

# ENERGON-PRINCIPE TOEGEPAST IN NIEUWBOUW VERKEER & WATERSTAAT

In de uitbreiding van het ministerie van Verkeer & Waterstaat zijn geen radiatoren te vinden. Verwarming in de winter en koeling in de zomer geschieden volgens het Energon-principe. Drie auteurs, Gerben Broers en Kees van der Linden van de Rgd en Jan Huslage van de TU-Delft, zetten uiteen hoe het Energon-principe bij V&W is toegepast. Ze gaan in op de bouwfysische en installatie technische aspecten van het project en geven aan hoe door evaluatie van gebruikservaring getracht wordt het regelsysteem verder te optimaliseren.

Na de introductie van het Energon-principe in Nederland (1980) door Schokbeton (toen nog Spanbeton) is bij de Rijksgebouwendienst uitvoerig onderzoek, o.a. in de vorm van rekenstudies, verricht naar de toepassingsmogelijkheden hiervan. De meest interessante aspecten van dit principe, waarbij de toevoerlucht voor het gebouw door de kanalen in de prefab vloerplaten ("SP-platen") wordt geleid, bleken:

- verbetering van het thermisch binnenklimaat in de zomer, zonder gebruikmaking van mechanische koeling
- vergroting van het thermisch comfort in de winter
- integratie van gebouw- en installatie-onderdelen
- gunstig energiegebruik

Gezocht werd naar projecten om het Energon-principe in de praktijk te beproeven. Deze werden gevonden in de nieuwbouw voor de Arbeidsinspectie te Nieuwegein, een middelgroot kantoorgebouw met vier lagen (ca. 1400 m<sup>2</sup> vloeroppervlak) en de, eveneens vier lagen hoge, maar grotere nieuwbouw voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat te 's-Gravenhage (ca. 11.000 m<sup>2</sup> vloeroppervlak). In het gebouw in Nieuwegein, dat begin 1987 in gebruik is genomen, zijn nog radiatoren toegepast als aanvullende verwarming; in het gebouw in Den Haag (1989), dat optimaal is geïsoleerd, zijn deze achterwege gelaten.

In beide gebouwen worden metingen verricht ter evaluatie van het binnenklimaat en het energiegebruik. In het gebouw in Den Haag wordt hiervoor samengewerkt met de sector Bouwfysica van de Technische Universiteit Delft. Aan de TU wordt sinds de introductie van het Energon-principe, met financiële ondersteuning van NOVEM (Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu), onderzoek verricht naar de mogelijkheden hiervan. Dit heeft geresulteerd in betrouwbare computermodellen voor temperatuursimulatieberekeningen en rapporten over parameterstudies betreffende de toepassing in verschillende soorten gebouwen in verschillende omstandigheden. In de loop van dit jaar zal hiervan een samenvattende publicatie verschijnen. De inspanning van de TU in het gebouw voor Verkeer en Waterstaat zal zich naast evaluatie van een en ander vooral richten op het optimaliseren van de regelstrategie voor de installatie.

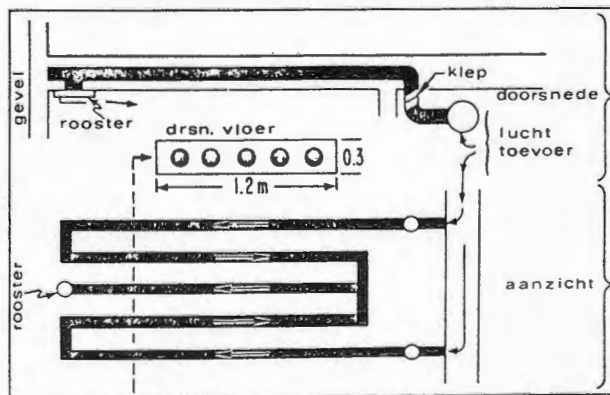
## Het Energon-principe

Het basis-idee achter het Energon-principe is het "actief benutten van de warmte-accumulerende eigenschappen van de bouwconstructie". Iedereen kent het verschijnsel dat het in grote, zware gebouwen 's zomers vaak aangenaam koel blijft en dat (ook 's winters) het binnenklimaat zeer stabiel is. Dit komt omdat de overtollige warmte wordt opgenomen, gebufferd, door de zware constructies (beton, e.d.). Door in de constructies met lucht te doorstromen kanalen op te nemen kan men het opnemen van warmte nog versterken en bovendien, deze er op een geschikt moment weer uithalen. Sinds tientallen jaren worden prefab-betonnen vloerplaten toegepast waarin, uit oogpunt van gewichtsbesparing, kanalen zijn aangebracht. In Zweden is men op het idee gekomen deze platen te gebruiken voor een warmte-uitwisselingsproces als boven omschreven. De toevoerlucht voor het gebouw wordt hierbij door de vloerplaten geleid. In 1980 werd dit idee onder de naam "Energon-principe" in Nederland geïntroduceerd door Spanbeton (nu Schokbeton).

In moderne, goed geïsoleerde gebouwen is het zo dat al bij buitentemperaturen van 5 à 10 °C of lager de interne warmte-ontwikkeling (personen, verlichting, apparatuur) en de warmtewinst door zon-instraling ruimschoots de warmtebehoefte dekt. Bij hogere buitentemperaturen moet het teveel aan warmte door ventilatie en eventueel door koeling worden afgevoerd. Als er voldoende massa in het gebouw aanwezig is kan, wanneer men overdag enkele graden temperatuurstijging in het gebouw toestaat, deze overtollige warmte worden opgeslagen in de gebouwmassa (wanden, vloeren, plafonds). Bij lagere buitentemperaturen ('s nachts) zal door warmte-afgifte vanaf het oppervlak van de constructies gedurende de nacht en het weekeinde een redelijke binnentemperatuur gehandhaafd blijven.

