

# **MONITORING EN EVALUATIE GEBOUW 40**

## **Ontwerp versus praktijk**

K.J. Strootman

## Verantwoording

Het project is uitgevoerd onder contract met de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu BV (NOVEM) in het kader van het programma Gebouwde Omgeving, dat gefinancierd wordt door het Ministerie van Economische Zaken (NOVEM projectnummer 61202.3320).

## Abstract

In 1993 ECN started to build one of the most energy-efficient office of those days. The design meets the ISSO/SBR-directive for energy efficient offices. The central aim of the project is: As low energy consumption as possible needed for lighting, heating and ventilation in relation to the costs and comfort.

In this rapport the measures to reduce the energy consumption in the building are being evaluated. There are two questions to be answered:

1. Examine if the measures to reduce the energy consumption have succeeded.
2. Examine what is to be learnt for the design, construction and management of low-energy buildings.

In the design stage a number of innovative measures were introduced. During the project the original design has been altered due to financial exceedings. In this rapport it is examined what the actual situation is for comfort and reduction of energy consumption and also some positive suggestions are made. Heating and ventilation are the largest consumers of electricity (40%). The target for energy consumption was 85 MJ/m<sup>3</sup>. Due to the alterations in de buildingphase it has become 106 MJ/m<sup>3</sup>. This actual energy consumption is still more than twice as low as the minimum requirements for energy consumption in 1993 viz. 250 MJ/m<sup>3</sup>. Therefore the building may still be called a very energy-efficient office, especially for those days.

The goals for comfort have not all been met. The third floor of the west- and southfacade doesn't remain within the ISSO/SBR-directive requirements for overheating, they have too many exceedance hours. In the winter season the relative humidity lies between 20-30%, which is beneath the ISSO/SBR-directive of minimal 30%. The changes made during the building-period are a main cause for these comfort deviations.

Evaluation of the building learns that sufficient flexibility in the time planning and budget should be taken into account to implement new applications of renewable energy. A general suggestion to reduce the energy use during the exploitation fase of the building: Carefully consider the effects both to energy and comfort when changes are made in the energy concept. To succeed in a high energy-efficient office monitoring and feedback to the users of the building are important tools.

## INHOUD

1.	INLEIDING	7
1.1	Probleemstelling	7
1.2	Aanpak	7
2.	ONTWERP	9
2.1	Doelstelling	9
2.2	Ontwerpproces	10
2.3	Maatregelen voor energiebesparing	10
2.3.1	Gebouwstructuur (gebouwhoogte en gebouwworm)	10
2.3.2	Bepaling terreinligging (oriëntatie)	10
2.3.3	Bouwkundige ontwerpbeslissingen (gebouwmassa en gevelindeling)	10
2.3.4	Daken en vloeren	11
2.3.5	Zonwering en glasoppervlakte	11
2.3.6	Ventilatie en luchtkoeling/ -verwarming	12
2.3.7	Interne warmtelast	13
2.3.8	Kunstverlichting en daglichtbenutting	13
2.3.9	Warmteopwekking	13
2.4	Wijzigingen in het ontwerp	14
2.4.1	Bouwkundige ontwerpbeslissingen	14
2.4.2	Glasoppervlak	14
2.4.3	Daken	14
2.4.4	Ventilatie	14
3.	PRAKTIJKERVARING PER MAATREGEL	16
3.1	Oververhitting DE-gebouw	16
3.1.1	Zontoetreding	17
3.1.2	Ruimteverwarming	18
3.1.3	Kunstverlichting	19
3.1.4	Ventilatie	20
3.1.5	Interne warmtelast	20
3.2	Verdere praktijkervaringen	21
4.	EVALUATIE	22
4.1	Realisatie doelstellingen	22
4.1.1	Doelstelling t.a.v. energiegebruik	22
4.1.2	Doelstelling t.a.v. comfort	23
4.1.3	Doelstelling t.a.v. kosten	24
4.2	Evaluatie per energiebesparende maatregel	24
5.	CONCLUSIE	26
5.1	Aanbevelingen	26
	LITERATUUR	28
	BIJLAGE 1: TOEPASSEN NATUURLIJKE VENTILATIE	29



## SAMENVATTING

In 1993 is ECN begonnen met de bouw van het destijds energiezuinigste kantoorgebouw in Nederland. Het ontwerp voldoet aan de ISSO/SBR-richtlijnen voor energie-efficiënte kantoorgebouwen. De centrale doelstelling bij het project is: een zo zuinig mogelijk gebruik van energie, nodig voor verlichting, verwarming en luchtverversing, voor zover althans de kosten/batenverhouding en comfort dit toestaan.

In dit rapport worden de getroffen energiebesparende maatregelen in het kantoorgebouw gemonitord en geëvalueerd. Het doel is tweeledig:

1. Bepalen in hoeverre de doelstellingen in de ontwerpfase zijn gehaald. Zowel het gebouw als geheel als individuele maatregelen zijn hiertoe onderzocht.
2. Bepalen wat we hieruit kunnen leren voor het ontwerp, bouw en beheer van energie-efficiënte kantoorgebouwen.

In de ontwerpfase zijn een aantal innovatieve energiebesparende maatregelen ingevoerd, zoals beglazing waartussen zonwering is aangebracht, (mechanische) zomernachtventilatie, zware gebouwmassa met open plafond, geavanceerde kunstverlichting, etc. In de loop van het project is echter afgeweken van het oorspronkelijke ontwerp vanwege financiële overschrijdingen.

Voor het gebouw is nagegaan wat de energiebesparende effecten zijn op het comfort en wat eventuele vervolgmaatregelen kunnen zijn om het binnenklimaat te verbeteren. De doelstelling aangaande de streefwaarde voor energiegebruik is vanwege de bezuinigingen niet gehaald. De streefwaarde voor het energiegebruik was  $85 \text{ MJ/m}^3$ , echter in de praktijk is het energiegebruik ca.  $106 \text{ MJ/m}^3$ . Het elektriciteitsverbruik voor verwarming en ventilatie blijkt in de praktijk de grootste post te zijn (40%), verder zijn verlichting (20%), LAN/ workstations (16%) en pc's & monitors (13%) grote elektriciteitsverbruikers. Opgemerkt moet worden dat het werkelijke energiegebruik nog altijd meer dan een factor twee lager is dan het energiegebruik volgens de destijds geldende minimum-eisen van de Rijksgebouwendienst ( $250 \text{ MJ/m}^3$ ). Het gebouw mag dus met recht een zeer energiezuinig gebouw genoemd worden, zeker voor 1993.

Sommige gestelde doelstellingen ten aanzien van het comfort worden eveneens niet gehaald. De belangrijkste oorzaak waardoor deze comforteisen niet gehaald worden, is te wijten aan wijzigingen in de installaties en in het gebouw tijdens de bouwfase. Door wijzigingen in de zonwering, type glas en het ventilatiesysteem valt het aantal uren oververhitting van het gebouw buiten de gestelde doelstellingen uit de ontwerpfase. De temperatuur komt tijdens kantooruren 8,5% per jaar boven de  $25^\circ\text{C}$  op de zuidgevel 3<sup>e</sup> verdieping. De westgevel 3<sup>e</sup> verdieping heeft 6,4% van de kantooruren een temperatuur boven de  $25^\circ\text{C}$ ; de doelstelling was maximaal 5% per jaar. Verder blijkt na metingen dat het gebouw in de winterperiode een relatieve vochtigheid bezit tussen de 20-30%, terwijl de doelstelling minimaal 30% relatieve vochtigheid is tijdens wintermaanden.

Uit de evaluatie van het gebouw komt duidelijk naar voren dat voldoende flexibiliteit in het ontwerp, tijdsplanning en financiële planning in acht moet worden genomen, zodat nieuwe ontwikkelingen op het gebied van duurzame energie en energie-efficiënt ontwerpen ook daadwerkelijk geïmplementeerd kunnen worden. Een constatering bij het beheer van het gebouw is dat bij wijzigingen in de energiehuishouding goed moet worden nagegaan wat het effect hiervan is op het energiegebruik en comfort. Hiervoor is monitoring en terugkoppeling naar de gebruikers noodzakelijk.



## 1. INLEIDING

In Nederland wordt de laatste jaren toenemende aandacht besteed aan het terugdringen van het energiegebruik. In de gebouwde omgeving (woningen, kantoren en andere utiliteitsgebouwen) ligt een immens potentieel om energie te besparen. Op dit moment vergen wonen en werken jaarlijks naar schatting 800 petajoule ofwel 30% van het totale energiegebruik in Nederland. Dit is het energiegebruik voor verwarming, verlichting, koeling, kantoorapparatuur, huishoudelijke activiteiten en comfort. Voor de energievoorziening in de gebouwde omgeving worden voor het overgrote deel fossiele brandstoffen ingezet, hetgeen ernstige negatieve milieugevolgen met zich meebrengt. Dit maakt de gebouwde omgeving een belangrijk aandachtsveld in het nationale energie- en milieubeleid. Dit belang wordt vergroot doordat als een gebouw eenmaal is gebouwd, dit minimaal 25 jaar in gebruik blijft. De doelstellingen voor het jaar 2020 die door de rijksoverheid zijn neergelegd in de Derde Energienota - 33% efficiency en 10% inzet van duurzame energiebronnen – zullen dan ook voor een groot gedeelte in de gebouwde omgeving moeten worden gerealiseerd.

Een van de maatregelen van de Nederlandse overheid om de energie-efficiency in de gebouwde omgeving te stimuleren is de introductie van de EnergiePrestatieCoëfficiënt (EPC). Het is een maat voor het niveau van energie-efficiënte-maatregelen dat aangebracht is in een nieuw gebouw en maakt gebruik van een ruwe schatting van het gebouwgebonden energiegebruik. In de bouwvoorschriften is deze EnergiePrestatieCoëfficiënt opgenomen. In 1995 werd de EPN ingevoerd en voor kantoorgebouwen op 1,9 gesteld. In 2000 is de EPC verlaagd naar 1,6.

Vooruitlopend op het overheidsbeleid besloot ECN al in 1993 dat het nieuw te bouwen kantoor voor de Business Unit Renewable Energy een energiezuinig gebouw moest worden. Bij het ontwerpen werden twee extra doelstellingen meegenomen:

1. het ontwerpen van een energie-efficiënt kantoor
2. experimenteren in het kader van energiebesparende c.q. ondersteunende middelen.

Het project werd mede ondersteund door NOVEM. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een ontwerp met een berekend primair energiegebruik voor verwarming, transport en verlichting van 85 MJ/m<sup>3</sup> jaar, terwijl het primaire energiegebruik volgens de toenmalige minimum-eisen van de Rijksgebouwendienst ongeveer 250 MJ/m<sup>3</sup> jaar bedroeg. Dit kwam ook tot uitdrukking in de EnergiePrestatieCoëfficiënt. Hoewel de EPC in 1993 nog niet bestond is deze achteraf berekend op 1,4. Ruim onder de eerste EPC van 1,9 voor kantoorgebouwen uit 1995.

### 1.1 Probleemstelling

In dit rapport worden de getroffen energiebesparende maatregelen in het kantoorgebouw geëvalueerd. Het kantoor wordt ook wel het 'BURE'-gebouw, DE-gebouw of gebouw 40 genoemd.

Het doel is tweeledig:

1. Bepalen in hoeverre de doelstellingen in de ontwerpfase zijn gehaald. Zowel het gebouw als geheel als individuele maatregelen zijn hiertoe onderzocht.
2. Bepalen wat we hieruit kunnen leren voor het ontwerp, bouw en beheer van energie-efficiënte kantoorgebouwen.

