

**ANRE-Demonstratieproject:
Eco-Bedrijfsgebouw met doorgedreven energiezuinige
bouwtechnieken en installaties en een windturbine voor de
elektriciteitsproductie
bij Oxfam Wereldwinkels, Gent**

Eindrapport

D. Maes, J. Liekens, N. Robeyn, P. Jannis



Studie uitgevoerd in opdracht van ANRE

Juli 2005

Inhoudstafel

1	INLEIDING	8
2	TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE	9
2.1	Passieve maatregelen	9
2.2	Actieve maatregelen	10
2.2.1	Warmtewisselaars	10
2.2.2	Condenserende luchtverhitters	10
2.2.3	Vrije koeling en nachtelijke ventilatie	11
2.2.4	Zonneboiler	11
2.2.5	Windmolen	12
2.3	Regelstrategie	12
3	METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN	15
3.1	Warmtewisselaars	15
3.2	Grondbuis	16
3.3	Luchtverhitters	16
3.4	Serre	17
3.4.1	Nachtelijke ventilatie	18
3.4.2	Geen retourlucht (klep R dicht) en geen nachtelijke ventilatie	18
3.4.3	Andere gevallen	19
3.5	Nachtelijke ventilatie	19
3.6	Windmolen	20
4	TECHNISCHE EVALUATIE	23
4.1	Thermische energiestromen in het kantoorgebouw	23
4.1.1	Regeling van de verschillende installaties	23
4.1.2	Ruimtetemperaturen	26
4.2	Beoordeling van de aparte onderdelen van de installatie	27
4.2.1	Warmtewinst in de grondbuis en in het luchtkanaal tussen grondbuis en warmtewisselaars	27
4.2.2	Warmtewisselaars	30
4.2.3	Serre	34
4.2.4	Luchtverhitters	39
4.2.5	Nachtelijke ventilatie	42
4.2.6	Samenvatting van de thermische energiestromen	43
4.3	Elektrische energie: de windmolen	48
5	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN REDUCTIE VAN DE CO₂-EMISSIE	50
5.1	Vergelijkingsbasis	50
5.1.1	Thermische energiestromen	50
5.1.2	Windmolen	51
5.2	Resultaten	52
5.3	Vergelijking van het OXFAM-gebouw met standaard kantoorgebouwen	53
5.3.1	Herrekening tot een equivalent verbruik voor een gebouw met 4 open gevels	53
5.3.2	Normalisatie naar de graaddagen	54
5.3.3	Vergelijking met andere kantoorgebouwen	55
6	ECONOMISCHE EVALUATIE	58
7	BESLUIT	60

Samenvatting

Oxfam Wereldwinkels heeft sinds 1999 in Gent een nieuw bedrijfsgebouw in gebruik genomen. Het gebouw bestaat uit een kantoor en een magazijn. Het concept van het gebouw is volledig op duurzame technieken en een zo laag mogelijk energiegebruik gericht. Zo is er extra veel aandacht besteed aan de isolatie en is het ventilatiesysteem geconcepieerd om zonder een koelmachine de warmte in de zomer toch afdoende te kunnen afvoeren. Bovendien is er een windmolen en een zonneboiler geïnstalleerd.

Dit project werd door ANRE gesubsidieerd in het kader van de energiedemonstratieprojecten. Voorwaarde voor het bekomen van de subsidie is dat de installatie gedurende minstens 1 jaar gemonitord en beoordeeld zou worden door een onafhankelijke instelling. VITO is voor deze taak door ANRE aangesteld.

Doelstelling

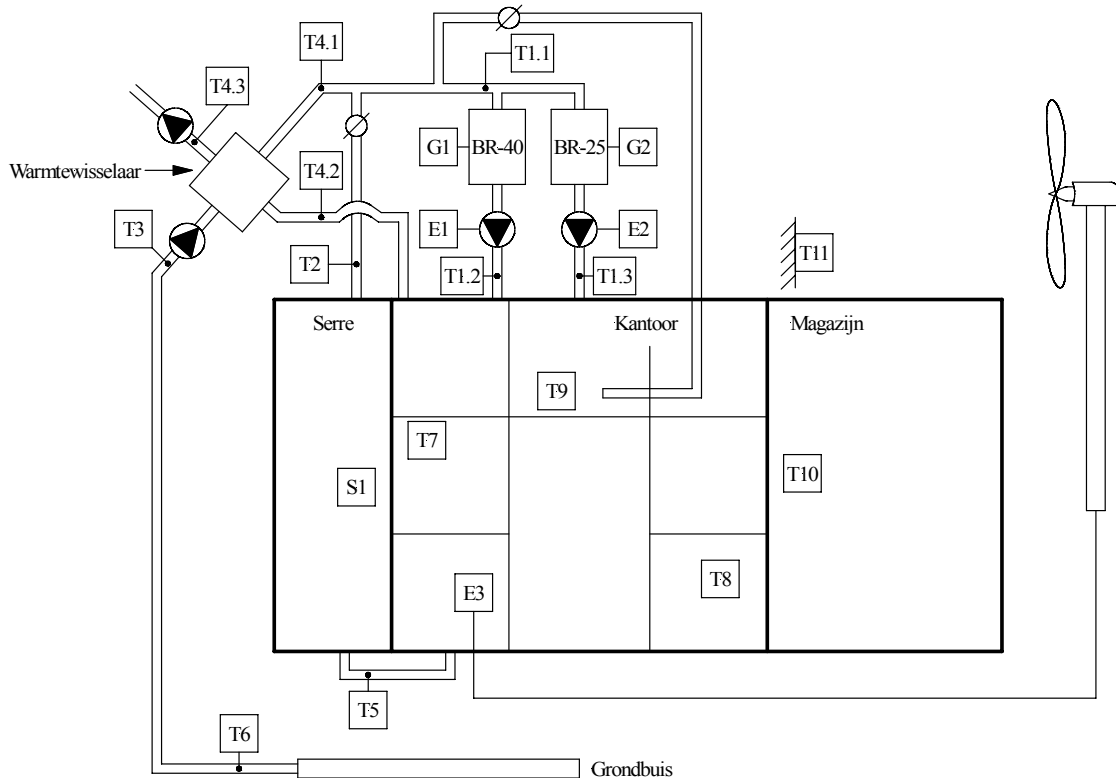
Het doel van het project is na te gaan in hoeverre de verschillende energiezuinige technieken doen wat van hen verwacht wordt en de energiezuinigheid van het Oxfamgebouw te beoordelen. Van het ventilatiesysteem worden alle noodzakelijk temperaturen continu geregistreerd. Bovendien worden de luchtdebieten aan de hand van correlaties met het elektriciteitsverbruik en specificaties van de toestellen bepaald. Daarnaast wordt ook het elektriciteits- en gasverbruik van het kantoor en de productie van de windmolen gemonitord.

Resultaten

Dit rapport beschrijft de resultaten van de opvolging van de energiestromen in het bedrijfsgebouw van Oxfam Wereldwinkels in Gent. In dit gebouw werden metingen verricht vanaf 31 mei 2002 tot 05 februari 2004. Hierbij werden verschillende energiestromen gemeten, zowel gas- en elektriciteitsverbruik als verschillende temperaturen in het gebouw en in verschillende onderdelen van de technische installatie.

Het gebouw is een complex samenspel van verschillende componenten. Er is eerst en vooral een groot aantal passieve maatregelen, zoals de doorgedreven isolatie van alle onderdelen van de gebouwschil en energiezuinige verlichtingen en toestellen. Daarnaast zijn enkele installatieonderdelen van de energievoorziening aan elkaar gekoppeld en beïnvloeden de verschillende componenten elkaar. Het gebouw inclusief de verschillende onderdelen van de energie-installatie is schematisch weergegeven in Figuur 1.

De eerste belangrijke conclusie behelst de windmolen (30 kWe). Deze windmolen werd verondersteld jaarlijks ca. 37.000 kWh elektriciteit te produceren. Wegens problemen met loskomende geluidsisolatie en het foutief functioneren van de netkoppelingsapparatuur heeft de molen echter slechts twee maanden echt gedraaid en is sindsdien op non-actief gezet. In totaal leverde de molen 2.373 kWh elektriciteit gedurende de meetperiode. Tijdens de twee operationele maanden produceerde de windmolen ca. de helft van de elektriciteitsbehoefte van het kantoorgebouw van Oxfam. Voor de rest van de berekeningen wordt de windmolen buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1: Schematisch overzicht van het kantoorgebouw met zijn toegepaste energietechnieken

Het energieverbruik van het Oxfam-kantoorgebouw wordt in de studie vergeleken met twee referentiesituaties. In het eerste geval wordt het verbruik herrekend voor afwezigheid van de actieve technieken zoals de serre, de grondbuis en de warmtewisselaars maar met eenzelfde isolatiegraad. De warmtebehoefte wordt gedekt met een ketel met een jaarrendement van 80% en de koude wordt geleverd met een koelmachine met een koudefactor van 2. In dat geval bedraagt de primaire energiebesparing¹ 141,8 GJ zijnde 27,2%. Dit komt overeen met 8,2 ton CO₂-besparing ofwel 23%.

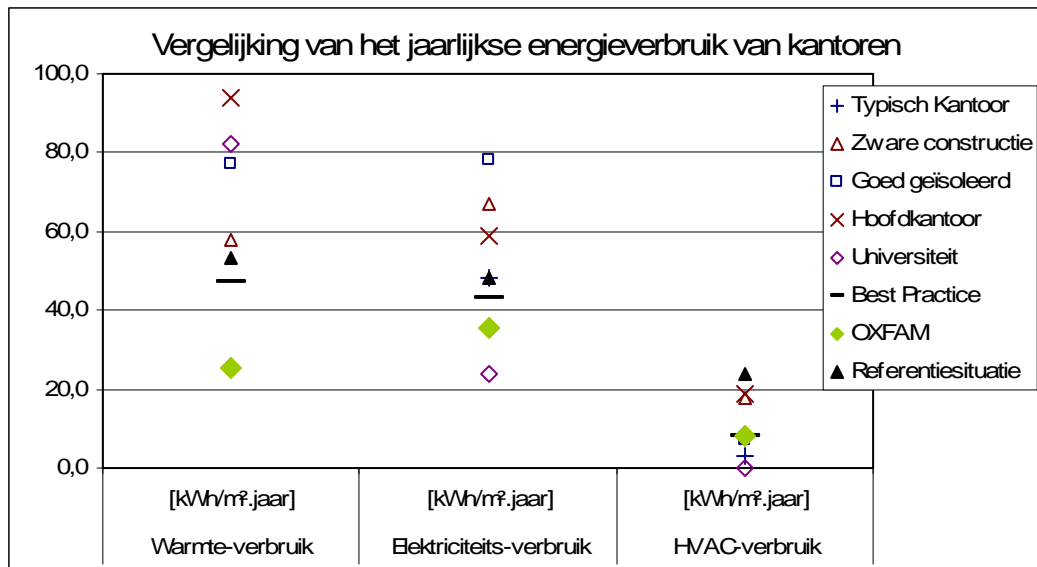
In de tweede referentiesituatie wordt het verbruik van het Oxfamgebouw vergeleken met de standaardcijfers voor een kantoorgebouw. Zodoende wordt ook de extra isolatie in rekening gebracht. De standaardcijfers zijn afgeleid van de Novem-publicatie “Cijfers en tabellen” (medianen genomen) en van de ISSO-publicatie nr. 33 en zijn: 130 kWh/m² j voor verwarming, 60 kWh/m² j totaal elektrisch en 20 kWh/jaar voor de koeling. Vergelijken met deze kencijfers, realiseert het Oxfamkantoorgebouw een primaire energiebesparing van 587,9 GJ_{prim}/jaar zijnde 61%. De CO₂-uitstoot van het Oxfamgebouw ligt 37 ton zijnde 58% lager dan deze referentiesituatie.

Ook in vergelijking met andere energiezuinige kantoorgebouwen presteert Oxfam bijzonder goed (zie Figuur 2²). Op het vlak van de verwarming is het Oxfamgebouw superieur aan de andere kantoorgebouwen uit de vergelijking. Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik is duidelijk vergelijkbaar en zelfs beter dan andere energie-efficiënte kantoorgebouwen. Het ontbreken van een complete HVAC-installatie draagt hier zeker toe bij. Het verbruik voor HVAC is eveneens vergelijkbaar met energie-efficiënte alternatieven. De enige mogelijkheid die in dit opzicht minder energie zou verbruiken, is natuurlijke ventilatie.

¹ Hiervoor wordt het rendement van een elektriciteitscentrale forfaitair vastgesteld op 44%

² CADDET, Energy efficient HVAC Systems in Office Buildings, ISBN 90-72647-20-3; Lennart, 1995

De grote zorg voor de isolatie van het gebouw en de doordachte vormgeving werpen dus hun vruchten af.



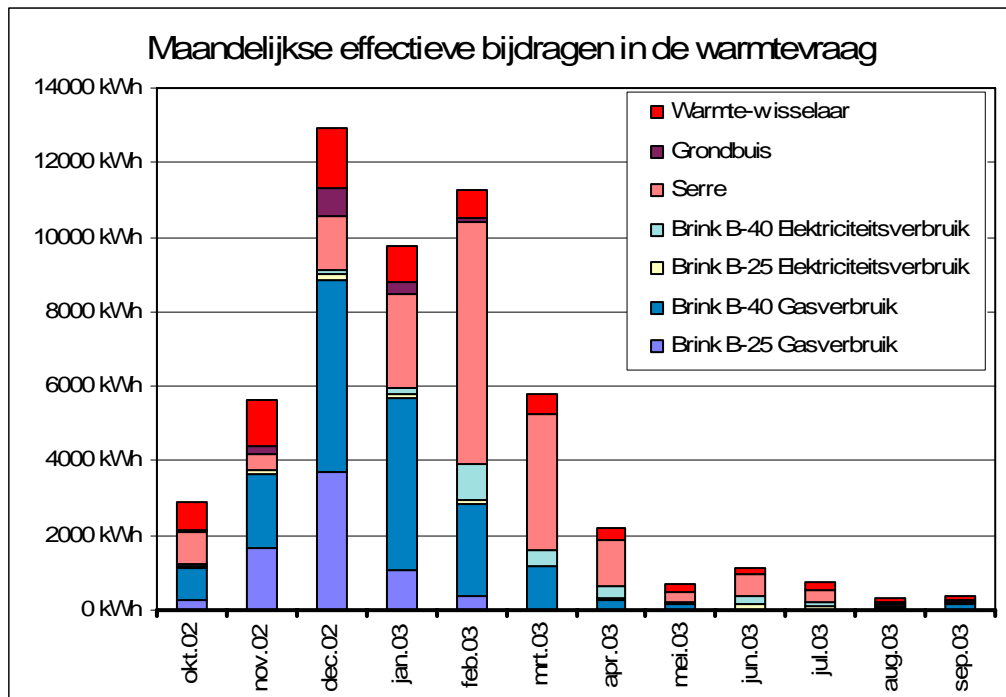
Figuur 2: Vergelijking van het energieverbruik van het Oxfam-gebouw en tussen verschillende kantoren

(Verbruik van Oxfam gecorrigeerd voor graaddagen en de "halfopen bebouwing")

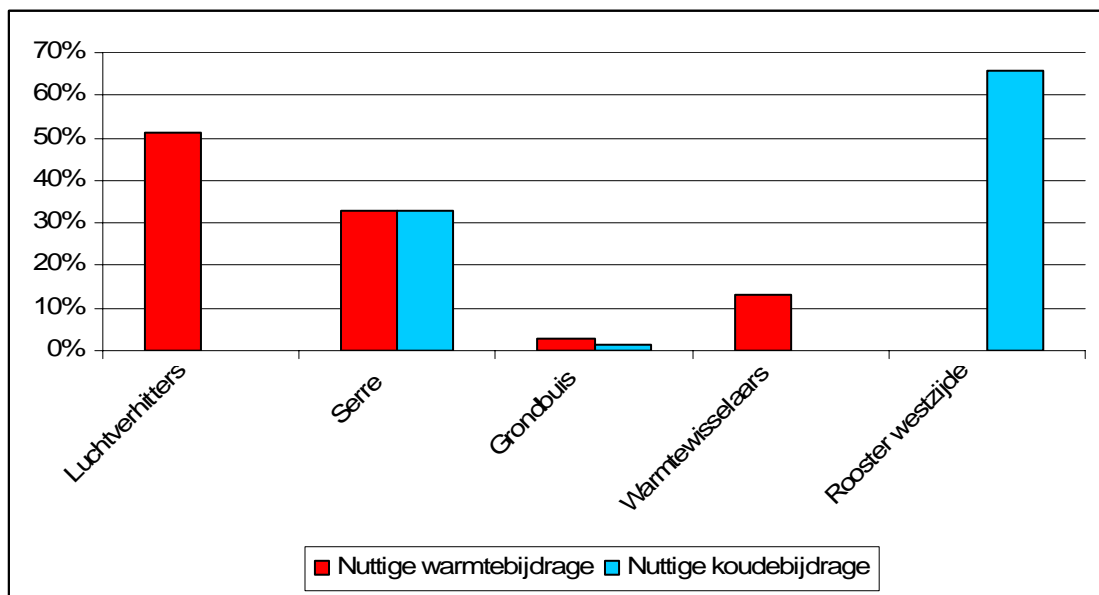
De installatie bij Oxfam heeft het echter moeilijk om het binnenklimaat continu onder controle te houden. Er zijn langere periodes gedurende de wintermaanden waarin de temperatuur niet boven de 20 °C uitstijgt. Tijdens de zomermaanden en een enkele keer tijdens het tussenseizoen, is er dan weer oververhitting.

Dit kan gedeeltelijk verklaard worden door interne tegenwerkingen binnen de technische installaties. Zo blijken de warmtewisselaars op de ventilatielucht altijd ingeschakeld, ook wanneer het gebouw oververhit raakt en in principe zou kunnen koelen met koudere buitenlucht. Ook de grondbuis werkt soms het gewenste effect tegen: als de buis tijdens een warme dag is opgewarmd, zal de buis tijdens de volgende koele nacht de ventilatielucht voorverwarmen hoewel het kantoorgebouw dan volop koeling nodig heeft. Daarnaast is de hoeveelheid verse lucht die door de installatie wordt aangevoerd zelden voldoende. Het is dan ook logisch dat Oxfam besloot om een extra luchtverversingsunit te installeren in het najaar van 2003. Deze unit werkt onafhankelijk van de bestaande installatie en werd ook niet beschouwd in dit rapport.

De hier vernoemde ongemakken kunnen, mits aanpassingen aan de sturing en de installatie, ten minste deels opgelost worden. Ondanks deze ongemakken, is het globaal resultaat voor wat de energieprestatie betreft bijzonder goed. Figuur 3 laat de bijdragen van de verschillende actieve technieken aan de warmtevraag zien. Van maart tot juli hebben de speciale technieken meer bijgedragen aan de warmtevraag dan het gasverbruik van de luchtverhitters. De bijdragen van de verschillende technieken aan de nuttige warmte- en koudeproductie is weergegeven in Figuur 4. In die periode zorgden de luchtverhitters voor 51% van de totale warmtevraag en leverde de serre 33%. Wat de koeling betreft, leveren vooral het rooster in de West-zijde (nachtelijke ventilatie) en de serre het grootste nuttige aandeel.

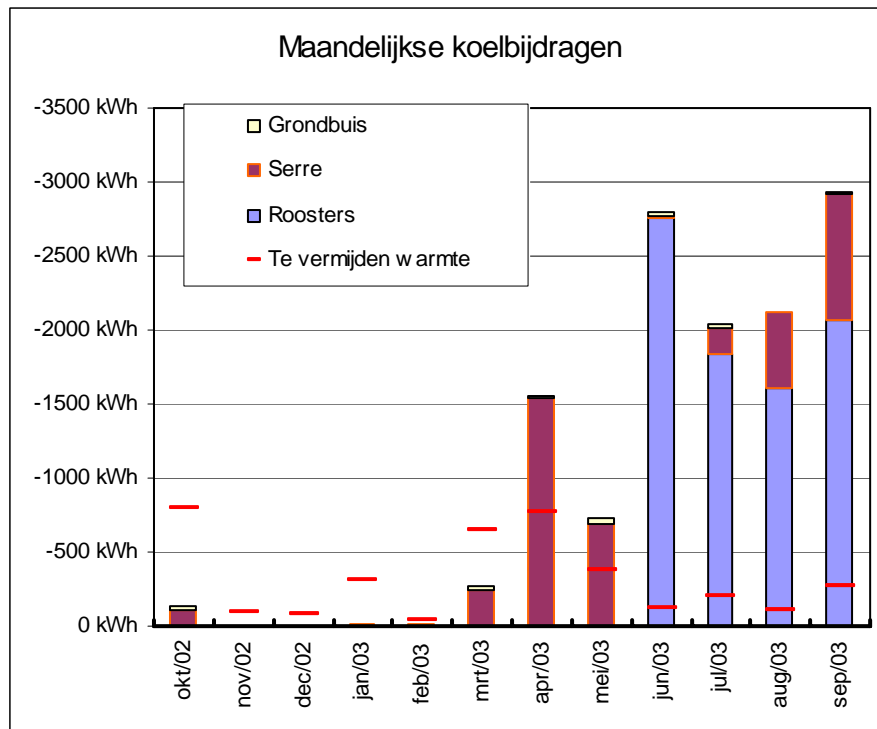


Figuur 3 : Voorstelling van de bijdragen voor de warmtevraag per maand



Figuur 4 : Aandeel van de verschillende technieken in de nuttige warmte- en koudeproductie

De tegenwerking van verschillende technieken, zoals eerder aangehaald, laat zich zien in Figuur 5. Hierin is de maandelijks geleverde koude uitgezet (balken) alsook de extra warmteproductie doordat bijvoorbeeld de warmtewisselaars koele inlaatlucht toch voorverwarmen als het niet nuttig is (rode lijnen). In totaal gaat er 30,2% van de nuttig geleverde koeling verloren aan niet nuttig geleverde warmte.



