

**ANRE-DEMONSTRATIEPROJECT:  
Energiezuinig kantoorgebouw met horizontale  
grondbuizen en regeneratieve warmtewisselaar  
bij kantoorgebouw SD Worx, Kortrijk**

**Eindrapport**

**J. Desmedt, N. Robeyn en P. Jannis**

**Studie uitgevoerd in opdracht van ANRE**

**Vito**

**December 2004**

## SAMENVATTING

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse Gemeenschap aan het kantoorgebouw SD Worx te Kortrijk een investeringssubsidie toegekend van 18.973 € voor de plaatsing van horizontale grondbuizen als voorverwarming en voorkoeling van de ventilatielucht in combinatie met een regeneratieve warmtewisselaar. Het gebouw heeft voor de verwarming 2 condenserende aardgasketels van elk 46 kW en een koelmachine van 21 kW voor koeling van computerlokalen. SD Worx staat in voor de loonberekening en administratieve verplichtingen naar overheidsinstanties (belastingen, sociale zekerheid, ...).

Het uitgangspunt van het project was om een uiterst energiezuinig (K36) en tegelijkertijd comfortabel kantoorgebouw voor haar medewerkers te bouwen. De energiebehoefte (warmte, koude, elektriciteit) van het 1.350 m<sup>2</sup> kantoorgebouw werd verlaagd door actieve en passieve energiezuinige technieken oa. doorgedreven isolatie, natuurlijke nachtventilatie, grondbuizen, ....

In dit eindrapport zijn de meetresultaten over de periode januari tot en met december 2003 geëvalueerd. *De hierna gevormde besluiten zijn enkel geldig voor de beschouwde meetperiode en voor het beschouwde kantoorgebouw. Extrapolatie van deze meetgegevens naar andere gebouwen, locaties, tijdstippen,... is dan ook niet aan te raden daar deze gegevens sterk kunnen verschillen van het soort toepassing waarin de grondbuis wordt gebruikt.*

### Evaluatie binnentemperatuur

In 286 uren (= 12% van de kantoortijd) kwam de kantoortemperatuur boven de 25°C of meer uit. Ten opzichte van de initiële prestatie-eis <sup>1</sup> van het kantoorgebouw is dit een overschrijding die slechts voor een deel te wijten is aan het feit dat de installatie (cfr. nachtventilatie en regeling luchtgroep) werd geoptimaliseerd in 2003. Om aan die prestatie-eis te kunnen voldoen, dient door de koelmachine extra koude aan het kantoorgebouw te worden geleverd. In 2003 werd door de huidige regeling de koelmachine niet gebruikt voor (extra)koeling van de kantoorlokalen.

### Evaluatie grondbuizen

Op een diepte van 3,5 en 5m werd een gemiddelde grondbuistemperatuur van 10°C opgemeten. Tijdens de wintermaanden bedroeg de gemiddelde grondbuistemperatuur 7°C terwijl dit tijdens de zomermaanden 15°C bedroeg. Een significant verschil tussen de grondbuistemperatuur op 3,5 en 5m diepte is er niet (slechts 1 à 2°C).

Tijdens de wintermaanden zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming van de ventilatielucht met een gemiddelde temperatuurwinst van ongeveer 7°C bij een

---

<sup>1</sup> Als prestatie-eis werd een maximale comforttemperatuur in zomer en winter van 22 tot 25,5°C opgelegd (de overschrijdingsuren: < 30 h, 1% van de werktijd). De binnenlucht mag maximaal 26,5°C bedragen en mag niet overschreden worden.

buitentemperatuur van 0°C. Bij een buitentemperatuur van -7°C bleef de aanvoerlucht in de luchtgroep vorstvrij.

In het tussenseizoen zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming of een voorkoeling. De voorkoeling was echter groter dan de voorverwarming. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 5°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer 2 à 3°C. Men kan stellen dat bij buitentemperaturen boven de 8°C de grondbuizen voor een negatieve temperatuurwinst (dus voorkoeling) zorgden.

Tijdens de zomermaanden zorgden de grondbuizen voor voorkoeling van de ventilatielucht. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 25°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer -10°C. Bij een buitentemperatuur van 33°C bedroeg de ingeblazen grondbuistemperatuur 25°C zonder hierbij extra hulp van een koelmachine.

Met de grondbuis kan een maximale warmtewinst van 10 kW en een koudewinst van 25 kW gerealiseerd worden zij het in een zeer beperkte periode. Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het kantoorgebouw wat op zich niet veel is. De koudebehoefte van het kantoorgebouw wordt echter niet 100% gedekt door de grondbuizen vermits de binnentemperatuur van de kantoorlokalen in de zomermaanden boven de 25°C uitkwam (en dus in principe extra koeling nodig was). Een grondbuis werkt technisch goed maar zijn koude- of warmtebijdrage aan het geheel is niet hoog en kan dus nooit als alleenstaand systeem ingezet worden. Naverwarming of nakoeling is dus steeds noodzakelijk. Verder werkt de bodem als een dynamische thermosfles (indien je in de bodem geen warmte of koude in een bepaald seizoen opslaat, kan er ook geen uitgehaald worden).

### **Evaluatie regeneratieve warmtewisselaar**

Het temperatuursrendement van de regeneratieve warmtewisselaar op maandbasis bedroeg gemiddeld 50% met een maximum van 81% en een minimum van 5%. Bij lagere debieten (orde grootte van 3.500 m<sup>3</sup>/h) is het temperatuurrendement van de luchtgroep lager maar toch nog hoger dan het rendement van een klassieke kruis- of platenwarmtewisselaar. Deze “lagere” rendementen worden wel gemeten bij relatief hoge buitentemperaturen (bijv. bij een buitentemperatuur van 21°C en een luchtdebiet van 3.500 m<sup>3</sup>/h bedraagt het rendement gemiddeld 60%). Bij dergelijke hoge buitentemperaturen zal de warmterecuperatie gemoduleerd worden (geen 100 % warmterecuperatie) om te vermijden dat teveel warmte gerecupereerd wordt. Dit verklaart de lagere rendementen bij hoge buitentemperaturen. Dergelijke warmtewisselaar presteren dan ook beter dan de klassieke warmtewisselaars met een rendement van ongeveer 70%. De gerecupereerde warmte door de warmtewisselaar bedroeg 16.513 kWh of 19% van de totale warmtevraag.

### **Primaire energiebesparing en CO<sub>2</sub> reductie**

Het primair energieverbruik over de meetperiode van de huidige situatie bedroeg 359 GJ<sub>prim</sub>/jaar. In de referentiesituatie zou hiervoor 504 GJ<sub>prim</sub>/jaar nodig zijn. Dit betekent een besparing van 145 GJ<sub>prim</sub>/jaar (of 29% t.o.v. de referentiesituatie).

De CO<sub>2</sub>-emissie van de huidige installatie over de meetperiode bedroeg 30 ton/jaar. De CO<sub>2</sub>-emissie in de referentiesituatie bedraagt 22 ton/jaar. Dit betekent dus een reductie van 8 ton/jaar CO<sub>2</sub> over de meetperiode (of 27% t.o.v. de referentiesituatie).

### **Economische rendabiliteit**

De totale investeringen bedragen 54.209 €. Door toepassing van deze energiezuinige technieken wordt een aardgasbesparing van 23.008 kWh<sub>prim</sub>/jaar of 647 €/jaar bereikt en een elektriciteitsbesparing van 7.595 kWh/jaar of 570 €/jaar. De totale energiebesparing bedraagt 1.217 €/jaar. We bekomen een terugverdientijd van 44,5 jaar zonder subsidie. Indien de subsidie mee in rekening gebracht wordt, dan bedraagt de terugverdientijd 29 jaar.

### **Zeer energiezuinig kantoorgebouw**

Voor de bijverwarming van het kantoorgebouw werd 76.824 kWh<sub>ovw</sub> aardgas verbruikt of 65.300 kWh warmte. Het totaal elektriciteitsverbruik bedroeg 87.750 kWh/jaar waarvan de pulsie- en extractieventilatoren 10.130 kWh/jaar (12%) innemen, de koelmachine 5.244 kWh/jaar (6%). De rest wordt ingenomen door verlichting, kantoorapparatuur, pompen, ... In vergelijking met het Vlaamse kantorenpark verbruikt het SDworx kantoorgebouw 47% minder elektriciteit en 44% minder aardgas!

Het is moeilijk te bepalen wat het aandeel van de isolatie, de nachtventilatie, de grondbuizen en de warmtewisselaar in het geheel hebben daar met te veel aannames en (onderlinge)invloedsfactoren dient rekening gehouden te worden. Wel kan gesteld worden dat dit kantoorgebouw een zeer energiezuinig kantoorgebouw mag genoemd worden waarbij de grondbuizen slechts een klein deel innemen.

Besluiten dus dat grondbuizen in dit goed geïsoleerd kantoorgebouw technisch goed werken is terecht maar deze conclusie (of de optie voor keuze van grondbuizen) geldt niet voor andere kantoorgebouwen of toepassingen.

In het kader van deze studie is het niet de bedoeling dat andere alternatieven voor (top)koeling bijv. verticale grondwarmtewisselaars, koude/warmte opslag, ... geëvalueerd worden.

## INHOUD

<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>2</b>
<b>INHOUD</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INLEIDING</b> .....	<b>6</b>
<b>2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Omschrijving van de installatie</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Werking van het gebouw</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 Het gebouw in het stookseizoen.....	10
2.2.2 Het gebouw in de zomer gedurende de dag .....	11
2.2.3 Het gebouw in de zomer gedurende de nacht .....	12
<b>2.3 Regelstrategie</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4 Inplantingschema</b> .....	<b>13</b>
<b>3 METING EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Overzicht van de metingen</b> .....	<b>17</b>
<b>4 TECHNISCHE EVALUATIE</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Evaluatie van de kantoor- en bufferruimtetemperatuur</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Evaluatie van de grondbuizen</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3 Evaluatie luchtkanaal tussen grondbuis en warmtewisselaar</b> .....	<b>32</b>
<b>4.4 Evaluatie van de regeneratieve warmtewisselaar</b> .....	<b>33</b>
<b>4.5 Samenvatting van de thermische energiestromen</b> .....	<b>39</b>
<b>5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN CO2-REDUCTIE</b> .....	<b>42</b>
<b>6 ECONOMISCHE EVALUATIE</b> .....	<b>44</b>
<b>7 BESLUIT</b> .....	<b>45</b>
<i>Bijlage 1: Samenvatting resultaten</i> .....	<b>48</b>

## 1 INLEIDING

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse Gemeenschap aan SD Worx te Kortrijk een investeringssubsidie toegekend van 18.973 € voor de plaatsing van horizontale grondbuizen als voorverwarming en voorcooling van de ventilatielucht met een regeneratieve warmtewisselaar. SD Worx is een sociaal secretariaat dat de loonadministratie van haar klanten behartigt. Zij staat in voor de loonberekening en administratieve verplichtingen naar overheidsinstanties (belastingen, sociale zekerheid, ...). SD Worx heeft een 10-tal kantoren verdeeld over Vlaanderen waarvan een kantoorgebouw in Kortrijk (bedrijvenzone Kennedypark).

Bij het ontwerp van het gebouw werden verschillende actieve en passieve energiezuinige technieken voorzien. Het uitgangspunt was een uiterst energiezuinig (K36) en tegelijkertijd een comfortabel kantoorgebouw voor haar medewerkers te bouwen. De gebruikers krijgen op deze manier een uitstekend thermisch, visueel en akoestisch comfort. Voor de verlichting wordt gebruikt gemaakt van aanwezigheidsdetectie en daglichtsturing per verlichtingsarmatuur. De PC's werden voorzien van energiezuinige schermen.

Vito voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Gedurende een meetperiode van 1 jaar (januari tot en met december 2003) worden verschillende energiestromen opgemeten en geregistreerd. Tijdens de afgelopen periode werd regelmatig aan de regeling van de installatie en aan de grondbuizen gewerkt zodat de gegevens pas representatief zijn vanaf oktober 2002.

Dit eindrapport beschrijft de technische prestaties van de installatie, de bereikte primaire energiebesparing, de vermindering van CO<sub>2</sub>-emissie en een economische evaluatie voor de meetperiode januari tot en met december 2003.

## 2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

### 2.1 Omschrijving van de installatie

Bij het ontwerp van het energiezuinig kantoorgebouw werd rekening gehouden met volgende principes:

- Het beperken van de koellast van het gebouw;
- Het beperken van het energieverlies;
- Het aanwenden van passieve technieken;
- Het aanwenden van een automatische regeling voor het gebouw.

Het kantoorgebouw heeft 3 bouwlagen (2 kantoorlagen en parking/inkom) met een totale verwarmde vloeroppervlakte van 1.350 m<sup>2</sup> en is noord/zuid georiënteerd. De energiebehoefte werd in eerste instantie verlaagd door gebruikt te maken van een verhoogde isolatiegraad. Het K-peil van het gebouw bedraagt K34 wat een zeer goede waarde is voor een kantoorgebouw in het bijzonder vanwege de grote glaspartijen. Op de zuidzijde van het gebouw is een bufferruimte in glas aangebracht die dienst doet als circulatiezone tussen de kantoren en als collector voor zonnewarmte. Aan de buitenkant van de bufferruimte zijn horizontale regelbare aluminium lamellen aangebracht om oververhitting in de bufferruimte te vermijden. Bij te hoge binnentemperatuur in de bufferruimte worden deze lamellen volledig gesloten. Als prestatie-eis werd een maximale binnentemperatuur van 24°C opgelegd.

Tabel 1 geeft een overzicht van de gebruikte materialen en isolatiewaarden voor het kantoorgebouw.

Twee grondbuizen (diameter 80 cm, lengte 40 m) op een diepte van respectievelijk 3,5 en 5 m, gelegen in het grondwater, worden gebruikt als aanzuigleiding voor de ventilatielucht. De grondbuizen zijn voor het grootste gedeelte uitgevoerd in beton, een klein gedeelte is uitgevoerd in PE. Er zijn 2 toezichtputten in de grondbuizen voorzien aan het begin en aan het einde (40 m uit elkaar gelegen). De deksels van de toezichtputten dienen steeds luchtdicht afgesloten te worden om aanzuig van valse lucht langs deze weg te vermijden. De grondbuizen zijn geplaatst met een helling van 2% (afwatering met de luchtstroom mee).

Het gebouw heeft voor de verwarming 2 condenserende aardgasketels (ATAG blauwe engel) van elk 46 kW. De verwarming van het gebouw wordt voorzien door ventilatie via de warmtewisselaar en door radiatoren. De ventilatie wordt voorzien door een luchtgroep met een regeneratieve (alternerende) warmtewisselaar van de firma Menerga (type 64 07 01 Resolair). Deze luchtgroep heeft een nominaal debiet van 7.500 m<sup>3</sup>/h met een temperatuursrendement van boven de 90% en een vochtrendement tussen 45 – 65 % [1]. De pulsie- en extractieventilator hebben een opgenomen elektrisch vermogen van elk 2,1 kW. De warmtewisselaar is uitgerust met 2 accumulatoremassa's waardoor de buiten- en extractielucht afwisselend stroomt. In maart 2003 werd de bestaande koelbatterij in de warmtewisselaar aangepast om ook dienst te kunnen doen als verwarmingsbatterij. Verder is

een ijswatergroep (Daikin EUWA 10 HZW, 21 kW koelbatterij) met koelmiddel R407C aanwezig voor de koeling van het computerlokaal en pulsielucht (indien dit nodig blijkt).

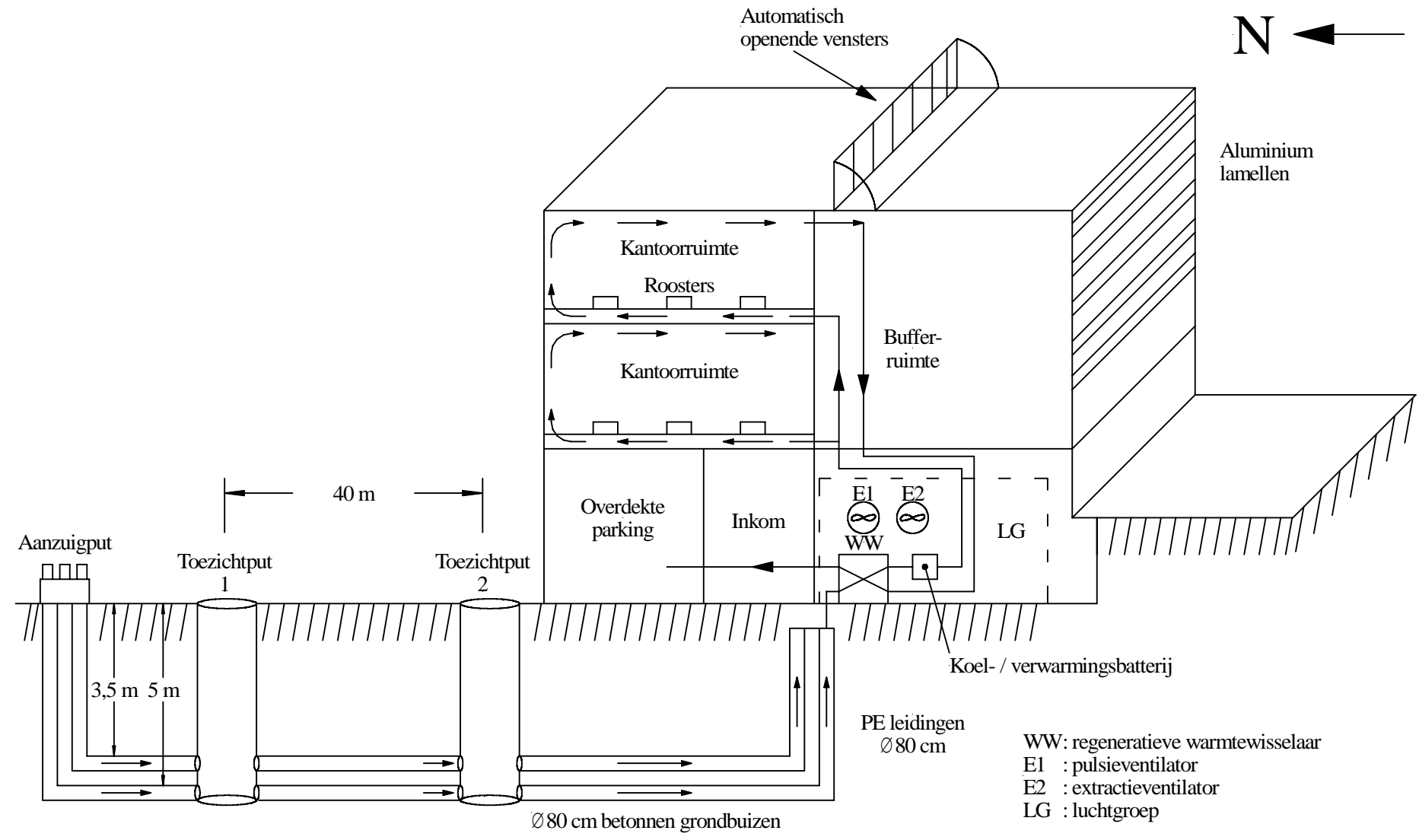
*Tabel 1: Samenstelling bouwdelen kantoorgebouw SD Worx*

Bouwdeel	U-waarde (W/m <sup>2</sup> K)	Materiaal	dj (m)
dak	0,26	EPDM	0,0030
		ps geëxtrudeerd	0,12
		beton	0,2
dak buffer	0,28	zink	0,0030
		ps geëxtrudeerd	0,12
		gipspleister	0,01
vloer op volle grond	0,41	tegels	0,02
		uitvulling	0,1
		ps geëxtrudeerd	0,06
		uitvulling	0,15
		beton	0,2
vloer parking	0,23	multiplex	0,05
		verhoogde vloer lucht	0,25
		druklaag	0,05
		beton	0,2
		ps geëxtrudeerd	0,12
buitenwand	0,27	terracotategels	0,02
		ps geëxtrudeerd	0,12
		beton	0,15
		gipspleister	0,01
buitenwand parking	0,48	beton	0,2
		ps geëxtrudeerd	0,06
		snelbouw	0,09
		gipspleister	0,01
Buitendeur	3,5		
Schrijnwerk	2		
Beglazing	1,2		
Beglazing bufferdak	0,4		

Figuur 1 geeft een schematische weergave van de installatie. Het project werd ontworpen door het architectenbureau P. Van De Poel & Partners uit Antwerpen in samenwerking met het adviesbureau Cenergie uit Berchem. De aannemer Van Hout te Geel bouwde het kantoorgebouw en onderaannemer ATS De Vogel uit St. Niklaas zorgde voor de verwarmingsinstallatie. De elektrische installatie werd gebouwd door ENI uit Aartselaar.