Voor het aanwarmen aan het begin van de werkdag kan de restwarmte uit de vloeren actief benut worden door lucht door de platen

Energon-principe van prefabbeton SP-platen waarbij de lucht door cilindrische sparingen wordt gevoerd.



te voeren. Zo nodig kan deze worden aangevuld met energie uit het verwarmingssysteem. Bij hogere buitentemperaturen (tussen seizoenen) wordt het teveel aan interne warmte, dat niet door ventilatie kan worden afgevoerd, in de constructie en met name in de vloerplaten opgeslagen. Deze overtollige warmte wordt gedurende de nacht naar buiten afgevoerd door koude buitenlucht door de platen te voeren. In warme perioden kunnen de vloerplaten 's nachts door extra ventilatie wat verder worden afgekoeld zodat er overdag wat koelere lucht uit de platen komt (koude-opslag), waardoor de temperatuur in de kantoorvertrekken minder hoog oploopt.

### De nieuwbouw voor Verkeer en Waterstaat

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat is een lang gebouw van vier bouwlagen met op de begane grond gedeeltelijk kantoren en daarnaast de entree en parkeerplaatsen. Voor een deel is de begane grond niet ingevuld. Plaatselijk staat het gebouw op kolommen, zodat de vloer van de eerste verdieping aan de buitenlucht grenst. Op de verdiepingen bevinden zich kantoren, vergaderzalen, een fitnessruimte en een keuken met een restaurant. Voor de verwarming en ventilatie van het gebouw is gebruik gemaakt van het Energon-principe, zoals dat hierboven is beschreven.

Een van de doelstellingen bij het totale ontwerp was: beperking van exploitatiekosten zoals onderhoud en energiegebruik. Dit betekent een optimaal geïsoleerd gebouw met geavanceerde maar zo eenvoudig mogelijke installaties. Daarnaast golden als belangrijke randvoorwaarden:

- grote flexibiliteit van de indeling.
- hoge eisen met betrekking tot het thermisch binnenklimaat c.q. de behaaglijkheid (temperatuur, luchtsnelheid in de verblijfszone in verband met het voorkomen van tochtklachten).

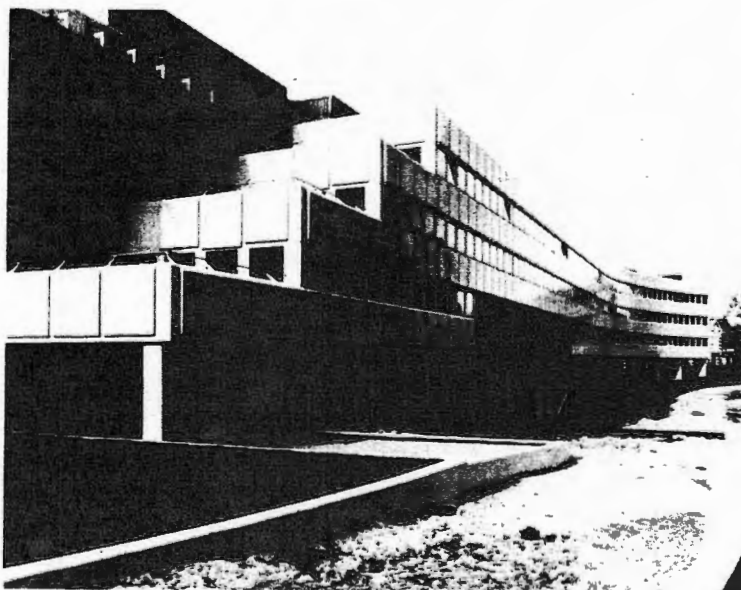
- beperking van het geluidniveau in de vertrekken. Een vergaande integratie van de bouwkundige- en installatietechnische voorzieningen maakte het nodig dat in de definitiefase nauw overleg plaatsvond tussen architect, bouwfysicus, constructeur en installatie-adviseur. Er zijn in deze besprekingen vele varianten bekeken. Uiteindelijk is een aantal installatie-systemen vergeleken qua investerings- en exploitatiekosten:

- centrale verwarming met te openen ramen
- centrale verwarming en mechanische ventilatie met warmterugwinning
- verwarming en ventilatie volgens het Energon-principe.

Gekozen is voor de Energon-variant, waarbij 's zomers zonder koeling een zeer goed binnenklimaat wordt verkregen. Bij de afweging van de verschillende varianten speelde het feit dat in het bouwkundig ontwerp van het ministerie van Verkeer en Waterstaat veel inpandige werkruimten voorkomen ook een rol. Deze ruimten hebben altijd mechanische ventilatie nodig, zodat niet volstaan kan worden met uitsluitend centrale verwarming en natuurlijke ventilatie. Door het weglaten van de radiatoren in de Energon-variant werd deze per saldo ook financieel het meest aantrekkelijk.

