

April 2001

ECN-C--01-043

ENERGIECONCEPT HOGESCHOOL HAARLEM

Een duurzaam voorbeeld doet goed volgen

F.G.H. Koene
F.A.T.M. Ligthart

Verantwoording

Deze rapportage is door ECN Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving gemaakt in opdracht van de Hogeschool Haarlem. Het onderzoek heeft gelopen van december 2000 tot april 2001 en is uitgevoerd onder nummer 8.44062.

INHOUD

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
2. ONDERDELEN VAN EEN ENERGIECONCEPT	9
2.1 Gebruik en verwarming van de vides	9
2.2 Isolatie van de gebouwschil	10
2.3 Ventilatie	11
2.4 Ruimteverwarming	12
2.5 Beheersing van het binnenklimaat in de zomer	13
2.6 Warm tapwater	14
2.7 Verlichting	15
2.8 Elektriciteit	16
2.9 Centrale gebouwbeheersing	16
2.10 Vervoer van en naar de Hogeschool Haarlem	17
3. DE ENERGIECONCEPTEN	19
4. CONCLUSIES	23
BIJLAGE A: WARMTE- EN KOUDEVRAAG VAN HET BODEMSYSTEEM	25
REFERENTIES	27

SAMENVATTING

Er zijn plannen om de verschillende studierichtingen van de Hogeschool Haarlem op één en dezelfde locatie, de zogenaamde unilocatie, onder te brengen. Daartoe worden de bestaande gebouwen aan de Veldzigtlaan ingrijpend gerenoveerd en aanzienlijk uitgebreid. Het voornemen is om het nieuwe complex een voorbeeldfunctie te geven op het gebied van duurzaam bouwen en duurzaam energiegebruik.

Voor de maatregelen in het energieconcept is een aantal randvoorwaarden geformuleerd. Deze zijn:

- een verlaging van de EPC met 20% van de wettelijk verplichte waarde (van 1,5 naar 1,2);
- een terugverdientijd van ten hoogste 10 jaar;
- een netto-investering, niet hoger dan f 1.500.000,--.

Voor het opstellen van het energieconcept heeft ECN in samenwerking met TEMID raadgevende ingenieurs en IF Technology een vooronderzoek gedaan. IF Technology heeft een aquifer als eventueel toe te passen bodemsysteem onderzocht, TEMID heeft de projectcoördinatie gedaan en heeft bedragen voor de investeringen en subsidies aangeleverd.

Teneinde het energieconcept op te stellen, is de besparing ten gevolge van diverse maatregelen ten opzichte een opgestelde referentiesituatie berekend met behulp van onder meer de berekeningswijze voor de EPC volgens NEN 2916. De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- Er wordt een tweetal energieconcepten voorgesteld. Beide concepten kenmerken zich door een hoge isolatie van de gebouwschil en hoog-rendement warmteterugwinning op de ventilatielucht. Belangrijkste verschil tussen beide concepten is dat in het eerste de glazen vides tussen de gebouwdelen niet worden verwarmd, in het tweede wel. Daarnaast wordt in het tweede concept een systeem van opslag van warmte en koude in de bodem middels een aquifer toegepast.
- Beide voorgestelde energieconcepten verlagen de EPC van het complex van de wettelijk verplichte waarde van 1,5 naar 1,0.
- De terugverdientijd van de maatregelen in het eerste concept ligt op ca. 10 jaar, die van het tweede concept op ruim 12 jaar.
- De netto-investering ligt in het eerste concept op ca. 1,3 miljoen gulden, die van het tweede concept op ca. 1,9 miljoen gulden.
- Indien de daglichtregeling in het tweede energieconcept vervalt, dan wordt de terugverdientijd van de resterende maatregelen verlaagd tot ca. 11 jaar, neemt de netto investering af tot ca. 1,5 miljoen gulden en stijgt de EPC naar 1,06.
- Indien wordt gekozen voor een warmte-terugwinunit met een rendement ca. 70% in plaats van 90%, neemt de netto investering eveneens af tot onder de 1,5 miljoen gulden. Echter, de terugverdientijd stijgt naar ca. 13 jaar en de EPC stijgt naar 1,13.
- Door toepassing van zomernachtventilatie, inzet van overtollige warmte uit de computerruimten voor gebouwverwarming en diverse andere in de volgende paragrafen genoemde maatregelen kan het energiegebruik nog verder worden teruggebracht. De investeringen zijn beperkt, maar de energiebesparing en het effect op de EPC zijn moeilijk aan te geven.
- Het comfort in de gebouwdelen zal naar verwachting lijden onder een open verbinding tussen de gebouwdelen en de tussenliggende (glazen) vides. Voorgesteld wordt dan ook om de verbindingdeuren te kunnen sluiten met door een veegpuls bekrachtigde magneetkleppen. De veegpuls kan door het gebouwbeheerssysteem worden afgegeven en worden aangepast aan beoogd gebruik en buitenomstandigheden (bijvoorbeeld geen puls en dus

open deuren bij mooi, windstil weer). Overigens zijn te sluiten deuren een voorwaarde voor het eerste energieconcept, waarin de vides niet worden verwarmd.

- De voorbeeldfunctie op het gebied van energiebesparing zal aanzienlijk worden versterkt door het visualiseren van de besparingen bijvoorbeeld bij de entree of in een ontvangstruimte. Gedacht kan worden aan aansprekende tekeningen voorzien van actuele cijfers van energiestromen (gas, elektriciteit voor verwarming, licht, ventilatie, PV etc). Ook kunnen de gegevens worden gebruikt in het lesmateriaal (projecten).

1. INLEIDING

Er zijn plannen om de verschillende studierichtingen van de Hogeschool Haarlem op een en dezelfde locatie, de zogenaamde unilocatie, onder te brengen. Daartoe worden de bestaande gebouwen aan de Veldzigtlaan ingrijpend gerenoveerd en aanzienlijk uitgebreid. Het nieuwe pand zal naar verwachting eind 2003 worden betrokken. De plattegrond van het complex is in figuur 1.1 geschetst.



Figuur 1 'Artist Impression' van de unilocatie van de Hogeschool Haarlem. De hoogbouw rechts en het lange gebouw met de sheddaken zijn bestaande bouw. De blokvormige gebouwdelen van de nieuwbouw zijn gescheiden door grotendeels glazen 'vides' (te zien aan reflecties in het water). Links onder het glazen dak is de kantine gesitueerd.

Het voornemen is om het nieuwe pand een voorbeeldfunctie te geven op het gebied van duurzaam bouwen en duurzaam energiegebruik. In deze voorstudie zal een economisch haalbaar integraal energieconcept worden opgezet, dat kan worden gerealiseerd binnen de geformuleerde randvoorwaarden.