### 1.2 Aanpak

Basis voor dit rapport zijn de studie ten behoeve van het ontwerp van het gebouw door de architect en de resultaten van diverse onderzoeken die in de afgelopen jaren door diverse medewerkers en stagiaires zijn uitgevoerd naar aspecten van het kantoorgebouw voor Duurzame Energie. Deze gegevens zijn aangevuld met interviews met enkele betrokkenen en met gegevens

over het energiegebruik van het kantoorgebouw voor Duurzame Energie verstrekt door ECN Facilitaire Dienst.

In hoofdstuk 2 wordt globaal ingegaan op de doelstellingen, ontwerp en energiebesparende maatregelen tijdens de ontwerpfase van het gebouw. In hoofdstuk 3 wordt de praktijksituatie geschetst. Van elke maatregel voor energiebesparing wordt ingegaan wat de gebruikservaringen, beperkingen/ tekortkomingen en mogelijke vervolgmaatregelen zijn. In hoofdstuk 4 worden energiegebruik, comfort en financiële aspecten van het gebouw vergeleken met de doelstellingen. In het laatste hoofdstuk worden de conclusies en de aanbevelingen voor de bouw en praktijk kort opgesomd.

De onderdelen gebouwautomatisering, warm-tapwaterinstallatie en overige elektrische installaties zijn niet expliciet in de rapportage opgenomen.



## 2. ONTWERP

### 2.1 Doelstelling

De centrale doelstelling bij het project is: een zo laag mogelijk gebruik van energie, nodig voor verlichting, verwarming en luchtverversing, voor zover althans de kosten/batenverhouding en comfort dit toestaan. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de wens van de toekomstige gebruikers, namelijk het gebruik van zonne-energie als alternatief of ter ondersteuning van het primaire energiegebruik van het kantoor.

De uitgangspunten die bij het ontwerp van het kantoorgebouw voor de Business Unit Renewable Energy (BURE-gebouw) zijn gehanteerd zijn weergegeven in een studie van de architect [2] en [3]. De volgende algemene uitgangspunten zijn gehanteerd:

- energiezuinig gebouwofftype door een optimale gebouwworm en isolatiewaarde
- voldoende flexibiliteit in gebouw om nieuwe energie-efficiënte ontwerpen later te kunnen toepassen. Bijv. plaatsingmogelijkheden voor zonne-energie systemen
- energiezuinige installatie, streefwaarde circa 85 MJ/m<sup>3</sup>/a
- werkplekken voor 110 medewerkers, overwegend in de vorm van 1- en 2-persoons-werkplekken
- entree en achterliggende centrale ruimten hebben een representatief karakter
- het gebouw bevat daarnaast 2 vergaderruimten, een reproductie, een computerruimte en een archiefruimte
- ramen in de gevel zijn per vertrek te openen
- flexibele indeling van kantoorruimten door systeemtussenwanden.

Ten aanzien van het comfort zijn de toenmalige eisen van de Rijksgebouwendienst overgenomen:

- in *winterseizoen* (oktober tot mei) binnentemperatuur tot 22°C en een relatieve vochtigheid van 30% of hoger
- in *zomerseizoen* (mei tot oktober) binnentemperatuur 21°C tot 25°C  
max. 5% van de kantoor tijd een temperatuur tussen 25°C en 28°C;  
max. 1% van de kantoor tijd een temperatuur hoger dan 28°C  
en een maximale relatieve vochtigheid van 65%
- klimaatregeling zonder mechanische koeling (koelapparatuur)
- 35 m<sup>3</sup>/h verse lucht per persoon in kantoorvertrekken; 50 m<sup>3</sup>/h verse lucht per persoon in vergader-/ spreekruimten
- verlichtingsniveau op bureaus minimaal 500 lux.

Betreft de financiële uitgangspunten wordt een terugverdientijd van 10 jaar aangehouden voor onderdelen die deel uitmaken van de opstal. Voor niet tot de opstal behorende onderdelen (voornamelijk afwerking en interieur) is met 5 jaar gerekend [2]. Het beperken van het energiegebruik van apparatuur is niet in de ontwerpdoelstellingen opgenomen. Als streefwaarde voor het energiegebruik voor verwarming, transport en verlichting werd oorspronkelijk 80 MJ/m<sup>3</sup> bruto gebouwinhoud per jaar aangehouden. Uit oogpunt van economische optimalisatie van de warmteweerstanden is het energiegebruik bij het definitieve ontwerp bijgesteld tot 85 MJ/m<sup>3</sup> per jaar.

Ten aanzien van de kosten was de doelstelling dat de totale investeringskosten niet hoger zijn dan de gebruikelijke investeringskosten per m<sup>3</sup> gebouwinhoud van ECN. Destijds werd hiervoor circa €249,- per m<sup>3</sup> aangehouden. De totale investeringskosten zijn hierdoor geraamd op €2,1 miljoen. Daarnaast gold bovenstaande eis van 10 jaar terugverdientijd voor energiebesparende maatregelen. Verder was het beperken van de onderhoudskosten als doelstelling opgenomen:

kosten voor technisch onderhoud, voor schoonmaken en voor wijzigingen in de ruimte-indelingen in het gebouw.

## 2.2 Ontwerpproces

Bij het ontwerp van het gebouw is de architect uitgegaan van de richtlijnen van de ISSO-SBR-publicatie 213 'Ontwerpen van energie-efficiënte kantoorgebouwen' [1]. Energie-efficiënt ontwerpen is hierin gedefinieerd als 'een zodanig afstemmen van bouwkundige en installatietechnische parameters op de behaaglijkheidseisen dat wél een behaaglijk binnenklimaat ontstaat maar géén onnodig hoog energiegebruik'.

## 2.3 Maatregelen voor energiebesparing

In deze paragraaf wordt per energierelevant onderwerp beschreven welke keuzen tijdens het ontwerpproces zijn gemaakt.

### 2.3.1 Gebouwstructuur (gebouwhoogte en gebouwvorm)

In de ISSO/SBR-publicatie wordt aanbevolen om een gebouwvorm met een zo klein mogelijk buitenoppervlak te ontwerpen om de warmteverliezen te beperken. De gemiddelde warmte-doorgangscoefficiënt (U-waarde) moet voor een energie-efficiënt kantoor laag zijn. Tijdens de ontwerpfase is deze gemiddelde waarde bepaald op ca.  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De richtlijnen gaan verder uit van  $10 \text{ m}^2$  netto werkruimte per persoon. Dit is gewijzigd in  $9 \text{ m}^2$  (ECN-norm). Daarnaast is uitgegaan van  $5 \text{ m}^2$  niet-persoonsgebonden functionele ruimte per persoon. Van het bruto vloeroppervlak wordt 67,5% gebruikt voor kantoorruimte, 22,5% voor gangen en 10% voor trappenhuizen, liften, toiletten, etc.

Op basis van de maximaal toelaatbare bouwhoogte van 13 meter en de aanname van 105 personen is de totaal benodigde gebouwinhoud ca.  $8.000 \text{ m}^3$ . Het inpandig volume van het gebouw is bepaald op  $7.735 \text{ m}^3$  en het netto vloeroppervlak (excl. constructie) is  $2.292 \text{ m}^2$ . Het gekozen gebouwontwerp is een compact vierkant gebouw met 4 bouwlagen;  $25,2 \times 25,2 \times 13$  meter (B x L x H). Door een goede kierdichting van de omhulling (gevel, dak en vloer) wordt ongewenste luchtinfiltratie tegengegaan.

### 2.3.2 Bepaling terreinligging (oriëntatie)

De gevel met de hoofdingang van het gebouw is vrijwel op het noorden georiënteerd. De oriëntatie van de gevel heeft een kleine afwijking naar het westen vanwege de infrastructuur op het ECN-terrein. Het noodtrappenhuis is tegenover de hoofdingang gesitueerd, vrijwel op het zuiden. In het ontwerp en in de klimaatregeling is een scheiding van een noordoost en zuidwest kant van het gebouw gemaakt. Overigens is er door de vierkante vorm geen hoofd- en dwarsgevel en is het dus niet mogelijk om de hoofdgevel op het zuiden te oriënteren. Oriëntatie van de hoofdgevel op het zuiden heeft als voordeel dat het in de zomer eenvoudiger is om de directe zoninstraling te weren en toch diffuus daglicht toe te laten. Bij de gekozen vierkante bouwvorm is dit slechts in de helft van de kamers mogelijk.

### 2.3.3 Bouwkundige ontwerpbeslissingen (gebouwmassa en gevelindeling)

De gebouwmassa is op grond van ontwerpgrafieken in de ISSO/SBR-publicatie gekozen. Veel massa in het gebouw kan een positieve invloed hebben op het binnenklimaat door tijdelijke warmte- of koudeopslag in de massa van het gebouw. De werkzame gebouwmassa van het gebouw is verhoogd door gebruik te maken van steenachtig materiaal voor de binnenzijde van de borstwering. Steenachtige scheidingswanden tussen de kantoren konden niet worden toegepast, omdat de wanden verplaatsbaar dienden te zijn. De gangwanden zijn uitgevoerd in kalkzandsteen, de overige binnenwanden zijn gemaakt van een lichte constructie. In het gebouw is een zogenaamd 'open plafond' toegepast. Hierdoor wordt voorkomen dat de bovenliggende verdiepingvloer thermisch wordt afgeschermd. Volgens ISSO/SBR [1] wordt het plafond hierbij 80 cm verlaagd en dienen de zijkanten open te blijven. Vanwege het zicht zijn aan de

zijanten van het plafond in elk kantoorvertrek roosters gemaakt waardoor de lucht op natuurlijke wijze kan circuleren. Daarnaast is het plafond verlaagd in verband met de afwerking van de installaties, kabels, ventilatiebuizen en leidingen.

Volgens de richtlijnen is de specifieke werkzame massa van de gebouwstructuur ca. 400 kg/m<sup>2</sup>. De isolatiewaarde (R<sub>c</sub>-waarde) van de geïsoleerde spouwmuur is 3,0 (m<sup>2</sup>K)/W. Gegeven de vorm van het gebouw, het uitzicht en ter beperking van kunstverlichting is de zone pal achter de gevel benut voor kantoorwerkzaamheden en vergaderruimten. In de kern van het gebouw is een zone aangebracht ten behoeve van verticale transportfuncties zoals trappen, liften, leidingen en kanalen. Verder zijn in de kern van het gebouw de toiletten, archivering, computerruimte, gangen, etc. gesitueerd.

#### 2.3.4 Daken en vloeren

Op het dak is een dakopbouw geplaatst waarin de technische ruimten voor verwarming, luchtverversing en elektrische installaties zich bevinden. De dakopbouw is toegankelijk via het hoofdtrappenhuis. Het dak is voor een deel opgebouwd uit een monolitische gestorte betonnen dakvloer met plaatselijk versterkte stroken. Voor het gedeelte waarop de dakopbouw geplaatst is, bestaat het dak uit een staalconstructie met daarop een holle kanaalplaat. Beide constructies zijn verder voorzien van purschuim isolatieplaat met dakbedekking. Boven op de constructie zijn betonplaten geplaatst voor de plaatsing van zonnepanelen. De isolatiewaarde (R<sub>c</sub>) van deze dakconstructie is 3,2 (m<sup>2</sup>K)/W.

