

# Gebouwgebonden installaties leveren geld op

Rob Daams

**Installaties in gebouwen maken een steeds groter aandeel uit in de totale stichtingskosten van een gebouw, om tegemoet te komen aan de steeds hogere wettelijke eisen en eisen van gebruikers ten aanzien van comfort en gebruiksgemak. Maar wat levert dit nu eigenlijk op? \*)**

Rob Daams,  
Maintenance  
Consultant,  
WorkSphere  
te Eindhoven,  
www.worksphere.nl.

Wanneer men zuiver zou kijken naar de kosten voor realisatie en exploitatie, de LCC (Life Cycle Costs ofwel levensduurkosten), dan blijkt dat deze aanzienlijk stijgen door deze ontwikkelingen.

Het is dan nog te overwegen om deze levensduurkosten zo laag mogelijk te houden, door te zorgen voor een juiste balans tussen investeringskosten en een onderhoudsarm en/of energiezuinig installatieconcept. Dit wordt ook al veelvuldig toegepast bij PPS (Publiek Private Samenwerking) projecten welke momenteel door de overheid worden uitgegeven. Dit levert weliswaar bij slimme toepassingen een terugverdientijd (TVT\* Terugverdientijd op Netto Contante Waarde basis) op, deze TVT ligt veelal echter tussen de 5 en 10 jaar.

Ondernemingen hanteren echter veelal een kortere terugverdientijd voor overweging van hun investeringen, variërend van 0 tot 5 jaar, afhankelijk van marktsegment en marktsituatie.

Dit maakt de genoemde (meer)investeringen momenteel alleen interessant voor bedrijven met een lange horizon, zoals overheid- en semioverheidsbedrijven. Om deze hogere investeringen ook interessant te maken voor ondernemingen, is het dus zaak te komen tot een kortere TVT\*.

## Binnenklimaat en productiviteit

Er zijn diverse onderzoeken gedaan naar de relatie tussen het binnenklimaat en de productiviteit van de aanwezige medewerkers, waaruit blijkt dat een goed binnenklimaat de productiviteit sterk kan verbeteren [1, 3, 4, 5, 6, 7]. De genoemde kortere TVT\* kan mogelijk gemaakt worden door het meenemen van de opbrengsten van een verbeterde productiviteit bij een goed binnenklimaat. Door middel van het zichtbaar maken en verrekenen van deze opbrengsten in een levensduurberekening kan een gunstigere TVT\* worden verkregen, waardoor ook ondernemingen eerder zullen kiezen voor een veelal duurder installatie, welke een beter binnenklimaat oplevert.

Tabel 1.  
Overzicht kostensoorten bij aanschaf en gebruik van een gebouw en de relatie met productiviteit

		m <sup>2</sup> BVO	m <sup>2</sup> BVO	m <sup>2</sup> BVO	m <sup>2</sup> BVO	m <sup>2</sup> BVO
	<b>Gebouw</b>	<b>5.000</b>	<b>10.000</b>	<b>15.000</b>	<b>20.000</b>	<b>25.000</b>
	Aantal personen:	250	500	750	1.000	1.250
	Kosten per persoon:	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
	EUR/m <sup>2</sup> BVO					
<b>Energiekosten</b>	20	100.000	200.000	300.000	400.000	500.000
<b>Exploitatiekosten</b>	200	1.000.000	2.000.000	3.000.000	4.000.000	5.000.000
<b>Personeelskosten</b>	2.000	10.000.000	20.000.000	30.000.000	40.000.000	50.000.000
<b>Omzet</b>	3.500	17.500.000	35.000.000	52.500.000	70.000.000	87.500.000
<b>Winst bij:</b>						
• 1% productiviteitsverhoging	35	175.000	350.000	525.000	700.000	875.000
• 5% productiviteitsverhoging	175	875.000	1.750.000	2.625.000	3.500.000	4.375.000
• 10% productiviteitsverhoging	350	1.750.000	3.500.000	5.250.000	7.000.000	8.750.000
<b>Aandeel afschrijving klimaatinstallaties (in exploitatiekosten)</b>	30	150.000	300.000	450.000	600.000	750.000
<b>Nieuwbouwkosten klimaatinstallaties</b>	300	1.500.000	3.000.000	4.500.000	6.000.000	7.500.000

Seizoen	Warmteweerstand kleding (clo)	Optimale temperatuur [°C]	Temperatuurgrenzen [°C]
Winter	1	22	20 - 24
Zomer	0,5	24,5	23 - 26

Tabel 2.