2. ONDERDELEN VAN EEN ENERGIECONCEPT

Om de ambities op energetisch gebied vorm te geven wordt een integraal energieconcept ontwikkeld, rekening houdend met de verschillende functies van ruimten, zoals leslokalen, praktijkruimten, kantoren, kantine en computerruimten.

Aan de orde komen onder meer verwarming, ventilatie, verlichting en koeling. Deze elementen kunnen nauwelijks los van elkaar worden gezien. Zo zal een klein glasoppervlak de warmtevraag, maar tevens de hoeveelheid daglicht beperken. Veel glas (vooral op het zuiden en westen) kan tot oververhitting leiden.

De randvoorwaarden voor het energieconcept zijn driedelig:

- een verlaging van de EPC met 20% van de wettelijk verplichte waarde (van 1,5 naar 1,2)
- een terugverdientijd van ten hoogste 10 jaar
- een netto-investering, niet hoger dan f 1.500.000,--

Om de besparing ten gevolge van de diverse maatregelen te berekenen, is een referentiesituatie opgesteld. Met behulp van de berekeningswijze voor de EPC volgens NEN 2916 is de besparing ten gevolge van diverse maatregelen ten opzichte deze referentiesituatie berekend.

De belangrijkste eigenschappen van de referentiesituatie zijn:

- gebouwen volgens tekening 18-10-2000 van Architecten Aan de Maas
- R_c dichte gevel, vloer, dak $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$
- U-waarde van het glas $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- warmte terugwinning op de ventilatielucht met een thermisch rendement van 60%
- conventionele ketels in gebouwdelen D/E, C, F en HR107 ketels in overige gebouwdelen

De referentiesituatie is op basis van genoemde tekeningen door TEMID in het EPC-computerprogramma ingevoerd. De energievraag voor ruimteverwarming is 9340 GJ/jr en de EPC voldoet aan de wettelijke eis van 1,5.

In dit hoofdstuk worden de separate onderdelen, met bijbehorende afwegingen apart besproken. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de besparingen, benodigde meerinvestering, subsidies en de berekende terugverdientijd van de diverse maatregelen samengevat. Vervolgens wordt een tweetal integrale concepten voorgesteld, waarvan de verschillende elementen in elkaar grijpen en elkaar, waar mogelijk, versterken.

2.1 Gebruik en verwarming van de vides

Het architectonische ontwerp valt op door transparantie en goede daglichttoetreding. De daglichtzone is zeer groot door het grote geveloppervlak en de daglichttoetreding is gunstig door de goede verdeling van het glasoppervlak. De vides tussen de gebouwdelen vormen echter een knelpunt in de verwarming en het comfort van het gebouw. De toename van de warmtevraag door deze glazen gebouwdelen is onevenredig hoog. Bovendien is bij een vrije doorgang door de reeks gebouwdelen en vides een grote luchtverplaatsing te verwachten. Deze tocht wordt veroorzaakt door drukverschillen rondom het gebouw bijvoorbeeld door wind en openstaande ramen en deuren.

Oncontroleerbare luchtbewegingen ontstaan ook in grote aaneengesloten *verticale* ruimten. Opwarming van de ruimte door de zon of afkoeling bij het wegvallen van het zonlicht kunnen niet voldoende door een vloerverwarmingssysteem of door te openen ramen worden gevolgd.

De temperatuurverschillen die hier het gevolg van zijn, veroorzaken verticale stromingen van warme en koude lucht. Ook bij verwarmde vides is het dus aan te bevelen om voldoende tussendeuren toe te passen, om te grote luchtverplaatsingen te voorkomen.

Samenvattend zijn er twee problemen:

- het grotere warmteverlies (10% van de totale warmtevraag)
- de oncontroleerbaarheid van luchtbeweging (tocht), resulterend in een verminderd comfort

Het warmteverlies kan worden bestreden door de vides thermisch te scheiden van de gebruiksruimten en niet te verwarmen. Daartoe zouden de gebruiksruimten moeten worden afgescheiden van de vides door tussendeuren. Deze zullen ook de luchtbewegingen in de gebouwdelen tot een minimum beperken. In elk geval is het aan te bevelen aan het begin en aan het einde van de lange gang tochtdeuren te plaatsen om te voorkomen dat er tocht ontstaat in de gang.

De Hogeschool wenst daarentegen een vrije doorgang (open deuren) tussen de verschillende gebouwdelen. De verwachting is namelijk dat tussendeuren binnen de kortste keren in de open stand zullen worden geblokkeerd door studenten of medewerkers, die weinig op hebben met het handmatig openen van vijf paar deuren tussen oost- en de westvleugel. Toepassing van automatisch te openen deuren, zoals de schuifdeuren, die momenteel bij de hoofdingang van de bestaande bouw aanwezig zijn is een optie. Echter, de brandweer staat deze deuren niet toe, aangezien het handmatig openen van deze deuren bij stroomuitval een voldoende snelle vlucht uit de gebouwen in de weg staat.

Een andere mogelijkheid is het toepassen van deuren, die met magneetkleppen open gehouden kunnen worden. Bij brand worden de magneten niet langer bekrachtigd, zodat de deuren sluiten en op die manier de gewenste rookafsluiting vormen, terwijl ze toch een doorgang naar buiten toestaan. Het is mogelijk om deze deuren middels een veegpuls met regelmatige intervallen (bijvoorbeeld 5 minuten) te sluiten. Bij voldoende verkeer door de deuren (bijvoorbeeld in de pauzes tussen de colleges), zullen de deuren min of meer continu open blijven staan en zo de gebruikers nauwelijks hinderen. Pas als het verkeer is 'opgedroogd', zullen de deuren gesloten blijven en zo de gewenste energiebesparing en comfort realiseren.

Het aantal deuren, dat met een veegpuls wordt gesloten, alsmede de frequentie van het sluiten kan met het gebouwbeheerssysteem worden ingesteld en worden aangepast aan het beoogde gebruik van de loopgangen en de buitencondities (bij mooi en windstil weer geen veegpuls).

Een ander gevaar voor het comfort in de vides is het optreden van oververhitting in de zomer. In elk geval zullen er voldoende te openen ramen in de wanden en/of het dak moeten worden aangebracht om de warmte via natuurlijke convectie af te voeren. Idealiter worden de ramen met raamuitzetters bediend en gestuurd door het gebouw beheerssysteem (paragraaf 2.9).

