

**ANRE-DEMONSTRATIEPROJECT:
ZONNEDAKSYSTEEM BIJ ZAADVERWERKINGSBEDRIJF
DASO, BRUGGE**

Eindrapport

J. Van Bael, J. Stroobants en T. Daems

VITO

Juni 1999

SAMENVATTING

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse overheid een subsidie toegekend van 35% voor de investeringskosten van een zonnedaksysteem aan het bedrijf Daso gevestigd te Brugge. Daso is een dochteronderneming van Dumon Agro. Dit familiaal bedrijf is gespecialiseerd in zaadproductie en zaadverkoop. Daarnaast treedt dit bedrijf ook op als landschapsaannemer en havenoverslagbedrijf. Jaarlijks verkoopt Dumon Agro meer dan 1.500 ton graszaad, hoofdzakelijk aan het buitenland.

Gedurende de zomermaanden wordt door het bedrijf Daso graszaad gedroogd met buitenlucht die verwarmd wordt via propaanbranders. Om het energieverbruik van dit proces te verminderen werd besloten om de lucht voor te verwarmen door middel van zonne-energie. De lucht wordt buiten aangezogen aan één langzijde van het dak en stroomt in een spouw gevormd door zwarte cementgolfplaten die de zonnewarmte absorberen en een isolatielaag. De totale nuttige oppervlakte van het zonnedak bedraagt 4.477,58 m². Indien de luchttemperatuur te laag is, kunnen propaanbranders ingeschakeld worden. Vito voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Gedurende de maand augustus 1998 werden testmetingen uitgevoerd en in 2000 (11 juli 2000 t.e.m. 6 oktober 2000) werden uitvoerige metingen gedurende het volledige droogseizoen gedaan. Hierbij werden de energiestromen bij Daso op 5 minuutbasis gemeten en geregistreerd. Op basis van deze metingen worden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing en de vermindering van de CO₂-emissie bepaald.

In het droogseizoen van 2000 (11 juli 2000 t.e.m. 6 oktober 2000) werd gedurende 1.739 uren (82% van de beschikbare tijd) zaden gedroogd en bedroeg de totale warmtevraag 663,2 GJ. 323,3 GJ of 48,8% werd geleverd door het zonnedak, 339,9 GJ of 51,2% werd geleverd via de propaanbranders. In augustus 2000 was de warmtevraag het hoogst (61,2% van de totale warmtevraag in 2000 of gemiddeld 13,1 GJ/dag). De piekvraag naar warmte bedroeg 382,9 kW en het hoogste thermische vermogen geleverd door het zonnedak bedroeg 306,9 kW. Gedurende 311 h leverde het zonnedak een thermisch vermogen dat hoger was dan 100 kW. Meer dan 200 kW werd geleverd gedurende 101 h.

Overdag (8:00h – 22:00h) realiseerde het zonnedak een gewogen gemiddelde temperatuursverhoging van 6,5°C met een maximum van 19,3°C. De temperatuursverhoging die 's nachts gerealiseerd wordt door het zonnedak (thermische inertie van de dakconstructie en de muren) bedroeg gemiddeld 1,2°C, het maximum bedroeg 4,2°C. Het zonnedak heeft gedurende meer dan de helft van de werkingsuren een temperatuursverhoging van 2,6°C gerealiseerd. Gedurende 240 uren werd een temperatuursverhoging van meer dan 10°C bekomen via het dak.

De zon leverde over deze meetperiode in 2000 5.209,0 GJ. Het globale rendement van het zonnedak in 2000 bedroeg dus 6,2%. Er zitten weldegelijk verschillen in de maandrendementen. In augustus 2000 werd het hoogste maandrendement (10,3%) opgetekend, in oktober werd het laagste maandrendement (0,9%) genoteerd. Wanneer gekeken wordt naar de meetwaarden op dagbasis dan bedroeg het hoogst genoteerde rendement 17,3%.

Het primair energieverbruik van de installatie (propaanbranders) bedroeg 339,9 GJ/jaar over de meetperiode in 2000. In de referentiesituatie (geen zonnedak, warmtevraag wordt volledig gedekt door de propaanbranders) zou het primair energieverbruik gelijk zijn aan

663,2 GJ/jaar. Dit betekent dat over de meetperiode in 2000 de primaire energiebesparing 323,3 GJ/jaar of 48,8% bedraagt.

De CO₂-emissie van de installatie bedroeg 21,4 ton/jaar in 2000. Indien er geen zonnedak geïnstalleerd zou zijn, dan bedroeg de CO₂-emissie over de meetperiode 41,8 ton/jaar. Dit betekent dat de reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode gelijk is aan 20,4 ton/jaar of 48,8%.

De meerkost van het zonnedak bedroeg 3.800.000 BEF. Met een onderhoudskost van 0 BEF/jaar en een energiebesparing van 171.000 BEF/jaar leidt dit tot een terugverdientijd van 22,2 jaar.

INHOUD

1	INLEIDING	5
2	TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE	6
2.1	OVERZICHT VAN DE INSTALLATIE.....	6
2.2	TECHNISCHE GEGEVENS VAN DE INSTALLATIE	7
3	METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN	8
3.1	METINGEN M.B.T. HET ZONNEDAKSYSTEEM	8
3.2	METINGEN M.B.T. DE PROPAAANBRANDERS.....	8
3.3	OVERZICHT VAN DE METINGEN	9
4	TECHNISCHE EVALUATIE.....	10
4.1	VERBAND VENTILATORVERMOGEN - LUCHTDEBIET.....	10
4.2	ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN DE VENTILATOREN.....	10
4.3	LUCHTDEBIET VENTILATOREN.....	12
4.4	LUCHTTEMPERATUREN.....	13
4.5	GELEVERDE ENERGIE EN RENDEMENT VAN HET ZONNEDAK	15
4.6	AANDEEL ZONNEDAK IN DE TOTALE WARMTEVRAAG.....	20
5	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO₂-EMISSION	24
5.1	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING	24
5.2	VERMINDERING CO ₂ -EMISSION.....	25
6	ECONOMISCHE EVALUATIE.....	26
6.1	INVESTERINGSKOST EN MEERPRIJS VAN HET ZONNEDAK	26
6.2	ONDERHOUDSKOST	26
6.3	ENERGIEBESPARING	26
6.4	TERUGVERDIENTIID.....	26
7	MENING VAN DE EIGENAAR.....	28
8	BESLUIT.....	29

1 INLEIDING

Dumon Agro nv, aandeelhouder van Daso nv, is een familiaal bedrijf gespecialiseerd in zaadproductie en zaadverkoop. Daarnaast treedt dit Brugs bedrijf ook op als landschapsaannemer en havenoverslagbedrijf. Jaarlijks verkoopt Dumon Agro meer dan 1,5 miljoen kg graszaad, hoofdzakelijk aan het buitenland.

Gedurende de zomermaanden wordt door dit bedrijf graszaad gedroogd met buitenlucht die verwarmd wordt via propaanbranders. Om het energieverbruik van dit proces te verminderen, werd besloten om de lucht voor te verwarmen door middel van zonne-energie. De lucht wordt buiten aangezogen aan één langzijde van het dak en stroomt in een spouw gevormd door zwarte cementgolfplaten die de zonnewarmte absorberen en een isolatielaag. De oppervlakte van het zonnedak bedraagt 4.477,58 m².

Vito voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Het project werd goedgekeurd in maart 1998 en het aanvangsverslag werd opgemaakt in mei 1998. Begin juli 1998 werd de installatie in bedrijf genomen.

Augustus 1998 werd beschouwd als testmaand. De bedoeling was om het volledige droogseizoen van 1999 op te meten, maar omwille van metaaldeeltjes in de propaanleiding blokkeerde de propaangasmeter. De meter werd uitgebouwd en hersteld waardoor een groot deel van dat seizoen geen metingen konden plaatsvinden. Omwille van deze technische problemen kon pas in het jaar 2000 een volledig droogseizoen opgemeten worden.

De energiestromen werden op vijfminuutbasis opgemeten en geregistreerd in augustus 1998 en in het volledige droogseizoen van 2000 (11 juli 2000 t.e.m. 6 oktober 2000). Op basis van deze metingen worden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing en de vermindering van de CO₂-emissie bepaald.

In dit eindrapport wordt in hoofdstuk 2 een technische beschrijving gegeven van de installatie bij Daso. In het derde hoofdstuk wordt het meetprincipe en de energieregistratie weergegeven en in hoofdstuk 4 worden de meetgegevens geanalyseerd.

In hoofdstuk 5 worden de primaire energiebesparing en de CO₂-emissiereductie bepaald. Hoofdstuk 6 beschrijft de economische evaluatie, hoofdstuk 7 geeft de “mening van de eigenaar Daso nv” weer en in het laatste hoofdstuk wordt het besluit geformuleerd.