Richtwaarden voor temperaturen en bijbehorende clo-waarden

Bijgaand overzicht geeft inzicht in de relatie tussen energiekosten, exploitatiekosten, personeelskosten en omzet, ten opzichte van de mogelijke opbrengsten bij een productiviteitsverhoging, zie tabel 1.

Thermisch binnenklimaat ofwel thermische behaaglijkheid kan worden gedefinieerd als: 'Die toestand waarin de mens tevreden is over zijn thermische omgeving en geen voorkeur heeft voor een warmere of koudere omgeving' [2].

De volgende zaken spelen een rol bij het bovenstaande:

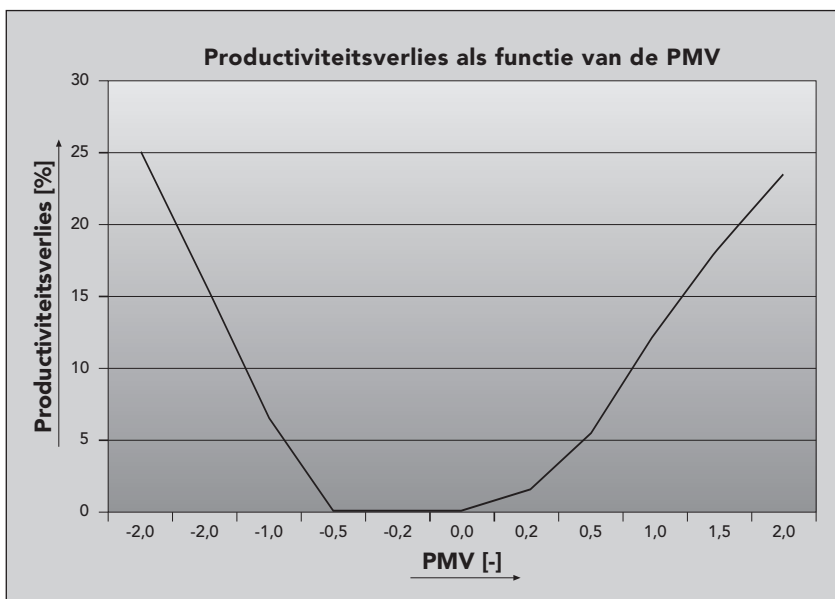
- De luchttemperatuur
- De gemiddelde stralingstemperatuur
- ⇒ Resulterende temperatuur
- De relatieve vochtigheid
- De luchtbeweging
- De activiteit (metabolisme)
- Het seizoen (warmteweerstand kleding)
- Verticale temperatuurgradiënt
- Stralingsasymmetrie
- Maximale vloertemperatuur (vloerverwarming).

De cursieve items worden meegenomen in de PMV (Predicted Mean Vote) berekening [8].

Deze berekeningsmethode is aan het begin van de jaren zeventig ontwikkeld door P. Ole Fanger.

Figuur 1.

Productiviteitsverlies als functie van de PMV



De PMV wordt hierbij berekend door middel van het invoeren van de bovenstaande items in een formule, waarbij de uitkomst iets zegt over de thermische behaaglijkheid van het gehele lichaam.

De overige, niet schuin gedrukte zaken worden genoemd als invloedfactoren, waarbij een PD (Percentage Dissatisfied) kan worden berekend. Men heeft dit gedefinieerd als lokaal discomfort. Vooral de vloertemperatuur heeft hierbij een sterke invloed op het percentage ontevreden.

Richtwaarden voor temperaturen en bijbehorende clo-waarden (warmteweerstand kleding) worden gegeven in tabel 2.

De PMV-berekening is geldig voor een overwegend vaste situatie binnen de gegeven parameters.