Figuur 1: Schematische weergave van de installatie

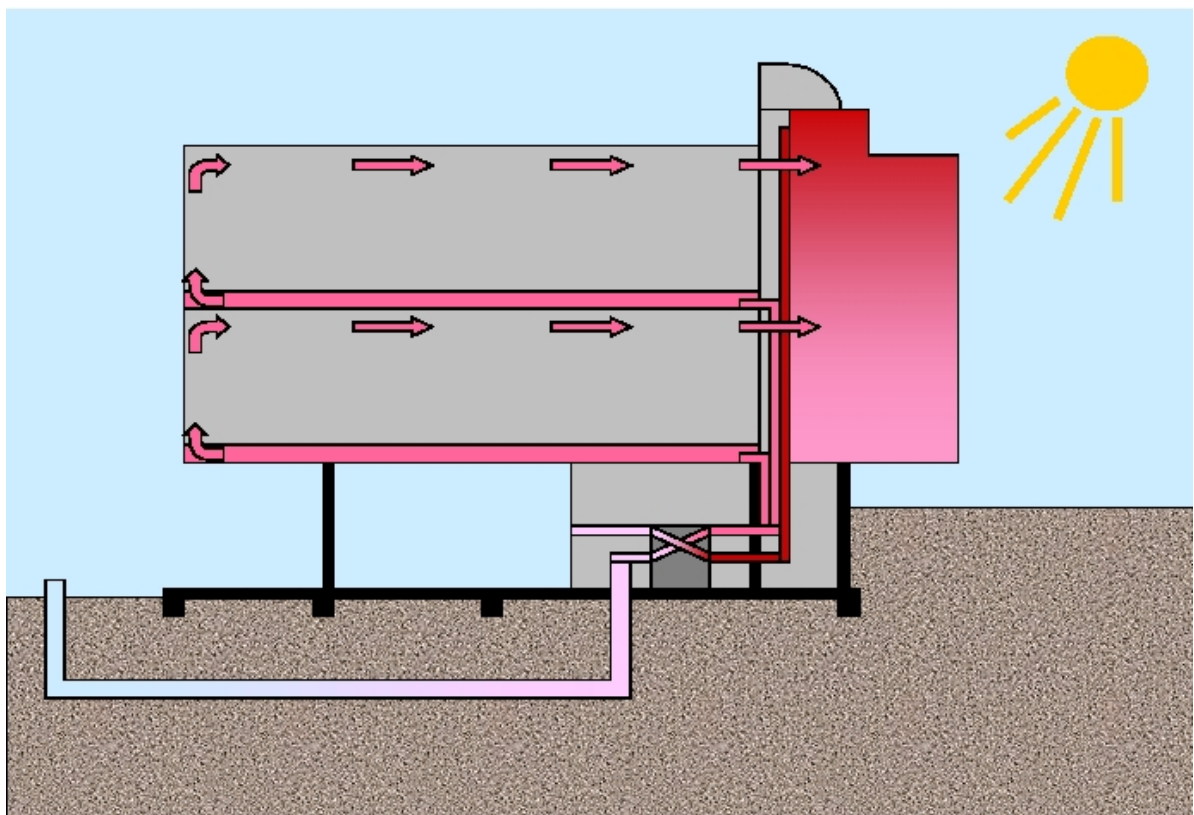


## 2.2 Werking van het gebouw

In deze paragraaf worden de verschillende werksituaties van het gebouw (stookseizoen, zomerdag, zomernacht) beschreven.

### 2.2.1 Het gebouw in het stookseizoen

Figuur 2 geeft de werking van gebouw weer tijdens het stookseizoen [2].



*Figuur 2: Werking van het gebouw tijdens het stookseizoen [2]*

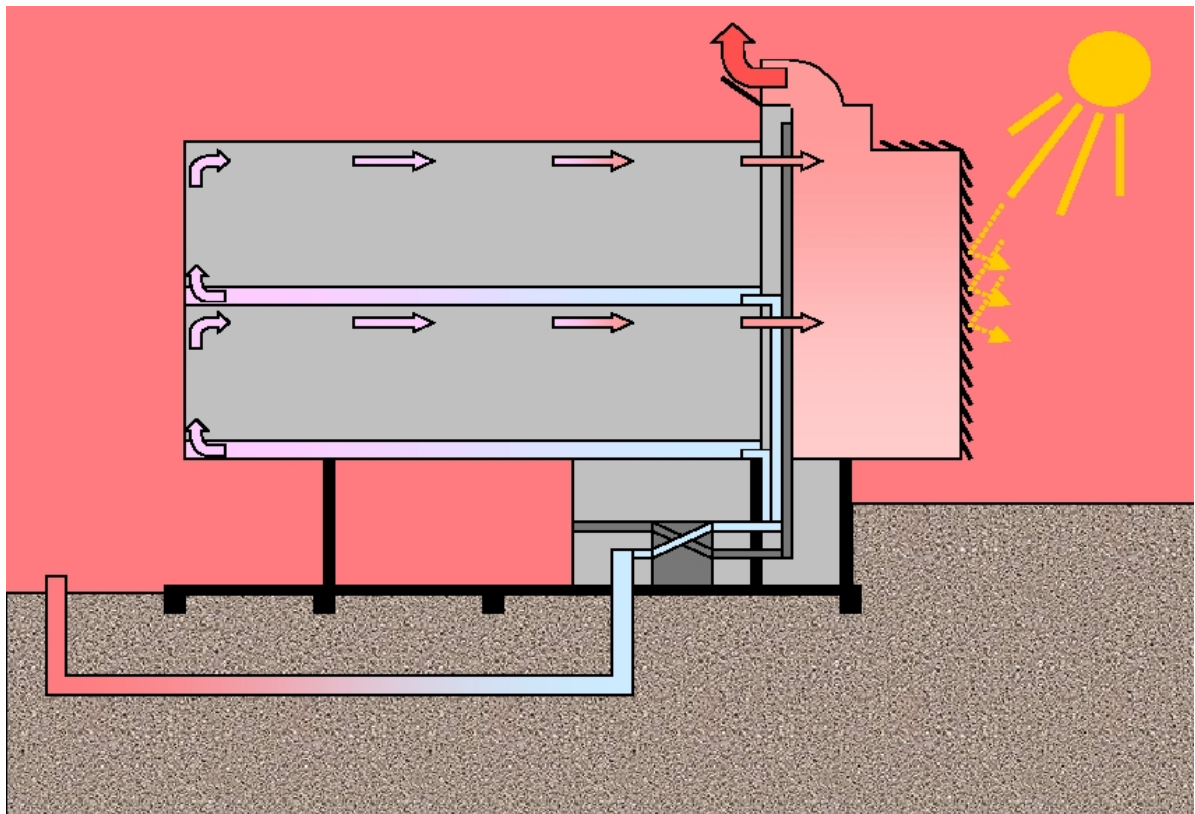
Tijdens het stookseizoen is het de bedoeling om uit het gebouw zo weinig mogelijk warmte te verliezen door enerzijds de aanwezigheid van extra isolatie en anderzijds zoveel mogelijk natuurlijke zonnewarmte te benutten. Dit wordt bereikt door voorverwarming van de ventilatielucht via een grond-luchtwarmtewisselaar, recuperatie van warmte uit de extractielucht en captatie van zonnewarmte uit de bufferruimte.

De buitenlucht wordt doorheen de grondbuizen aangezogen en voorverwarmd. De verse opgewarmde lucht wordt via roosters in de verhoogde vloer van de kantoren ingeblazen en via doorgangsroosters naar de bufferruimte afgevoerd. Een maximale temperatuur van 28°C is toegelaten in de bufferruimte. De minimale comforttemperatuur in de bufferruimte bedraagt 19°C tijdens kantooruren. In de kantoorruimte wordt verwarmd tot 22°C à 23°C.

Door een extractieventilator in de luchtgroep wordt de “vervuilde” lucht vanuit de kantoren afgezogen en wordt deze lucht geleid over een warmtewisselaar voor overdracht van warmte aan de verse buitenlucht al dan niet voorverwarmd door de grondbuis.

### 2.2.2 Het gebouw in de zomer gedurende de dag

Figuur 3 geeft de werking van gebouw weer tijdens een zomerdag [2].



*Figuur 3: Werking van het gebouw tijdens een zomerdag [2]*

In de zomer is het belangrijk om de koellast van het gebouw te beperken en gebruik te maken van passieve koeltechnieken.

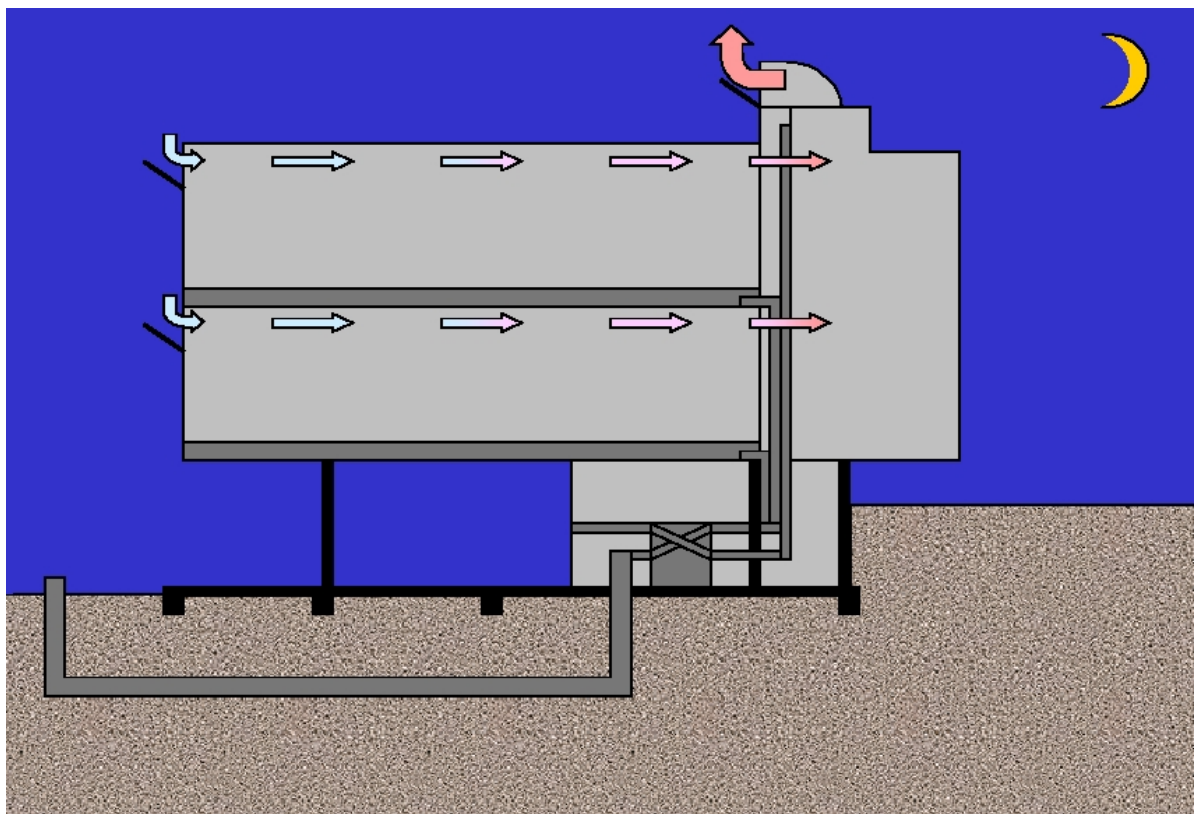
In deze situatie wordt de verse buitenlucht doorheen de grondbuizen gestuurd voor een voorkoeling van de ventilatielucht. Op dat moment werkt de warmtewisselaar niet om te vermijden dat de aangevoerde koude lucht zijn koelte zou verliezen. De extractieventilator dient uitgeschakeld te zijn en de vervuilde lucht wordt via automatisch gestuurde vensters in de nok van de bufferruimte naar de buitenomgeving afgevoerd.

Om te vermijden dat de binnentemperatuur in de bufferruimte te hoog oploopt zijn de lamellen aan de buitenzijde van het gebouw beweegbaar opgesteld. Afhankelijk van de stand van de zon kunnen deze gepositioneerd worden. In een bepaald geval kunnen deze lamellen volledig gesloten worden zodat er geen zonnetoetreding meer is in de bufferruimte.

Bij een te hoge binnentemperatuur in de kantoren worden de toevoerventilatoren op een hogere snelheid geschakeld ( maximaal debiet naar 7.500 m<sup>3</sup>/h). Indien dit onvoldoende zou zijn, wordt een koelmachine ingeschakeld voor verdere koeling van de ventilatielucht.

### 2.2.3 Het gebouw in de zomer gedurende de nacht

Figuur 4 geeft de werking van gebouw weer tijdens een zomernacht [2].



*Figuur 4: Werking van het gebouw tijdens een zomernacht [2]*

Tijdens de zomernachten worden de ramen aan de noordzijde van het gebouw automatisch geopend alsook deze in de nok van de bufferruimte om het gebouw natuurlijk te ventileren met frisse buitenlucht (natuurlijke ventilatie door trek en windeffecten). Op die manier wordt de massa van het gebouw afgekoeld en kan de zone van het plafond dienst doen als buffer voor overtollige warmte overdag. Om de werkzame massa van het gebouw te verhogen werden geen valse plafonds voorzien.

## 2.3 Regelstrategie

De ventilatielucht in het kantoorgebouw (debiet pulsielucht) wordt vraaggestuurd op basis van de luchtkwaliteit (= aanwezigheid aantal personen). Elke zone van het kantoorgebouw

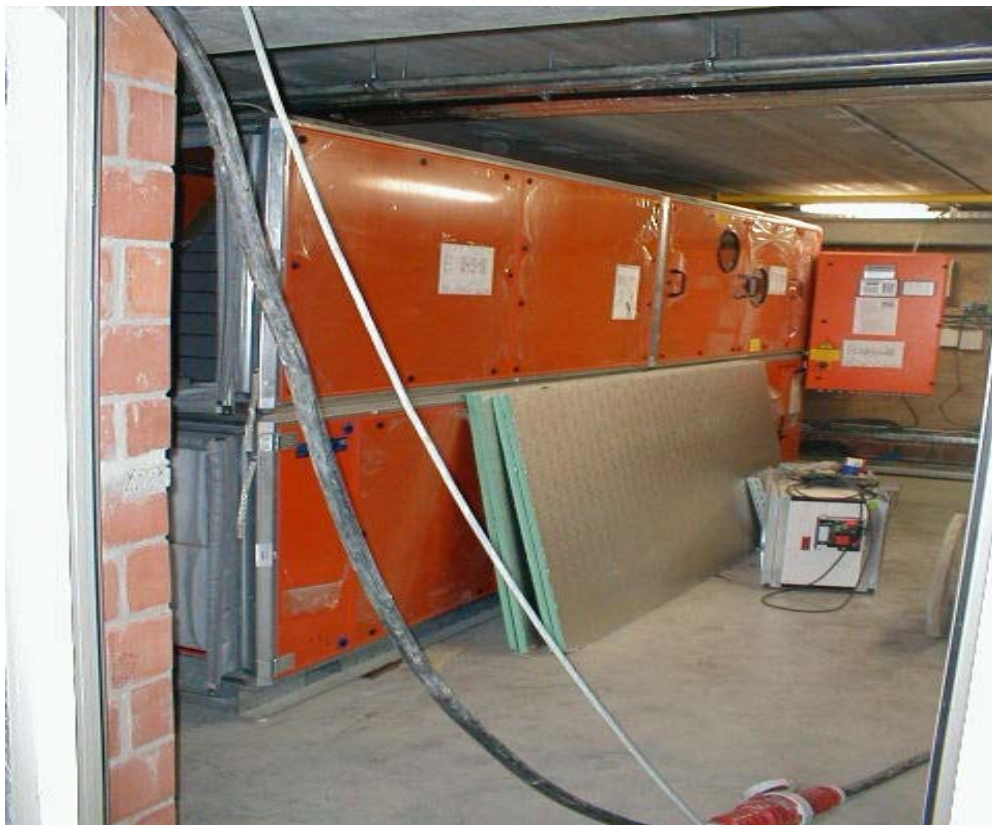
is uitgerust met een luchtkwaliteitsensor voor de bepaling van de luchtkwaliteit en een VAV-klep (debiet wordt aangepast aan de luchtkwaliteit). Op warme dagen wordt overgeschakeld van een debietregeling naar een temperatuursregeling.