2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

2.1 Overzicht van de installatie

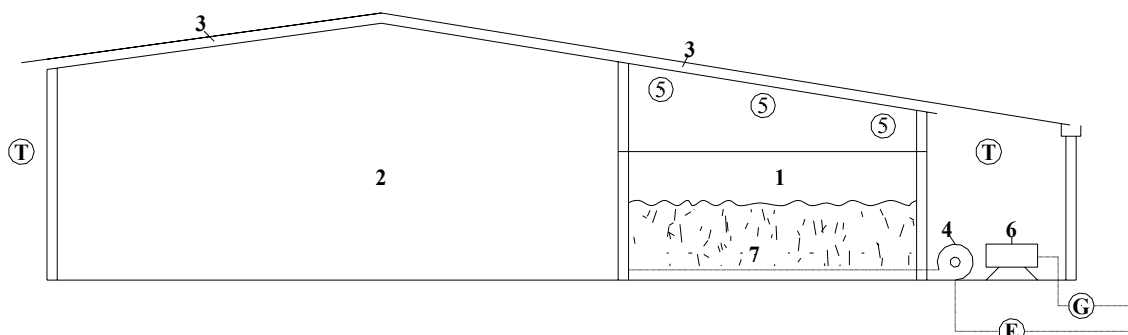
Een schema van de installatie bij Daso wordt weergegeven in figuur 2.1. De lucht wordt buiten aangezogen aan één langsijde van het dak en stroomt in een spouw die gevormd wordt door zwarte cementgolfplaten die de zonnewarmte absorberen en een isolatielaag. De lucht verplaatst zich over het ganse dakoppervlak heen naar de andere langsijde van het gebouw. De opgewarmde lucht komt in een ventilatiegang terecht. In de ventilatiegang zijn openingen aangebracht waarlangs de opgewarmde lucht met behulp van blaasventilatoren in de aanpalende siloboxen geblazen wordt. Via een verdeelsysteem wordt de lucht gelijkmatig over het ganse vloeroppervlak van de siloboxen verdeeld. Indien de luchttemperatuur te laag is, kunnen propaanbranders bijkomend ingeschakeld worden.

Het systeem bestaat uit 17 siloboxen met elk een oppervlakte van 5,15 m x 15,6 m. In de siloboxen wordt het zaad gestapeld tot 2,5 à 3 meter hoogte. Boven de boxen is een afzuigstelsel bestaande uit 3 afzuigventilatoren geïnstalleerd. De bedoeling is dat er maximaal in 8 siloboxen tegelijkertijd gedroogd wordt.

Het zonnedak zelf bestaat uit twee delen: een deel op het zuiden georiënteerd (3.091,87 m²) en een deel op het noorden (1.385,71 m²) georiënteerd. De dakhelling van beide delen bedraagt 15°.

Het ontwerp en de engineering van de installatie gebeurde door de firma Daso zelf. De uitvoering van de werken gebeurde door de firma Lambert Geerkens (staalconstructie, poorten, wanden, dak en isolatie), de firma Verhulst (grondwerken en constructie siloboxen) en de firma Agrimatechniek (meet- en regelsysteem).

In het begin van het droogseizoen van 1999 werden in de siloboxen roersystemen aangebracht. Deze systemen zorgen voor een omroering van het graszaad tijdens het droogproces. Condensatievorming in de bovenste lagen blijft hierdoor beperkt en het rendement van het droogproces stijgt hierdoor.



1 silobox, 2 opslag, 3 spouw, 4 blaasventilator, 5 afzuigventilatoren, 6 propaanbranders
E elektriciteitsmeter, G gasmeter, T temperatuursensor(en)

Figuur 2.1: Principeschema van de installatie

2.2 Technische gegevens van de installatie

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de technische kenmerken van de installatie.

Tabel 2.1: Technische kenmerken van de installatie

lengte van het zonnedak	88,060 m
breedte van het zonnedak	
- zuidelijk georiënteerd deel	35,111 m
- noordelijk georiënteerd deel	15,736 m
spouwhoogte	0,2 m
afmetingen ventilatiegang	88 m x 3 m x 8 m
blaasventilatoren	8 x 10.000 m ³ /h bij 150 mm waterkolom
afzuigventilatoren	3 x 21.000 m ³ /h bij 5 mm waterkolom

3 METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN

3.1 Metingen m.b.t. het zonnedaksysteem

Voor de opvolging van het project is het van belang om te weten hoeveel energie geleverd wordt door het zonnedak, wat het energetisch rendement van het zonnedak is en wat het aandeel van dit systeem is in de totale warmtevraag voor het drogen van de granen en zaden. Figuur 2.1 geeft een schematisch overzicht van de meters geplaatst in de installatie.

Voor de bepaling van de energie geleverd door het zonnedaksysteem worden volgende metingen uitgevoerd:

- temperatuur van de buitenlucht;
- temperatuur van de lucht in de ventilatiegang;
- totaal elektriciteitsverbruik van de ventilatoren;
- zonne-instraling volgens vlakken evenwijdig met de twee dakdelen.

De temperatuur van de buitenlucht wordt gemeten met een temperatuursonde geplaatst in de buurt van de aanzuigkanalen. Voor de meting van de temperatuur in de ventilatiegang worden, gezien de lengte van de gang (88 m), 9 temperatuursensoren aangebracht gelijkmatig verdeeld over de ganse lengte. De maximum waarde van deze 9 metingen wordt voor de verdere berekeningen gebruikt.

Voor de bepaling van het luchtdebiet werden een aantal puntmetingen uitgevoerd waarbij het vermogen als functie van het luchtdebiet en de laagdikte bepaald werd. Uitgaande van de meting van het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren en de resultaten van de puntmetingen kan dan het door de ventilatoren verplaatste luchtvolume bepaald worden. Het elektriciteitsverbruik wordt opgemeten met een elektriciteitsmeter met pulsuitgang.

Om het rendement van het zonnedak te bepalen, werden twee zonne-instralingsmeters geplaatst respectievelijk in vlakken evenwijdig met de zonnedakdelen. De zonne-instralingsmeters werden enkel geïnstalleerd voor de meetperiode van het volledige droogseizoen in 2000.

3.2 Metingen m.b.t. de propaanbranders

Om de warmte geleverd door de propaanbranders te kennen, worden volgende parameters opgemeten:

- het propaangasdebiet;
- de druk op het propaangasnet.

Het propaangasdebiet wordt gemeten met een gasmeter met pulsuitgang. Gezien de gasdebietmeter geen correctie voor de druk doorvoert, wordt een gasdruksensor op het propaangasnet aangesloten. Deze druksensor heeft een analoge uitgang.

3.3 Overzicht van de metingen

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de parameters die gemeten worden, de gebruikte meter en de uitgang van de meter.

Tabel 3.1: Overzicht van de gemeten parameters

parameter	meter	uitgang
buitentemperatuur	1 temperatuursensor	analoog
temperatuur ventilatiegang	9 temperatuursensoren	analoog
elektriciteitsverbruik ventilatoren	elektriciteitsmeter	puls
propaandebiet	gasdebietmeter	puls
propaandruk	gasdrukmeter	analoog
zonne-instraling	2 zonnestralingmeters	analoog

De resultaten van de metingen worden elke 5 minuten weggeschreven in een datalogger.

Alle meetapparatuur nodig voor de evaluatie van dit project werden aangekocht en geplaatst door Vito. De registratie van de gegevens gebeurt via dataloggers die eveneens door Vito geplaatst werden.

4 TECHNISCHE EVALUATIE

4.1 Verband ventilatorvermogen - luchtdebiet

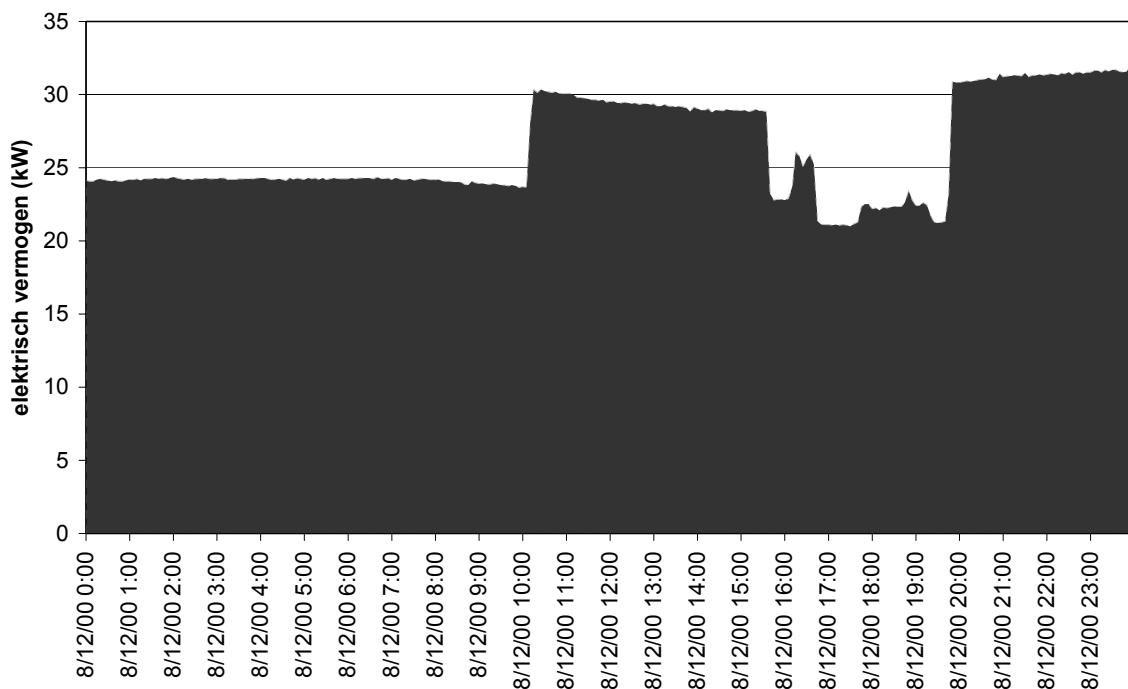
Om uitgaande van het elektriciteitsverbruik het verplaatste luchtvolume te bepalen, werden een aantal puntmetingen bij verschillende siloboxen uitgevoerd. Hierbij werden onderstaande parameters opgemeten:

- het elektrisch vermogen van de ventilatoren;
- de stapelhoogte van de zaden in de betreffende silobox;
- het luchtdebiet.

