

Voor een ruimte voor langdurig verblijf zou dit onaanvaardbaar hoog zijn. Voor een verkeersruimte/wachtruimte is het acceptabel, mits voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat mensen op de tocht komen te zitten.

Voor het effectief natuurlijk ventileren zijn toevoer- en afvoeropeningen nodig. Om de kans op tocht te beperken moeten de toevoeropeningen niet te laag zitten. Bij natuurlijke ventilatie ligt de luchtsnelheid in de openingen meestal tussen 0,5 en 1,5 m/s. Als vuistregel wordt vaak 1,0 m/s genomen. De gezamenlijke oppervlakte van de toevoeropeningen is dan bij benadering:

$$A = q_v / v = 41,7 / 1,0 = 41,7 \text{ m}^2$$

De toevoeropeningen kunnen het best over de breedte van de gevel worden verdeeld. Wordt het één grote opening, dan moet deze ten minste 2,1 m hoog zijn. De toevoeropening zijn afsluitbaar te maken met transparante jaloeziekleppen.

De afvoeropeningen moeten ook een gezamenlijke oppervlakte hebben van ten minste 41,7 m². Gezien de vorm van het dak kan het eventueel één opening zijn, bijvoorbeeld 9,2 x 4,6 m.

Een nauwkeuriger berekening van de ventilatieopeningen is mogelijk met het in [45] afgeleide model (zie paragraaf 8.3.6). Wordt voor de situeringsfactor y een waarde van 2,0 genomen dan volgt hieruit dat een gezamenlijke oppervlakte van:

$$A_{o,tot} = y \cdot \Phi_k / (130 \cdot \Delta\theta^{1,5} \cdot h^{0,5}) = 2 \cdot 250440 / (130 \cdot 5^{1,5} \cdot 20^{0,5}) = 77 \text{ m}^2$$

De toevoer- en afvoeropeningen krijgen daardoor elk een gezamenlijke oppervlakte van 38,5 m.

Invloed zonwerend glas op systeemkeuze koeling

Worden dak en gevel uitgevoerd in zonwerend glas - bijvoorbeeld met ZTA = 0,38 - dan volgt hieruit een beduidend lagere koelbehoefte en andere luchthoeveelheden e.d., zie het volgende overzicht.

	enkel glas	zonwerend glas
ZTA	0,85	0,38
koelbehoefte Φ_k	250440	113012 W
specifieke koelbehoefte $\Phi_{k,sp}$	1252	565 W/m ²
mechanische koeling ($\Delta t=10^\circ\text{C}$)		
luchthoeveelheid q_v	20,9	9,4 m ³ /s
ventilatievoud bij n	18,8	8,5 h ⁻¹
diameter kanaal	1600	1250 mm
natuurlijke koeling ($\Delta t=5^\circ\text{C}$)		
luchthoeveelheid q_v	41,7	18,8 m ³ /s
ventilatievoud n	37,6	17,0 h ⁻¹
oppervlakte openingen	38,5	17,4 m ²

8.4 Gebruiksmogelijkheden van ORCA

8.4.1 **Toelichting op het programma**

In paragraaf 8.1 is het VA114-programma van de VABI (Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen) genoemd als een programma waarmee het thermisch gedrag van ruimten met bepaalde eigenschappen en een gegeven gebruik goed is na te gaan. Het programma is ontwikkeld voor installatieontwerpers. Het gebruik vraagt deskundigheid op het gebied van klimaatregeling en routine. Om ook andere ontwerpers, waaronder architecten, de mogelijkheid te bieden om snel na te gaan welke effecten bepaalde ontwerpkeuzen hebben op de binnentemperatuur en het energiegebruik is "ORCA" ontwikkeld. Het programma heeft een aantal eenvoudige invoer- en uitvoerschermen en het gebruikt de rekenkern van VA114. Deze paragraaf geeft een toelichting, de volgende paragrafen gaan in op het gebruik en de gebruiksmogelijkheden.

Plafond Constructie samenstellen uit minimaal 1 laag

Bovenkant

<input checked="" type="checkbox"/> Laag 1	<input type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Stucwerk"/>	dikte: <input type="text" value="5"/> mm
<input type="checkbox"/> Laag 2	<input type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Polystyreenchuim"/>	dikte: <input type="text" value="70"/> mm
<input checked="" type="checkbox"/> Laag 3	<input type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Grindbeton gewapend"/>	dikte: <input type="text" value="150"/> mm
<input checked="" type="checkbox"/> Laag 4	<input checked="" type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Gipsplaat"/>	dikte: <input type="text" value="300"/> mm
<input checked="" type="checkbox"/> Laag 5	<input type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Gipsplaat"/>	dikte: <input type="text" value="10"/> mm
<input type="checkbox"/> Laag 6	<input type="checkbox"/> spouw	materiaal: <input type="text" value="Gipsplaat"/>	dikte: <input type="text" value="100"/> mm

Onderkant

ORCA, invoerscherm "Eigen constructie" - Figuur 8.14

ORCA
Beoordelingsrapport: NL/EN: Beoordeling

Dag uitvoer Jaar uitvoer Comfort Energie gebruik

Luifel of overstek

Verd.: Luid.: Lengte L: Hoogte h:

ruimte

Luifel / overstek

TU Delft vabi

ORCA, invoerscherm "Luifel" - Figuur 8.15

ORCA
Beoordelingsrapport: NL/EN: Beoordeling

Dag uitvoer Jaar uitvoer Comfort Energie gebruik

Personen en apparaten

Standard (22 W/m²)
 Gebouwd
 Speciaal opgeven

Verlichting

Standard (15 W/m²)
 Gebouwd
 Speciaal opgeven

Gedrukt steden

Standard (8:00 - 18:00)
 Gebouwd
 Speciaal opgeven

Werkend ook in gebruik

TU Delft vabi

ORCA, invoerscherm "Gebruik" - Figuur 8.16

ORCA opent met het invoerscherm "**Context**" (figuur 8.11). Hiermee kan de gebouwfunctie en de te berekenen periode (zomer of winter) worden opgegeven. Op het moment dat deze tekst werd geschreven kon alleen "kantoorgebouw" als functie worden gekozen.