Voor de regeling van de nachtkoeling (o.b.v. natuurlijke ventilatie) wordt gebruikt gemaakt van de oppervlaktetemperatuur van het plafond (één per verdieping). De nachtventilatie treedt niet in werking als de buitentemperatuur van de voorbije dag lager is dan een setpunt (18°C) en als de maximale binnentemperatuur van de voorbije dag niet hoger is dan een tweede setpunt (23°C).

## 2.4 Inplantingschema

Figuur 5 geeft een aantal foto's van de installatie en de bouwwerkzaamheden weer.

*Figuur 5: Foto's van de installatie en bouwwerkzaamheden*



Zicht op de luchtgroep met regeneratieve warmtewisselaar in de stookplaats





Zicht op de bouwwerken aan de grondbuizen



Zicht op het gebouw met open lamellen (op voorzijde de aanzuigroosters van de grondbuizen) [2]



Zicht op de zuid zijde van het gebouw (met gesloten lamellen)





Zicht op de verwarmingsketels en verwarmingskringen



Zicht op het kantoorgebouw SD worx [2]



### 3 METING EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN

#### 3.1 Overzicht van de metingen

Voor de opvolging van het project is het van belang dat de voornaamste parameters m.b.t. de grondbuizen en de regeneratieve warmtewisselaar geregistreerd worden.

Bij de bouw van het project werden reeds verschillende sensoren (temperatuur, CO<sub>2</sub>, licht, ...) voorzien en deze werden door het gebouwbeheersysteem geregistreerd. Het adviesbureau Cenergie te Berchem stuurde maandelijks de gevraagde gegevens door naar Vito voor verwerking en analyse. Voor de evaluatie van het project heeft Vito bijkomend een aantal temperatuursensoren (en relatieve vochtigheidsensoren) geplaatst. Gedurende één jaar werden deze gegevens op 10 minutenbasis geregistreerd en maandelijks geanalyseerd.

Voor de bepaling van de thermische energiebalans van het gebouw, warmtewisselaar, grondbuizen, ... wordt gebruik gemaakt van indirecte methoden via temperatuursmetingen.

Tabel 2 geeft de benodigde energiemeters voor de evaluatie van het project weer. Figuur 6 geeft een overzicht van de installatie met ingebouwde meetapparatuur.

#### Regeneratieve warmtewisselaar

Alle temperaturen (en relatieve vochtigheid) van de pulsie- en extractielucht van de luchtgroep werden opgemeten. Hieruit kan het temperatuur- en vochtrendement voor de warmtewisselaar bepaald worden indien de luchtgroep in werking is (en indien we uitgaan van dezelfde massahoeveelheid lucht langs pulsie en extractie).

Het temperatuurrendement van de warmtewisselaar wordt gegeven door de formule:

$$\eta_{ww,temp} = \frac{T6c - T6b}{T4 - T6b}$$

T6c: de temperatuur na de warmtewisselaar maar voor de koel/verwarmingsbatterij met als formule:  $T6c = T6b + (m_e/m_p) * (T4 - T5)$

$m_{ww}$  : het massadebiet door de warmtewisselaar:

$$m_{ww} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{287 \cdot (273 + T6c)} \cdot V / 3600$$

Hierin is V het volumedebiet van warmtewisselaar [m<sup>3</sup>/h] en stelt de eerste breuk de dichtheid van de lucht voor. Voor de luchtdichtheid wordt verondersteld dat de druk overall in de kanalen 1,013 bar bedraagt. Afwijkingen van deze druk zijn beperkt (enkele honderden Pa, grootteorde enkele procenten op de totale druk).

Het vochtrendement van de warmtewisselaar wordt gegeven door de formule:

$$\eta_{ww,vocht} = \frac{X_{pulsie\ uit} - X_{pulsie\ in}}{X_{extractie\ in} - X_{pulsie\ in}}$$

De gerecupereerde warmte van de warmtewisselaar wordt gegeven door de formule:

$$Q_{ww,recup} = m_{ww} \cdot c_p \cdot (T6c - T6b)$$

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

### Grondbuizen

De temperaturen aan de in- en uitgang van de grondbuizen op een diepte van 3,5 en 5m werden opgemeten. Enkel indien de luchtgroep in werking is wordt de temperatuurwinst door de grondbuizen ten opzichte van de buitentemperatuur berekend. Aangezien we veronderstellen dat alle verse lucht die naar de warmtewisselaar door de beide grondbuizen moet passeren, is het luchtmassadebiet door de grondbuis gelijk aan de som van de massadebieten door de warmtewisselaar.

De temperatuurwinst door de grondbuis wordt berekend met de formule:

$$\Delta T_{gb3,5m} = T3a - T15 \qquad \Delta T_{gb5m} = T3b - T15$$

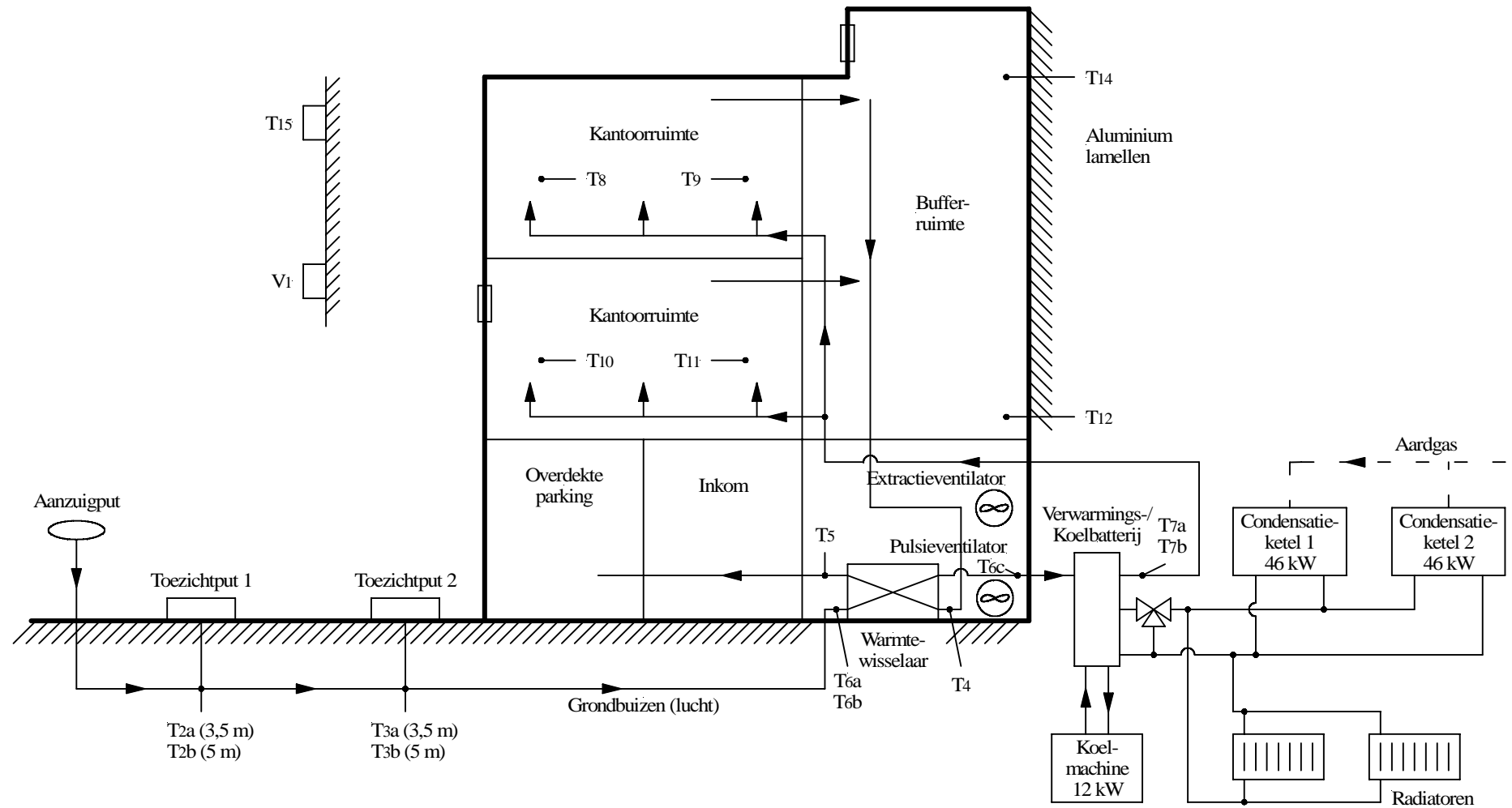
De warmte- en koelwinst per grondbuis wordt berekend met de formule:

$$Q_{gb, 3.5m} = m_{gb} \cdot c_p \Delta T_{gb3,5m} \text{ of} \qquad Q_{gb, 5m} = m_{gb} \cdot c_p \Delta T_{gb5m}$$

Tabel 2: Geïnstalleerde meetapparatuur in het project door Vito

<b>ID</b>	<b>Wat wordt gemeten?</b>	<b>Hoe wordt gemeten?</b>	<b>Leverancier meter</b>	<b>Plaatsing meter</b>	<b>Opmerkingen</b>
T2a	Temperatuur grondbuis 1 in begin (3,5 meter)	Temperatuursensor	Vito	Vito	In toezichtput 1
T2b	Temperatuur grondbuis 2 in begin (5 meter)	Temperatuursensor	Vito	Vito	In toezichtput 1
T3a	Temperatuur grondbuis 1 in einde (3,5 meter)	Temperatuursensor	Vito	Vito	In toezichtput 2
T3b	Temperatuur grondbuis 2 in einde (5 meter)	Temperatuursensor	Vito	Vito	In toezichtput 2
T4	Temperatuur warmtewisselaar kant extractie in	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T5	Temperatuur warmtewisselaar kant extractie uit	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T6a	Temperatuur warmtewisselaar kant pulsie in (na T-stuk)	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T6b	Relatieve vochtigheid kant pulsie in	Vochtsensor	Vito	Vito	
T6c	Temperatuur na warmtewisselaar kant pulsie (voor koel/verwarmingsbatterij)	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T7a	Temperatuur warmtewisselaar kant pulsie uit (na koelbatterij)	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T7b	Relatieve vochtigheid kant pulsie uit	Vochtsensor	Vito	Vito	
T8	Relatieve vochtigheid kantoor 2 de verdiep	Vochtsensor	Vito	Vito	
T9	Binnentemperatuur kantoor 1 <sup>ste</sup> verdiep	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T10	Binnentemperatuur kantoor 1 <sup>ste</sup> verdiep	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T11	Binnentemperatuur kantoor 2 <sup>de</sup> verdiep	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T12	Binnentemperatuur bufferruimte (beneden)	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T14	Binnentemperatuur bufferruimte (bovenaan)	Temperatuursensor	Vito	Vito	
T15	Buitentemperatuur	Temperatuursensor	Vito	Vito	
V1	Relatieve vocht buitenomgeving	Vochtsensor	Vito	Vito	

Figuur 6: Geïnstalleerde meetapparatuur voor de opvolging van het project

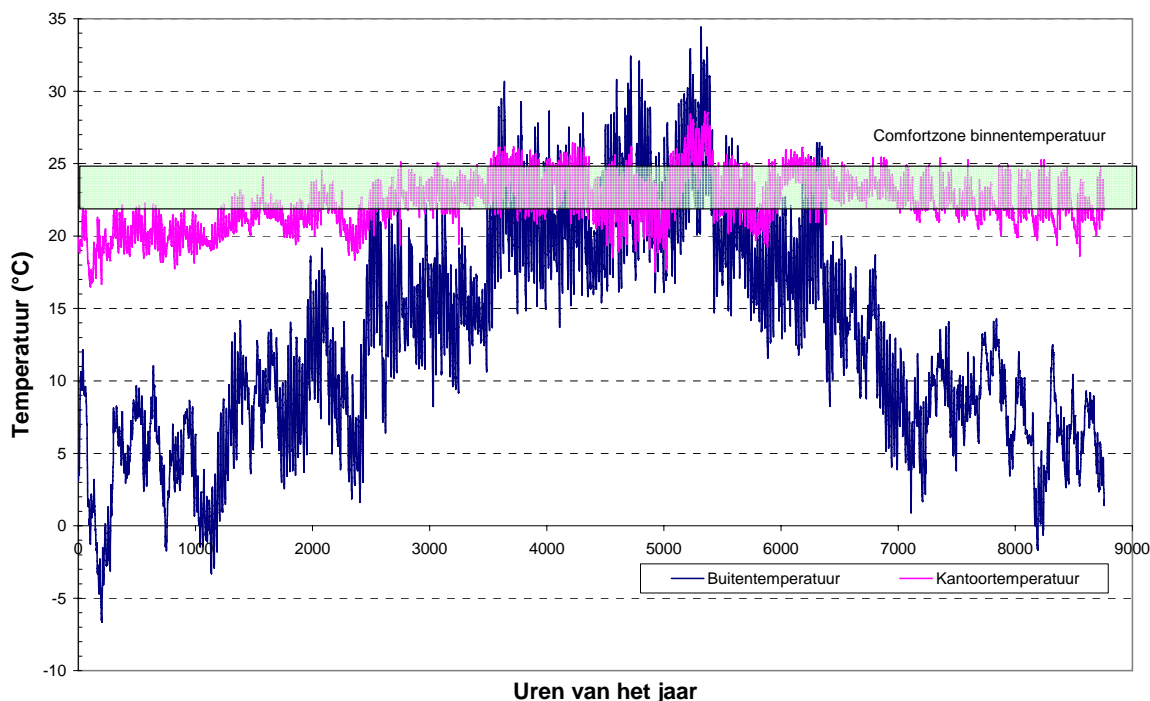


## 4 TECHNISCHE EVALUATIE

In deze paragraaf wordt een technische evaluatie van de grondbuizen en de regeneratieve warmtewisselaar gemaakt op basis van de meetgegevens over de periode januari tot en met december 2003. De gegevens die hier weergegeven zijn, zijn dus **enkel geldig voor het jaar 2003** en mogen niet als referentie gebruikt worden voor andere jaren of voor andere projecten daar de meteorologische omstandigheden alsook het gebruikspatroon, het debiet, de mate van warmterecuperatie, ... een belangrijke rol spelen bij de energieprestatie van de grondbuizen en regeneratieve warmtewisselaar. In bijlage 1 worden de resultaten over de meetperiode in tabelvorm weergegeven.

### 4.1 Evaluatie van de kantoor- en bufferruimtetemperatuur

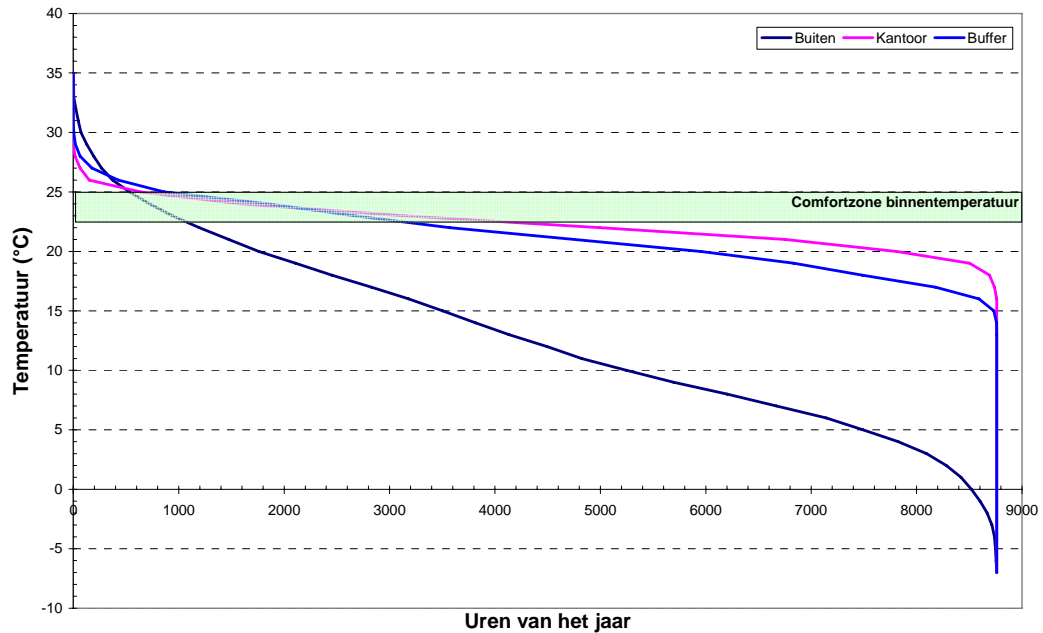
Figuur 7 toont het verloop van de buiten- en kantoortemperatuur gedurende het jaar 2003. Op de figuur werd de comfortzone voor de kantoortemperatuur tevens aangeduid. Voor de kantoortemperatuur wordt in de grafieken de gemiddelde binnentemperatuur van de temperatuursensoren T9 en T11 genomen (=gemiddelde van de 2 verdiepingen).



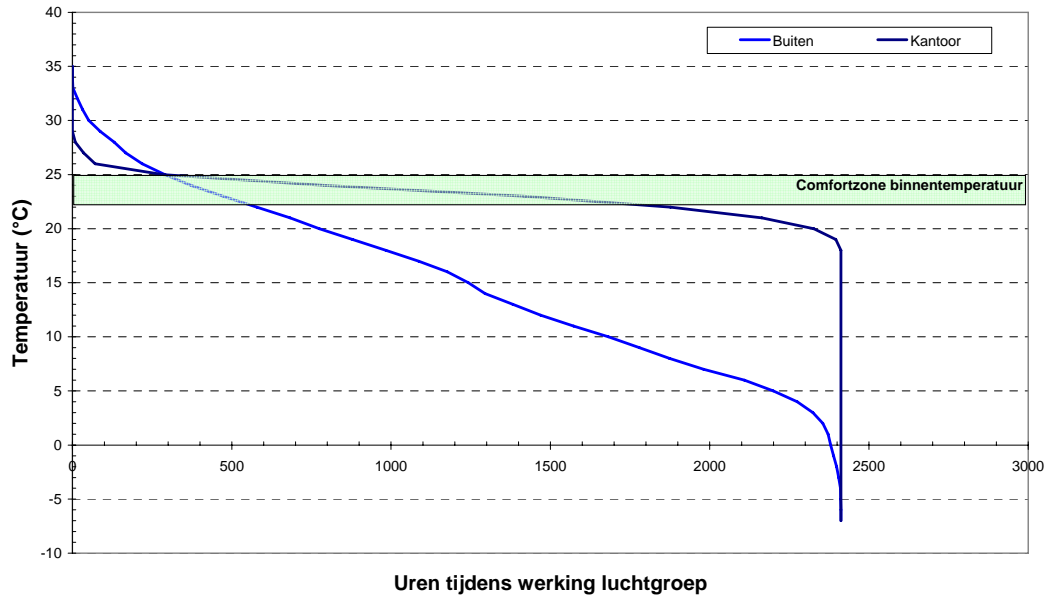
*Figuur 7: Verloop kantoor- en buitentemperatuur over het jaar 2003*

Figuur 8 toont de duurcurve van de buffer-, buiten- en kantoortemperatuur gedurende de registratieperiode. Figuur 9 geeft éézelfde grafiek weer maar dan enkel tijdens de werking

van de luchtgroep wat overeenkomt met de openingsuren van het kantoorgebouw (bufferruimtetemperatuur werd niet weergegeven).