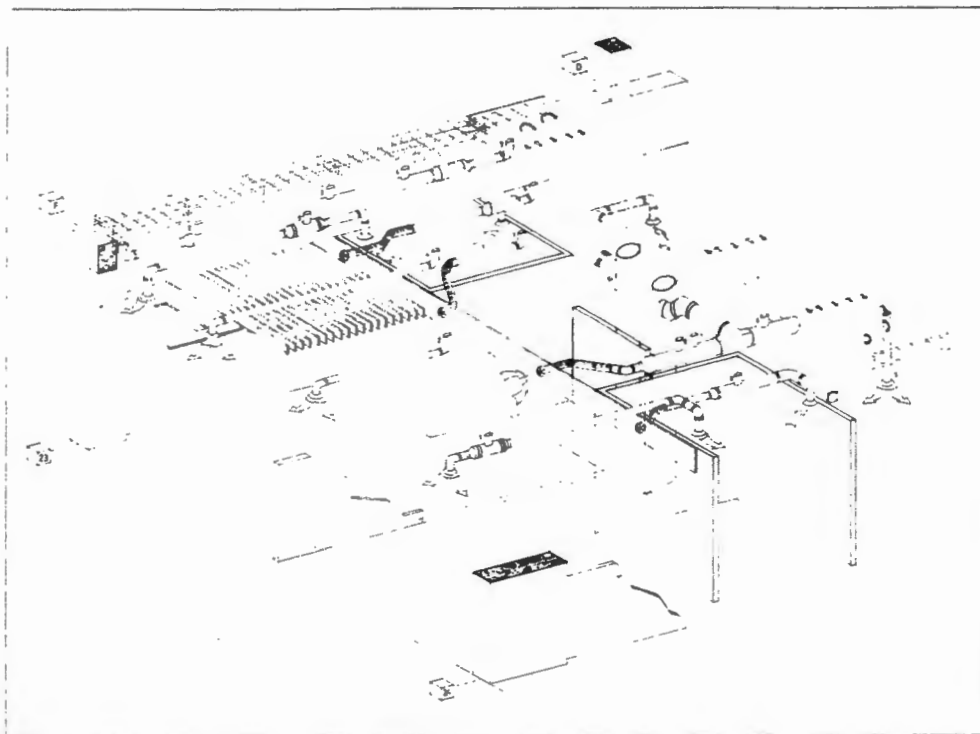
### Bouwfysische aspecten

Gezien de hierboven genoemde uitgangspunten en randvoorwaarden zal het niet verbazen dat in het gebouw redelijk grote isolatiediktes zijn toegepast. Ook is de hoeveelheid glas beperkt gehouden (ca. 30% van de geveleppervlakte) en is speciaal warmte-isolerend glas met een spectraal selectieve coating toegepast. Ernstige koudebruggen komen niet voor, de draagconstructie is geheel binnen de gevel gehouden. In onderstaande tabel wordt een overzicht van de toegepaste isolatie gegeven.



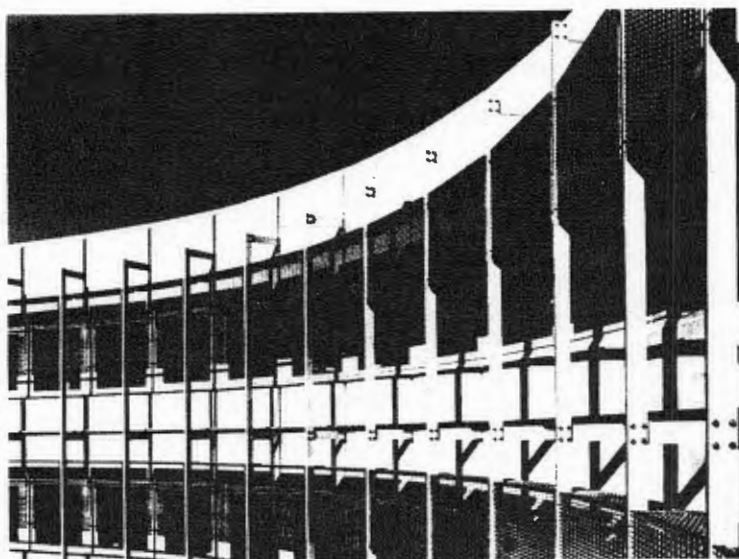
Het Verkeer en Waterstaatgebouw heeft twee typen gevel: één met vaste, roosterzonwering en één van gladde aluminiumpanelen met buitenzonwering die zowel centraal als individueel bediend kan worden.

	k-waarde [W/m <sup>2</sup> ]	isolatiedikte
gevel gesloten	0,25	150 mm minerale wol
gevel open	1,9	thermoplus
dak	0,25	120 mm geëxtrudeerd PS-schuim
begane grondvloer	0,25-0,35	60-120 mm geëxtrudeerd PS-schuim
vloer 1e verdieping	0,25	150 mm minerale wol



Kanalplan in het stramen 23-24.

De detaillering van de roosters is gebaseerd op modelonderzoek.



Daarnaast is uiteraard veel aandacht besteed aan de luchtdoorlatendheid van de gevel. Deze voldoet, zoals ook blijkt uit controlemetingen, aan de eisen die hiervoor bij de Rijksgebouwendienst gelden.