2.2 Isolatie van de gebouwschil

Voor vergaande beperking van de warmtevraag wordt de thermische isolatie van de gebouwschil geoptimaliseerd. Er is een aantal redenen om hieraan veel aandacht te geven:

- bouwkundige maatregelen hebben in het algemeen een lange levensduur
- het is moeilijk om in een later stadium deze maatregelen alsnog in te voeren
- de vereiste investering is slechts éénmalig
- bouwkundige maatregelen verdienen zich in het algemeen redelijk snel terug (terugverdientijd in de orde van 10-15 jaar, afhankelijk van subsidies)

Voor isolatie van de dichte schil kunnen verschillende materialen worden gebruikt, rekening houdend met een milieuvoorkeur. Daarbij moet worden voorkomen dat de effectieve isolatie verslechtert door het optreden van koudebruggen in de constructie, zoals door toepassing van

stalen spouwankers. Indien de dikte van de isolatielaag bouwtechnische problemen oplevert, kan (duurder) isolatiemateriaal met een lagere warmtegeleiding worden gekozen. Het verhogen van de isolatiewaarde van $R_c=3 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ naar $R_c=4 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ zal de warmtevraag met ongeveer 10% doen afnemen.

Hogere isolatiewaarden zijn economisch minder interessant omdat, naast de hogere isolatiemateriaalkosten, het voor de isolatie benodigde bouwvolume een steeds grotere kostenpost wordt, terwijl de meerbesparing door het gebruik van hogere isolatiewaarden steeds geringer wordt.

Voor het glas wordt een U-waarde van $1,2 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ aanbevolen. De reden om voor deze waarde te kiezen is dat het op dit moment de best isolerende glassoort is, die met geringe meerkosten (ten opzichte van HR-glas) wordt geproduceerd (grootteorde $f \approx 20, \text{--}/\text{m}^2$). Doordat kozijnen meestal minder goed isoleren dan glas, komt de U-waarde van het hele raam hoger uit: $1,3\text{--}1,5 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$. Hierdoor wordt een deel van het effect van het hoogwaardige isolatieglas teniet gedaan. Vooral bij aluminium kozijnen moet aan dit effect extra aandacht worden besteed omdat het aluminium een goede warmtegeleider is. Hoewel de bouw nog nauwelijks is ingesteld op het vervaardigen en verwerken van hoog-isolerende kozijnen, zijn er meerdere fabrikanten te vinden, die deze producten aanbieden.

De aansluiting van het kozijn op de dichte gevel moet goed worden gedetailleerd om warmte- en luchtlekken te voorkomen. Door gebruik van een dubbele naad- en kierdichting (K100 norm) kan behalve energiebesparing ook een hoge geluidsisolatie worden bereikt.

Door de isolatiewaarde van het raam bestaande uit kozijn plus glas omlaag te brengen van $1,7$ naar $1,4 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ kan nog eens 5-10% op de verwarmingsenergie worden bespaard. Mede door subsidies is dit een zeer interessante maatregel (hoofdstuk 3).

2.3 Ventilatie

Ventilatie is nodig om de luchtkwaliteit in het gebouw te waarborgen. We moeten daarbij 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 kan er aanvullend worden geventileerd om de temperatuur in de gebouwen niet te hoog te laten oplopen.

In de wintersituatie vormt de warmte, die met de ventilatielucht naar buiten wordt afgevoerd, een grote post in de warmtehuishouding van het gebouw. De berekening van de EPC volgens NEN 2916 [1] geeft aan dat deze ‘ventilatieverliezen’ ca. 65% van de totale warmtevraag uitmaken (overeenkomend met 6000 GJ/jr ($\sim 200.000 \text{ m}^3$ aardgas equivalent per jaar)). Het is duidelijk dat warmteterugwinning op de ventilatielucht een aanzienlijke besparing oplevert.

Voor warmteterugwinning staat een aantal opties open, zoals een twin coil (ook wel tweelementen systeem genoemd), een platenwarmtewisselaar, een kantherm unit of een warmtewiel. De laatste twee hebben de voordelen dat er behalve warmte ook vocht wordt teruggewonnen en dat ze vrijwel niet kunnen bevriezen op vorstdagen. Het rendement van warmterugwinning is bij de twin coil het laagst (45%), maar dit systeem is het meest flexibel voor wat betreft bouwkundige inpassing. Echter, indien er voldoende plaats aanwezig is, zoals bij nieuwbouw, wordt dit systeem niet aangeraden. Toepassen van een hoogrendement warmteterugwin unit (rendement 90%) in plaats van een twin coil systeem levert een aanzienlijke besparing op. De warmtevraag vermindert daardoor met ca. 2900 GJ (90.000 m^3 aardgas equivalent).

Een verdere besparing kan worden gerealiseerd door het voorkomen van overmatige ventilatie. Gezien het beschikbare budget komt ventilatie op basis van aanwezigheid niet in aanmerking.

Wel kan het ventilatiesysteem door een centrale veegpuls elke avond worden teruggeschakeld naar een minimaal niveau of eventueel uitgeschakeld (zie ook paragraaf 2.9).

Een andere mogelijkheid om de warmtevraag in de winter te verminderen is het beperken van de infiltratie door een goede detaillering van het werk en te letten op de bouwkwaliteit.

Inzet van luchtzonnecollector ligt niet voor de hand omdat deze maatregel concurreert met warmte terugwinning en deze het architectonisch uiterlijk van het gebouw nogal beïnvloedt.

2.4 Ruimteverwarming

Warmteopweksysteem

Voor het warmte-opweksysteem kan worden gekozen uit een elektrisch aangedreven warmtepomp en een gasgestookte ketel. De gasgestookte warmtepomp lijkt voor de toekomst een interessante optie, maar het apparaat is momenteel nog onvoldoende ontwikkeld om in dit project te kunnen toepassen.

Een warmtepomp heeft het voordeel dat het rendement op primaire energie aanzienlijk hoger is dan voor een gasgestookte ketel. De prestatie van een warmtepomp wordt vaak uitgedrukt in de COP (Coefficient Of Performance) zijnde het aantal delen warmte, dat met één deel elektriciteit kan worden 'opgewekt'. Bij een COP van 4,0 en een elektrisch rendement in de elektriciteitscentrale van 40% wordt het rendement op primaire energie $4 \cdot 40\% = 160\%$.

Aangezien de investering voor een warmtepomp relatief hoog is, kan het best worden gekozen voor een systeem, waarbij een warmtepomp de basiswarmtevraag dekt en een HR-ketel de piekvraag dekt en de warm-tapwatervoorziening voor zijn rekening neemt.

Bij toepassing van een warmtepomp moet er een warmtebron aanwezig zijn, waaruit de warmtepomp de warmte kan putten. Een interessante optie is het gebruik van de bodem als warmtebron, zeker in combinatie met een systeem van bodemkoeling in de zomer (zie paragraaf 2.6). Voor de bodemopslag bestaan drie verschillende opties: te weten: bodemwarmte-wisselaars, energiepalen en een aquifer.