Figuur 8: Duurcurve gemiddelde kantoor- en buitentemperatuur (totale periode)



Figuur 9: Duurcurve gemiddelde kantoor- en buitentemperatuur (enkel tijdens werking luchtgroep = openingsuren kantoren)

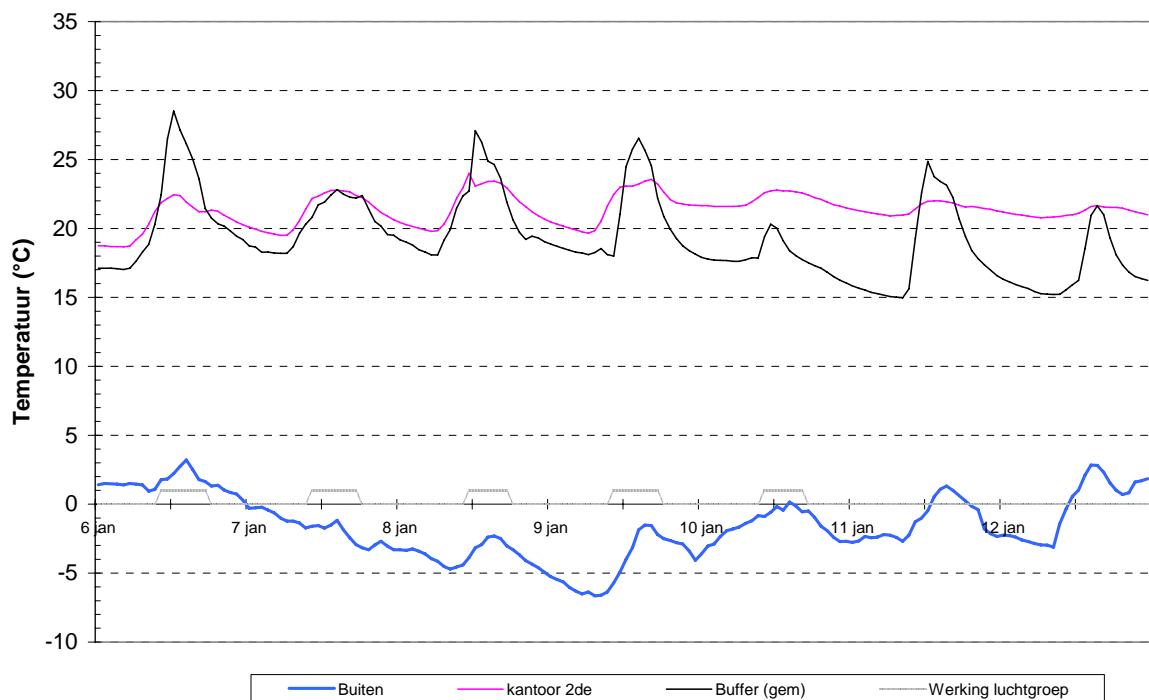
Uit figuur 7 is af te leiden dat de kantoortemperatuur gedurende korte perioden boven de prestatie-eis<sup>2</sup> (of comfortzone) uitkomt. In 286 uren (of 12% van de kantoortijd) kwam de

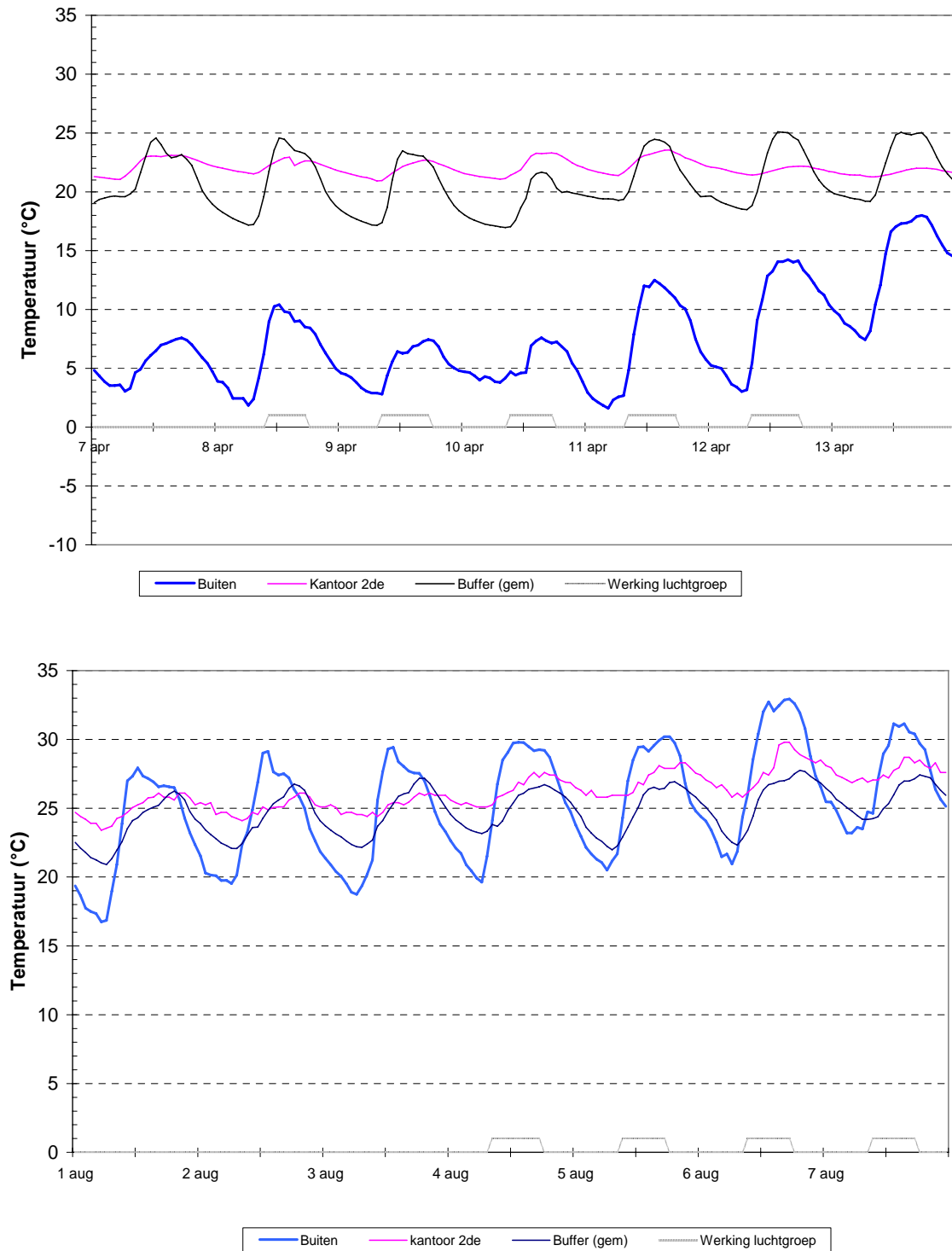
<sup>2</sup> Als prestatie-eis werd een maximale comforttemperatuur in zomer en winter van 22 tot 25,5°C opgelegd (de overschrijdingsuren: < 30 h, 1% van de werktijd). De binnenlucht mag maximaal 26,5°C bedragen en mag niet overschreden worden

kantoortemperatuur boven de 25°C of meer uit. De luchtgroep was in totaal 2.412 uren in werking. In het jaar 2003 hadden we tijdens de zomermaanden vaak buitentemperaturen hoger dan 30°C (vooral maand augustus 2003).

Ten opzichte van de initiële prestatie-eis van het gebouw is dit een overschrijding die te wijten is aan het feit dat in het jaar 2003 de installatie nog niet volledig geoptimaliseerd was naar de regeling en de instelling van verschillende parameters (binnentemperatuur, werking luchtgroep, ...).

Figuur 10 geeft het verloop weer van de buitentemperatuur, de kantoortemperatuur op de 2<sup>de</sup> verdieping en de gemiddelde bufferruimtetemperatuur gedurende een week in januari (6/01 tot en met 12/01/2003), april (7/04 tot en met 13/04/2003) en augustus 2003 (01/08 tot en met 7/08/2003). Op de grafiek werd tevens de werking van de luchtgroep weergegeven. Voor de bufferruimtetemperatuur wordt in de grafieken de gemiddelde temperatuur van de temperatuursensoren T12 en T14 genomen.





*Figuur 10: Verloop buiten-, kantoor en (gemiddelde)bufferruimtetemperatuur gedurende een week in januari, april en augustus 2003*

Uit de figuren is af te leiden dat de kantoortemperatuur in de maanden januari en april 2003 niet boven de 25°C uitkwam. In de maand augustus echter steeg de kantoortemperatuur tot



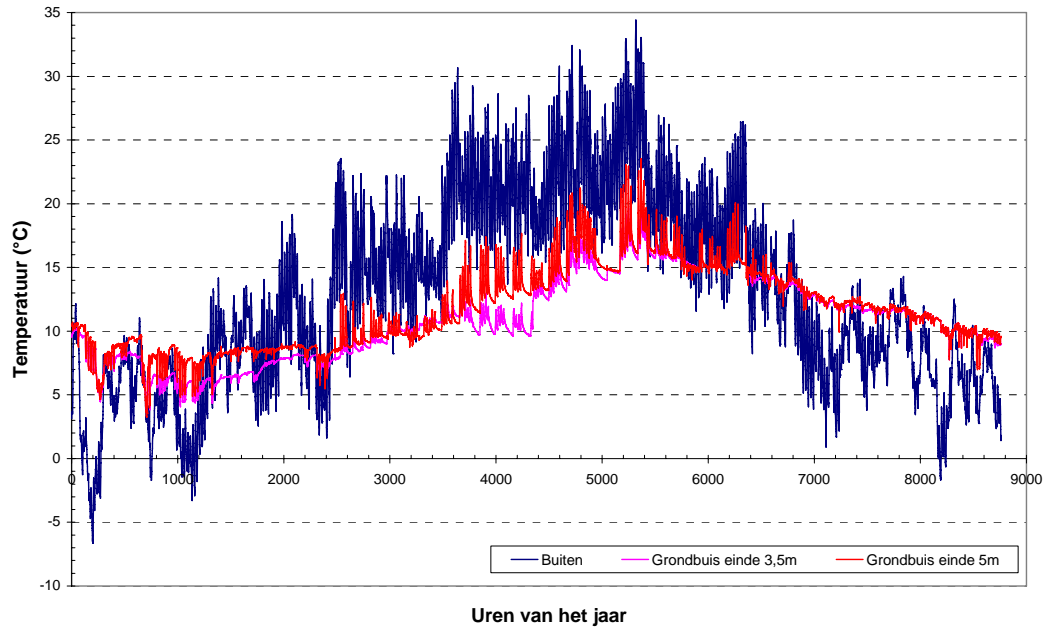
ver boven de 25°C. In deze maand was echter sprake van een hoge gemiddelde buitentemperatuur.

Met de grondbuis kan een maximale warmtewinst van 10 kW en een koudewinst van 25 kW gerealiseerd worden zij het in een zeer beperkte periode. Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het kantoorgebouw wat op zich niet veel is. De koudebehoefte van het kantoorgebouw wordt echter niet 100% gedekt door de grondbuizen vermits de binnentemperatuur van de kantoorlokalen inde zomermaanden boven de 25°C uitkwam (en dus in principe extra koeling nodig was). Een grondbuis werkt technisch goed maar zijn koude- of warmtebijdrage aan het geheel is niet hoog en kan dus nooit als alleenstaand systeem ingezet worden. Naverwarming of nakoeling is dus steeds noodzakelijk. Verder werkt de bodem als een dynamische thermosfles (indien je in de bodem geen warmte of koude in een bepaald seizoen opslaat, kan er ook geen uitgehaald worden).

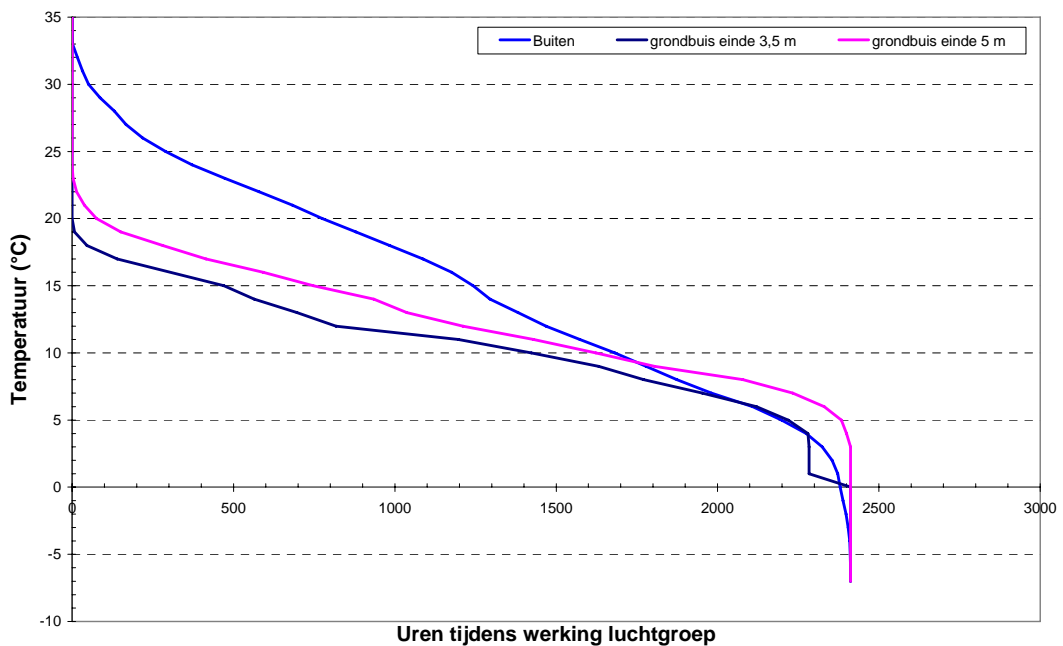
Wel is het zo dat in dit kantoorgebouw de koellast (bij het ontwerp van het kantoorgebouw) al tot een minimum is herleid door gebruik te maken van natuurlijke nachtventilatie, energiezuinige en efficiënte kantoorapparatuur, ...

## 4.2 Evaluatie van de grondbuizen

Figuur 11 toont het verloop van de buiten- en de grondbuistemperatuur (bij de uitgang) op 3,5 en 5m diepte gedurende de volledige meetperiode in 2003. Figuur 12 toont de jaarbelastingduurcurve van de buiten- en grondbuistemperaturen (enkel tijdens werking van de luchtgroep).



*Figuur 11: Verloop buiten- en grondbuistemperatuur op 3,5 en 5 m diepte in 2003*