De begane grondvloer is een geïsoleerde betonvloer bestaande uit holle kanaalplaten en p.s. schuim. De R<sub>c</sub>-waarde van de begane grondvloer bedraagt 2,5(m<sup>2</sup>K)/W.

#### 2.3.5 Zonwering en glasoppervlakte

Om oververhitting door zoninstraling te voorkomen, is het glasoppervlak in de gevels beperkt gehouden. De zontoetredingsfactor (ZTA-waarde) door het glas met gesloten tussenzonwering is laag gekozen; ca. 0,22. Een hoge lichttoetredingsfactor (LTA-waarde) zorgt voor minder gebruik van kunstverlichting en is bepaald op ca. 0,7. Op basis van de ontwerpgrafieken in de ISSO/SBR-publicatie is het percentage glasoppervlak bepaald:

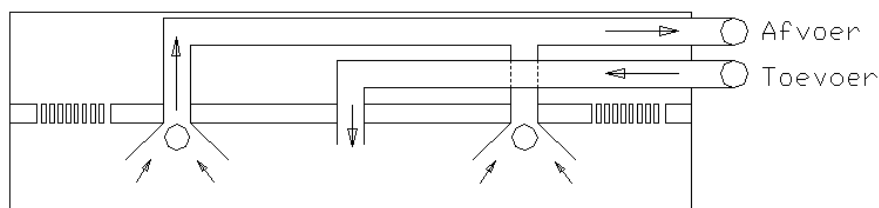
Gevels west	ca. 30%
zuid	ca. 30%
oost	ca. 40%
noord	ca. 40%

Buitenzonwering is niet mogelijk doordat het gebouw vlakbij zee is gesitueerd. De buitenzonwering zal veel schade ondervinden van de inwerking van zout en de relatief harde wind ter hoogte van het gebouw. In samenwerking met een fabrikant is daarom een geheel nieuw raamsysteem ontwikkeld. Dit energiezuinig kozijn bestaat uit 2 achter elkaar geplaatste kozijnen met in elk kozijn isolatieglas (totale U-waarde=0,9 W/(m<sup>2</sup>K)). Ertussen is een elektrisch bedienbare, handmatig geschakelde zonwering toegepast. Deze zonwering bestaat uit horizontale lamellen of een dubbel rolgordijn. Aan één kant van de lamellen is een metalen warmtewerende coating aangebracht. In de nachtstand in de wintersituatie wordt het lamellensysteem neergelaten zodat de luchtspouw in twee spouwen wordt verdeeld. De U-waarde voor de nachtsituatie is hierdoor 0,5 W/(m<sup>2</sup>K). In de zomer kan door middel van een centrale regeling tijdig de zonwering neergelaten worden, zodat opwarming in het gebouw zoveel mogelijk vermeden wordt. Het raam kan individueel opengekiept of gedraaid worden voor voldoende ventilatielucht. Ook kan met individuele bediening de ZTA-waarde per individu geregeld worden. Uit het rapport [3] wordt het energiegebruik ten gevolge van transmissie (dagsituatie) bij toepassing van het nieuwe raamsysteem geschat op ca. 52 MWh/jr. Het energiegebruik door transmissie bij een standaard geïsoleerd raam is ca. 70 MWh/jr.

### 2.3.6 Ventilatie en luchtkoeling/ -verwarming

In het DE-gebouw is mechanische ventilatie toegepast. Voor het bepalen van de luchtverversing is ervan uitgegaan dat in de ruimten niet gerookt wordt. Er is dan minder luchtverversing nodig dan wanneer er in de ruimten wel gerookt wordt. In de gebruikte richtlijnen uit de ISSO/SBR 213 wordt uitgegaan van een ventilatievoud tijdens kantooruren van 3 en buiten kantooruren van 0,5. Tijdens de ontwerpfase wordt voor standaard ventilatie uitgegaan van een totale ventilatievoud van 1,2; dit is een luchthoeveelheid van 9.000 m<sup>3</sup>/hr bij het gehele in pandige volume van het gebouw (7.735 m<sup>3</sup>), bij kantoorruimtes (3.050 m<sup>3</sup>) is dit gelijk aan een ventilatievoud van 3.

De hoofdventilatiebuizen voor de toe- en afvoerlucht zijn in het plenum (ruimte boven het verlaagde plafond) geplaatst. De toevoer van de ventilatielucht wordt midden in de kantoorruimte onder het verlaagde plafond in de kantoorruimtes gebracht. De lucht uit de kantoren wordt direct afgezogen via luchtsleuven aan de bovenkant van het lichtarmatuur. Vooral in de zomer heeft deze luchtafzuiging tot voordeel dat de warmte van de armaturen direct afgezogen wordt en de interne warmtelast beperkt blijft. Vanwege het zicht is besloten om roosters in het plafond te plaatsen om zo een open plafond te creëren. Via de roosters en het verlaagde plafond kan de lucht op natuurlijke wijze op de verdieping rondcirculeren. In de hoekkamers en de kleine tussenkantoren naast de hoekkamers zijn de roosters ca. 30 cm van de plafondrand af geplaatst vanwege de plafondafwerking. De roosters van de andere tussenvertrekken zijn in de hoeken van het verlaagde plafond geplaatst.



Figuur 1: Toe- en afvoer ventilatielucht in de kantoren

In de koude periode wordt met behulp van een kruisstroom warmteterugwinunit warmte uitgewisseld tussen de warme afvoerlucht uit het gebouw en de koele buitenlucht. Na de warmteterugwinunit is een luchtverwarmingsunit geplaatst. De ketels leveren warmte aan de luchtverwarmingsunit en blijven tot een temperatuur van 21°C branden. De ventilatielucht wordt namelijk altijd naverwarmd tot een temperatuur van 21°C vanwege tocht. Als de buitenluchttemperatuur hoger dan 21°C is, worden de warmteterugwinunit en naverwarmer uitgeschakeld.

In de zomersituatie wordt het gebouw afgekoeld door ventilatielucht mechanisch met een maximaal mogelijk debiet (ventilatievoud 4, ofwel ca. 30.000 m<sup>3</sup>/hr) door het gebouw te laten circuleren. Dit wordt zomernachtventilatie genoemd. Door de zeer zware gebouwmassa kan de koude circa een week vastgehouden worden, zodat ook wanneer er geen zomernachtventilatie toegepast kan worden het gebouw koude afgeeft. Het gebouw wordt gekoeld d.m.v. zomernachtventilatie wanneer aan de volgende voorwaarden wordt voldaan [4]:

1. Ruimtetemperatuur – buitentemperatuur > 3°C
2. Ruimtetemperatuur > 20°C (instelbaar)
3. Buitentemperatuur > 12°C (instelbaar)

Wanneer het verschil tussen de buitentemperatuur en de ruimtetemperatuur minder dan 3°C is, weegt de koeling door mechanische zomernachtventilatie niet op tegen het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren. In deze situatie kan het gebouw alleen worden gekoeld door de ramen handmatig te openen. De warmteterugwinunit zal bij zomernachtventilatie moeten worden gebypassed zodat de koele buitenlucht niet wordt opgewarmd.

### 2.3.7 Interne warmtelast

In de gebruikte richtlijnen uit de ISSO/SBR 213 wordt uitgegaan van een interne warmtelast van  $10 \text{ W/m}^2$ . In het ontwerp heeft men het gebouw een hoge interne warmtelast ( $50 \text{ W/m}^2$ ) toegekend ten gevolge van de aanwezige apparatuur.

### 2.3.8 Kunstverlichting en daglichtbenutting

In het ontwerp van het gebouw is het geïnstalleerde vermogen voor kunstverlichting en het aantal branduren van de lampen verlaagd door goede daglichtbenutting in de gevelzone. Het uitgangspunt voor verlichting in kantoorruimten met normale werkzaamheden is dat ten minste 500 lux op het werkblad moet vallen. Hierin wordt voorzien met een geïnstalleerd verlichtingsvermogen niet hoger dan  $12 \text{ W/m}^2$ . In de ontwerpfase is gekozen voor lokale speciale verlichtingsarmaturen tegen het plafond (type TBS 500 van Philips met een hoog frequent voorschakelapparaat en een spiegeloptiek). Doordat de lucht via de armaturen wordt afgezogen ontstaat door de luchtstroom een goede temperatuurbalans, waardoor optimale lichtopbrengst mogelijk is. De toegepaste lampen hebben daarnaast vele voordelen betreft werking en levensduur. Bureau lampen worden niet standaard toegepast vanwege de duurdere aanschafkosten en verwaarloosbare energiebesparing.

In het gebouw is in één kantoorruimte (kamer 2.03) een proef genomen met de toepassing van translucient isolatiemateriaal (TIM) in de bovenlichten. Het materiaal isoleert goed, houdt directe zoninstraling tegen en brengt diffuus licht in de kantoorruimte. Daardoor wordt een beter gebruik van het daglicht mogelijk gemaakt. In paragraaf 3.1.3 worden de resultaten van de praktijkproef weergegeven.

### 2.3.9 Warmteopwekking

Het DE-gebouw beschikt over een luchtbehandelingsinstallatie en radiatoren om het gebouw te verwarmen. Met de luchtbehandelingsinstallatie wordt de ventilatielucht op de gewenste binnentemperatuur gebracht. In het gebouw zijn verder lage temperatuurradiatoren aanwezig die worden verwarmd door middel van een 126 kW HR-ketel en (eventueel) een 102 kW VR-ketel. De CV-installatie voedt twee in verticale richting verdeelde radiatorgroepen aan de noordoost- en zuidwestgevels. Deze groepen zijn geschakeld volgens een dubbel Tichelman systeem. Het Tichelman systeem is een tweepijpsverdeelsysteem, waarbij iedere waterstroom dezelfde afstand in het leidingnet aflegt. Verder gaat het CV-water met een constant debiet door het systeem.

Afhankelijk van de buitentemperatuur zijn de onderstaande ketelstanden mogelijk:

- HR-ketel lage stand + VR-ketel uit
- HR-ketel hoge stand + VR-ketel uit
- HR-ketel hoge stand + VR-ketel lage stand
- HR-ketel hoge stand + VR-ketel hoge stand



Zowel de ketelverwarming als het mechanische ventilatiesysteem worden via een gebouwbeheerssysteem aangestuurd. Om continu schakelen van de ketels tegen te gaan is een vertraging van 10 minuten in de regeling van het gebouwbeheerssysteem ingebouwd. Het gebouwbeheerssysteem registreert verder de binnentemperatuursensoren die op de verschillende verdiepingen zijn geplaatst. De meetwaarden worden elke uur door het systeem opgeslagen in een database. De aanwarmtijd van de radiatoren voor aanvang van dagbedrijf wordt met het regelsysteem geoptimaliseerd. Tijdens aanwarmen van het gebouw is de gewenste ruimtetemperatuur ingesteld op  $22^\circ\text{C}$ . De aanvoertemperatuur naar de radiatoren wordt bepaald via de stooklijn van de ketels. Afhankelijk van de buitentemperatuur en de gemiddelde ruimtetemperatuur kan de temperatuur van het aanvoerwater naar de radiatoren nog worden gecompenseerd. De stooklijn is begrensd op een minimum aanvoertemperatuur van  $25^\circ\text{C}$ . Bij een hogere buitentemperatuur dan  $22^\circ\text{C}$  worden de ketels uitgeschakeld.