Bij gebruik van bodemwarmte-wisselaars wordt een aantal lussen in de bodem aangebracht. Dat kunnen horizontale lussen of verticale lussen zijn. Bij energiepalen zijn deze lussen in een heipaal geïntegreerd zodat er niet apart voor gegraven of geboord hoeft te worden. Bij een aquifer wordt gebruik gemaakt van waterhoudende lagen in de bodem. Afhankelijk van de uitvoeringvorm wordt de 'warme bron' (waarin warmte wordt opgeslagen) horizontaal of verticaal gescheiden van de 'koude bron' (waarin koude wordt opgeslagen).

Energiepalen moeten minimaal 5m uit elkaar worden geplaatst om te voorkomen dat warmteonttrekking door een paal de naburige palen teveel beïnvloedt. Gaan we uit van een gebouwstempel van 8000 m², en een oppervlak per paal van $\pi/4 \cdot 5^2$ m², dan kunnen we ca. 400 palen als 'energiepaal' gebruiken. Bij een gemiddelde paallengte van 15m en een gemiddelde warmteonttrekking van 40 W/m (fijne slibhoudende laag, zie IF rapport), dan kan ca 240 kW aan de bodem worden onttrokken. Bij een gemiddelde COP van de warmtepomp van 4,0 kan een thermisch vermogen van ca. 960 kW worden gerealiseerd. Bij 2200 vollasturen kan daarmee bij benadering 7600 GJ/jr worden geleverd, ca. 80% van de jaarlijkse warmtevraag in de referentiesituatie. Dit toont aan dat het systeem voldoende capaciteit heeft om de basis warmtevraag te dekken.

De kosten van een energiepalen systeem worden grotendeels bepaald door de meerkosten om de warmte-wisselaar in de betonnen paal mee in te gieten (ca. f 300,-/paal) en de kosten om de palen hydraulisch aan elkaar te koppelen (f 600,- tot f 800,-/paal). Voor het gehele bodemsysteem komen we dan op $400 \cdot (f 300,- + f 700,-) = f 400.000,-$.

Een 'state of the art' systeem voor een verticale bodem warmtewisselaar kost f 70--/f 75,-- per strekkende meter. Dat is inclusief het op een verdeler koppelen van de verschillende lussen [2]. Voor eenzelfde capaciteit als het systeem van energiepalen zijn de kosten dus $6000\text{m} \times f 75,-/\text{m} = f 450.000,-$. Dat is vergelijkbaar met die van het energiepalen systeem.

Toepassing van een aquifer voor opslag van warmte en koude in de bodem is door IF onderzocht [3]. De benodigde investering ligt op ongeveer f 700.000,--.

Toen ECN bij het onderzoek betrokken raakte, was de keuze voor het type bodemsysteem al min of meer genomen in het voordeel van het aquifer-systeem. Berekeningen tonen aan dat de koudevraag en de basiswarmtevraag van gebouwdelen D/E en K/L hiermee goed kunnen worden ingevuld. Details van de warmte- en koudevraag van het bodemsysteem zijn te vinden in Bijlage A.

De bestaande ketels, met een gezamenlijk vermogen van 2000 kW blijven in gebruik. Eén daarvan zal in bedrijf blijven, en een andere zal als reserveketel gehandhaafd blijven. Voor de gehele nieuwbouw schieten ze te kort. Aanvullende ketels kunnen centraal of decentraal worden geplaatst. Zoals vermeld, is in de referentie uitgegaan van HR107 ketels.

Warmteafgiftesysteem

Voor het warmte-afgiftesysteem is het streven de inzet van een LTS (Lage Temperatuur Systeem) zoals vloerverwarming, wandverwarming of ruim bemeten radiatoren. Deze systemen hebben de volgende voordelen.

- Door de lagere temperatuur van het CV-water (30-50°C) is het rendement van de ketel respectievelijk de warmtepomp (uitgedrukt in de COP) hoger dan bij standaard temperaturen (70-90°C).
- 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 stofnesten plaatsvinden, die vervolgens door convectie door de kamer worden verspreidt. De belangenvereniging van carapatiënten beveelt dit soort verwarming dan ook aan.

Vloerverwarming verdient in dit geval de voorkeur t.o.v. wandverwarming vanwege het gevaar voor lekkage van wandverwarming door onoordeelkundig boren in muren

Vanwege de hoge vloerbelastingen in de praktijkruimten (draai- en freesmachines) wordt hier verwarming middels radiatoren gerealiseerd.

2.5 Beheersing van het binnenklimaat in de zomer

Gebouwen met een hoge isolatiegraad raken de intern geproduceerde warmte (personen, verlichting, computers en overige apparaten) en zoninstraling in de zomer moeilijker kwijt. Het comfortabel houden van het binnenklimaat vraagt een combinatie van passieve en actieve koeling. Onder passieve koeling verstaan we toepassing van overstekken, geavanceerde zonweringen, anticiperende regelingen voor verwarming, natuurlijke ventilatie (openen van ramen en deuren) etc. Bij actieve koeling wordt gekoeld (en eventueel ontvochtigd) met inzet van een koude producerende koelunit.

Beperking van de zoninstraling is een belangrijke eerste stap. Indien gemiddeld 80% van de zonwarmte wordt tegengehouden door zonwering, overstekken en reflectie van het glas, wordt de koudevraag met ongeveer een factor 2 verlaagd.

Een deel van de koudevraag kan vervolgens worden ingevuld met behulp van zomernachtventilatie. 's Nachts wordt het gebouw dan gespuid met relatief koude buitenlucht en wordt daarmee gekoeld. Het warmteaccumulerend vermogen van de gebouwmassa wordt gebruikt om de temperatuurstijging overdag te beperken. Daardoor is zomernachtventilatie vooral zinvol bij zware betonnen gebouwen, zoals die van de Hogeschool Haarlem.

De meest energiezuinige methode is zomernachtventilatie op natuurlijke basis. Door het openen van openingen aan de onder- en bovenzijde van het gebouw komt als gevolg het temperatuurverschil tussen binnen en buiten een natuurlijke trek op gang. Omdat dit automatisch te openen ramen of roosters in de gevel vereist, wordt deze natuurlijke ventilatie mede gelet op inbraakgevaar, niet overwogen.

De besparing door zomernachtventilatie met een mechanisch systeem heeft een COP (Coefficient Of Performance) van ca. 12. Dat betekent dat de ventilatoren één deel elektriciteit vragen voor het verplaatsen van een hoeveelheid lucht, die 12 delen warmte kan afvoeren. Gaan we uit van een gemiddeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 10°C, een debiet van 305.000 m³/uur, dan kan ten opzichte van een conventionele koelmachine met een COP van 3 een besparing worden bereikt van f 30.000,-/jaar¹. Hier staat een verwaarloosbare investering tegenover.

Bij aanwezigheid van een bodemopslagsysteem kan de koudevraag ook op energiezuinige wijze worden ingevuld. Koudelevering met behulp van een bodemsysteem heeft een COP (het aantal delen koude dat met één eenheid elektriciteit kan worden geproduceerd) van 10-15 [4].