Het invoerscherm "**Ruimte**" (figuur 8.12) vraagt om de vorm van de ruimte (rechthoek, L-vorm of een schuine zijde) en om de oriëntatie en afmetingen van de ruimte.

Met het invoerscherm "**Wanden**" (figuur 8.13) zijn de gegevens van wanden, vloer en plafond in te voeren. Van wanden moet de functie worden aangegeven (binnenwand of buitenwand), de constructie (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen), aanwezigheid van een raam of deur (aanvinken), waarna afmetingen en plaats in de wand moeten worden ingevoerd. Van ramen moet de glassoort worden aangegeven (keuze uit verschillende soorten) en of de zonwering "op" (geen zonwering), "neer" of "schakelend" is. Ook moet via dit scherm de functie van de vloer (verdieping of begane grond) en de constructie worden aangegeven (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen). Ten slotte moet van het plafond de functie (verdieping of dak) en de constructie worden opgegeven (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen, zie figuur 8.14). Zit in het dak een raam dan moeten daarvan de afmetingen, glassoort e.d. worden opgegeven.

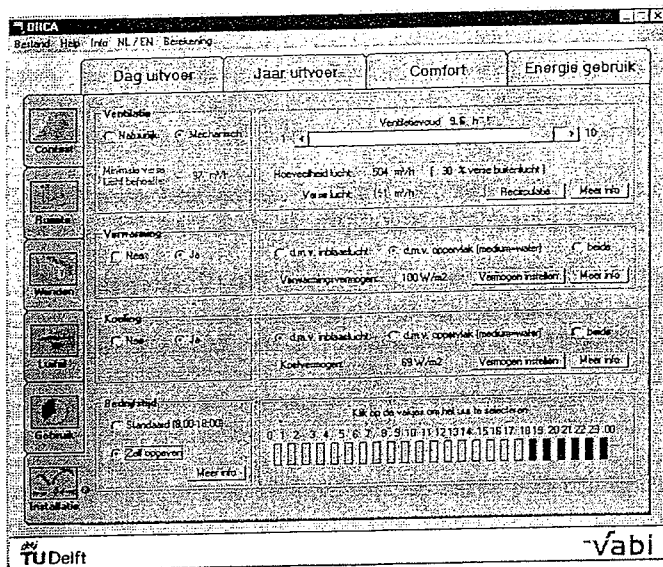
Met het invoerscherm "**Luifel**" (figuur 8.15) is de aanwezigheid van een luifel aan te geven (aanvinken), waarna de lengte van het overstek en de hoogte boven het raam moeten worden ingevoerd.

Het scherm "**Gebruik**" (figuur 8.16) is voor het invoeren van de interne belasting door personen en apparatuur (bij elkaar) en verlichting (apart) en de gebruikstijd. Bij **personen en apparatuur** is keuze mogelijk uit "standaard" (25 W/m²), "globaal" (kiezen uit "lichte", "gemiddelde" of "zware" belasting) en "specifieke belasting" (aantal mensen en apparaten opgeven). Bij **verlichting** is te kiezen uit "standaard" (15 W/m²) en "zelf opgeven" (armaturen "inbouw", "vrijhangend" of "opbouw" en wel of niet schakelende verlichting). Bij inbouwarmaturen aangegeven of ze worden afgezogen (luchtafvoer uit de ruimte geheel of gedeeltelijk via de armaturen. *Dit kan alleen bij inbouwarmaturen in verlaagd plafond*). Bij **gebruikstijden** zijn de dagelijkse tijden op te geven waarin de ruimte door personen wordt gebruikt en de apparatuur en verlichting zijn ingeschakeld. Bij "standaard" is de gebruikstijd 08.00 - 18.00 uur, bij "zelf opgeven" verschijnt een balk waarop de betreffende uren zijn aan te klikken. Bij "gebruikstijden" is ook aan te geven of de ruimte in het weekeinde in gebruik is.

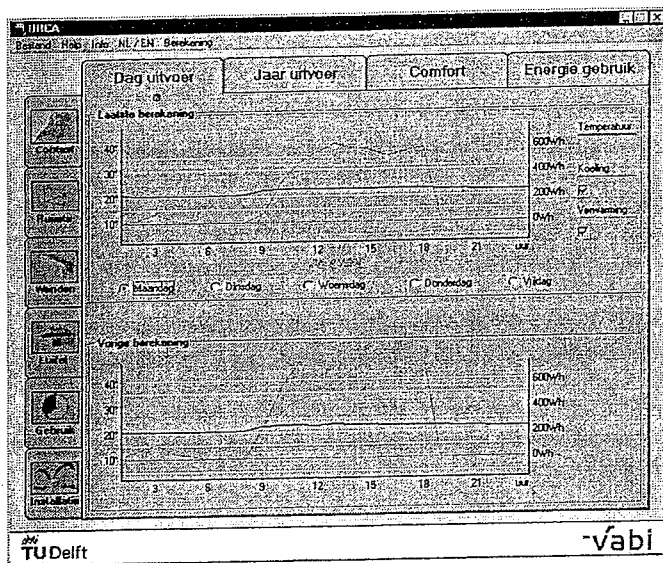
Via het scherm "**Installatie**" (figuur 8.17) zijn gegevens betreffende ventilatie, verwarming en koeling in te voeren. Bij **ventilatie** is te kiezen uit natuurlijke en mechanische ventilatie. Bij "natuurlijke ventilatie" wordt standaard gerekend met 2-voudige ventilatie. Bij keuze "mechanische ventilatie" verschijnt een schuifbalk waarmee het ventilatievoud tussen 1 en 10 is in te stellen. Door aanklikken van "recirculatie" verschijnt een scherm waarop met een schuifbalk het percentage verse lucht is in te stellen.