Figuur 5 : Voorstelling van de maandelijkse koelvermogens

Wat het financiële plaatje betreft, bedroeg de netto totale meerinvestering voor het realiseren van de energiebesparing € 222.708 (vermeden koelgroep in mindering gebracht, windmolen niet meegeteld). De jaarlijkse energiewinst komt op € 2.732. Zonder de subsidie bedraagt de terugverdientermijn 78,2 jaar. Inclusief de subsidie bedraagt deze net geen 50 jaar.

Globale conclusie

Het gebouw van Oxfam slaagt erin om een zeer belangrijke energiebesparing te realiseren van 588 GJ primaire energie gedurende de meetperiode overeenkomstig 61%. De CO₂-besparing bedraagt 37 ton per jaar zijnde 58%. De grote energiebesparing gaat echter deels ten koste van het comfort. Deze besparing alsook het comfort kan nog verhoogd worden wanneer het samenspel van de verschillende technieken beter op elkaar wordt afgestemd. De windmolen heeft om technische redenen nauwelijks gedraaid.

1 INLEIDING

De vzw Oxfam Wereldwinkels en de cvba Oxfam Wereldwinkels Verdeelcentrum zijn de centrale werkmaatschappijen van de brede Vlaamse wereldwinkelbeweging. Deze beweging bestaat uit 201 erkende wereldwinkelwerkingen, waarin bijna 6.000 vrijwilligers op permanente basis werken. Oxfam Wereldwinkels voert producten in vanuit een twintigtal landen in Azië, Afrika en Latijns-Amerika en verkoopt de producten op de Westerse markt. Deze handelsactiviteiten zijn gebaseerd op de principes van “eerlijke handel” (fair trade). De vzw Oxfam Wereldwinkels groepeerde de non-profitactiviteiten waaronder het opsporen en screenen van handelspartners, opvolgen van bestaande handelspartners, sensibilisering van het brede publiek, De cvba Oxfam Wereldwinkels Verdeelcentrum staat in voor de bedrijfsmatige activiteiten zoals de invoer, verwerking en distributie van aangekochte goederen.

Beide maatschappijen waren tot 1999 in de Gentse binnenstad gehuisvest. De toenmalige locatie werd echter te klein voor de groeiende activiteiten. Daarom werd een nieuw bedrijfsgebouw opgericht op een vervallen industrieterrein nabij de Dampoort in Gent. Het nieuwe gebouw omvat kantoorruimten en een magazijn met koelinstallaties, bananenrijperij, Het kantoorgebouw heeft een oppervlakte van 876 m² (kantoren, patio, keuken, ...) plus 300 m² (zolder, berging, technische ruimte, ...) in een beschermd volume van 4.942 m³. Het magazijn heeft een oppervlakte van 1.362 m² in een beschermd volume van 12.891 m³.

Het gebouw werd opgetrokken met het oog op een zo laag mogelijk energiegebruik en het gebruik van duurzame, ecologisch verantwoorde materialen:

- doorgedreven isolatie en compacte opbouw (kantoorgebouw K26, magazijn K31);
- mechanische ventilatie van het kantoorgebouw met o.a. een grondbuis, warmterecuperatie, serre voor luchtvoorverwarming, condenserende luchtverhitters, nachtelijke ventilatie tijdens de zomer;
- zonneboiler voor de voorverwarming van sanitair warm water;
- een windmolen van 30 kW_{el} die een deel van de elektriciteitsvraag van het gebouw dekt. Verwachte productie van 37.000 kWh/jaar. De windmolen is sinds 26 april 2002 operationeel.

Een deel van de investeringen qua innovatieve, energiezuinige technieken in het nieuwe kantoorgebouw, werden in het kader van de ANRE-demonstratieprojecten gesubsidieerd (KB van 10/2/1983).

VITO voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van het demonstratieproject uit. Gedurende een meetperiode van 1 jaar worden de relevante temperaturen en energiestromen op kwartierbasis geregistreerd. Aan de hand van deze metingen werd nagegaan of alle systemen werken zoals verwacht en of de beloofde energiebesparing gerealiseerd wordt.

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 een technische beschrijving van de installatie gegeven. In het derde hoofdstuk wordt de meetprocedure en de energieregistratie weergegeven en in hoofdstuk 4 worden de meetgegevens geanalyseerd. In hoofdstuk 5 worden de primaire energiebesparing en de CO₂-emissiereductie bepaald. Hoofdstuk 6 bepaalt de economische resultaten. Het laatste hoofdstuk bevat tenslotte de besluiten van de eerste meetperiode.

2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

Het volledige concept van het gebouw is met het oog op een minimaal energiegebruik bepaald. Er zijn zowel passieve als actieve maatregelen ter reductie van het energiegebruik voorzien. De ontwerper verwacht een jaarlijks specifiek energiegebruik van de verwarming van 40 kWh/m² kantooroppervlakte. Een gemiddeld Vlaams kantoor vergt 128 kWh/m² verwarming (Vliet-bisstudie “Kantoor 2000”).

Aangezien de subsidie enkel verleend werd voor de energiezuinige technieken van het kantoorgedeelte, handelt het vervolg van de tekst enkel over dit gebouwdeel.

De architecten van het gebouw zijn Luc Eeckhout, Jan Van Den Broeke en Luc Reuse. De architecten bepaalden in samenspraak met Thermad-Brink het energieconcept van het gebouw. Hoofdaannemer was De Coene Construct uit Kortrijk.

2.1 Passieve maatregelen

Dit zijn maatregelen die louter door aanwezig of toegepast te zijn de energierekening drukken. Bij Oxfam zijn volgende passieve maatregelen toegepast:

- Het gebouw werd zo compact mogelijk ontworpen. Dit betekent dat een zo groot mogelijk inwendig volume met een zo klein mogelijk uitwendig (warmteverlies-) oppervlak gerealiseerd wordt. Insnijdingen of uitsprongen moeten hiervoor zoveel mogelijk vermeden worden. De verhouding tussen het beschermd gebouwvolume en het ommantelend oppervlak is de compactheidsgraad welke zo hoog mogelijk moet zijn. Voor het kantoor bedraagt deze verhouding 2,28 m. Het globale gebouw (kantoor en magazijn) heeft een compactheidsgraad van 2,73 m.
- Aan de isolatie werd extra aandacht besteed. Het dak van het kantoor is bijvoorbeeld van 19 cm celluloseplaat voorzien. De spouwmuren zijn opgetrokken in superisolerende snelbouw (Juwo Poroton), aangevuld met celluloseplaat van 12 cm als isolatie en 18mm celit 3D wandplaat. Alle beglazing van het kantoor bestaat uit superisolerend glas met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 1,1 W/m²K (standaard dubbel glas ca. 3 W/m²K). Door al deze maatregelen bedraagt de gemiddelde warmtedoorgangcoëfficiënt van het kantoorgebouw 0,377 W/m²K. Samen met de compactheid levert dit een K-peil van K26 op. Ter vergelijking: in Vlaanderen legt de isolatienorm een K-peil van 55 op aan nieuwbouwwoningen (voor kantoren is er momenteel geen norm). Des te lager het K-peil, des te beter de isolatiegraad.
- Het volledige gebouw is zodanig ingedeeld dat de koele ruimtes zo noordelijk mogelijk liggen terwijl het kantoorgebouw zich aan de zuidzijde bevindt. Tussen de warme (kantoor) en koude (koelcellen) zones is een bufferruimte (opslag) voorzien.
- Aan de zuidgevel is een serre geplaatst. Deze serre moet in het tussenseizoen warmte van de zon capteren en via het ventilatiesysteem doorgeven aan de kantoren. Wanneer er eerder koeling nodig is, dan worden verluchttingsramen bovenaan de serre geopend om oververhitting te vermijden. Volgens de ontwerper zou de serre op jaarbasis ca. 126 GJ (34.919 kWh) warmte moeten kunnen opleveren, zijnde 56% van de totale warmtebehoefte van het gebouw.
- Om het zomerklimaat te beheersen werden de ramen oordeelkundig ingeplant. De zuid-georiënteerde ramen zijn van een automatische buitenzonwering voorzien.
- Verse ventilatielucht passeert tijdens de winter en het tussenseizoen integraal langs een grondbuis. Omwille van een relatief constante grondtemperatuur gedurende het jaar van 5...15 °C, zal de ventilatielucht in de winter wat voorverwarmd en tijdens de warme periodes voorgekoeld worden. Tijdens de zomer verwacht de ontwerper

een temperatuursdaling van de ventilatielucht met 5 tot 10 °C ten opzichte van de buitentemperatuur.

Met uitzondering van de opbrengst van de serre, is het onmogelijk om de individuele invloed van de passieve technieken op het energiegebruik na te meten. De totale invloed komt natuurlijk wel in het totaal energiegebruik voor de verwarming van het gebouw naar voor.

2.2 Actieve maatregelen

Hieronder worden alle maatregelen verstaan die energie moeten gebruiken om hun invloed te kunnen laten gelden. Bij Oxfam Wereldwinkels werden volgende actieve maatregelen geïmplementeerd:

- warmterecuperatie op de ventilatielucht;
- condenserende luchtverhitters;
- nachtelijke ventilatie;
- zonneboiler;
- windmolen.

2.2.1 Warmtewisselaars

Drie warmtewisselaars (Brink Renovent met maximum debiet van 225 m³/h per stuk) recupereren de warmte van de extractielucht en dragen deze over op de verse pulsuelucht. De warmtewisselaars zijn in het circuit van de “hygiënische ventilatie¹” opgenomen en volgen op de grondbuis (zie ook Figuur 6 op pagina 14). In principe voeren de warmtewisselaars evenveel verse lucht toe als ze afzuigen. De warmtewisselaar heeft volgens de constructeur een recuperatierendement tot 95%.

Elke warmtewisselaar kan op drie verschillende standen werken: laag (100 m³/h), midden (150 m³/h) en hoog (225 m³/h). Bij Oxfam worden de warmtewisselaars via een weekprogramma aan/uit geschakeld. De keuzeschakelaar van de warmtewisselaars staan steeds op de hoogste stand (225 m³/h in aan-stand, 0 m³/h in uit-stand). In de warme periode (ca. mei tot september) worden de weekprogramma's uitgeschakeld zodat de warmtewisselaars continu op de hoogste stand werken. Buiten deze periode wordt volgend weekschema ingesteld:

- Wisselaar aan serrekant: aan tussen 09:00 en 17:30, 7 dagen op 7
- Wisselaar in het midden: aan tussen 09:00 en 18:00 (ma tot vr) en 09:00 tot 17:00 (za en zo)
- Wisselaar aan de patiozijde: idem als warmtewisselaar in het midden.

2.2.2 Condenserende luchtverhitters

Indien alle passieve technieken (serre, extra isolatie, grondbuis, ...) en de warmtewisselaars er niet in slagen om de warmtevraag van het kantoor te dekken, verwarmen twee condenserende luchtverhitters de lucht. Tijdens deze periode wordt de lucht in het gebouw aan een verhoogd debiet gerecirculeerd.

¹ Extractie uit sanitaire vertrekken en de keuken

Voor de benedenverdieping staat een Brink Allure B-40 HR met volgende kenmerken:

Netto capaciteit	modulerend van 9,5 tot 39,5 kW _{th}
Maximale belasting	42,40 kW
Luchtdebiet	modulerend van 180 tot 3.580 m ³ /h Elektronische toerentalregeling van de ventilatoren
Thermisch rendement	102% (vollast) tot 109% (vanaf 60% deellast)

Tabel 1 : Kenmerken Brink Allure B-40 HR

De bovenverdieping wordt verwarmd door een Brink Allure B-25 HR:

Netto capaciteit	modulerend van 6 tot 25 kW _{th}
Maximale belasting	26,80 kW
Luchtdebiet	modulerend van 110 tot 2.240 m ³ /h Elektronische toerentalregeling van de ventilatoren
Thermisch rendement	102% (vollast) tot 109% (vanaf 60% deellast)

Tabel 2 : Kenmerken Brink Allure B-25 HR

De ventilatoren van deze luchtverhitters werken ook als de hoofdventilatoren van het globale ventilatiesysteem. Dit betekent dat buiten het stookseizoen en wanneer er met buitenlucht gekoeld kan worden, de ventilatoren van beide toestellen op volle capaciteit draaien. Hetzelfde gebeurt tijdens nachtelijke ventilatie. Tijdens het stookseizoen draaien de ventilatoren volgens de thermische belastingsgraad van de ketels. Wanneer er buiten het stookseizoen geen vrije koeling nodig of mogelijk is draaien de ventilatoren op minimale capaciteit. Dit alles wordt vanuit een centrale PLC gestuurd.

2.2.3 Vrije koeling en nachtelijke ventilatie

Wanneer er buiten het stookseizoen koudevraag is in het kantoor en de buitenlucht is voldoende koel om deze vraag in te vullen, dan worden de ramen in de serre geopend en wordt de interne luchtrecirculatie uitgeschakeld. De ventilatoren van de luchtverwarmers draaien op volle capaciteit terwijl de gastoevoer uitgeschakeld is.

Wanneer het ook 's nachts aangewezen is om het gebouw verder te koelen, dan gaat tevens een ventilatierooster aan de westzijde van het gebouw open en wordt er een extra dakventilator ingeschakeld. Op die manier wordt koudere nachtelijke lucht massaal door het gebouw gestuurd. De koude wordt in de thermische massa van het gebouw opgeslagen. De centrale PLC controleert al deze functies.

2.2.4 Zonneboiler

Het sanitair warm water wordt door een zonneboiler type FOCO HEATPIPE voorverwarmd. Het collectoroppervlak bedraagt 2 m².

Het is een volgens het zwaartekracht-principe werkend Solar warmwatersysteem. De collector en het opslagvat (110 l) zijn één geheel (compact-boiler). Er is geen pomp en ook geen besturing nodig. De zonneboiler bestaat uit een zonnecollector met solarglasafdekking, de absorber met daarachter de roestvrijstalen boiler, voorzien van isolatie en een UV-bestendige PVC-omkasting.

De vloeistof in het absorber-warmtewisselaar-circuit is geen water-glycol mengsel maar alcohol. Bij de minste verwarming van de alcohol gaat de alcohol verdampen, stijgt in de heatpipes (vacuüm buizen) omhoog en komt zo op natuurlijke wijze door de

warmtewisselaar. In de warmtewisselaar wordt de alcohol door de warmteafgifte weer vloeibaar, zakt naar beneden en de cyclus begint weer van voren af aan. Door gebruik te maken van alcohol is het toestel vorstbestendig tot $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ en heeft een automatische stilstandtemperatuur van ca. $+78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De ontwerper verwacht dat de zonneboiler een gemiddelde jaaropbrengst van 2,56 GJ ($710\text{ kWh}_{\text{th}}$) heeft. Aan een gasprijs van ca. € 2,48 per kWh betekent dit een jaarlijkse opbrengst van minder dan € 25. Omwille van deze kleine opbrengst wordt de opbrengst van de zonneboiler niet nagemeten in dit project.

2.2.5 Windmolen

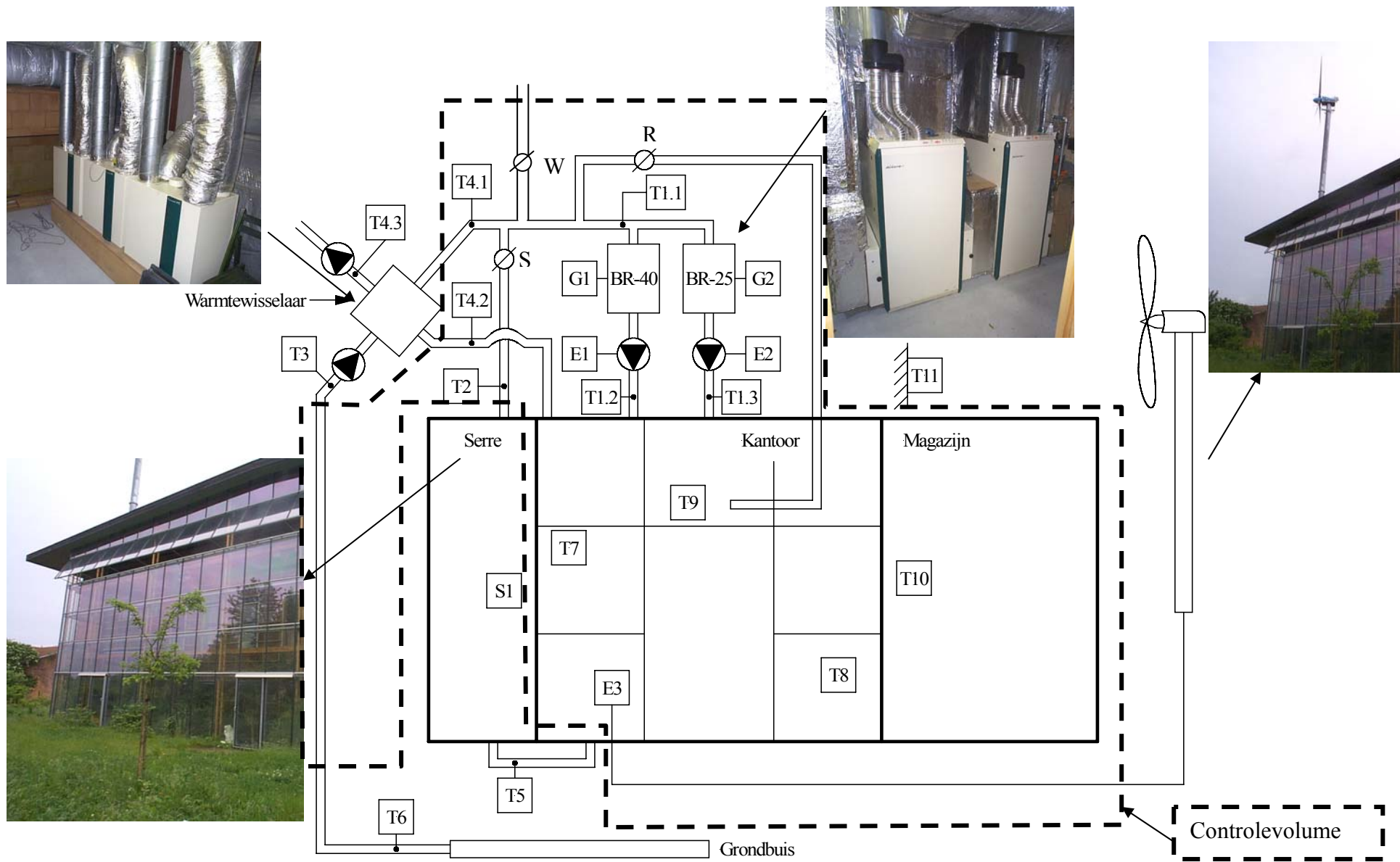
Een windmolen type HE-1000 van het Nederlandse H-Energiesystemen b.v. van 30 kW_{el} met een rotordiameter van 10,75 m en een ashoogte van 30 m dekt een deel van de elektriciteitsvraag van het gebouw. De verwachte elektriciteitsproductie bedraagt 37.000 kWh/jaar . Dit komt overeen met een benutting van 1.233 h/j ofwel 14%.

De molen heeft lange tijd niet gefunctioneerd. Na een onderzoek bleek de geluidsisolatie van de gondel losgekomen te zijn. Deze isolatie blokkeerde de spil van de molen. Dit euvel is in april 2002 hersteld.

2.3 Regelstrategie

De centrale PLC gebruikt de regelstrategie voor de aansturing van de kleppen in de ventilatiekanalen en van de luchtverhitters zoals weergegeven in Tabel 3. Voor de berekeningen werd dit vertaald naar onderstaande structuur:

- Klep S (zie Figuur 6) van de aanzuiging via de serre:
 - (ALS er warmtevraag is EN de temperatuur bovenin de serre is hoger dan de binnentemperatuur)
 - OF
 - (ALS er koelbehoefte is EN de temperatuur bovenin de serre is lager dan de binnentemperatuur)
 - DAN open;
 - ANDERS dicht.
- Klep R van de recirculatielucht:
 - ALS klep S dicht is EN klep W aan de westgevel is dicht
 - DAN open;
 - ANDERS dicht.
- Klep aan de westzijde van het gebouw (enkel 's nachts in de zomer):
 - ALS er koelvraag is EN de buitentemperatuur is lager dan de binnentemperatuur
 - DAN open;
 - ANDERS dicht.
- Ramen bovenin de serre:
 - ALS er koelvraag is DAN open;
 - ANDERS dicht.
- Ventilatoren van de Brink Allure luchtverhitters:
 - ALS er koelvraag is EN buitentemperatuur lager dan binnentemperatuur OF temperatuur serre bovenaan lager dan binnentemperatuur
 - DAN vollast
 - ANDERS ALS er warmtevraag is
 - DAN ventilatiecapaciteit een stookregime in verhouding tot warmtevraag
 - ANDERS op minimaal debiet.



Figuur 6: Schematische opstelling van de installatie met benodigde energiemeters

3 METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN

In Figuur 6 is aangeduid welke meters op welke plaatsen gemonteerd zijn. Tabel 4 verklaart wat er gemeten wordt en op welke manier.

De opzet is om de energiestromen in het ventilatiecircuit te determineren. Aangezien het continu meten van luchtdebieten zeer moeilijk is (vervuiling van de meetsondes, variërend snelheidsprofiel in de kanalen, onvoldoende rechte leidingen aanwezig, ...), worden er indirecte methodes toegepast voor het bepalen van de energiestromen.

3.1 Warmtewisselaars

Hiervoor wordt het debiet zoals aangegeven in de specificaties van de warmtewisselaars verondersteld, zijnde 100 m³/h in de laagste stand, 150 m³/h in de middenstand en 225 m³/h in de hoogste stand. Normaal staan de warmtewisselaars steeds op de hoogste stand ingesteld en worden ze via weekprogramma's aan of uitgeschakeld. Oxfam noteert telkens wanneer er een wijziging in de weekprogramma's of in de instelling van de warmtewisselaars plaats vindt welke wijzigingen er werden uitgevoerd. Vito controleert maandelijks de neergeschreven instellingen aan de werkelijke instellingen.

