

Gezonde investeringen in klimaatinstallaties

Kantoorgebouwen en hun installaties worden ontworpen om de mens veilig, gezond, comfortabel en productief te laten werken. Een belangrijk onderdeel van het bouw- en huisvestingsproces is dan ook het realiseren en handhaven van een goed binnenmilieu als noodzakelijk voorwaarde.

-door ir. E.N. 't Hooft en ir. C.P.G. Roelofsen, CFM**

Voor de beheersing van het binnenklimaat bestaat er een breed scala aan mogelijke installatieconcepten, elk met zijn specifieke eigenschappen en toepassingsgebied. Aangezien het in de praktijk met verschillende installatieconcepten mogelijk is aan de gestelde binnenmilieueisen te voldoen is de juiste keuze niet altijd eenvoudig. Om een verantwoorde afweging te maken in de keuze van de klimaatinstallatie en het comfortniveau is niet alleen inzicht nodig in de directe kosten, zoals investeringen, energiegebruik en onderhoud, maar ook in de indirecte kosten die het gevolg zijn van productiviteitsverlies en ziekteverzuim. Bovendien moet in het kader van de energieprestatienormering rekening worden gehouden met de integrale energiezuinigheid van het gebouw en de installaties.

Dit artikel laat aan de hand van een referentiegebouw zien dat het verantwoord is te investeren in een goed thermisch binnenklimaat door de kosten en baten van verschillende typen klimaatinstallaties, voor verschillende comfortklassen, met elkaar te vergelijken.

REFERENTIEGEBOUW

De kosten en baten van de klimaatinstallatie in relatie tot de kwaliteit van het thermische binnenklimaat worden in beeld gebracht aan de hand van een referentiegebouw (met gesloten gevels) van vijf bouwlagen met in totaal 140 kantoorvertrekken, waarvan de uitgangspunten zijn opgenomen in bijlage 1.

De lange gevels van het gebouw zijn op het noorden en het zuiden georiënteerd.

Voor de bouwvraag dient de energieprestatiecoëfficiënt, bepaald conform NEN 2916 en de bijbehorende praktijkrichtlijn NPR 2917 met rekenprogramma (EPU Versie v2.02), voor een gebouw met een kantoorfunctie, inclusief de gebouwgebonden installaties, niet groter te zijn dan 1,5. De voor de energieprestatieberekening aangehouden uitgangspunten zijn vermeld in bijlage 2. Voor de beschouwde typen klimaatinstallaties wordt aan deze eis voldaan. Daarbij wordt uitgegaan van gelijke uitgangspunten voor het gebouw en de verlichtingsinstallatie. Indien eventueel aanpassingen nodig zijn om aan de vereiste energiezuinigheid te kunnen voldoen, worden deze gerelateerd aan de klimaatinstallatie.

THERMISCH BINNENKLIMAAT

In het referentiegebouw worden de volgende comfortklassen beschouwd:

- Categorie A:
hoog comfort (-0,2 < PMV < +0,2)
(max. 6 % ontevredenen).
- Categorie B:
standaard comfort (-0,5 < PMV < +0,5)
(max. 10 % ontevredenen).
- Categorie C:
minimum comfort (-0,7 < PMV < +0,7)
(max. 15 % ontevredenen).

Aan voornoemde eisen dient gedurende 100 % van de werktijd te worden voldaan.



Ir. E.N. 't Hooft



Ir. C.P.G. Roelofsen

Onder normale kantoorcondities zijn dan voor de zomerperiode gedurende werktijd de volgende maximale binnentemperaturen 1* (afgerond op 0,5 K) toelaatbaar:

- Categorie A:
hoog comfort: $T_{\max} = 24,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Categorie B:
standaard comfort: $T_{\max} = 25,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Categorie C:
minimum comfort: $T_{\max} = 26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

1*De maximale binnentemperaturen zijn gebaseerd op de volgende in Nederland gebruikelijke comfortbepalende parameters:

- kledingweerstand = 0,7 Clo;
- metabolisme = 1,2 Met;
- rel. luchtsnelheid = 0,15 m/s;
- rel. vochtigheid = 50 %;
- T_{lucht} = T_{straling}

