

ENERGIECONCEPT WOONTOREN RIJSWIJKSEPLEIN

Hoog potentieel voor energiebesparing

F.G.H. Koene (ECN)
G.J. Donze (W/E adviseurs)
F.A.T.M. Ligthart (ECN)
H.F. Kaan (ECN)
J.P. Mak (W/E adviseurs)

Studie uitgevoerd in opdracht van Ceres Projecten

Verantwoording

Deze studie is in samenwerking met W/E adviseurs uitgevoerd in opdracht van Ceres Projecten, onderdeel van de Vestia Groep, en is uitgevoerd onder ECN-projectnummer 8.44046.

Samenvatting

Ceres projecten heeft het voornemen om aan het Rijswijkseplein in Den Haag een veertig bouwlagen tellende woontoren te bouwen, waarvan 35 lagen in eerste instantie voornamelijk als studentenhuisvesting ingericht worden. ECN en W/E adviseurs hebben voor deze woontoren een tweetal integrale energieconcepten opgesteld, te weten een Basis-energieconcept en een Innovatief energieconcept (met zonnegevel).

De beide concepten met collectieve installaties voor warm tapwater en ventilatie hebben een aantal standaardmaatregelen gemeen. Hieronder vallen hoogwaardige schilisolatie ($R_c > 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, $U_{\text{glas}} < 1,1 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), gebalanceerde ventilatie met te openen ramen (voor onder meer aanvullende ventilatie in de zomersituatie), vloerverwarming (LTS), beperking van ventilator- en pompenergie en verwarming met HR107-gasgestookte ketels.

Het Basisconcept reduceert de ventilatieverliezen met een min of meer gangbare lucht-op-lucht warmtewisselaar. Luchttoe- en afvoer bevinden zich boven op het gebouw. Warmte wordt daar teruggewonnen met een beproefd systeem met hoog rendement.

In het Innovatieve concept wordt warmte uit de ventilatielucht teruggewonnen met een combinatie van een 'twincoil' systeem en een warmtepomp. Tevens is in dit concept toepassing van een zonnegevel voorzien. Deze zonnegevel bevat drie technieken: passief thermisch, actief thermisch en zonnestroom (PV).

Het passief thermisch aspect wordt gerealiseerd door optimalisatie van de raamopeningen middels het creëren van een functionele tweedeling (daglicht & uitzicht), in positie en zonweringopties. Het actief thermisch element omvat het in de zuidgevel opgenomen zonnecollectorveld voor dekking van de warm-tapwatervraag. Zonnestroom wordt opgewekt middels gevelgeïntegreerde PV-panelen onder de borstweringen in de zuidgevel.

INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	6
2. ONDERDELEN VAN EEN ENERGIECONCEPT	7
2.1 Gebruik en inrichting van de vide	7
2.2 Isolatie van de gebouwschil	8
2.3 Ventilatie	8
2.4 Ruimteverwarming	11
2.5 Beheersing van het binnenklimaat in de zomer	12
2.6 Warm tapwater	13
2.7 Verlichting	14
2.8 Elektriciteit	16
2.9 Centrale gebouwbeheersing	17
3. HET ENERGIECONCEPT	18

SAMENVATTING

Ceres projecten heeft het voornemen om aan het Rijswijkseplein in Den Haag een veertig bouwlagen tellende woontoren te bouwen, waarvan 35 lagen in eerste instantie voornamelijk als studentenhuysvesting ingericht worden. ECN en W-E-adviseurs hebben voor deze woontoren een tweetal integrale energieconcepten opgesteld, te weten een Basis-energieconcept en een Innovatief energieconcept (met zonnegevel).

De beide concepten met collectieve installaties voor warm tapwater en ventilatie hebben een aantal standaardmaatregelen gemeen. Hieronder vallen hoogwaardige schilisolatie ($R_c > 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, $U_{\text{glas}} < 1,1 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), gebalanceerde ventilatie met te openen ramen (voor onder meer aanvullende ventilatie in de zomersituatie), vloerverwarming (LTS), beperking van ventilator- en pompenergie en verwarming met HR107-gasgestookte ketels.

Het Basisconcept reduceert de ventilatieverliezen met een min of meer gangbare lucht-op-lucht warmtewisselaar. Luchttoe- en afvoer bevinden zich boven op het gebouw. Warmte wordt daar teruggewonnen met een beproefd systeem met hoog rendement.

In het Innovatieve concept wordt warmte teruggewonnen met een combinatie van een 'twincoil' systeem en een warmtepomp. Voordelen zijn de geringere ruimte voor ventilatiekanalen en de mogelijkheid om in de zomersituatie, warmte aan de ventilatielucht te onttrekken en in te zetten voor warm-tapwaterbereiding. Eventueel kan de warmtepomp in de zomer worden ingezet voor koeling van de ventilatielucht.

In het Innovatieve concept is tevens toepassing van een zonnegevel voorzien. Deze zonnegevel bevat drie technieken: passief thermisch, actief thermisch en zonnestroom (PV).

Het passief thermisch aspect wordt gerealiseerd door optimalisatie van de raamopeningen middels het creëren van een functionele tweedeling (daglicht & uitzicht), in positie en zonweringopties. Het actief thermisch element omvat het in de zuidgevel opgenomen zonnecollectorveld voor dekking van de warm-tapwatervraag. Zonnestroom wordt opgewekt middels gevelgeïntegreerde PV-panelen, die worden gesitueerd onder de borstweringen in de zuidgevel, waarbij een innovatief PV-gevelsysteem kan worden ontwikkeld in een Europees subsidietraject.

1. INLEIDING

Ceres projecten heeft het voornemen om aan het Rijswijkseplein in Den Haag een veertig bouwlagen tellende woontoren te bouwen, waarvan 35 lagen in eerste instantie voornamelijk als studentenhuysvesting ingericht worden. Echter, flexibiliteit van huysvesting gedurende de exploitatieperiode is van groot belang.