Aangezien de verse inlaatlucht van alle drie de warmtewisselaars tezamen door de grondbuis gaat, is het luchtdebiet door de grondbuis de som van de debieten door de warmtewisselaars.

De temperatuur van de verse lucht die naar de warmtewisselaars stroomt, wordt eenmaal gemeten in het stooklokaal (sensor T3).

Bij één warmtewisselaar (patiozijde) worden tevens de temperaturen van de verse lucht net na de warmtewisselaar alsook de temperaturen van de extractielucht vóór en na de warmtewisselaar gemeten. Er wordt verondersteld dat deze temperaturen bij de andere warmtewisselaars dezelfde zijn.

Door één warmtewisselaar qua temperatuur volledig te bemeten, kan het temperatuurrendement van de warmtewisselaar bepaald worden met volgende formule:

$$\eta_{ww} = \frac{T_{4.1} - T_3}{T_{4.2} - T_3}$$

De gerecupereerde warmte van de drie warmtewisselaars wordt gegevens door de formule:

$$Q_{ww} = m_{ww} \cdot c_p \cdot (T_{4.1} - T_3)$$

met: c_p de soortelijke warmte van lucht (1,006 kJ/kg K)

m_{ww} het massadebiet door de warmtewisselaars:

$$m_{ww} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{287 \cdot (273 + T_3)} \sum_{i=1}^3 V_i$$

Hierin is V_i het volumedebiet van warmtewisselaar (i) [m³/s] en stelt de eerste breuk de dichtheid van de lucht voor. Voor de luchtdichtheid wordt verondersteld dat de druk overal in de kanalen 1,013 bar bedraagt. Afwijkingen van deze druk zijn beperkt (enkele honderden Pa, grootteorde enkele procenten op de totale druk).

De netto-warmte die de warmtewisselaar aan het gebouw levert, volgt uit de controlevolumevergelijking, gebaseerd op het controlevolume zoals aangegeven in Figuur 6:

$$Q_{ww,CV} = m_{ww} c_p (T_{4.1} - T_{4.2})$$

3.2 Grondbuis

Aangezien alle verse lucht die naar de warmtewisselaars door de grondbuis moet passeren, is het luchtmassadebiet door de grondbuis gelijk aan de som van de massadebieten door de warmtewisselaars. De ingangstemperatuur van de grondbuis wordt gelijk gesteld aan de buitentemperatuur welke met sonde T11 gemeten wordt. Deze sonde hangt volledig in de schaduw onder het afdak aan de inkom. De uitgangstemperatuur wordt vlak na de grondbuis gemeten (T6).

De warmtewinst door de grondbuis wordt bepaald met de formule

$$Q_{gb} = m_{gb} \cdot c_p \cdot (T6 - T11)$$

met: $m_{gb} = m_{ww}$

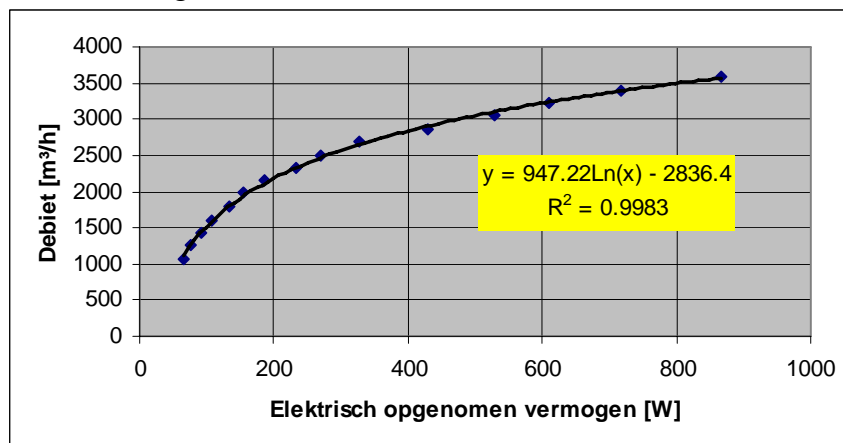
De temperatuurwinst ΔT_{gb} is niets anders dan de temperatuurverhoging die de passerende ventilatielucht door de grondbuis heeft gekregen:

$$\Delta T_{gb} = T6 - T11$$

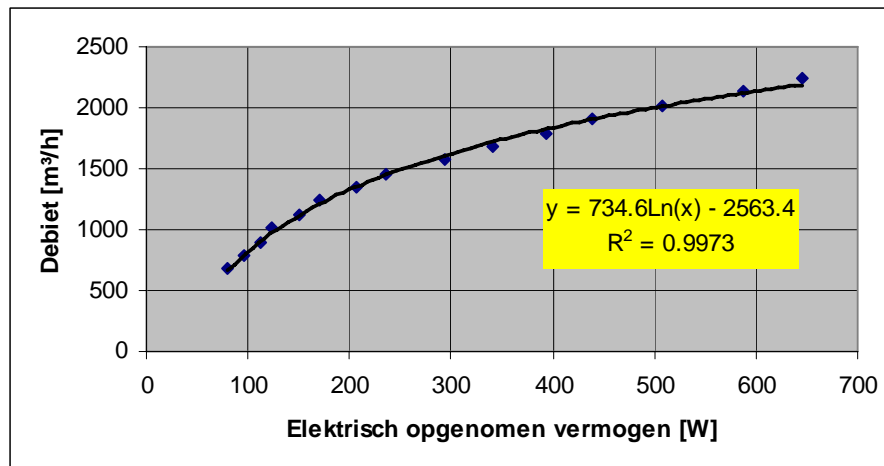
3.3 Luchtverhitters

De ventilatoren van de luchtverhitters werken modulerend. Om de modulatiegraad te registreren, werd een meting uitgevoerd waarbij de modulatie handmatig werd ingesteld terwijl het elektriciteitsverbruik van de luchtverhitters gemeten werd. In de technische documentatie van de luchtverhitters is een tabel opgenomen waarin de modulatiegraad gekoppeld is aan een luchtdebiet. Zo kunnen we uiteindelijk het luchtdebiet koppelen aan het elektriciteitsverbruik van de luchtverhitters (ventilator is verreweg de grootste elektriciteitsverbruiker van de luchtverhitters).

Volgende correlatie werd gevonden:



Figuur 7: Correlatie elektriciteitsverbruik/luchtdebiet B-40 HR



Figuur 8: Correlatie elektriciteitsverbruik/luchtdebiet B-25 HR

Het elektriciteitsverbruik van beide toestellen wordt continu gelogd.

Wat de verwarming betreft, hebben beide toestellen een eigen gasmeter. Ook deze wordt continu gelogd. De luchttemperaturen net voor en net na de luchtverhitters worden tevens continu geregistreerd. Zo kan het rendement van de toestellen berekend worden:

$$\eta_{B40HR} = \frac{m_{B40HR} \cdot c_p \cdot (T_{1.2} - T_{1.1})}{m_{g,B40HR} \cdot S_{gas}}$$

met m_{B40HR} het luchtmassadebiet door de B 40-HR:

$$m_{B40HR} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{287 \cdot (273 + T_{1.1})} V_{B40}$$

$m_{g,B40HR}$ het aardgasdebiet dat de B40 HR opneemt

S_{gas} de stookwaarde van het aardgas.

Analoge formules gelden voor de B25 HR.

3.4 Serre

Aan de hand van de regelstrategie (zie §2.3) wordt bepaald op welke momenten de serre gebruikt wordt als serre, als koelluchttoevoer of niet gebruikt wordt. Het luchtdebiet door de serre moet indirect bepaald worden. De methode van deze bepaling hangt af van de werkingstoestand van het klimatisatiesysteem:

1. Nachtelijke ventilatie (§3.4.1)
2. Geen retourlucht en geen nachtelijke ventilatie (§3.4.2)
3. Andere gevallen (§3.4.3)

De warmteopbrengst van de serre volgt uit de formule:

$$Q_{serre} = m_{serre} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_5)$$

De lucht die naar de serre stroomt, wordt via een vloerplenum vanuit de patio onder de kantoren door geleid. Hierbij komt deze lucht in contact met een betonnen vloerplaat die op volle grond ligt. De lucht wisselt met deze vloerplaat ook een hoeveelheid warmte uit. Het gezamenlijk effect van de serre en het vloerplenum is:

$$Q_{s\&v} = m_{serre} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_7).$$

Het serrerenrendement wordt gedefinieerd als zijnde de verhouding van de warmteopbrengst van de serre tot de invallende zonnestraling in het vlak van de serre:

$$\eta_{\text{serre}} = \frac{Q_{\text{serre}}}{Q_{\text{zon}}}$$

met $Q_{\text{zon}} = S1 \cdot A_{\text{serre}}$ ($S1$ is de meetwaarde van de zonnemeter die in de serre is opgesteld en A_{serre} is het frontale serreoppervlak van 198 m²).

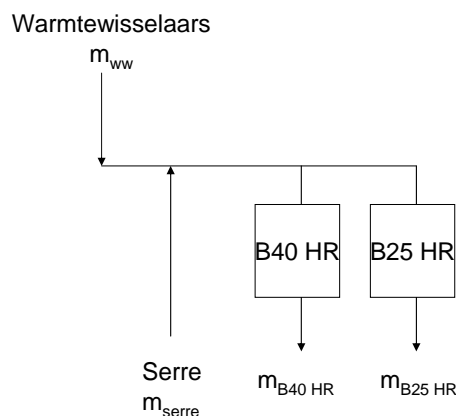
Tevens werd een puntmeting uitgevoerd om na te gaan hoeveel zonlicht dat buiten op de serre schijnt ook binnen in de serre terechtkomt. De verhouding van beiden geeft het rendement van het serreglas.

3.4.1 Nachtelijke ventilatie

Er wordt forfaitair gesteld dat er 1.000 m³/h langs de openstaande serrerammen binnenstroomt. Dit forfait wordt aangenomen omdat er anders een slecht geconditioneerd probleem optreedt (deling door het temperatuurverschil tussen T_{serre} en T_{buiten} welke quasi gelijk zijn aan elkaar omdat de ramen in de serre wagenwijd openstaan). Bovendien is de serreopbrengst tijdens nachtelijke ventilatie niet echt relevant voor het project.

3.4.2 Geen retourlucht (klep R dicht) en geen nachtelijke ventilatie

In dit geval is het schematische stromingsschema:



Figuur 9 : Stromingsschema voor de luchtverhitters

Zodat een massa- en energiebalans opgesteld kunnen worden:

$$m_{\text{serre}} = m_k - m_{\text{ww}} \quad \text{met } m_k = m_{B40 \text{ HR}} + m_{B25 \text{ HR}}$$

$$Q_{\text{serre}} = Q_k - Q_{\text{ww}} \quad \text{met } Q = m \cdot c_p \cdot (T - T_0) \text{ waarbij } T_0 \text{ een referentietemperatuur}$$

is.

Een massadebiet wordt bepaald uit het product van het volumedebiet met de dichtheid van de lucht:

$$m = V \cdot \frac{\rho}{RT}$$

Aangezien de drukvariatie in de kanalen klein is ten opzichte van de absolute druk in de kanalen en het gas overal lucht is (R , zijnde de gasconstante van lucht is overal gelijk), kan de massabalans in combinatie met de dichtheid van de lucht herschreven worden als:

$$\frac{V_{\text{serre}}}{T_{\text{serre}}} = \frac{V_k}{T_k} - \frac{V_{\text{ww}}}{T_{\text{ww}}}$$

waarin de temperaturen in Kelvin uitgedrukt moeten worden (isobare toestandsveranderingen).

De energiebalans kan evenzeer herwerkt worden tot:

$$V_{\text{serre}} = V_k + V_{\text{ww}}$$

Op die wijze bekomen we twee vergelijkingen met slechts 1 onbekende, namelijk het volumedebiet door de serre. Omwille van meeton nauwkeurigheden (fouten van thermokoppels, mogelijke stratificatie in de kanalen, vervuiling van ventilatoren, ...) wordt V_{serre} zodanig bepaald dat de “kleinste kwadratenoplossing” ($V_{\text{serre,KKO}}$) bekomen wordt. Dit betekent dat $V_{\text{serre,KKO}}$ de kleinste gecombineerde fout op de massa- en energiebalans met zich meebrengt en daardoor de meest waarschijnlijke waarde is.

Uit de matrixalgebra is geweten dat de kleinste kwadratenoplossing van een overgedimensioneerd stelsel $AX = B$ gegeven wordt door:

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B$$

met A^T de getransponeerde van A .

Toegepast op de voorgaande massa- en energiebalansen, is de kleinste kwadratenoplossing voor de serrevolumestroom:

$$V_{\text{serre, KKO}} = 0,5 \left[V_k \left(1 + \frac{T_{\text{serre}}}{T_k} \right) - V_{\text{ww}} \left(1 + \frac{T_{\text{serre}}}{T_{\text{ww}}} \right) \right]$$

De temperaturen in deze vergelijking worden bepaald aan de hand van de absolute temperaturen van:

$$\begin{aligned} T_{\text{serre}} &= T2 \\ T_{\text{ww}} &= T4.1 \\ T_k &= T1.1 \end{aligned}$$

3.4.3 Andere gevallen

Er gaat geen significante luchtstroom door de serre. V_{serre} wordt forfaitair gelijk aan 0 gesteld.

3.5 Nachtelijke ventilatie

Tijdens de nachtelijke ventilatie wordt een deel van de buitenlucht langs de serre binnengezogen (forfaitair op 1.000 m³/h genomen) en wordt de rest langs het geopende rooster in de westgevel in de kantoren gebracht. Een dakventilator (3.040 m³/h debiet) die zich vlak bij T9 bovenin de patio bevindt, evacueert de warmte uit het gebouw. Het debiet door het rooster in de westgevel wordt dan gegeven door:

$$m_{\text{wg}} = m_{\text{ketel}} - m_{\text{serre}} - m_{\text{ww}}$$

terwijl het koelvermogen dat via dat rooster in het gebouw gebracht wordt, gelijk is aan:

$$Q_{\text{wg}} = m_{\text{wg}} \cdot c_p \cdot (T11 - T9).$$

3.6 Windmolen

Maandelijks wordt de tellerstand van de elektriciteitsmeter van de windmolen genoteerd. Het verschil tussen twee uitlezingen is de maandproductie van de windmolen. Dit wordt vergeleken met het elektriciteitsverbruik van Oxfam, zoals aangegeven op de elektriciteitsfacturen.

De benutting van de windmolen kan berekend worden met de formule:

$$B = \frac{E_{wm}}{P_{wm} \cdot t}$$

met E_{wm} de elektriciteitsproductie tijdens de registratieperiode [kWh]

P_{wm} het nominaal elektrisch vermogen van de windmolen [30 kW]

t de tijdsduur van de registratieperiode [uren].

Des te hoger B , des te beter is de windmolen benut. De ontwerper stelde met een jaarproductie van 37.000 kWh een jaarbenutting van 14% voorop.

Tabel 4: Beschrijving van de gemeten parameters en sensoren

Nummer	Te meten grootheid	Sensor	Monitoring	Eigendom meters
G1	Aardgasverbruik ketel 1 (40 kW)	Aardgasmeter	Datalogger 5/15 ⁴	Vito
G2	Aardgasverbruik ketel 2 (25 kW)	Aardgasmeter	Datalogger 5/15	Vito
T1.1	Luchttemperatuur net voor de ketels	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T1.2	Luchttemperatuur net na ketel 40 kW	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T1.3	Luchttemperatuur net na ketel 25 kW	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T2	Luchttemperatuur net na de serre	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T3	Temperatuur verse lucht net voor de warmtewisselaars	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T4.1	Temperatuur verse lucht net na warmtewisselaar 1	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T4.2	Temperatuur extractielucht net voor warmtewisselaar 1	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T4.3	Temperatuur extractielucht net na warmtewisselaar 1	Temperatuursensor	Datalogger 5/15	Vito
T5	Temperatuur net voor de serre	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
T6	Temperatuur net na de grondbuis	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
T7	Temperatuur in referentielokaal dat tegen serre ligt	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito

⁴ x/y betekent meetwaarde om de x minuten en achteraf samengevoegd tot bestand met meetwaarden om de y minuten.

T8	Temperatuur in referentielokaal dat tegen het magazijn ligt	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
T9	Temperatuur in Patio ter hoogte van de afzuiging van de recirculatielucht	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
T10	Temperatuur in het magazijn	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
T11	Buitemperatuur in de schaduw	Temperatuursensor	Testostor 175 30/30	Vito
E1	Elektrisch verbruik ketel 1 (indicatie ventilatiedebiet)	Elektriciteitsmeter	Datalogger 5/15	Vito
E2	Elektrisch verbruik ketel 2 (indicatie ventilatiedebiet)	Elektriciteitsmeter	Datalogger 5/15	Vito
E3	Elektriciteitsproductie windmolen	Elektriciteitsmeter	Maandelijkse uitlezing	Vito
E4	Totaal elektriciteitsverbruik Oxfam	Elektriciteitsfacturen	Elektriciteitsfacturen	Vito
S1	Zoninstraling in het vlak van de serre	Zonnemeter	Datalogger 5/15	Vito

4 TECHNISCHE EVALUATIE

De volledige meetperiode begon op 30 mei 2002 en eindigde op 29 februari 2004. De data van geheel deze periode zijn verwerkt voor verschillende analyses. De jaarduurcurves zijn begroot op de periode van 01 oktober 2002 tot 30 september 2003.

4.1 Thermische energiestromen in het kantoorgebouw

4.1.1 Regeling van de verschillende installaties

De gebouwinstallaties in het kantoorgebouw van Oxfam vormen een complex geheel. In deze situatie is vooral de regeling van groot belang, die moet ervoor zorgen dat alle onderdelen zo optimaal mogelijk op elkaar afgestemd worden.

Voor de regeling zijn er twee afzonderlijke delen :

4.1.1.1 De warmtewisselaars en de grondbuis

De warmtewisselaars en de grondbuis zijn onafhankelijk van de rest geregeld. Het debiet wordt geregeld door een klok en de werking werd beschreven onder hoofdstuk 2. De warmtewisselaars worden niet meer geregeld vanaf de zomerperiode en draaien in die periode dus volcontinu. Gedurende de voorbije periode werd er vastgesteld dat de warmtewisselaars volcontinu werden ingeschakeld vanaf 22 mei 2002 en de klok werd terug ingeschakeld op 08 januari 2003.

De warmtewisselaars geven dus altijd een maximum debiet van elk 225 m³/h tijdens kantoor tijd indien ze door de klok worden geregeld, en continu tijdens de zomermaanden.

Dit geeft een totaal debiet van 675 m³/h. Indien men rekening houdt met een minimum debiet van 30 m³/h per persoon voor hygiënische ventilatie kan dit volstaan voor 22 personen. In dat geval is er ook haast geen reserve voor extra luchtverversing bijvoorbeeld in de kantine of in vergaderzalen.

Het kantoor werd ontworpen om alle werknemers te huisvesten, en dit zijn in totaal een 40-tal werknemers. Het is dan ook vrijwel zeker dat de hoeveelheid hygiënische ventilatielucht niet volstaat voor deze installatie, zelfs als de warmtewisselaars continu op maximum debiet draaien.

4.1.1.2 De verwarming- en koelinstallaties

De samengestelde installatie voor de luchtbehandeling van het gebouw wordt geregeld volgens de regelstrategie die beschreven staat in paragraaf 2.3.

Afgaande op deze regelstrategie kunnen verschillende situaties worden onderscheiden:

a) Er is een warmtevraag:

- [1] Als de serretemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur: de serre zorgt voor voorverwarming van de lucht. Het debiet verse lucht wordt enkel geleverd door de warmtewisselaars
- [2] Indien de serre kouder is dan buiten: de lucht wordt rechtstreeks van binnen gerecirculeerd. Het debiet verse lucht wordt enkel geleverd door de warmtewisselaars

b) Er is een koelvraag:

De buitentemperatuur is hoger dan de binnentemperatuur :

[3] De serretemperatuur is hoger dan de binnentemperatuur : Er is geen koelte beschikbaar voor passieve koeling. De lucht wordt enkel gerecirculeerd, en het debiet wordt minimaal.

[4] De serretemperatuur is lager dan de binnentemperatuur : Dit is een overgangstoestand, waarbij de koelte van de serre naar het gebouw wordt gebracht, totdat ook in de serre de temperatuur te hoog oploopt en men terug overgaat op toestand [3]

De buitentemperatuur is lager dan de binnentemperatuur :

[5] De serretemperatuur is hoger dan de binnentemperatuur : De ramen van de serre gaan open, maar de lucht wordt niet vanuit de serre genomen, maar gerecirculeerd via de retourleiding.

[6] De serretemperatuur is lager dan de binnentemperatuur : Hierbij gaan de ramen van de serre open, en worden grote hoeveelheden buitenlucht via de serre aangevoerd.

c) Er is noch warmtevraag, noch koelvraag

Het systeem voor nachtventilatie maakt gebruik van de klep aan de westzijde en van een extractieventilator op het dak. Deze twee zijn met een klok uitgerust, zodat deze enkel gedurende de zomermaanden en 's nachts kunnen werken. Tijdens deze periodes, wordt de koelvraag op een andere manier geregeld, voor het volgende geval :

b*) Er is een koelvraag:

De buitentemperatuur is lager dan de binnentemperatuur :

[5*] De serretemperatuur is hoger dan de binnentemperatuur : De ramen van de serre gaan open, maar de lucht wordt niet vanuit de serre genomen, maar via de klep aan de westzijde van het gebouw. De dakventilator zorgt voor extractie.

[6*] De serretemperatuur is lager dan de binnentemperatuur : Hierbij gaan de ramen van de serre open, en worden grote hoeveelheden buitenlucht via de serre en via de klep in de westzijde van het gebouw aangevoerd. De dakventilator zorgt voor extractie.