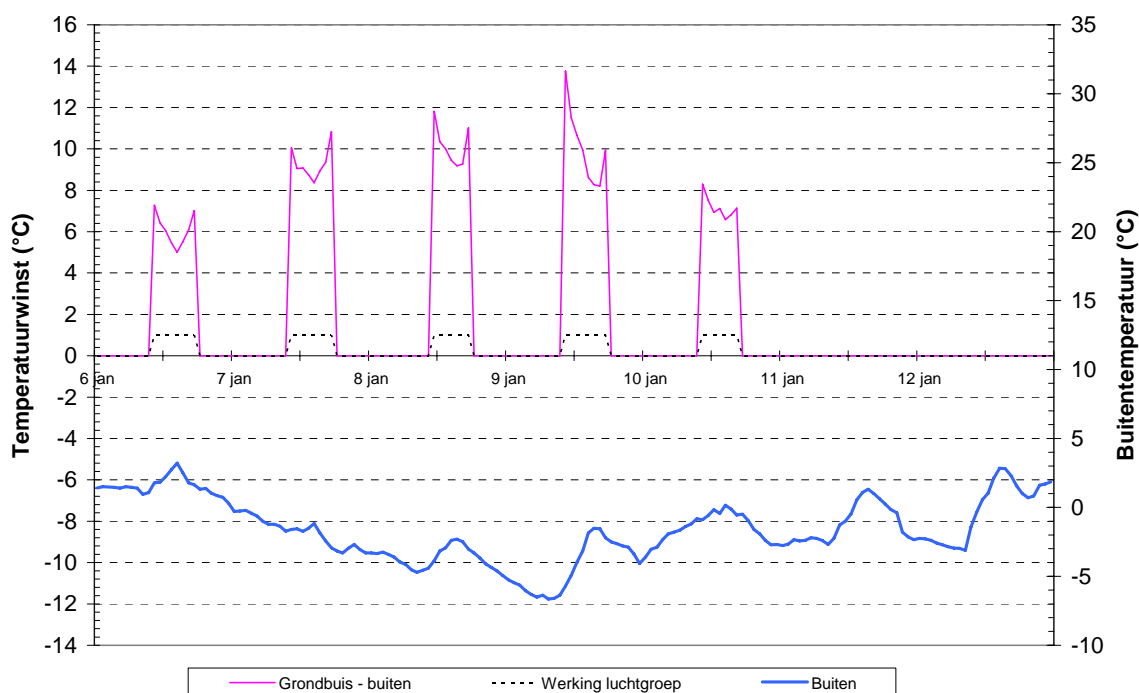


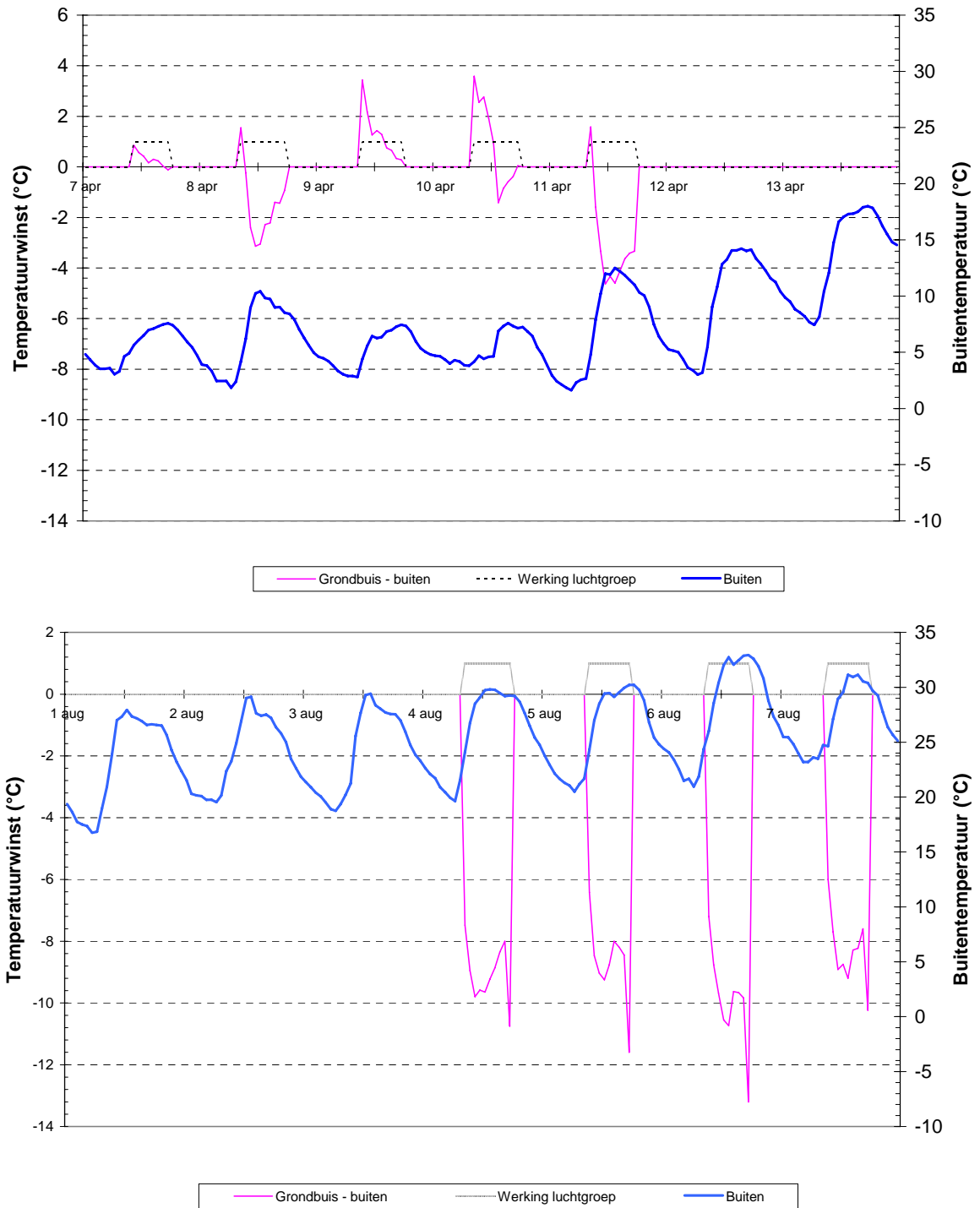
*Figuur 12: Duurcurve buiten- en grondbuistemperatuur op 3,5 en 5 m diepte (enkel tijdens werking luchtgroep)*

De gemiddelde grondbuistemperatuur op een diepte van 3,5 en 5m gedurende het jaar 2003 bedroeg 10°C. Gedurende de wintermaanden bedroeg de gemiddelde grondbuistemperatuur 7°C terwijl dit tijdens de zomermaanden 15°C bedroeg. Met dergelijke temperaturen kan een (beperkte)voorverwarming in de winter en een (beperkte)voorkoeling in de zomer van de ventilatielucht gerealiseerd worden. In de winter verlaagt de bodemtemperatuur (door het opslagen van koude) zodat een voorkoeling in de zomer kan gerealiseerd worden. Omgekeerd zal aan het eind van de zomer de grondtemperatuur hoger zijn dan in de winter (door het opslagen van warmte), zodat een voorverwarming van de buitenlucht in de winter kan gebeuren.

Indien we de duurcurve van de grondbuistemperatuur tijdens de werking van de luchtgroep bekijken, besluiten we dat gedurende 1.623 uren (67% van de totale kantoortijd of werkingstijd van de luchtgroep) de grondbuistemperatuur 10°C bedroeg of meer. Gedurende 747 uren bedroeg die zelfs meer dan 15°C. De duurcurve van de grondbuistemperatuur op 5 m diepte ligt hoger dan die op 3,5m diepte. Een significant verschil is er echter niet te merken (slechts 1 à 2°C).

Figuur 13 toont het verloop van de buitentemperatuur en het verschil tussen de buitentemperatuur en de luchttemperatuur na doorgang door de grondbuizen (= temperatuurwinst grondbuizen) gedurende een week in januari (6/01 tot en met 12/01/2003), april (7/04 tot en met 13/04/2003) en augustus 2003 (01/08 tot en met 7/08/2003). Een positieve temperatuurwinst geeft aan dat de grondbuizen voor voorverwarming van de ventilatielucht zorgen en een negatieve temperatuurwinst zorgt voor voorkoeling. De temperatuurwinst wordt enkel weergegeven op de figuren indien de luchtgroep in werking is!! Omwille van de leesbaarheid van de figuren is de schaal van de temperatuurwinst in elke figuur verschillend, de buitentemperatuurschaal is voor elke figuur dezelfde.





*Figuur 13: Verloop buitentemperatuur en temperatuurwinst grondbuizen gedurende een week in januari, april en augustus 2003*

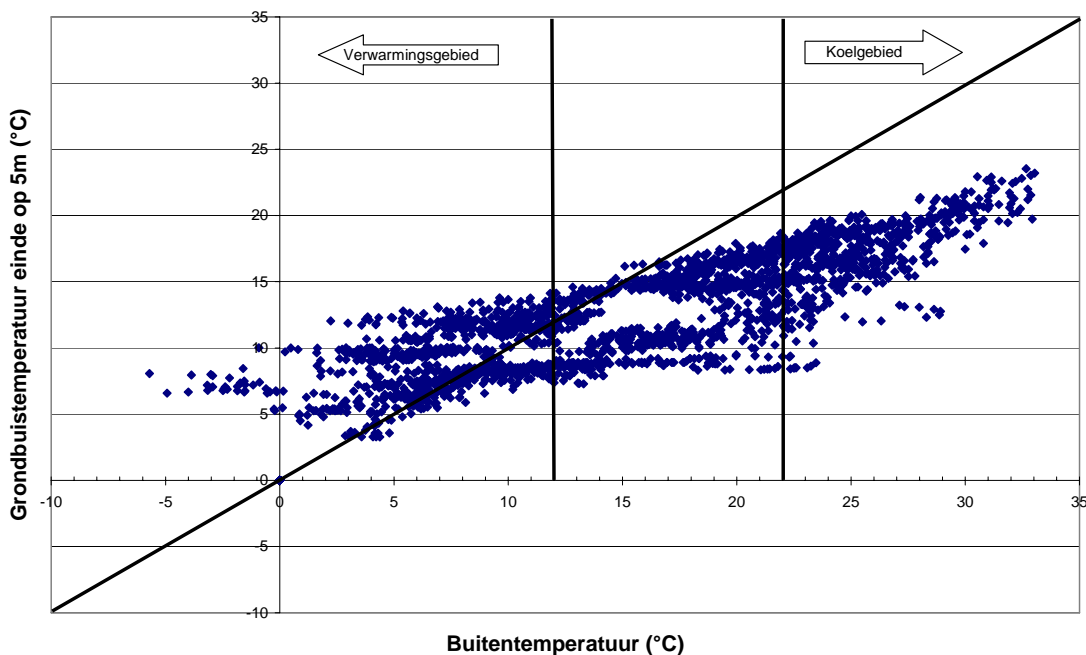
Uit de figuren is af te leiden dat de grondbuizen voor voorverwarming van de ventilatielucht zorgden in de week van januari 2003. Een gemiddelde temperatuurwinst van ongeveer 8°C werd behaald bij een buitentemperatuur van 0°C. Bij lagere buitentemperaturen was het effect groter: het gevolg is dat zelfs bij een buitentemperatuur van -7°C de aanvoerlucht in

de luchtgroep vorstvrij bleef. In januari werd dus door de grondbuis gezorgd voor de voorverwarming van de ventilatielucht.

In de week in april 2003 zorgden de grondbuizen echter voor een voorverwarming of een voorkoeling van de ventilatielucht. De voorkoeling was echter groter dan de voorverwarming in deze periode. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 5°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer 2 à 3°C. Men kan stellen dat bij buitentemperaturen boven de 8°C de grondbuizen zorgden voor een negatieve temperatuurwinst (dus voorkoeling).

Tijdens de zomermaand augustus 2003 zorgden de grondbuizen echter voor voorkoeling van de ventilatielucht (een negatieve temperatuurwinst). Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 25°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer -10°C. Bij een buitentemperatuur van 33°C bedroeg de luchttemperatuur na doorgang door de grondbuizen 25°C zonder hierbij extra hulp van een koelmachine.

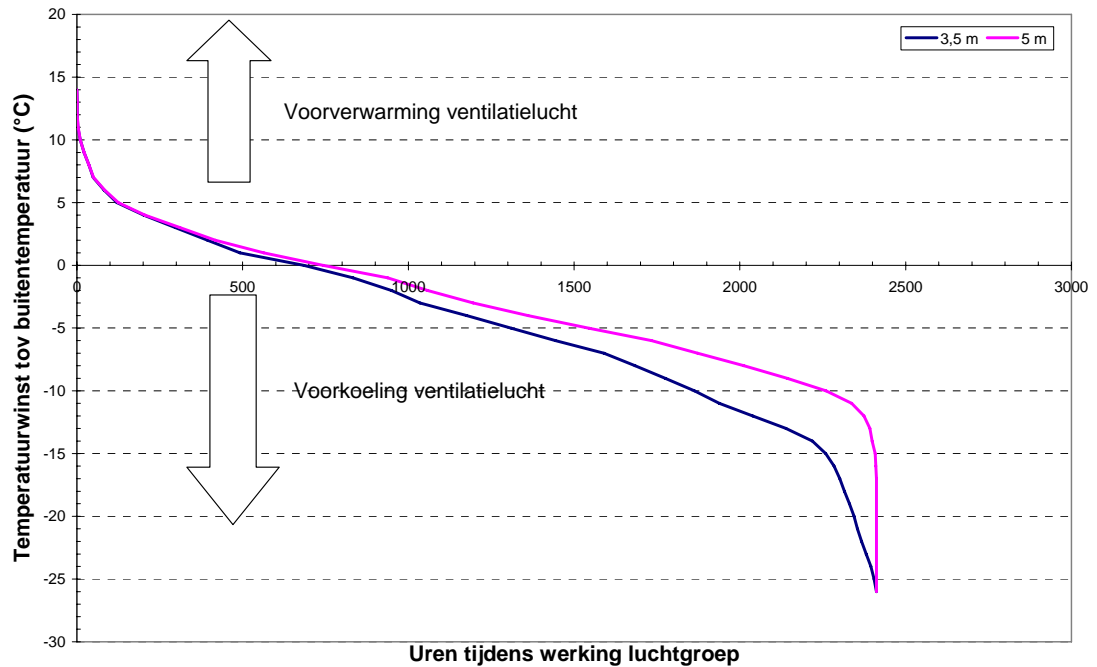
Figuur 14 toont het verband tussen grondbuistemperatuur (bij de uitgang) en buitentemperatuur tijdens de werking van de luchtgroep. Op de grafiek werd tevens een lijn van 1 op 1 weergegeven (zelfde grondbuis- en buitentemperatuur) en (ter illustratie) de lijnen van verwarmings- en koelgebied van een klassiek kantoorgebouw.



*Figuur 14: Verband tussen grondbuis- en buitentemperatuur (enkel tijdens werking luchtgroep)*

Er zijn meer punten onder de 1/1 lijn wat duidt op een voorkoeling dan op een voorverwarming. Op basis van deze figuur leiden we af dat de grondbuizen in dit project meer dienst doen als voorkoeling dan als voorverwarming van de ventilatielucht.

Figuur 15 toont de duurcurve van de temperatuurwinst door de grondbuis op een diepte van 3,5 en 5m gedurende de werking van de luchtgroep. Figuur 16 toont dezelfde grafiek maar dan uitgedrukt in warmte- of koudevermogen.



Figuur 15: Duurcurve temperatuurwinst grondbuizen op 3,5 en 5 m diepte (enkel tijdens werking luchtgroep)



Figuur 16: Duurcurve warmte- of koudewinst grondbuizen op 3,5 en 5 m diepte (enkel tijdens werking luchtgroep)

Met de grondbuizen kan een maximale warmtewinst van 10 kW en een koudewinst van - 25 kW gerealiseerd worden zij het over een zeer beperkte tijdsperiode. Gemiddeld gezien over het jaar heeft de grondbuis een thermisch vermogen van 1,3 kW en 8,0 kW koude geleverd aan het gebouw. Dit zijn lage getallen indien men de grondbuis enkel en alleen zou gebruiken als zelfstandige (of enige) energiebron wat in dit project niet mogelijk was.

Men dient er mee rekening te houden dat het gebruik van de ondergrond (bodem) als energiebron een dynamisch geheel is. Indien men bijv. tijdens de maand juni veel koude aan de bodem ontrekt, blijft er voor de maanden juli en augustus niet veel koude (potentieel) meer over en is het koelpotentieel beperkt. Zelfde conclusie is geldig voor de wintermaanden. Bij de dimensionering van de grondbuizen (aantal, lengte, diameter, ...) kan hier enigzins rekening mee gehouden worden maar dan wordt soms het plaatje van de investeringskosten vrij hoog.

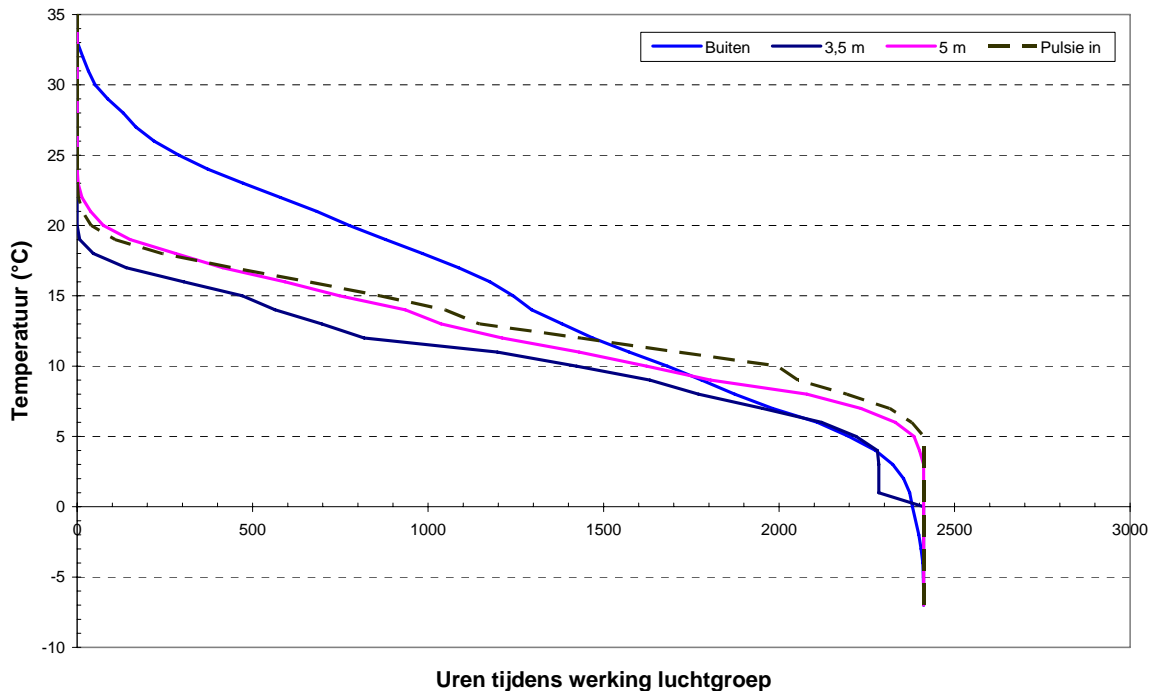
Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven gedurende de meetjaar 2003. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het gebouw wat op zich niet veel is.

#### **Opmerking :**

Het is belang dat de deksels van de toezichtputten steeds (lucht)dicht afgesloten worden daar anders valse buitenlucht wordt aangezogen wat niet de bedoeling is! Om die reden werden in het najaar de deksels langs de binnenzijde bekleed met een EPDM-folie. Tijdens bezoeken ter plaatse werd soms vastgesteld dat de deksels van de toezichtputten open lagen (na uitgevoerde werkzaamheden aan de grondbuizen) wat voor een onveilige en energieonvriendelijke situatie kan zorgen.

### 4.3 Evaluatie luchtkanaal tussen grondbuis en warmtewisselaar

Figuur 17 toont de duurcurve van de buiten-, grondbuis- en pulsie in temperatuur gedurende de werking van de luchtgroep.



*Figuur 17: Duurcurve van buiten-, grondbuis- en pulsie in temperatuur gedurende de werking van de luchtgroep*

Uit metingen van de verschillende temperaturen blijkt dat de temperatuur op het einde van de grondbuis en de temperatuur aan de ingang van het pulsiekanaal beduidend verschillend zijn. Dit kan erop wijzen dat ofwel (1) de klep van de buitenluchtopname aan het pulsiekanaal niet volledig dicht staat m.a.w. er wordt buitenlucht meegenomen als pulsielucht ofwel (2) dat er een lek is aan de aansluitingen.