Uit de geconditioneerde computerruimten komt warmte vrij. Ten eerste kan worden gezien of het temperatuurniveau niet kan worden verhoogd van de standaard aangehouden waarde van 22°C naar een hogere waarde. Ten tweede is het wellicht mogelijk een deel van de koelvraag met vrije koeling (buitenlucht) in te vullen. Tenslotte kan de vrijkomende warmte in het stookseizoen worden gebruikt voor het verwarmen van de omringende ruimten, bijvoorbeeld met luchtverwarming. Het rendement op de kleine extra investering is hoog.

Aangezien er een overmaat aan koelenergie in het systeem aanwezig is bij de keuze van een (te) groot gedimensioneerd aquifer-systeem is het verleidelijk om de ruimten in het gebouw goed te koelen en weinig temperatuurverhoging overdag toe te staan. Omdat hierdoor overdag weinig of geen warmte in de gebouwmassa wordt opgeslagen zal in de vroege morgen meer verwarmingsenergie nodig zijn om het gebouw op temperatuur te brengen. Het gevaar is aanwezig dat op deze manier onnodig veel verwarmingsenergie wordt verbruikt. Het is dan ook aan te bevelen om de temperatuurgrenzen in de ruimten ruim te kiezen, bijvoorbeeld van 20 tot 23 graden.

2.6 Warm tapwater

Naar verwachting is de kantine de grootste warm-tapwaterafnemer. De mogelijkheden om de hoeveelheid warm tapwater te minimaliseren zijn beperkt en sterk afhankelijk van de soort apparatuur die wordt aangeschaft. Zo kan een afwasmachine met warmteterugwinning een aanzienlijke reductie van de warm-tapwatervraag realiseren. Ook kunnen leidingverliezen worden beperkt door het minimaliseren van afstand tussen warmte-opwekker en tappunt.

¹ $10K * 1.3 \text{ kJ/m}^3K * 305.000 \text{ m}^3/\text{uur} * 12 \text{ uren/nacht} * 60 \text{ nachten/jr} * 1/3.6 \cdot 10^3 \text{ kWh/kJ} * (1/3-1/12) \text{ kWh}_{\text{elektrisch}}/\text{kWh}_{\text{thermisch}} * 0,15 \text{ NLG/kWh} = f 30.000,-/\text{jaar}$

De zon als duurzame energiebron leent zich uitstekend voor een bijdrage aan het dekken van de warm-tapwatervraag. Plaatsing van een zonnecollector op het dak kan worden overwogen. Het optimale oppervlak hiervan zal moeten worden bepaald aan de hand van de gegeven randvoorwaarden. Een oppervlak van 20 m² wordt zeker haalbaar geacht. Volgens de EPC-berekening kan hiermee een kleine 30% op de warm-tapwaterenergie worden bespaard.

De resterende warm-tapwatervraag wordt met fossiele energie gedekt. Wettelijke voorschriften op het gebied van warm-tapwaterbereiding (onder meer om legionellabesmetting te voorkomen) vereisen een minimale watertemperatuur van 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 niet veel 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.

2.7 Verlichting

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

In het huidige concept is een aantal bouwkundige maatregelen getroffen, gericht op een goede daglichttoetreding. Zo is de nieuwbouw ingedeeld in een aantal gebouwdelen, onderling verbonden door grotendeels glazen trappenhuizen (vides). De gevels langs de omtrek van het complex zijn voorzien van een relatief groot glaspercentage (30%). Tenslotte heeft een aantal ruimten, zoals de kantine, een deels glazen dak (zie figuur 1). Hoewel dat de koellast van het gebouw verhoogt, is de verwachting dat er aan de daglichttoetreding niet veel te verbeteren is.

Voor wat betreft de warmtebelasting door de zon moeten we een onderscheid maken tussen de zomer- en de wintersituatie. In de winter is de zonnewarmte een welkome aanvulling op de verwarming en hoeft dan ook niet of nauwelijks geweerd te worden. In de zomer daarentegen is het verstandig te hoge zoninstraling te beperken om oververhitting te voorkomen, zoals in paragraaf 2.5 opgemerkt. Er zijn daarom permanente overstekken voorzien aan de ramen aan de zuidzijde. De overstekken moeten worden geoptimaliseerd ten opzichte van de stand van de zon in de zomer en de daglichttoetreding. De uitsteeklengte moet voldoende zijn en de luifels moeten het indirecte licht doorlaten.

Bij de instraling van zonnewarmte speelt verder de ZTA-waarde (Zon Toetredings-factor) van het glas een rol, terwijl voor de lichttoetreding vooral de LTA-waarde (Licht Toetredingsfactor) van belang is. Glas met een lage ZTA waarde wordt gebruikt voor zonwering. Een lage ZTA gaat meestal gepaard met een lagere LTA waarde zodat bij toepassing van dit glas de behoefte aan verlichtingsenergie toeneemt. Een lage ZTA betekent ook een lagere warmteopbrengst in de winter. Aangezien de verwarmings- en de verlichtingsenergie in dit ontwerp zwaarder wegen dan de koelenergie is het aan te raden om helder glas te kiezen (hoge ZTA en LTA).

Om de zon te weren zijn luifels en buitenzonwering (zoals reeds vastgelegd in de vorm van screens) geschikt, mits aan de voorwaarde van voldoende lichttoetreding wordt voldaan. In het geval van buitenzonwering is het van belang in het bovendeel van het raam (lichtzone) het zonlicht minder te weren dan in het onderste deel (zichtzone). Hierdoor wordt de inzet van kunstlicht beperkt. Ook is het aan te raden om op oost- en westgevels de zonwering automatisch te bedienen zodat in de zomer de vroege en de late zon afdoende worden geweerd voor en na de bedrijfstijden.

De resterende kunstlichtvraag kan op efficiënte wijze met bijvoorbeeld HF-verlichting en intelligente regelingen worden ingevuld. Zo kan de verlichting worden gesplitst in een daglichtzone (binnen ca. 3m van de ramen, ongeveer 40% van het totale gebruikersoppervlak) en een kunstlichtzone. In de daglichtzone wordt aanbevolen om daglichtafhankelijke dimmers te plaatsen. Indien de verlichting in deze zone 40% van de brandtijd uitstaat, is de jaarlijkse besparing ca. f 21.400,-.² Afhankelijk van de subsidie kan daglichtregeling een interessante optie zijn.

2.8 Elektriciteit

Het gebouwgebonden elektriciteitsgebruik wordt verminderd door het toepassen van energiezuinige verlichting (paragraaf 2.7), en door regelingen te introduceren, die het elektriciteitsgebruik verlagen waar dat mogelijk is (paragraaf 2.9). Energiezuinige liften (keurmerk) en energiezuinige (gelijkstroom) 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, en daarmee de kans op oververhitting in de zomer.