De vorm van het gebouw wordt grotendeels bepaald door de vorm van de locatie, ruwweg een driehoeksvorm. De onderste vijf verdiepingen zijn voor commerciële en algemene doeleinden bestemd, de topetage voor publieke doeleinden. Verder heeft het gebouw om de drie verdiepingen een serreachtige ruimte, die zowel ten behoeve van de gebruikers als voor commerciële doeleinden kan worden ingezet. Een 'artists impression' van de woontoren is in figuur 1 weergegeven.



Figuur 1 'Artists impression' van de woontoren aan het Rijswijkseplein.

De ambities op energetisch gebied zijn hoog, wat mede mogelijk wordt gemaakt door de compactheid van het ontwerp. Randvoorwaarden daarbij zijn lage kosten van onderhoud in relatie tot de investering.

Leidraad bij het opstellen van een energieconcept is de prioriteitenstelling van maatregelen. In eerste instantie wordt geprobeerd het energiegebruik zoveel mogelijk te verminderen. Als tweede maatregel worden zoveel mogelijk duurzame energiebronnen ingezet. Tenslotte wordt de resterende warmtevraag zo efficiënt mogelijk gedekt met fossiele energie.

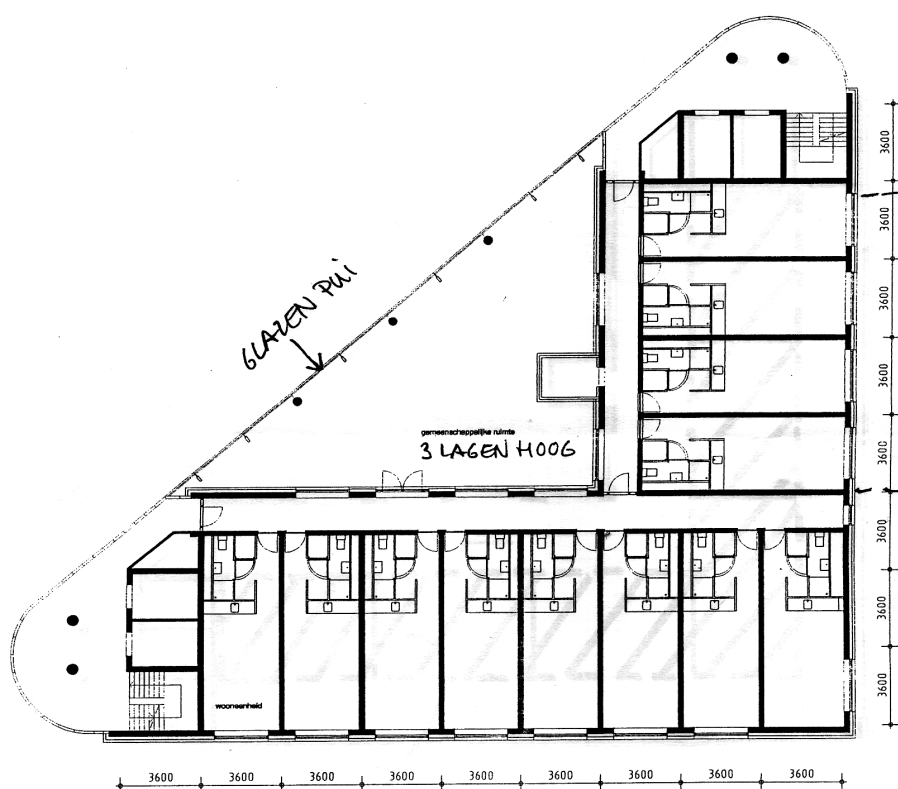
2. ONDERDELEN VAN EEN ENERGIECONCEPT

Om de ambities op energetisch gebied vorm te geven, wordt een energieconcept ontwikkeld, dat verwarming, ventilatie, warm tapwater, verlichting en koeling omvat. Deze elementen kunnen niet los van elkaar worden gezien. Zo zal een klein glasoppervlak in het algemeen de warmtevraag beperken, maar tevens de hoeveelheid daglicht verminderen. Bovendien zal een groot glasoppervlak (vooral op het zuiden en westen) de kans op oververhitting in de zomer verhogen.

Nadat de separate onderdelen, met bijbehorende afwegingen apart worden besproken, wordt een integraal concept opgesteld, waarvan de verschillende elementen in elkaar grijpen en elkaar, waar mogelijk versterken.

2.1 Gebruik en inrichting van de vide

Het gebouw heeft een min of meer driehoekig oppervlak. Langs twee van de drie zijden zijn wooneenheden gesitueerd. Het resterende, ruwweg driehoekige oppervlak is een serreachtige ruimte, de vide. Deze heeft een hoogte van drie bouwlagen. De gebouwindeling is geschetst in figuur 2.



Figuur 2 Schets van de gebouwindeling, met daarin de wooneenheden en de driehoekige vide. De rechtergevel in de schets is min of meer op het zuiden georiënteerd

Vanwege de functie van serreachtige ruimte, hoeft het klimaat in de vide niet aan de strenge eisen voor een binnenklimaat te voldoen ('Beschutte buitenruimte'). Er kan dus worden volstaan met enkel glas in de buitenwand van de vide. Dat heeft een aantal voordelen. Om de overvloedige warmte in de zomer kwijt te raken, moet de vide voldoende geventileerd kunnen worden. Een voorziening om ramen automatisch te openen is makkelijker te realiseren met

ramen van enkel glas dan van dubbel glas. Daarnaast hoeft de constructie van de wand minder zwaar te worden uitgevoerd. Ook is de LTA (Licht Toetredingsfactor) van enkel glas hoger dan die van dubbel glas, waardoor het daglichtniveau in de vide hoger is dan bij toepassing van dubbel glas. Tenslotte kan een vide met enkel glas architectonisch beter aansluiten bij de bovenste 10 bouwlagen, waar ook de bouwkundige schil langs de galerij ligt.

De thermische schil van het gebouw wordt daarom aan de binnenkant van de vide, langs de galerij geplaatst. Op die manier kan de gewenste isolatiegraad van het gebouw makkelijker worden bereikt. Immers, dichte geveldelen, zoals de borstwering van de galerij hebben een hogere isolatiewaarde dan de buitenwand van de vide, die bijna volledig uit glas bestaat.