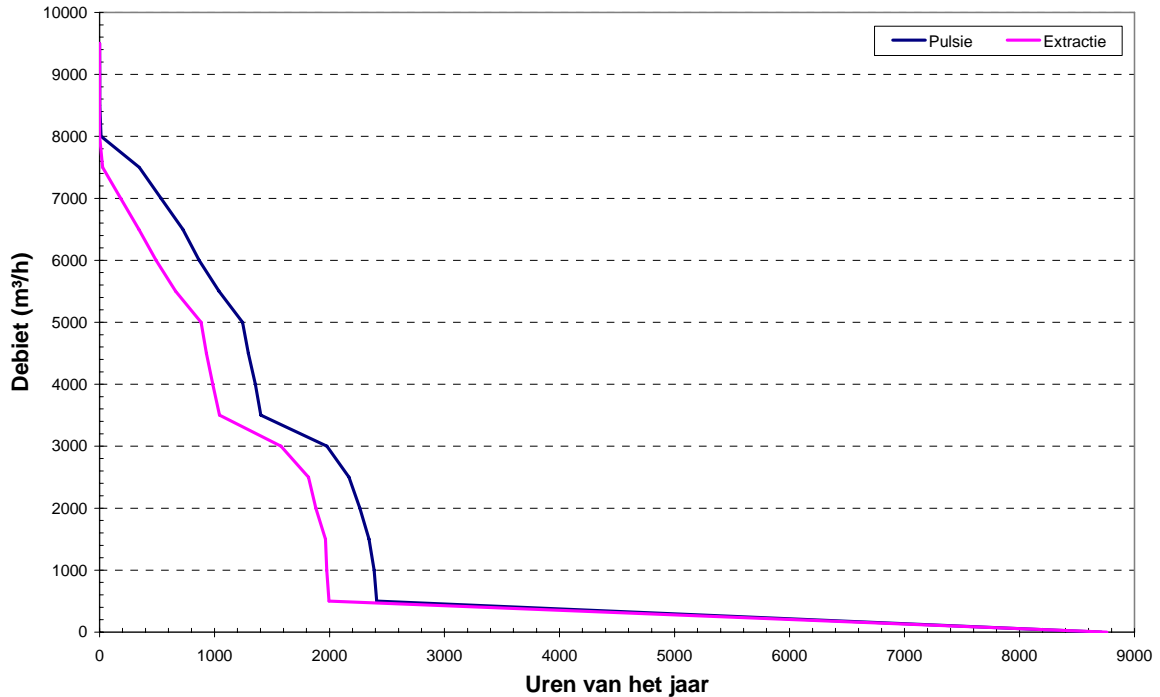
De aangezogen lucht wordt vanaf het einde van de grondbuizen tot aan de ingang van de warmtewisselaar ("pulsie in") opgewarmd met enkele graden (1 tot 2°C). Dit effect treedt vooral op in de maanden februari en april 2003. In de zomermaanden is dit verschil kleiner. De temperatuurwinst, die door de grondbuizen wordt gegenereerd, wordt in een aantal gevallen sterk verminderd door de buitenluchtopname. Om die reden zal het rooster voor rechtstreekse luchtname van buiten luchtdicht afgekleefd worden. Tevens nemen we in het vervolg de temperatuur "grondbuis einde" als temperatuur en niet de temperatuur "pulsie in" voor de evaluatie van de grondbuis.



## 4.4 Evaluatie van de regeneratieve warmtewisselaar

### Pulsie- en extractiedebiet luchtgroep

Figuur 18 geeft de duurcurve van pulsie- en extractiedebiet doorheen de warmtewisselaar gedurende de meetperiode.

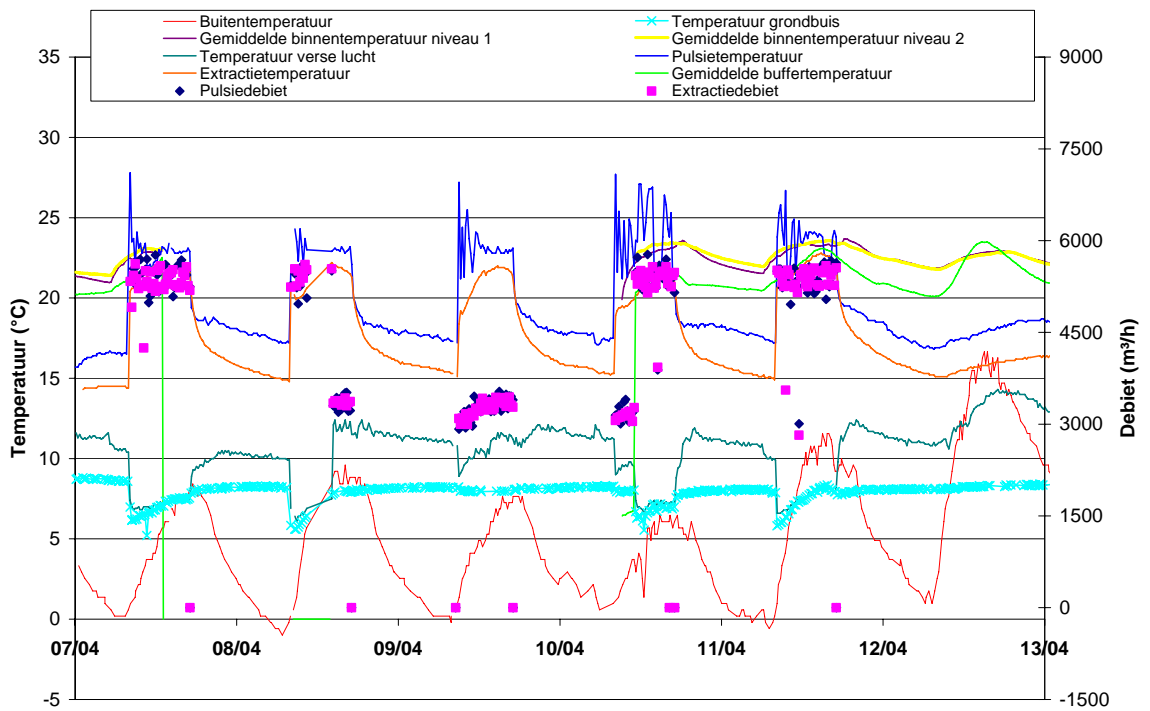
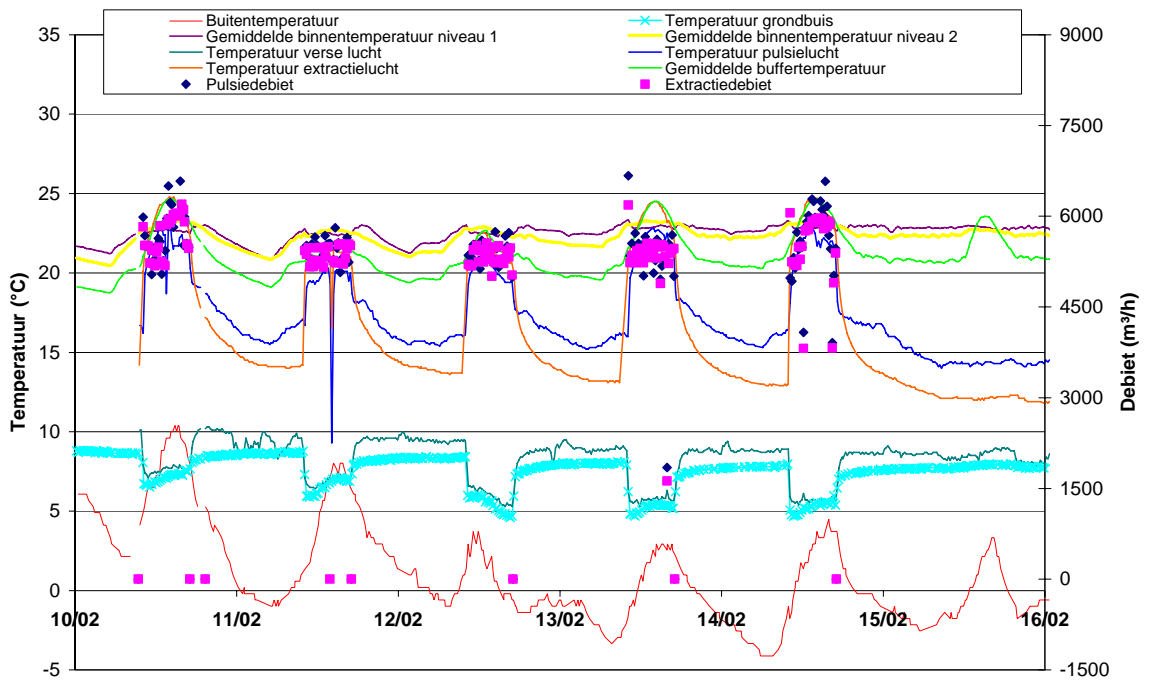


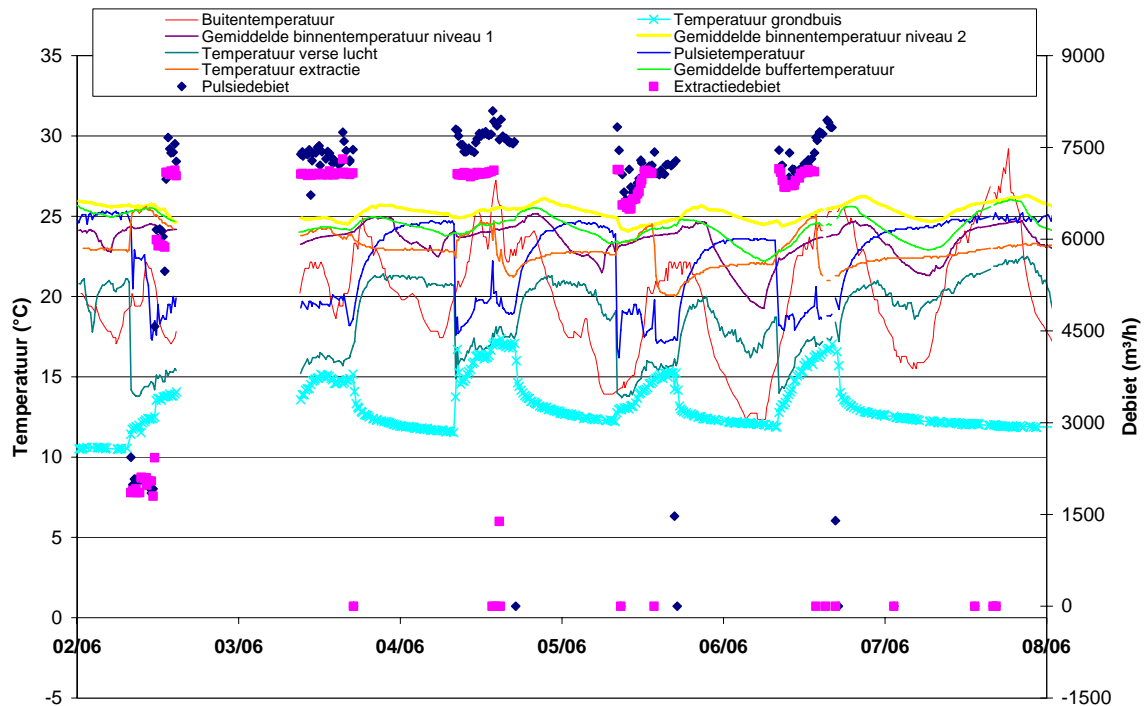
*Figuur 18: Duurcurve pulsie- en extractiedebiet gedurende de werking van de luchtgroep*

Gedurende ongeveer 1.000 uren (~41% van de werkingstijd) bedroeg het debiet 3.500 m<sup>3</sup>/h of meer. De luchtgroep was in totaal 2.412 uren in dienst. Het maximale debiet van de luchtgroep bedroeg 8.000 m<sup>3</sup>/h. De duurcurve van het extractiedebiet ligt lager dan de duurcurve van het pulsiedebiet vanwege de uitschakeling van de extractieventilator bij te hoge buitentemperaturen (vooral in de zomer). Anders zou door de warmtewisselaar te veel warmte worden overgedragen (of overgedragen worden) (door het hoge rendement van de warmtewisselaar) aan de “gekoelde” lucht van de grondbuis.

### Debiet- en temperatuurregeling

Figuur 19 geeft het verloop weer van de pulsie- en extractietemperaturen en de pulsie- en extractiedebieten van de regeneratieve warmtewisselaar gedurende een week in februari 2003 (10/02 tot en met 16/02/2003), april (7/04 tot en met 13/04/2003) en juni 2003 (2/06 tot en met 8/06/2003) [meetgegevens Cenergie].



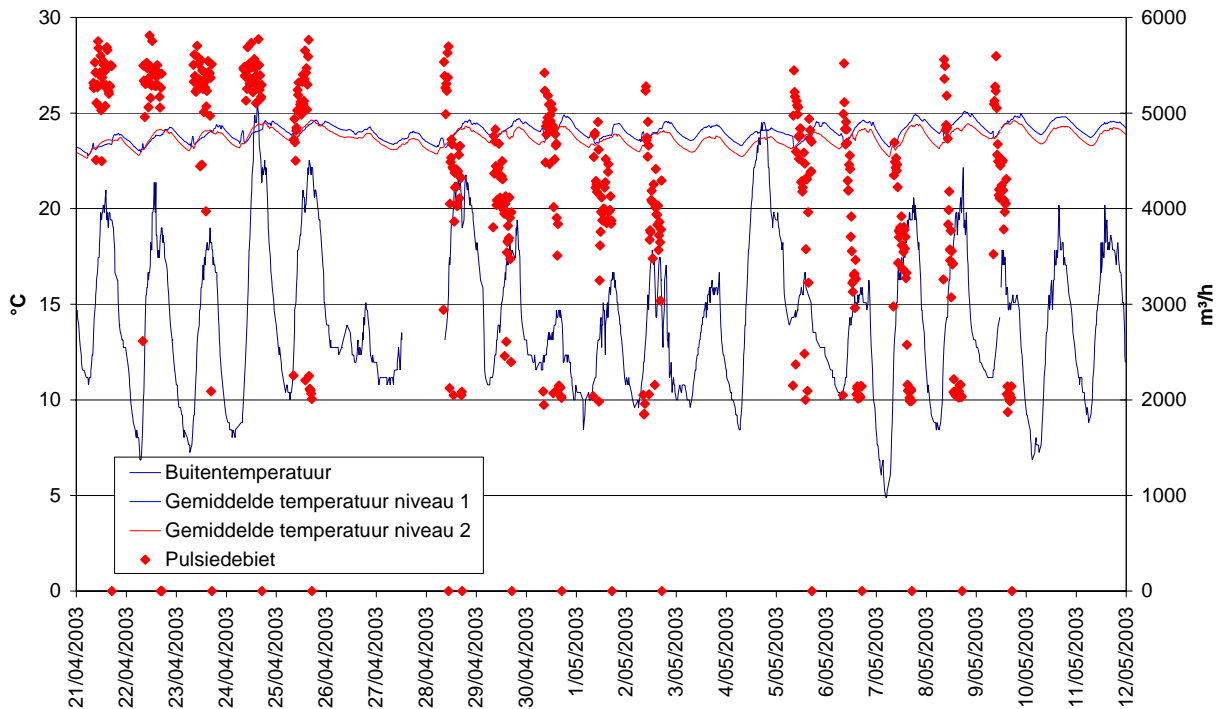


Figuur 19: Verloop pulsie- en extractietemperatuur en pulsie- en extractiedebiet gedurende een week in februari, april en juni 2003 [meetgegevens Cenergie]

In februari varieerde het pulsie- en extractiedebiet tussen 4.500 en 6.500 m<sup>3</sup>/h met een gemiddeld debiet van 5.000 m<sup>3</sup>/h. Het debiet bleef echter vrij constant en werd niet geregeld door de signalen van de luchtkwaliteitsmeters. De luchtgroep was in werking vanaf 10:00 's morgens tot 17:00 's avonds. Op de figuur is het effect te zien van de werking van de grondbuizen in de voorverwarming van de ventilatielucht (+/- 5°C verhoging temperatuur) en het effect van een regeneratieve warmtewisselaar (verhoging pulsielucht van 6°C naar 23°C). Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 2°C en een extractieluchttemperatuur van 24°C, wordt de pulsieluchttemperatuur 22°C!

In april werd het debiet (1.500 tot 7.500 m<sup>3</sup>/h) beter geregeld dan in de voorgaande maanden. Dit verschijnsel was echter maar van kort duur vermits het debiet vanaf 11/04 terug maximaal was en dus niet meer geregeld werd op basis van de luchtkwaliteit (deze tijdelijke daling van het debiet was te wijten aan een manuele instelling). Bij deze lage debieten bleef de temperatuur in de grondbuis relatief constant wat bij een maximaal debiet niet het geval was. De werking van de naverwarmingsbatterij blijkt uit de figuur daar de pulsietemperatuur hoger ligt dan de extractietemperatuur.

Vanaf 28/04/2003 werd het debiet echter veel beter geregeld. De aanpassing van de regeling van de debietsregelkleppen naar een open-dicht sturing in functie van de luchtkwaliteit leverde goede resultaten op. Dit wordt geïllustreerd in de onderstaande figuur.

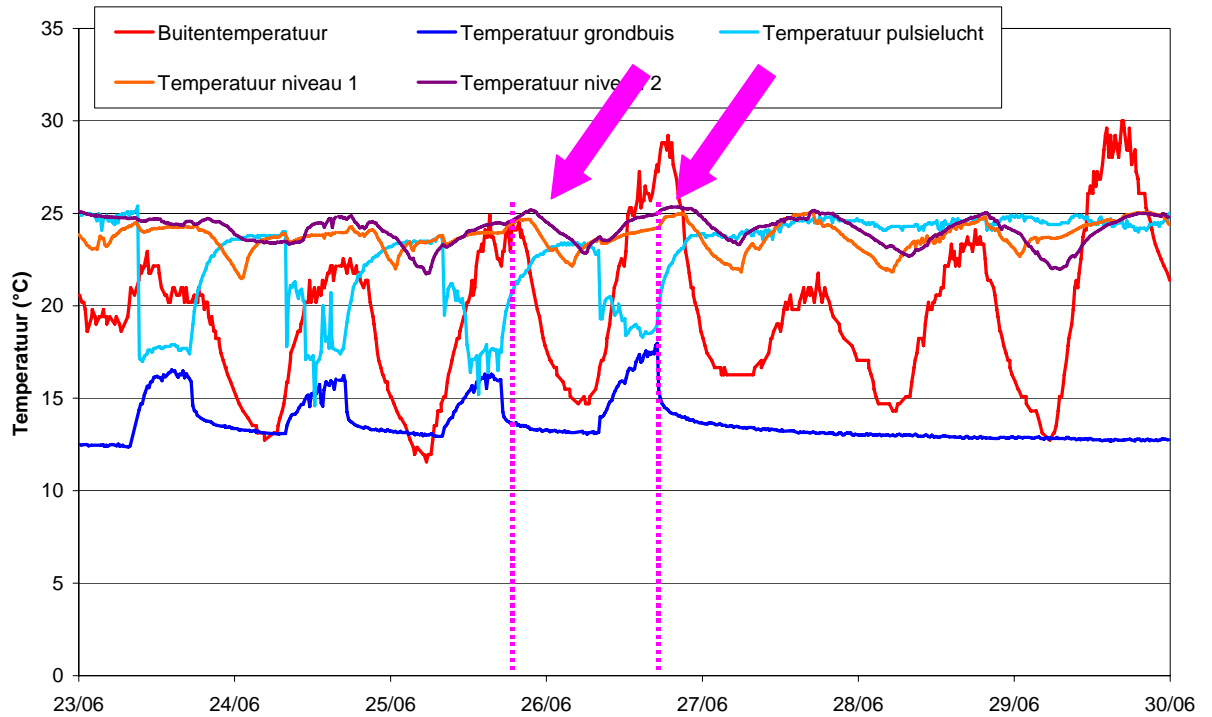


*Figuur 20: Regeling pulsiedebiet [meetgegevens Cenergie]*

De temperatuur van de pulsielucht is echter vrij hoog ( $23^{\circ}\text{C}$  bij werking luchtgroep). Dit kan te maken hebben met het feit dat er door de naverwarmingsbatterij nog bijverwarmd wordt (!). Het set-point voor verwarming werd op vraag van de gebruikers verhoogd van  $22^{\circ}\text{C}$  naar  $23^{\circ}\text{C}$ . De pulsielucht dient echter frequent bijverwarmd te worden omdat de grondbuistemperatuur laag is (gemiddeld  $8^{\circ}\text{C}$ ). Een omschakeling tussen aanzuig uit de grondbuis of aanzuig van buiten kan nuttig zijn maar dan verdwijnt wel een stuk van het nut van een grondbuis gezien het hoge rendement van de warmtewisselaar. Dit bevestigt dat de grondbuizen vooral nut hebben voor de beheersing van het zomercomfort en minder nut hebben in de winter (mits er een goede warmtewisselaar aanwezig is).