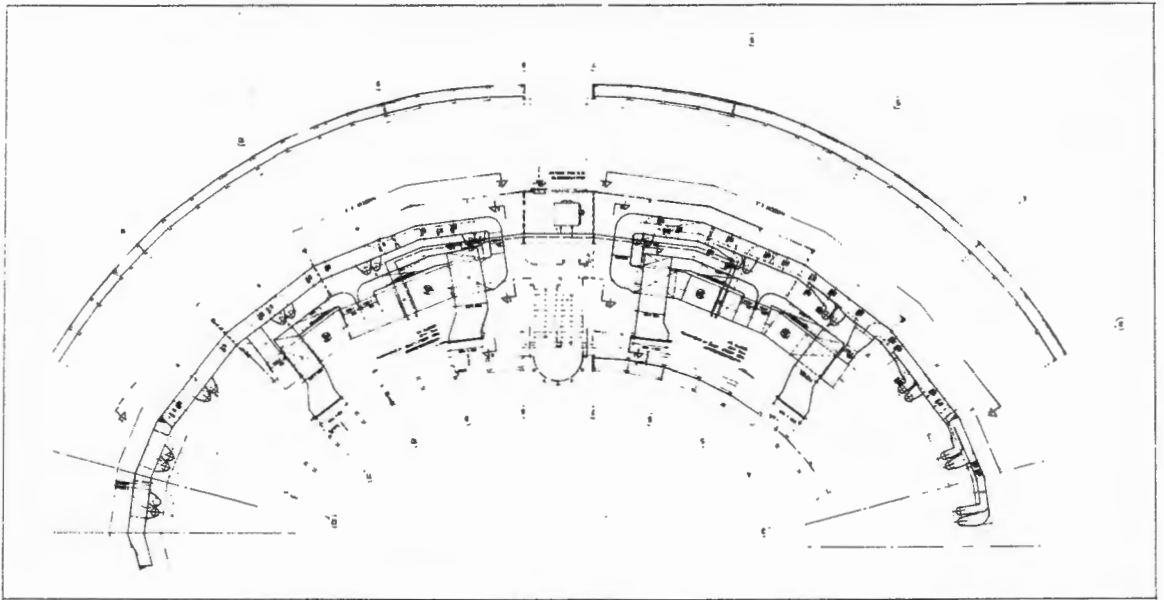
Zon-inval is een belangrijke factor met betrekking tot het thermisch binnenklimaat en het energiegebruik. Ook hierin is getracht een optimale situatie te bereiken. Het sterk gebogen deel van het gebouw heeft een vaste zonwering van roosters, die op een bepaalde afstand van de gevel zijn gehangen. De zonwering is zodanig gedimensioneerd (afstand tot de gevel en de maaswijdte) dat hij gedurende de zomer zijn functie vervult en gedurende de winterperiode onbelemmerde zoninval mogelijk maakt (passieve zonne-energie). Het geheel is tevens de constructie van de glazen-wasvoorziening. De rest van het gebouw heeft centraal gestuurde elektrisch bediende zonwering (verticaal doek) met de mogelijkheid tot individueel ingrijpen op de centrale regeling. De juiste plaats en vorm van de roosters en de invloed hiervan op de dagverlichting is met behulp van de zonnese-

mulator en de daglichtkamer van de afdeling Bouwkunde van de TU-Delft onderzocht.

#### De technische installatie op vertrekniveau

In de meeste Energon-gebouwen tot nu toe liggen de vloerplaten van een gevel. Ze overspannen één travee. In de breedte van het gebouw liggen tien vloerplaten. Hiervan worden de vier buitenste platen aan weerszijden van het gebouw, gebruikt voor de toevoer van lucht en de twee platen in het midden, boven de gang, voor afvoer, zie "Kanalplan stramen 23-24".

De toevoerlucht wordt via metalen kanalen naar de platen geleid. "meandert" (ca. 30 m) door de plaat en wordt weer door een metalen kanaalstuk naar het uitblaasrooster bij de gevel geleid. Deze uitblaasroosters zijn aangebracht in een gesloten plafondplaat. Het grootste deel van het vertrek heeft echter een lamellenplafond om warmte-

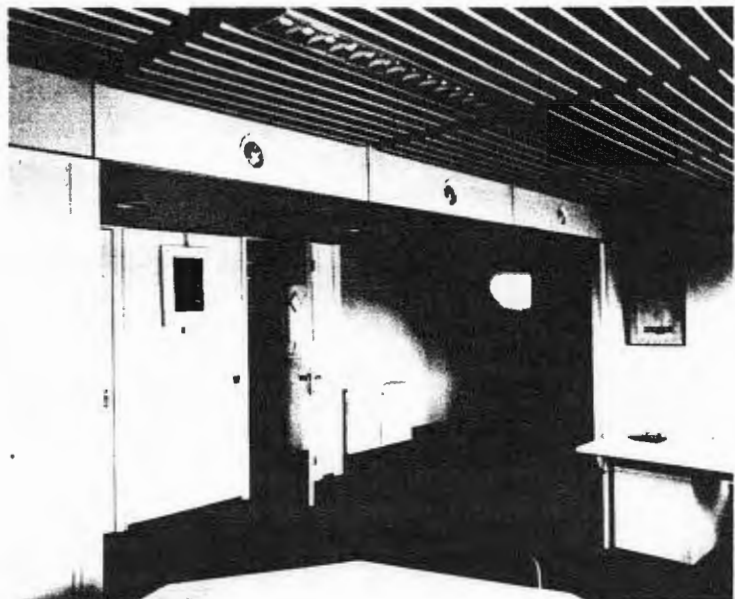


Dakcentrale op het bouwdeel A-B.



In de gang zijn steeds per twee de verticale lichtkanalen te zien. Ze verjongen van boven naar beneden.