De CV-installatie beschikt verder over een drietal regelingen:

- Regeling aanvoerwatertemperatuur
- Regeling radiatorgroepen; individuele regeling radiatoren noordoost en zuidwest gevel.
- Regeling luchtverwarmer van de luchtbehandelingsinstallatie

Een aparte combiketel verwarmt een boiler vat waaruit warm tapwater getapt wordt. Vanwege de beperkte toepassing hiervan zal dit gedeelte niet verder in dit rapport behandeld worden.

## 2.4 Wijzigingen in het ontwerp

Na het ontwerp van de bovengenoemde maatregelen voor energiebesparing zijn in het definitieve gebouwoffwerp een aantal wijzigingen doorgevoerd vanwege bezuinigingen. De bezuinigingen hebben duidelijke gevolgen voor het energiegebruik. Door de onderstaande wijzigingen in het gebouwoffwerp stijgt het energiegebruik theoretisch met  $3,5 \text{ m}^3 \text{ aeq/m}^2$  bruto vloeroppervlak, in procenten is dit een verhoging van 21% [3].

### 2.4.1 Bouwkundige ontwerpbeslissingen

De spouwisolatieplaten in de gevels worden in het gewijzigde definitieve ontwerp met spouwankers koud tegen elkaar bevestigd in plaats van met sponningen. Door de gewijzigde bevestigingsmethode zullen op termijn kleine naden tussen de onderlinge platen ontstaan, hetgeen koudebruggen veroorzaakt.

### 2.4.2 Glasoppervlak

Het was in het ontwerp praktisch niet mogelijk om in de oostgevel glasopeningen te maken met een oppervlak van 40% van het geveloppervlak. Hoogte en breedte waren hiervoor in de constructie niet toereikend. Daarom is besloten om het glasoppervlak te wijzigen in 30% van het geveloppervlak.

De geplande centrale regeling van de zonwering in de innovatieve kozijnen is komen te vervallen. De zonwering wordt in het definitieve ontwerp individueel en elektrisch geregeld door de gebruiker. De energiezuinige kozijnen in de noord- en oostgevel zijn vanwege de lichte zonbelasting vervangen door standaard kunststof kozijnen met isolatieglas. Bij de oostgevel fungeren reflecterende gordijnen als zonwering. Verder zijn de hoekkozijnen ondergeschikt aan het uitzicht en zijn daardoor gewijzigd in standaard kunststofkozijnen met elektrisch kantelbare horizontale jaloezieën in het dubbel glas. De pui ter plaatste van het noodtrappenhuis aan de zuid-oost zijde is gewijzigd in een standaard kunststof kozijn met zonwerend isolatieglas.

### 2.4.3 Daken

Vanwege bezuinigingen is het deel van het dak met de staalconstructie gewijzigd. Op de dragende staalconstructie wordt een dozen/staalplatensysteem bevestigd i.p.v. het systeem waarbij de gevelbeplating direct op de isolatieplaat wordt bevestigd. De warmteweerstand ( $R_c$ -waarde) wordt door de wijziging  $2,5 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ .

### 2.4.4 Ventilatie

Om financiële redenen is de luchtbehandelingskast met de ventilatoren kleiner geselecteerd. Daarnaast is het open plafond uit de ontwerpfase verlaagd tot 50 cm in plaats van de oorspronkelijke 80 cm plafondverlaging. Het gevolg van deze twee aanpassingen is dat het niet langer mogelijk is om zomernachtventilatie toe te passen met een verhoogde ventilatievoud om het gebouw in de zomer af te koelen. Het gebouw kan alleen afgekoeld worden met de standaard ventilatievoud van 1,2 ( $9.000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ). Door de verminderde plafondverlaging zal de natuurlijke circulatie in de kantoorruimte lager zijn wat mogelijke gevolgen kan hebben voor het comfort.

Een andere wijziging in het ontwerp is dat de ventilatielucht in de meeste vertrekken niet langer wordt afgezogen via de lichtarmaturen. Vanwege bezuinigingen is besloten om het afvoerkanaal

in een hoek boven het verlaagde plafond te plaatsen en geen ventilatiebuizen naar de lichtarmaturen te plaatsen. De ventilatielucht zal hierdoor voornamelijk via de roosters in het verlaagde plafond afgezogen worden. Het gevolg is dat de interne warmtelast door de lichtarmaturen hoger is en dat temperatuur van de lichtarmaturen hoger is, waardoor de optimale lichtopbrengst omlaag gaat.

### 3. PRAKTIJKERVARING PER MAATREGEL

In dit hoofdstuk wordt de gebouwbeleving wat betreft het comfort en de invloed van de energiebesparende maatregelen onderzocht. Om de ambitieuze doelstellingen te halen is monitoring van de beoogde doelstelling een belangrijk element. Door middel van de gebouwbeleving van de gebruikers (werknemers ECN) en registratie van de temperaturen, klepstanden, elektriciteits- en gasverbruik kunnen de effecten van energiebesparingen effectief gemonitord worden en eventueel maatregelen getroffen worden.

In figuur 2 is een foto weergegeven van de zuidgevel van gebouw 40. In het midden van de zuidgevel is het glazen noodtrappenhuis te zien. Verder is op het dak het dakopbouw met de installaties te onderscheiden. Op het kale stuk muur aan de rechterkant van het noodtrappenhuis zijn later amorf silicium zonnepanelen op de gevel geplaatst.

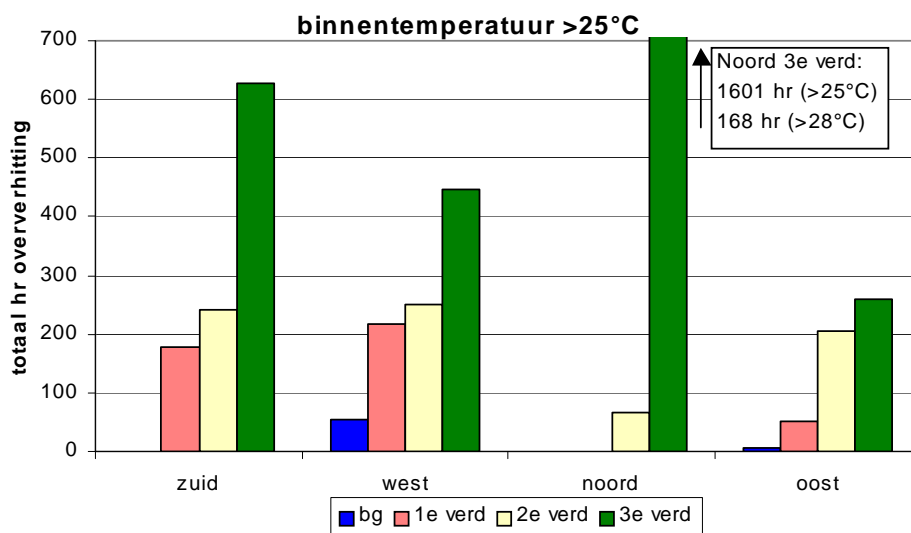


Figuur 2: Zuidgevel gebouw 40

#### 3.1 Oververhitting DE-gebouw

Na monitoring van het DE-gebouw [4] blijkt dat er soms sprake is van oververhitting in de kantoren. Medewerkers aan de zuid- en westgevel geven aan dat het kantoor te warm is indien de zon op de gevel staat. De mate van oververhitting is afhankelijk van de windstreek en de verdieping. Afhankelijk van de geveloriëntatie valt een bepaalde hoeveelheid zonnewarmte op de gevel. Aan de noord- en oostkant van het gebouw is relatief minder vaak oververhitting dan aan de zonnige zuid- of westkant van het gebouw. De oververhitting in het gebouw neemt ook per verdieping toe. Dit is het gevolg van opstijgende warmte via de trappenhuizen, etc. Daarnaast is de bovenste verdieping warmer door opwarming van het dak door de zon. De invloed van de energiebesparende maatregelen op de oververhitting en de mogelijke vervolgmaatregelen zijn hieronder beschreven. In figuur 3 is het totaal aantal uur oververhitting in 1998 per verdieping en geveloriëntatie weergegeven.



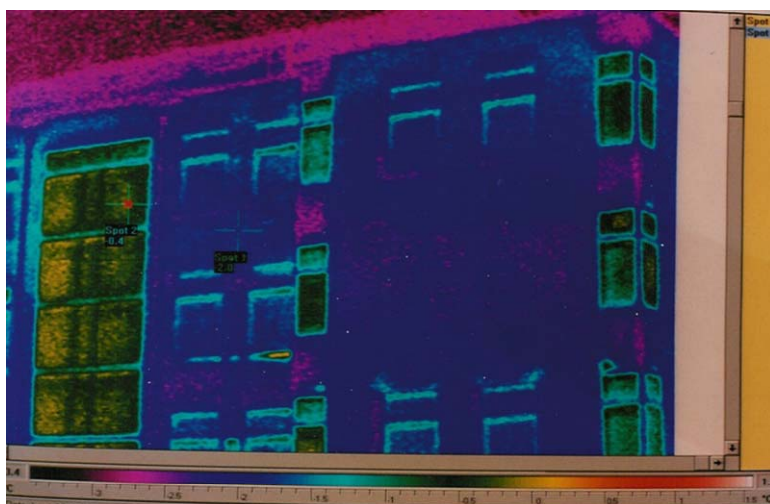


Figuur 3: Oververhitting DE-gebouw 1998

Wanneer gekeken wordt naar de 3<sup>e</sup> verdieping op de zuidgevel zijn er in totaal 628 overschrijdingsuren boven de 25°C, waarvan 176 uur tijdens kantooruren. Dit is 8,5% van de kantooruren per jaar, dus ruim boven de comforteis van 5% van de Rijksgebouwendienst. De 3<sup>e</sup> verdieping van de westgevel heeft 446 uur per jaar oververhitting, waarvan de temperatuur tijdens 133 kantooruren (6,4%) boven de 25°C is. Ook de westgevel op de 3<sup>e</sup> verdieping heeft dus teveel temperatuuroverschrijding tijdens kantooruren. De hoge piek bij de 3<sup>e</sup> verdieping van de noordgevel is het gevolg van de hoge interne warmtelast door de workstations. In de ruimte met de workstations wordt de binnentemperatuur zelfs hoger dan 28°C. Deze gemeten ruimte is echter niet representatief voor de kantoorruimtes aan de noordzijde van de 3<sup>e</sup> verdieping. De temperatuursensor is op de verkeerde plaats aangebracht. Doordat in deze ruimte geen medewerkers gedurende een langere tijd werken, is de comforteis van de Rijksgebouwendienst niet van toepassing en is het geen probleem dat deze ruimte een hogere temperatuur bezit.