Inzet van de serre voor commerciële doeleinden is mogelijk door het aanbrengen van een aantal cocon-achtige ruimten, waarin het gewenste binnenklimaat wordt gerealiseerd.

2.2 Isolatie van de gebouwschil

Voor vergaande warmtevraagbeperking wordt de thermische isolatie van de gebouwschil geoptimaliseerd. Voor isolatie van de dichte schil kunnen verschillende materialen worden gebruikt, rekening houdend met een milieuvoorkeur. Door het toepassen van een ca. 15 cm dikke isolatielaag wordt een R_c waarde van $4 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ bereikt. Daarbij moet worden voorkomen dat de effectieve isolatie verslechtert door het optreden van koudebruggen in de constructie. Indien de dikte van deze laag bouwtechnische problemen oplevert, kan (duurder) isolatiemateriaal met een lagere warmtegeleiding worden gekozen.

Voor het glas wordt een U-waarde van $\leq 1.1 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ aangehouden. Doordat kozijnen meestal minder goed isoleren dan glas, komt de U-waarde van het raam als geheel hoger uit: $1.3\text{--}1.5 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$. De aansluiting van het kozijn op de dichte gevel wordt goed gedetailleerd om warmte- en luchtlekken te voorkomen. Door gebruik van een dubbele naad- en kierdichting (K100 norm) kan ook een hoge geluidsisolatie worden bereikt. Om het onderhoud aan de kozijnen te minimaliseren wordt aanbevolen om onderhoudsarme kozijnen te gebruiken.

Hogere isolatiewaarden zijn economisch minder interessant omdat de warmtevraag toch al zeer gering is, door de compacte bouwwijze en de interne warmteproductie ten gevolge van personen, verlichting en elektrische apparatuur. Lagere isolatiewaarden zijn niet aan te bevelen vanwege het duurzame karakter van het gebouw. Daarnaast kan de warmtebalans veranderen indien de indeling van de woonruimten in de toekomst verandert (appartementen i.p.v. studentenflats).

2.3 Ventilatie

Hierbij moeten we onderscheid maken tussen de zomer- en de wintersituatie. In de winter is ventilatie nodig om de luchtkwaliteit in het gebouw te waarborgen. In de zomer wordt er aanvullend geventileerd om de temperatuur in de woning niet te hoog te laten oplopen (paragraaf 2.5).

In de wintersituatie vormt de warmte, die met de ventilatielucht naar buiten wordt afgevoerd, een grote post in de warmtehuishouding van het gebouw (ventilatieverliezen). Een eenvoudig model van de energiebalans van een op het zuiden georiënteerde tussenwoning geeft aan, dat er jaarlijks ca. 100 m^3 gas nodig is om de woning op temperatuur te houden. Het grootste deel daarvan is nodig om de ventilatieverliezen te compenseren.. Het is dus duidelijk dat warmteterugwinning op de ventilatielucht een belangrijke maatregel is. Hiervoor worden in het volgende twee opties verder uitgewerkt.

Optie 1: warmteterugwinning met een lucht-lucht warmtewisselaar.

De eerste optie is een in de praktijk beproefde, en min of meer standaard oplossing. Door toepassing van een lucht-lucht warmtewisselaar, zoals een warmtewiel of een tegenstroom warmtewisselaar worden de ventilatieverliezen met meer dan 90% verminderd. Een dergelijke warmtewisselaar heeft een prestatiefactor (verhouding van teruggewonnen warmte en daarvoor benodigde elektrische energie) van 10:1 à 15:1. Met dit systeem kan de benodigde energie voor ruimteverwarming tot vrijwel nul worden gereduceerd. Blijkbaar zijn de totale verliezen dan zo gering dat de interne warmteproductie en de zoninstraling voldoende zijn om de woning op temperatuur te houden.

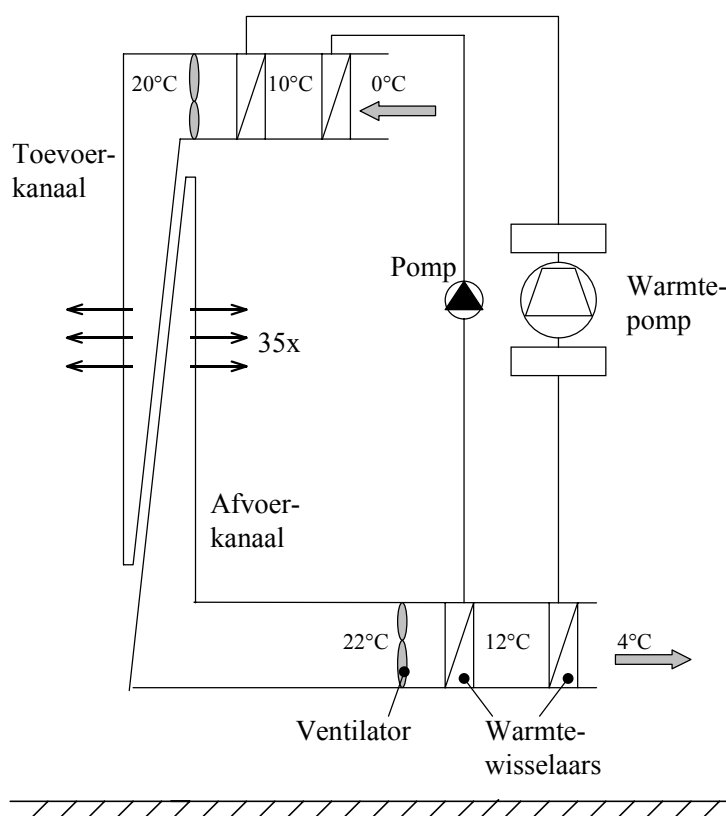
Mede uit overwegingen van onderhoud verdient een systeem van gebalanceerde ventilatie met centrale toe- en afvoerkanalen de voorkeur boven decentraal geplaatste units. Om geluids-overlast door luchtstroming te voorkomen en de ventilatorverliezen te minimaliseren, mag de luchtsnelheid niet boven de 3 m/s komen. Het netto oppervlak van het centrale kanaal ¹ komt dan uit op 4,4 m². Het gezamenlijk oppervlak van toe- en afvoerkanalen beslaat daarmee maximaal 2% van het beschikbare woonoppervlak per bouwlaag. Uiteraard is het mogelijk om de ventilatie per beuk te realiseren, waardoor het oppervlak van 2x4,4 m² (toe- en afvoerkanaal) wordt verdeeld over een aantal kleinere kanalen.