* Grontmij | Technical Management te Amersfoort

Thermisch klimaat	Type installatie	Noordgevel				Zuidgevel ²⁾			
		Ventilatie debiet [m ³ /h]	Qkoel lokaal ³⁾ (W)	T _{max} (°C)	Aantal weeg-uren	Ventilatie debiet (m ³ /h)	Qkoel lokaal ³⁾ (W)	T _{max} (°C)	Aantal weeg-uren
Categorie A	1 ⁴⁾	245	-	24,5	0	385	-	24,5	0
	2	110	440	24,5	0	110	900	24,5	0
Categorie B	1 ⁴⁾	195	-	25,5	0	322	-	25,5	10
	2	110	280	25,5	0	110	690	25,5	18
Categorie C	1 ⁴⁾	165	-	26,5	94	270	-	26,5	83
	2	110	180	26,5	122	110	520	26,5	109
RGD-klimaat	1 ⁴⁾	160	-	26,6	149	255	-	26,8	142
	2	110	172	26,6	150	110	485	26,8	149

¹⁾ Gebaseerd op de onderstaande interne warmtebelasting:
- warmte van personen: 8 W/m²;
- geïnstalleerd verlichtingsvermogen: 12 W/m² (met daglichtschakeling);
- warmte van apparatuur: 20 W/m².
²⁾ Voorzien van handbediende binnenzonwering.
³⁾ Betreft lokale koelcapaciteit, exclusief ventilatielucht, bij:
- gemiddelde watertemperatuur van 17 °C;
- ruimtetemperatuur van 25 °C.
⁴⁾ Uitgevoerd als variabel debietsysteem.

Overzicht installatiecapaciteiten¹⁾ van standaard kantoorvertrek.

- TABEL 1-

Voorname klimaatsklassen zijn gestandaardiseerd in NEN-EN-ISO 7730 [1], NPR-CR 1752 [2] en NEN-EN 15251 [3]. Ter vergelijking zijn eveneens berekeningen uitgevoerd voor het RGD-klimaat met maximaal 150 gewogen overschrijdingsuren van PMV ≥ +0,5 (150 weeguren).

Sinds kort is er in Nederland een nieuwe methode (ATG: Adaptieve Grenswaarde Methode) ontwikkeld om het thermische binnenklimaat in kantoorgebouwen te beoordelen. Deze methode, die ook van drie comfortklassen uitgaat, is in deze vergelijking niet beschouwd vanwege de bij gebouwen met gesloten gevels grote discrepantie met de huidige beoordelingsmethode (GTO-methode: 150 weeguren). Hierover is gerapporteerd in [4].

INSTALLATIECONCEPTEN

Het vergelijkende onderzoek is uitgevoerd voor twee verschillende typen klimaatinstallaties, te weten:

- installatietype 1:
Mechanische ventilatie met gekoelde lucht en radiatorenverwarming;
- installatietype 2:
Mechanische ventilatie met lokale verwarming en koeling (bv. klimaatplafond).

Aan de hand van simulatieberekeningen met het VABI-programma VA114 zijn voor een standaard kantoorvertrek van 3,6 x 5,4 x 2,7 m met een gesloten gevel op basis van het referentiejaar 1964 de volgende installatiecapaciteiten bepaald: (zie tabel 1).

Uit de rekenresultaten blijkt dat bij toepassing van installatietype 1 (koeling met ventilatielucht) bij Categorie A het ventilatievoud van het op het zuiden georiënteerde vertrek een zesvoudige luchtwisseling ruimschoots overschrijdt. Aangezien dit geen economische oplossing is met kans op tocht, is dit installatietype geen reële optie in de praktijk en wordt dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Een tweede kanttkening die wordt gemaakt betreft de keuze van het installatietype bij het realiseren van het RGD- en Categorie C -klimaat. Vanwege de gunstiger investeringen zal men in de praktijk eerder kiezen voor koeling door middel van ventilatielucht dan voor een systeem met lokale koeling zoals: koel- of klimaatplafond, inductie-apparaat of fan-coil-unit. Voorname systemen met lokale koeling komen beter tot hun recht bij een thermisch binnenklimaat volgens de categorieën A en B, waar grotere koelvermogens worden gevraagd.

Als referentie wordt uitgegaan van het RGD-klimaat (met PMV-overschrijdingen), waarbij het klimaat in de zomer wordt gerealiseerd door middel van gekoelde ventilatielucht.

JAARKOSTEN KLIMAATINSTALLATIE

Voor het referentiegebouw zijn voor de verschillende comfortklassen en installatietypen bij een conventionele opwekking van warmte (HR-107 ketels) en koude (compressiekoelmachine) het energiegebruik en de energiekosten op jaarbasis als volgt bepaald: (zie tabel 2).