### 3.1.1 Zontoetreding

Eén van de oorzaken voor oververhitting van het DE-gebouw zijn de wijzigingen in het raamsysteem. Het innovatieve raamsysteem met de zonwering tussen de beglazing is alleen in de tussenkantoren op de zuid- en westgevel van het gebouw aangebracht. Het glas in de hoekramen en het glas in het noodtrappenhuis is vervangen door standaard HR-glas met kunststof kozijnen. Dit is ook goed te zien op de IR (infrarood)-foto van figuur 3. De hoekramen en het nood-



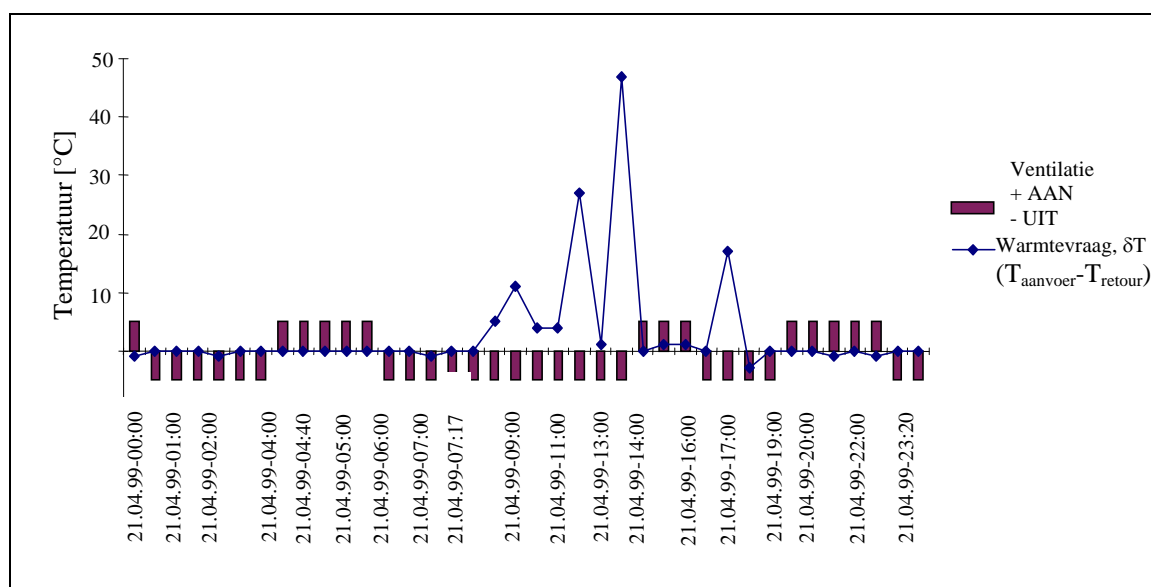
Figuur 4: IR-foto zuidgevel gebouw 40

trappenhuis geven meer straling af dan het innovatieve raamsysteem van de tussenkantoren. Toch is op de foto te zien dat er sprake van enige lekkage aan de randen van het innovatieve raamsysteem (zie de lichtblauwe randen). Dit is mogelijk het gevolg van een slechte aansluiting tussen het raamsysteem en de borstwering door het extra dikke raamsysteem.

Het noodtrappenhuis aan de zuidgevel heeft een groot glasoppervlak met HR-glas, weinig dichte delen en geen zonwering. Het gevolg is dat de temperatuur in het trappenhuis sterk oploopt bij veel zontoetreding. Deze warmte stijgt op waardoor de temperatuur op de 3<sup>e</sup> verdieping het gebouw oploopt. De oververhitting kan worden tegengegaan door het glaspercentage van het noodtrappenhuis te reduceren en zonwering aan te brengen. Oververhitting kan verder gereduceerd worden door de aanwezige dakkoepel bovenin het noodtrappenhuis (automatisch) te openen om de warme lucht af te voeren. Verder dient tijdig (vóór oververhitting) de zonwering naar beneden gelaten worden. Aangezien de medewerkers niet altijd aanwezig zijn, is het wenselijk om dit centraal te regelen. Vanwege de kosten is in de ontwerpfase besloten om de zonwering individueel door de gebruiker te regelen en geen centrale regeling toe te passen.

### 3.1.2 Ruimteverwarming

Een andere belangrijke oorzaak voor oververhitting is de verwarmingsinstallatie. Een van de oorzaken van oververhitting betreft het zogenaamde Kroonen-effect [5]. Dit is het effect dat gebouwen in de zomer onnodig worden verwarmd. Reeds vroeg in de ochtend wordt een comfortabele temperatuur bereikt, echter de verwarming wordt gestuurd op buitentemperatuur die eerder in de ochtend aanleiding kan geven tot het inschakelen van de verwarming. Dit resulteert in het beurtelings ventileren voor koeling en verwarmen over de dag. Door een aangepaste afstelling van de regeling van verwarming en ventilatie kan dit effect verminderd worden.



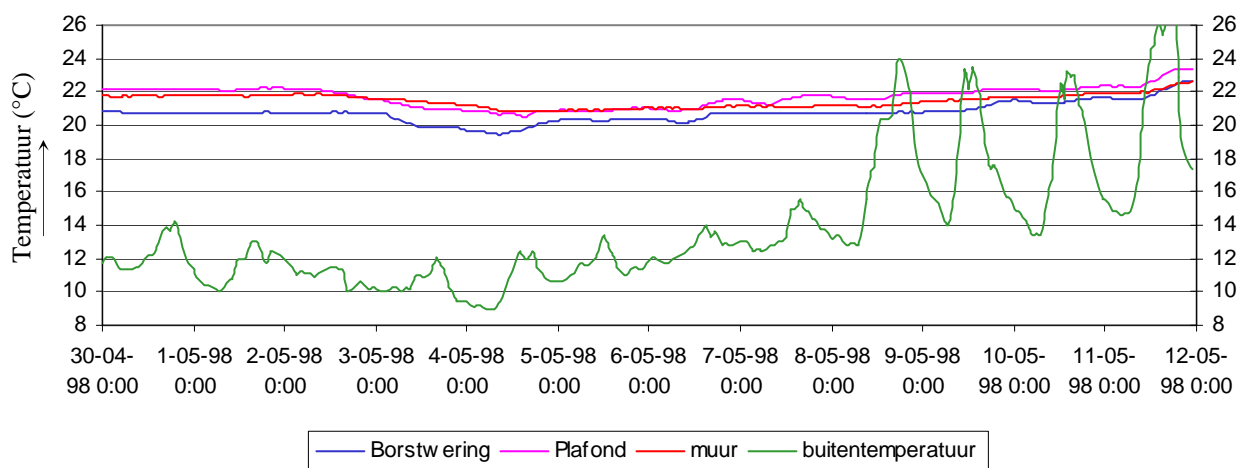
Figuur 5: Beurtelings koelen en verwarmen van het DE-gebouw [4]

Een andere oorzaak voor oververhitting is dat de stooklijn van de ketels soms handmatig verhoogd wordt vanwege een klacht van gebruikers van het gebouw. Bij aanpassing van de stooklijn vanwege een klacht van een gebruiker van een lagere verdieping kan in het gehele gebouw het regelsysteem verstoord worden en daardoor ook de warmtehuishouding. Het gebouwbeheerssysteem regelt op basis van de temperaturen op de bovenste verdieping. Het gevolg zijn koudere binnentemperaturen in de kantoren op de begane grond.

Door per verdieping en per gevel de radiatoren te regelen zal het binnenklimaat verbeterd worden. Een andere optie om de binnentemperatuur te verbeteren is per verdieping een individuele luchtverwarmingsunit te plaatsen. Op deze wijze kan de luchttemperatuur per verdieping geregeld worden. Uit een analyse met een energiebalans [4] is gebleken dat het DE-gebouw bij een buitentemperatuur boven 14°C niet meer hoeft te worden verwarmd met

radiatoren; verwarming van de ventilatielucht is dan voldoende. Het voetpunt van de ketels kan dus worden verlaagd naar 14°C. 's Ochtends is geringe verwarming van de lucht op de begane grond en de eerste verdieping voldoende om een comfortabele binnentemperatuur te bereiken. Uitvoering van bovenstaande maatregelen geven op jaarbasis een besparing van 3 a 4% van het gebouwgebonden gasverbruik, dus 400 tot 500 m<sup>3</sup>.

Een innovatieve maatregel om het binnenklimaat te verbeteren is de ketelregeling niet te baseren op de buitentemperatuur, maar op de massatemperatuur van het gebouw. Doordat het gebouw een zware massa heeft, duurt het een lange tijd om het gebouw op te warmen of af te koelen. Wanneer 's ochtends voor een korte periode de radiatoren aangezet worden, kan het voorkomen dat het gebouw 's middags oververhit raakt door de warmteopslag in het gebouw. Oververhitting in het gebouw is dus gedeeltelijk afhankelijk van de massatemperatuur van het gebouw. De regeling voor de aansturing van de ketels kan hierdoor beter gebaseerd worden op basis van de massatemperatuur (bv. boven de 21°C massatemperatuur geen ruimteverwarming meer) dan de buitentemperatuur. In figuur 6 zijn de meetsignalen weergegeven van de sensoren in de borstwering, plafond, muur en buitenlucht. De sensor aan de binnenkant van de borstwering bevindt zich relatief dicht bij de buitenlucht, waardoor de sensor het snelst reageert op de buitentemperatuur. De sensor in de kalkzandsteenmuur heeft de meeste gebouwmassa om zich heen en reageert daardoor het minste op de buitentemperatuur. In de figuur is goed te zien dat ondanks dat de buitentemperatuur schommelt tussen de 9 en 26°C, de massatemperatuur van het gebouw minimaal verandert. In dit rapport kan geen uitspraak worden gedaan over de relatie massatemperatuur en oververhitting omdat de ruimteverwarming en koeling niet goed gemonitord is. Dit is een goede onderzoeksvraag voor verder onderzoek.



Figuur 6: Massatemperaturen van gebouw 40 en buitentemperaturen

### 3.1.3 Kunstverlichting

Toepassing van kunstverlichting verhoogt de interne warmtelast en kan zo bijdragen tot mogelijke oververhitting van het gebouw. Middels een meting is op een bewolkte dag de verlichtingssterkte in de kantoren gemeten om de hoeveelheid kunstverlichting te bepalen. Het gemeten verlichtingsniveau op het bureau in een klein tussenvertrek naast het hoekkantoor met drie lichtarmaturen en gesloten luxaflex is 620 lux. Dit is boven de gestelde eis van minimaal 500 lux op het bureaublad. De hoekkantoren en de tussenvertrekken hebben 4 lichtarmaturen, wanneer deze allemaal branden is de lichtsterkte (incl. diffuus zonlicht) ca. 1100 lux. Wanneer alleen de twee lichtarmaturen branden die boven het bureaublad hangen is het verlichtingsniveau op het bureaublad 720 lux. Het is dus niet noodzakelijk om alle vier lichtarmaturen te laten branden. Om het energiegebruik en interne warmtelast terug te dringen zijn twee lichtarmaturen boven de werkplek in de grotere kantooruimtes voldoende. De hoeveelheid noodzakelijke verlichting is erg afhankelijk van de activiteiten van de werknemers. Wanneer alleen de computer gebruikt wordt, kan de weerkaatsing van de lichtarmaturen of de

zon in het beeldscherm hinderlijk zijn. Daarom wordt de kunstverlichting in sommige kantoren uitgezet en de zonwering omlaag gebracht. De lichtsterkte is dan slechts ca. 200 lux.

Het energiegebruik voor kunstverlichting (en warmtebijdrage) kan worden verlaagd door het gebruik van Translucent Isolatie Materiaal (TIM) uit te breiden en zodoende daglichttoetreding te optimaliseren. TIM is experimenteel slechts toegepast in één kantoorruimte, kamer 2.03. Uit een praktijk-experiment [6] gedurende de periode van 16 juni 1994 t/m 19 maart 1995 blijkt een concrete besparing van 10,9 kWh op de kunstverlichting in het kantoorvertrek met TIM-bovenlichten ten opzichte van het referentievertek zonder bovenlicht. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de zonwerende lamellen in de TIM bovenlichten niet correct zijn aangebracht. Het gevolg is dat de lichtdoorlaat van het bovenlicht groter is dan in de situatie waarbij de lamellen in de normale stand zouden zijn aangebracht. Uit controle-metingen is gebleken dat dit ten aanzien van het lichtverstrooiend effect van het TIM-bovenlicht geen significante consequenties heeft. Op jaarbasis bedraagt de besparing 13% op het energiegebruik van de kunstverlichting bij toepassing van TIM met omgekeerde lamellen in de bovenlichten ten opzichte van het referentievertek.