Wordt **verwarming** gekozen dan moet worden aangegeven of dit luchtverwarming ("d.m.v. inblaaslucht"), stralingsverwarming (d.m.v. oppervlak) of een combinatie van beide is. Bij elke keuze is het verwarmingsvermogen in te stellen. Na aanklikken van "vermogen instellen" verschijnt een scherm met "onbeperkt vermogen" en "verwarmingsvermogen instellen". Bij "verwarmingsvermogen instellen" verschijnt een schuifbalk met instelmogelijkheden.

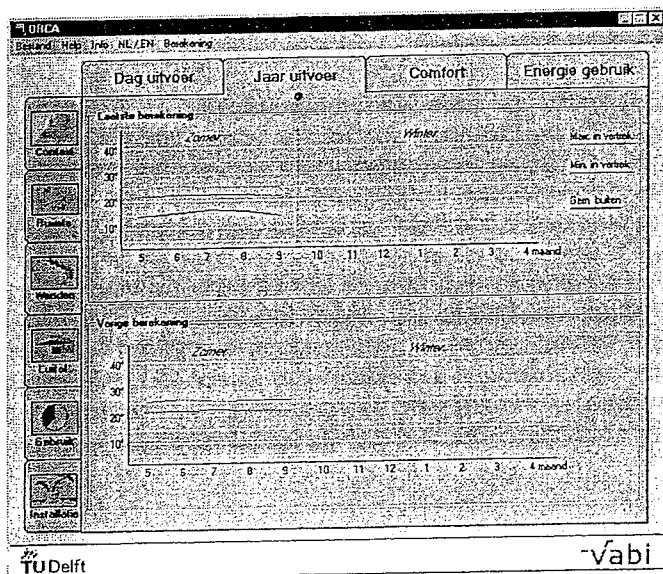
Wordt **koeling** gekozen dan kan dit luchtkoeling ("d.m.v. inblaaslucht"), stralingskoeling (d.m.v. oppervlak) of een combinatie van beide zijn. Bij elke keuze verschijnt na aanklikken van "vermogen instellen" een scherm met "onbeperkt vermogen" en "koelvermogen instellen". Bij "koelvermogen instellen" verschijnt een schuifbalk. *Let op dat bij luchtkoeling het koelvermogen afhankelijk is van de ventilatiehoeveelheid en de hoogte van de ruimte, zie paragraaf 4.4.4. Het programma verandert bij natuurlijke ventilatie luchtkoeling in stralingskoeling met een vermogen van maximaal 60 W/m².*



ORCA, invoerscherm "Installatie" - Figuur 8.17



ORCA, uitvoerscherm "Daguitvoer" - Figuur 8.18



ORCA, uitvoerscherm "Jaaruitvoer" - Figuur 8.19

Bij *bedrijfstijd* is aan te geven wanneer de ventilatie, verwarming en koeling in bedrijf zijn. Bij "zelf opgeven" verschijnt een balk waarop de bedrijfsuren zijn aan te klikken. *De bedrijfstijd kan een grote invloed op de temperatuuroverschrijding en het energiegebruik hebben.*

Als voldoende gegevens zijn ingevoerd en een uitvoerscherm wordt aangeklikt gaat ORCA rekenen. Het scherm "daguitvoer" toont het verloop van de vertrektemperatuur en het vermogen voor koeling en verwarming van een te kiezen dag (figuur 8.18). Voor de zomerperiode zijn dit de werkdagen uit de week van 24 augustus 1964, bij de winterperiode uit de week van 21 december 1964. Deze weken zijn te beschouwen als een "gemiddeld warme" en "gemiddeld koude" week uit het gemiddelde jaar 01-04-1964 tot 31-03-1965. Als na aanklikken van een invoerscherm en wijziging het scherm "daguitvoer" opnieuw wordt aangeklikt volgt een nieuwe berekening en verschuiven op het scherm de resultaten van de vorige berekening naar beneden.

Het scherm "jaaruitvoer" (figuur 8.19) geeft voor de gekozen periode het verloop van de maximale vertrektemperatuur, de minimale vertrektemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur.

Het scherm "comfort" (figuur 8.20) geeft in een staafdiagram het aantal uren dat de vertrektemperatuur bepaalde waarden heeft. De staafjes zijn lichtblauw voor temperaturen onder 18°C ($PMV < 0,5$), grijs voor waarden tussen 18 en 25°C ($-0,5 < PMV < 0,5$), roze voor waarden tussen 25 en 28°C ($0,5 < PMV < 1,0$) en rood voor temperaturen boven 28°C ($PMV > 1,0$).

