beoordeling van de aanvragen voor investeringssubsidies in het kader van de VIPA-reglementering, juni 2002
4. Analyse van energieprestatie en comfortniveau in rust- en verzorgingsthuizen, *Thomas Bockelandt en Elise De Mûelenaere*, scriptie UGent, 2007-2008
5. Eindrapport: Ontwikkeling van specifieke energieprestatie-indicatoren voor rusthuizen, *Laboratorium Bouwfysica KULeuven, Daidalos Peutz, Vakgroep Architectuur & Stedebouw Ugent, Ingenium, FDA architecten & ingenieurs*, juni 2008
6. Studieopdracht voor de ontwikkeling van specifieke energieprestatie-indicatoren voor woonzorgcentra – II, *Daidalos, KULeuven, Ugent, Ingenium*, maart 2010

De NBN EN 15251:2007 § 6.2.1 verwijst specifiek naar “elderly people (low metabolic rate and impaired control of body temperature) als groep van personen waarvoor categorie I (A) wordt aanbevolen.

4.3.2 Kledij en metabolisme

Uit metingen blijkt dat de omgevingstemperatuur in rusthuizen hoger is dan in bijv. kantoren. Uit studies blijkt dat dit niet zozeer het gevolg is van het verlaagd metabolisme van oudere personen, maar door de verlaagde activiteit van deze mensen die voor een groot deel van de dag zitten.[13]
Voor de analyse van het zomercomfort gaan we overdag uit van bejaarden zittend op een stoel met lichte zomerkledij (metabolisme 1.0 met, 105 Watt (90 % voelbare warmte), 0.5 clo) en 's nachts liggend in hun bed met een laken (metabolisme 0.8 met, 85 Watt, 1.8 clo).

Deze getallen komen uit de volgende tabel. Deze is opgesteld volgens de huidige internationale normen met betrekking tot thermische behaaglijkheid, zoals ISO 7730 en de uitgave van ASHRAE 55 gebaseerd op de theorie en het rekenmodel van Fanger. Uit diverse studies [Rutten, Hensen, 2002] is gebleken dat de theorie van Fanger in principe ook geldig is voor mensen met fysieke gebreken zoals in het geval van bewoners van een woonzorgcentrum.

		Zomer		Winter		Voor- en najaar	
patient in bed laken + deken	clo	2.0	2.5	2.4	3.2	2.0	3.2
	met	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
	To (PMV=0)	23.0	21.0	21.5	18.5	23.0	18.5
	To (PMV= -0.5)	21.0	18.5	19.0	15.5	21.0	15.5
	To (PMV= +0.5)	25.0	23.5	24.0	25.0	25.0	21.5
patient in bed alleen laken	clo	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9
	met	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9
	To (PMV=0)	23.5	22.0	23.5	22.0	23.5	22.0
	To (PMV= -0.5)	21.5	19.5	21.5	19.5	21.5	19.5
	To (PMV=+0.5)	**25.5**	**24.0**	25.5	24.0	**25.5**	24.0
patient uit bed zittend in stoel	clo	0.5	0.7	0.6	1.0	0.5	1.0
	met	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2
	To (PMV=0)	27.0	24.0	26.0	22.5	27.0	22.5
	To (PMV= -0.5)	25.5	22.5	**25.0**	**20.0**	25.5	**20.0**
	To (PMV= +0.5)	28.0	26.0	27.5	24.5	28.0	24.5
patient uit bed bewegend	clo	0.4	0.7	0.5	0.8	0.4	0.8
	met	1.4	1.6	1.4	1.6	1.4	1.6
	To (PMV=0)	24.5	22.0	24.0	20.5	24.5	20.5
	To (PMV= -0.5)	22.5	19.5	22.0	18.0	22.5	18.0
	To (PMV= +0.5)	26.0	24.5	26.0	23.0	26.0	23.0

Tabel: Operatieve temperatuur (To) op basis van kledingweerstand (clo) en metabolisme (met)[Rutten, Hensen, 2002].

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de neutrale temperatuur van personen die 's nachts in hun bed liggen met een laken (metabolisme 0.8 met, 85 Watt, 1.8 clo) 23.5°C bedraagt.