Voor de verdere berekeningen wordt de volgende gemiddelde gemeten verhouding luchtdebiet / vermogen voor de ventilatoren gebruikt: 1.670 m³/h/kWe

4.2 Elektriciteitsverbruik van de ventilatoren

Figuur 4.1 geeft het elektrisch vermogen over één dag weer (12 augustus 2000). Uit deze figuur blijkt duidelijk wanneer ventilatoren in- en uitgeschakeld worden.

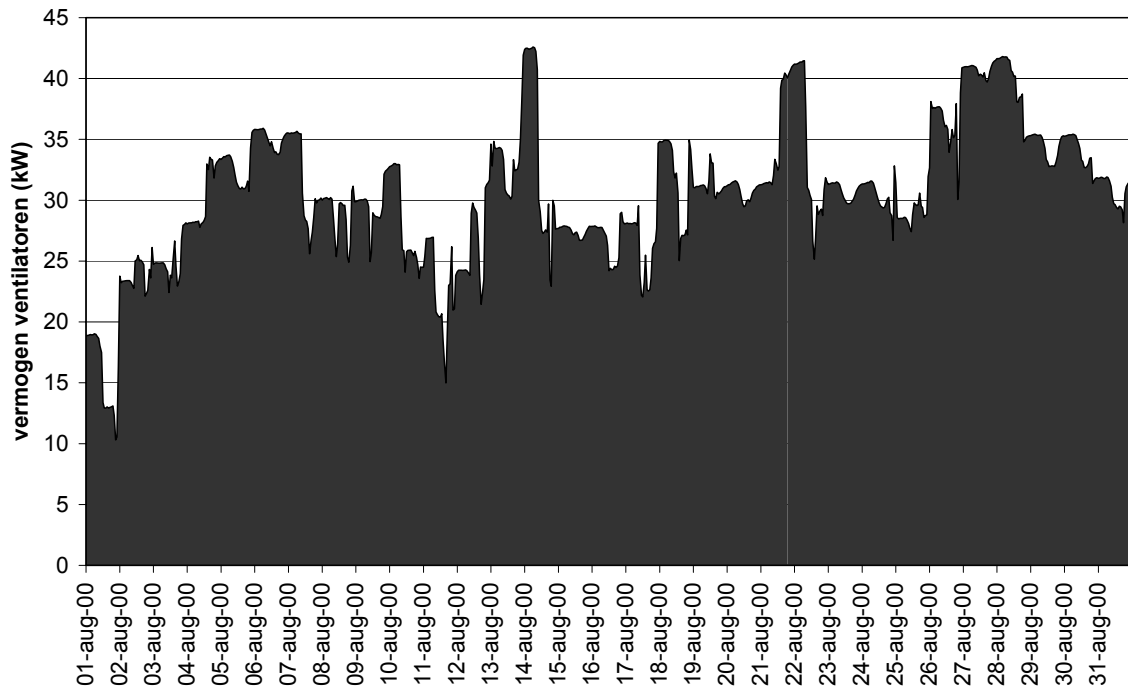


Figuur 4.1: Elektrisch vermogen ventilatoren op 12 augustus 2000

Figuur 4.2 geeft het elektrisch vermogen van de ventilatoren in functie van de tijd over de maand augustus 2000.

Uit deze figuur blijkt dat elektrisch vermogen van de ventilatoren schommelt in functie van de tijd. In augustus 2000 lag het elektrisch vermogen tussen 13 kW en 43 kW.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren over de testperiode (augustus 1998) en de meetperiode in 2000.



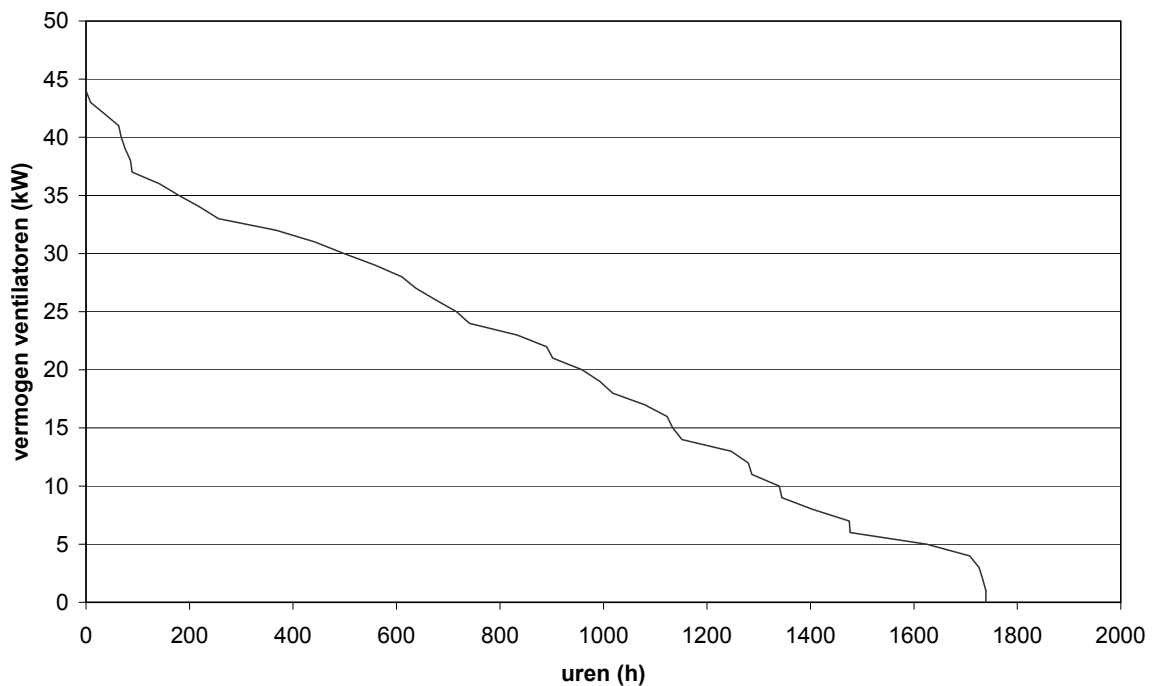
Figuur 4.2: Elektrisch vermogen van de ventilatoren (augustus 2000)

Tabel 4.1: Overzicht elektriciteitsverbruik en piekvermogen

maand	elektriciteitsverbruik ventilatoren (kWh)	piekvermogen ventilatoren (kWe)
augustus 1998	23.737	59,0
juli 2000	3.357	20,0
augustus 2000	22.696	42,6
september 2000	8.403	32,5
oktober 2000	615	4,9
totaal/max 2000	35.071	42,6

In 2000 verbruikten de ventilatoren 35.071 kWh. Het grootste verbruik in 2000 werd genoteerd in de maand augustus 2000 (22.696 kWh). Het piekvermogen in 2000 varieerde tussen 4,9 kWh (oktober 2000) en 42,6 kWh (augustus 2000)

Figuur 4.3 geeft de belasting-duurcurve van de ventilatoren weer over het droogseizoen van 2000. Deze curve kent een vrij lineair verloop. Uit deze figuur kan bijvoorbeeld afgeleid worden dat gedurende meer dan de helft van de droogtijd een ventilatorvermogen van meer dan 22 kWe nodig was.



Figuur 4.3: Belasting-duur diagramma van de ventilatoren

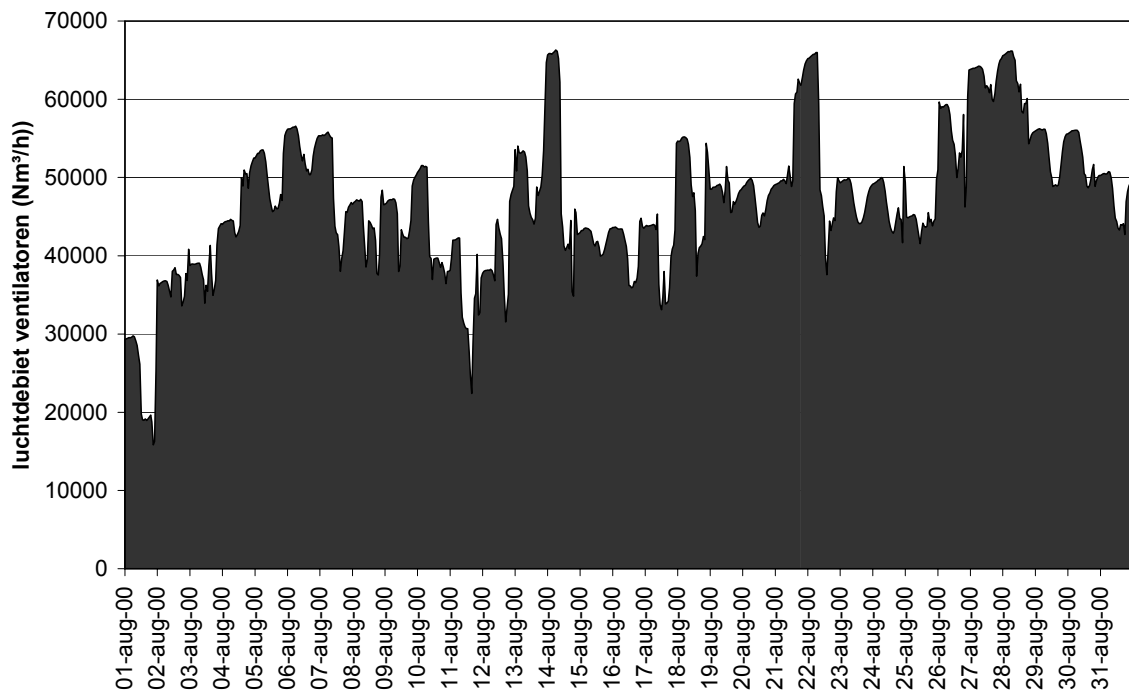
4.3 Luchtdebiet ventilatoren

Voor de bepaling van het luchtdebiet wordt als volgt tewerk gegaan:

- Uitgaande van het elektriciteitsverbruik (kWh) gedurende de betreffende 5 minuten en de relatie tussen het elektrisch vermogen (kW) en het luchtdebiet (m^3/h) wordt het verplaatste luchtvolume over het zonnedak (m^3) bepaald.
- Gezien de temperatuur in de ventilatiegang functie is van de tijd, wordt dit luchtvolume herleid naar standaardcondities (Nm^3).
- Vervolgens wordt de verplaatste luchtmassa (kg) bepaald. De dichtheid van lucht onder standaardcondities is $1,29 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Figuur 4.4 geeft het totale luchtdebiet over het zonnedak (Nm^3/h) in functie van de tijd weer (augustus 2000).