#### 3.1.4 Ventilatie

Een mogelijke oorzaak voor oververhitting van gebouw 40 is het lage ventilatievoud. Door de kleiner uitgevoerde luchtbehandelingskast is het niet mogelijk om goede zomernachtventilatie toe te passen. Het gebouw wordt altijd met een ventilatievoud van 1,2 (bruto vloeroppervlak) geventileerd. Een tweede nadeel van de lage ventilatievoud is dat geconstateerd wordt dat er soms een muffe geur in de kantoren hangt.

Wanneer het gebouw in de zomer wordt geventileerd dient dan vanzelfsprekend geen warmte te worden teruggewonnen uit de vuile afvoerlucht uit de kantoren. De warmteterugwinunit wordt echter in de praktijk vaak niet gebypassed vanwege technische storingen, etc. Daarnaast zal in de zomerperiode het naverwarmen van de ventilatielucht moeten worden geblokkeerd.

Een mogelijke manier om oververhitting in de zomer te reduceren is het alsnog toepassen van natuurlijke ventilatie in het gebouw. Het principe berust op natuurlijke trek; wanneer bovenin het gebouw een opening aanwezig is, zal de warme lucht willen opstijgen en zuigt op die manier koelere buitenlucht aan. In bijlage I is deze maatregel nader uitgelegd.

#### 3.1.5 Interne warmtelast

De oververhitting in het gebouw is verder een gevolg van de hoge interne warmtelast. De bezettingsgraad is tijdens werkdagen gemiddeld 62% [4]. Bij het totaal van 98 werknemers in het DE-gebouw is de gebruiksgebonden interne warmtelast ca. 21 kW (kantoorverlichting, PC, monitor, personen). Uit het elektriciteitsverbruik van 1998 blijkt dat het algemene gebruiksgebonden elektriciteitsgebruik van bijvoorbeeld printers, koffieapparaten, lift, en algemene verlichting gedurende de bedrijfstijd ca. 9 kW is. In totaal is de interne warmtelast tijdens een werkdag dus ca. 30 kW [4].

Uit figuur 3 blijkt dat de ruimte met de workstations aan de noordgevel veel oververhitting vertoont. Een maatregel voor een comfortabeler binnenklimaat en beter gebruik van de interne warmte is logistieke herverdeling van de workstations. De begane grond verliest relatief veel warmte door de vloeren, terwijl op de derde verdieping de meeste oververhitting plaatsvindt door de opstijgende warmte. Hierdoor is het een goede optie om de workstations van de derde verdieping naar de begane grond te verplaatsen. Een andere maatregel om de interne warmtelast omlaag te brengen en het energiegebruik terug te dringen is het nachtverbruik te reduceren. Uit metingen [4] blijkt dat het nachtelijk elektriciteitsverbruik in het gebouw ca. 4,5 kW is. Dit nachtverbruik bestaat uit de workstations, noodverlichting, kopieerapparaten, printers en koffieautomaten. Met een tijdschakelklok kan dit verbruik teruggebracht worden tot 3,0 kW. Dit is een jaarlijkse energiebesparing van 5,3% ten opzichte van het totale verbruik. Een tweede

constatering uit de metingen [4] is de arbeidsfactor van het DE-gebouw te laag is, namelijk 0,61. Dit betekent dat de elektriciteitscentrale meer elektriciteit op moet wekken dan werkelijk nodig is. De arbeidsfactor kan worden verhoogd tot 0,9 door toepassing van condensatoren met een capaciteit van 182,8  $\mu\text{F}$ . Tenslotte kan tot 70% van de energie voor PC's worden bespaard door gebruik te maken van nieuwe energiezuinige PC's met geactiveerde powersave en op bestaande PC's powermanagement te activeren.

### 3.2 Verdere praktijkervaringen

#### *Geluid*

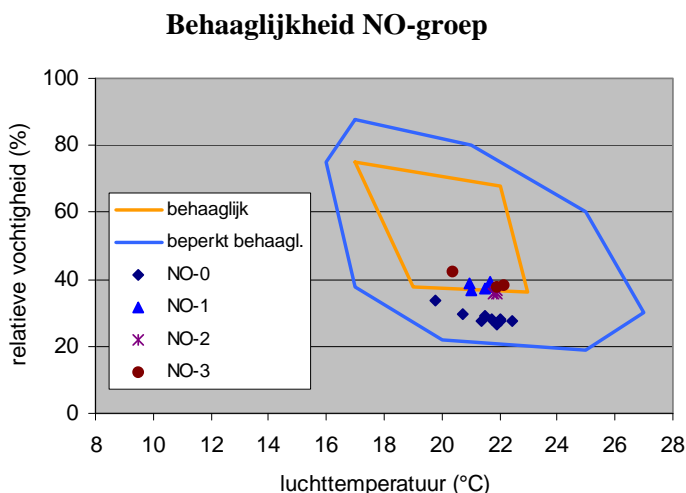
Tijdens de ontwerpfase zijn de luchtafvoerkanalen in de kantoren gewijzigd; de lucht wordt niet langer via de lichtarmaturen afgezogen, maar via het plenum. Het afvoerkanaal van de ventilatielucht is hierdoor een stuk korter geworden. Om geluid van de buurvertrekken (overspraak) tegen te gaan is het afvoerkanaal aan de binnenkant uitgevoerd met geluidsabsorberend materiaal. Halverwege het toevoer kanaal van de ventilatielucht is overspraak tegengegaan door middel van een flexibel stuk buis. Waar echter geen rekening mee is gehouden zijn de roosters aan de zijkanten van het verlaagde plafond. Doordat het plenum over alle kantoren doorloopt, was er veel last van overspraak via de roosters. Dit is tegengegaan door het plaatsen van geluidabsorberende "plofpakketten" in het plenum boven de kantoorscheidingswanden.

#### *Tocht*

In de kantoren die direct naast de hoofdingang gesitueerd zijn, is er soms sprake van tocht. Dit komt doordat in de hoofdingang van het DE-gebouw sluisdeuren geplaatst zijn die automatisch gelijktijdig geopend worden. De tochtdeuren bij de hoofdingang zijn achter deze kantoren geplaatst. Wanneer de kantoren de deuren niet gesloten houden, kan dit in de winterperiode voor tocht zorgen. Tocht is tegen te gaan door de sluisdeuren in de winterperiode niet gelijktijdig te laten openen. Tevens wordt zo het warmteverlies door de hoofdingang beperkt. De medewerkers aan de noord- en oostgevel merkten verder op kou te ondervinden indien de wind hard langs de gevel waait.

#### *Comfort*

In paragraaf 3.1.2 is de aanbeveling gedaan om de stooklijn voor radiatoren te verlagen [4]. Deze aanbeveling is in het najaar van 1999 uitgevoerd met als resultaat een klacht over de behaaglijkheid uit de noord- en oostzijde van het gebouw. De opgegeven reden was dat met de aangeboden radiator aanvoertemperatuur het vaak niet mogelijk was een behaaglijke werktemperatuur in te stellen. De stooklijn werd na de klacht omhoog gedraaid naar het oude niveau zonder de oorzaak van de onbehaaglijkheid te onderzoeken. Dit is in september 2000 [7] alsnog onderzocht waaruit blijkt dat de gevoelsmatige beleving en het metabolisme van de medewerker een grote rol in het ontstaan van de klacht hebben gespeeld. De oorzaak was niet



Figuur 7: Behaaglijkheid aan NO-groep DE-gebouw

van installatietechnische aard, noch was het voetpunt te laag ingesteld volgens herberekeningen. In het onderzoek is eveneens een momentane meting naar het binnenklimaat van het gebouw 40 gedaan. Hierin is te zien dat het binnenklimaat van het DE-gebouw die dag op het randje van behaaglijkheid schommelt en neigt naar een te droog binnenklimaat. Sommige medewerkers hebben waterbakjes aan de radiatoren gehangen om het droge binnenklimaat tegen te gaan.

## 4. EVALUATIE

In dit hoofdstuk wordt bepaald in hoeverre de doelstellingen in de ontwerpfase zijn gehaald. Daarnaast worden in dit hoofdstuk een aantal conclusies gegeven wat er te leren valt voor het ontwerp, bouw en beheer van energie-efficiënte kantoorgebouwen.

### 4.1 Realisatie doelstellingen

In deze paragraaf worden de algemene uitgangspunten uit paragraaf 2.1 en de aangebrachte wijzigingen tijdens de bouw geëvalueerd. Het gebouw heeft een energiezuinig gebouwontwerp met een vierkante gebouwvorm. Het gebouw is uitgevoerd met een grote thermische massa en een open plafond. Het open plafond is tijdens de bouw minder verlaagd dan in het oorspronkelijke ontwerp vanwege de kosten. De gevel met de hoofdingang is op het noorden georiënteerd, het noodtrappenhuis is op het zuiden georiënteerd. Het aantal medewerkers in het gebouw ligt in juli 2002 rond de 115 personen (incl. stagiaires). De kantoren zijn overwegend 1- en 2-persoonswerkplekken met flexibele systeemtuismuren. De ramen in de kantoren kunnen handmatig opengekiept of opengedraaid worden en de zonwering is alleen handmatig te bedienen. Centrale bediening van de zonwering is vanwege kostenoverschrijding niet uitgevoerd. Aan de gevel en op het dak van het gebouw zijn na de bouw een aantal zonne-energiesystemen geplaatst. In het gebouw wordt het actuele elektriciteitsverbruik en het opgewekte elektriciteitsverbruik door de zonnecellen weergegeven. In 2002 is voor het gebouw een deel van een windmolen geplaatst (niet werkend). Dit bevordert het representatieve karakter van de units ZON en WIND die in 2002 gevestigd zijn in het gebouw. In het gebouw zijn kantoorruimtes, toiletten en douches, een aantal serviceruimtes, een zit-/leeshoek, een lift, een hoofd- en noodtrappenhuis, een aantal vergaderruimtes en een aantal printerruimtes aanwezig.

#### 4.1.1 Doelstelling t.a.v. energiegebruik

Het energiegebruik volgens de minimum-eisen van de Rijksgebouwendienst bedroeg in 1993 ongeveer 250 MJ/m<sup>3</sup>. Tijdens de ontwerpfase van gebouw 40 was de streefwaarde voor het energiegebruik 85 MJ/m<sup>3</sup>. Het oorspronkelijke ontwerp van gebouw 40 is berekend op een jaarlijks energiegebruik van 80,4 MJ/m<sup>3</sup>.

Tabel 1: *Theoretische gas- & elektriciteitsverbruik DE-gebouw [3]*

	Rijksgebouwen- dienst	ontwerp
Gasverbruik ( $\cdot 10^3 \text{ m}^3$ )		3,5
Elektriciteitsverbruik (MWh)		153
Energiegebruik (GJ)		670
<b>Energiegebruik/m<sup>3</sup> bruto gebouwinhoud (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>250</b>	<b>80,4</b>

Na de voltooiing van het gebouw is het totale gas- en elektriciteitsverbruik gedurende een aantal jaren eveneens gemeten.