In een recent onderzoek werd het model van Fanger echter aangepast voor personen die in bed liggen [Zhongping en Deng 2008a, 2008b]. De auteurs tonen aan dat bij een Clo-waarde van 1.8, de neutrale temperatuur in dat geval 25.5 à 26°C bedraagt. Door een andere schikking van het laken, kan de Clo-waarde afnemen tot 1.4, wat overeenkomt met een neutrale temperatuur van 27°C (PMV = 0).
We stellen daarom voor om deze waarde van 27°C te gebruiken als grenswaarde voor de dynamische zomercomfortberekeningen. Hierbij gaan we uit van het feit dat een afwijking van deze neutrale situatie als hinderlijk kan worden ervaren, aangezien de personen hun 'isolatiegraad' niet kunnen verlagen.

4.3.3 Overschrijdingsuren [14]

Temperatuursoverschrijdingseisen gedurende 3% van de verblijfstijd (260uren):

- Nachtperiode (of bedlegerig) (met= 0.8, clo=1.8) → 24°C

[13] Thermal comfort, Technical Review, 1982
[14] Ontwikkeling van specifieke energieprestatie-indicatoren voor rusthuizen, studiedag Energiebeheersing en duurzaamheid in rusthuizen, dec.2008

- Dagperiode (met =1.2, clo=0.5) → 27°C

4.3.4 Samenvattende tabel

Rust- en verzorgingstehuizen			
	Specifieke ruimte		
	patientenkamers		
Operatieve temperatuursgrenzen			
Zomer	22.5-25.0 °C		
Winter	20.0-24.0°C		
Overschrijdingsuren			
EN 15251:2007 annex G tabel G.1 VIPA criteria duurzaamheid bijlage 4 en bijlage 5	3% → 259u/jaar, 22u/mnd, 5u/week, 43 min/dag		
Drempelwaarde nacht (of bedlegerig) met=0.8, clo= 1.8 → 24°C			
Drempelwaarde dag met=1.2, clo= 0.5 → 27°C			

4.4 Scholen

4.4.1 Literatuuronderzoek

Uit: http://www.ond.vlaanderen.be/nieuws/2009/0529-scholenbouw.htm

Vlaanderen heeft de voorbije decennia te weinig geïnvesteerd in scholenbouw. Daardoor zijn de wachttijden voor subsidies opgelopen tot gemiddeld 8 jaar. Minister Vandenbroucke heeft daarom op twee sporen actie ondernomen. Enerzijds zijn de klassieke scholenbouwbudgetten fors opgetrokken: het aantal machtigingen steeg van 752 miljoen in de vorige legislatuur naar 1269 miljoen deze regeerperiode. Tegelijk startte hij een procedure om via publiek-private samenwerking (PPS) 1 miljard extra voor scholenbouw te mobiliseren.

De PPS-formule die gehanteerd wordt heet in het jargon DBFM (design, build, finance and maintain). Dit betekent dat een private financier een vennootschap opricht dat zal instaan voor het ontwerp, de bouw, de financiering en het onderhoud van de scholen. De scholen betalen in ruil gedurende 30 jaar een gebruiksvergoeding. Voor de schoolbesturen heeft deze formule, behalve een snelle realisatie, het grote voordeel dat de onderhoudsrisico's bij de vennootschap liggen. Als er later bv. grote herstellingen aan het dak nodig zijn, zullen deze door de vennootschap gefinancierd worden.

Minister Vandenbroucke noemt de investeringsoperatie een typevoorbeeld van een vooruitziende relancepolitiek. "Precies zoals Europa ons vraagt, dienen deze investeringen op korte termijn de energiebesparingsdoelen op langere termijn. Alle scholen zullen voldoen aan de strenge E70-norm en zullen dus 30% energiezuiniger zijn dan de gangbare norm. Bovendien zullen 7 van de 211 scholen passiefscholen zijn. Deze scholen verbruiken nagenoeg geen energie."

1. *Passiefscholen, Vlaamse Overheid, Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, passiefhuis-Platform*
2. *DBFM Scholenbouw, bijlage 19 outputspecificatie*

De NBN EN ISO 7730:2005 verwijst in tabel A.5 expliciet naar klaslokalen en auditoria.

4.4.2 Temperatuur

De minimale temperatuur in de winter moet gegarandeerd zijn gedurende 100% van de verblijftijd.
Hierbij mag geen onderscheid gemaakt worden tussen personeel en leerlingen. Er moet m.a.w. rekening gehouden worden met het feit dat personeel vroeger en/of later in het gebouw aanwezig is dan de leerlingen.
Onderstaande tabel is overgenomen uit bijlage 19 van de DBFM scholenbouw. Hieruit kan men afleiden dat men enkel categorie A voor de scholen weerhoudt !