Het scherm "energiegebruik" (figuur 8.21) geeft rechts de waarden in kWh voor verwarming en koeling apart en voor het totaal. Dit is het energiegebruik voor de ruimte als geheel. De horizontale balken geven het energiegebruik per m² vloeroppervlakte weer. De kleur van de balk is een indicatie voor de mate waarin aan de EPN (Energie Prestatie Norm) wordt voldaan.

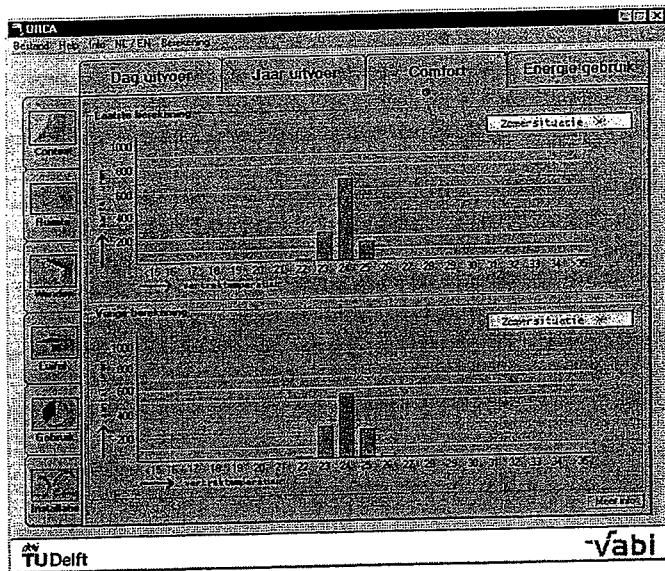
8.4.2 Optimalisatie van een ontwerp met ORCA

Met ORCA is te berekenen welke temperatuur in een ruimte ontstaat en wat het energiegebruik is. Een ruimteontwerp is te optimaliseren door aspecten te variëren. Om te weten wat de grootste invloed heeft is het aan te raden om, de eerste keer dat je ORCA gebruikt, een gevoeligheidsanalyse te maken. Dat kan door van een referentievertrek steeds één aspect te wijzigen, zoals grootte van de ramen, type beglazing of zwaarte van de constructie. Is de uitkomst niet wat je ervan verlangt, bijvoorbeeld omdat het in de ruimte te koud of te warm wordt, wijzig dan de klimaatregeling om een aanvaardbare uitkomst te krijgen. Er zijn oefeningen om hierbij te helpen, zie de webpagina's van Installaties op de Bouwkunde-site. Zie ook de volgende paragrafen.

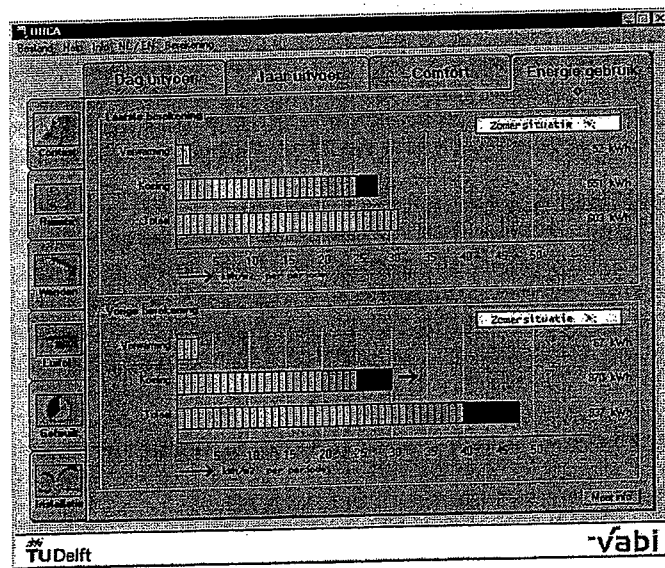
8.4.3 Optimalisatie natuurlijke koeling met ORCA

Een veel gestelde ontwerpvrage is: welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan. Het antwoord is: om te beginnen moet de luchtverversing voldoende zijn. Afhankelijk van de bezetting is hiervoor 1- à 2-voudige ventilatie nodig. Bij een standaard bezetting van 1 persoon per 10 m² wordt met 2-voudig gerekend. Is de temperatuur buiten *lager* dan binnen dan is natuurlijk te koelen door met buitenlucht te ventileren, maar niet meer dan 10-voudig vanwege tocht. Is de temperatuur buiten *hoger* dan binnen dan moet de ventilatie worden beperkt tot het minimum voor luchtverversing. Dit klinkt logisch, toch ventileren mensen anders: ze zetten ramen open als ze het warm hebben en zijn zich zelden bewust van het werkelijke effect of van ventilatievouden.

Bij de dynamische berekeningen die begin jaren '90 werden gemaakt om het comfort en het energiegebruik van verschillende klimaatregelsystemen te vergelijken werd aangenomen dat bij natuurlijke koeling, ongeacht de buitentemperatuur, overdag altijd ten minste 2-voudig wordt geventileerd (raam op een kier) en 5-voudig als de binnentemperatuur >24°C is (mensen zetten het raam dan verder open). Voor de nachtventilatie werd 0,5-voudig aangenomen. Bij veel gebouwen mogen om veiligheidsredenen de ramen 's-nachts niet open blijven waardoor meer natuurlijke nachtventilatie dan 0,5-voudig niet mogelijk is. Overigens is 5-voudige natuurlijke ventilatie slechts mogelijk als de te openen ramen ten minste 5% van de geveloppervlakte beslaan. Dit is een vuistregel, zie ook paragraaf 8.3.6.