Uit de metingen blijkt dat het luchtdebiet sterk afhankelijk is van dag tot dag, het luchtdebiet in augustus 2000 varieerde tussen $16.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ en $66.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Het gemiddelde luchtdebiet over de meetmaand augustus 2000 bedroeg $47.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.



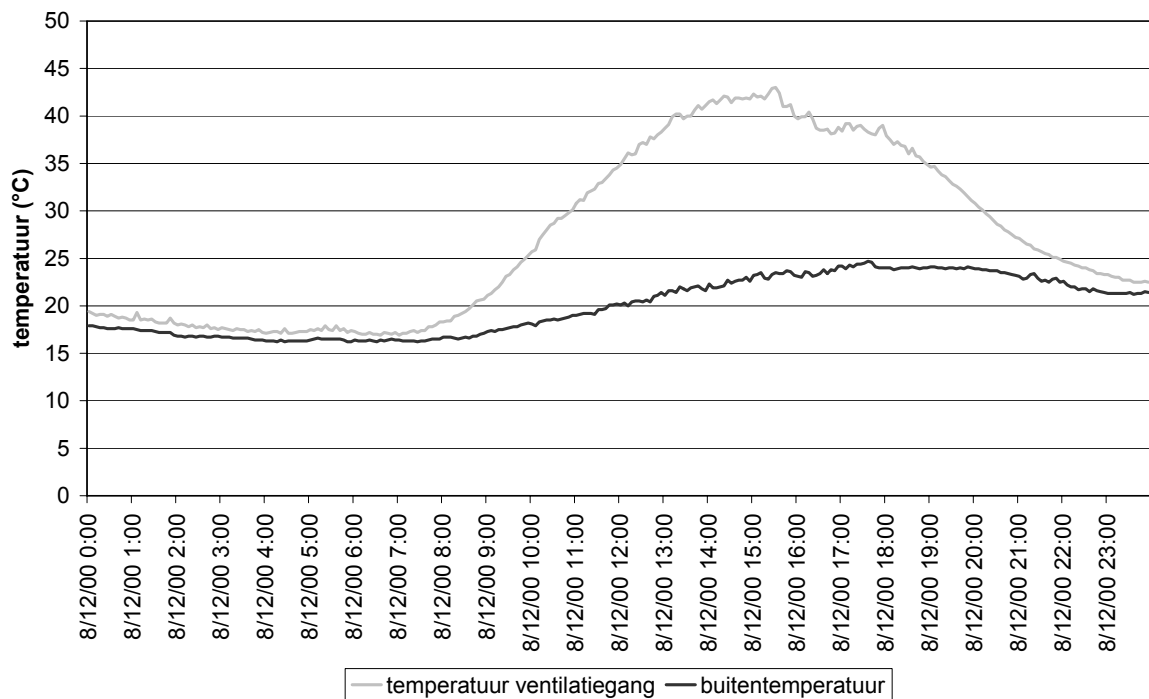
Figuur 4.4: Luchtdebiet (Nm^3/h) over het zonnedak

4.4 Luchttemperaturen

Om te bepalen hoeveel energie geleverd wordt door het zonnedak, wordt naast het luchtdebiet, de luchttemperaturen voor en na het zonnedak gemeten. Zoals vermeld, werd één temperatuursonde aan de luchtaanzuigkanalen geplaatst en werden 9 temperatuursondes gelijkmatig verdeeld over de ventilatiegang, aangebracht. Voor de berekeningen wordt de maximum waarde van de 9 sondes gebruikt.

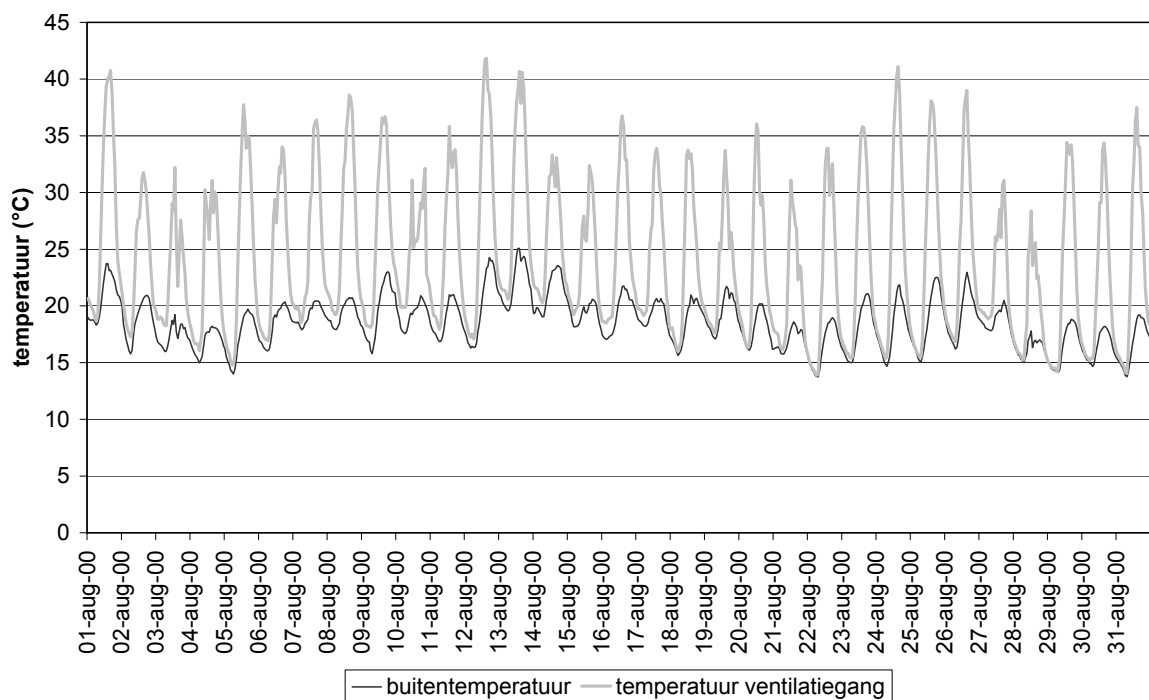
Figuur 4.5 geeft het verloop van de buitentemperatuur en de maximum temperatuur in de ventilatiegang over één dag (12 augustus 2000) weer.

Uit deze figuur blijkt duidelijk het verschil tussen nacht en dag. 's Nachts koelt het buiten af tot $16,2^{\circ}C$. Ook de temperatuur in de ventilatiegang daalt na verloop van tijd tot deze waarde. De thermische massa van het dak heeft zijn warmte afgegeven. 's Morgen begint de zon te schijnen en stijgt de buitentemperatuur. In de ventilatiegang stijgt de temperatuur sneller dan buiten. Rond 14:20h bereikt de temperatuur in de ventilatiegang de maximum waarde ($42,1^{\circ}C$). Na dit tijdstip daalt de zonne-instraling zodat ook de temperatuur in de ventilatiegang daalt. 's Avonds is het in de ventilatiegang nog altijd warmer dan buiten omwille van de thermische inertie van het zonnedak en de muren.



Figuur 4.5: Verloop van de buitentemperatuur en de gangtemperatuur (12 augustus 2000)