	Min. Temp (winter)	Max. temp. (zomer)
Klas- en leslokalen, Administratieve lokalen en kantoren Studiezaal	21	26
Bibliotheek /mediatheek / open studielandschap	21	25,5
informaticalokaal	21	25,5
Laboratoria	21	26
Speelzaal / polyvalente zaal / turnzaal / sportzaal	16	26
Centrale computerruimte (MER) *	18	24
Refter	21	26
Keuken	Conform HACCP normen	
Bergingen en archiefruimtes	10	-
Circulatieruimtes	18	-
Tochtportaal	15	-
Werkplaatsen, ateliers	21	26
Slaapkamers en -zalen	18	26
Sanitaire ruimtes	18	-

* Voor de centrale computerruimtes (MER-ruimtes) geldt de eis 24h/24.

4.4.3 Overschrijdingsuren

De maximale temperatuur in de zomer geldt als een richtwaarde. De zomertemperaturen mogen maximaal 5% van de verblijfstijd 25,5 º C en 1% van de verblijfstijd 28º C overschrijden.

We nemen als verblijftijd hetzelfde aan als bij kantoren: 2000u

4.4.4 Samenvattende tabel

Schoolgebouwen			
	Specifieke ruimte		
Activiteit: 70 W/m², 1.2 met Kledij zomer: 0.5 clo Kedij winter: 1.0 clo	klaslokalen Vergaderzalen, Auditorium, Mess, cafetaria		
Operatieve temperatuursgrenzen	**A**	**B**	**C**
Zomer (°C)	23.5-25.5	23.0-26.0	22.0-27.0
Winter (°C)	21.0-23.0	20.0-24.0	19.0-25.0
overschrijdingsuren			
Max. 5% van de verblijftijd voor drempelwaarde van 25.5°C Max. 1% van de verblijftijd voor drempelwaarde van 28°C	100u 20u		
Maximale gemiddelde luchtsnelheid			
Winter (m/s)	0.15		
Zomer (m/s)	0.20		

Relatieve vochtigheidsgraad (%)	40-70		

4.5 Residenties

4.5.1 Literatuur

De NBN EN 15215:2007 geeft in tabel A.2 operatieve temperatuursgrenzen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen leefruimten (slaapkamer, keuken,..) en andere ruimten (hall,berging,..)

Het lijkt evenwel niet logisch om dezelfde thermische eisen te stellen voor bijv. een slaapkamer en een badkamer.

Volgende studie geeft hiervoor een meer gedetailleerde indeling;
Thermal comfort in residential buildings: comfort values and scales for building energy simulation,
Leen Peeters, Richard de Dear, Jan Hensen, William D'haeseleer

Vaak wordt in simulatiemodellen de ISO 7730 gehanteerd als beoordelingsrichtlijn. Door zones met variabele thermische vereisten en minder voorspelbare activiteiten zijn de conventionele methodes niet langer bevredigend.

De PMV en PPD concepten zijn afgeleid van statische laboratorium experimenten waarbij de testpersonen standaard kleding droeg en zittende activiteiten uitoefenden. Deze statische benadering en de inschatting van de thermische waarde van de kledij en de invloed ervan op de PMV-formule worden aanzien als een probleem.

De woning is niet bepaald een statische omgeving: de activiteiten en kledij kunnen zeer snel veranderen, fluctuerende interne warmtewinsten kunnen snel een effect hebben op de binnentemperatuur, de bezettingsgraad kan snel de vereiste ventilatiegraad beïnvloeden.

In bovenvermelde studie worden drie zones onderscheiden: badkamer, slaapkamer, en de overige ruimten. De temperatuurgrenzen worden bepaald in functie van de buitentemperatuur.