In situatie 1 en 2, de gevallen waar er een warmtevraag is, is er hier geen probleem. De installatie probeert optimaal de verzamelde warmte in de serre te benutten. Als de serretemperatuur te laag is, dan wordt alleen buitenlucht verwarmd voor het debiet voor luchtverversing.

Voor de regeling naargelang de koelvraag zijn er enkele situaties die geen optimaal gebruik maken van alle factoren.

Dit is vooral het geval in situatie 5 : Er is een koelvraag, en deze kan gelenigd worden door de buitenlucht die kouder is. Maar omdat de serretemperatuur te hoog is, wordt de serre afgesloten en wordt enkel het minimale verse lucht debiet van buiten gehaald. Indien men buitenlucht zou aantrekken via het rooster aan de westzijde, of via de open ramen van de serre, zou koeling vlugger kunnen gebeuren.

Verder is er een duidelijk comfortprobleem bij situaties 3 en 5. Bij situatie 3 is het binnen warm, en is er een koelvraag. Maar daarnaast is de buitentemperatuur, alsook de serretemperatuur hoger dan de binnentemperatuur. Voor passieve koeling is dus geen bron beschikbaar. Het gebouw sluit zich compleet af en enkel het debiet verse lucht wordt via de warmtewisselaars ingehaald. Niet alleen doen de warmtewisselaars in dit geval – zoals ook

verder wordt besproken – het koeleffect van de grondbuizen compleet teniet. Daarbij is het debiet aan verse lucht veel lager dan noodzakelijk, zoals besproken werd in de vorige paragraaf. Dit leidt dus tot een kwalitatief slechter binnenklimaat, wat zich op dergelijke warme dagen nog veel sterker laat voelen. Bij situatie 5 ontstaat hetzelfde fenomeen.

In de praktijk blijkt situatie 3 slechts zelden voor te komen. Situatie 5 komt veel vaker voor, maar hoofdzakelijk als overgangstoestand.

Deze verschillende situaties moeten onderscheiden worden. Hiervoor is het noodzakelijk een criterium te vinden dat kan aangeven of er zich een koel- dan wel een warmtevraag stelt. Afhankelijk daarvan kan men aan de hand van de verschillende opgemeten temperaturen bepalen welke kleppen openstaan en in welk regime de installatie werkt.

De binnentemperatuur is ongeschikt om als invoer voor dit criterium te dienen, het is immers de bedoeling van de thermostaat om de binnentemperatuur zo constant mogelijk te houden, of om die toch op z'n minst binnen bepaalde grenzen te houden.

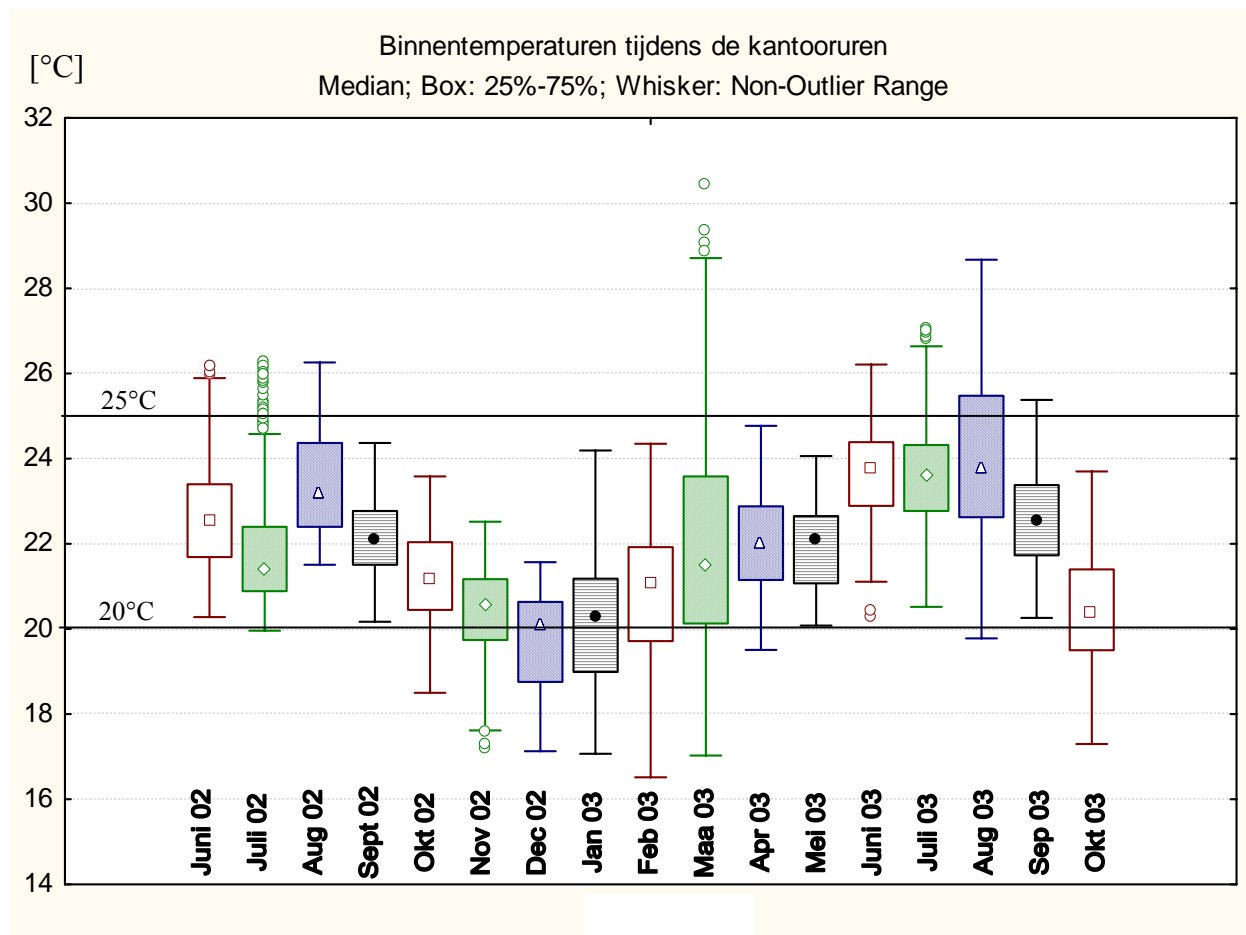
De verschillende kleppen in de installatie werden niet gelogd. Er werd dus beslist om de binnentemperatuur te volgen en het onderscheid tussen koelen, verwarmen of geen van beide werd afgemeten aan de hand van het debiet van de ventilatoren van de luchtverwarming.

In dit rapport werd ervan uitgegaan dat er een warmtevraag was, indien de ventilatoren een hoger debiet gaven dan het verversingsdebiet, en indien de serretemperatuur hoger lag dan de kantoortemperatuur, ofwel indien er een gasverbruik werd genoteerd.

Verder wordt er uitgegaan van een koelvraag, indien er geen warmtevraag is, de ventilatoren een groter debiet geven dan het verversingsdebiet, en indien er één bron van passieve koeling beschikbaar is (ofwel de temperatuur in de serre is laag genoeg, ofwel de temperatuur buiten is laag genoeg)

Dit onderscheid en deze beoordeling komen waarschijnlijk niet exact overeen met de regeling van de installatie zelf. Verdere resultaten die steunen op dit onderscheid zijn dus een hoofdzakelijk een indicatie van het werkelijke gedrag van de installatie.

4.1.2 Ruimtetemperaturen



Figuur 10 : verdeling van de binnentemperaturen tijdens de kantooruren

Een voorstelling van het verloop van de ruimtetemperaturen wordt weergegeven in de bovenstaande figuur, telkens per maand, gedurende meer dan een jaar. Deze figuur toont de boxplots van de binnentemperaturen in de kantoren tijdens de kantooruren. Hierbij zijn er dus een paar opmerkelijke vaststellingen te maken :

- In dit gebouw is er zeker een gevaar voor oververhitting. Gedurende de maanden juni 2003 tot september 2003, is de binnentemperatuur stelselmatig gedurende een gedeelte van de tijd boven de 25°C. Tijdens augustus bedraagt dit zelfs meer dan 25% van de tijd.
- Een opmerkelijke vaststelling zijn de hoge temperatuurtoppen tijdens de laatste helft van maart 2003. Tijdens deze periode werden zelfs temperaturen rond de 30°C genoteerd. In tegenstelling tot de zomerperiode, gaat het hier over temperatuurpieken en minder over langdurige oververhitting. Maar dit is een probleem dat vermeden had kunnen worden. Hier zit de regeling van de installatie blijkbaar nog in winterregime, terwijl een grotere vraag voor koeling zich al stelt.
- Tijdens de winterperiode zakt de temperatuur vaak onder de 20°C. Hierbij moet worden opgemerkt dat de temperatuur overdag, tijdens de weekends of tijdens de sluitingsperiode rond eindejaar wordt verminderd, en dit trekt de verdeling per maand naar beneden. Maar toch is het vaak zo dat gedurende de kantoor tijden de temperatuur onder de 20°C ligt.

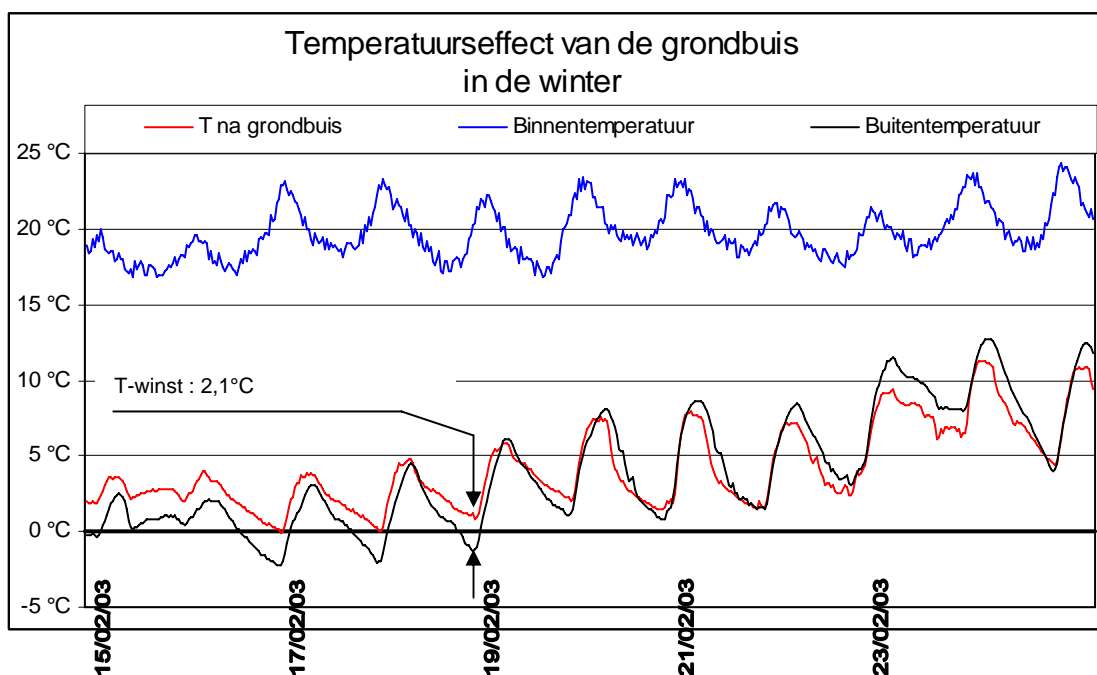
4.2 Beoordeling van de aparte onderdelen van de installatie

4.2.1 Warmtewinst in de grondbuis en in het luchtkanaal tussen grondbuis en warmtewisselaars

De verse lucht die door de warmtewisselaars gaat, wordt door de grondbuis aangevoerd. De grondbuis is in wezen een traditionele PVC-buis van ca. 20 m lang en een diameter van 250 mm.

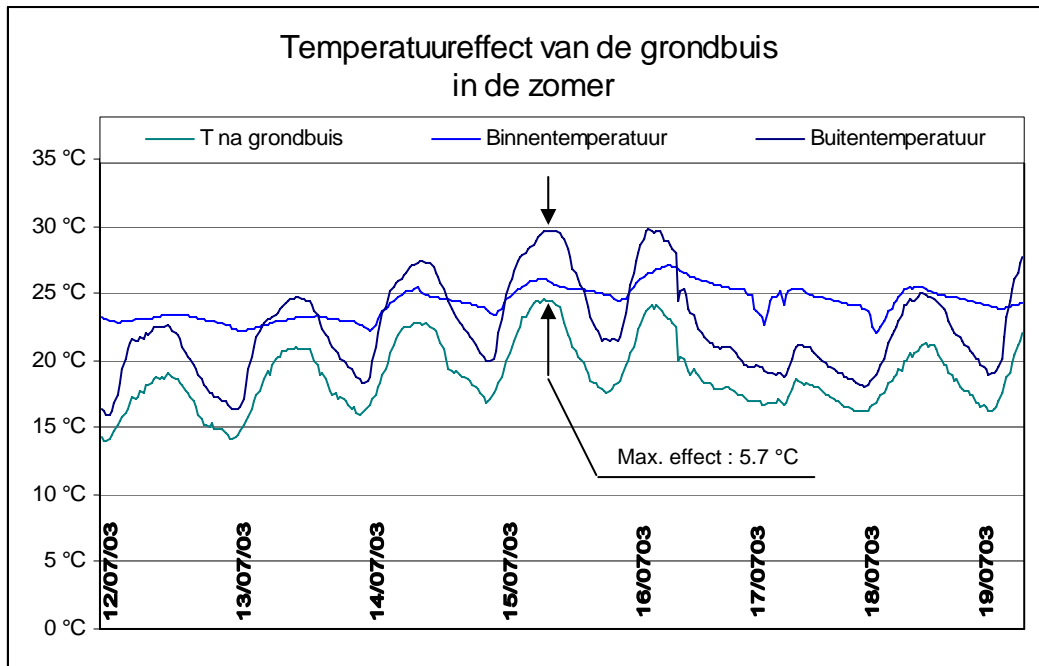
De grondbuis kan zowel een verwarmend als een koelend effect hebben. Dit is afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij hoge buitentemperaturen wordt de lucht vooral afgekoeld, bij lage buitentemperaturen is dit juist andersom. Eerst en vooral moet bepaald worden hoeveel de exacte bijdrage van de grondbuis bij de opwarming en de afkoeling is. Tezelfdertijd is er ook in het gebouw zelf een warmtevraag of een koelvraag. De temperatuurwinst in de grondbuizen is niet bijzonder groot. Daarnaast moet ook nagegaan worden of de bijdrage van de grondbuis op het goede moment geregeld werd of niet.

De volgende figuren geven de temperatuurseffecten van de grondbuis tijdens een koude winterweek en tijdens een warme zomerweek.



Figuur 11 : Temperatuurseffect van de grondbuis in de winter

Uit het gedrag tijdens de winter blijkt dat de temperatuurwinst in de winter niet altijd groot is. Een maximale winst wordt 's nachts geleverd tijdens december, waarbij de buitenlucht van $-6,6^{\circ}\text{C}$ tot $4,8^{\circ}\text{C}$ wordt opgewarmd.



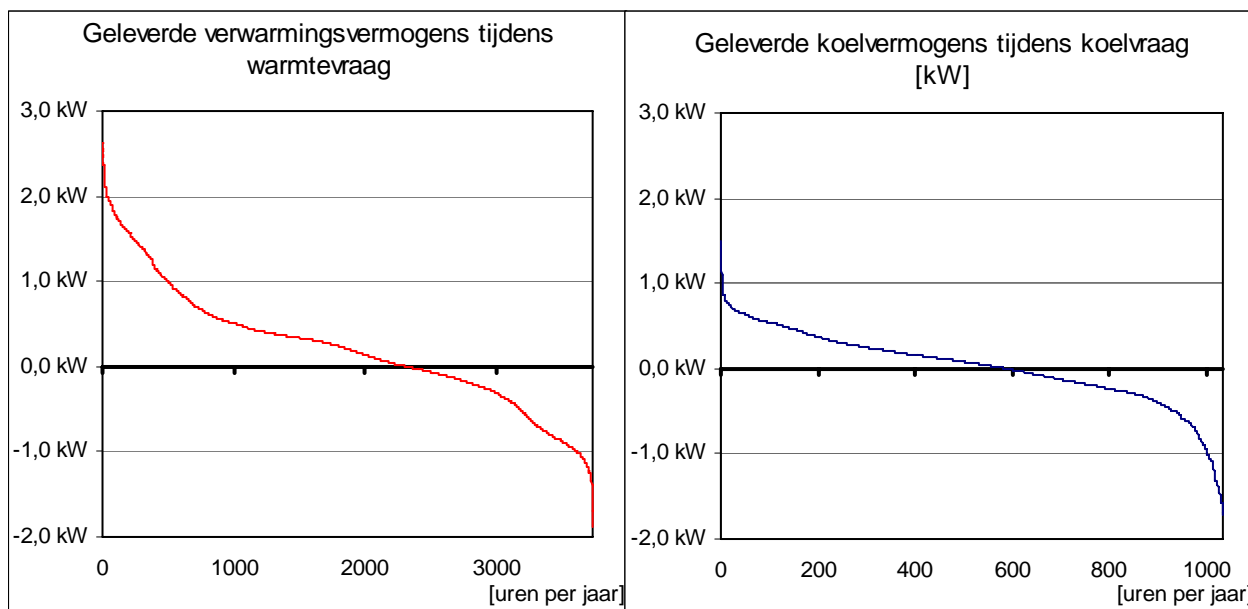
Figuur 12 : Temperatuureffect van de grondbuis in de zomer

In de zomer is er een groter temperatuureffect merkbaar. De lucht wordt duidelijk niet afgekoeld tot op de grondtemperatuur, maar de grondbuis geeft een merkbare koelbijdrage.

De grondbuizen zijn rechtstreeks verbonden met warmtewisselaars. Beiden werken ook onafhankelijk van de rest van de gebouwinstallatie. Tijdens de laatste maanden van 2002 werken beide gewoon op vol debiet, 675 m³/h. Na begin januari wordt de klok ingeschakeld, en daarna werken de beide volgens de regeling beschreven in paragraaf 2.2.1.

Het is dan ook normaal dat er verschillende momenten zijn waarop het gebouw en koelvraag nodig heeft, terwijl de grondbuizen de verse lucht opwarmen en omgekeerd.

De volgende figuren geven de durcurves van de grondbuizen aan, opgesplitst in twee gevallen, nl. de periodes waar het gebouw gekoeld moest worden, en de periodes waar het gebouw verwarmd moest worden.



Figuur 13 : Vermogenduurcurves van de grondbuis tijdens koelvraag en tijdens warmtevraag

Hieruit blijkt dat de twee installaties zeker niet simultaan werken. De grondbuis werkt soms koelend als er warmte nodig is en omgekeerd

De grondbuis werkte bijvoorbeeld 3.731 uur als er een warmtevraag in het gebouw was. In deze periode leverde de grondbuis gedurende 2.318 uur warmte, ofwel 62,1% van de tijd. De rest van de tijd gaf de grondbuis een negatief warmtevermogen, en werkte die dus de rest van de installatie tegen.

Wanneer er koeling nodig was, leverde de grondbuis 589 van de 1.034 uur koeling, ofwel 57,0% van de tijd koeling. De rest van de tijd was de grondbuis de verse lucht aan het voorverwarmen.

Er is dus geen sprake van samenwerking tussen de grondbuis en de gebouwinstallatie. Een betere afstemming van de twee gedeelten op elkaar zou een effectief gebruik van de installaties mogelijk moeten maken.

4.2.2 Warmtewisselaars

De warmtewisselaars zijn direct gekoppeld op de grondbuis. De wisselaars kruisen de retourlucht uit de kantoren met de verse lucht uit de grondbuis. Er is eveneens een bijkomende warmtewinst in de luchtkanalen tussen de grondbuis en de wisselaars. Voor de evaluatie wordt zowel het effect van de temperatuursverandering in het luchtkanaal als dit in de warmtewisselaar beschouwd. Dit wil zeggen dat onder deze paragraaf de veranderingen in de luchteigenschappen worden beoordeeld tussen het moment dat de lucht de grondbuis verlaat en het moment dat de lucht de warmtewisselaar verlaat.

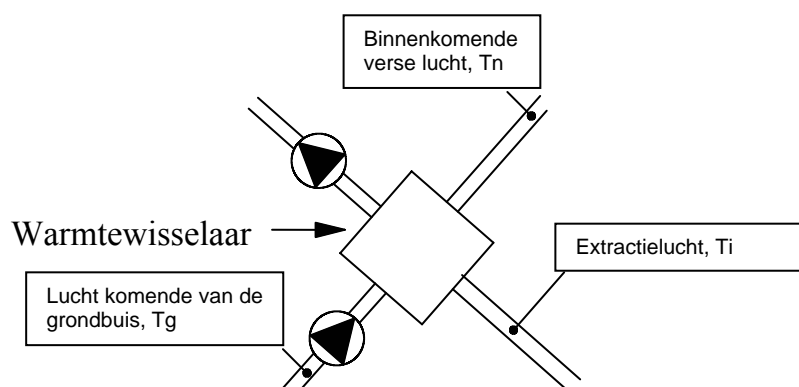
Vanaf 30 mei 2002 zijn de warmtewisselaars continu op de hoogste stand ingeschakeld. De klok wordt terug ingeschakeld op 8 januari 2003. De klok werd daarna niet meer uitgeschakeld. Gedurende de rest van de tijd werkten de wisselaars dus volgens het schema beschreven onder hoofdstuk 2.

De wisselaars hebben volgens de leverancier een temperatuurrendement van 95%. Dit betekent dat de temperatuur van de verse lucht na de warmtewisselaar T_n beantwoordt aan :

$$\eta = 95\% \cong \frac{T_n - T_G}{T_i - T_G}$$

Ofwel :

$$T_n = 0.95 \times T_i + 0.05 \times T_G$$



Figuur 14 : schematische voorstelling van de warmtewisselaar

Praktisch betekent dit dat de temperatuur van de uitgaande lucht altijd zo dicht mogelijk bij de temperatuur van de extractielucht wordt gebracht.