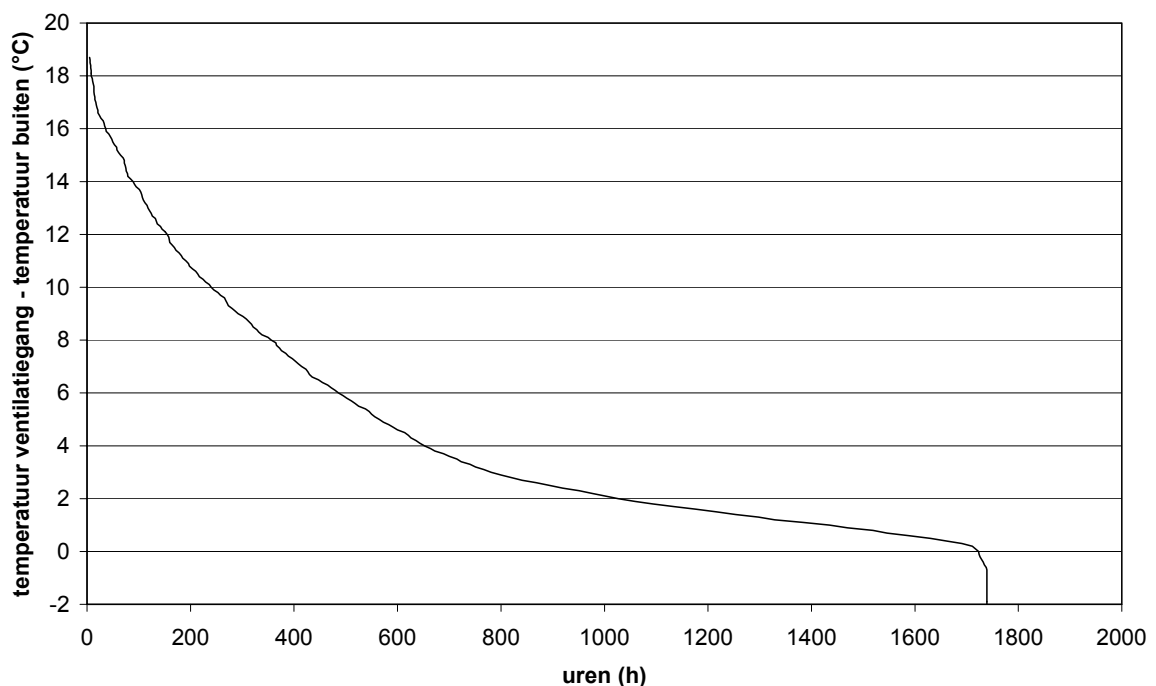
Figuur 4.6 geeft het verloop van de buitentemperatuur en de gangtemperatuur over de maand augustus 2000. In deze figuur kan duidelijk het cyclische verloop van zowel de buitentemperatuur als de temperatuur in de ventilatiegang (binnentemperatuur) herkend worden.



Figuur 4.6: Verloop van de buitentemperatuur en de gangtemperatuur (augustus 2000)

Uit de metingen in 2000 blijkt dat overdag (8:00h – 22:00h) het verschil tussen de temperatuur in de ventilatiegang en de buitentemperatuur gemiddeld gezien gelijk is aan $6,5^{\circ}\text{C}$ met een maximum verschil van $19,3^{\circ}\text{C}$. De temperatuursverhoging die 's nachts gerealiseerd wordt door het zonnedak bedroeg gemiddeld $1,2^{\circ}\text{C}$, het maximum bedroeg $4,2^{\circ}\text{C}$. Het komt geregeld voor dat 's ochtends de temperatuur in de ventilatiegang lager is dan de buitentemperatuur. Op dat moment levert het zonnedak een negatief thermisch vermogen. Het temperatuursverschil kan dan oplopen tot $-0,8^{\circ}\text{C}$.

Figuur 4.7 geeft het verloop van de duurcurve (temperatuursverschil tussen ventilatiegang en buiten) bij werking van de drooginstallatie. Het zonnedak heeft gedurende meer dan de helft van de werkingsuren een temperatuursverhoging van $2,6^{\circ}\text{C}$ gerealiseerd. Gedurende 240 uren werd een temperatuursverhoging van meer dan 10°C bekomen via het dak. Een temperatuursverlaging werd bekomen gedurende 17 uren.



Figuur 4.7: Duurdiagramma van het temperatuurverschil

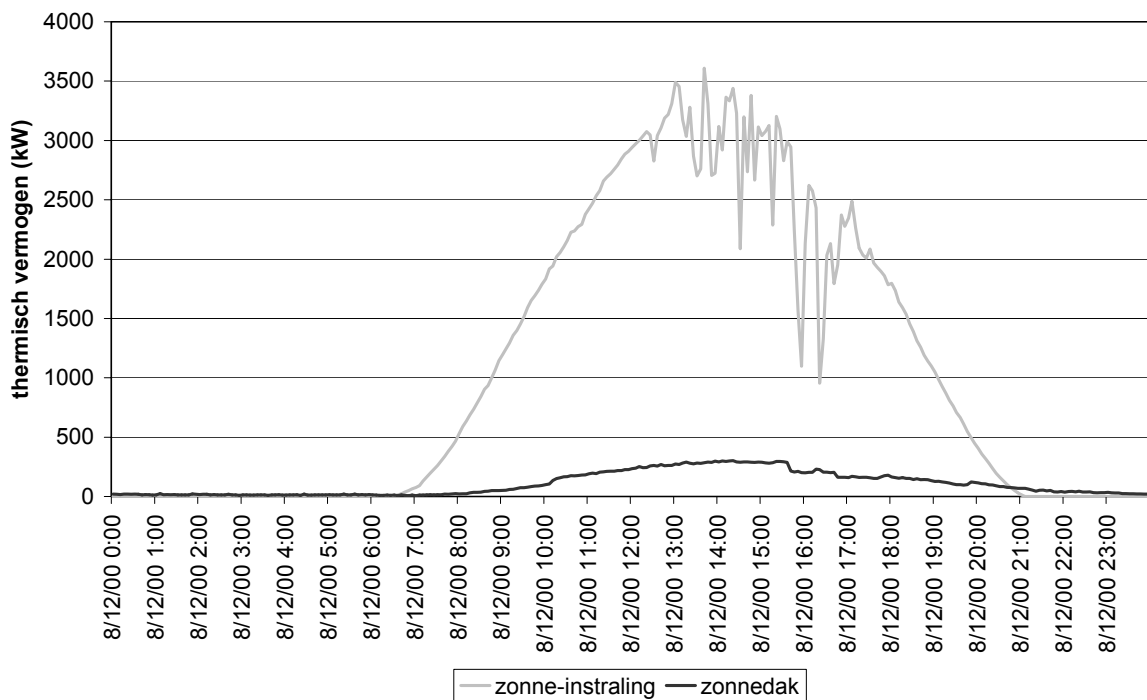
4.5 Geleverde energie en rendement van het zonnedak

Om het rendement van het zonnedak te bepalen, werden twee zonne-instralingsmeters geplaatst in een vlakken evenwijdig met de respectievelijke zonnedakdelen. Deze instralingsmeters hebben een analoog uitgangssignaal dat evenredig is met de zonneinstraling (W/m^2). Om de totale instraling in het dak te kennen, werden de meetgegevens vermenigvuldigd met de respectievelijke nuttige oppervlakken van de zonnedakdelen.

Voor de bepaling van de geleverde energie door het zonnedak worden de volgende waarden gebruikt:

- de dichtheid van de aangezogen lucht is $1,29 \text{ kg/Nm}^3$;
- de soortelijke warmte van de lucht bedraagt $1,007 \text{ kJ/kg/K}$.

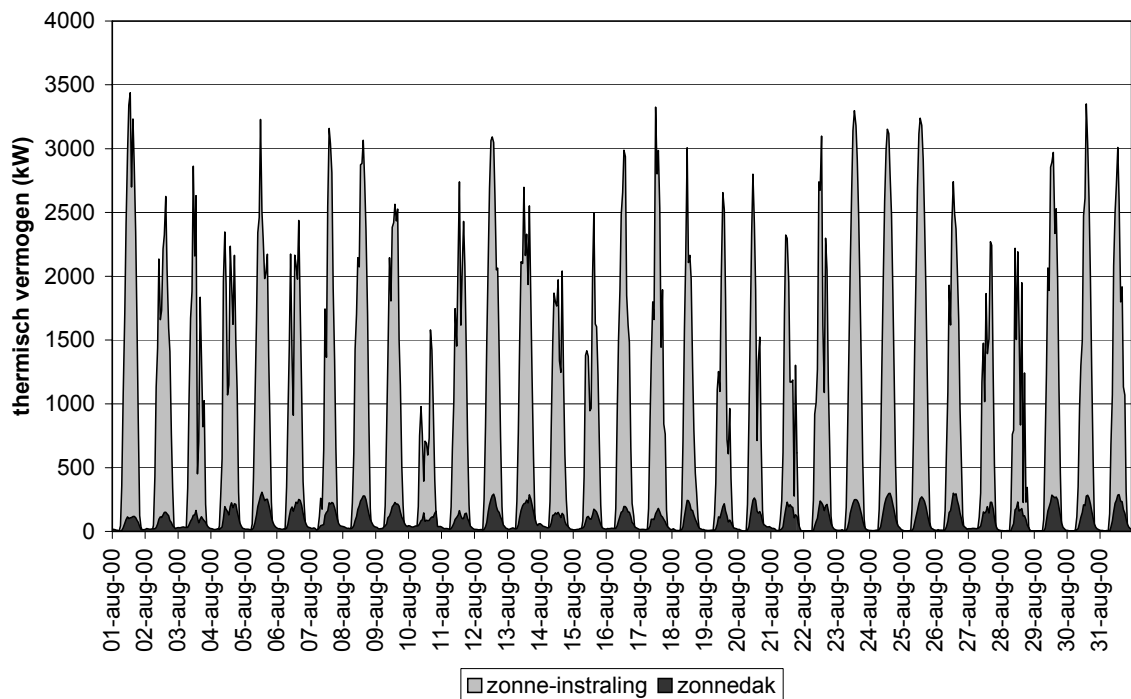
Uitgaande van de luchtdebieten (Nm^3/h) en het verschil in temperatuur tussen de lucht in de ventilatiegang en de buitenlucht kan de geleverde energie door het zonnedak bepaald worden.



Figuur 4.8: Verloop zonne-instraling en thermisch vermogen zonnedak (12/8/2000)

Figuur 4.8 geeft het verloop van de zonne-instraling op het dak en het thermisch vermogen van het zonnedak weer in functie van de tijd (12 augustus 2000). Het ingestraalde vermogen loopt 's middags (13:40h) op tot 3.608 kWth . Het thermisch vermogen van het dak bereikt een piek van 301 kWth rond 14:20h. 's Nachts daalt het thermische vermogen van het dak, op sommige periodes kan dit vermogen zelfs negatief worden.