Uit de figuur voor juni besluiten we dat het debiet terug maximaal is. Vermits de buitentemperatuur vrij hoog is, wordt overgeschakeld van een debietsregeling naar een temperatuursregeling (om oververhitting in de kantoren te vermijden).

In de onderstaande figuur kan men duidelijk het effect van de grondbuislucht op de binnentemperatuur illustreren. Na het uitschakelen van de luchtgroep op het einde van de werkdag, stijgt de binnentemperatuur op korte tijd 1 à  $2^{\circ}\text{C}$ .

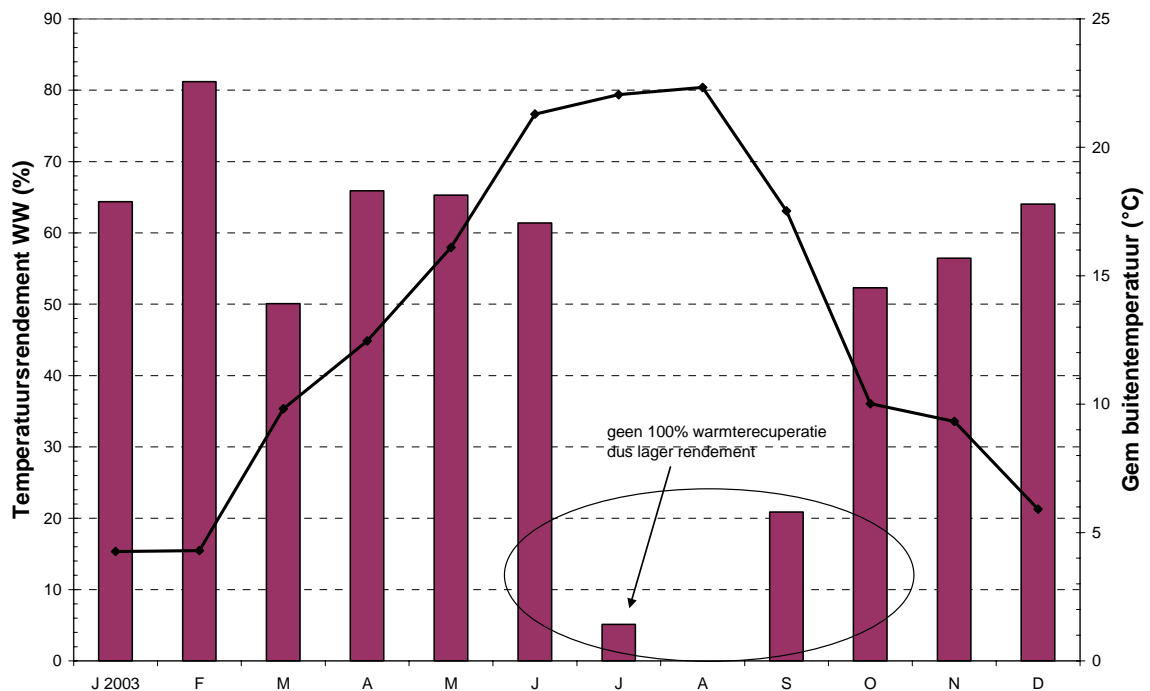


*Figuur 21: Effect grondbuizen op binnentemperatuur [meetgegevens Cenergie]*

Door tal van aanpassingen uit te voeren aan de regeling en aan de installatie (naverwarmingsbatterij, aanpassing luchtkwaliteitsmeters, ...) blijkt dat het geheel nu vrij goed functioneert. Een aantal setpunten zijn nog niet optimaal (of te hoog) ingesteld (vaak door eisen van de gebruikers).

## Regeneratieve warmtewisselaar

Op basis van een temperatuursmeting op de luchtgroep kan het temperatuurrendement van de warmtewisselaar bepaald worden (enkel indien de luchtgroep in werking is). Er dient wel rekening gehouden te worden met het aantal aanpassingen aan de regeling gedurende de meetperiode 2003. Deze kunnen het rendement in een aantal gevallen nog doen wijzigen. Figuur 22 toont het gemiddeld maandelijks temperatuurrendement in functie van de buitentemperatuur.



*Figuur 22: Gemiddeld maandelijks temperatuurrendement warmtewisselaar in functie van de gemiddelde buitentemperatuur*

Het temperatuurrendement van de regeneratieve warmtewisselaar op maandbasis bedroeg gemiddeld 50% met een maximum van 81% en een minimum van 5%. Bij lagere debieten (orde grootte van 3.500 m<sup>3</sup>/h) is het temperatuurrendement van de luchtgroep lager maar toch nog hoger dan het rendement van een klassieke kruis- of platenwarmtewisselaar. Deze “lagere” rendementen worden wel gemeten bij relatief hoge buitentemperaturen (bijv. bij een buitentemperatuur van 21°C en een luchtdebiet van 3.500 m<sup>3</sup>/h bedraagt het rendement gemiddeld 60%). Bij dergelijke hoge buitentemperaturen zal de warmterecuperatie gemoduleerd worden (geen 100 % warmterecuperatie) om te vermijden dat teveel warmte gerecupereerd wordt. Dit verklaart de lagere rendementen bij hoge buitentemperaturen.

De gerecupereerde warmte door de warmtewisselaar bedroeg 16.513 kWh of 19% van de totale warmtevraag (ketels + grondbuizen) wordt gerecupereerd.

## 4.5 Samenvatting van de thermische energiestromen

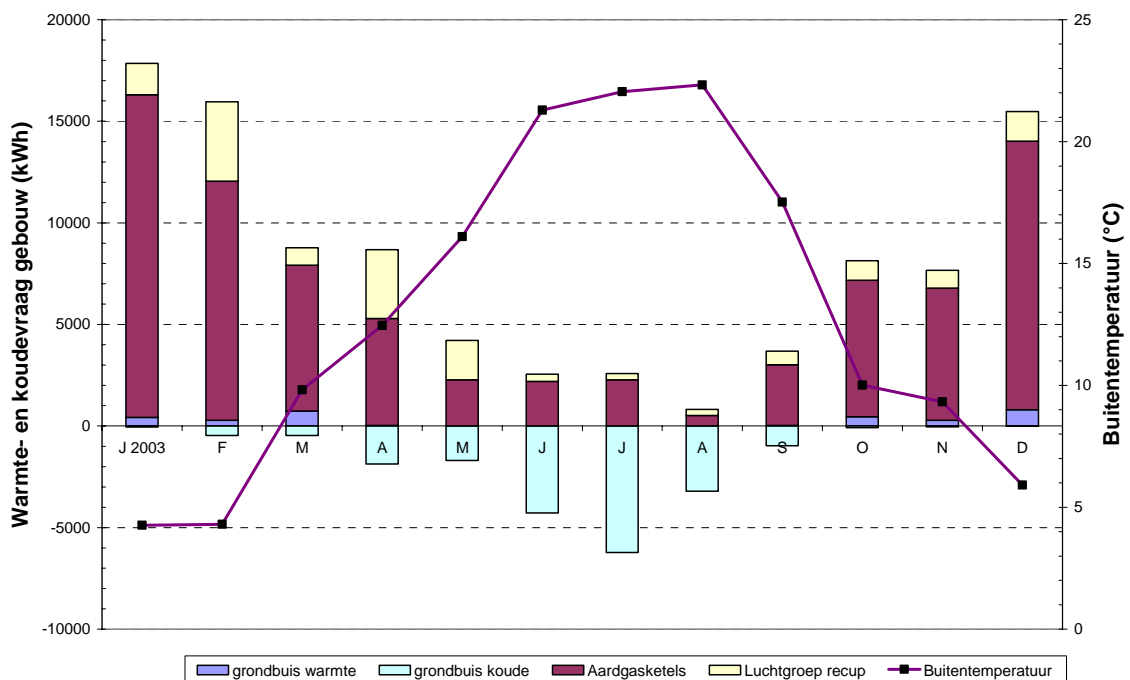
Op basis van temperatuur- en debietmetingen kan een berekening van het thermisch vermogen van de grondbuis, warmtewisselaar en totale gebouw opgemaakt worden.

Gedurende de meetperiode 2003 werd door het gebouw 7.317 m<sup>3</sup> (of 76.824 kWh<sub>ovw</sub>) aardgas verbruikt voor de verwarming van het gebouw. Dit komt overeen met een warmteproductie van ongeveer 65.300 kWh. Dit geeft 835 vollasturen voor de verwarmingsketels wat met een belastingsgraad van 14% overeenkomt. Vollasturen van 1.100 tot 1.600 uren/jaar zijn een range voor kantoorgebouwen [6].

Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven gedurende de meetperiode. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het gebouw wat op zich niet veel is. De gerecupereerde warmte door de warmtewisselaar bedroeg 16.513 kWh of 19% van de totale warmtevraag.

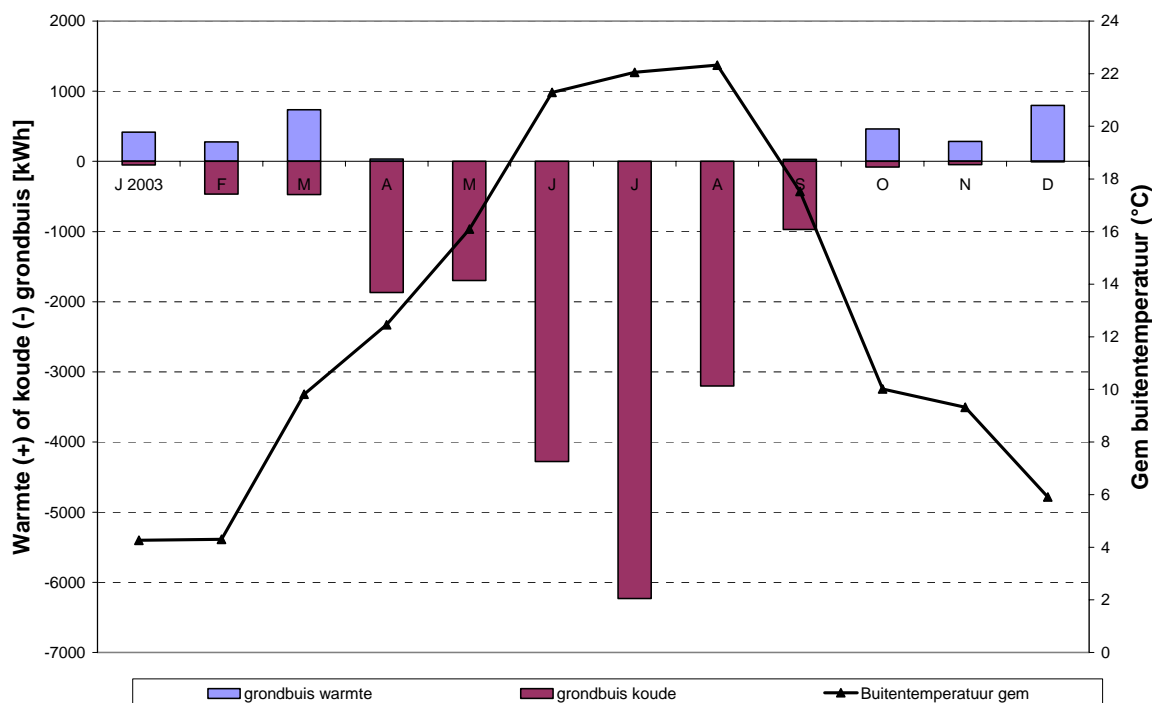
Het totaal elektriciteitsverbruik voor dit kantoorgebouw in 2003 bedroeg 87.750 kWh/jaar. De pulsie- en extractieventilatoren nemen hiervan 10.130 kWh/jaar (12%) in. De koelmachine die in het jaar 2003 enkel koude leverde aan het computerlokaal (en niet voor het koelen van de kantoorlucht) verbruikte 5.244 kWh/jaar (6%). Een brandstof/elektriciteitsverhouding van 47%/53% kenmerkt dit gebouw.

Figuur 23 toont de thermische energiestromen van de grondbuis (warmte en koude), de aardgasketels en de gerecupereerde warmte in functie van de buitentemperatuur voor het jaar 2003.



Figuur 23: Thermische energiestromen voor het gebouw en buitentemperatuur voor 2003

Om de leesbaarheid van de figuur te vergroten geven we de cijfers nog eens weer in Figuur 24 maar dan enkel met de gegevens van de grondbuizen.



Figuur 24: Warmte- en koudeproductie door de grondbuizen voor 2003

Indien we een aantal specifieke energiekenngetallen voor dit kantoorgebouw gaan berekenen komen we tot volgende zeer goede cijfers. Een waarschuwing naar het gebruik van kengetallen is dat deze immers uitgemiddelde richtwaarden zijn die geen rekening houden met het gebruikspatroon van een gebouw, de verschillende installaties, verlichting, ...

Tabel 3 geeft de kengetallen weer voor het kantoorgebouw SDworx en enkele beschikbare kengetallen van het Vlaamse kantorenpark.

Tabel 3: Kengetallen van het kantoorgebouw voor 2003 [2, 3, 5, 6]

Specifiek kengetal (kWh/m <sup>2</sup> .jaar vloer opp)	SD worx	Vlaams kantorenpark	Novem cijfers
Elektriciteit	65	140	35 - 89
Brandstof	57	40 – 350	90 - 200
Warmte	48	-	-

In vergelijking met het Vlaamse kantorenpark verbruikt het kantoorgebouw van SDworx 47% minder op het elektriciteitsverbruik en 44% op de aardgasverbruik. Het is moeilijk te bepalen wat het aandeel van de isolatie, de nachtventilatie, de grondbuizen en de warmtewisselaar in het geheel hebben daar met te veel aannames en invloedsfactoren dient rekening gehouden te worden. Het kantoorgebouw mag dus met recht een zeer energiezuinig gebouw genoemd worden.



Voor de grondbuizen kunnen eveneens specifieke kengetallen gemaakt worden. Dit geeft voor dit project volgende resultaten:

- een specifiek warmtevermogen van 0,9 W/m<sup>2</sup> of 2,3 kWh/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte voor de grondbuizen;
- een specifiek koudevermogen van 5,9 W/m<sup>2</sup> of 14,3 kWh/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte voor de grondbuizen.

Indien we de **totale oppervlakte van de grondbuizen** berekenen komen we tot de volgende waarden in tabel 4. Merk op dat het specifiek kengetal voor de grondbuizen bij SDworx ver buiten de kenmerken van de andere grondbuizen ligt.

*Tabel 4: Kengetallen voor de grondbuizen [4]*

<b>Specifiek kengetal (kWh/m<sup>2</sup>,jaar totale grondbuis opp)</b>	<b>SDworx</b>	<b>Andere grondbuizen</b>
<b>Warmte</b>	15	16 – 51
<b>Koude</b>	95	12 - 24

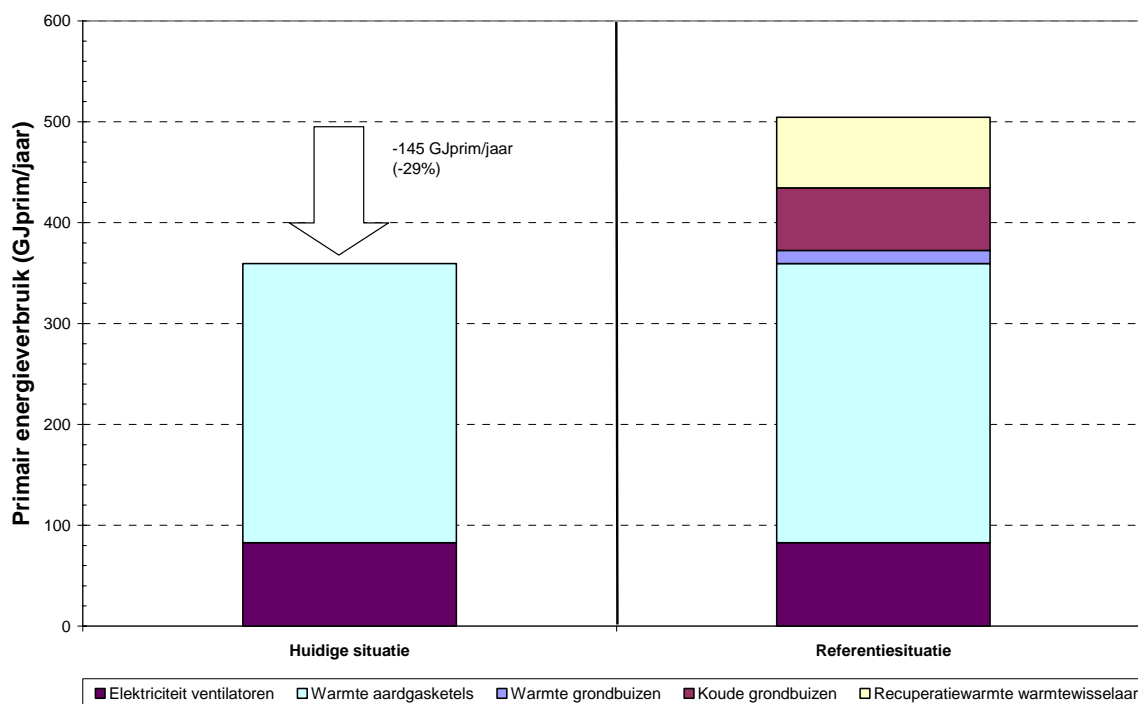
## 5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN CO<sub>2</sub>-REDUCTIE

Voor de bepaling van primaire energiebesparing en CO<sub>2</sub> reductie werd een referentiesituatie vastgelegd. De referentiesituatie bestaat uit hetzelfde kantoorgebouw maar dan zonder horizontale grondbuizen en regeneratieve warmtewisselaar. In de referentiesituatie wordt gebruikt gemaakt van een klassieke luchtgroep met verwarmings- en koelbatterij. We veronderstellen dat het luchtdebiet van de ventilatoren en ook het elektrisch vermogen van de ventilatoren in beide situaties dezelfde zijn.