4.5.2 badkamer

$$T_n = 0.112 \cdot T_{e,ref} + 22.65°C \quad \text{for} \quad T_{e,ref} < 11°C$$

$$T_n = 0.306 \cdot T_{e,ref} + 20.32°C \quad \text{for} \quad T_{e,ref} \geq 11°C$$

$$T_{upper} = T_n + w\alpha$$

$$T_{lower} = \max(18°C, T_n - w(1-\alpha))$$

met

$$T_{e,ref} = \frac{(T_{today} + 0.8T_{today-1} + 0.4T_{today-2} + 0.2T_{today-3})}{2.4} \quad (1)$$

where $T_{e,ref}$ = reference external temperature (in °C)

T_{today} = arrhythmic average of today's maximum and minimum external temperature (°C)

$T_{today-1}$ = arrhythmic average of yesterday's maximum and minimum external temperature (°C)

$T_{today-2}$ = arrhythmic average of maximum and minimum external temperature of 2 days ago (°C)

$T_{today-3}$ = arrhythmic average of maximum and minimum external temperature of 3 days ago (°C).

4.5.3 Slaapkamer

For the case of no elevated air velocity in summer, the here derived equations are given by:

$$T_n = 16°C \text{ for } T_{e,ref} < 0°C \quad (6)$$

$$T_n = 0.23T_{e,ref} + 16 \text{ for } 0°C \le T_{e,ref} < 12.6°C \quad (7)$$

$$T_n = 0.77T_{e,ref} + 9.18°C \text{ for } 12.6°C \le T_{e,ref} < 21.8°C \quad (8)$$

$$T_n = 26°C \text{ for } T_{e,ref} \ge 21.8°C \quad (9)$$

$$T_{upper} = \min(26°C, T_n + w\alpha)$$

$$T_{min} = \max(16°C, T_n - (1-w)\cdot\alpha)$$

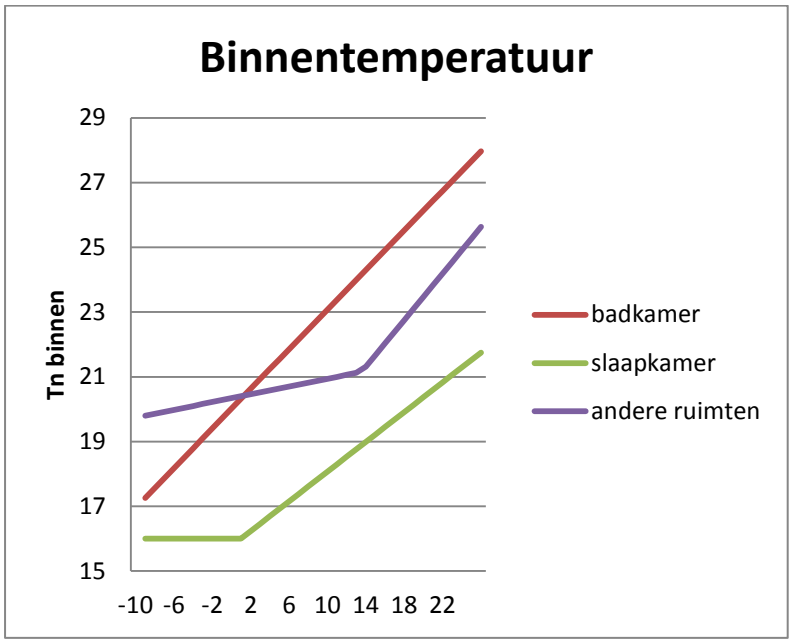
4.5.4 Andere ruimten

$$T_n = 20.4 + 0.06 \cdot T_{e,ref} \text{ for } T_{e,ref} < 12.5°C$$

$$T_n = 16.63 + 0.36 \cdot T_{e,ref} \text{ for } T_{e,ref} \ge 12.5°C$$

$$T_{upper} = T_n + w\alpha$$

$$T_{lower} = \max(18°C, T_n - w(1-\alpha))$$



4.5.5 Samenvattende tabel

Residenties						
	Specifieke ruimte					
Activiteit: 70 W/m², 1.2 met *Kledij zomer: 0.5 clo* *Kedij winter: 1.0 clo*	*Leefruimten: slaapkamer, eetkamer,..*			*Niet-leefruimten; keuken, berging*		
Operatieve temperatuursgrenzen	***A***	***B***	***C***	***A***	***B***	***C***
Zomer (°C)	*23.5-25.5*	*23.0-26.0*	*22.0-27.0*			
Winter (°C)	*21.0-25.0*	*20.0-25.0*	*18.0-25.0*	*18.0-25.0*	*16.0-25.0*	*14.0-25.0*
Overschrijdingsuren						
Uit: GWI/ISSO installatie voor nieuwbouw eengezinswoningen en appartementen	*250*	*300*				