

Aan de Vierambachtsweg te Woubrugge staat een 'nul-energiehuis'. Nul-energie houdt in dat er per jaar evenveel energie opgewekt wordt als er gebruikt wordt. Deze woning is daartoe uitgerust met een pv-systeem dat elektriciteit opwekt uit zonlicht, en een zonthermische installatie die voor een deel voorziet in de ruimten en de tapwaterverwarming. Bovendien is gebruik gemaakt van vergaande energiebesparingstechnieken.

De woning heeft een dakgeïntegreerd pv-systeem van 3,6 kWp dat via inverters is aangesloten op het elektriciteitsnet. Voor de dakintegratie is gebruik gemaakt van frameloze pv-panelen in een aluminium draagconstructie. De woning is opgeleverd in 1993.

Na enkele technische aanpassingen werd in het voorjaar van 1995 voor het eerst de nul-energie doelstelling gehaald. De jaaropbrengst van het pv-systeem was toen 2675 kWh.

Het woonhuis in Woubrugge is de Nederlandse demonstratiewoning in het kader van een internationaal samenwerkingsprogramma (Photovoltaïcs in Buildings). Het doel van het project is ervaring opdoen met volledige dakintegratie van pv-systemen. Het project is gerealiseerd met financiële bijdragen van Novem, het energiebedrijf EWR en de provincie Zuid-Holland.

Novem
Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv



Leerprogramma pv in de gebouwde omgeving

Het project in Woubrugge maakt deel uit van het Leerprogramma pv in de gebouwde omgeving, een onderdeel van het Nationaal onderzoeksprogramma zonne-energie – fotovoltaïsche conversie (NOZ-pv). Het NOZ-pv heeft als doel de ontwikkeling van zonnecellen en zonnecel-systemen te bevorderen om zo de weg te effenen voor een zelfstandige en concurrerende plaats van pv in de energievoorziening van de 21ste eeuw. Daartoe wordt ondermeer aan de hand van praktijkexperimenten relevante marktervaring opgebouwd met doelmatige toepassing van zonnecellen in de gebouwde omgeving. Het NOZ-pv wordt in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken beheerd door de Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv, Novem.



Nul-energiewoning

De nul-energiewoning in Woubrugge is gebouwd in opdracht van de heer A. Kroon. In 1991 is met de bouw begonnen, en sinds 1993 is het huis bewoond – door de familie Kroon. Het huis heeft een karakteristieke vorm gekregen dat voor een groot gedeelte een gevolg is van compacte bouw. De verhouding tussen het volume en het oppervlak is zo klein mogelijk gehouden, om zo het warmteverlies naar de omgeving te beperken.

In het huis zijn de volgende energiesystemen aangebracht: een dakgeïntegreerd pv-systeem, een zonthermisch systeem, een gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning, een hoogrendementsketel en een tegelkachel voor houtstook.

Nul-energiewoning

De ontwikkeling en toepassing van technieken voor energieopwekking en energiebesparing vinden vaak gescheiden plaats, terwijl combinaties van technieken tot een beter produkt en een lager netto energieverbruik kunnen leiden. In de woning in Woubrugge is dat wel gebeurd, namelijk in de vorm van een nul-energieconcept. Zo'n concept houdt in dat de energiebesparing en energieopwekking op elkaar zijn afgestemd met als doel de totale energievraag in balans te brengen met de zelf opgewekte energie. De energieopwekking gebeurt met zonnecollectoren (warmte) en pv-modules (elektriciteit). De meeste energie wordt opgewekt in de zomer; het energieoverschot wordt in de winter benut.