Volgende uitgangspunten worden gebruikt voor de bepaling van de primaire energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie:

- voor het rendement van een elektriciteitscentrale wordt een waarde van 44% aangenomen;
- voor het rendement van een aardgasketel wordt 85% aangenomen;
- de CO<sub>2</sub>-emissiefactor voor elektriciteit bedraagt 624 g/kWh en de CO<sub>2</sub>-emissiefactor van aardgas bedraagt 56,1 g/MJ;
- een koelmachine met een koudefactor van 2,55 wordt aangenomen [7].

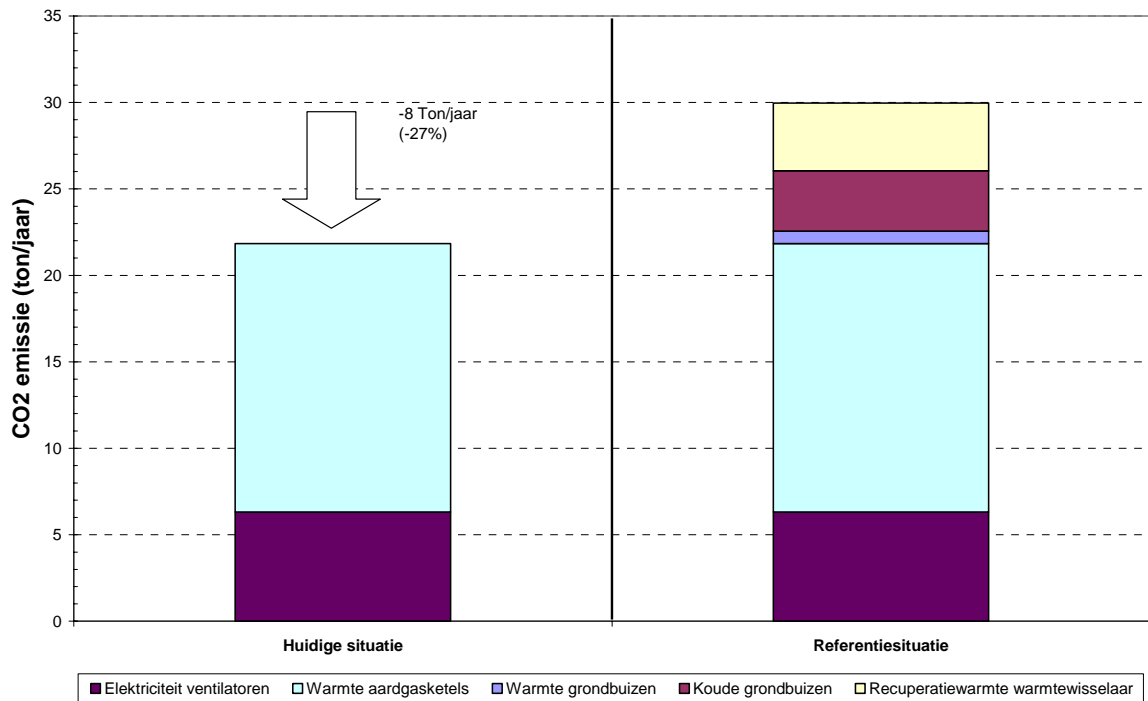
Figuur 25 toont het primair energieverbruik in de huidige en in de referentiesituatie voor het jaar 2003.



Figuur 25: Primair energieverbruik in de huidige en referentiesituatie

Het primair energieverbruik over de meetperiode van de huidige situatie bedroeg 359 GJ<sub>prim</sub>/jaar. In de referentiesituatie zou hiervoor 504 GJ<sub>prim</sub>/jaar nodig zijn. Dit betekent een besparing van 145 GJ<sub>prim</sub>/jaar (of 29% t.o.v. de referentiesituatie).

Figuur 26 toont de CO<sub>2</sub> emissie in de huidige en in de referentiesituatie voor het jaar 2003.



*Figuur 26: CO<sub>2</sub> emissie in de huidige en referentiesituatie*

De CO<sub>2</sub>-emissie van de huidige installatie over de meetperiode bedroeg 30 ton/jaar. De CO<sub>2</sub>-emissie in de referentiesituatie bedraagt 22 ton/jaar. Dit betekent dus een reductie van 8 ton/jaar CO<sub>2</sub> over de meetperiode (of 27% t.o.v. de referentiesituatie).

## 6 ECONOMISCHE EVALUATIE

Voor de economische evaluatie worden enkel de investeringen van de grondbuizen en de meerinvesteringen van de regeneratieve warmtewisselaar gebruikt. Op deze investeringskosten is dan ook het bedrag van de ANRE subsidie bepaald. De in dit rapport gebruikte investeringen zijn de opgegeven investeringen door SD worx bij indiening van het aanvraagdossier voor subsidie. De uiteindelijke investeringen van het project lagen een stuk hoger volgens een mededeling van Cenergie [2]. De energiebesparing wordt bepaald door eenzelfde kantoorgebouw te nemen maar dan met mechanische koeling via een koelmachine. De koelmachine is reeds in het huidige gebouw voorzien (voor koeling datalokalen) vandaar dat de investering niet in rekening wordt gebracht.

Voor de aardgasprijs wordt het tarief C gebruikt met een kostprijs van 2,8135 cEURO/kWh en de elektriciteitsprijs wordt 0,075 EURO/kWh gebruikt. Enkel de variabele kosten voor het aardgas worden in rekening gebracht. Alle vermelde bedragen zijn exclusief 21% BTW.

Tabel 5 toont de economische evaluatie van het project.

*Tabel 5: Economische evaluatie demonstratieproject*

<b>Investeringskosten (€)</b>	
Grondbuizen	46.773
Regeneratieve warmtewisselaar	7.437
<b>Totaal</b>	<b>54.209</b>
<b>Energiebesparing (€/jaar)</b>	
Aardgasbesparing	647
Elektriciteitsbesparing	570
<b>Totaal</b>	<b>1.217</b>
<b>Terugverdientijd (exclusief subsidie) (jaar)</b>	<b>44,5</b>
<b>Terugverdientijd (inclusief subsidie) (jaar)</b>	<b>29,0</b>

De totale investeringen bedragen 54.209 €. Door toepassing van deze energiezuinige technieken wordt een aardgasbesparing van 23.008 kWh<sub>prim</sub>/jaar of 647 €/jaar bereikt en een elektriciteitsbesparing van 7.595 kWh/jaar of 570 €/jaar. De totale energiebesparing bedraagt 1.217 €/jaar. We bekomen een terugverdientijd van 44,5 jaar zonder subsidie. Indien de subsidie mee in rekening gebracht wordt, dan bedraagt de terugverdientijd 29 jaar.

## 7 BESLUIT

In dit eindrapport zijn de meetresultaten over de periode januari tot en met december 2003 geëvalueerd. *De hierna gevormde besluiten zijn enkel geldig voor de beschouwde meetperiode en voor het beschouwde kantoorgebouw. Extrapolatie van deze meetgegevens naar andere gebouwen, locaties, tijdstippen,... is dan ook niet aan te raden daar deze gegevens sterk kunnen verschillen van het soort toepassing waarin de grondbuis wordt gebruikt.*

### Evaluatie binnentemperatuur

In 286 uren (= 12% van de kantoor tijd) kwam de kantoortemperatuur boven de 25°C of meer uit. Ten opzichte van de initiële prestatie-eis <sup>3</sup> van het kantoorgebouw is dit een overschrijding die slechts voor een deel te wijten is aan het feit dat de installatie (cfr. nachtventilatie en regeling luchtgroep) werd geoptimaliseerd in 2003. Om aan die prestatie-eis te kunnen voldoen, dient door de koelmachine extra koude aan het kantoorgebouw te worden geleverd. In 2003 werd door de huidige regeling de koelmachine niet gebruikt voor (extra)koeling van de kantoorlokalen.

### Evaluatie grondbuizen

Op een diepte van 3,5 en 5m werd een gemiddelde grondbuistemperatuur van 10°C opgemeten. Tijdens de wintermaanden bedroeg de gemiddelde grondbuistemperatuur 7°C terwijl dit tijdens de zomermaanden 15°C bedroeg. Gedurende 1.623 uren (67% van de totale kantoor tijd of werkingstijd van de luchtgroep) bedroeg de grondbuistemperatuur 10°C of meer. Gedurende 747 uren bedroeg die zelfs meer dan 15°C. Een significant verschil tussen de grondbuistemperatuur op 3,5 en 5m diepte is er niet (slechts 1 à 2°C).

Tijdens de wintermaanden zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming van de ventilatielucht met een gemiddelde temperatuurwinst van ongeveer 7°C bij een buitentemperatuur van 0°C. Bij lagere buitentemperaturen is het effect groter: het gevolg is dat zelfs bij een buitentemperatuur van -7°C de aanvoerlucht in de luchtgroep vorstvrij bleef.

In het tussenseizoen zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming of een voorkoeling van de ventilatielucht. De voorkoeling was echter groter dan de voorverwarming in deze periode. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 5°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer 2 à 3°C. Men kan stellen dat bij buitentemperaturen boven de 8°C de grondbuizen voor een negatieve temperatuurwinst (dus voorkoeling) zorgden.

Tijdens de zomermaanden zorgden de grondbuizen voor voorkoeling van de ventilatielucht. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 25°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer -

---

<sup>3</sup> Als prestatie-eis werd een maximale comforttemperatuur in zomer en winter van 22 tot 25,5°C opgelegd (de overschrijdingsuren: < 30 h, 1% van de werktijd). De binnenlucht mag maximaal 26,5°C bedragen en mag niet overschreden worden.

10°C. Bij een buitentemperatuur van 33°C bedroeg de ingeblazen grondbuistemperatuur 25°C zonder hierbij extra hulp van een koelmachine.

Met de grondbuis kan een maximale warmtewinst van 10 kW en een koudewinst van 25 kW gerealiseerd worden zij het in een zeer beperkte periode. Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het kantoorgebouw wat op zich niet veel is. De koudebehoefte van het kantoorgebouw wordt echter niet 100% gedekt door de grondbuizen vermits de binnentemperatuur van de kantoorlokalen in de zomermaanden boven de 25°C uitkwam (en dus in principe extra koeling nodig was). Een grondbuis werkt technisch goed maar zijn koude- of warmtebijdrage aan het geheel is niet hoog en kan dus nooit als alleenstaand systeem ingezet worden. Naverwarming of nakoeling is dus steeds noodzakelijk. Verder werkt de bodem als een dynamische thermosfles (indien je in de bodem geen warmte of koude in een bepaald seizoen opslaat, kan er ook geen uitgehaald worden).

### **Evaluatie regeneratieve warmtewisselaar**

Het temperatuursrendement van de regeneratieve warmtewisselaar op maandbasis bedroeg gemiddeld 50% met een maximum van 81% en een minimum van 5%. Bij lagere debieten (orde grootte van 3.500 m<sup>3</sup>/h) is het temperatuurrendement van de luchtgroep lager maar toch nog hoger dan het rendement van een klassieke kruis- of platenwarmtewisselaar. Deze “lagere” rendementen worden wel gemeten bij relatief hoge buitentemperaturen (bijv. bij een buitentemperatuur van 21°C en een luchtdebiet van 3.500 m<sup>3</sup>/h bedraagt het rendement gemiddeld 60%). Bij dergelijke hoge buitentemperaturen zal de warmterecuperatie gemoduleerd worden (geen 100 % warmterecuperatie) om te vermijden dat teveel warmte gerecupereerd wordt. Dit verklaart de lagere rendementen bij hoge buitentemperaturen. Dergelijke warmtewisselaar presteren dan ook beter dan de klassieke warmtewisselaars met een rendement van ongeveer 70%.

### **Primaire energiebesparing en CO<sub>2</sub> reductie**

Het primair energieverbruik over de meetperiode van de huidige situatie bedroeg 359 GJ<sub>prim</sub>/jaar. In de referentiesituatie zou hiervoor 504 GJ<sub>prim</sub>/jaar nodig zijn. Dit betekent een besparing van 145 GJ<sub>prim</sub>/jaar (of 29% t.o.v. de referentiesituatie).

De CO<sub>2</sub>-emissie van de huidige installatie over de meetperiode bedroeg 30 ton/jaar. De CO<sub>2</sub>-emissie in de referentiesituatie bedraagt 22 ton/jaar. Dit betekent dus een reductie van 8 ton/jaar CO<sub>2</sub> over de meetperiode (of 27% t.o.v. de referentiesituatie).

### **Economische rendabiliteit**

De totale investeringen bedragen 54.209 € Door toepassing van deze energiezuinige technieken wordt een aardgasbesparing van 23.008 kWh<sub>prim</sub>/jaar of 647 €/jaar bereikt en een elektriciteitsbesparing van 7.595 kWh/jaar of 570 €/jaar. De totale energiebesparing bedraagt 1.217 €/jaar. We bekomen een terugverdientijd van 44,5 jaar zonder subsidie. Indien de subsidie mee in rekening gebracht wordt, dan bedraagt de terugverdientijd 29 jaar.

### **Zeer energiezuinig kantoorgebouw**

Door de aardgasketels werd in 2003 ongeveer 7.317 m<sup>3</sup> (of 76.824 kWh<sub>ovw</sub>) aardgas verbruikt. Dit komt overeen met een warmteproductie van ongeveer 65.300 kWh. Dit geeft 835 vollasturen voor de verwarmingsketels wat met een belastingsgraad van 14% overeenkomt. Vollasturen van 1.100 tot 1.600 uren/jaar zijn een range voor kantoorgebouwen [6].

Het totaal elektriciteitsverbruik voor dit kantoorgebouw in 2003 bedroeg 87.750 kWh/jaar. De pulsie- en extractieventilatoren nemen hiervan 10.130 kWh/jaar (12%) in. De koelmachine die in het jaar 2003 enkel koude leverde aan het computerlokaal (en niet voor het koelen van de kantoorlucht) verbruikte 5.244 kWh/jaar (6%). Een brandstof/elektriciteitsverhouding van 47%/53% kenmerkt dit gebouw. In vergelijking met het Vlaamse kantorenpark verbruikt het kantoorgebouw van SDworx 47% minder elektriciteit en 44% minder aardgas.

Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven gedurende de meetperiode. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het gebouw wat op zich niet veel is. De gerecupereerde warmte door de warmtewisselaar bedroeg 16.513 kWh of 19% van de totale warmtevraag.

Het is moeilijk te bepalen wat het aandeel van de isolatie, de nachtventilatie, de grondbuizen en de warmtewisselaar in het geheel hebben daar met te veel aannames en (onderlinge)invloedsfactoren dient rekening gehouden te worden. Wel kan gesteld worden dat dit kantoorgebouw een zeer energiezuinig kantoorgebouw mag genoemd worden waarbij de grondbuizen slechts een klein deel innemen. Besluiten dus dat grondbuizen in dit goed geïsoleerd kantoorgebouw technisch goed werken is terecht maar deze conclusie (of de optie voor keuze van grondbuizen) geldt niet voor andere kantoorgebouwen of toepassingen.

In het kader van deze studie is het niet de bedoeling dat andere alternatieven voor (top)koeling bijv. verticale grondwarmtewisselaars, koude/warmte opslag, ... geëvalueerd worden.

## BIJLAGE 1: SAMENVATTING RESULTATEN

Maand	1	2	3	4	5	6	7	$=2/(2+5+7)$	$=7/(2+5+7)$	8
	Gem buitentemp °C	Warmte grondbuis [kWh]	Koude grondbuis [kWh]	Aardgasketels gasverbruik [m³]	warmte [kWh]	Aantal uren werking luchtgroep [uren]	Luchtgroep warmte recup [kWh]	Grondbuis warmtebijdrage [%]	Luchtgroep warmte recup [%]	Elek. Verbruik ventilatoren [kWh]
J 2003	4,3	419	-50	1514	13509	169	1535	2,7%	10%	710
F	4,3	279	-466	1121	10008	163	3904	2,0%	28%	685
M	9,8	736	-472	684	6106	169	859	9,6%	11%	710
A	12,5	36	-1869	501	4469	191	3391	0,4%	43%	802
M	16,1	0	-1698	217	1936	197	1934	0,0%	50%	827
J	21,3	0	-4279	210	1874	185	351	0,0%	16%	777
J	22,1	0	-6231	217	1936	334	300	0,0%	13%	1403
A	22,3	1	-3202	50	446	230	295	0,2%	40%	966
S	17,5	28	-969	285	2541	185	665	0,9%	21%	777
O	10,0	462	-80	640	5710	202	952	6,5%	13%	848
N	9,3	285	-47	619	5526	180	877	4,3%	13%	756
D	5,9	799	-4	1259	11240	207	1449	5,9%	11%	869
Totaal	12,9	3044	-19367	7317	65300	2412	16513	3,6%	19%	10130



## REFERENTIES

- [1] Menerga documentatiemap regeneratieve warmtewisselaar;
- [2] “SD Worx bouwt duurzaam kantoorgebouw”, “Evaluatie SD worx na 1 jaar” en “Presentatie Persconferentie”, Cenergie, Berchem (<http://www.cenergie.be>);
- [3] Studie Kantoor 2000, WTCB et al.;
- [4] Jens Pfafferott, Evaluation of earth-to-air heat exchanger with a standardised method to calculate energy efficiency, Energy and Buildings, 35 (2003);
- [5] H. Hoes en A. Martens, Energiebesparingspotentieel in 47 kantoorgebouwen in Vlaanderen, Vito rapport 2001/ETE/R/102, December 2001;
- [6] Novem cijfers en tabellen
- [7] Technische documentatie Daikin ijswatergroep EUWA 10 KZW R407C; <http://www.daikin.be>.