Toepassing van photo-voltaïsche cellen (PV) geeft het gebouw een duurzame uitstraling en heeft voor een gebouw als de Hogeschool een belangrijke voorbeeldfunctie. Hoewel de terugverdientijd van een investering in PV lang is, vraagt een relatief gering oppervlak (67 m²) aan PV in de dakrand van de vides een relatief geringe investering, die mogelijk binnen het beschikbare budget te realiseren is (hoofdstuk 3). Deze PV-panelen liggen goed in het zicht (duurzame uitstraling), zonder dat dit ten koste gaat van het transparante uiterlijk van de trappenhuisen.

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 met het gebouwbeheerssysteem goed op elkaar worden afgestemd. Uit te voeren functies zijn:

- Automatisch bedienen van zonwering (door de gebruiker handmatig te overbruggen).
- Bedienen van de openingen in de glazen trappenhuisen om het binnenklimaat in de zomer te beheersen.
- Gedurende de nacht de ventilatie in het gehele gebouw uitzetten of terugregelen naar de laagste stand met behulp van een veegpuls.
- Het aansturen van de warmtewisselaars in het ventilatiesysteem. In de tussenseizoenen kan worden volstaan met een gedeeltelijke opwarming van de ventilatielucht. In de zomer moet de warmte terugwin unit worden afgeschakeld om oververhitting te voorkomen.
- Mogelijkheid tot het verwerken van de aansturing en of de uitkomsten van het gebouwbeheerssysteem in het lesmateriaal van de Hogeschool (projecten).
- Mogelijkheid tot monitoren van het eigen energiegebruik. De voorbeeldfunctie zal aanzienlijk worden versterkt door het visualiseren van de besparingen bijvoorbeeld bij de entree of in een ontvangstruimte. Gedacht kan worden aan aansprekende tekeningen voorzien van actuele cijfers van energiestromen (gas, elektriciteit voor verwarming, licht, ventilatie, PV etc).

² 260 dagen/jr* 40%*10 uur/dag*40%*24000 m² * 9W/m² * 10⁻³ kWh/Wh * f 0,24/kWh = f 21.400,-.

2.10 Vervoer van en naar de Hogeschool Haarlem

Het vervoer van personen van en naar het gebouwencomplex vraagt veel energie. Deze energievraag is in orde van grootte vergelijkbaar met de energievraag van het gebouw zelf. Als het vervoer van en naar het gebouw voor een groot deel per fiets plaatsvindt is dat een aanzienlijk energiebesparing ten opzichte van vervoer per auto.

Hoewel de mogelijkheden beperkt zijn om veel invloed uit te oefenen op het type vervoer waar gebruik van wordt gemaakt, kunnen wel voorzieningen worden aangebracht, die het vervoer met de fiets aantrekkelijker maken, zoals het realiseren van een veilige en beschutte parkeerplaats voor de fiets, faciliteiten om te douchen en om natte fietskleding te drogen. De fietsenkelder in de bestaande bouw biedt in dit kader een uitstekende mogelijkheden. Voor het overige valt het energiegebruik voor vervoer buiten het bestek van dit rapport.

3. DE ENERGIECONCEPTEN

Er wordt een tweetal energieconcepten voorgesteld. In het eerste concept wordt uitgegaan van niet verwarmde vides. Zoals in paragraaf 2.2 al besproken, is de verwachting dat het comfort in de gebouwdelen C tot en met N ernstig zal lijden door een open verbinding tussen de vides en de gebouwdelen. Met gesloten deuren kan de thermische schil tussen vides en gebouwdelen worden gelegd en is een aanzienlijk energiebesparing mogelijk doordat de vides niet (of beperkt) worden verwarmd.

In het tweede concept worden de vides wel tot de gebruikersruimten gerekend en dus ook verwarmd. Koeling is op dit moment niet voorzien in de vides. Ondanks de hogere warmtevraag ten gevolge van de verwarmde vides is de energievraag in termen van primaire energie vrijwel gelijk aan die in het eerste concept. Dit wordt gerealiseerd door toepassing van een systeem van opslag van warmte en koude in de bodem middels een aquifer, kortweg bodemsysteem genoemd.

De resultaten van beide concepten worden in tabellen 3.1 en 3.2 weergegeven. In de eerste kolom worden de afzonderlijke maatregelen genoemd. Ze zijn gerangschikt naar de duur van de (enkelvoudige) terugverdiëntijd (kolom 7, zie beneden).

In de tweede en derde kolom staat de berekende besparing in m³ aardgas equivalent (a.e.) en elektriciteit (in kWh). Deze besparingen zijn, waar mogelijk, uit de EPC berekening overgenomen. In een aantal gevallen is hiervan afgeweken. Zo is voor de besparing ten gevolge van de daglichtregeling een eigen berekening gehanteerd omdat de indruk bestond dat de door de EPC gebruikte berekening de besparing te laag inschatte (paragraaf 2.8). Voor het systeem van bodemopslag schiet de EPC berekening tekort aangezien hiermee alleen de besparing in primaire energie kan worden berekend. Voor de berekening van de kosten moet rekening worden gehouden met een bespaarde hoeveelheid aardgas, maar met een verhoogd elektriciteitsgebruik door de warmtepomp (in tabel 3.2 aangegeven door een negatieve waarde voor de besparing). Details van de berekende besparing voor het bodemsysteem zijn in bijlage A te vinden.

De totale besparing ten gevolge van de diverse maatregelen is vervolgens berekend aan de hand van een gasprijs van f 0,65/m³ en een elektriciteitsprijs van f 0,24/kWh (kolom 4) Dit zijn huidige prijzen (inclusief BTW) voor beide energiedragers.

De bruto investering en de subsidie zijn in kolom 5 en 6 weergegeven. De bedragen, aangeleverd door TEMID, zijn inclusief BTW.

Aan de hand van deze waarden zijn de enkelvoudige en cumulatieve terugverdiëntijd berekend (kolom 7 en 8). De eerste is berekend als (bruto investering – subsidie)/jaarlijkse besparing. Voor de cumulatieve terugverdiëntijd wordt dezelfde formule gehanteerd, toegepast op de bedragen inclusief die van alle voorgaande maatregelen.

In principe mogen de besparingen door de individuele maatregelen niet bij elkaar worden opgeteld omdat een aantal maatregelen concurrerend kan zijn. Dat is bij de voorgestelde maatregelen niet of nauwelijks het geval. Dat blijkt ook uit de EPC-berekening: de besparing van het totale pakket komt goed overeen met de som van de besparingen van de individuele maatregelen (laatste regel).