Optie 2: warmteterugwinning met 'twin-coil' warmtewisselaar en warmtepomp.

In deze optie worden toe- en afvoerkanalen fysiek van elkaar gescheiden en wordt de warmte via een vloeistofstroom uitgewisseld. De warmte-uitwisseling wordt verder ondersteund door een warmtepomp. Deze optie is daarmee innovatiever, maar ook complexer dan de eerste optie. Het systeem heeft zijn potenties, waarbij de economische rentabiliteit nader uitgewerkt moet worden. Het is daarmee geschikt om voor een Europese subsidieaanvraag ingediend te worden.

Een voordeel van dit systeem is de mogelijkheid om het oppervlak van de ventilatiekanalen te halveren. De ruimtebesparing wordt gevonden in het verjongen van het kanaal naarmate er minder lucht doorheen stroomt (omdat het kanaal aan het einde alleen de laatste woningen hoeft te bedienen). Indien de aanvoeropening bijvoorbeeld boven aan het gebouw wordt aangebracht, en de afvoeropening onderaan, kan het ene kanaal naar boven toe verjongen, en het andere in precies dezelfde mate naar beneden toe. Als beide kanalen tegen elkaar liggen, is de totale doorsnede over de gehele hoogte hetzelfde, namelijk 4,4 m². Het systeem is schematisch weergegeven in figuur 3.

¹ 40 bouwlagen * 12 wooneenheden/bouwlaag * 100 m³/uur per wooneenheid / 3600 s/uur / 3 m/s = 4,4 m²



Figuur 3 *Schets van het ventilatiesysteem met verjongende toe- en afvoerkanaalen, lucht-water warmtewisselaars en warmtepomp.*

Aangezien toe- en afvoeropening nu niet meer bij elkaar in de buurt liggen, kan de warme afgevoerde ventilatielucht zijn warmte niet meer rechtstreeks in een warmtewisselaar aan de koude verse lucht overdragen. Er wordt in dat geval gekozen voor een ‘twin-coil’ systeem. Bij een dergelijk systeem wordt de warmte uit de afvoerlucht in een lucht-vloeistof warmtewisselaar (zoals een autoradiator) overgedragen aan een vloeistof. De vloeistof wordt naar de luchtinlaatopening getransporteerd en draagt de warmte in een soortgelijke warmtewisselaar weer aan de koude lucht over. Door het lagere rendement van warmteterugwinning (ca. 45%) van een twin-coil systeem wordt echter niet alle beschikbare warmte uit de afgevoerde ventilatielucht gewonnen.

Om ook de resterende warmte nog te winnen, wordt de afvoerlucht door een tweede ‘radiator’ gevoerd. De hieraan onttrokken warmte wordt met een warmtepomp op een hoger temperatuurniveau gebracht en weer aan de verse lucht toegevoerd. In figuur 3 zijn indicatieve temperatuurniveaus weergegeven. De twincoil koelt de afvoerlucht af van 22 naar 12°C en warmt de toevoerlucht op van 0 naar 10°C. De warmtepomp koelt de afvoerlucht verder af tot 4°C en warmt de toevoerlucht verder op tot 20°C. Omdat de warmtepomp slechts een beperkt temperatuurverschil hoeft te overbruggen, is de prestatiefactor of COP (Coefficient Of Performance), zijnde de verhouding van afgegeven warmte en benodigde elektriciteit, naar verwachting vrij hoog (4 tot 5).

Het is om verschillende redenen gunstig om de aanzuigopening bovenin te kiezen:

- De lucht op grotere hoogte is minder verontreinigd dan de lucht op straatniveau.
- De lucht is bovenin koeler, hetgeen gunstig is voor het beheersen van het binnenklimaat in de zomer (zie paragraaf 2.5).
- Er zijn minder problemen met geluidsbelasting.

De prestatiefactor van het totale systeem ligt tussen die van het twincoil systeem (5 tot 7) en die van de warmtepomp (4 tot 5), een en ander afhankelijk van de uitvoeringvorm. Op basis van primaire energie (rekening houdend met het elektrisch rendement van het openbare net) is dat nog steeds 2 keer zo zuinig als stoken met een gasketel. Verder kan de warmtepomp in de zomer worden ingezet voor ruimteverwarming en warm-tapwaterbereiding. Op dat laatste wordt in paragraaf 2.6 nog teruggekomen.

Voor beide opties geldt dat aandacht besteed moet worden aan het op elkaar afstemmen van luchttoe- en afvoer en het goed functioneren en regelbaar maken van het geheel.

Andere mogelijkheden om de warmtevraag in de winter te verminderen zijn het beperken van de infiltratie door een goede detaillering van het werk en het voorkomen van overmatige ventilatie. Het ventilatiesysteem kan door een centrale veegpuls dagelijks worden teruggeschakeld naar de laagste van de drie ventilatiestanden (zie paragraaf 2.9).

Een optie is het omdraaien van de warmtepomp in de zomer om de ventilatielucht mee te koelen. Nadeel daarvan is dat er elektrische energie voor nodig is.

Tenslotte moet in beide opties aandacht worden geschonken aan het beperken van de benodigde hulpenergie (pompen, ventilatoren etc.)

2.4 Ruimteverwarming

Simulaties van de verschillende wooneenheden geven aan dat de warmtevraag ten gevolge van zoninstraling en interne warmtebronnen zeer beperkt is, mits de warmte uit de ventilatielucht grotendeels wordt teruggewonnen (zie paragraaf 2.3). Voor een dergelijk kleine restwarmtevraag is inzet van een (relatief dure) elektrische warmtepomp niet rendabel. De HR-ketel is daarom voor ruimteverwarming het meest geschikte opwektoestel. Er is dan nog de keuze tussen een enkele ketel voor het hele gebouw of voor decentraal geplaatste ketels per wooneenheid, gebouwlaag of cluster gebouwlagen. De energiekosten kunnen ook in die gevallen op individuele basis worden afgerekend.