Wanneer een aantal parameters buiten bepaalde bandbreedtes komen of fluctueren, is de berekening en de uitkomst hiervan niet meer geldig. Tot voor kort werd er echter verondersteld dat de berekeningen geldig waren voor zowel airconditioned als natuurlijk geventileerde gebouwen, uit diverse onderzoeken blijkt echter dat dit niet het geval is [1].

Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat mensen adaptatiemogelijkheden hebben in de vorm van gedragsmatige en fysiologische adaptatie, waardoor het klimaat in natuurlijk geventileerde gebouwen beter wordt ervaren als voorspeld door het PMV-model. Gedragsmatige adaptatie wil bijvoorbeeld zeggen dat men zichzelf anders gaat kleden wanneer het te warm is, fysiologische adaptatie wil zeggen dat het lichaam zichzelf aanpast aan de verander(en)de thermische omgeving.

Ten aanzien van productiviteit is onderzocht dat het meeste rendement te halen is door het bewerkstelligen van een goed thermisch comfort [9]. Hieruit blijkt dat een productiviteitswinst te behalen is tot 7%. Met behulp van een formule voor het berekenen van het productiviteitsverlies is dit te vertalen naar het PMV-model [7]. In figuur 1 wordt deze relatie grafisch weergegeven.

PMV	Betekenis	PPD
+3	Heet	99
+2	Warm	76
+1	Lichtelijk warm	26
0	Neutraal	5
-1	Lichtelijk koel	26
-2	Koel	76
-3	Koud	99

Tabel 3.

De PPD als functie van de PMV

Tabel 4.  
Prestatieverlies per comfortklasse [7]

Item	Geen PMV overschrijdingen			Minimaal 90% van de werktijd per jaar binnen genoemde PMV grenzen		
	A	B	C	A	B	C
Maximaal prestatieverlies (%)	1,4	5,6	8,2	5,2	9,9	12,7
Gemiddeld prestatieverlies (%)	0,5	1,0	1,8	0,7	2,3	2,8
Standaarddeviatie (%)	0,4	1,0	1,8	0,7	2,3	2,9
Percentage werktijd met prestatieverlies (%)	76,5	27,5	36,2	57,9	44,2	75,0
Productiviteitsverlies per medewerker (uren/jaar)	9,0	6,4	15,2	9,5	23,8	49,1

Hieruit is op te maken dat er geen productiviteitsverlies optreed bij een PMV tussen -0,5 en 0,0 en bij andere waarden voor de PMV wel, tot maximale waarden van circa 25%. Hierbij dient gezegd te worden dat deze waarden zelden voor zullen komen, omdat er ten aanzien van het thermische comfort een aantal categorieën worden aangehouden die deze waarden niet toelaten, te weten:

- Categorie A:  $-0,2 < PMV < 0,2$
- Categorie B:  $-0,5 < PMV < 0,5$
- Categorie C:  $-0,7 < PMV < 0,7$

Wat hierbij opvalt is dat deze categorieën bekeken vanuit het criterium van productiviteit niet ideaal zijn, de categorieën zouden vanuit dit oogpunt in principe beter een PMV-waarde van -0,25 als gemiddelde kunnen hebben.

De PMV-waarde is tevens te vertalen in een PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Dit cijfer geeft dus een directe vertaling van de PMV-waarde naar het percentage ontevreden. De volgende zeven punt schaal wordt gebruikt voor het aangeven van de PMV (met bijbehorende PPD), zie tabel 3

In een rapport van C.P.G. Roelofen [7] wordt het voorgaande toegepast voor een aantal berekeningen voor een standaard kantoorvertrek met bepaalde uitgangspunten voor wat betreft constructie, beglazing, zonwering en dergelijke.

Feitelijk is er een gebouwssimulatieberekening uitgevoerd voor dit standaard vertrek, waarbij naar voren is gekomen wat de dag- of uurgemiddelden voor de PMV zijn, waarmee middels de genoemde formule een vertaling is te maken naar productiviteitsverlies. Dit alles natuurlijk afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten en het aangehouden klimaatjaar.

Tabel 4 geeft de uitkomsten van de voornoemde berekeningen weer.