Figuur 4.9 geeft het verloop van de zonne-instraling en het thermisch vermogen van het zonnedak over de meetmaand augustus 2000. Uit deze figuur blijkt duidelijk het cyclische verloop van beide vermogens.



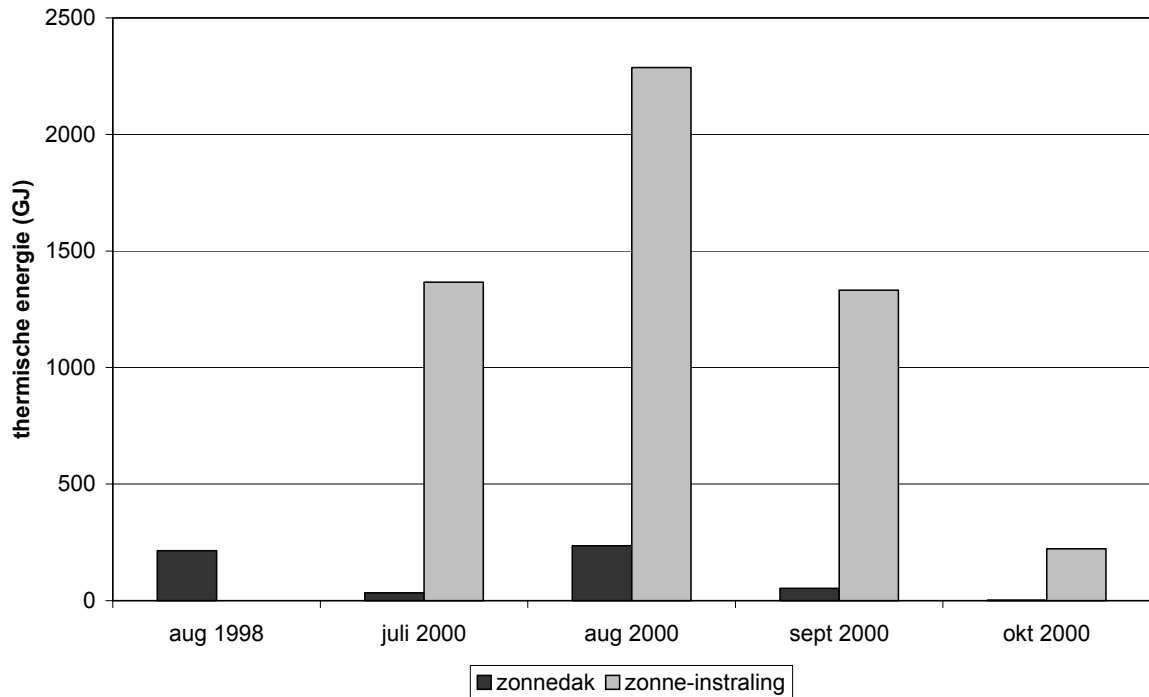
Figuur 4.9: Verloop zonne-instraling en thermisch vermogen zonnedak (augustus 2000)

Tabel 4.2: Rendement van het zonnedak

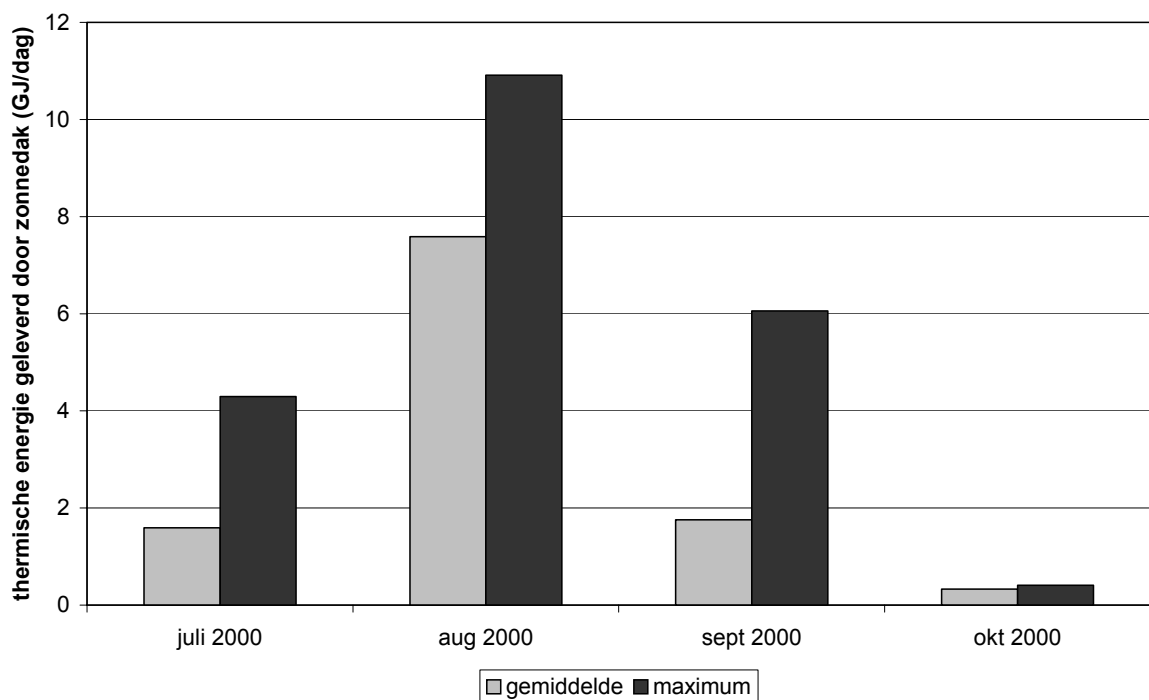
	thermische energie zonnedak overdag (GJ)	thermische energie zonnedak 's nachts (GJ)	thermische energie zonnedak totaal (GJ)	zonne-instraling (GJ)	rendement (%)
aug 1998	184,6	30,1	214,7	-----	-----
jul 2000	27,3	6,1	33,5	1.366,3	2,4
aug 2000	214,3	20,9	235,2	2.287,8	10,3
sept 2000	47,0	5,7	52,7	1.332,4	4,0
okt 2000	1,5	0,5	2,0	222,4	0,9
totaal 2000	290,2	33,1	323,3	5.209,0	6,2

Tabel 4.2 en figuur 4.10 geven een overzicht van de zonne-instraling en de geleverde thermische energie door het zonnedak over de verschillende meetmaanden. In 2000 leverde het zonnedak 323,3 GJ waarvan 290,2 GJ overdag en 33,1 GJ 's nachts. Het grootste gedeelte van de energie (73% of 235,2 GJ) werd geleverd in augustus 2000. De zon leverde over deze meetperiode in 2000 5.209,0 GJ. Het globale rendement van het zonnedak in 2000 bedroeg dus 6,2%. Er zitten weldegelijk verschillen in de maandrendementen. In augustus 2000 werd het hoogste maandrendement (10,3%) opgetekend, in oktober werd het laagste maandrendement (0,9%) genoteerd. Wanneer gekeken wordt naar de gemiddelde meetwaarden op dagbasis dan bedroeg het hoogst genoteerde rendement 17,3% (10 augustus 2000). Op 5 augustus 2000 werd het hoogste thermische vermogen geleverd door het zonnedak: 306,9 kW.

Figuur 4.11 geeft een overzicht van de gemiddelde en maximum geleverde energie door het zonnedak op dagbasis. Augustus 2000 heeft de hoogste gemiddelde en maximumwaarde: respectievelijk 7,6 GJ/dag en 10,9 GJ/dag. Over de meetperiode van 2000 bedroeg de gemiddelde geleverde energie door het zonnedak 3,7 GJ/dag.



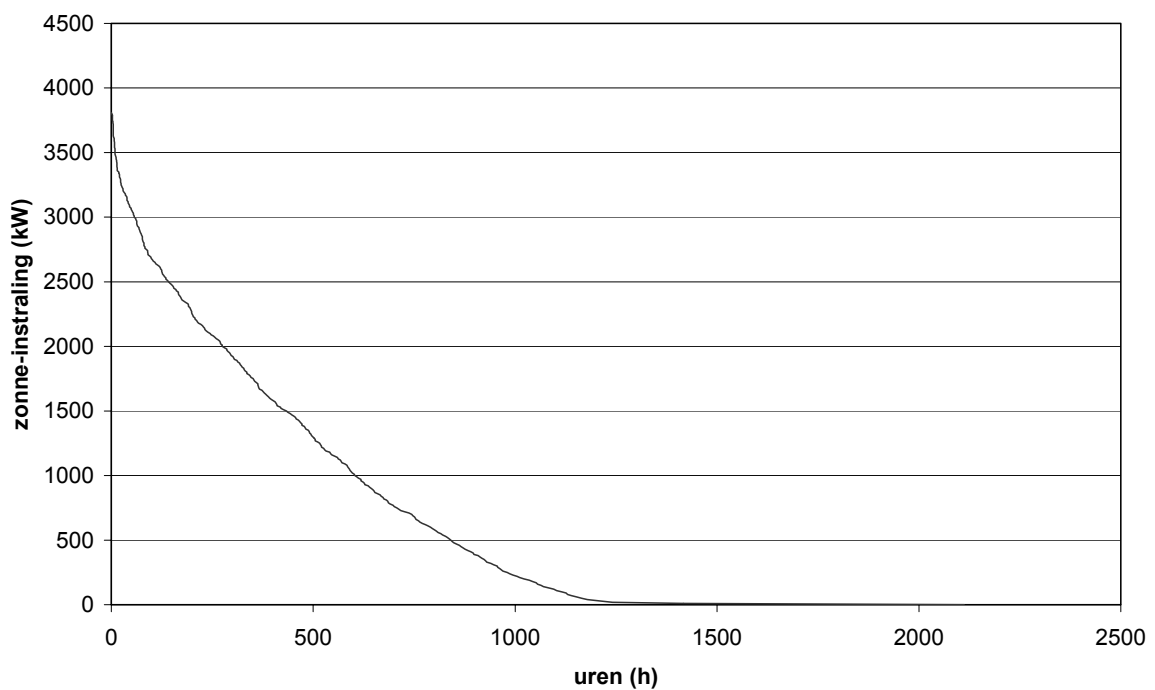
Figuur 4.10: Zonne-instraling en thermische energie zonnedak