De gasgestookte warmtepomp lijkt voor de toekomst een interessante optie. Echter, het apparaat is op dit moment nog onvoldoende ontwikkeld om in dit project te kunnen toepassen.

Voor de warmteafgifte is gekozen voor een LTS (Lage Temperatuur Systeem) zoals vloer- of wandverwarming. Deze systemen hebben de volgende voordelen.

- Door de lage temperatuur van het CV-water heeft de ketel een iets hoog rendement.
- Door de 'egale' temperatuurverdeling, die met LTS-systemen wordt bereikt, is het binnencomfort hoog.
- Er is geen ruimteverlies door radiatoren
- Er is minder onderhoud dan bij radiatoren (schoonmaken, geen thermostaatkranen die stuk kunnen gaan)
- Er kan geen ophoping van stof plaatsvinden, dat vervolgens door convectie door de kamer wordt verspreid. De belangenvereniging van carapatiënten beveelt dit soort verwarming dan ook aan.

Vloerverwarming verdient in dit geval de voorkeur t.o.v. wandverwarming om de volgende redenen:

- gewenste flexibiliteit in gebouwindeling,
- geen gevaar voor lekkage van wandverwarming door onoordeelkundig boren in muren.

Doordat de woningen in de verschillende bouwlagen ook akoestisch voldoende geïsoleerd moeten zijn, is een zwevende deklaag noodzakelijk, waarin de vloerverwarming makkelijk kan worden geïntegreerd. De meerkosten van een vloerverwarmingssysteem kunnen daardoor deels worden ondervangen.

2.5 Beheersing van het binnenklimaat in de zomer

De woontoren, met zijn hoge isolatiegraad en compacte bouwwijze, zal de intern geproduceerde warmte (personen, verlichting en andere elektrische apparaten) en zoninstraling in de zomer niet of nauwelijks door transmissie kwijt kunnen raken. Het is dus zaak de binnen vrijkomende warmte zoveel mogelijk te beperken. Stimulering van gebruik van energiezuinige apparaten (koelkast, tv, PC) en verlichting kan daaraan een grote bijdrage leveren.

Het weren van ongewenste zoninstraling kan worden gerealiseerd door toepassing van overstekken, zonweringen etc. (passieve koeling). Deze maatregelen hebben tevens invloed op de lichttoetreding in het vertrek. Hierop wordt in paragraaf 2.7 teruggekomen.

Het is de vraag of er voor het comfortabel houden van het binnenklimaat met passieve koeling kan worden volstaan of dat daarnaast ook actieve koeling nodig is, die, in tegenstelling tot passieve koeling, energie kost. Actief koelen kan bijvoorbeeld met een ventilator, die koele buitenlucht door het gebouw blaast of door het rondpompen van bodemkoude door een wand- of vloerverwarmingssysteem.

Voor een inschatting van de kans op oververhitting is een eenvoudig model van een enkele wooneenheid opgesteld. Verondersteld is dat de enige warmte-uitwisseling met de omgeving geschiedt door transmissie door de buitengevel (12 m², waarvan 5 m² glas) en ventilatie (100 m³/uur).² De zoninstraling (op de zuidgevel) is berekend uit het testreferentiejaar, voor de interne warmteproductie is 1500 kWh/8760h + 100W (1 persoon) genomen. Verder is verondersteld dat in de zomer de overtollige warmte in de wanden en vloer wordt opgeslagen (halve dikte van muur/vloer 0.1m).

Het blijkt dat de zoninstraling een belangrijke factor is. Indien gemiddeld 80% van de zonwarmte wordt tegengehouden door zonwering, overstekken en reflectie van het glas, wordt de woning desondanks gedurende 1500 uren per jaar warmer dan 25°C en ca. 50 uren hoger dan 28°C.

Hoewel de uitkomsten zijn gebaseerd op een relatief eenvoudig model (er is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met geopende ramen), geven deze wel aan dat oververhitting een potentieel gevaar is, waar op voorhand voldoende op moet worden geanticipeerd.

Wordt er gebruik gemaakt van zomernachtventilatie, dan voorspelt het model dat de temperatuur goed in de hand kan worden gehouden. Indien er 's nachts wordt geventileerd met een debiet van 500 m³/uur (ventilatievoud 4,2 uur⁻¹), reduceren we het aantal 'overschrijdingsuren' (binnentemperatuur hoger is dan 25°C) tot vrijwel nul. Uiteraard hangt een succesvolle toepassing van zomernachtventilatie af van de gevolgde regelstrategie.

Samenvattend kunnen we concluderen dat het binnenklimaat in de zomer goed in de hand is te houden, mits aan twee voorwaarden is voldaan. De zoninstraling moet aanzienlijk worden beperkt (orde grootte 80%), bijvoorbeeld door toepassing van zonwering en er moet voldoende geventileerd kunnen worden ('gespuid') op basis van een weloverwogen regelstrategie.

Liefst wordt er gekoeld op basis van natuurlijke ventilatie, dat wil zeggen dat er een natuurlijke trek op gang komt, die de warme binnenlucht afvoert en de koele buitenlucht aanvoert. Voor het

² De berekening wordt aangepast indien de maten of waarden hiervan gaan afwijken

optreden van een voldoende groot debiet aan natuurlijke ventilatie moet aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Het temperatuurverschil tussen binnen en buiten moet voldoende groot zijn, er moeten voldoende grote openingen in de gevel aanwezig zijn (5 à 10 cm over de breedte van de gevel) en er moet een voldoende groot hoogteverschil zijn tussen aanvoer- en afvoeropening ('thermische kolom')

Voldoende grote openingen in de gevel zijn bijvoorbeeld te realiseren door gebruik te maken van tuimelbare bovenlichten in de buitengevel en de scheidingswand met de galerij. Ook zullen er openingen in de binnen- en buitenwand van de vide moeten komen. Het hoogteverschil tussen aanvoer- en afvoeropening kan worden gerealiseerd door de openingen in de buitenwand van de vide zo hoog mogelijk te plaatsen. Omdat de bovenkant van de vide 'drie verdiepingen' hoog is, zal het hoogteverschil tussen aanvoer- en afvoeropening voor de bovenste van de drie bouwlagen onvoldoende zijn. De afvoeropening voor deze bouwlaag zal daarom in de erboven gelegen vide moeten worden gerealiseerd met een extra kanaal. Aandacht moet daarbij worden besteed aan de eisen ten aanzien van brandveiligheid.