ORCA, uitvoerscherm "Comfort" - Figuur 8.20



ORCA, uitvoerscherm "Energiegebruik" - Figuur 8.21

8.4.4 Bepaling energiegebruik met ORCA

Op het moment dat deze tekst werd geschreven gebruikte ORCA alleen de gegevens van het meteorologisch "gemiddelde" jaar 1964-1965. Het berekende energiegebruik is - over een langere periode gezien - gemiddeld als via het invoerscherm "Gebruik" gemiddelde waarden zijn opgegeven voor de interne belasting door personen, apparaten en verlichting. De ruimten van een kantoorgebouw worden niet altijd volledig gebruikt. Afhankelijk van het type organisatie ligt het gemiddelde gelijktijdige gebruik tussen 60 en 80% van het maximaal mogelijke gebruik.

8.4.5 Bepaling warmte- en koelbehoefte met ORCA

Met ORCA is door middel van "trial and error" het verwarmings- en koelvermogen te bepalen waarmee een ruimte aan - zelf te kiezen - klimaateisen kan voldoen. Toen deze tekst werd geschreven rekende ORCA alleen met gegevens van 1964-1965, een jaar waarin geen extreem koude of warme perioden voorkwamen. Van de klimaatregeling van gebouwen wordt verwacht dat ze ook bij een wat extremer buitenklimaat voldoende kunnen verwarmen of koelen. In Nederland komen temperaturen voor tussen min 23 en plus 37°C. NEN 5066 noemt voor de warmtebehoefte een ontwerp-buitentemperatuur van min 10°C. In NEN 5067 is geen ontwerp-buitentemperatuur aangegeven, in de praktijk neemt vaak 28°C. Min 10°C en plus 28°C worden gemiddeld minder dan 0,4% van de tijd (35 uur per jaar) onder- respectievelijk overschreden, zie tabel 8.4 en 8.14.

Om met ORCA de **warmtebehoefte** te bepalen moet je via het invoerscherm "Gebruik" de interne belasting door personen, apparatuur en verlichting minimaliseren omdat een ruimte ook zonder interne belasting op temperatuur moet kunnen worden gebracht en gehouden. Op dit moment kan je met ORCA de interne belasting niet nul maar wel zo klein mogelijk maken. De belasting door verlichting is te minimaliseren door bij "zelf opgegeven" inbouwarmaturen op te geven en "afgezogen" aan te vinken. De belasting door personen en apparaten is nul te maken door deze belasting "specifiek" op te geven. Omdat nu nog met de gegevens van 1964-1965 wordt gerekend kan je, als benadering voor koudere jaren, een verwarmingsvermogen zoeken waarbij de vertrektemperatuur niet lager wordt dan de in tabel 6.2 aangegeven minimale waarden plus 2°C.

Voor het bepalen van de **koelbehoefte** moet je via het invoerscherm "Gebruik" reële maximale waarden voor de belasting door personen, apparatuur en verlichting opgeven. Tabel 8.1 (blz. 102) laat zien met welke buitentemperatuur θ_o in °C, globale straling op het horizontale vlak R_{gh} in W/m^2 en windsnelheid v_w in m/s ORCA in een "warme" week rekent. De temperaturen en intensiteiten van de zonnestraling zijn minder hoog dan gedurende de 5 warme dagen waarop de tabellen uit NEN 5067 zijn gebaseerd. Omdat nu nog met de gegevens van 1964-1965 wordt gerekend kan je, als benadering voor warmere jaren, een koelvermogen zoeken waarbij de vertrektemperatuur niet hoger wordt dan de in tabel 6.2 aangegeven maximale waarde. Bij ruimten zonder te openen ramen is het beter om geen hogere vertrektemperatuur toe te staan dan 1 à 2°C onder de in tabel 6.2 genoemde maximale waarde. *Let op dat het koelvermogen dat je op deze manier vindt niet gelijk is aan de "koelbehoefte" zoals die met een stationaire berekening wordt bepaald. Zie de volgende paragraaf voor verdere uitleg.*

8.4.6 Bepaling systeemkeuze met ORCA

Voor een systeemkeuze moet het verwarmings- en koelvermogen worden bepaald waarbij de vertrektemperatuur niet beneden een minimale respectievelijk maximale waarde komt. Hierbij moet rekening worden gehouden met de interne belasting door personen, apparatuur en verlichting welke bij het zoeken van het verwarmingsvermogen nul moet zijn en bij het zoeken naar het koelvermogen een - voor het ruimtegebruik - reële waarde moet hebben. Zie wat hierover in de vorige paragraaf is gezegd.

Toen deze tekst werd geschreven was het niet mogelijk om het vermogen voor het centraal op temperatuur brengen van de ventilatielucht (in de luchtbehandelingskast) en het vermogen voor het op temperatuur brengen van de ruimte (met het eindapparaat) afzonderlijk te beschouwen. Is de temperatuur buiten hoger dan binnen dan gebruikt ORCA een deel van het opgegeven vermogen voor koeling van de ventilatielucht en is het resterende deel - dus minder dan wat is opgegeven - beschikbaar voor koeling van de ruimte. Is de temperatuur buiten lager dan binnen dan is meer vermogen - dan wat is opgegeven - beschikbaar voor koeling van de ruimte. Het verschil is in beide gevallen het in de buitenlucht aanwezige koelvermogen ("vrije koeling"). Vergelijking van

de resultaten van ORCA en een stationaire koelbehoefteberekening is hierdoor niet reëel. Om toch een indruk te krijgen zijn de resultaten van voorbeeld 6 als gegeven ingevoerd, zie de invoerschermen figuur 8.11 t/m 8.17.