Verder zijn er nog een aantal afzonderlijke invloedfactoren te definiëren vanuit het praktijkboek gezonde gebouwen [9]. Zie tabel 5 voor de hierbij relevante zaken. Deze waarden kunnen we verwerken in een levensduurkostenberekening voor gebouwgebonden installaties, door gebruik te maken van een variantvergelijk, zie tabel 6.

Wanneer we een en ander in een levensduurkostenberekening verwerken volgt het volgende grafische resultaat, zie figuur 2. Zoals in de figuur te zien is, is de variant vanuit het oogpunt van levensduurkosten ongunstiger in dit geval.

Tabel 5.  
Productiviteitswinst

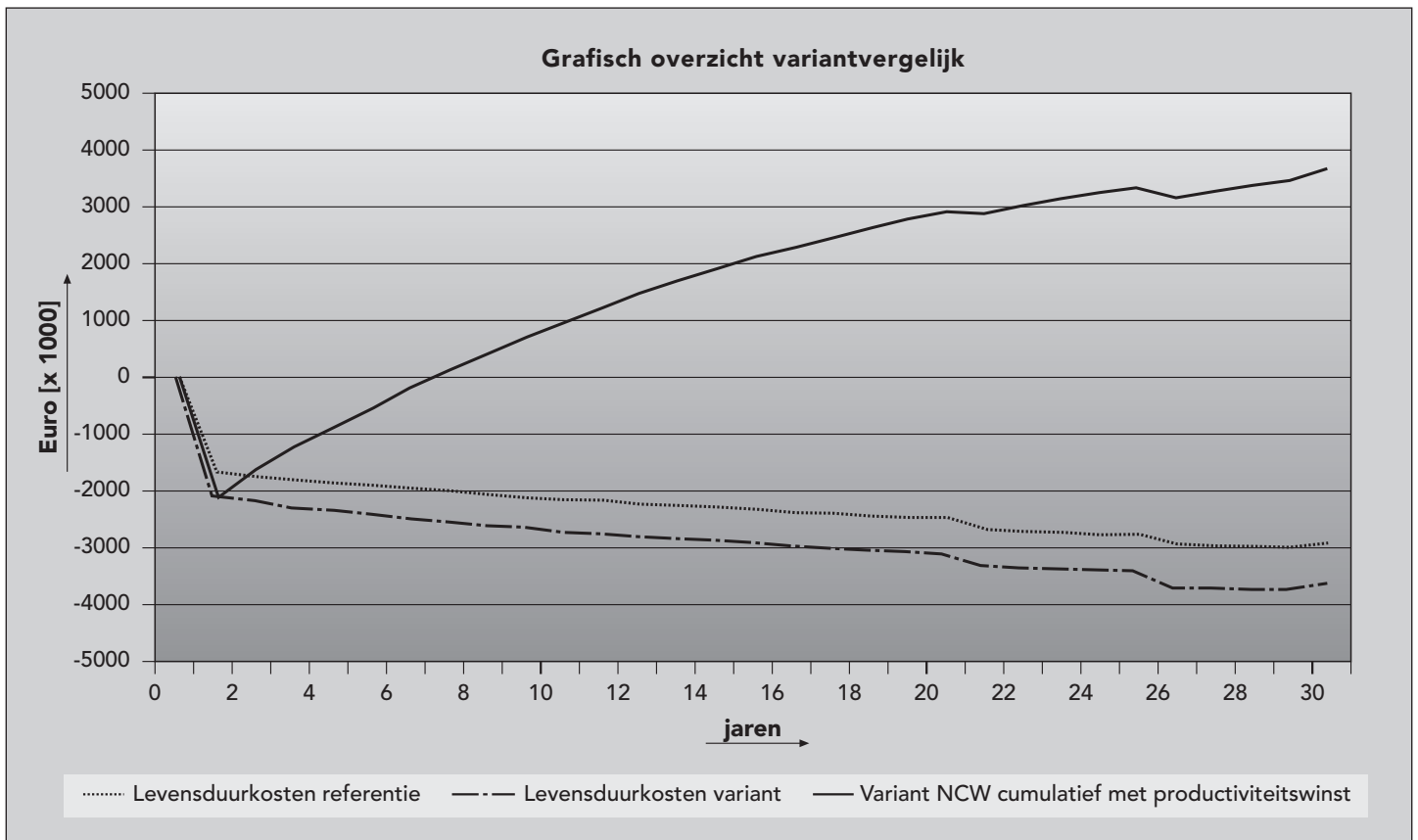
	Productiviteitswinst
Temperatuur regelbaar:	2 - 3%
Kamerkantoor (max. 4 pers.)	2 - 4%