Bij een verwacht jaarlijks gasverbruik van ca. 20.000 m³ en een elektriciteitsverbruik van ca. 250.000 kWh voor het gehele gebouw (incl. verlichting, PC's, liften, kopieermachines, pantry's e.d.) bedragen de kosten voor energie ca. € 40.000,— per jaar. Indien wordt gekozen voor een Categorie A- of Categorie B-klimaat in plaats van het RGD-klimaat nemen de kosten voor energie marginaal toe met maximaal 1,5 %. Een overzicht van de investeringen en jaarlijkse kosten is in tabel 3 opgenomen.

Opmerking:

Het systeem met lokale koeling en verwarming kent in de praktijk verschillende concepten, zoals:

Thermisch klimaat	Type installatie	Energiegebruik			Energiekosten		
		Aardgas ²⁾ m ³ /(m ² .j)	Elektriciteit ³⁾ kW.h/(m ² .j)	Primair MJ/(m ² .j)	Aardgas ⁴⁾ €/m ² .j)	Elektriciteit ⁵⁾ €/m ² .j)	Totaal €/m ² .j)
Categorie A	1	-	-	-	-	-	-
	2	6,0	19,6	392	3,00	2,35	5,35
Categorie B	1	6,3	19,7	403	3,15	2,37	5,52
	2	6,0	19,2	388	3,00	2,30	5,30
Categorie C	1	6,3	19,2	399	3,15	2,30	5,45
	2	-	-	-	-	-	-
RGD-klimaat	1	6,1	19,0	390	3,05	2,28	5,33
	2	-	-	-	-	-	-

¹⁾ Exclusief verlichting.
²⁾ Betreft energiegebruik voor ruimteverwarming.
³⁾ Betreft energiegebruik voor ruimtekoeling en transport (ventilator- en pompenergie).
⁴⁾ Gebaseerd op prijs voor aardgas: € 0,50/m³ (incl. energiebelasting, excl. BTW).
⁵⁾ Gebaseerd op prijs voor elektriciteit: € 0,12/kW.h (incl. energiebelasting, excl. BTW).

Overzicht jaarlijks energiegebruik en -kosten klimaatinstallatie¹⁾ per bruto m² gebouw.

- TABEL 2-

Thermisch klimaat	Type installatie	Investeringen €/m ²	Jaarlijkse kosten			
			Energie €/m ² .j)	Onderhoud ¹⁾ €/m ² .j)	Afschrijving ²⁾ €/m ² .j)	Totaal €/m ² .j)
Categorie A	1	-	-	-	-	-
	2 ³⁾	290	5,35	2,90	28,90	37,15
Categorie B	1	250	5,52	2,50	24,90	32,92
	2 ³⁾	270	5,30	2,70	26,90	34,90
Categorie C	1	215	5,45	2,30	21,42	29,17
	2	-	-	-	-	-
RGD-klimaat	1	210	5,33	2,10	20,92	28,35
	2	-	-	-	-	-

¹⁾ De onderhoudskosten zijn aangenomen op 1 % van de investeringen.
²⁾ Gebaseerd op een afschrijvingsperiode van 15 jaar en 5,5 % rente (annuïteitsfactor = 0,099626).
³⁾ Gebaseerd op het systeem met klimaatplafond (duurste concept met lokale verwarming en koeling).

Overzicht investeringen en jaarlijkse kosten klimaatinstallatie (excl. BTW) per bruto m² gebouw

- TABEL 3-

- basisventilatie met radiatorenverwarming en koelplafond;
 - basisventilatie met verwarming en koeling d.m.v. inductie-apparaten;
 - basisventilatie met verwarming en koeling d.m.v. fan-coil-units;
 - basisventilatie met verwarming en koeling d.m.v. klimaatplafond.
- In de vergelijking is uitgegaan van een klimaatplafond, het systeem met lokale verwarming en koeling met de hoogste investering.

PRODUCTIVITEIT

Uit onderzoeken is bekend dat een goed binnenmilieu effect heeft op de productiviteit en het ziekteverzuim van mensen. Het binnenmilieu omvat het thermische, akoestische en visuele binnenklimaat, en luchtkwaliteit. Als een kantoorgebouw, waarin geen klimaatklachten voorkomen, wordt vergeleken met een gebouw met relatief veel klimaatklachten dan is bij het goede binnenmilieu in het eerstgenoemde gebouw de productiviteit ca.

10 à 15 % hoger en het ziekteverzuim ca. 2,5 % lager dan in het andere gebouw [5].