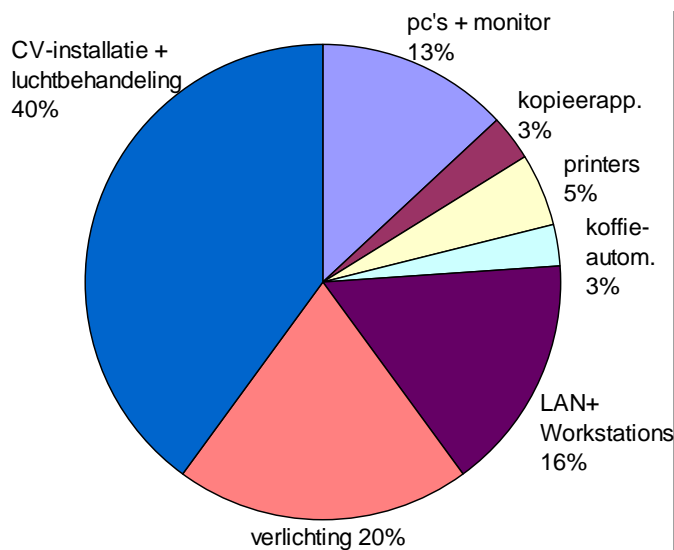
Tabel 2: *Totaal gemeten gas- & elektriciteitsverbruik DE-gebouw 1997 t/m 1999 [4]*

	1997	1998	1999
Gasverbruik ( $\cdot 10^3 \text{ m}^3$ )	13	12	11
Elektriciteitsverbruik (MWh)	146	141	138
Energiegebruik (praktijk)	930 GJ	890 GJ	840 GJ
<b>Energiegebruik/m<sup>3</sup> bruto gebouwinhoud</b>	<b>111,9 MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>105,9 MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>100,9 MJ/m<sup>3</sup></b>

Vergelijking van de twee tabellen geeft de conclusie dat het gebouw in de praktijk niet het gestreefde energiegebruik van het ontwerp haalt (85 MJ/m<sup>3</sup>). Het gemeten energiegebruik is

echter wel ruim een factor twee lager dan het vastgestelde energiegebruik van de Rijksgebouwendienst (vlg. 250 MJ/m<sup>3</sup>). Het gebouw mag dus met recht een energiezuinig kantoorgebouw worden genoemd. Vergelijking van de twee tabellen toont verder dat het theoretisch berekende gasverbruik een factor 3 à 4 lager is dan in de praktijk. Dit is mogelijk het gevolg van een te laag aangenomen waarde voor de infiltratie en transmissie. Het gebouw heeft in de praktijk extra koudebruggen door vochtdoorslag in sommige hoeken van kantoren en de aanwezigheid van naden in de isolatieplaten door het koud tegen elkaar bevestigen van de spouwankers. Ook zijn naderhand de ramen nagekit vanwege aanwezige warmtelekken.

In figuur 8 is te zien dat uit metingen in de praktijk verwarming en ventilatie de grootste elektriciteitsverbruikers zijn (40%). Verlichting, LAN/workstations en de computers behalen eveneens een groot aandeel.



Figuur 8: *Elektriciteitsverbruik DE-gebouw in 1998[4]*

#### 4.1.2 Doelstelling t.a.v. comfort

Voor de doelstelling ten aanzien van comfort is voornamelijk gekeken naar de oververhitting en ervaringen van ECN medewerkers. Tijdens de ontwerpfase is de theoretische oververhitting in het gebouw berekend. Bij een tussenvertrek aan de zuidgevel zijn er theoretisch 107 overschrijdingsuren boven de 25°C en 6 uren boven de 28°C. De maximaal optredende temperatuur in het tussenvertrek is 29,3°C. Hierbij wordt uitgegaan van innovatieve beglazing, 32% glasoppervlak, een open plafond, geen kunstverlichting, geen temperatuurverhoging door ventilatie en een ventilatievoud tijdens werktijd van 2 en buiten werktijd van 4.

Een hoekvertrek met 2 ramen aan de zuidgevel en 2 ramen aan de westgevel heeft 40 uur een binnentemperatuur boven de 25°C en geen overschrijdingsuren boven de 28°C. De maximale temperatuur is 27,6°C. Uit de resultaten van de theoretische oververhitting blijkt dat het thermische gedrag van een hoekvertrek veel gunstiger is dan een tussenvertrek. De reden is dat de specifieke werkzame massa bij een hoekvertrek veel groter is door het grotere oppervlak van de binnenspouwblad.

Met de meetdata uit 1998 is nagegaan wat het daadwerkelijke aantal overschrijdingsuren waren. Wanneer gekeken wordt naar de 3<sup>e</sup> verdieping op de zuidgevel (zie figuur 3) zijn er 628 overschrijdingsuren boven de 25°C, waarvan 176 uur tijdens kantooruren. Dit is 8,5% van de kantooruren per jaar, dus de comforteis van 5% van de Rijksgebouwendienst wordt overschreden aan de zuidgevel. De zuidgevel op de 3<sup>e</sup> verdieping heeft verder geen binnentemperatuur boven de 28°C gekend in 1998. De 3<sup>e</sup> verdieping van de westgevel heeft 446 uur per jaar oververhitting, waarvan de temperatuur tijdens 133 kantooruren (6,4%) boven de 25°C is. Ook de westgevel op de 3<sup>e</sup> verdieping heeft dus teveel temperatuuroverschrijding tijdens kantooruren. In een ruimte aan de noordgevel van de 3<sup>e</sup> verdieping staan de

workstations. In deze ruimte worden de hoogste temperaturen geregistreerd. Doordat dit geen kantoorruimte is, is de hogere temperatuur in de ruimte irrelevant.

De relatieve vochtigheid moet volgens de eisen in de winterperiode minimaal 30% zijn. Volgens een momentane meting in maart 2000 ligt de relatieve vochtigheid in het gebouw soms tussen de 20%-30% wat leidt tot een onaangenaam binnenklimaat. Aan deze doelstelling is dus niet voldaan in de praktijk. Een andere constatering in de winterperiode is dat soms sprake is van tocht in de kantoren naast de hoofdingang op de begane grond doordat de sluisdeuren van de hoofdingang tegelijk geopend worden.

De ventilatievoud van de luchtbehandelingskast is 1,2 ofwel ca. 9.000 m<sup>3</sup>/hr. Bij 115 medewerkers is dit per medewerker gemiddeld 78 m<sup>3</sup>/hr verse lucht. Dit is boven de gestelde comfortdoelstelling van 35 m<sup>3</sup>/hr verse lucht per persoon in kantoorvertrekken en 50 m<sup>3</sup>/hr verse lucht per persoon in vergader-/ spreekruimten.

De kunstverlichting in de kantoorruimtes voldoet aan de gestelde eis van minimaal 500 lux. De lichtsterkte is sterk afhankelijk van de stand van de zonwering, het aantal gebruikte lichtarmaturen en de hoeveelheid (diffuus) daglicht. Sommige werknemers hebben last van lichtweerkaatsing in het beeldscherm van de PC, waardoor de kunstverlichting boven het bureau uitgezet wordt en de zonwering gesloten wordt. Het lichtniveau op het bureaublad komt in die situatie onder de gestelde eis van 500 lux.

#### 4.1.3 Doelstelling t.a.v. kosten

Het gebouw heeft geen overschrijding van de kosten gekend tijdens de bouw. Vanuit de directie van ECN is nadrukkelijk kenbaar gemaakt dat er geen kostenoverschrijding van het DE-gebouw mocht plaatsvinden. Toen dit tijdens de bouw wel gebeurde vanwege extra kosten door innovatieve technieken, zijn een aantal energiebesparende maatregelen geschrapt en zijn sommige systemen kleiner uitgevoerd. De totale stichtingskosten van het gebouw zijn ca. €2,1 miljoen euro en liggen op hetzelfde niveau als andere nieuwbouw van ECN.

Op het bedrijventerrein van ECN is door een naburig bedrijf een soortgelijk gebouw als gebouw 40 neergezet met dezelfde kentallen met betrekking tot vorm, afmetingen en aantal gebruikers. Dit gebouw heeft dezelfde stichtingskosten als gebouw 40, echter het energiegebruik is ongeveer twee keer zo hoog<sup>1</sup>. De nadruk ligt bij dit gebouw dan ook niet op energiebesparende maatregelen, maar op cosmetische aspecten. De conclusie die kan worden getrokken is dat afhankelijk van de wensen van de opdrachtgever het beschikbare budget tijdens de ontwerpfase van een gebouw op verschillende manieren kan worden benut.

## 4.2 Evaluatie per energiebesparende maatregel

In deze paragraaf worden een aantal energiebesparende maatregelen uit de ontwerpfase vergeleken met de daadwerkelijk toegepaste energiebesparende maatregelen. Het effect en mogelijke vervolmaatregelen worden eveneens toegelicht.

Ondanks de innovatieve beglazing met zonwering op de zuid- en westgevel is er teveel oververhitting aan deze kant van het gebouw. Doordat het zonweringsysteem niet centraal geregeld wordt, zal bij afwezigheid van werknemers de zonwering niet handmatig naar beneden gelaten kunnen worden en wordt het kantoor door de zon (over)verhit. De oververhitting wordt nog versterkt door de zware gebouwmassa; de zonnearmte wordt voor een langere tijd opgeslagen in het gebouw. Een aanbeveling is dan ook om de zonwering centraal te kunnen regelen. De innovatieve beglazing blijkt in de praktijk niet goed aan te sluiten op de gevel. Uit IR-foto's blijkt dat er warmtelekken zijn aan de randen van het kozijn. Het glas op de noord- en oostgevel en alle hoekramen zijn uitgevoerd met standaard isolatieglas. In de winterperiode zal

---

<sup>1</sup> Meting febr. 1996: 4000 m<sup>3</sup> gas bij 2°C buitentemperatuur



door dit glas meer warmte verloren gaan dan bij de innovatieve beglazing. Uit IR-foto's blijkt dat in de winterperiode ook veel warmte verloren gaat door de hoofdingang en noodtrappenhuis van het gebouw. In de zomer wordt door de zuidoriëntatie van het noodtrappenhuis, het grote glasoppervlak en het gemis van zonwering juist teveel zonnewarmte ingevangen door het trappenhuis, waarna de warmte naar de derde verdieping opstijgt. Om oververhitting tegen te gaan zal het noodtrappenhuis minder glasoppervlak moeten hebben en een (centraal geregelde) zonwering.

De luchtafzuiging via de speciale lichtarmaturen is in de praktijk niet doorgevoerd vanwege kostenoverschrijdingen tijdens de bouw. Ondanks deze wijzigingen zijn deze speciale en duurdere lichtarmaturen overal in het gebouw toegepast. Om kosten te besparen is het raadzaam om een goedkoper type lichtarmatuur toe te passen. In de meeste kantoorruimtes zijn vier lichtarmaturen geplaatst. Na metingen aan de lichtsterkte is geconstateerd dat twee lichtarmaturen boven het bureau voldoende licht afgeven. Het uitschakelen van de andere twee lichtarmaturen bespaart in het elektriciteitsverbruik en vermindert de interne warmtelast en mogelijke oververhitting van het kantoor.