Op de hogere verdiepingen is de winddruk voldoende groot om een effectieve zomernachtventilatie op natuurlijke basis te kunnen realiseren. De constructie van de ventilatieopeningen moet dan wel aan de verhoogde winddruk worden aangepast.

Een andere optie voor het energiezuinig koelen van de woningen is het gebruik van koude uit de bodem. In een systeem van opslag van warmte en koude in de bodem, bijvoorbeeld in een aquifer (waterhoudende laag), moeten de warmte- en koudevraag ongeveer even groot zijn. Naar verwachting is de koudevraag echter een aantal malen groter dan de warmtevraag. Om die reden is dit systeem voor de woontoren minder geschikt en het is dan ook niet verder onderzocht.

2.6 Warm tapwater

Zoals al opgemerkt heeft beperking van de warmtevraag de hoogste prioriteit. Voor warm-tapwaterbereiding is dat echter slechts beperkt mogelijk omdat het warm-tapwatergebruik grotendeels door de bewoners wordt bepaald.

Toe te passen maatregelen zijn debietbegrenzing voor alle tappunten en installatie van energiebesparende douchekoppen. Leidingverliezen worden beperkt door isolatie van de warm-tapwaterleiding en het minimaliseren van afstand tussen warmte-opwekker en tappunt. Stilstandverliezen worden beperkt door een goede isolatie van voorraadvaten, zoals boilers.

Een andere mogelijkheid om het energiegebruik voor warm tapwater te verminderen is het aanbrengen van een warmtewisselaar op het afgevoerde water, waarmee het koude water wordt voorverwarmd. In verband met verontreinigingen is het hiervoor wellicht nodig om douchewater en toiletwater te scheiden.

De zon als duurzame energiebron leent zich uitstekend voor een bijdrage aan het dekken van de warm-tapwatervraag. Door het plaatsen van 2 m² zonnecollector (bij ideale oriëntatie) per 100 m² gebruikersoppervlak, kan in 35 à 40% van de warm-tapwatervraag worden voorzien. Dit komt neer op een collectoroppervlak van ca. 300 m² voor de gehele woontoren³.

Uit overleg met de architect blijkt, dat plaatsing van zonnecollectoren boven op de toren niet in het architectonisch concept van een glazen (doorzichtig) dak past. Een andere mogelijkheid is verticale plaatsing van de collectoren tegen de zuidgevel. Aangezien deze oriëntatie minder dan ideaal is, moet voor een zelfde dekkingspercentage een 1,4 keer zo groot oppervlak aan

³ 430m² woonoppervlak per bouwlaag * 35 bouwlagen * 2m² collector per 100 m² woonoppervlak = 300 m²

collectoren worden geplaatst (ruim 400 m²). Het blinde deel van de zuidgevel (ca. 800 m²) leent zich daar uitstekend voor. Indien het volledige oppervlak met collectoren kan worden gebruikt, zal naar schatting 45% van de warm-tapwatervraag met zonnewarmte kunnen worden gedekt. Hoewel de investering van de zonnecollectoren zich in relatief korte tijd terugverdient (in de orde van 15 jaar), maken de zonnecollectoren geen onlosmakelijk deel uit van het energieconcept.

De resterende warm-tapwatervraag wordt met fossiele energie gedekt. Wettelijke voorschriften op het gebied van warm-tapwaterbereiding (onder meer om legionellabesmetting te voorkomen) vereisen bij het bereiden een minimale watertemperatuur van 60 à 65°C. Productie van warm tapwater van deze temperatuur met behulp van een warmtepomp is energetisch minder gunstig door het relatief hoge verschil tussen begin- en eindtemperatuur van het water. De COP van de warmtepomp is voor deze toepassing naar schatting niet hoger dan 2. Uitgaande van een rendement van het openbare elektriciteitsnet van 40%, wordt de primaire energie voor slechts 80% in warmte omgezet. Dit is slechts beperkt hoger dan het warm-tapwaterrendement van een HR-ketel. Gezien de aanzienlijk hogere investering van een warmtepomp is een HR-ketel daarom de betere keus.

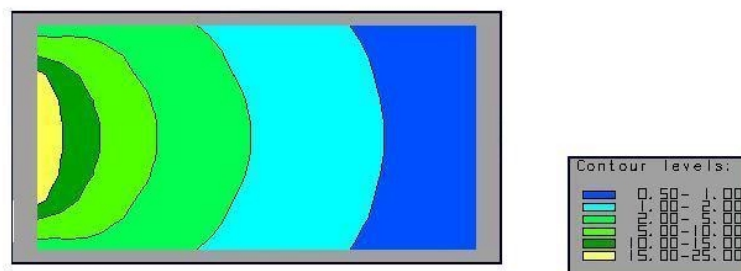
Indien in het ventilatiesysteem wordt gekozen voor een 'twincoil' warmtewisselaar in combinatie met een warmtepomp (paragraaf 2.3), kan de warmtepomp worden ingezet voor warm-tapwaterbereiding. Vanwege de relatief lage COP van de warmtepomp, kan dan worden overwogen om het water met de warmtepomp tot niet meer dan 35°C op te warmen (met een relatief hoge COP) en het water met een ketel na te verwarmen tot de gewenste eindtemperatuur.

Dit systeem is weliswaar innovatiever, maar vraagt een grotere inspanning op het gebied van ontwerp, dimensionering en uitvoering. Zo moet worden voorkomen dat het systeem, vooral in de tussenseizoenen, gaat concurreren met de zonecollectoren. Dat maakt het systeem bij uitstek geschikt om in een Europees subsidietraject verder uit te werken.