Voorbeeld 6 (blz. 90) betreft een "zwaar" kantoorvertrek (SWM = 80 kg/m²) met dubbel glas (verschillende percentages van de geveleppervlakte) en verschillende typen zonwering. Uit de resultaten op bladzijde 92 blijkt dat het vertrek met een interne belasting van 40 W/m², buitenzonwering en 30 en 90% glas een koelbehoefte heeft van respectievelijk 51 en 69 W/m². Tabel 6.5 geeft aan dat een lucht/water-systeem (bijvoorbeeld ventilatorconvector) of een lucht+water-systeem (bijvoorbeeld VAV + koelplafond) hiervoor geschikte systemen zijn. Het temperatuurverschil waarmee gekoelde lucht aan de ruimte kan worden toegevoerd is maximaal 8°C (zie tabel 4.5) wat bij een koelvermogen van 51 en 69 W/m² resulteert in respectievelijk 7- en 9,6-voudige toevoer. Deze hoeveelheden zijn in ORCA ingevoerd met, als benadering voor een lucht/water-systeem, 150 m³/h verse lucht (3-voud). Als bedrijfstijd is 0-18 uur genomen. De uitvoerschermen 8.18 t/m 8.21 geven de resultaten met "laatste berekening" voor 30% glas en "vorige berekening" voor 90% glas. Figuur 8.20 laat zien dat de vertrektemperatuur nauwelijks hoger wordt dan 25°C en dus dat een lucht/water-systeem een goede systeemkeuze is. Bij 2-voudige ventilatie en stralingskoeling (met het zelfde koelvermogen) en een standaard bedrijfstijd van 8-18 uur laat ORCA bij 30% glas een vrijwel constante vertrektemperatuur van 24 °C zien (figuur 8.22, "laatste berekening") en een 9% lager energiegebruik (figuur 8.23, "laatste berekening"). Afgaand op de zomerperiode betekent dit dat stralingskoeling met een koelplafond een betere systeemkeuze is. *Zou het vermogen van het koelplafond met een grotere bandbreedte en gerelateerd aan de buitentemperatuur worden geregeld (nu niet mogelijk met ORCA) dan zou dit tot meer spreiding van de vertrektemperaturen, minder koelvermogen en een lager energiegebruik leiden.*

Tabel 8.1 Meteorologische waarden in 34e week van 1964 ("warme" week)

uur	maandag			dinsdag			woensdag			donderdag			vrijdag		
	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w
1	10,0	0	1,4	17,5	0	4,4	15,9	0	3,0	16,3	0	1,0	16,0	0	2,0
2	9,8	0	1,3	17,0	0	4,0	15,8	0	2,6	15,6	0	1,2	15,2	0	2,0
3	11,3	0	1,7	16,9	0	3,6	15,7	0	2,7	15,6	0	1,2	15,7	0	2,3
4	11,8	0	2,1	17,0	0	3,4	15,8	0	2,7	15,5	0	1,5	15,8	0	2,7
5	12,5	0	2,8	16,9	0	3,0	15,2	0	2,7	16,3	0	1,8	15,3	0	2,1
6	13,0	9	3,2	16,8	3	2,4	16,0	30	2,7	16,4	21	2,0	16,0	26	3,3
7	14,0	66	3,6	16,9	16	2,7	17,8	160	2,4	18,9	130	2,2	17,1	108	4,0
8	15,1	95	4,0	17,2	58	2,9	20,5	307	3,2	20,9	270	2,2	18,2	231	4,2
9	16,5	186	4,8	17,5	125	3,4	23,2	440	3,2	23,7	412	2,9	19,2	293	4,2
10	17,4	230	6,0	17,9	121	3,7	25,1	557	3,4	26,0	532	2,7	20,7	354	4,0
11	18,1	138	5,4	18,1	125	3,5	26,8	636	3,3	28,0	625	3,2	22,0	401	3,8
12	19,1	220	6,0	18,1	75	3,3	28,4	669	3,8	29,8	674	3,6	23,3	455	3,5
13	18,5	139	5,3	19,3	190	3,5	29,8	674	4,0	30,9	669	4,2	24,4	455	1,8
14	18,2	92	5,1	21,7	551	3,5	30,5	640	4,1	31,1	621	4,2	24,8	403	1,9
15	17,7	63	5,3	23,0	587	3,7	31,0	557	3,4	30,1	522	4,3	22,3	175	2,2
16	18,0	50	4,9	23,4	435	3,3	30,7	444	2,5	29,6	407	4,4	21,3	117	2,1
17	18,4	49	4,0	22,9	307	2,6	29,8	298	2,2	26,8	275	3,0	21,6	195	2,0
18	17,7	3	4,2	21,6	160	2,1	27,7	147	1,4	23,1	130	2,6	20,6	104	1,4
19	17,9	0	6,3	18,8	30	1,3	24,2	30	1,0	20,2	26	2,0	18,6	3	1,1
20	17,8	0	6,3	16,5	0	1,3	21,2	0	0,7	18,6	0	2,0	18,0	0	1,3
21	17,7	0	6,0	16,2	0	1,3	19,2	0	1,0	17,6	0	2,0	18,4	0	2,6
22	17,7	0	5,5	15,7	0	1,5	18,1	0	1,0	16,7	0	2,0	17,4	0	3,2
23	17,3	0	5,0	16,7	0	2,3	16,8	0	0,2	17,0	0	2,1	17,0	0	3,2
24	17,2	0	4,0	16,7	0	2,5	16,7	0	0,9	16,7	0	2,1	17,0	0	2,8