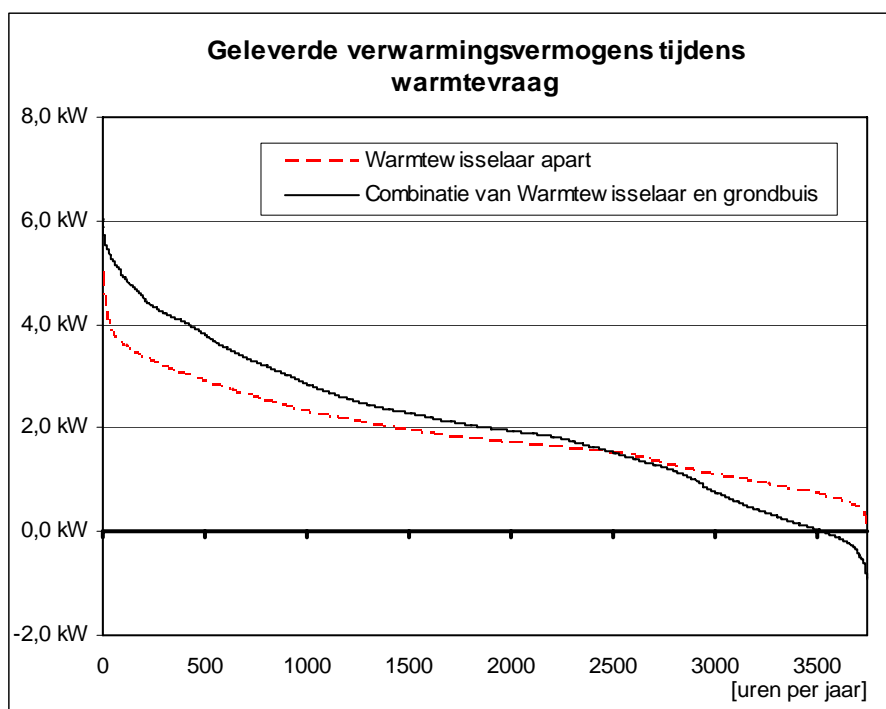
Voor het geval dat het gebouw verwarmd moet worden, is dit een goede zaak, alle energie die immers in de extractielucht zit vevat, gaat over op de binnenkomende lucht. In het geval er echter koeling nodig is, geeft dit minder goede effecten. De warmte die vevat zit in de extractielucht, wordt overgedragen op de verse lucht, terwijl in de praktijk de lucht van de grondbuis normaalgezien koeler is, en dus een extra koelvermogen zou geven. De warmtewisselaar werkt dit koelvermogen dus tegen.

Om dit nadeel van de warmtewisselaars op te lossen, dient deze best van een bypass voorzien worden. De Brink Renovent-toestellen van na 2000 kunnen hiermee zonder al te veel moeilijkheden omgebouwd worden. Voor de toestellen van Oxfam (1999) is deze optie niet mogelijk. Ze zouden door totaal nieuwe toestellen vervangen moeten worden.

Beide effecten worden duidelijk door de duurcurves van de warmtewisselaars.

De eerste duurcurve geeft de vermogens die de wisselaars aan de binnenkomende lucht hebben toegevoegd tijdens de momenten dat er een warmtevraag was.

(De momenten waarop er een warmtevraag was, en de wisselaars door de klok uitgeschakeld waren, is dit vermogen 0 kW en is dit natuurlijk niet weergegeven op de duurcurve).

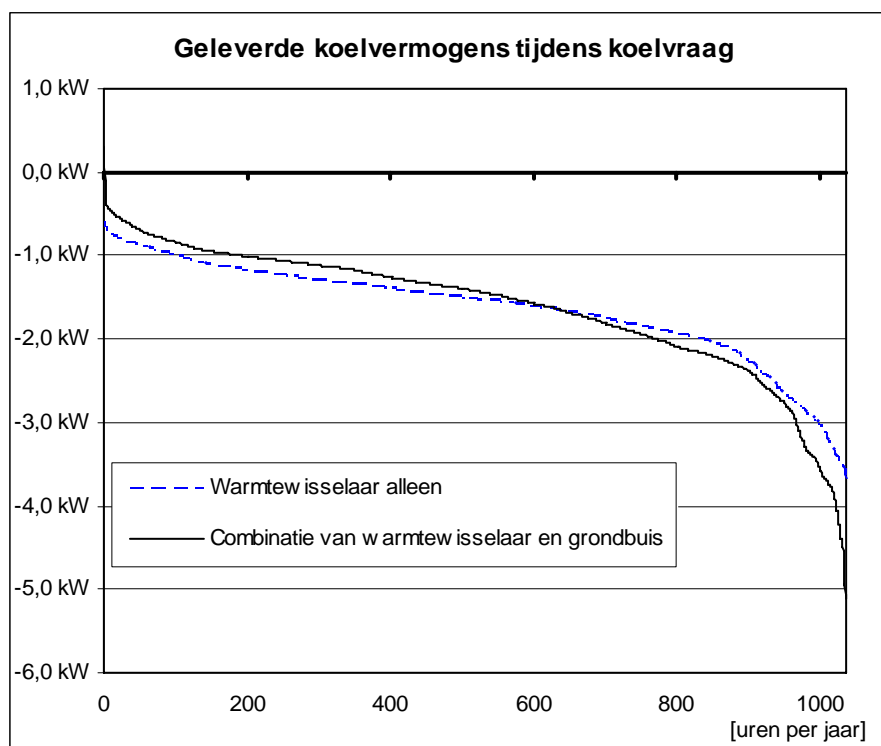


Figuur 15 : Vermogenduurcurve tijdens warmtevraag van de warmtewisselaar, apart en gecombineerd met de grondbuis

De duurcurve toont dat de wisselaars op elk moment de binnenkomende lucht hebben verwarmd.

De figuur toont ook het resultaat indien men ook de totale berekening maakt, namelijk het vermogen dat door de combinatie van de grondbuis en de warmtewisselaar aan de verse lucht werd toegevoegd. Dit totaal toont dat de grondbuis een koelend effect geeft op gedurende de kleine helft van het jaar, maar de opwarming daarna in de warmtewisselaar zorgt terug voor een netto positief effect. Dit lukt bijna altijd tenzij gedurende 206 uur. Dit is 5,5 % van de totale tijd. In elk geval is het in serie schakelen van twee installaties die eerst de lucht afkoelen om die daarna terug op te warmen weinig effectief.

Een analoge figuur kan verkregen worden voor de momenten gedurende het jaar dat er koeling nodig was in het gebouw.



Figuur 16 : Vermogenduurcurve tijdens koelvraag van de warmtewisselaar, apart en gecombineerd met de grondbuis

De bovenstaande duurcurve geeft aan de indien het gebouw koeling nodig had, de warmtewisselaars een negatief koelvermogen gaven, of praktisch dat de wisselaars de binnenkomende lucht nog steeds aan het opwarmen waren.

De duurcurve van de combinatie van de grondbuis en de wisselaars wordt ook op bovenstaande figuur getoond. De duurcurve geeft aan dat de verwarmingsvermogens die de wisselaar aan de verse lucht heeft toegevoegd van die grootteorde zijn dat het netto koeffect dat de grondbuis soms heeft, teniet wordt gedaan. De combinatie van de twee installaties samen heeft dus continu een opwarmend effect op de binnenkomende verse lucht.

Het ontbreken van een bypass aan de warmtewisselaars zorgt dus continu voor een bijkomende warmtelast.

De bovenstaande opmerkingen komen ook terug bij de cijfers van de exacte energiebijdragen van de warmtewisselaar en de grondbuis. De bijdragen werden onderverdeeld in warmte- en koelbijdragen. Per type werd ook het onderscheid gemaakt tussen voordelen en nadelen. Een warmtevoordeel is de hoeveelheid warmte die de desbetreffende maand door de installatie aan het gebouw werd geleverd, op momenten dat er een warmtevraag was. De warmtenadelen slaan op de hoeveelheid energie die werd geleverd terwijl er in het gebouw een koelvraag was. Voor koelvoordelen en –nadelen geldt juist het tegenovergestelde.

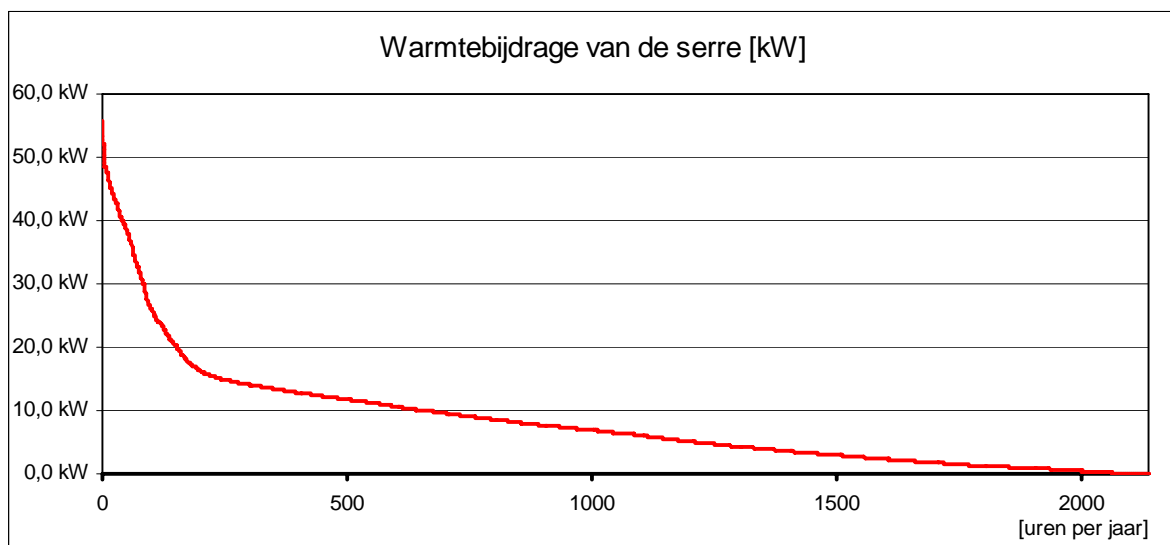
Maand	Grondbuis				Warmtewisselaar			
	Warmte- voordeel	Warmte- nadeel	Koel- voordeel	Koel- nadeel	Warmte- voordeel	Warmte- nadeel	Koel- voordeel	Koel- nadeel
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
okt 2002	28	15	26	23	735	433	0	0
nov 2002	247	13	0	0	1187	58	0	0
dec 2002	744	17	0	0	1634	47	0	0
jan 2003	339	36	0	0	944	89	0	0
feb 2003	58	0	0	19	796	17	0	0
mrt 2003	8	1	20	28	530	177	0	0
apr 2003	7	10	20	38	303	270	0	0
mei 2003	1	3	34	85	245	203	0	0
jun 2003	0	1	35	167	171	77	0	0
jul 2003	0	0	32	196	208	85	0	0
aug 2003	4	7	4	39	144	76	0	0
sep 2003	13	55	8	40	111	168	0	0

Tabel 5: Resultaten van de grondbuis en de warmtewisselaar

4.2.3 Serre

De serre kan zowel warmte als koude leveren. De warmte wordt in de lucht opgeslagen door de invallende zonnestraling, terwijl de koude kan geleverd worden door de geopende ramen naar de buitenlucht.

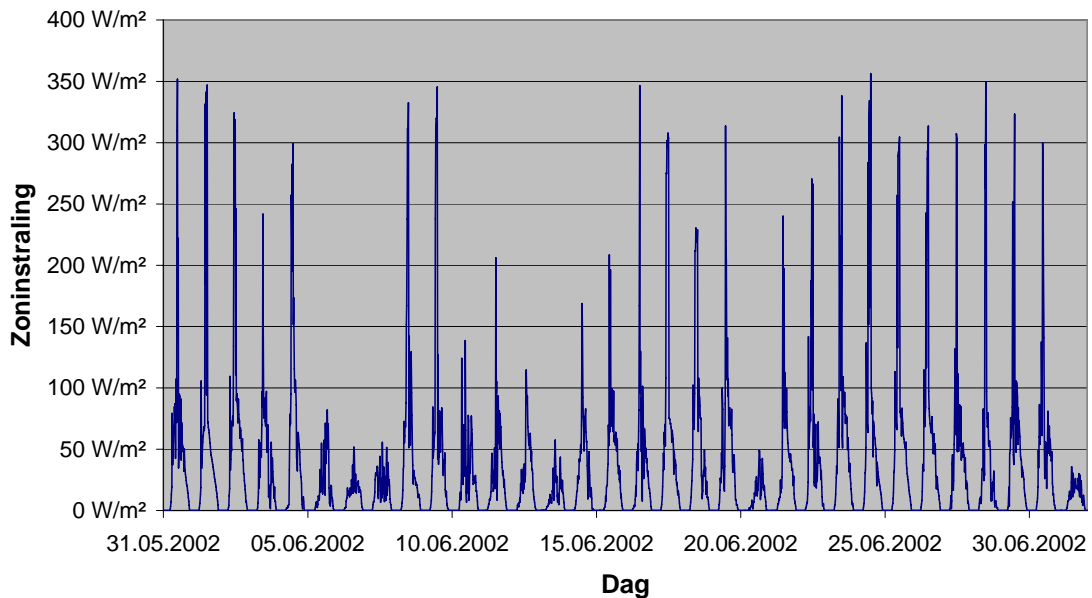
Wat betreft de opwekking van warmte, valt het op dat de regeling twee opties heeft : ofwel verzamelt de regeling de warmte in de serre, ofwel is de installatie enkel op de luchtverwarming toegewezen. Het is opvallend dat gedurende 96,7% van de tijd dat er een warmtevraag was, de warmte van de serre benut kon worden. Gedurende enkel 3,3% van de tijd moest de warmtevraag volledig door de luchtverwarming geleverd worden.



Figuur 17 : Vermogenduurcurve van de serre

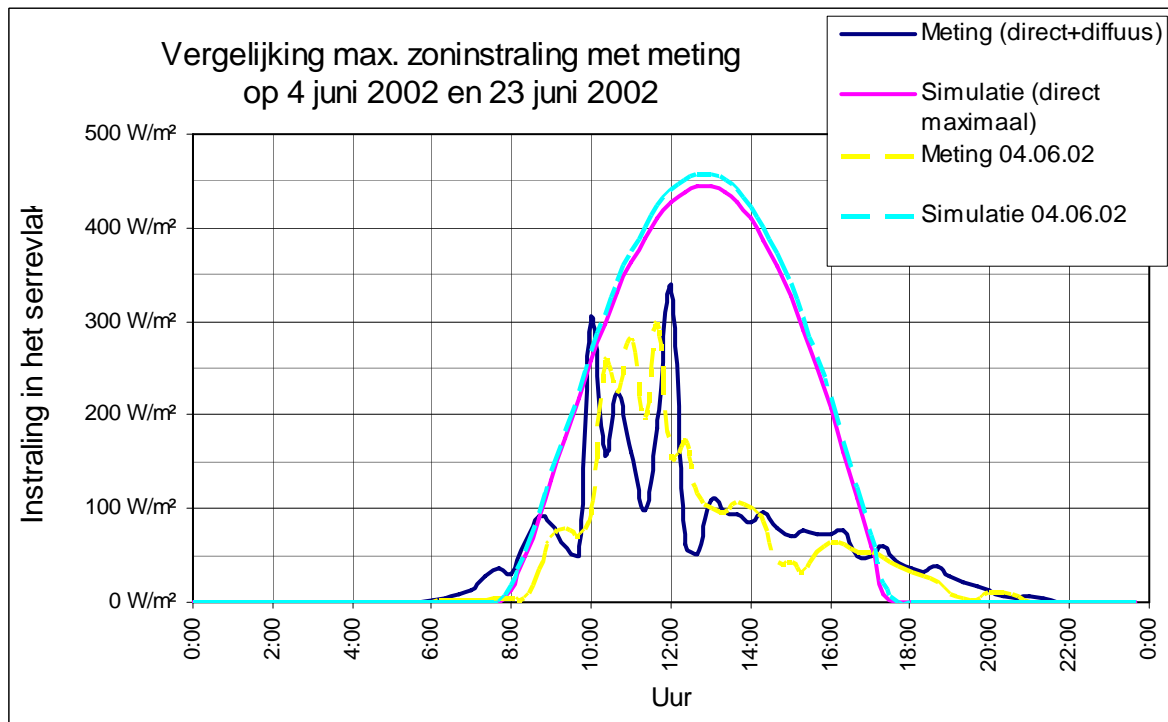
De verschillende vermogens die door de serre werden aangeleverd tijdens de verwarmingsperiode werden in een duurcurve voorgesteld. De duurcurve toont een sterke piek in de hoge vermogens, en een afvlakking voor de rest van de tijd. Dit komt overeen met de sterk gepiekte inval van zonlicht in de serre. Tijdens de meetperiode viel op dat de zoninstraling in de serre laag en sterk gepiekt is

Zoninstraling in de serre



Figuur 18 : Zonneinstraling in de serre

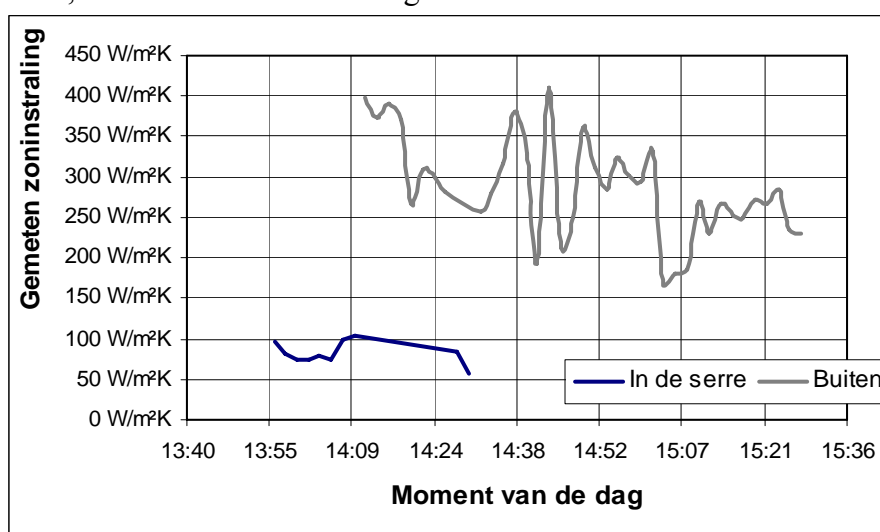
Hier is duidelijk te zien dat de hoogst gemeten zoninstraling nog beduidend afwijkt van de maximale zoninstraling. De maximale zoninstraling bedraagt in juni ca. 450 W/m² terwijl de zonnemeter in de serre amper een piek van 350 W/m² registreert. Bovendien valt elke dag opnieuw op dat de middagpiek in de meting veel sterker doorkomt. Dit is heel waarschijnlijk te wijten aan de reflectie van het zonlicht in het serreglas: des te schuiner de zonnestand tegenover de serre, des te hoger de reflectie.



Figuur 19 : Vergelijking van maximale zonne-instraling met meting

Om deze stelling te staven, werd er op 1 augustus 2002 een controlemeting uitgevoerd met een tweede zonnemeter. Deze werd eerst in de serre, vlak na de reeds aanwezige meter gehangen om de correctheid van de laatste te controleren. Daarna werd de zonnemeter buiten de serre opgesteld. Uit deze meting bleek dat de geïnstalleerde zonnemeter correcte meetwaarden gaf.

De volgende figuur vergelijkt de meetwaarden van de extra zonnemeter wanneer hij binnenin de serre was opgesteld en wanneer hij buiten de serre was opgesteld. Binnenin de serre bedroeg de zoninstraling nauwelijks 100 W/m^2 terwijl dit buiten de serre gemiddeld 285 W/m^2 bedroeg. De theoretisch maximale zoninstraling in het serrevlak op 1 augustus bedroeg 507 W/m^2 . Conclusie is dus dat een belangrijk deel van de zonne-energie op de serre weerkaatst, eerder dan binnen te dringen.

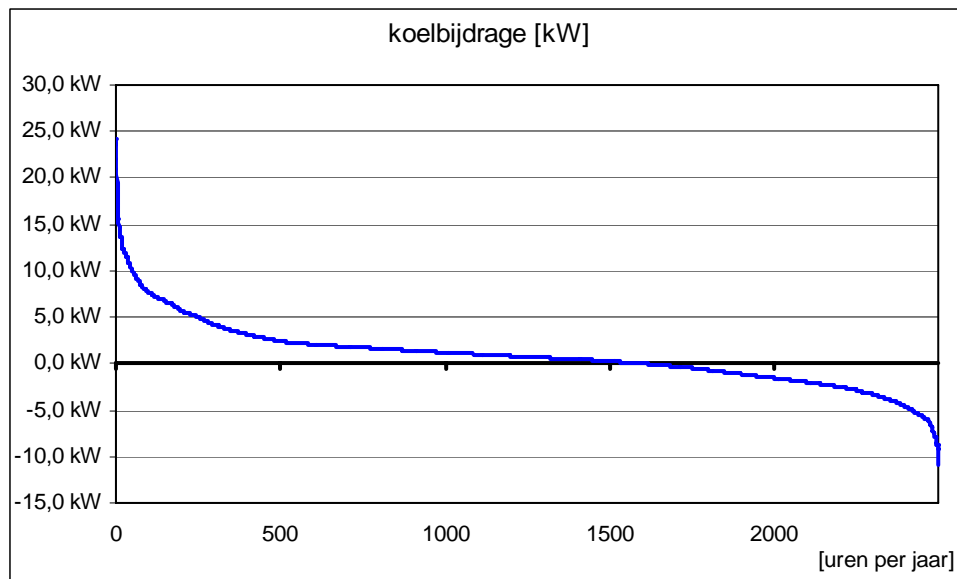


Figuur 20 : Meting van zonne-instraling voor en achter het glas van de serre

De serre leverde ook een bijdrage in de koeling van het gebouw. Dit werd mogelijk gemaakt door het openen van de ramen.