2.7 Verlichting

Daglicht en uitzicht zijn primaire levensbehoeften van de mens. Inzet van kunstlicht kost elektriciteit. Ook werkt de onvermijdelijke warmteproductie van kunstlicht oververhitting in de zomer in de hand. Redenen dus om de daglichttoetreding te optimaliseren.

In de uitgangssituatie is de daglichtfactor in een wooneenheid verkend voor een raam van 1,8 bij 2,4 m² op de zuidgevel, met een Licht Toetredings factor (LTA-waarde) van het glas van 0,7 en een kozijnfactor van 0,8, samen een effectieve lichttoetreding van 0,56. Er is in deze situatie geen overstek aanwezig. De resultaten van de berekeningen op basis van een gangbaar vertrek staan in figuur 4.



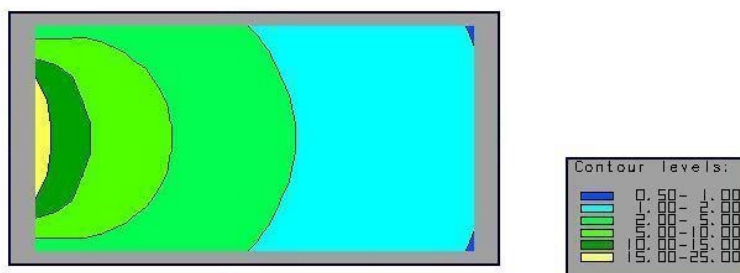
Figuur 4 *Contouren daglichtfactor referentievertrek: zuid georiënteerde wooneenheid met een glasoppervlak van 4,3 m², onderzijde raam 0,6 m boven de vloer.*

Houden we het criterium aan van een minimale daglichtfactor > 1, dan blijkt dat niet de gehele wooneenheid van voldoende daglicht wordt voorzien. In overleg met de architect is gezocht naar mogelijkheden voor een verhoogde daglichttoetreding, zonder dat deze nadelige gevolgen hebben voor de kans op oververhitting.

We moeten weer een onderscheid maken tussen de zomer- en de wintersituatie. In de winter is de zonnearmte een welkome aanvulling op de verwarming en hoeft dan ook niet of nauwelijks geweerd te worden. In de zomer daarentegen is het verstandig om de zoninstraling te beperken om oververhitting te voorkomen (zie paragraaf 2.5). Permanente overstekken zijn slechts beperkt mogelijk zonder het architectonisch concept van het gebouw te veel aan te tasten. Bovendien nemen zij veel daglicht weg. Zonwering aan de buitenzijde is relatief duur en minder geschikt in verband met onderhoud. In de gegeven situatie is een binnenzonwering de beste oplossing. Het (kozijn)ontwerp moet zodanig zijn, dat het aanbrengen van effectieve zonwering mogelijk is.

Bij de instraling van zonnearmte speelt vooral de Zon Toetredings factor (ZTA-waarde) een rol. Voor een raam kunnen de ZTA-waarde en de LTA-waarde binnen bepaalde grenzen onafhankelijk worden gevarieerd. Om de binnenkomende zonnearmte zoveel mogelijk te weren, maar zoveel mogelijk daglicht in de woning te krijgen wordt voorgesteld het raam in twee delen te splitsen: het bovenste deel voor een verhoogde daglichttoetreding dieper in het vertrek, en een lager deel, belangrijk voor het uitzicht.

Het bovenste deel heeft een lage ZTA voor vaste zonwering, maar een relatief hoge LTA (0,7). Het onderste deel van het glas heeft een normale ZTA en LTA (0,56). De verhoogde zonwering (lage ZTA) vindt hier selectief plaats: met de zonwering, namelijk enkel als de zon ongewenst is. Bij gesloten binnenzonwering, treedt er op dat moment voldoende daglicht het vertrek binnen, door de hoger gelegen raampartij, met zonwerend glas. In figuur 5 wordt de daglichtfactor in de kamer geschetst voor deze ramen.



Figuur 5 Contouren daglichtfactor referentievertek: zuid georiënteerde wooneenheid met een glasoppervlak van $4,3 \text{ m}^2$ (in twee delen), onderzijde raam $0,6 \text{ m}$ boven vloer.

Vergelijking tussen de contouren in figuren 3 en 4 toont een belangrijke verbetering van de daglichtfactor achter in het vertrek door toepassing van de principemaatregel. In het vervolgetraject kan deze maatregel met de architect verder worden geconcretiseerd.

De behoefte aan daglicht kan verder worden verminderd door het aanbrengen van bovenlichten boven de entree, waardoor daglicht vanuit de vide kan binnentreden.

2.8 Elektriciteit

Door de toenemende eisen op het gebied van comfort, neemt het huishoudelijke elektriciteitsgebruik nog steeds toe. Dit in tegenstelling tot het gasverbruik, dat door de steeds betere isolatie van woningen een dalende trend vertoont. Het huishoudelijke elektriciteitsgebruik kan worden verlaagd door het stimuleren van energiezuinige apparaten.

Het gebouwgebonden elektriciteitsgebruik wordt verminderd door het toepassen van energiezuinige verlichting in de verkeersruimten, en regelingen te introduceren, die het elektriciteitsgebruik verlagen waar dat mogelijk is (zie paragraaf 2.9). Energiezuinige liften (keurmerk) en energiezuinige motoren en regelingen in pompen en ventilatoren verlagen het elektriciteitsverbruik nog verder. Tenslotte verlaagt een goed ontwerp van het ventilatiestelsel de stromingsweerstand van de ventilatielucht en daarmee het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren.

Overigens heeft verlaging van het elektriciteitsgebruik het voordeel dat ook de interne warmteproductie lager is, waardoor de kans op oververhitting in de zomer wordt verkleind.