<b>Referentiegebouw (bestaande huisvesting, is afgeschreven)</b>	
Aantal medewerkers in huisvesting	300
Gemiddelde personeelskosten p.p.	€ 40.000,-
Personeelskosten/jaar:	€ 12.000.000,-
Gebouw categorie	C met overschrijdingen
Gemiddeld prestatieverlies (een persoonlijke beïnvloeding)	2,8%
<b>Variant gebouw (nieuwe huisvesting)</b>	
Aantal medewerkers in huisvesting	300
Gemiddelde personeelskosten p.p.	€ 40.000,-
Personeelskosten/jaar	€ 12.000.000,-
Gebouw categorie	A zonder overschrijdingen
Gemiddeld prestatieverlies (wel persoonlijke beïnvloeding)	0,5%
<b>Berekening verschillen en opbrengsten</b>	
Vershil in productiviteit (aan de hand van tabel 3)	2,8% - 0,5% = 2,3%
Additionele productiviteitswinst (door persoonlijke beïnvloeding)	2,5% (tussen 2 - 3%)
Totale productiviteitswinst:	4,8%
Opbrengsten: [0,048 x € 12.000.000,- =]	€ 576.000,-
<b>Investerings</b>	
Nieuwe huisvesting (referentie) (Gebouwcategorie C)	€ 1.654.600,-
Nieuwe huisvesting (Gebouwcategorie A)	€ 2.102.900,-
Meerinvestering (verschil A – C)	€ 448.300,-

Tabel 6.

Variantvergelijk levensduurkosten

Figuur 2.  
Resultaten variantvergelijk levensduurkosten



Dit wordt veroorzaakt door het feit dat zowel de investeringskosten, onderhoudskosten als energiekosten in dit geval ongunstiger zijn om het verhoogde thermische comfort te kunnen bewerkstelligen. Wanneer we echter de productiviteitswinst meenemen, ontstaat het beeld van de gele lijn, waaruit blijkt dat de meerinvestering in circa 2 jaar is terugverdiend en de initiële investering na 7 jaar compleet is terugverdiend. Hierna wordt er zelfs een significante positieve cumulatieve kasstroom gegenereerd.

In de levensduurkostenberekening zijn de volgende kostensoorten meegenomen:

- Nieuwbouw
- Renovatie
- Preventief Onderhoud
- Correctief Onderhoud
- Energie
- Sloop

Verder zijn de bedragen in toekomstige jaren netto contant gemaakt middels een disconteringsvoet van 6%.

Kijkend naar de figuur kan geconcludeerd worden dat gebouwgebonden installaties daadwerkelijk geld opleveren! Een meerinvestering voor een beter thermisch comfort is dus zeker te verdienen.

### Prestatie-indicator gebouwinstallaties

Als laatste kunnen we de verkregen inzichten nog vertalen naar een 'bovenhoud prestatie indicator' [10]. Bovenhoud wil hier zeggen dat men op onderhoudsgebied niet alleen overwegingen en beslissingen maakt op het technisch vlak, maar integraal, dus met betrekking tot bedrijfskundige aspecten en andere disciplines, zoals ICT. Dit alles met het oog op het inzichtelijk maken van de meerwaarde van het onderhoud in economische zin voor bedrijven.