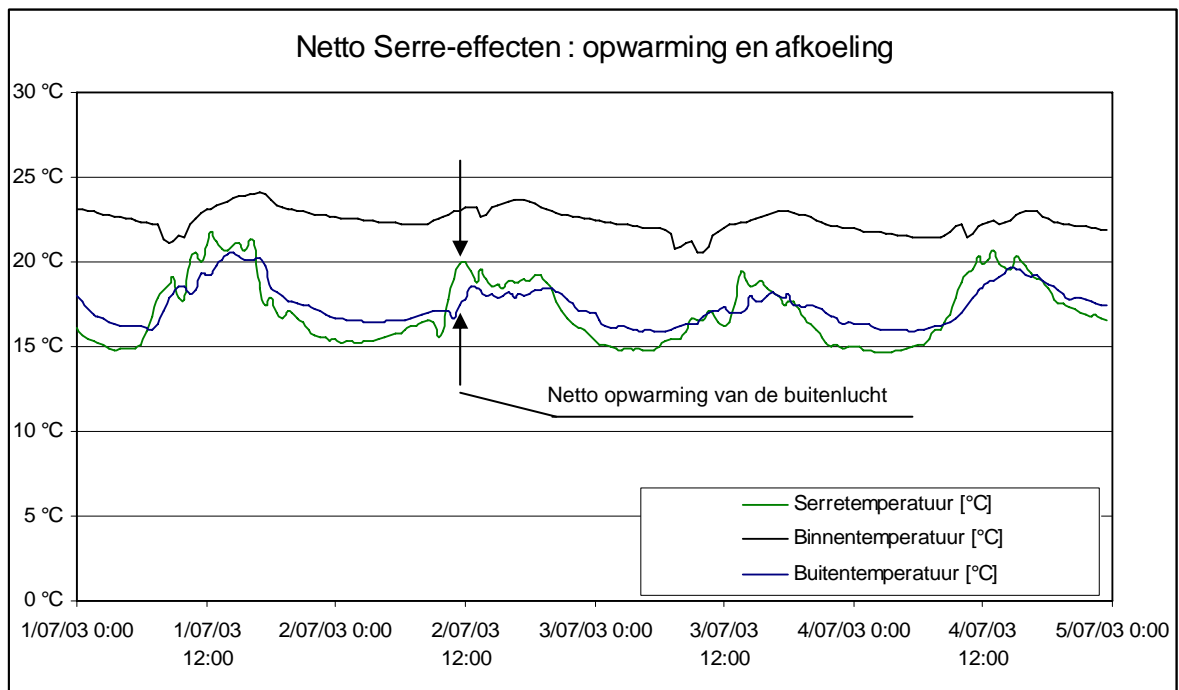
Indien men de duurcurve van deze nettobijdragen opstelt verkrijgt men de volgende grafiek

:



Figuur 21 : Vermogenduurcurve van de serre voor koeling

Het verrassende is blijktbaar dat de serre eveneens een netto opwarming geeft tijdens de uren dat er koeling wordt gevraagd. De serre kan op bepaalde momenten nog een opwarmend effect op de lucht hebben. Bij koeling staan de serreramen open, en wordt buitenlucht aangezogen. Door de zonne-instraling wordt deze lucht dan toch enkele graden opgewarmd. De resulterende lucht uit de serre blijft evenwel nog koeler dan de lucht in het kantoor zelf, zodat deze nog gebruikt kan worden voor koeling van het kantoor. Dit wordt geïllustreerd voor enkele dagen in juli 2003.



Figuur 22 : Gedrag van de serre tijdens koelvraag : temperatureffect

De totale maandelijkse bijdragen van de serre staan vermeld in de volgende tabel :

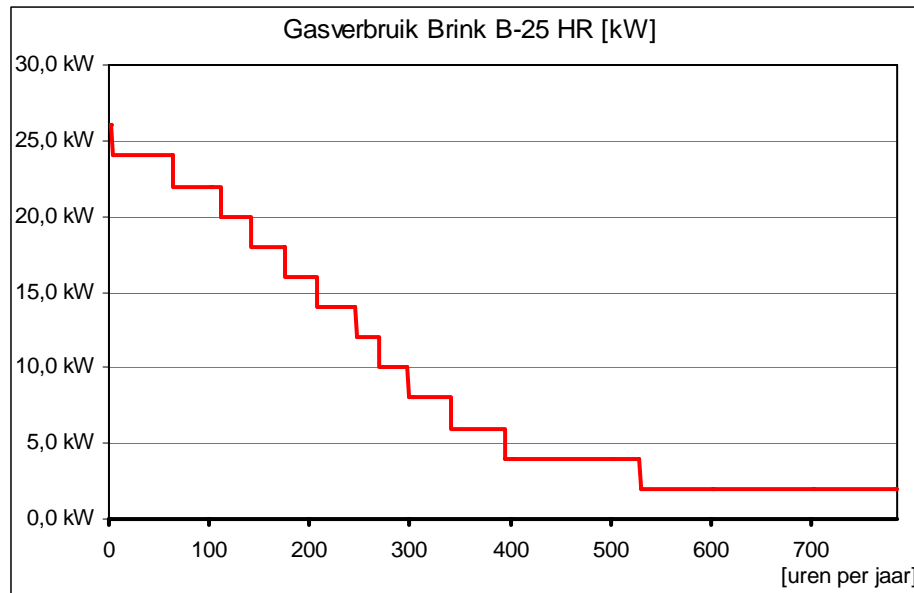
Maand	Serre			
	Warmte- voordeel	Warmte- nadeel	Koel- voordeel	Koel- nadeel
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
okt 2002	849	354	103	0
nov 2002	394	20	0	0
dec 2002	1.471	20	0	0
jan 2003	2.517	183	15	0
feb 2003	6.495	25	12	0
mrt 2003	3.624	472	245	0
apr 2003	1.208	485	1538	0
mei 2003	250	173	689	0
jun 2003	591	39	12	0
jul 2003	298	116	172	0
aug 2003	1	21	516	0
sep 2003	4	42	853	0

Tabel 6 : Resultaten van de serre

Hierbij valt op dat de warmtenadelen redelijk hoog oplopen. Aan de andere kant zijn de warmtevoordelen grote bijdragen in verwarming van het gehele gebouw.

4.2.4 Luchtverhitters

De precieze gasmeter voor de grote luchtverhitter, de Brink B-40 HR, werkte niet naar behoren. De enige data die daarom voor dit toestel beschikbaar zijn de maandelijks genoteerde hoeveelheden verbruikt gas. Het gasverbruik van de kleinere luchtverhitter, de Brink B-25 HR, is wel gedurende de meetperiode precies gekend. De geleverde vermogens over de periode van één jaar, staan in de volgende duurcurve :

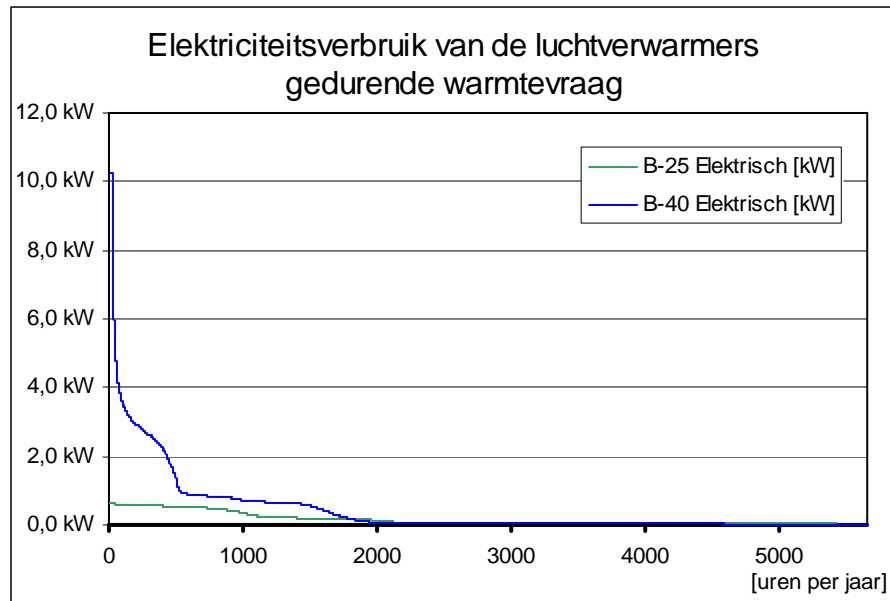


Figuur 23 : Vermogenduurcurve van de Brink B-25 HR

Er wordt verondersteld dat de grote luchtverhitter volgens een vergelijkbaar patroon heeft gewerkt.

De ventilatoren van de beide luchtverwarmingsinstallaties verbruiken een zekere hoeveelheid elektriciteit. Deze energie wordt ook stelselmatig omgezet in warmte in de verwerkte lucht.

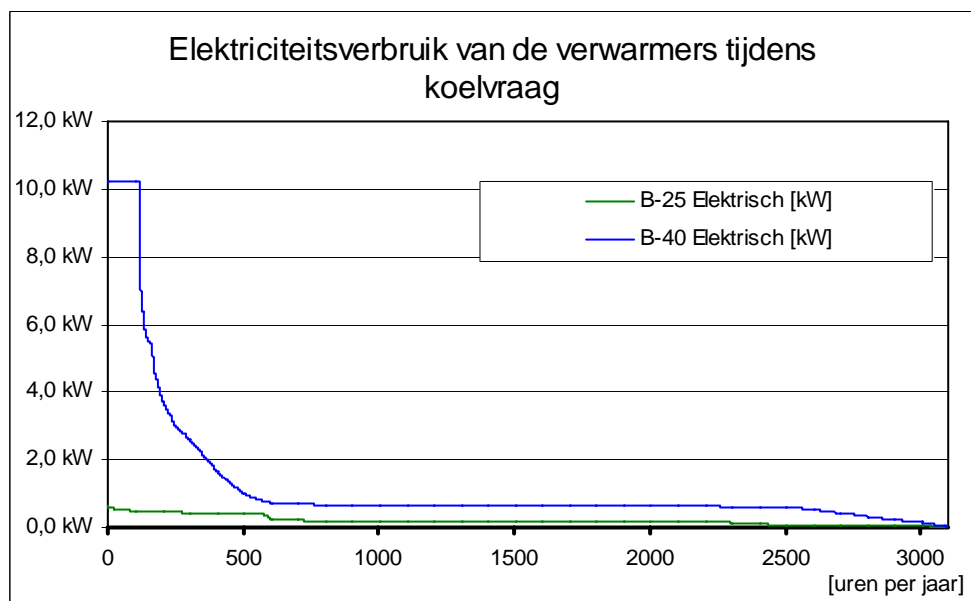
De verbruikte vermogens worden voorgesteld in de volgende duurcurve, voor de tijdsduur waarop de machines werkten tijdens een warmtevraag :



Figuur 24 : Elektriciteitsverbruik van de luchtverwarmers tijdens de warmtevraag

In vergelijking met het lage gasverbruik van de luchtverwarming is de elektrische bijdrage tot de verwarming aanzienlijk. Maar deze is heel sterk gepiekt en beperkt zich voor het merendeel van de tijd tot verbruik dat lager is dan 1 kW.

Deze ventilatoren leveren natuurlijk ook een bijdrage als er zich een koelvraag stelt. Ook in deze gevallen wordt de verwerkte elektriciteit omgezet in warmte, wat dan op deze momenten negatief uitvalt. Deze warmtebijdrage is echter op geen enkele wijze te vermijden. De geleverde vermogens tijdens de koelvraag geven een bijzonder gelijkaardig beeld :



Figuur 25 : Elektriciteitsverbruik van de luchtverwarmers tijdens koelvraag

De piek komt overeen met alle momenten waarop er continu maximum debiet noodzakelijk was, de rest van de curve is sterk afgevlakt en blijft onder de 1 kW.

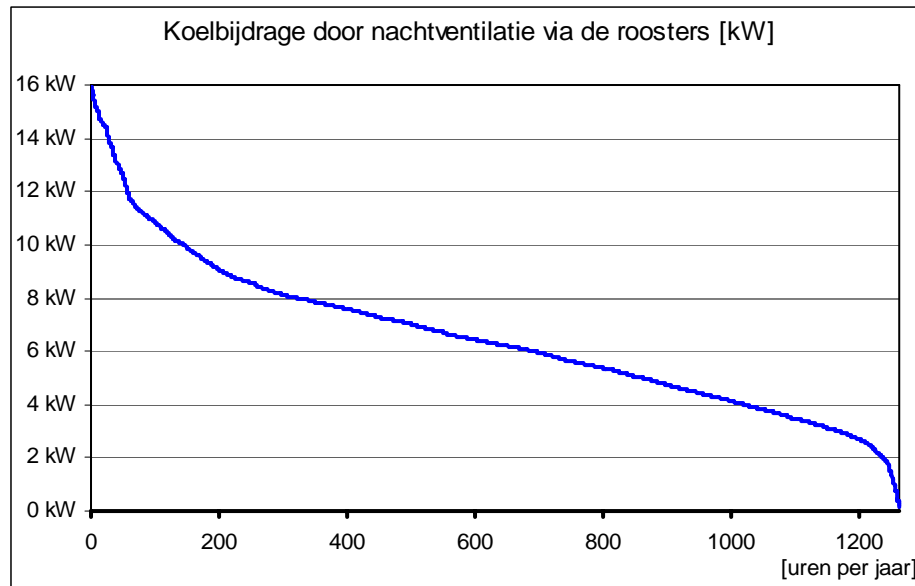
De maandelijkse bijdragen van de luchtverwarming worden samengevat in onderstaande tabel :

Maand	Luchtverwarmers					
	Brink B-25	Brink B-40	Brink B-25		Brink B-40	
	Gasverbruik		Elektriciteitsverbruik [kWh]			
	[kWh]	[kWh]	Tijdens warmtevraag	Tijdens koelvraag	Tijdens warmtevraag	Tijdens koelvraag
okt 2002	282	871	33	26	72	247
nov 2002	1.683	1.987	61	1	47	15
dec 2002	3.718	5.158	140	3	89	12
jan 2003	1.085	4.590	143	15	144	41
feb 2003	369	2.466	136	2	962	37
mrt/ 003	1	1.154	40	25	438	373
apr 2003	0	287	48	48	322	1.800
mei 2003	1	134	21	51	53	203
jun 2003	0	11	138	173	229	279
jul 2003	0	2	79	113	149	246
aug 2003	0	65	30	66	91	242
sep 2003	0	159	17	81	49	314

Tabel 7 : Resultaten van de Luchtverwarmers

4.2.5 Nachtelijke ventilatie

De installatie voorziet een nachtelijke koeling. Een deel van de koelte komt via de serre binnen (openstaande ramen). Een ander deel komt langs de geopende roosters in de westgevel van het kantoorgebouw binnen. Deze roosters worden geregeld met een klok. Ze zijn enkel ingeschakeld 's nachts tijdens de zomermaanden. De geleverde vermogens worden voorgesteld in de volgende grafiek :



Figuur 26 : Vermogenduurcurve voor koeling via nachtventilatie

Deze koelbijdrage bereikt hoge vermogens en is blijkbaar heel efficiënt geweest gedurende de periode dat ze toegepast werd.

Zoals eerder vermeld gebeurt het soms dat de buitenlucht die overdag naar binnen wordt gehaald via de serre, opgewarmd wordt. Indien men deze buitenlucht niet via de serre, maar via de roosters zou nemen, is dit al een extra warmtebijdrage die hiermee vervalst.

4.2.6 Samenvatting van de thermische energiestromen

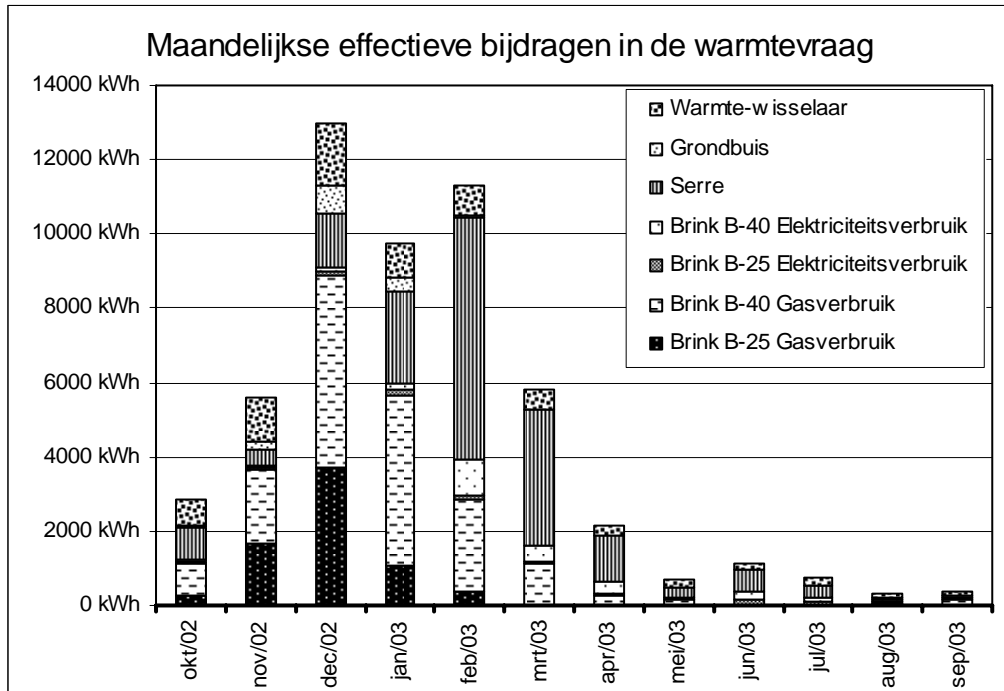
Samenvattend zijn er dus een groot aantal verschillende bijdragen aan de verwarming of de koeling van het kantoor. Als men eerst al de warmtestromen naast elkaar uitzet, dan verkrijgt men de volgende tabel:

Maand	Luchtverwarming				Serre Warmte- voordeel	Grondbuis Warmte- voordeel	Warmte- wisselaar Warmte- voordeel	Totaal Warmte- voordeel
	Brink B-25	Brink B-40	Brink B-25	Brink B-40				
	Gasverbruik		Elektriciteits- verbruik					
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]				
okt 2002	282	871	33	72	849	28	735	2870
nov 2002	1.683	1.987	61	47	394	247	1.187	5607
dec 2002	3.718	5.158	140	89	1.471	744	1.634	12953
jan 2003	1.085	4.590	143	144	2.517	339	944	9762
feb 2003	369	2.466	136	962	6.495	58	796	11283
mrt 2003	1	1.154	40	438	3.624	8	530	5794
apr 2003	0	287	48	322	1.208	7	303	2175
mei 2003	1	134	21	53	250	1	245	704
jun 2003	0	11	138	229	591	0	171	1140
jul 2003	0	2	79	149	298	0	208	736
aug 2003	0	65	30	91	1	4	144	335
sep 2003	0	159	17	49	4	13	111	354
TOTAAL	7.139	16.884	887	2.645	17.701	1.450	7.009	53.713
TOTAAL	13,3%	31,4%	1,7%	4,9%	33,0%	2,7%	13,0%	100,0%

Tabel 8: Samenvatting van de thermische stromen

De totale warmtevraag van het gebouw wordt dus hoofdzakelijk gelenigd door drie grote bijdragen : De luchtverwarming, de serre en de warmtewisselaar. Het is opvallend dat de grootste bijdrage komt van de serre, die een derde van de gevraagde warmte voor z'n rekening neemt.

Deze cijfers geven een volgend verloop :



Figuur 9 : voorstelling van de bijdragen voor de warmtevraag per maand

De vermelde elektrische verbruiken van de luchtverwarming in de bovenstaande tabel, zijn niet de totale verbruiken over het jaar. Deze verbruiken zijn het elektrische verbruik tijdens de periodes dat er een warmtevraag was in het gebouw. Het elektrische verbruik van de verwarming op momenten dat er een koelvraag was, zijn ondergebracht in de warmtenadelen.

Er zijn nog andere onderdelen die warmtenadelen geven. Dit zijn onder meer de serre, de grondbuis en de warmtewisselaars. Alles samengevat geven de warmtenadelen het volgende resultaat :

	Luchtverwarming		Serre	Grondbuis	Warmte-wisselaar	Totaal
	Brink B-25	Brink B-40				
	Elektriciteitsverbruik		Warmte-nadeel	Warmtenadeel	Warmte-nadeel	Te vermijden warmte
Maand	[kWh]	[kWh]				
okt 2002	25,7	247,1	354	15	433	-801
nov 2002	0,9	15,5	20	13	58	-91
dec 2002	2,6	12,4	20	17	47	-85
jan 2003	14,8	40,9	183	36	89	-308
feb 2003	2,4	36,9	25	0	17	-42
mrt 2003	24,5	373,5	472	1	177	-651
apr 2003	47,9	1799,9	485	10	270	-765
mei 2003	50,9	202,6	173	3	203	-379
jun 2003	172,5	279,3	39	1	77	-117
jul 2003	113,4	245,8	116	0	85	-201
aug 2003	66,0	241,6	21	7	76	-103
sep 2003	80,8	314,0	42	55	168	-265

Tabel 10 : Warmtenadelen

De laatste kolom vermeldt de te vermijden hoeveelheid warmte. Dit gaat hier om de som van de warmtenadelen gegenereerd door de grondbuis, de warmtewisselaars en de serre. Deze bijdragen zijn te vermijden door een ingreep in de installatie, door een bypass of door de klep aan de westzijde van het bureau samen met de gebouwinstallatie te regelen.

De warmtenadelen gegenereerd door de ventilatoren van de luchtverwarming zijn strikt genomen een nadeel, maar het is duidelijk dat deze bijdragen onvermijdelijk zijn om een goede werking van de installatie te verzekeren.