Tabel 3.1 Besparingen en kosten van de maatregelen in pakket 1 (zonder verwarmde vides). De bereikte EPC-waarde is 1,02.

maatregel	besparing gas [m ³ a.e./jr]	besparing elekt [kWh/jr]	besparing totaal [fl/jr]	bruto investering [fl]	subsidie [fl]	terugv.tijd enkelv. [jr]	cumul [jr]
zonder verw. vides	29.500		19.300	6.000		0,3	0,3
U _{glas} 1,4 (vides: 1,7)	14.100		9.200	100.900	100.300	0,1	0,2
η wtw 90%	90.000		58.900	536.500	77.800	7,8	5,3
20 m ² zonnecollector	4.300		2.800	29.800	4.300	9,1	5,4
R _c 4,0 i.p.v. 3,0	25.100		16.400	464.000	174.300	18	7,3
daglichtregeling		89.900	21.400	494.000	71.600	20	9,4
67 m ² PV		5.400	1.300	95.700	13.800	63	9,9
totaal	163.000	95.300	129.400	1.726.900	442.100		9,9

Tabel 3.2 Besparingen en kosten van de maatregelen in pakket 2 (met verwarmde vides en met bodemsysteem). De bereikte EPC-waarde is 1,01.

maatregel	besparing gas [m ³ a.e./jr]	besparing elekt [kWh/jr]	besparing totaal [fl/jr]	bruto investering [fl]	subsidie [fl]	terugv.tijd enkelv. [jr]	cumul [jr]
U _{glas} 1,4 (overall)	20.300		13.300	152.600	151.700	0,1	0,1
η wtw 90%	90.000		58.900	536.500	77.800	7,8	6,4
20 m ² zonnecollector	4.300		2.800	29.800	4.300	9,1	6,5
bodemopslag ²	108.100	-138.900	37.700	712.700	103.300	16	9,7
R _c 4,0 ipv 3,0	25.100		16.400	464.000	174.300	18	10,7
daglichtregeling		89.900	21.400	494.000	71.600	20	12,0
67 m ² PV ¹		5.400	1.300	95.700	13.800	63	12,4
totaal	247.800	-43.600	151.800	2.485.300	596.800		12,4

¹ Gerekend is met een opbrengst van 80 kWh/m².jr

² Uitgangspunten en details van de berekening zijn te vinden in bijlage A

Zoals te zien in de tabellen 3.1 en 3.2, heeft een aantal maatregelen (beter isolerend glas, warmte terugwinunit ventilatielucht) een dusdanig korte terugverdiëntijd, dat de besparingen, die hiermee gerealiseerd worden, ‘meebetalen’ aan de maatregelen met een langere terugverdiëntijd. Uiteindelijk wordt zo tot een pakket maatregelen gekomen, waarvan de terugverdiëntijd ca. 10 jaar is.

De op deze wijze berekende terugverdiëntijd geeft overigens slechts een indicatie van de economische haalbaarheid van de maatregel(en). Zo is er geen rekening gehouden met rentederving door de investering, noch met inflatie, prijsontwikkeling van de energiedragers en onderhoudskosten. Ook kan het energiegebruik hoger uitvallen dan voorzien en daarmee de mogelijke besparingen. De terugverdiëntijd moet daarom meer worden gezien als een indicatie dan als een exact getal.

Voor pakket 1 ligt de terugverdientijd net onder de 10 jaar en de netto investering op f 1.726.900,-- – f 442.100,-- = f 1.284.800,--. Toepassing van PV-panelen heeft puur economisch gezien (nog) een te lange terugverdientijd, maar de benodigde investering is beperkt en het gebouw krijgt er een duurzame uitstraling door. Weliswaar moeten de PV-panelen in dit geval gezien worden als ‘window dressing’, maar zij hebben ook zeker een voorbeeldfunctie voor de school.

Voor pakket 2 ligt de terugverdientijd boven de beoogde waarde van 10 jaar, maar wordt in het licht van de opmerking over de indicatieve waarde van de terugverdientijd toch als acceptabel gezien. Echter, de netto investering ligt met f 2.485.300,-- - f 596.800,-- = f 1.888.500,-- boven de streefwaarde van f 1.500.000,--. Kijken we naar de individuele maatregelen, dan ligt de enkelvoudige terugverdientijd van de onderste 4 maatregelen in tabel 3.2 ruim boven de 10 jaar. Weglaten van een of meerdere van deze maatregelen zou dus zowel de terugverdientijd als de netto investering omlaag brengen.

Wat het bodemsysteem betreft, dit vormt een essentieel onderdeel van het energieconcept. Het draagt er immers in grote mate toe bij, dat het totale pakket maatregelen in termen van primaire energie vrijwel hetzelfde scoort als het eerste pakket, ondanks de hogere warmtevraag door de verwarmde vides.

Voor het verhogen van de isolatiewaarde (R_c -waarde) van de schil gelden vooral de argumenten, zoals in paragraaf 2.3 naar voren gebracht (lange levensduur bouwkundige maatregelen, moeilijk in een later stadium alsnog in te voeren etc.). Bovendien kan een hogere isolatiewaarde bij stijgende energieprijzen of de mogelijkheid van additionele subsidies zoals de EINP (Energie Investering Non- Profit) interessant worden.

Voor de PV-panelen geldt dezelfde redenering als bij pakket 1: de benodigde investering is relatief gering en de duurzame uitstraling van het gebouw neemt aanzienlijk toe.

De daglichtregeling is het minst goed te verdedigen binnen de gegeven randvoorwaarden. Echter, een dergelijke maatregel past ons inziens in een duurzame-energiegebouw. Ook hiervoor geldt dat hogere elektriciteitsprijzen in de toekomst of aanvullende subsidie-mogelijkheden de maatregel interessanter maken. De aanbeveling is dan ook om deze maatregel te handhaven en alle subsidiemogelijkheden ervan uitputtend te onderzoeken.

Mocht er desondanks voor worden gekozen deze maatregel te laten vervallen, dan wordt de terugverdientijd van het resterende pakket teruggebracht tot 11,2 jaar en neemt de netto investering af tot f 1.466.100,--. Echter, de EPC stijgt naar 1,06. Dit concept is in tabel 3.3 aangegeven met variant 2a.

Als alternatief kan worden gekozen voor een goedkopere warmte-terugwinunit met een lager rendement (ca. 70%). De terugverdientijd stijgt hiermee naar ca. 13 jaar. Dat laatste is te begrijpen want de warmte-terugwinunit van 90% had een enkelvoudige terugverdientijd van minder dan 10 jaar en ‘betaalde’ dus mee aan de duurdere maatregelen. Nu die ‘meebetaling’ (grotendeels) wegvalt is het resterende pakket economisch minder interessant (langere terugverdientijd). De netto investering neemt echter af tot f 1.455.300,- en voldoet daarmee aan de randvoorwaarde van de maximale investeringshoogte. Echter, de EPC stijgt naar 1,13. Deze variant is als concept 2b in tabel 3.3 weergegeven.