Demonstratieproject

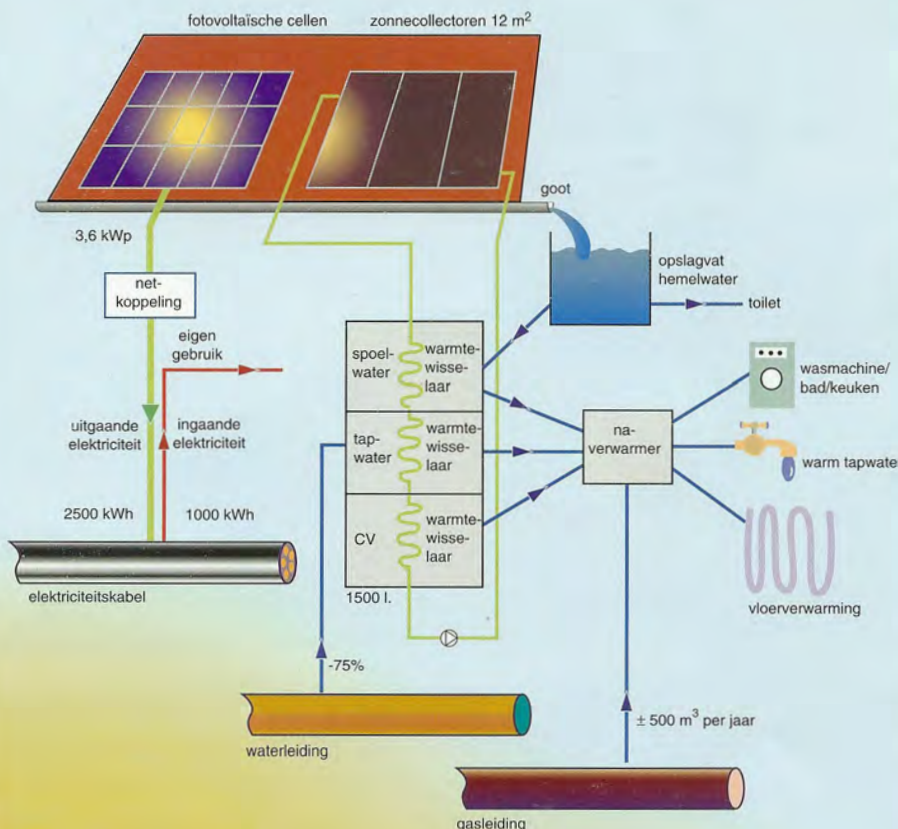
Deze energiezuinige woning is een demonstratieproject van Novem in het kader van taak 16 (Photovoltaic in Buildings) van het programma Solar Heating and Cooling van IEA (International Energy Agency). Het doel van het pv-project is tweeledig: ervaring opdoen met integratie van netgekoppelde pv-modules in het dak en het verzamelen van gegevens voor de verdere ontwikkeling van die integratietechniek. Daarbij wordt ook aandacht besteed aan de bouwfysische aspecten daarvan, zoals vochtvorming en warmtehuishouding.

Energiebesparingsmaatregelen

De warmte-isolatie van het huis heeft rondom een dikte van 200 mm schuimglas. De isolatiewaarde R hiervan is $6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. De raampervlakken zijn beperkt gehouden en bestaan uit low-energy glas. De huishoudelijke apparatuur en verlichting zijn zo energiezuinig mogelijk. Een aantal apparaten is met steekerschakelaars uit te zetten. Het stand-byverbruik van die apparaten zou anders goed zijn voor zo'n 12% van hun totale verbruik (1000 kWh per jaar).

Zonthermisch systeem

Het zonthermische systeem bestaat uit collectoren met een oppervlak van 12 m^2 en een opslagvat voor het opgewarmde water met een capaciteit van 1600 liter. De collectoren zijn in het dak geïntegreerd. De bijdrage in de warmwatervraag is 62%. De zombijdrage aan de totale warmtevraag bedraagt 24%.