Zie kader 1 voor de genoemde bovenhoud prestatie-indicator. De conditie staat hier voor de installatie-effectiviteit, bestaande uit de parameters  $\eta_{\text{kwaliteit}}$ ,  $\eta_{\text{kwantiteit}}$  en  $\eta_{\text{tijd}}$ . De totale installatie-effectiviteit is:

$$\eta_{\text{kwaliteit}} \times \eta_{\text{kwantiteit}} \times \eta_{\text{tijd}}$$

Wanneer we dit vertalen naar een prestatie-indicator voor gebouwinstallaties ontstaat de formule zoals weergegeven in kader 2. Hiermee hebben we dus een prestatie-indicator van het geleverde klimaatcomfort ten opzichte van de kosten welke met de exploitatie van de installaties zijn gemoeid. De indicator kan dienen als overall stuurmiddel voor bijvoorbeeld een prestatiecontract. Wanneer de kosten voor de exploitatie stijgen of het klimaatcomfort afneemt, zien we dit immers meteen via de prestatie-indicator.

<b>Bovenhoud Q = Conditie / Onderhoudskosten per producteenheid</b>	
$C^*$	$C_{\text{werk}} / C_{\text{basis}}$
$Q = K^*$	$K_{\text{werk}} / K_{\text{norm}}$
$K$	<b>Totale kosten / productiecapaciteit</b>
Waarbij de kostenparameter K bestaat uit de volgende onderdelen:	
$K_{\text{ond}}$	Onderhoudskosten (gerelateerd aan conditie)
$K_{\text{kap}}$	Kapitaalslasten (rente en afschrijvingen)
$K_{\text{eng}}$	Energiekosten
$K_{\text{mil}}$	Milieukosten
$K_{\text{grd}}$	Grondstofkosten

*Kader 1.  
Bovenhoud prestatie-indicator*

<b>Bovenhoud Q = Conditie / Exploitatiekosten per m<sup>2</sup></b>	
$C^*$	$C_{\text{werk}} / C_{\text{basis}}$
$Q = K^*$	$K_{\text{werk}} / K_{\text{norm}}$
$K$	<b>Totale kosten / aantal m<sup>2</sup> BVO</b>
Waarbij:	
C = Conditie vertaald in comfort klasse (A = 3, B = 2, C = 1)	
K = Kosten per m <sup>2</sup> Bruto Vloer Oppervlak, waarin:	
$K_{\text{ond}}$	Onderhoudskosten (gerelateerd aan conditie)
$K_{\text{kap}}$	Kapitaalslasten (rente en afschrijvingen)
$K_{\text{eng}}$	Energiekosten
$K_{\text{mil}}$	Milieukosten

*Kader 2.  
Prestatie-indicator gebouwinstallaties*

## Literatuur

1. Kurvers, S.R., Boerstra, A.C., Raue, A.K., Linden, A.C. van der, Notenboom, A.M.J. *Thermische behaaglijkheid als gebouwprestatie. Literatuuronderzoek naar recente wetenschappelijke ontwikkelingen.* Delft: 11 juni 2002.
2. ISSO/Novem. *Handboek installatietechniek.* TVVL 2000: pp. 131 - 147.
3. Lorsch, Harold G. *The impact of building indoor environment on occupant productivity. Part 1: Recent Studies, Measures, and Costs.* Ahsrae Transactions: 1994.
4. Leaman, Adrian & Bordass, Bill. *Productivity in buildings: the 'killer' variables.* Building Research and Information. 1999.
5. Wyon, D. *The Economic Benefits of a Healthy Indoor Environment.* National Institute of Occupational Health. Copenhagen, Denmark: 1994.
6. Chiu, Mao-Lin. *Office Investment Decision-making and Building Performance.* Dissertation, Department of Architecture, Carnegie Mellon University. Pittsburgh: 1991.
7. Roelofsen, P. 'The impact of office environments on employee performance: the design of a workplace as a strategy for productivity enhancement.' *Journal of Facilities Management*, Vol. 1, no. 3, pp. 247-264.
8. NEN-EN-ISO 7730:2005. *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.*
9. ISSO/SBR. *Praktijkboek gezonde gebouwen.* Cahier A3: binnenmilieu, productiviteit en ziekteverzuim.
10. Zaal, T.M.E. *Onderhoud; een inleiding in de leer van de instandhouding van industriële installaties.* Utrecht: Hogeschool van Utrecht, september 2005: pp. 4.19 - 4.21.

\*) Dit was het onderwerp van de scriptie die Rob Daams schreef voor de Post-HBO opleiding 'Onderhoud & Management' aan de Hogeschool van Utrecht.