Interieur kantoorruimte. Bij de entree heeft het verlaagde plafond dezelfde hoogte als in de gang. Het middendeel heeft een open lamellenplafond.



uitwisseling (straling en convectie) tussen de onderkant van de betonvloer en het vertrek mogelijk te maken. De luchtafvoer vindt plaats aan de gangzijde. De afzuigkanalen van de kantoorkamers worden hier op de twee vloerplaten in de gang aangesloten. De kanalen in de vloerplaten in de gang zijn inwendig niet gekoppeld en functioneren alleen als bouwkundig afzuigkanaal. Ter plaatse van de verticale kanalen zijn de vloerplaten aan de onderzijde aangeboord en door middel van een verzamelstuk aangesloten op het verticale afzuigkanaal.

De verticale luchttransportkanalen zijn naast de inpandige ruimten in de gang in het zicht gemonteerd. Ze verjongen van boven naar beneden. Uiteraard wordt ook lucht toe- en afgevoerd naar en vanuit de, soms inpandige, spreekkamers aan de gangzijde. Het kanalenstelsel is per stramien zodanig ontworpen dat het zich herhaalt voor alle kantoorkamers in het gebouw. Voor de bedrijfskeuken, de fitnessruimte en de trappehuizen zijn aparte luchttechnische installaties gemaakt.

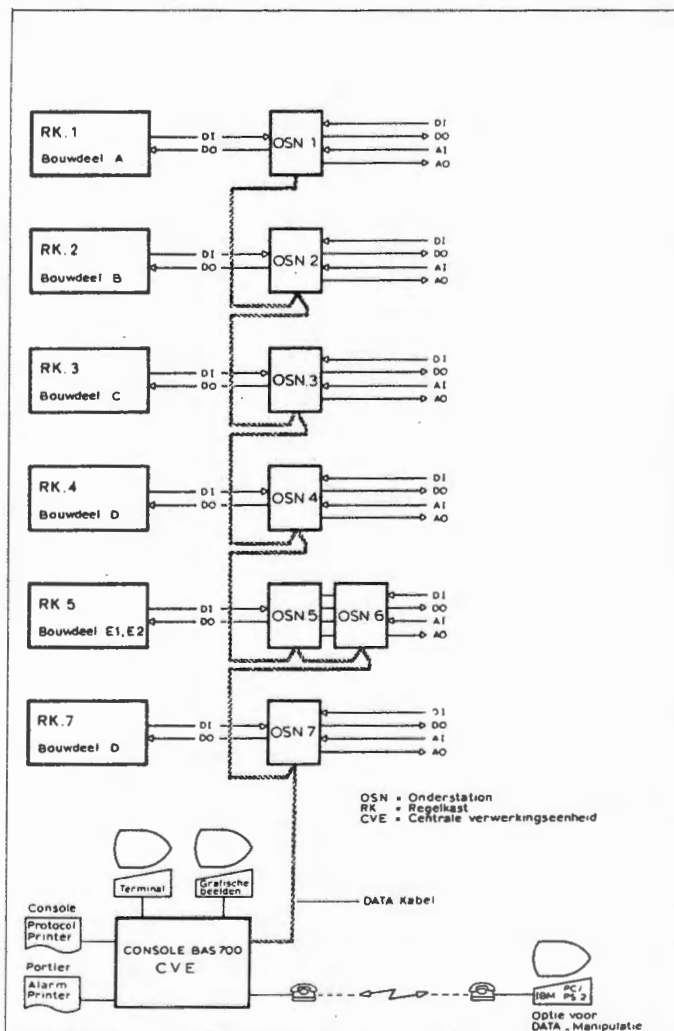
De standaard kantoorkamers hebben een viervoudige ventilatie, de begane grond heeft een zesvoudige ventilatie in verband met de extra warmteverliezen door de vloer. De vloer van de eerste verdieping wordt, waar deze zich boven de buitenlucht bevindt en er zich dus geen kantoorvertrekken onder bevinden, toch met lucht doorstroomd om de oppervlaktetemperatuur van de bovenzijde van de vloer op hetzelfde niveau te brengen als in de rest van het gebouw. De lucht die door deze vloer gaat wordt of rechtstreeks weer teruggevoerd in het systeem of benut voor ruimten die extra lucht nodig hebben, zoals vergaderzalen, enz.

### De centrale installatie

De technische ruimten voor de voorbehandeling van de lucht bevinden zich op het dak en bestaan uit een ketelhuis en een ventilatieruimte. Ze zijn met elkaar verbonden door een bouwkundige kanalentunnel, van waaruit per travee, twee verticale kanalen de lucht het gebouw inbrengen en weer afvoeren. Vanwege de grote lengte van het ministerie en de bouwvorm ("saxofoon"), is het pand wat betreft de technische installaties in 5 bouwdelen opgedeeld.

De voor het gebouw benodigde warmte wordt verzorgd door vier gasgestookte hoogrendementketels met een maximaal vermogen van in totaal 810 kW. In de ventilatieruimten staan 5 luchtbehandelingskasten opgesteld met een gezamenlijke capaciteit van 31 m<sup>3</sup>/s (110.000 m<sup>3</sup>/h). De ventilatoren kunnen op een hoge en een lage snelheid draaien. De units werken gedurende de wintermaanden met maximaal 20% buitenlucht. De hoeveelheid buitenlucht wordt bepaald door de mate van vervuiling van de retourlucht. Deze wordt bepaald door het meten van het percentage kooldioxide (CO<sub>2</sub>) in de retourlucht. Er is gerekend met 30m<sup>3</sup>/h verse lucht per persoon.