Verschillende onderdelen geven ook een nuttig koelvermogen. Voor de nuttige bijdragen aan de koelvermogens krijgt men de volgende gegevens :

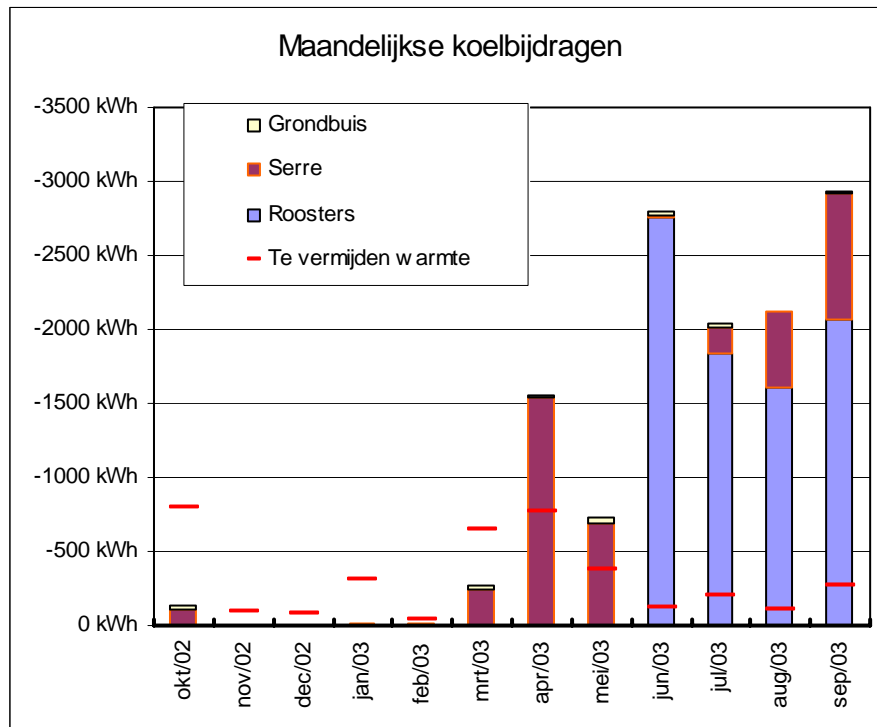
	Roosters	Serre	Grondbuis	Warmte-wisselaar	Totaal
Maand	Westzijde	Koel-voordeel	Koel-voordeel	Koel-voordeel	Koeling
	Koeling				
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
okt 2002	0	103	26	0	129
nov 2002	0	0	0	0	0
dec 2002	0	0	0	0	0
jan 2003	0	15	0	0	15
feb 2003	0	12	0	0	13
mrt 2003	0	245	20	0	264
apr 2003	0	1.538	20	0	1.558
mei 2003	0	689	34	0	724
jun 2003	2.753	12	35	0	2.800
jul 2003	1.843	172	32	0	2.046
aug 2003	1.605	516	4	0	2.124
sep 2003	2.070	853	8	0	2.930
Totaal	8.270	4.155	179	0	12.604
Totaal	65,6%	33,0%	1,4%	0,0%	100,0%

Tabel 11 : Nuttig geleverde koelvermogens

De bijdrage van de nachtcooling via de roosters staat dus in voor 66% van het geleverde koelvermogen. De bijdrage van de serre, die in feite vergelijkbaar is aan die van de nachtventilatie alleen is de serre niet geregeld door een klok, vervolledigt het koelvermogen tot 98,6%. Indien deze ventilatie allemaal via het rooster in de Westzijde zou kunnen gebeuren, zou deze koeling nog effectiever zijn. De koelbijdrage van de grondbuis is mede door zijn onafhankelijk gedrag haast verwaarloosbaar.

Als deze koelvermogens worden voorgesteld ten opzichte van de maandelijkse warmtenadelen, dan geeft de figuur een indruk van welke hoeveelheid van de gegenereerde koeling eigenlijk verbruikt wordt om warmte weg te koelen die door een aanpassing aan de installatie vermeden had kunnen worden.

Grafisch worden deze getallen voorgesteld in de volgende figuur :



Figuur 27 : Voorstelling van de maandelijkse koelvermogens

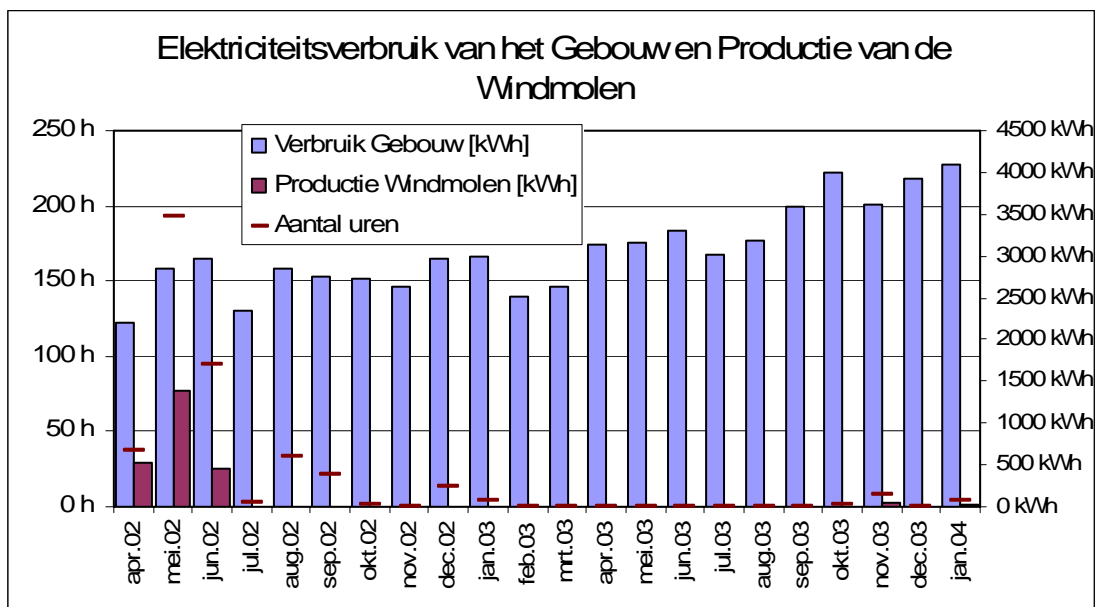
Er zijn dus verschillende maanden waarbij de extra warmte die vermeden had kunnen worden, niet echt groot is. Op andere maanden is die echter aanzienlijk ten opzichte van de gegenereerde koelvermogens.

In totaal wordt er 3.809 kWh te vermijden warmte gegenereerd, wat overeenkomt met 30,2% van de jaarlijks gegenereerde koelenergie.

4.3 Elektrische energie: de windmolen

De windmolen is sinds 26 april 2002 operationeel. Voordien lag de molen stil omdat de geluidsisolatie in de gondel was losgekomen en zo de spil blokkeerde. Vanaf half juni 2002 heeft de molen nauwelijks nog gedraaid. De reden hiervoor is dat de omwonenden klachten wegens geluidsoverlast hebben ingediend.

De volgende figuur vergelijkt de maandelijkse elektriciteitsproductie van de windmolen met het maandelijks verbruik van het kantoor. Van 26 april tot 16 juni 2002 produceerde de molen in totaal 2.373 kWh elektriciteit tegenover een verbruik in het kantoor van 4.808 kWh gedurende dezelfde periode. Wanneer de molen dus operationeel was, dekte hij 49,4% van het verbruik tijdens dezelfde periode. Deze operationele periode is echter te kort om als representatief beschouwd te worden. De rest van de tijd dat het gebouw werd gevolgd, heeft de molen nauwelijks meer gedraaid. De molen draaide nog enkele uren in de laatste maanden van 2003, maar de productie bleef zeer laag. Meestal werd de molen stilgelegd door technische problemen of door klachten van de omwonenden.



Figuur 28 : Elektriciteitsverbruik en - productie

De totale verbruiken en producties zijn terug te vinden in de volgende tabel :

Datum	Verbruik Gebouw [kWh]	Productie Windmolen [kWh]	Aantal draaiuren van de windmolen
apr 2002	2.205,01	528,20	37,8 h
mei 2002	2.843,29	1.384,05	193,0 h
jun 2002	2.969,74	460,73	94,3 h
jul 2002	2.352,87	0,38	2,5 h
aug 2002	2.841,80	9,62	32,8 h
sep 2002	2.740,96	5,56	21,3 h
okt 2002	2725,80	0,08	1,3 h
nov 2002	2.629,99	0,00	0,0 h
dec 2002	2.968,40	6,07	13,5 h
jan 2003	3.003,21	4,13	3,8 h
feb 2003	2.505,53	0,00	0,0 h
mrt 2003	2.632,00	0,00	0,0 h
apr 2003	3.141,45	0,00	0,0 h
mei 2003	3.148,28	0,00	0,0 h
jun 2003	3.303,49	0,00	0,0 h
jul 2003	3.005,70	0,00	0,0 h
aug 2003	3.172,30	0,00	0,0 h
sep 2003	3.593,71	0,00	0,0 h
okt 2003	3.985,49	3,50	0,8 h
nov 2003	3.624,27	47,48	8,5 h
dec 2003	3.915,80	0,00	0,0 h
jan 2004	4.096,77	18,07	3,8 h

Tabel 12 : Maandelijks elektriciteitsverbruik en -productie

5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN REDUCTIE VAN DE CO₂-EMISSIE

5.1 Vergelijkingsbasis

Om de voordelen van de toegepaste technieken te analyseren, moeten er referentiescenario's vastgelegd worden.

5.1.1 Thermische energiestromen

Het referentiescenario bestaat nu uit hetzelfde kantoorgebouw, maar dan zonder:

- serre;
- nachtelijke ventilatie;
- grondbuis;
- warmtewisselaar

en met een klassieke verwarming met een jaarrendement van 80%.

Om het verschil van de huidige met de referentiesituatie te bepalen, wordt er van een black box-model vertrokken. De zone van de black box, het controlevolume dus, is weergegeven in Figuur 6 op p.14. Alle verschillende bijdragen in warmte-energie die door de verschillende onderdelen van de installatie worden gegenereerd zijn bepaald onder hoofdstuk 4.

Deze referentie-energiebehoefte moet voorzien worden door ofwel een ketel met een jaarrendement van 80%, ofwel een koelgroep met een koudefactor van 2. Het referentie-brandstofverbruik voor verwarming bedraagt dan:

$$Q_{\text{ref,br}} = \frac{Q_{\text{ref},>0}}{80\%}$$

en het referentie-elektriciteitsverbruik voor de koeling bedraagt:

$$E_{\text{ref,koel}} = \frac{Q_{\text{ref},<0}}{2}$$

Het referentie-primair energiegebruik wordt:

$$Q_{\text{ref,prim}} = Q_{\text{ref,br}} + \frac{E_{\text{ref,koel}}}{44\%}$$

waarbij het gemiddeld rendement van een elektriciteitscentrale op 44% wordt verondersteld.

Om de ventilatie te bewerkstelligen, verbruiken de ventilatoren bij Oxfam extra elektriciteit ten opzichte van het referentiescenario. Het elektriciteitsverbruik van de Brink Allures wordt on-line gemeten. Het elektriciteitsverbruik van de warmtewisselaars moet niet in rekening gebracht worden aangezien de sanitaire ventilatie, zonder warmtewisselaar weliswaar, ook in het referentiescenario noodzakelijk is.

De dakventilator die ingeschakeld wordt tijdens de nachtventilatie wordt op 750 W elektrisch geschat. Aan de andere kant zal de verwarmingsinstallatie in de referentiesituatie ook elektriciteit verbruiken. Dit is noodzakelijk voor pompen en regelapparatuur. Het correcte verbruik van zo'n referentie-installatie is natuurlijk onbekend. Maar het verbruik zal jaarlijks toch meer zijn dan de noodzakelijke elektriciteit voor de dakventilator. Het is dus een aanvaardbare conservatieve aanname om het verbruik van de dakventilator niet mee

te rekenen in vergelijking met een referentie-installatie waarvan men het elektriciteitsverbruik niet meerekent.

De CO₂-besparing door de speciale ventilatietechnieken volgt uit:

$$\Delta C_{\text{vent}} = 56,10 \text{ [kg/GJ]} \cdot (Q_{\text{ref,br}} - Q_{\text{br}}) + 0,624 \text{ [kg/kWh}_{\text{el}}] \cdot (E_{\text{ref,koel}} - E_{\text{vent}})$$

waarbij aardgas als brandstof wordt gebruikt.

De relatieve CO₂-besparing dankzij de ventilatietechnieken wordt berekend als:

$$\delta C_{\text{vent}} = \frac{\Delta C_{\text{vent}}}{56,10 \text{ [kg/GJ]} \cdot Q_{\text{ref,br}} + 0,624 \text{ [kg/kWh}_{\text{el}}] \cdot E_{\text{ref,koel}}}$$

De invloed van doorgedreven isolatie op maandbasis bepalen is onbegonnen werk. Verder wordt het globale energieverbruik van het gebouw wel vergeleken met dit van een gemiddeld Vlaams kantoorgebouw van vergelijkbare grootte.

5.1.2 Windmolen

Voor de windmolen is de referentiebasis evident: dit is de situatie waarin er geen windmolen aanwezig is en dus dat alle elektriciteit die Oxfam verbruikt aangekocht moet worden. De energiebesparing dankzij de windmolen staat dan gelijk aan de totale productie van de windmolen. De primaire energiebesparing is vervolgens gelijk aan de elektriciteitsproductie van de windmolen, gedeeld door het gemiddeld rendement van de elektriciteitscentrales (hiervoor wordt 44% genomen):

$$Q_{\text{wind,prim}} = \frac{E_{\text{wind,elek}}}{44\%}$$

De procentuele primaire energiebesparing is dan:

$$\delta Q_{\text{prim,wind}} = \frac{E_{\text{wind,elek}}}{E_{\text{verbruik}}}$$

Voor de berekening van de CO₂-reductie wordt als gemiddelde CO₂-uitstoot van het elektriciteitsproductiepark 624 kg/kWh verondersteld (excl. kerncentrales). De CO₂-reductie ten gevolge van de windmolen is dan:

$$\Delta C_{\text{wind}} = 0,624 E_{\text{wind,elek}}$$

De procentuele CO₂-reductie bedraagt ten opzichte van de referentiesituatie (zonder windmolen dus) wordt gegeven door:

$$\delta C_{\text{wind}} = \frac{\Delta C_{\text{wind}}}{0,624 \text{ [kg/kWh}_{\text{el}}] \cdot E_{\text{verbruik}}} = \frac{E_{\text{wind}}}{E_{\text{verbruik}}} = \delta Q_{\text{prim,wind}}$$

5.2 Resultaten

De resultaten die hieronder weergegeven zijn, werden berekend volgens voorgaande formules. Merk op dat de werkelijke besparing ten opzichte van de referentiesituatie nog hoger is dan uit de berekeningen volgt omdat men indien er een airconditioning-installatie aanwezig was, de ruimtetemperatuur sterker zou laten dalen (psychologisch effect).

Voor de periode van oktober 2002 tot september 2003 werden volgende besparingen bekomen:

OXFAM GEBOUW			
	Energieverbruik	Primair energieverbruik	CO₂-uitstoot
Gasverbruik	24.023 kWh	86.483 MJ _{prim}	4.852 kg
Elektrisch verbruik	35.830 kWh _{el}	293.154 MJ _{prim}	22.358 kg
waarvan voor ventilatoren:	7.944 kWh _{el}	64.996 MJ _{prim}	4.957 kg
	Totaal	379.637 MJ_{prim}	27.210 kg
REFERENTIESITUATIE			
	Netto Energieverbruik	Primair energieverbruik	CO₂-uitstoot
Verwarmingsenergie	53.715 kWh	241.718 MJ _{prim}	13.560 kg
Koelenergie	12.604 kWh		
komt overeen met	6.302 kWh _{el}	51.562 MJ _{prim}	3.932 kg
Elektrisch verbruik	27.886 kWh _{el}	228.158 MJ _{prim}	17.903 kg
	Totaal	521.438 MJ_{prim}	35.395 kg
BESPARING			
		Primaire energiebesparing	CO₂-besparing
Besparing ten opzichte van de referentiesituatie		141.801 MJ_{prim} δQ_{prim} = 27,2 %	8.185 kg δC_{vent} = 23,1 %
WINDENERGIE van Oktober 02 t/m September 03			
Geleverde windenergie	10,28 kWh	84,11 MJ_{prim}	6,41 kg
Verbruik	33.764 kWh	δE_{prim} = 0,03 %	δC_{wind} = 0,03 %
Windenergie van 26 April 2002 tot 31 Januari 2004			
Geleverde windenergie	2.468 kWh	20.193 MJ_{prim}	1.540 kg
Verbruik	65.340 kWh	δE_{prim} = 3,78 %	δC_{wind} = 3,78 %

5.3 Vergelijking van het OXFAM-gebouw met standaard kantoorgebouwen

Om het energieverbruik van verschillende kantoren met elkaar te vergelijken, kan men teruggrijpen naar zeer algemene indicatoren. De meest courante indicatoren beschrijven het totaal of gedeeltelijk energieverbruik per m² kantooroppervlakte.

De beschikbare oppervlakte bij het OXFAM-gebouw bedraagt maximaal 1.009 m².

De verbruiken voor het gebouw zijn :

- Verbruik voor verwarming per jaar : 24.023 kWh/jaar
- Elektrisch verbruik : 35.830 kWh_{el}

Verbruik voor HVAC-installatie : 7.944 kWh_{el}

Om een vergelijkbare basis te zijn moeten deze kengetallen veranderd worden rekening houdende met de volgende factoren :

- Het Oxfam-gebouw wordt aan één kant begrensd door het magazijn. Gezien de hogere temperaturen in het magazijn t.o.v. de buitenlucht, moet het jaarlijks verwarmingsverbruik aangepast worden tot het equivalente voor een gebouw met 4 open gevels.
- Het verwarmingsverbruik wordt herrekend naar de normaalgraaddagen.

5.3.1 Herrekening tot een equivalent verbruik voor een gebouw met 4 open gevels

Het verbruik voor het Oxfamgebouw moet herrekend worden naar een equivalent verbruik voor hetzelfde gebouw indien het vier open gevels zou hebben.

Momenteel kan het warmteverbruik gedurende een uur geschreven worden als :

$$q_k \text{ [J/h]} = (A_{\text{Dak}} \times U_{\text{Dak}} + A_{\text{Gevel}} \times U_{\text{Gevel}} + A_{\text{Vloer}} \times U_{\text{eq. vloer}}) \times (T_{i,k} - T_{e,k}) \\ + (A_{\text{Mag}} \times U_{\text{Mag}}) \times (T_{i,k} - T_{\text{Mag},k}) \\ + V_{\text{verse lucht}} \times \rho c \times (T_{i,k} - T_{e,k})$$

Voor het equivalente gebouw is dit uurlijks energieverbruik :

$$q_{\text{Eq},k} \text{ [J/h]} = (A_{\text{Dak}} \times U_{\text{Dak}} + A_{\text{Gevel}} \times U_{\text{Gevel}} + A_{\text{Vloer}} \times U_{\text{eq. vloer}}) \times (T_{i,k} - T_{e,k}) \\ + (A_{\text{Mag}} \times U_{\text{Gevel}}) \times (T_{i,k} - T_{e,k}) \\ + V_{\text{verse lucht}} \times \rho c \times (T_{i,k} - T_{e,k})$$

Hierdoor wordt het equivalente energieverbruik voor een gebouw met 4 gevels :

$$Q_{\text{Eq}} = Q + A_{\text{Mag}} \times ((U_{\text{Gevel}} - U_{\text{Mag}}) \times \bar{T}_i - U_{\text{Gevel}} \times \bar{T}_e + U_{\text{Mag}} \times \bar{T}_{\text{Mag}})$$

Waarbij :

- Q = het huidige energieverbruik van het gebouw [kWh/jaar]
- A_{Mag} = het oppervlakte van de muur tussen het kantoor en het magazijn
- U_{Mag} = de gemiddelde U-waarde van de muur tussen het kantoor en het magazijn
- U_{Gevel} = de gemiddelde U-waarde van de buitengevels van het kantoor
- \bar{T}_x = de gesommeerde uurgemiddelde temperatuur tijdens warmtevraag [Kh/jaar]

Voor T_i, T_e, en T_{Mag} geldt : $\bar{T}_x = \sum_{k=1}^{8760} T_{x,k}$ voor alle k waarbij er een warmtevraag is.

Uitgewerkt voor deze situatie verkrijgt men een extra warmtevraag van $Q_{Eq} - Q = 1.153,3$ kWh/jaar

Daaruit volgt dat een equivalent gebouw met 4 gevels een verbruik zou hebben van 25.176 kWh/jaar.

5.3.2 Normalisatie naar de graaddagen

De beschouwde periode loopt van oktober 2002 tot september 2003.

De volgende tabel geeft het overzicht van de gemeten graaddagen over deze periode.

	Graaddagen
okt 2002	144,8
nov 2002	186,0
dec 2002	330,4
jan 2003	397,7
feb 2003	327,6
mrt 2003	291,4
apr 2003	164,0
mei 2003	99,0
jun 2003	1,0
jul 2003	4,0
aug 2003	8,0
sep 2003	68,0
totaal	2021,9

Tabel 13 : graaddagen voor de beschouwde periode

Het aantal normale graaddagen per jaar is 2.074,3.

Het beschouwde verbruik hiervoor aanpassen levert een genormaliseerd verbruik op van 25.828 kWh/jaar.