Het zonnedak

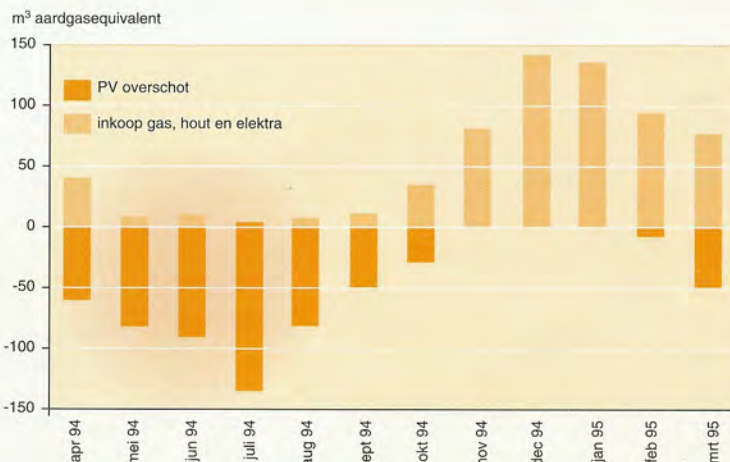
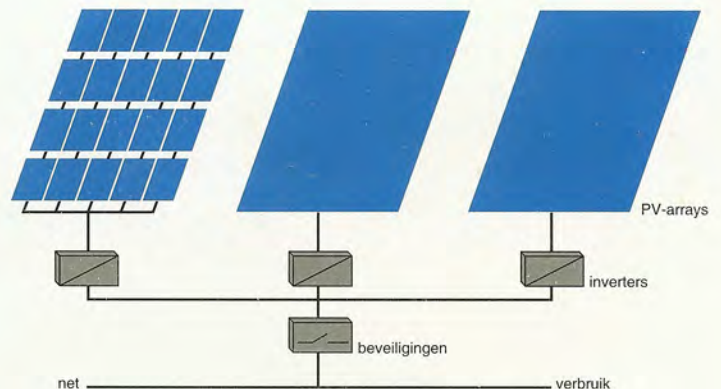
Het karakteristieke dak aan de zuidkant bestaat uit vier dakdelen met verschillende oriëntaties en hellingshoeken. Drie delen worden benut door het pv-systeem en een deel door de collectoren van het zonthermische systeem. De techniek die toegepast is voor de integratie van de pv-modules is afkomstig uit de tuinbouw. Op een onderdak zijn aluminium BOAL-profielen aangebracht die als draagconstructie voor frameloze pv-laminaten dienen. Deze integratietechniek is eerder toegepast in een proefproject in Heerhugowaard. De waterdichte schil van het dak in Woubrugge wordt voornamelijk gevormd door de pv-laminaten en de aluminium draagconstructie. Het zinken onderdak, in Heerhugowaard toegepast als extra voorziening, is hier weggelaten. Om de temperatuur van de pv-modules en de condensvorming te beperken is een luchtsponw onder de pv-laminaten aangebracht.

Pv-generator

De pv-generator bestaat uit 76 modules van elk gemiddeld 47 Wp. Het gemeten totale geïnstalleerde vermogen bedraagt 3,6 kWp. Het pv-systeem is opgesplitst in 3 subarray's die op hun beurt weer zijn samengesteld uit 5 tot 9 strings met een lengte van 4 modules (serieschakeling). De stringconfiguratie per subarray van de pv-generator is in de periode tot 1995 twee keer veranderd. Bij de eerste twee configuraties zijn de strings per subarray verdeeld over meerdere dakhellingen. Er zijn geen merkbare veranderingen in het systeemrendement geconstateerd als gevolg van de veranderingen in de stringconfiguraties per subarray.

Rechts: schematische weergave van het pv-systeem.

Onder: het nul-energieconcept in de praktijk – het energieoverschot dat in de zomer wordt opgebouwd, wordt in de winter benut.



Inverters

De drie subarrays zijn elk aangesloten op een inverter van 1,2 kW nominaal. Deze drie inverters zijn parallel geschakeld en aangesloten op het openbare net.

Opbrengst pv-systeem

Het pv-systeem had in 1994 een jaaropbrengst van 2675 kWh. De opbrengstfactor (geleverde kWh/kWp gedeeld door de instraling in kWh/m²) was daarmee 0,69.

Leerervaringen

De nulenergie-balans is haalbaar. Verbetering van het energiesysteem en extra energiebesparingsmaatregelen hebben ertoe geleid dat in het voorjaar van 1995 de energieopwekking en het verbruik over de daaraan voorafgaande periode van een jaar gelijk waren.