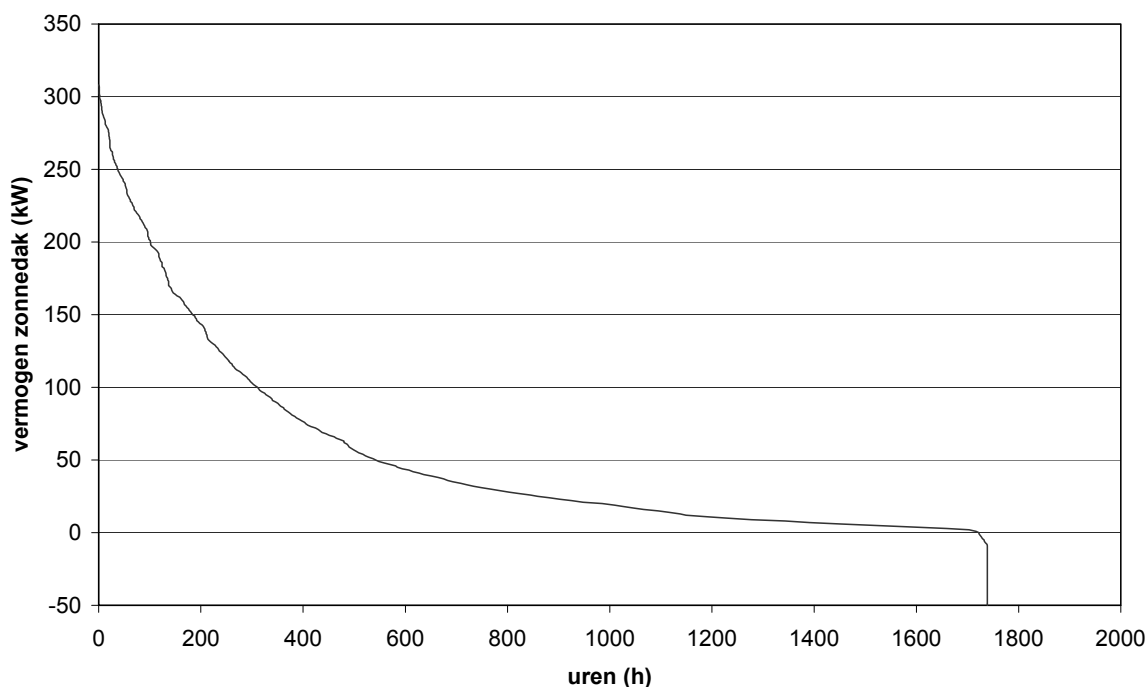
Figuur 4.11: Gemiddelde en maximum geleverde energie door zonnedak (dagbasis)

Figuur 4.12 geeft de duurcurve van de zonne-instraling over het droogseizoen in 2000 (11 juli 2000 t.e.m. 6 oktober 2000) weer (dus niet alleen tijdens de werking van de installatie. De zon leverde een piekvermogen van 3.796 kW. Gedurende 603 h werd door de zon meer dan 1 MW geleverd. Meer dan 2 MW werd door de zon geleverd gedurende 275 h en meer dan 3 MW werd geleverd gedurende 57 h.

Figuur 4.13 geeft de duurcurve van het thermische vermogen van het zonnedak tijdens werking van de installatie weer. Het piekvermogen geleverd door het zonnedak bedroeg zoals reeds vermeld 306,9 kW. Gedurende 311 h leverde het zonnedak een thermisch vermogen dat hoger was dan 100 kW. Meer dan 200 kW werd geleverd gedurende 101 h en meer dan 250 kW werd geleverd gedurende 38 h. De lucht werd afgekoeld gedurende 17 uren.



Figuur 4.12: Duurcurve van de zonne-instraling over het droogseizoen 2000



Figuur 4.13: Duurkurve van het zonnedakvermogen bij werking van de installatie in 2000

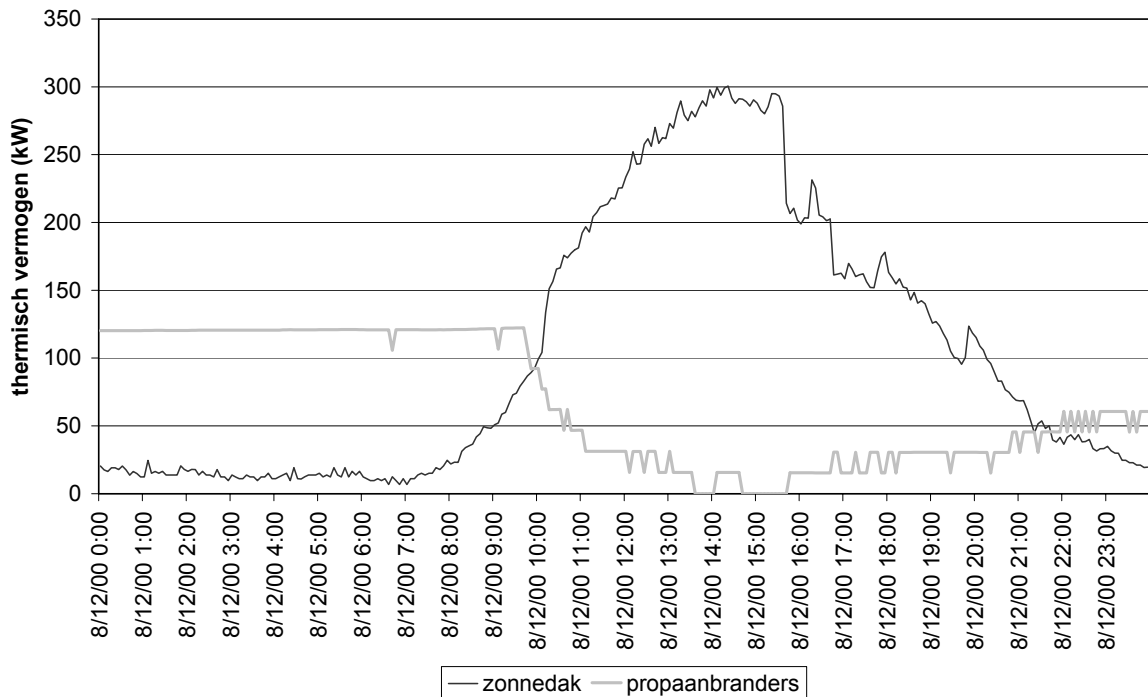
4.6 Aandeel zonnedak in de totale warmtevraag

Voor de bepaling van de geleverde energie door de propaanbranders worden de volgende waarden gebruikt:

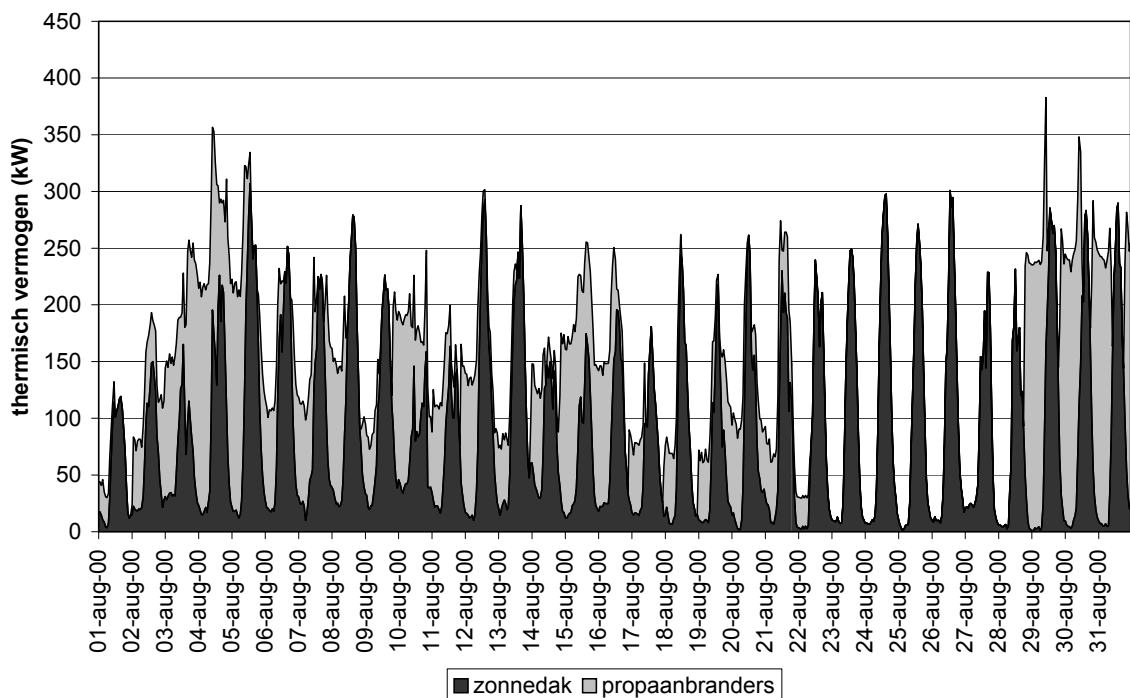
- de onderste verbrandingswaarde van propaan is 46,35 MJ/kg;
- de dichtheid van propaan (gasvormig) is 2,01 kg/Nm³;
- het rendement van de propaanbrander bedraagt 100%, gezien de branders opgesteld staan in de ventilatiegang en gezien de rookgassen van de propaanbranders eveneens door de ventilatoren aangezogen worden.