Een mogelijkheid, die het duurzame karakter van het gebouw nog eens onderstreept is het toepassen van PV-panelen, om daarmee voor een deel in de eigen elektriciteitsbehoefte te voorzien. De borstweringen op de zuidgevel hebben een oppervlak van ca. 500 m^2 . Indien deze van PV-panelen worden voorzien, kan jaarlijks ca. $500 \text{ m}^2 * 50 \text{ kWh/m}^2 = 25.000 \text{ kWh}$ worden opgewekt. Het streven is om hiermee het gebouwgebonden elektriciteitsgebruik volledig te dekken.

Bij toepassing van geoptimaliseerde daglichtopeningen, zonnecollectoren en PV-panelen op de zuidgevel, ontstaat een 'zonne-energie gevel', waarmee een aanzienlijk deel van de eigen energievraag wordt gedekt. De voorbeeldfunctie van een in het oog lopend gebouw op dit gebied is groot. Echter, toepassing van PV-panelen maakt, net als toepassing van de zonnecollectoren, geen onlosmakelijk deel uit van het basis-energieconcept. De toepassing van

PV in een PV-claddingsysteem, dat de PV-panelen in de zonne-energiegevel integreert, kan in een Europees subsidietraject verder worden ontwikkeld.

2.9 Centrale gebouwbeheersing

Door het centraal regelen van gebouwfuncties met een gebouwbeheerssysteem, kan de energiehuishouding worden verbeterd en het comfort voor de bewoners worden verhoogd. De afzonderlijke systemen voor verwarming, ventilatie, koeling etc. kunnen daardoor goed op elkaar worden afgestemd. Uit te voeren functies zijn:

- Bedienen van de openingen in de buitengevel van de vide om het binnenklimaat in de vide en de woningen (zomernachtventilatie) te beheersen
- Eenmaal daags (bijvoorbeeld om 11 uur 's avonds) de ventilatie in het gehele gebouw met behulp van een veegpuls terugregelen naar de laagste stand of (tijdelijk) uitschakelen, indien er zomernachtventilatie op natuurlijke basis wordt toegepast.
- Het regelen van de warmtepomp en de 'twincoil'-warmtewisselaars in het ventilatiesysteem. In de tussenseizoenen kan worden volstaan met een gedeeltelijke opwarming van de ventilatielucht en kan de warmtepomp worden uitgeschakeld. In de zomer moet ook het twincoil systeem worden afgeschakeld om oververhitting te voorkomen.
- Mogelijkheid tot monitoren van het eigen energiegebruik via een eventueel aan te leggen data-infrastructuur voor de bewoners.

3. HET ENERGIECONCEPT

Hiervoor zijn ingrediënten voor een in meer of mindere mate innovatieve aanpak van de energetische huishouding geanalyseerd en beschreven. Belangrijk in het energieconcept is dan dat de systemen integraal onderdeel van het gebouw zijn, elkaar waar mogelijk versterken en op een dusdanige wijze in het gebouw ingepast worden, dat een aansprekend totaal ontstaat.

Binnen de studie zijn twee concepten ontstaan:

1. Basis energieconcept
 2. Innovatief energieconcept met zonnegevel
- Daarnaast zijn enkele separate opties benoemd.

De beide concepten met collectieve installaties voor warm tapwater en ventilatie hebben een aantal standaardmaatregelen gemeen. Hieronder vallen hoogwaardige schilisolatie ($R_c > 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, $U_{\text{glas}} < 1,1 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), gebalanceerde ventilatie met te openen ramen (voor onder meer aanvullende ventilatie in de zomersituatie), vloerverwarming (LTS), beperking van ventilator- en pompenergie en verwarming met een HR107-gasgestookte voorziening.

Door de vergaande isolatie, zijn de belangrijkste gebouwgebonden energieposten de ventilatie en warm-tapwaterbereiding.

1. Het Basisconcept

Het Basisconcept reduceert de ventilatieverliezen met een min of meer gangbare lucht-op-lucht warmtewisselaar. Luchttoe- en afvoer bevinden zich boven op het gebouw. Warmte wordt daar teruggewonnen met een beproefd systeem met hoog rendement.

2. Het innovatieve concept

In het Innovatieve concept wordt warmte teruggewonnen met een twincoil systeem met warmtepomp. De lucht wordt afgevoerd aan de onderzijde van het gebouw. Warmte wordt aan de lucht onttrokken en via een 'twincoil'-systeem toegevoerd aan de luchttoevoer bovenin. Ten opzichte van de basisvariant betekent dit een halvering van de benodigde kanaaldoorsnede. Warmteterugwinning met een twin-coil systeem heeft op zich een lager rendement dan het beoogde systeem in de basisvariant. Om een nog groter aandeel van de warmte uit de ventilatielucht terug te winnen, wordt een warmtepomp toegevoegd, met een hoge efficiency (COP). Met de introductie hiervan, wordt het ook mogelijk om in de zomersituatie, warmte aan de ventilatielucht te onttrekken en in te zetten voor warm-tapwaterbereiding.

In het Innovatieve concept is tevens toepassing van een zonnegevel voorzien, die overigens ook als toevoeging op het Basisconcept kan worden toegepast. Deze zonnegevel bevat drie technieken: passief thermisch, actief thermisch en zonnestroom (PV).

Het passief thermisch aspect wordt gerealiseerd door optimalisatie van de raamopeningen middels het creëren van een functionele tweedeling (daglicht & uitzicht), in positie en zonweringopties.

Het actief thermisch element omvat het in de zuidgevel opgenomen zonnecollectorveld voor dekking van een aanzienlijk deel van de energievraag voor warm tapwater. Deze zonnecollectoren kunnen in de tussenseizoenen een bijdrage leveren aan de ruimteverwarming.

Zonnestroom wordt opgewekt middels gevelgeïntegreerde PV-panelen, die worden gesitueerd onder de borstweringen in de zuidgevel. waarbij een innovatief PV-gevelsysteem kan worden ontwikkeld in een Europees subsidietraject.

Overige opties

De in dit rapport genoemde technieken als warmteterugwinning op afvalwater, optimalisatie van kunstlicht etc. kunnen separaat op hun merites worden beoordeeld en als toevoeging op zowel het Basisconcept als het Innovatieve concept worden opgenomen.