In dit artikel wordt alleen het effect van het thermische binnenklimaat op de productiviteit beschouwd. Op basis van het in [6] vermelde onderzoek kan de productiviteitsverbetering ten opzichte van het referentie RGD-klimaat met 150 weeguren voor de verschillende situaties worden berekend. De resultaten zijn in tabel 4 weergegeven. In het referentiegebouw werken in to-

Thermisch klimaat	Type installatie	Oriëntatie	Productiviteitsverbetering		
			Gemiddeld [%]	Maximaal [%]	Gemiddelde gebouw [%]
Categorie A	1	N	-	-	-
		Z	-	-	
	2	N	1,1	7,1	0,9
		Z	0,7	6,3	
Categorie B	1	N	0,8	3,8	0,6
		Z	0,5	1,9	
	2	N	0,8	3,7	0,7
		Z	0,6	3,6	
Categorie C	1	N	0,2	0,6	0,2
		Z	0,2	1,0	
	2	N	-	-	-
		Z	-	-	

Overzicht productiviteitsverbetering t.o.v. RGD-klimaat (met PMV-overschrijdingen).

- TABEL 4-

Thermisch klimaat	Type installatie	Meer-investering €/m ²	Productiviteits-verbetering ¹⁾ €/m ² .j	Meerkosten ^{1) 2)} €/m ² .j	Netto opbrengst €/m ² .j	Terugverdiendtijd SPOT ³⁾ j
Categorie A	1	-	-	-	-	-
	2	80,00	51,59	8,80	42,79	1,9
Categorie B	1	40,00	34,39	4,57	29,82	1,3
	2	60,00	40,12	6,55	33,57	1,8
Categorie C	1	5,00	11,46	0,82	10,64	0,5
	2	-	-	-	-	-

¹⁾ Ten opzichte van RGD-klimaat (150 weeguren) en installatietype 1.

²⁾ Betreft jaarlijkse meerkosten voor energie, onderhoud en afschrijving (zie tabel 3).

³⁾ SPOT: simple pay out time, gedefinieerd als: (meer)investering / netto opbrengst.

Overzicht kosten per bruto m² gebouw en eenvoudige terugverdiendtijd (SPOT).

- TABEL 5-

taal 280 personen met een aangenomen gemiddeld jaarinkomen van € 35.000,-. Dit betekent dat, inclusief sociale lasten, pensioenpremie, huisvestingskosten e.d., de totale organisatiekosten ca. € 65.000,- per medewerker bedragen. Daarmee kan de productiviteitsverbetering in geld worden uitgedrukt. Eén procent hogere productiviteit komt dan overeen met een kostenbesparing van ca. € 57,32/m² bruto vloeroppervlakte. De rekenresultaten zijn in tabel 5 samengevat.

CONCLUSIES

Voor het beschouwde referentiekantoorgebouw zijn, uitgaande van het in Nederland gebruikelijke RGD-klimaat met 150 gewogen overschrijdingsuren van PMV ≥ +0,5 (150 weeguren), de meerinvesteringen en de productiviteitsverbeteringen bepaald voor twee verschillende typen klimaatinstallaties (systeem met luchtkoeling en systeem met lokale koeling) bij drie hogere comfortklassen voor het thermische binnenklimaat (Categorieën A, B en C).

Op grond van de rekenresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het vaak toegepaste RGD-klimaat met 150 weeguren is qua productiviteit slechter dan het Categorie C klimaat zonder (PMV-)overschrijdingen.
- Bij klimaatinstallaties die alleen via de ventilatielucht koeling leveren (installatietype 1) worden de meerinvesteringen ten opzichte van de installaties, die nodig zijn voor het

referentie RGD-klimaat, afhankelijk van de comfortklasse, binnen 0,5 à 1,3 jaar terugverdiend.

- Bij installaties met lokale koeling (installatietype 2) ligt de terugverdiendtijd, afhankelijk van de comfortklasse, tussen de 1,8 en 1,9 jaar. Het verschil in terugverdiendtijd is bij dit installatietype kleiner dan bij de installaties met luchtkoeling (installatietype 1).
- De jaarlijkse kosten voor energie nemen slechts marginaal toe (maximaal 1,5 %) als wordt uitgegaan van een hogere comfortklasse.

Opgemerkt wordt dat het op grond van het productiviteitsverlies meer voor de hand ligt de PMV-grenzen bij Categorie A bij -0,5 en 0 te leggen omdat dan geen productiviteitsverlies optreedt [6], dan om uit te gaan van $-0,2 < PMV < +0,2$ zoals op dit moment is weergegeven in NPR-CR 1752 en NEN-EN 15252.

De rekenresultaten laten zien dat het ontwerpen van een klimaatinstallatie op een hogere comfortklasse dan het RGD-klimaat een zodanige productiviteitsverbetering oplevert dat de meerinvestering, afhankelijk van het installatietype en de comfortklasse, in korte tijd (binnen 0,5 à 2 jaar) wordt terugverdiend. Bij installaties met lokale koeling is het verschil in terugverdiendtijd tussen de verschillende comfortklassen zo klein dat het aanbeveling verdient op de hoogste klasse te ontwerpen.