Voor de regeling en besturing wordt gebruik gemaakt van een installatie-beheersysteem (Satchwell: BAS 700) bestaande uit een centrale verwerkingseenheid, monitor en een printer. In het gebouw zijn per bouwdeel "intelligente" onderstations geplaatst die de basis vormen van het regelsysteem. Elk onderstation is autonoom en kan de gevraagde regelfuncties en schakelfuncties op lokaal niveau zelfstandig uitvoeren. De daarvoor benodigde systeem- en applicatieprogrammatuur is lokaal opgeslagen. De hardware is modulair van opbouw.



Opbouw gebouwbeheersysteem.

In de regelkamer op de begane grond is de centrale verwerkings-eenheid opgesteld waar de beheersfuncties worden geregistreerd, te weten:

- melding van de bedrijfstoestanden en de storingen
- registratie van informatie ten behoeve van het onderhoud van de installaties
- rapportage over het energiegebruik en de energiestromen

In de centrale verwerkingseenheid is opgenomen een back-up geheugen met de programma's voor elk onderstation. Deze programma's worden automatisch geladen indien een onderstation er om vraagt. Op een tweede beeldscherm worden de grafische beelden van de installatie in kleur weergegeven.

De centrale verwerkingseenheid is voorzien van een uitgangspoot voor aansluiting op een personal computer. Met behulp van een Data Manipulatie Software Pakket kan informatie worden verwerkt ten behoeve van de evaluatie van het gebouw. Naast de parameters die voor de regeling van de installatie worden gemeten worden in enkele vertrekken ook aanvullende gegevens verzameld. Hoe de regeling in zijn werk gaat wordt onderstaand kort beschreven.

### Verwarmings cyclus winterbedrijf

*Aanwarmen 0.700-08.00 uur op de werkdagen.* Er wordt aangewarmd indien de ruimtetemperatuur om 07.00 uur lager is dan 18 °C. Hierbij wordt uitsluitend gebouwlicht gerecirculeerd. Hierdoor vindt ont-trekking van warmte aan de vloerplaat plaats, indien nodig wordt extra warmte toegevoerd. De bedrijfstoestand is als volgt:

- ventilatoren ingeschakeld op hoog toeren
- luchtkleppen op 100% recirculatie

*Dagregeling 08.00-17.00 uur op de werkdagen.* De verwarmde toevoer-lucht wordt via de kanalen in de vloerplaat naar de kantoorvertrek-ken gevoerd. Voor de temperatuurregeling is de buitenluchttempera-tuur in eerste instantie maatgevend. Er is een "stooklijn" bepaald op basis van de transmissie-verliezen. Stijgt gedurende de werkdag de temperatuur tot 21 °C dan wordt de warmtetoevoer verminderd.

Het omgekeerde geschiedt bij een vloertemperatuur die lager is dan 20 °C. (deze wordt op meerdere plaatsen gemeten). Eerst wordt het buitenluchtaandeel in de ventilatie verminderd, daarna wordt eventueel extra warmte toegevoerd. Als de luchtcondities daartoe aanleiding geven wordt het verse lucht aandeel automatisch ver-hoogd tot maximaal 20% (de gebouwinhoud wordt daarmee in on-geveer één uur tijd ververs).

*Nachtregeling 17.00-07.00 uur op de werkdagen.* Na het beëindigen van de werkdag kan de vrijgekomen overtollige warmte worden op-geslagen in de vloerplaten. Dit gebeurt als de ruimtetemperatuur hoger is dan 22 °C door recirculatie van de gebouwlicht. Na daling van de ruimtetemperatuur onder de 21 °C wordt deze recirculatie beëin-digd. Daalt de ruimtetemperatuur gedurende de nacht of het week-end onder de 19 °C dan wordt weer op recirculatie omgeschakeld. Indien nodig wordt ook extra warmte toegevoerd. Dit laatste gebeurt als de vloertemperatuur lager wordt dan 20 °C of de ruimtetempera-tuur lager dan 18 °C.

### Koelcyclus zomerbedrijf

*Conditioneren: 07.00-08.00 uur op de werkdagen.* Gedurende deze perio-de wordt koude aan de vloerplaten onttrokken voor het verkrijgen van een goede temperatuur bij aanvang van de werktijd. Dit gebeurt ook weer door het recirculeren van de gebouwlicht.

*Dagregeling 08.00-17.00 uur op de werkdagen.* In de periode tussen koelen en verwarmen (tussenseizoenen) wordt het teveel aan warm-

te gedurende de dag vanzelf in de vloerplaten opgeslagen. Deze warmte wordt 's nachts afgevoerd. Bij toenemende vraag naar koe-ling (zomer) worden de platen 's nachts verder afgekoeld en dienen de vloerplaten als 'koude-buffer'. Door de koude platen wordt de toevoerlucht naar de vertrekken gekoeld. Als de buitentemperatuur hoger is dan de vloertemperatuur of de ruimtetemperatuur wordt op de minimaal benodigde buitenluchthoeveelheid overgeschakeld (20%). Ook worden de ventilatoren op het lage toerental geschakeld om de koude buffer niet te snel uit te putten. Als de buitenluchttem-peratuur laag genoeg is kan ook met 100% buitenlucht worden ge-draaid om de temperatuur in het gebouw naar beneden te brengen. Ook nu wordt zonodig het buitenluchtaandeel verhoogd om de fris-heid van de lucht (CO<sub>2</sub>-meting) op peil te houden.