Tabel 8.2 Eigenschappen van vaak toegepaste bouwmaterialen *)

materiaalsoort	warmtegeleidings- coëfficiënt λ W/(m.K)	soortelijke warmte c J/(kg.K)	soortelijke massa ρ kg/m ³
ijzer / staal	50	530	7800
beton	2,0	840	2500
glas	0,8	840	2500
baksteen	0,6 - 0,9	840	1600
gips	0,3 - 0,5	840	600 - 1400
kunststof	0,17	1470	900 - 1200
hout	0,15	1880	550
kurk	0,04	1760	120
minerale wol	0,04	840	35 - 200
kunststof schuim	0,035	1470	10 - 60

*) Zie voor meer gegevens het Bouwfysisch Tabellarium [58]

Tabel 8.3 Ontwerp-binnentemperatuur
verwarming

Woningen	
- woonkamer	20 °C (22)
- studeerkamer	20 (22)
- slaapkamer	18 (20)
- keuken	18 (20)
- badruimte	22 (24)
- gang, hal	15 (18)
- toilet	15
- berging	5
Bejaardenwoningen	
- zitkamer	22 °C (24)
- slaapkamer	22 (24)
- badruimte	25
- keuken	22
- toilet	18 (20)
- gang	18
Kantoren	
- kantoorvertrekken	20 °C (22)
- gangen, archieven	15 (18)
- toiletten	10 (15)
Scholen	
- klaslokaal	20 °C
- gymlokaal	15
- docentenkamers	20
- gang	15
- toilet	15
Museum	16 °C
Kerk	15
Winkel	16

Tabel 8.4 Deel van de tijd dat de buitentemperatuur beneden een bepaalde waarde komt

<°C	%	uur/jaar
-20	0,0067	0,58
-15	0,048	4,2
-14	0,078	6,7
-13	0,113	9,9
-12	0,173	15
-11	0,266	23
-10	0,397	35
-9	0,57	50
-8	0,82	72
-7	1,12	98
-6	1,50	132
-5	2,05	180
-4	2,8	245
-3	3,7	322
-2	4,9	431
-1	6,6	582
0	8,9	781

Tabel 8.5 Ventilatievouden t.b.v. berekening warmtebehoefte woningen

gebied ¹⁾	natuurlijke toevoer						mechanische toevoer					
	gesloten keuken			open keuken			gesloten keuken			open keuken		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>appartement hoogbouw</i>												
- woonkamer	1,9	2,9	4,1	3,2	4,5	6,1	0,9	1,6	2,3	1,3	2,0	2,9
- keuken gevel	4,2	5,4	6,8	6,7	9,6	12,8	1,8	2,7	3,9	2,6	4,2	6,0
- „ inpandig	2,4	3,1	3,9	3,9	5,6	7,4	1,0	1,6	2,2	1,6	2,3	3,5
- slaapkamer	3,0	4,3	5,9	3,3	4,7	6,3	1,8	3,0	4,2	2,0	3,3	4,7
- gang / hal	1,2	2,9	3,9	2,4	3,4	4,5	1,0	1,6	2,2	1,2	1,8	2,5
<i>appartement laagbouw</i>												
- woonkamer	1,0	1,5	2,1	1,9	2,5	3,3	0,5	0,7	1,0	0,6	1,0	1,4
- keuken gevel	1,4	3,3	4,1	3,7	5,1	7,1	0,9	1,3	2,0	1,4	2,0	2,8
- „ inpandig	1,6	1,9	2,3	2,2	3,0	4,1	0,5	0,8	1,2	0,8	1,2	1,6
- slaapkamer	1,7	2,4	3,1	1,8	2,6	3,4	1,0	0,9	2,0	0,9	1,0	2,3
- gang / hal	1,1	1,5	2,1	1,4	1,8	2,6	0,5	1,4	1,1	0,6	1,5	1,2
<i>eengezinswoning</i>												
- woonkamer	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,7	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	1,1
- keuken	2,2	2,2	3,0	4,1	4,1	7,2	0,7	0,7	1,1	1,8	1,8	3,3
- slaapkamer	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	1,3	0,5	0,5	1,4
- badkamer	3,8	3,8	5,5	3,6	3,6	5,8	1,1	1,1	2,6	1,0	1,0	2,5
- zolder	1,8	1,8	4,2	1,3	1,3	2,9	0,7	0,7	1,9	0,4	0,4	1,2
- gang / hal	2,4	2,4	4,0	3,5	3,5	3,1	1,2	1,2	1,9	0,8	0,8	1,5

¹⁾ a = binnenland, b = kustgebied en c = Den Helder e.o.