5.3.3 Vergelijking met andere kantoorgebouwen

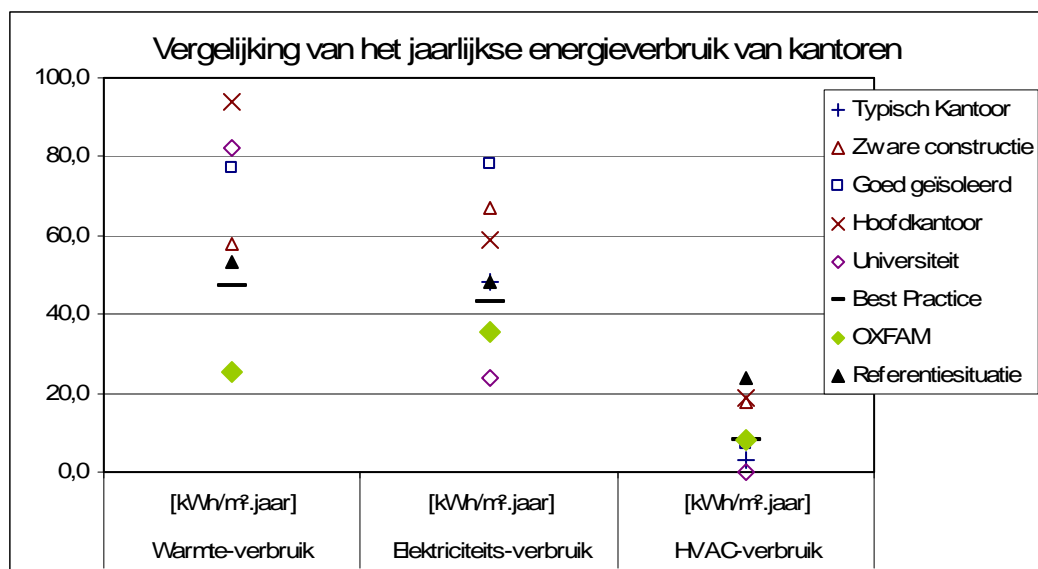
Hieruit krijgt men drie indicatoren :

- Verbruik voor verwarming per jaar : 25.828 kWh/jaar of 25,6 kWh/m².jaar
- Elektrisch verbruik : 35.830 kWh_{el} of 35,51 kWh/m².jaar
- Verbruik voor HVAC-installatie : 7.944 kWh_{el} of 7,87 kWh/m².jaar

Om deze getallen te kunnen beoordelen, zijn er gegevens beschikbaar van andere kantoorgebouwen. De volgende tabel geeft een overzicht van kantoorgebouwen met verschillende eigenschappen uit verschillende Europese landen⁵ :

Bureau	Land	Leeftijd	Grootte	HVAC Type	Warmte-verbruik	Elektriciteits-verbruik	HVAC-verbruik
-	-	-	[m ²]	-	[kWh/m ² .jaar]		
Typisch Kantoor	UK	oud	klein	Natuurlijke Ventilatie	200,0	48,0	3,0
Zware constructie	UK	1989	1350	Mechanische ventilatie	58,0	67,0	18,0
Goed geïsoleerd	UK	1985	2240	Natuurlijke Ventilatie	77,0	78,0	7,0
Hoofdkantoor	NL	1990	14450	Airco	94,0	59,0	19,0
Universiteit	SW	1986	8100	Mechanische ventilatie	82,0	24,0	/
Best Practice	EU	1995	/	Best Practise	47,0	43,0	8,0
OXFAM	BE	2002	1009	Combinatie	25,6	35,5	7,9
Referentiesituatie	BE	2002	1009	Standaard Airco	53,2	48,1	24,0

Tabel 14 : Energieverbruik-indicatoren voor verschillende gebouwen



Figuur 29: Vergelijking van het energieverbruik tussen verschillende kantoren

De verschillende gegevens voor de specifieke kantoorgebouwen komen uit voornoemde referentie. Dit is een studie over energetisch efficiënte kantoorgebouwen. De cijfers

⁵ CADDET, Energy efficient HVAC Systems in Office Buildings, ISBN 90-72647-20-3; Lennart; 1995

vertegenwoordigen standaard verbruiken voor kantoren van een dergelijk type. Er zijn vanzelfsprekend grote verschillen in de verschillende waarden, al naargelang de leeftijd de graad van isolatie en het type installatie.

Gebouwen die rekenen op natuurlijke ventilatie kunnen een hoog verbruik noteren voor verwarming, maar zullen slechts een heel miniem verbruik noteren voor HVAC of pompen. Het verbruik voor HVAC in het geval van mechanische ventilatie, is nog altijd veel lager dan de standaard installatie waar er gebruik wordt gemaakt van actieve koeling en airconditioning.

De Best Practices refereren naar opgestelde waarden voor een “Performance Specifications for the Energy efficient Office of the Future”⁶. Het HVAC-verbruik refereert enkel naar het elektrisch verbruik van pompen en ventilatoren, aangezien wordt verondersteld dat een goed ontwerp een actieve koeling niet noodzakelijk maakt. Deze waarden zijn dus een haalbare maar een optimale situatie wat betreft energieverbruik. De specificaties zijn voor een standaard kantoor ook te streng.

De vergelijking tussen de verschillende cijfers geeft een goed beeld van de prestaties van het OXFAM-gebouw.

De verwarming van het OXFAM-gebouw is duidelijk zeer energie-efficiënt.

Het jaarlijkse elektriciteitsverbruik is duidelijk vergelijkbaar en zelfs beter dan andere energie-efficiënte kantoorgebouwen. De installaties op zich zijn dus goed uitgevoerd. Het ontbreken van een complete HVAC-installatie draagt hier zeker toe bij. Deze prestatie zou merkkelijk verbeteren indien de windmolen operationeel zou zijn.

Het verbruik voor HVAC is eveneens vergelijkbaar met energie-efficiënte alternatieven. De enige mogelijkheid die in dit opzicht minder energie zou verbruiken, is natuurlijke ventilatie, maar dit is voor het OXFAM-gebouw geen directe optie.

De weergegeven verbruiken voor de “referentiesituatie” zijn de verbruiken van de referentiesituatie opgesteld onder 5.1. Dit is de situatie waarmee het verbruik van OXFAM werd vergeleken, en waarmee de feitelijke winst door de installaties werd becijferd.

Het is heel opvallend dat ook de referentiesituatie heel goed scoort. Wat betreft het energieverbruik voor verwarming is ook deze prestatie vergelijkbaar met de Best Practice. Het verbruik voor HVAC is lichtelijk meer, maar het behoort zeker tot de meer zuinige alternatieven. Dit is zeker zo als men bemerkt dat hierbij een verbruik voor actieve koeling en airconditioning in rekening werd gebracht. Het verbruik voor de actieve koeling heeft duidelijk zijn effect als men enkel het energieverbruik voor de HVAC bekijkt, waarbij het jaarlijks verbruik voor HVAC van de referentiesituatie hoger dan de meeste alternatieven ligt, en op een vergelijkbare hoogte met andere airco-oplossingen.

Om hiermee terug te komen op de vergelijkingsbasis voor de prestaties van het OXFAM-gebouw onder 5.1 en 5.2, betekent dit dat de ‘referentiesituatie’ helemaal niet representatief is voor het traditioneel Europees kantoor. De energetische prestaties van de referentiesituatie zijn ronduit beter dan de gemiddelde bestaande kantoorgebouwen. De vergelijking van de jaarlijkse verbruiken en de resulterende winst van de installaties van OXFAM zijn dan ook streng berekend. De sterke prestaties van de referentiesituatie zijn te verklaren door het feit dat om deze situatie op te stellen, men het gebouw van OXFAM zelf

⁶ The Energy efficient Office of the Future, A Performance Specification for the Energy Efficient Office of the Future, Report 30, Best Practice Program, Crown Publishers

behouden heeft, en enkel de installaties denkbeeldig heeft vervangen door standaard installaties.

De referentiesituatie heeft in zich dus twee belangrijke kenmerken die energiebesuinigend werken :

- Het gebouw zelf is heel sterk geïsoleerd ontworpen, en de compactheid van het ontwerp is doelbewust hoog gehouden.
- De bestaande situatie heeft een gebouwinstallatie die bepaalde verwarmings- of koelvermogens genereert. Op basis van deze vermogens werd ook de standaardinstallatie berekend voor de referentie. Maar diezelfde vermogens zijn niet groot genoeg om een optimaal binnenklimaat voor het gebouw te garanderen. Illustratief hiervoor zijn de gevaren voor oververhitting in de zomer, het lage debiet verse lucht, en de gevaren voor een te frisse binnentemperatuur in de winter.

Dit gebouw en deze binnencondities worden gelijk verondersteld in de referentiesituatie, waardoor het uiteindelijk energieverbruik lager uitvalt. Indien men effectief de installatie zou vervangen door een courante airco-installatie, dan zou het energieverbruik veel hoger zijn. Men zou meer en vaker verwarmen in de winter en vooral veel vaker koelen in het tussenseizoen en in de zomer. Daardoor zou de binnentemperatuur binnen veel nauwere grenzen worden gehouden ten koste van een hoger energieverbruik.

Hierna wordt dus de vergelijking van 5.2 hernomen, maar hier als vergelijking met een standaard kantoorgebouw.

OXFAM GEBOUW			
	Energieverbruik	Primair energieverbruik	CO₂-uitstoot
Gasverbruik	25.828 kWh _{th}	92.981 MJ _{prim}	5.216 kg
Elektrisch verbruik	35.830 kWh _{el}	293.154 MJ _{prim}	22.358 kg
waarvan voor ventilatoren:	7.944 kWh _{el}	64.996 MJ _{prim}	4.957 kg
	Totaal	379.637 MJ_{prim}	27.210 kg
STANDAARD KANTOOR			
	Standaard kantoorgebouw	Primair energieverbruik	CO₂-uitstoot
Verwarmingsenergie	130 kWh/m ² .jaar	472.212 MJ _{prim}	26.490 kg
Koelenergie	20 kWh _{el} /m ² .jaar	20.180 kWh	
Totaal Elektrisch verbruik	60 kWh _{el} /m ² .jaar	495.327 MJ _{prim}	37.777 kg
	Totaal	967.539 MJ_{prim}	64.267 kg
BESPARING			
		Primaire energiebesparing	CO₂-besparing
Besparing ten opzichte van standaard kantoor		587.902 MJ_{prim} δQ_{prim} = 60,8 %	37.057 kg δC_{vent} = 57,7 %

6 ECONOMISCHE EVALUATIE

In het kader van de ANRE-demonstratieprojecten, werd voor het OXFAM-gebouw een subsidie toegekend. De in het aanvraagdossier vermelde bedragen werden te hoog bevonden, en daarom werd besloten om het kantoor te steunen enkel wat betreft de innovatieve aspecten.

Het project wordt dus beschouwd als een pilootproject in zijn geheel, en niet door de toepassing van één enkele vernieuwende maatregel. De economische evaluatie beschouwt dan ook het gebouw als geheel ten opzichte van een standaard kantoorgebouw, analoog zoals de bespreking onder paragraaf 5.3.

Voor de toekenning van de subsidie werden innovatieve aspecten beschouwd in de volgende onderdelen :

Voorbereiding		Ontwerpkosten algemeen	24%
		Ontwerpkosten windmolen	100%
aanbesteding 1	lot 2	buitenisolatie en vloerisolatie	50%
	lot 3	timmerwerken, dakconstructie en houtwerk	50%
	lot 4	dak- en gevelbekleding	50%
	lot 5	buitenschrijnwerk	100%
aanbesteding 2	lot 2	stenen, vloer en faience	10%
	lot 3	Binneninrichting	50%
aanbesteding 3	lot 6	sanitair: zonnepaneel + naverbranding	30% - 100%
	lot 7	verwarming en verluchting (behalve zonnewering)	30% - 100%
aanbesteding 6		Windmolen	100%

Tabel 15 : Onderverdeling van innovatieve aspecten

In totaal gaf dit een subsidieerbaar bedrag van 11.829.000 BEF, ofwel 293.233 €.

De subsidie werd nog niet toegekend voor de windmolen, waardoor dit bedrag verminderde met 2.845.000 BEF of 70.526 €.

Hierdoor kwam het totale bedrag van de subsidie op 35% van 8.984.000 BEF, wat gelijk is aan 3.144.400 BEF of 77.948 €.

De prijzen waaraan OXFAM momenteel zijn energie aankoopt, staat vermeld in onderstaande tabel.

Energieprijzen		
Aardgas	0,0231387	€/kWh
Elektriciteit	0,056	€/kWh

Tabel 16 : Energieprijzen voor Oxfam

De meerinvestering voor dit gebouw komt neer op 293.233 €. Dit bedrag moet verminderd worden met verschillende bijdragen. De grootste vermindering is uiteraard de meerinvesteringen ten gevolge van de installatie van de windmolen. Deze wordt in de economische evaluatie niet beschouwd.

Daarbij moet ook een vermeden investering worden gerekend. Het gebouw van Oxfam is een ecologisch verantwoord kantoorgebouw, onder andere door de doorgedreven isolatie en door de vernieuwende technieken die werden toegepast. Om dit te verwezenlijken, werd een meerkost betaald zoals hierboven beschreven. Maar indien er een standaard kantoor zou

worden gebouwd, zou ook een investering voor een extra koelgroep noodzakelijk zijn. Aangezien het heel moeilijk te bepalen is welk vermogen hiervoor zou noodzakelijk zijn, werd er beslist om de vergelijkingsbasis redelijk streng op te vatten en slechts een kleine koelgroep te beschouwen. Het maximale koelvermogen van de installaties in dit gebouw leveren samen niet meer dan 30 kW. Voor de begroting van deze vermeden investering werd een indicatieve prijs gegeven, rekening houdende met bijkomende kosten voor aansluiting op de bestaande luchtbehandelinginstallatie, in onderstaande tabel.

Vergelijking van het OXFAM-gebouw met de standaard situatie		
Meerinvestering	222.708 €	
Vermeden investering extra koelmachine 15 kW	9.000 €	
subsidie, 35%	77.948 €	

Energiewinsten		
Vermindering in Warmtevraag	46.607	kWh/jaar
Verminderen in Elektriciteitsverbruik	24.710	kWh/jaar
Winst	2.731,8	€/jaar

Terugverdientijd zonder subsidie	78,2	jaar
Terugverdientijd met subsidie	49,7	jaar

Tabel 17 : Resultaten economische evaluatie

7 BESLUIT

Dit rapport beschrijft de resultaten van de opvolging van de energiestromen in het bedrijfsgebouw van Oxfam Wereldwinkels in Gent. In dit gebouw werden metingen verricht vanaf 31 mei 2002 tot 05 februari 2004. Hierbij werden verschillende energiestromen gemeten, zowel gas- en elektriciteitsverbruik als verschillende temperaturen in het gebouw en in verschillende onderdelen van de technische installatie.

Het gebouw is een complex samenspel van verschillende componenten. Er is eerst en vooral een groot aantal passieve maatregelen, zoals de doorgedreven isolatie van alle onderdelen van de gebouwschil en energiezuinige verlichtingen en toestellen. Daarnaast zijn een enkele installatieonderdelen aan elkaar gekoppeld.

Als men totale het energieverbruik bekijkt, is het Oxfam-gebouw een geslaagd energiezuinig gebouw. Dit komt duidelijk tot uiting na vergelijking van de resultaten met andere kantoorgebouwen en met moderne standaarden voor efficiënte kantoorgebouwen. De grote zorg voor de isolatie van het gebouw en de doordachte vormgeving werpen dus blijkbaar hun vruchten af.

Dit mooie resultaat weerspiegelt niet zomaar een heel zuinig gebouw dat dezelfde prestaties heeft als een standaard kantoorgebouw.

De installatie bij Oxfam heeft het moeilijk om het binnenklimaat continu onder controle te houden. Dit kan misschien gedeeltelijk verklaard worden door interne tegenwerkingen binnen de technische installaties. Door aanpassingen aan de huidige installatie zou het mogelijk moeten zijn om het binnencomfort een deel te verhogen, zonder dat dit desastreuze gevolgen moet hebben voor het jaarlijkse energieverbruik.

In het algemeen kan men stellen dat de binnentemperatuur in het gebouw niet altijd op de gewenste comforttemperatuur gehouden kan worden. Er zijn langere periodes gedurende de wintermaanden waarin de temperatuur niet boven de 20 °C uitstijgt. Tijdens de zomermaanden en een enkele keer tijdens het tussenseizoen, is er dan weer een gevaar voor oververhitting.

Daarnaast is de hoeveelheid verse lucht die door de installatie wordt aangevoerd zelden voldoende. Het is dan ook logisch dat Oxfam besloot om een extra luchtverversingsunit te installeren in het najaar van 2003. Deze unit werkt onafhankelijk van de bestaande installatie en werd ook niet beschouwd in dit rapport.

De grondbuis slaagt erin om het debiet verse lucht verschillende graden op te warmen dan wel af te koelen naargelang het seizoen. In de winter werd een maximale temperatuursverhoging vastgesteld van 11,4 °C, terwijl in de zomer een maximale temperatuursdaling werd vastgesteld van 5,7°C. Er is echter het probleem dat de timing van de warmtevraag of de koelvraag van het gebouw niet exact overeenstemt met de seizoenen. De grondbuis werkt samen met de warmtewisselaars onafhankelijk van de rest van de installatie. Wanneer er een warmtevraag is in het gebouw, zorgt de grondbuis voor voorverwarming gedurende 62,1% van de tijd. Wanneer koeling nodig was, zorgde de grondbuis slecht gedurende 57% van de tijd voor koeling. De andere momenten was de werking tegengesteld aan de vraag van het gebouw. Gedurende de periode van oktober 2002 tot september 2003 heeft de grondbuis toch een nuttige bijdrage van 1.450 kWh geleverd aan de warmte, wat overeenstemt met 2,7% van de totale nuttige warmte. Gedurende

dezelfde periode voorzag de grondbuis in 179 kWh nuttige koelte, ofwel 1,4% van de totaal geleverde nuttige hoeveelheid.

De warmtewisselaars zijn met de grondbuis verbonden, en bepalen ook het debiet dat door de grondbuis wordt aangezogen. De warmtewisselaars brengen de warmte van de extractielucht vanuit het kantoor over op het debiet verse lucht. Aangezien deze installaties niet voorzien zijn van een bypass, wordt deze warmte ook continu overgedragen, ook tijdens momenten wanneer deze warmte ongewenst is. Tijdens de momenten dat de warmtewisselaar in werking was, heeft deze dan ook continu de verse lucht opgewarmd. Deze opwarming deed de nuttige koelbijdrage van de grondbuis volledig teniet.

Gedurende de periode van oktober 2002 tot september 2003 hebben de warmtewisselaars 7.009 kWh nuttige warmte geleverd, wat overeenkomt met 13% van het totaal. De warmtewisselaars hebben geen nuttige koelte geleverd.

De serre werd gedurende de opvolgingsperiode veelvuldig gebruikt. De benutting van de zonnearmte zorgde voor een grote bijdrage aan de totale energiebalans van het gebouw. Gedurende dezelfde periode zorgde de serre voor een totale hoeveelheid nuttige warmte van 17.701 kWh wat overeenkomt met een gedeelte van de totale warmtevraag van 33,0%.

De installatie heeft de mogelijkheid om de serreramen te openen, en om op deze manier frisse buitenlucht te voorzien. Op deze wijze gaf de serre een nuttige koelbijdrage van 4.155 kWh, wat eveneens overeenkomt met 33% van het totale nuttig geleverde koelvermogen.

De installatie staat echter niet toe om koele lucht overdag via het buitenrooster in de Westzijde van het gebouw binnen te trekken. Overdag wordt de buitenlucht via de openstaande ramen in de serre binnengezogen. Hierdoor wordt deze lucht soms een enkele graad opgewarmd vooraleer in het kantoor te worden geblazen. Deze niet gewenste warmtebijdrage zou door een andere regeling van het gebouw vermeden kunnen worden.

In het algemeen zijn er dus verschillende momenten waarop de werking van de verschillende componenten niet optimaal is. Een eerste effect daarvan is de hoeveelheid geleverde overbodige warmte. Deze wordt geleverd door hoofdzakelijk drie componenten op momenten dat er een koelvraag in het gebouw heerst. In totaal werd er gedurende het jaar 3.809 kWh overbodige warmte geleverd, wat overeenkomt met 30,2% van het totaal geleverde koelvermogen. Afzonderlijk is de grondbuis verantwoordelijk voor 4,2% van deze hoeveelheid, de warmtewisselaars voor 44,6% en de serre voor 51,2%.

Een tweede effect is een gedeelte mogelijke koeling die niet gebruikt wordt. Het gaat hier vooral om het mogelijke gebruik van free cooling langs het rooster aan de Westzijde van het gebouw. Deze wordt niet in zijn totale capaciteit gebruikt aangezien de werking hiervan beperkt wordt door een klokmechanisme.

Een dergelijk complexe installatie vereist eveneens een geavanceerde regeling. De installatie is al voorzien van een doorgedreven regeling ter beperking van het energieverbruik. Maar deze regeling neemt niet de werking van alle onderdelen in zich op. Het gebrek aan bypass en de regeling via een klokmechanisme voor de warmtewisselaars zorgen voor een minder efficiënte benutting van deze apparaten. De regeling van de klep aan de westzijde en de dakventilator met behulp van een klok beletten eveneens een meer optimale benutting van deze installatie. De integratie van alle onderdelen zou veel onderlinge tegenwerking vermijden. Het totale effect van deze integratie zou hoogstwaarschijnlijk minder effect hebben op de energieverbruik van het gebouw,

aangezien het energieverbruik hoofdzakelijk resulteert uit de verwarming van het gebouw en deze relatief efficiënt gebeurt. Daarentegen wordt er een deel mogelijke koeling niet gebruikt en wordt er een deel overbodige warmte geproduceerd als er koeling nodig is. Een integrale regeling zou dus vooral het comfort tijdens het tussenseizoen en de zomermaanden verbeteren.

De windmolen werd uiteindelijk op enkele uren na nooit in gebruik gesteld. In het begin waren de resultaten hoopgevend en kon de molen ongeveer 50% van het elektriciteitsverbruik van het kantoor leveren. Daarna echter werd de molen wegens burenlachten en technische problemen op non-actief gezet. Afgezien van enkele uren in het najaar van 2003 was de molen dus niet meer operationeel. Voorlopig is dus het project van de windmolen gestaakt en is daardoor het streefdoel van een geminimaliseerd elektriciteitsverbruik niet gehaald.