*Nachtregeling 17.00-07.00 uur.* Het schakelen van de ventilatoren geschiedt tijd- en temperatuurafhankelijk:

- om 17.00 uur worden de ventilatoren uitgeschakeld.
- indien nodig vindt er nachtventilatie plaats tussen 21.00-07.00 uur.

Het doel van deze nachtventilatie is afvoer van de overtollige warm-te en gebruik van de vloerplaten als koude buffer. De nachtventilatie start als de temperatuur van de vloerplaat hoger is dan 22 °C, of de ruimtetemperatuur hoger is dan 20 °C. Voorwaarde daarbij is dat de buitenluchttemperatuur minimaal 3 °C onder de ruimtetemperatuur ligt, anders levert het ventileren geen koeling op. De nachtventilatie wordt beëindigd zodra de vloertemperatuur en/of de ruimtetempe-ratuur weer onder de genoemde waarden zijn gedaald.

### Berekend energiegebruik

Voor het gebouw is het volgende jaarlijkse energiegebruik berekend:

	gebouw 36.000 m <sup>3</sup>	per m <sup>3</sup> gebouw- inhoud in m <sup>3</sup> aardgas equivalent
verwarming (aardgas)	25.000 m <sup>3</sup>	0,7 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
ventilatorenenergie (elektrisch)	200.000 kWh	1,9 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>totaal primair energiegebruik:</b>		<b>2,6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b>

*Evaluatie en onderzoek.* De afdeling Techniek en Kwaliteitszorg van de Rijksgebouwendienst verricht in samenwerking met de Technische Universiteit Delft metingen in de nieuwbouw van Verkeer en Water-staat. Deze metingen hebben tot doel, na te gaan in hoeverre het binnenklimaat voldoet aan de gestelde uitgangspunten, hoe het zit met het energiegebruik en wat de voor- en nadelen van het systeem zijn. Daarnaast zullen alternatieve regelstrategieën worden uitgepro-beerd teneinde de mogelijkheden van het Energonsysteem nog beter te benutten.

Voor de metingen wordt behalve van de opnemers voor de kli-maatregeling gebruik gemaakt van een aantal extra opnemers (ca. 25). Daarmee worden in enkele vertrekken gegevens verkregen over de oppervlaktetemperaturen van wanden en van het inwendige van de vloerplaten. Ook wordt de stand van ramen, deuren en zonwering geregistreerd. Een eerste doel van de metingen is het verschaffen van inzicht in het verloop van het binnenklimaat in relatie tot de facto-ren buitenklimaat en gebruikersgedrag (openen van ramen en deuren). Hiervoor wordt een presentatievorm ontwikkeld waarbij naast de grafieken van de temperatuurniveaus, het energieverbruik en der-gelijke, ook wordt getoond hoe de behaaglijkheid verloopt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Predicted Mean Vote (PMV) van Fan-ger. In de PMV wordt op basis van de parameters lucht- en stralings-

temperatuur, luchtsnelheid en luchtvochtigheid, activiteitsniveau en kledingweerstand, de waardering van het thermisch binnenklimaat in één getal uitgedrukt.

Met name wordt aangegeven wanneer en hoelang het binnenklimaat buiten de gewenste behaaglijkheidsgrenzen komt. Door vergelijking van de gemeten waarden met de gewenste niveaus kunnen onvolkomenheden in het klimaatregelsysteem worden opgespoord. Om verbeteringen aan te brengen kunnen vervolgens parameters in het regelsysteem worden gewijzigd. Die parameters zijn arbitraire grootheden zoals instelwaarden voor temperaturen, de bedrijfstijd en koppelfactoren tussen het verwarmingsvermogen en het buitenklimaat (stooklijn).

### Alternatieve regelstrategieën

Omdat de geïnstalleerde regelstrategie waarschijnlijk niet toereikend zal zijn om de mogelijkheden maar ook de moeilijkheden van deze Energon-variant optimaal aan te pakken, zullen er alternatieve regelstrategieën worden ontwikkeld. De geïnstalleerde regelstrategie maakt weinig gebruik van kennis en metingen met betrekking tot het dynamisch gedrag van het systeem. In essentie wordt de inblaastemperatuur van de vloerplaten geregeld op basis van een stooklijn. Afhankelijk van de momentane situatie en die gedurende de voorafgaande middag, wordt één van de drie beschikbare stooklijnen toegepast, of wordt de installatie uitgeschakeld. (N.B. de term stooklijn wordt ook gebruikt voor de situatie waarin er geen warmte wordt toegevoerd, maar bijvoorbeeld alleen de verhouding buitenlucht/recirculatie lucht wordt geregeld).

De alternatieve regelstrategieën zullen eerst worden getest met een computermodel van het gebouw. Bij deze simulatie van bouwfysische en installatie-technische processen zullen gemeten klimaatgegevens worden gebruikt, zodat er voor de oorspronkelijke regelstrategie een goede vergelijking kan worden gemaakt tussen het berekende en het gemeten binnenklimaat. Daarna kan er via verdere modelberekeningen een oordeel worden gevormd over de waarde van alternatieve regelstrategieën. Deze strategieën vervolgens in het gebouw van V&W worden geïnstalleerd op een personal computer, die onder bewaking van het gebouwbeheersysteem, de regeling tijdelijk kan overnemen.

Voor de ontwikkeling van andere regelstrategieën wordt aan de volgende vier hoofdthema's gedacht:

a Regeling op basis van kennis over de thermische toestand en de traagheid van de platen en de overige bouwmassa.