Het netgekoppelde pv-systeem in Woubrugge functioneert redelijk goed. De prestaties van het systeem komen overeen met de prestaties van vergelijkbare netgekoppelde pv-systemen, zoals in het project 'Heerhugowaard'. De dakintegratie van het pv-systeem is geslaagd en de gekozen methodiek biedt perspectieven voor kostprijsreductie.

De ventilatie van de dakconstructie is voldoende gebleken voor de warmte- en de vocht-huishouding. Het energieverlies als gevolg van de warmtehuishouding bij een dakgeïntegreerd systeem is maximaal 3% ten opzichte van een vrijstaand systeem. Er is geen schadelijke condensvorming in de spouw van het dak geconstateerd.

De installatie van het pv-dak bleek nogal arbeidsintensief. Deze ervaring heeft er toe geleid dat de aluminiumprofielen inmiddels verbeterd zijn. De toegepaste inverters vertoonden weliswaar een hoog omzettingsrendement, maar bleken te weinig betrouwbaar. Inmiddels is een verbeterde type inverter op de markt gekomen.

Zero-energy house in Woubrugge, the Netherlands

Summary

In the Netherlands town of Woubrugge there is now a so-called zero-energy house.

A grid-connected photovoltaic system supplies more electricity than the household itself consumes. A thermal solar energy unit provides a proportion of the space and water heating. On average, the surplus electricity produced is equal in primary energy terms to the gas consumed for heating.

Energy consumption in the house (volume: 400 m³, floor area: 160 m²) is unusually low at just over 1000 kWh of electricity and approx. 500 m³ of gas. This low consumption is due in part to a 20 cm thick layer of insulation surrounding the house and use of low-energy glass.

The 76 pv modules each produce 47 Wp and have a total combined yield of 3.6 kWp. The annual yield recorded for 1994 was 2675 kWh.

The zero-energy house is a demonstration project being run as part of an international programme for photovoltaics in buildings, centring on the integration of pv panels in roofs. The Woubrugge project includes a system of frameless pv panels, held in moulded aluminium supports, to form a watertight shell.

| | | |
|---|---|---------------------------------------|
| project kenmerken woning | Woubrugge | Nul-energiewoning Kroon |
| | vloeroppervlak | 160 m ² |
| | inhoud | 400 m ³ netto |
| | oplevering | 1993 |
| lokatie oriëntatie | Woubrugge | 52°10' NB / 4°40' OL; 0 m N.A.P. |
| | dak 1 | oriëntatie 180°, hellingshoek 45° |
| | dak 2 | oriëntatie 180°, hellingshoek 25° |
| | dak 3 | oriëntatie 200°, hellingshoek 25° |
| pv-modules | type | IRM 45 (R&S Renewable Energy Systems) |
| | materiaal | polykristallijn silicium |
| | aantal | 76 |
| | kortsluitstroom | 3,1 A |
| | open klemspanning | 21,0 V |
| | spanning bij MPP | 16,0 V |
| pv-generator | geïnstalleerd vermogen | 3,6 kWp |
| | spanning bij MPP | 64,0 V |
| | totaal celoppervlak | 27,36 m ² |
| | totaal array-oppervlak | 34,76 m ² |
| dakconstructie inverters | geïntegreerd | aluminium BOAL-profielen |
| | type | Ecoverter 1000 W (Victron) |
| | aantal | 3 |
| | nominaal vermogen | 1,2 kW |
| vermogensverhouding elektriciteitsverbruik woning | P _{inverter} / P _{pv} | 1,05 |
| horizontale instraling opbrengst pv-systeem | 1994 | 1056 kWh / jaar |
| opbrengstfactor | referentie | 980 kWh / m ² / jaar |
| | 1994 | 2675 kWh / jaar |
| | 1994 | 0,69 |

Projectdeelnemers

Initiatief/opdrachtgever

Energie-adviesburo Kroon, Woubrugge

Uitvoering bouw

Energie-adviesburo Kroon, Woubrugge

Architect

C.M. Ravesloot

pv-systeem

R&S Renewable Energy Systems bv, Helmond

Advies en onderzoek

Ecofys, Utrecht

Aanvullend onderzoek

TNO Bouw, Delft

BDA, Buro Dakadvies, Gorinchem