Tabel 3.3 De diverse pakketten samengevat.

energieconcept	Besparing gas [m ³ a.e./jr]	besparing elektr [kWh/jr]	besparing totaal [fl/jr]	netto investering [fl]	terugv.tijd cumul [jr]	EPC
1 onverwarmde vides	163.000	95.300	129.400	1.284.800	9,9	1,02
2 bodemsysteem	247.800	-43.600	151.800	1.888.500	12,4	1,01
2a bodemsysteem zonder daglichtregeling	247.800	-133.500	130.400	1.466.100	11,2	1,06
2b bodemsysteem met 70% wtw	186.200	-43.600	111.500	1.455.300	13,1	1,13

Tot slot wordt nog gewezen op de in de voorgaande paragrafen besproken maatregelen, zoals zomernachtventilatie, inzet van overtollige warmte uit de computerruimten voor gebouwverwarming, minimalisatie van leidinglengtes in de warm-tapwatervoorziening, inzet van gebouwbeheerssysteem voor onder meer beperking ventilatie etc. Zij zijn niet in tabellen 3.1 tot en met 3.3 terechtgekomen omdat de benodigde extra investering vaak gering is. Bovendien is de verlaging van de EPC met de methodiek niet aan te geven. Ze kunnen echter een wezenlijke bijdrage leveren aan het terugdringen van het energiegebruik.

4. CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- Er wordt een tweetal energieconcepten voorgesteld. Beide concepten kenmerken zich door een hoge isolatie van de gebouwschil en hoog-rendement warmteterugwinning op de ventilatielucht. Belangrijkste verschil tussen beide concepten is dat in het eerste de glazen vides tussen de gebouwdelen niet worden verwarmd, in het tweede wel. Daarnaast wordt in het tweede concept een systeem van opslag van warmte en koude in de bodem middels een aquifer toegepast.
- Beide voorgestelde energieconcepten (varianten 1 en 2 in tabel 3.3) verlagen de EPC van het complex van de wettelijk verplichte waarde van 1,5 naar 1,0.
- De terugverdientijd van de maatregelen in het eerste concept ligt op ca. 10 jaar, die van het tweede concept op ruim 12 jaar. Hoewel dit strikt genomen buiten de randvoorwaarde ligt, wordt opgemerkt dat de berekende terugverdientijd slechts een indicatie is. Er is in de berekening immers geen rekening gehouden met rentederving door de investering, inflatie, prijsontwikkeling van de energiedragers en onderhoudskosten. Ook kan het energiegebruik in de praktijk hoger uitvallen dan voorzien, waardoor de besparingen hoger worden en de terugverdientijd van de maatregelen korter.
- De netto-investering ligt in het eerste concept op ca. 1,3 miljoen gulden, die van het tweede concept op ca. 1,9 miljoen gulden.
- Indien de daglichtregeling in het tweede energieconcept vervalt (variant 2a in tabel 3.3), dan wordt de terugverdientijd van de resterende maatregelen verlaagd tot ca. 11 jaar, neemt de netto investering af tot ca. 1,5 miljoen gulden en stijgt de EPC naar 1,06.
- Indien wordt gekozen voor een warmte-terugwinunit met een rendement ca. 70% in plaats van 90% (variant 2b in tabel 3.3), neemt de netto investering eveneens af tot onder de 1,5 miljoen gulden. Echter, de terugverdientijd stijgt naar ca. 13 jaar en de EPC stijgt naar 1,13.
- Door toepassing van zomernachtventilatie, inzet van overtollige warmte uit de computerruimten voor gebouwverwarming en diverse andere in de volgende paragrafen genoemde maatregelen kan het energiegebruik nog verder worden teruggebracht. De investeringen zijn beperkt, maar het effect op de EPC is moeilijk aan te geven.
- Het comfort in de gebouwdelen zal naar verwachting lijden onder een open verbinding tussen de gebouwdelen en de tussenliggende (glazen) vides. Voorgesteld wordt dan ook om de verbindingdeuren te kunnen sluiten met door een veegpuls bekrachtigde magneetkleppen. De veegpuls kan door het gebouwbeheerssysteem worden afgegeven en worden aangepast aan beoogd gebruik en buitenomstandigheden (bijvoorbeeld geen puls en dus open deuren bij mooi, windstil weer). Overigens zijn te sluiten deuren een voorwaarde voor het eerste energieconcept, waarin de vides niet worden verwarmd.
- De voorbeeldfunctie op het gebied van energiebesparing zal aanzienlijk worden versterkt door het visualiseren van de besparingen bijvoorbeeld bij de entree of in een ontvangstruimte. Gedacht kan worden aan aansprekende tekeningen voorzien van actuele cijfers van energiestromen (gas, elektriciteit voor verwarming, licht, ventilatie, PV etc). Ook kunnen de gegevens worden gebruikt in het lesmateriaal (projecten).

BIJLAGE A: WARMTE- EN KOUDEVRAAG VAN HET BODEMSYSTEEM

Tabel A1: *Uitgangspunten energievraag ingevuld met bodemsysteem [3]*

Verwarming				
	P [kW]	t [uur]	E [kWh]	%E
Basislast	240	3170	760800	79%
Pieklast	686	300	205800	21%
Totaal			966600	100%

Koeling			
	P [kW]	t [uur]	E [kWh]
Basislast	791	500	395500

Tabel A2: *Invulling warmte- en koelvraag met HR-ketel en koelmachine (referentie)*

	E [kWh]	GJ/kWh	GJ/m ³	opwek rend.	distrib. rend.	COP	netto vraag [m ³ / kWh]
Verwarming	966600	0.0036	0.032	90%	88%		137301 ^a
Koeling	395500					3	131833 ^b

Tabel A3: *Invulling warmte- en koelvraag met bodemsysteem*

	E [kWh]	GJ/kWh	GJ/m ³	opwek rend.	distrib. rend.	COP	netto vraag [m ³ / kWh]
piekverw. ketel	Met 205800	0.0036	0.032	90%	88%		29233 ^c
basisverw. wpomp	Met 760800					3.2	237750 ^d
Koeling	395500					12	32958 ^e

BESPARING GAS DOOR BODEMSYSTEEM: A-C

Extra elektriciteit bodemsysteem: d+e-b

REFERENTIES

- [1] Energieprestatie van Utiliteitsgebouwen, NNI, NEN 2916, 1999
- [2] opgave Techneco, J. vd Knecht, januari 2001
- [3] Koude-/warmteopslag Unilocatie Hogeschool Haarlem, concept 19 december 2000, IF Technology, A.L. Snijders, R.G.A. Wennekes
- [4] Voorlopige gegevens KODI kantoorgebouw Heerhugowaard, monitoring door ECN