Door simulatie van het dynamisch gedrag van een gebouwsectie in de regelcomputer, op basis van de momentane toestand en van een verwacht weerpatroon, kan een geschikte sturing van de installaties in de komende periode worden bepaald. De weervoorspelling wordt hierbij bepaald door extrapolatie van metingen van het weerstation ter plaatse. Omdat het weer vaak zal afwijken van deze verwachting en door onvolkomenheden in het model, moet de berekening regelmatig worden herzien, bijvoorbeeld ieder half uur.

b Gebruik van weersverwachtingen van een meteorologisch bureau. Gezien de grote thermische traagheid van het gebouw (tijdconstantes in orde van een dag) is een goede weervoorspelling van groot belang. Een grote verbetering mag worden verwacht van het inschakelen van een meteorologisch bureau. Er wordt aan gedacht om zesmaal per etmaal een weerbericht voor de regio Den Haag op te vragen via een computerverbinding over het telefoonnet.

c Regeling van het ventilatiedebiet.

Twaalf ventilatoren van elk 7000 watt verzorgen het luchttransport

naar de kantoorvertrekken in het gebouw. Vooral nog draaien de ventilatoren op vol vermogen gedurende de werktijden en zonodig daarbuiten om het gebouw te verwarmen of af te koelen met buitenlucht. Om te voldoen aan de eisen van temperatuurniveau en luchtverversing kan echter vaak met een lager ventilatiedebiet worden volstaan. Er zijn zelfs situaties waarbij het grote debiet problemen geeft. Bijvoorbeeld wanneer de vloerplaten 's nachts zijn afgekoeld ten einde het gebouw overdag te kunnen koelen. In de ochtend is men dan gebaat met een gering debiet, afgestemd op de vereiste toevoer van verse lucht. Het volle debiet zou de temperatuur ongewenst verlagen. Zonder de mogelijkheid van een lager debiet is het niet toelaatbaar om 's nachts de platen te ver af te koelen. Hoewel een regelbaarheid van nul tot vol ideaal zou zijn, is om financiële redenen gekozen voor twee-toerenmotoren. In de lage stand wordt het debiet ongeveer gehalveerd en is het elektriciteitsverbruik circa acht maal lager. Een nevenvoordeel van de lage stand is dat het, weliswaar geringe, geruis van de inblaasroosters vrijwel geheel verdwijnt.

d Aan/uit-regeling van de luchtverwarmer.

Momenteel wordt de temperatuur van de aanvoerlucht naar de vloerplaten traditioneel geregeld in een zogenaamde terugkoppellus. De warmtetoevoer naar de luchtverwarmer wordt middels een regelkraan analoog gestuurd. Door de grote traagheid van het systeem (warme-accumulatie in de vloerplaten) is het echter mogelijk om een regeling toe te passen waarbij de warmtetoevoer aan/uit geschakeld wordt met een variabele verhouding van de aan/uit-tijd. Dit maakt kostbare regelkranen overbodig en meestal kan er energiebesparing worden bereikt doordat de verwarmingsketel kan worden ingesteld op de optimale temperatuur. Bovendien wordt er bespaard op elektrische energie voor de circulatiepompen.

De eerst metingen laten zien dat een en ander werkt zoals het is bedoeld. Over enige maanden zal een rapport met de eerste resultaten van Verkeer en Waterstaat worden uitgebracht. Van het proefproject in Nieuwegein zijn inmiddels enkele rapporten beschikbaar.<sup>1</sup>

GERBEN BROERS, JAN HUSSLAGE EN KEES VAN DER LINDEN

G. B. Broers Rijksgebouwendienst, directie 's-Gravenhage e.o. afdeling Werktuigbouwkunde, verantwoordelijk voor ontwerp en uitvoering van de klimaatinstallaties in Verkeer en Waterstaat. ir. J. Husslage Technische Universiteit Delft, faculteit der Civiele Techniek, vakgroep Utiliteitsbouw, sector Bouwfysica, uitvoerder van de evaluatie van het Energon-principe in Verkeer en Waterstaat en het onderzoek dat hier zal gebeuren. ir. A. C. van der Linden Rijksgebouwendienst, directie Advisering en Onderzoek, hoofd van de afdeling Techniek en Kwaliteitszorg, waaronder het onderzoek m.b.t. Verkeer en Waterstaat ressorteert. Ten tijde van de eerste ontwerpfase bouwfysisch adviseur in het project.

**Noot 1** Informatie over deze projecten kan worden verkregen bij de afdeling Techniek en Kwaliteitszorg, Rijksgebouwendienst, Postbus 20952, 2500 EZ 's-Gravenhage, tel.: 070-614221

Foto's Piet Rook

NIEUWBOUW MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 'S-GRAVENHAGE  
**Opdrachtgever** Rijksgebouwendienst, directie 's-Gravenhage e.o.  
**Ontwerp** ir. K. van der Hoeven Rgd dir. 's-Gravenhage e.o. en ir. K. Rosdorff  
**Adviseur installaties** Rijksgebouwendienst, dir. 's-Gravenhage e.o. afdeling Werktuigbouwkunde  
**Adviseur Bouwfysica** Rijksgebouwendienst, Directie Advisering en Onderzoek, afdeling Bouwfysica (nu afd. Techniek en Kwaliteitszorg)  
**Installateur** Technisch installatie bureau Massier bv, 's-Gravenhage  
**Luchtkanalen kantoren** Vink bv, Katwijk  
**Luchtkanalen dakopbouw** Jenti bv, Hardinxveld-Giesendam.  
**Regelinstallatie** Satchwell bv, Maarssen.