Tabel 8.6 Warmteafgifte van personen

activiteit	W/persoon *)
rustig zitten	80
zittend kantoorwerk	100
staand kantoorwerk	110
laboratoriumwerk	110
zittend licht montagewerk	115
staand licht montagewerk	150
kuieren (0,5 m/s)	110
wandelen (0,8 m/s)	120
lopen (1,2 m/s)	150
gymnastiek	160
tennis	240
squash/basketbal	300

*) geldend voor lichte kleding (0,6 clo)

Tabel 8.7 Convectieve warmteafgifte van verlichting

soort verlichting	W/m ² vloeroppervlakte
werkplekverlichting (TL/PL)	2,5
algemene verlichting 400 à 500 lux	
luchtafvoer via armaturen	5
armaturen zonder luchtafvoer	10
halogeenspots 200 lux	20

Tabel 8.8 Convectieve warmte-afgifte van kantoorapparatuur

apparatuur	W	W/m ² vloeroppervlakte
1 PC/persoon	100	10
1 printer/persoon	100	10
meer apparatuur/persoon	200 - 300	20 - 30

Tabel 8.9

Zonweringsfactor (Z) van luifels ¹⁾

b =====			oriëntatie a/b ---->	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0

			Zuid	0,05	0,10	0,22	0,35	0,40	0,65	0,75	0,82
			Z-O en Z-W ²⁾	0,17	0,28	0,45	0,60	0,70	0,85	0,90	0,92

- ¹⁾ Tabelwaarden komen uit [57] en gelden voor luifel direct boven het raam. Zit de luifel hoger dan moet de verhouding a/b worden gecorrigeerd.
- ²⁾ Bij noordelijker oriëntaties hebben luifels weinig of geen effect omdat de zon op die oriëntaties onder de luifel doorschijnt (Z = 1).

Tabel 8.10 Eigenschappen van zonwering en beglazing

beglazing	zonwering	LTA	ZTA	U
		-	-	W/(m ² .K)
enkel glas	blank	0,9	0,85	6,0
	binnen zonwering		0,55	5,5
	buitenzonwering		0,17	5,0
dubbel glas	blank	0,8	0,7	3,2
	binnen zonwering		0,5	3,0
	buitenzonwering		0,15	3,0
	tussen-zonwering			
	- gesloten spouw		0,3	3,0
	- klimaatraam/-gevel ¹⁾		0,2	1,2
	- tweede-huid façade ²⁾		0,2	2,2
isolatieglas	HR	0,81	0,73	1,8
	HR ⁺	0,80	0,70	1,5
	HR ⁺⁺	0,79	0,67	1,2
zonwerend glas	Cool Lite 172	0,66	0,38	1,3
	Cool Lite 165	0,60	0,30	1,2
	Stopray Safir	0,61	0,32	1,2
	Stopray Silver	0,43	0,25	1,3
	Stopray Emeraldal	0,36	0,20	1,3
	Stopray Goud	0,20	0,13	1,5

¹⁾ spouwventilatie met binnenlucht

²⁾ spouwventilatie met buitenlucht

Tabel 8.11 Convectieve warmte t.g.v. zonnestraling (q_{conv})

oriëntatie	tijdstip ¹⁾ maximum	zonwering	"lichte" bouw	"zware" bouw
			SWM=50 kg/m ² W/m ²	SWM=80 kg/m ² W/m ²
Noord	13	binnen	140	130
		buiten/geen	110	100
N-O	8	binnen	490	460
		buiten/geen	330	240
Oost	9	binnen	680	650
		buiten/geen	470	350
Z-O	10	binnen	650	610
		buiten/geen	450	340
Zuid	13	binnen	560	530
		buiten/geen	400	310
Z-W	16	binnen	650	620
		buiten/geen	460	360
West	16 ²⁾	binnen	650	620
		buiten/geen	440	340
N-W	16 ²⁾	binnen	350	340
		buiten/geen	240	200
Horizontaal	13	binnen	800	760
		buiten/geen	590	480

1) zonnetijd

2) werkelijke tijdstip is later en heeft geen betekenis omdat dit buiten de dagelijkse gebruiksperiode van de ruimte valt

Tabel 8.12 Warmtestroom door zonbelasting van wanden en daken (q_w) *

oriëntatie	massa wand of dak		
	<120 kg/m ²	220 kg/m ²	>300 kg/m ²
Noord	1,5	-0,9	-0,8
N-O	1,7	-1,1	0,1
Oost	7,0	1,1	1,3
Z-O	8,2	1,6	1,6
Zuid	11,2	4,0	1,6
Z-W	14,4	6,8	2,4
West	11,3	4,9	1,9
N-W	6,2	2,4	0,5
Horizontaal	met verlaagd plafond	zonder verlaagd plafond	
staalplaat	5,9	16,4	
beton	-3,9	-0,5	
licht beton	-5,0	-1,6	
isolerend			
dakbeschot	-3,4	-2,2	
licht isolerende			
dakplaat	-3,6	-0,4	

Tabel 8.13 Convectieve warmte (q_{conv}) op verschillende tijdstippen, als deel van het maximum (f_d)

oriëntatie	tijdstip (zonnetijd)				
	8	9	10	13	16
Noord	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9
N-O	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5
Oost	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5
Z-O	0,7	0,9	1,0	0,8	0,6
Zuid	0,3	0,5	0,7	1,0	0,8
Z-W	0,3	0,3	0,4	0,7	1,0
West	0,3	0,3	0,4	0,5	1,0
N-W	0,4	0,4	0,5	0,6	1,0
Hor.	0,5	0,6	0,8	1,0	0,9

Tabel 8.14 Deel van de tijd dat een bepaalde buiten- en binnentemperatuur wordt overschreden bij $\Delta\theta = 3^\circ\text{C}$

θ_e > $^\circ\text{C}$	θ_i > $^\circ\text{C}$	%	uur/jaar
25	28	1,3	117
26	29	0,9	82
27	30	0,6	56
28	31	0,4	35
29	32	0,24	21
30	33	0,14	13
31	34	0,079	7
32	35	0,044	4
33	36	0,016	1,4
34	37	0,006	0,5