Het is dan ook volkomen verantwoord te investeren in een goed thermisch binnenklimaat door van hogere comforteisen (zonder PMV-overschrijdingen) uit te gaan. 

LITERATUUR

1. NEN-EN-ISO 7730 (Ontwerp 2005): *Klimaatomstandigheden – Analyse bepaling en interpretatie van thermi-*

sche behaaglijkheid door berekeningen van de PMV- en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid.

2. NPR-CR 1752: *Ventilatie van gebouwen – Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden*, januari 1999.
3. NEN-EN-15252 (Ontwerp 2005): *Criteria voor de binnenomstandigheden met inbegrip van thermische, luchtkwaliteit, licht en geluid.*
4. 't Hooft, E.N.: *Nieuwe wegen in thermisch comfort van kantoorgebouwen?* TVVL Magazine, maart 2006.
5. Praktijkboek Gezonde Gebouwen: *Cahier: Binnenmilieu, productiviteit en ziekteverzuim*, september 2002
6. Roelofsen, C.P.G.: *Strategie voor productiviteitsverbetering: Ontwerpen van de werkplek*. TVVL Magazine, januari 2001.

Betreeft	Omschrijving	Hoeveelheid
Algemeen	aantal bouwlagen	5
	afmetingen gebouw	50,4 x 12,6 x 16 m
	totale vloeroppervlakte (bruto)	3.175 m ²
	totale vloeroppervlakte (netto)	2.722 m ²
	gebouwinhoud (bruto)	10.160 m ³
	gebouwinhoud (netto)	7.350 m ³
	A ₀ /V-verhouding ¹⁾	0,32 m ² /m ³
	afmetingen kantoorvertrek	3,6 x 5,4 x 2,7 m
	totaal aantal kantoorvertrekken	140
	oriëntatie gebouw	lange gevels N en Z
	gevels	gesloten
	Hoogte	bouwlaaghoogte
interne vrije hoogte		2,7 m
gebouwhoogte		16,0 m
Gebouwschil	geveloppervlakte	2.016 m ²
	raamoppervlakte	564 m ²
	oppervlakte dak	635 m ²
	oppervlakte BG-vloer	635 m ²
	totale oppervlakte gebouwschil	3.286 m ²
	percentage glas in buitengevel	35 % op N-, en Z-gevel
	¹⁾ A ₀ = totale oppervlakte gebouwschil m ² V = bruto gebouwwolume m ³	

BIJLAGE 1: Afmetingen referentiegebouw

Alg.	Gebruiksfunctie	kantoorgebouw (100 %).
Bouwkundige uitvoering	U-waarden:	
	- Zonwerende HR ⁺⁺ -beglazing	1,1 W/(m ² .K).
	- Beglazing inclusief kozijnen	1,7 W/(m ² .K).
	R _c -waarden:	
	- Begane grond vloer	3,0 m ² .K/W.
	- Gesloten geveldelen	3,0 m ² .K/W.
	- Dak	3,0 m ² .K/W.
	ZTA-waarde glas	0,32.
	LTA-waarde glas	0,60.
	Binnenzonwering	handbediend op Z-gevel (ZTA = 0,24).
	Glaspercentage	35 %, betrokken op buitengeveloppervlak.
	Te openen ramen	met dubbele kierdichting.
	Infiltratie	0,2 dm ³ /(s.m ²).
	Thermische capaciteit:	
- Massa vloeren	400 kg/m ² .	
- Plafond	gesloten.	
Werktuigkundige installaties	Klimaatstelsysteem	mechanische toe- en afvoer met koeling.
	Ventilatievoud	afh. van installatieconcept / oriëntatie.
	Debietregeling ventilatoren:	
	- Installatietype 1	variabel debiet.
	- Installatietype 2	constant debiet.
	Recirculatie	geen (100 % verse buitenlucht)
	Warmterugwinning	warmtewiel met vochtterugwinning.
	Ruimteverwarming	HT-verwarming met radiatoren.
	Bevochtiging ventilatielucht	geen.
	Warmteopwekking	HR-107 ketels.
Elekt. install	Koudeopwekking	compressiekoelmachine.
	Warm tapwater	elektrische boiler, tappunten binnen 3 m.
	Geinstal. verlichtingsvermogen	12 W/m ² (HF-verlichting).
	Schakeling verlichting	daglichtafhankelijk met veegschakeling.

BIJLAGE 2: Uitgangspunten energieprestatieberekening