In het oorspronkelijke ontwerp is uitgegaan van zomernachtventilatie met mechanische ventilatie en een ventilatievoud van 4. Het gebouw heeft hierdoor in de zomer geen koelmachine nodig om het gebouw te koelen. Deze energiebesparende maatregel is niet doorgevoerd vanwege de kosten. De luchtbehandelingskast is kleiner geselecteerd, waardoor het gehele gebouw met een standaard ventilatievoud van 1,2 geventileerd wordt (kantoorruimtes ventilatievoud 3). Het gevolg van de lagere ventilatievoud is de verminderde koeling van het gebouw en grotere oververhitting in de zomerperiode. Een mogelijke oplossing is het toepassen van natuurlijke ventilatie in de zomernachten (bijlage I). Hiervoor moeten een aantal deuren automatisch geopend/ gesloten worden en moeten de ramen in de kantoren aan het eind van de middag geopend worden.

## 5. CONCLUSIE

In 1993 is gebouw 40 ontworpen met het doel om een zo laag mogelijk energiegebruik te realiseren voor zover althans de kosten/ batenverhouding en comfort dit toestaan. Het energiegebruik van het gebouw is in de praktijk ca. 106 MJ/m<sup>3</sup> jaar, terwijl het primaire energiegebruik volgens de minimum-eisen van de Rijksgebouwendienst in 1993 ongeveer 250 MJ/ m<sup>3</sup> jaar bedroeg. De streefwaarde voor het energiegebruik van 85 MJ/ m<sup>3</sup> jaar is vanwege de grotere infiltratie en transmissieverliezen van het gebouw en vanwege wijzigingen in het ontwerp niet gehaald. In de loop van het project is namelijk afgeweken van het oorspronkelijke energiezuinige ontwerp vanwege de duurdere innovatieve technieken. Om geen financiële overschrijdingen te creëren moesten er keuzes gemaakt worden, waardoor enige duurzame energieconcepten gewijzigd of niet uitgevoerd zijn tijdens de bouw. Een aantal maatregelen om oververhitting van het gebouw te vermijden zijn gewijzigd, echter ook maatregelen om de ontstane oververhitting actief tegen te gaan zijn gewijzigd. Dit heeft een dubbel effect waardoor het aantal overschrijdingsuren van oververhitting in de praktijk ruim boven de gestelde doelstellingen komt. Tijdens een meting in de winterperiode is geconstateerd dat de relatieve vochtigheid lager is dan de gestelde eis van 30%.

### 5.1 Aanbevelingen

In deze paragraaf worden een aantal algemene aanbevelingen opgenoemd die van nut kunnen zijn bij het ontwerpen en bouw van energiezuinige gebouwen en worden een aantal specifieke aanbevelingen gedaan voor gebouw 40:

1. Zorg bij het ontwerpen van een energie-efficiënt kantoorgebouw dat voldoende flexibiliteit in het ontwerp, planning en kosten in acht wordt genomen. Nieuwe technieken brengen extra financiële en bouwkundige risico's met zich mee, aangezien dit niet standaard wordt toegepast in gebouwen.
2. Goede financiële beheersing over het gehele bouwproject is noodzakelijk. Vooral bij de planning moet goed rekening gehouden worden met extra financiële risico's.
3. Wanneer het ontwerp gewijzigd wordt door bijvoorbeeld financiële overschrijdingen moet weloverwogen worden nagedacht over de impact van de wijzigingen op het binnenklimaat en de mogelijkheid tot het achteraf implementeren van de innovatieve technieken. Zo zullen bouwkundige aanpassingen achteraf moeilijk gewijzigd kunnen worden, terwijl b.v. installaties later eenvoudiger uitgewisseld kunnen worden.
4. Wanneer innovatieve energiebesparende technieken in de ontwerpfase significant veranderd worden, moet nagegaan worden of goedkopere technieken hetzelfde energiebesparende effect kunnen hebben. (b.v.: innovatieve lichtarmaturen met luchtafzuiging; zijn bij wijzigingen in luchtafzuiging geen goedkopere lichtarmaturen te verkrijgen?)
5. Met een goede regeling voor ruimteverwarming kan de energiebesparing worden vergroot. Een goede keuze van de verschillende verwarmingsgroepen en bepaling van de stooklijn is hierbij van belang.
6. Bij wijzigingen in de energiehuishouding moet goed nagegaan worden naar het effect hiervan op het energiegebruik. Hiervoor is monitoring en terugkoppeling naar de gebruikers noodzakelijk. (b.v. verhoging van de stooklijn vanwege een comfortklacht van een ECN werknemer heeft invloed op het energiegebruik. De comfortklacht moet zorgvuldig nagegaan worden en verandering van de stooklijn moet weloverwogen gebeuren)

Aanbevelingen voor gebouw 40:

De volgende relatief eenvoudige aanpassingen kunnen in gebouw 40 het comfort verhogen en/of het energiegebruik verlagen.

1. Zonwering en/of borstwering toepassen in het noodtrappenhuis. Dakraam boven in het noodtrappenhuis benutten voor afvoer warme lucht.
2. Aanpassen regeling verwarming/ventilatie (tegengaan Kroonen-effect)
3. Energiebeheer van computers toepassen
4. Tegengaan stand-by gebruik door nacht- en weekendschakeling

## LITERATUUR

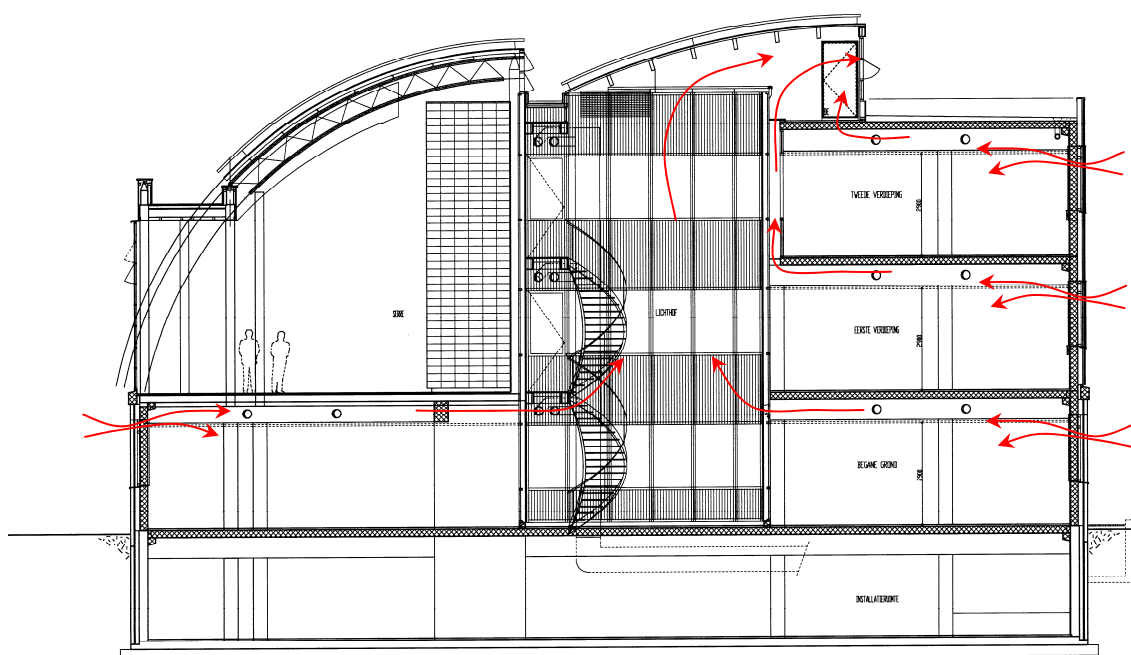
- [1] ISSO-SBR, *Ontwerpen van energie-efficiënte kantoorgebouwen; Integratie van gebouw en installatie*, ISSO, Rotterdam, 1994 (ISSO-SBR-publicatie 213).
- [2] Keijzer W., *Studie ten behoeve van het ontwerpen van een energie-efficiënt kantoorgebouw volgens ISSO/SBR 213; Fase I*, ECN, Rev.1, Petten, maart 1994a (ECN--93-010).
- [3] Keijzer W., *Studie ten behoeve van het ontwerpen van een energie-efficiënt kantoorgebouw volgens ISSO/SBR 213; Fase II*, ECN, Petten, febr. 1994b (ECN--94-011).
- [4] Veld E.A., Zijlker A.J., *Energiebeheer door gebouwbeheer*, ECN, Petten, juli 1999 (ECN-I-99-009)
- [5] Glas P., Jehee J., Kaan H., Ligthart F., *Bedrijfsenergieplan 1999*, ECN, Petten, dec.1994 (VR 1999/ECN-004)
- [6] Gies, Th.H., Lambregts, Ir. F.W.M., *Rapport G.93.0209.A, praktijk-experiment TIM in bovenlichten hoofdrapport*, DGMR raadgevende ingenieurs B.V., Arnhem, nov. 1995
- [7] Elswijk E., van Helden W., Ligthart F., *Herberekening stooklijnen en comfortbepaling DE-gebouw*, ECN, Petten, sept. 2000 (ECN-I--00-008)

## BIJLAGE 1: TOEPASSEN NATUURLIJKE VENTILATIE

In deze bijlage wordt een mogelijke manier toegelicht om de aanwezige oververhitting van gebouw 40 in de zomer te reduceren.

Voor het toepassen van natuurlijke ventilatie in het DE-gebouw is het cruciaal dat elke verdieping een eigen natuurlijk luchtcirculatiesysteem bezit. Zo niet, dan is er geen goede natuurlijk trek en zal het gebouw niet voldoende af kunnen koelen. Bij de 3<sup>e</sup> verdieping moeten de ramen in de kantoren geopend worden voor de natuurlijke luchttoevoer. Voor natuurlijke luchtafvoer wordt de deur op de dakopbouw geopend, hiervoor moeten de gangdeuren bij de hoofdtrappenhuis open blijven en de deur van het noodtrappenhuis zal gesloten moeten blijven. Bij de 2<sup>e</sup> verdieping moeten eveneens de kantooramramen geopend worden voor luchttoevoer en wordt de lucht afgevoerd via het noodtrappenhuis. Bovenin het noodtrappenhuis moet een dakkoepel geopend worden waarlangs de warme binnenlucht naar buiten kan. Hiervoor is het belangrijk om de gangdeuren rondom het hoofdtrappenhuis te sluiten en de deur naar het noodtrappenhuis open te zetten. De 1<sup>e</sup> verdieping kan gebruik maken van de hoofdventilatieschachten als afvoer van de lucht. De koele lucht zal weer via ramen binnenkomen. De gangdeuren bij het hoofdtrappenhuis en noodtrappenhuis dienen gesloten te zijn. De luchtbehandelingskast is in een aparte ruimte op de dakopbouw geplaatst die met een tweede deur te bereiken is. Voor de natuurlijke luchtafvoer zal deze 2<sup>e</sup> deur op het dakopbouw geopend moeten worden.

De financiële consequentie is dat een aantal deuren automatisch geopend/gesloten moeten worden. Via een e-mail bericht aan de medewerkers of het inschakelen van de gebouwbeheerder aan het einde van de werkdag kunnen de ramen geopend worden om natuurlijke luchttoevoer te verkrijgen. Het bovenstaande idee van natuurlijke ventilatie is tijdens de ontwerpfase van gebouw 42 meegenomen, welk gerealiseerd is in 2001. In dit gebouw worden de ramen automatisch geopend en heeft elke verdieping een eigen luchtafvoer. In figuur 9 is dit duidelijk weergegeven. De begane grond gebruikt de lichthof; de eerste verdieping gebruikt de ruimte tussen de kantoren en het lichthof; de derde verdieping maakt gebruik van de dakopbouw.



Figuur 9: *Natuurlijke ventilatie van gebouw 42*