Uitgaande van de gasdebietsmeting (m³/h) en de meting van de druk in het propaannet (mbar), kan het totale propaanverbruik van de branders (Nm³) bepaald worden.

Figuur 4.14 geeft een overzicht van de geleverde warmte door het zonnedak en de propaanbranders over een dag (12 augustus 2000). Bij deze figuur ziet men duidelijk het verloop 's nachts en overdag. 's Nachts dekt de thermische massa van het dak nog een klein gedeelte van de warmtevraag. Het grootste gedeelte wordt dan geleverd door de propaanbranders. 's Morgens begint de zon te schijnen en stijgt het aandeel van het zonnedak in de warmtevraag. De propaanbranders hoeven dan minder bij te verwarmen. Na de middag is het aandeel van de propaanbranders bijna gedaald tot 0. Het zonnedak levert het hoofdaandeel. Naar de avond toe daalt opnieuw het aandeel van het zonnedak en stijgt de propaanvraag.



Figuur 4.14: Vermogen geleverd door zonnedak en propaanbranders (12/8/2000)



Figuur 4.15: Vermogen geleverd door zonnedak en propaanbranders (aug 2000)

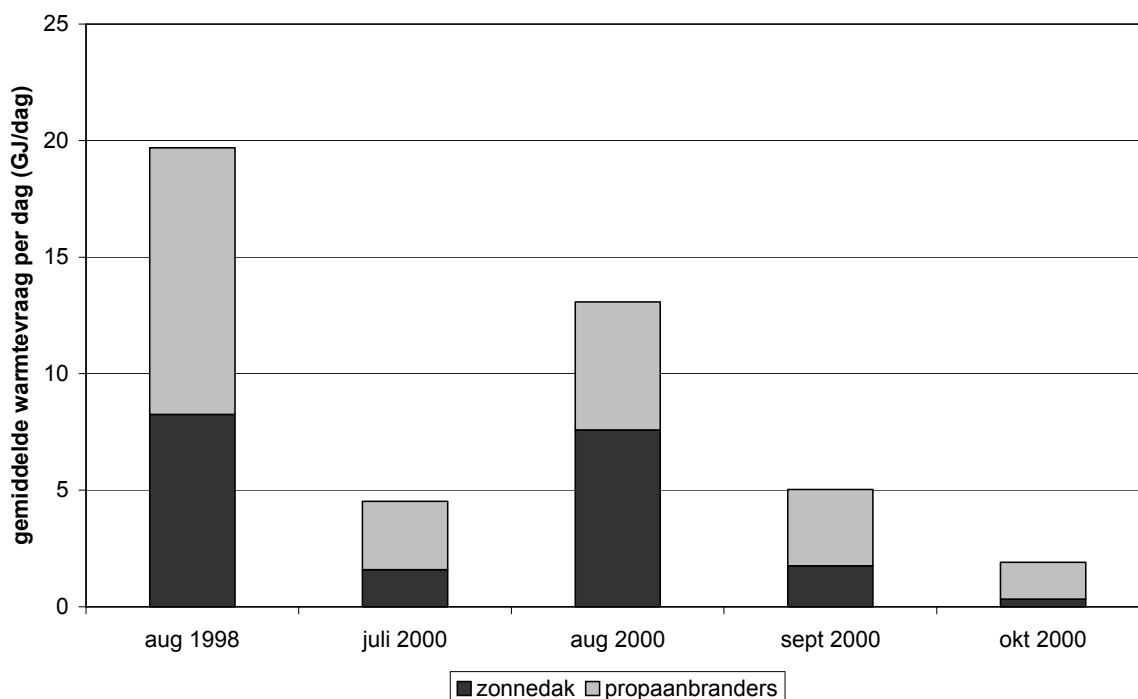
Uit figuur 4.15 blijkt dat de warmtevraag sterk afhankelijk is van dag tot dag. Overdag wordt het grootste gedeelte van de warmtevraag gedekt door het zonnedak, 's nachts door de propaanbranders. Dit wordt door Daso verklaard door het wisselend aanbod van te drogen partijen. Bij groot aanbod wordt 's nachts volop gebruik gemaakt van de propaanbranders.

Bij laag aanbod, wordt uitsluitend op zonne-energie gedroogd gedurende de dag. Van 23 augustus 2000 tot en met 27 augustus 2000 hebben de propaanbranders geen warmte geleverd. Volgens Daso was er gedurende die periode geen aanvoer van van vochtig graszaad. Vanaf 28 augustus 2000 was er opnieuw aanvoer waardoor de propaanbranders opnieuw aangeschakeld moesten worden.

Tabel 4.3: Overzicht geleverde energie zonnedak/propaanbranders

	zonnedak (GJ)	propaan- branders (GJ)	totaal (GJ)	aandeel zonnedak in totale warmte-vraag (%)
aug 1998	214,7	297,3	512,0	41,9
juli 2000	33,5	61,6	95,1	35,2
aug 2000	235,2	170,4	405,6	58,0
sept 2000	52,7	98,4	151,1	34,9
okt 2000	2,0	9,5	11,5	17,2
totaal 2000	323,3	339,9	663,2	48,8
% 2000	48,8	51,2	100	

In het droogseizoen van 2000 werd gedurende 1.739 uren zaden gedroogd en bedroeg de totale warmtevraag 663,2 GJ. 323,3 GJ of 48,8% werd geleverd door het zonnedak, 339,9 GJ of 51,2% werd geleverd via de propaanbranders. In augustus 2000 was de warmtevraag het hoogst (61,2% van de totale warmtevraag in 2000) en was ook het aandeel van het zonnedak in de totale warmtevraag het hoogst (58,0%).



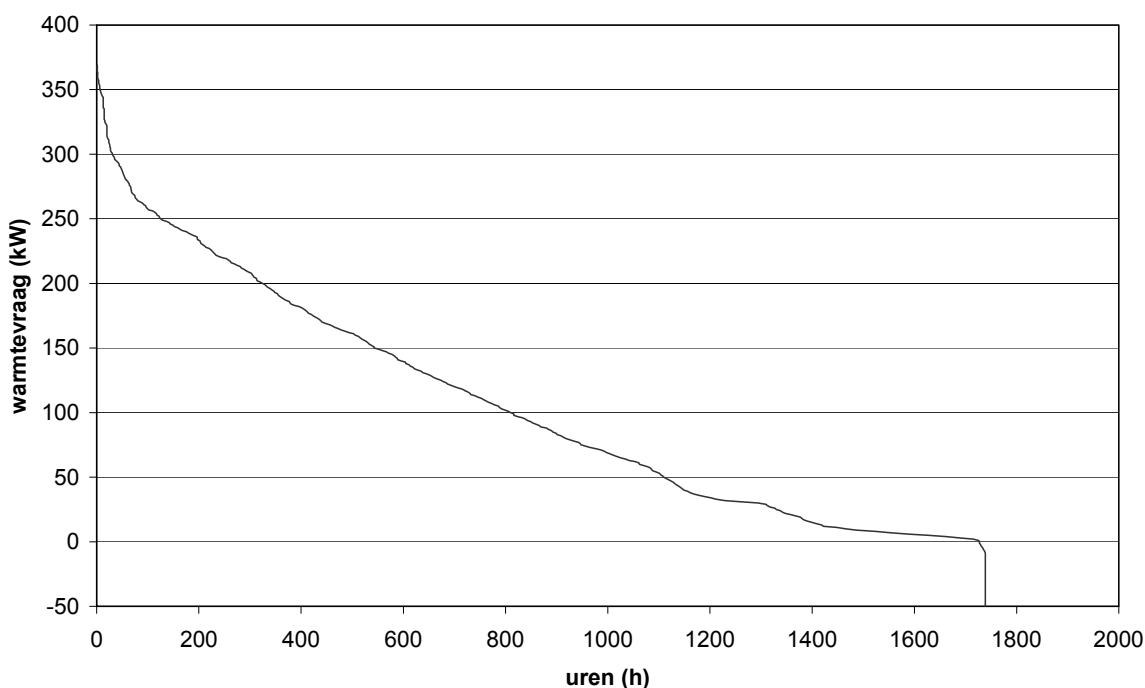
Figuur 4.16: Gemiddelde warmtevraag per dag over de verschillende meetmaanden

Tijdens de maanden juli en september 2000 lag het aandeel van het zonnedak rond 35%. Vermits augustus de voornaamste maand is voor de aanvoer van nat graszaad, wordt de zonne-energie maximaal benut.

In augustus 1998 was de totale warmtevraag hoger vergeleken met augustus 2000. Dit komt volgens Daso door de landbouwcrisis waardoor minder graszaad gedroogd werd in 2000.

Figuur 4.16 geeft de gemiddelde warmtevraag per dag voor de verschillende meetmaanden. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat in augustus het grootste gedeelte van de zaden gedroogd worden. De grotere warmtevraag in augustus 1998 wordt volgens Daso verklaard door twee elementen:

- 1) het installeren van een roersysteem in de boxen, waardoor het drogen sneller en met hoger rendement gebeurde in 2000
- 2) een grotere aanvoer van partijen in 1998, waardoor er meer met propaan moest bijgedroogd worden.



Figuur 4.17: Belastings-duurkurve van de warmtevraag in 2000

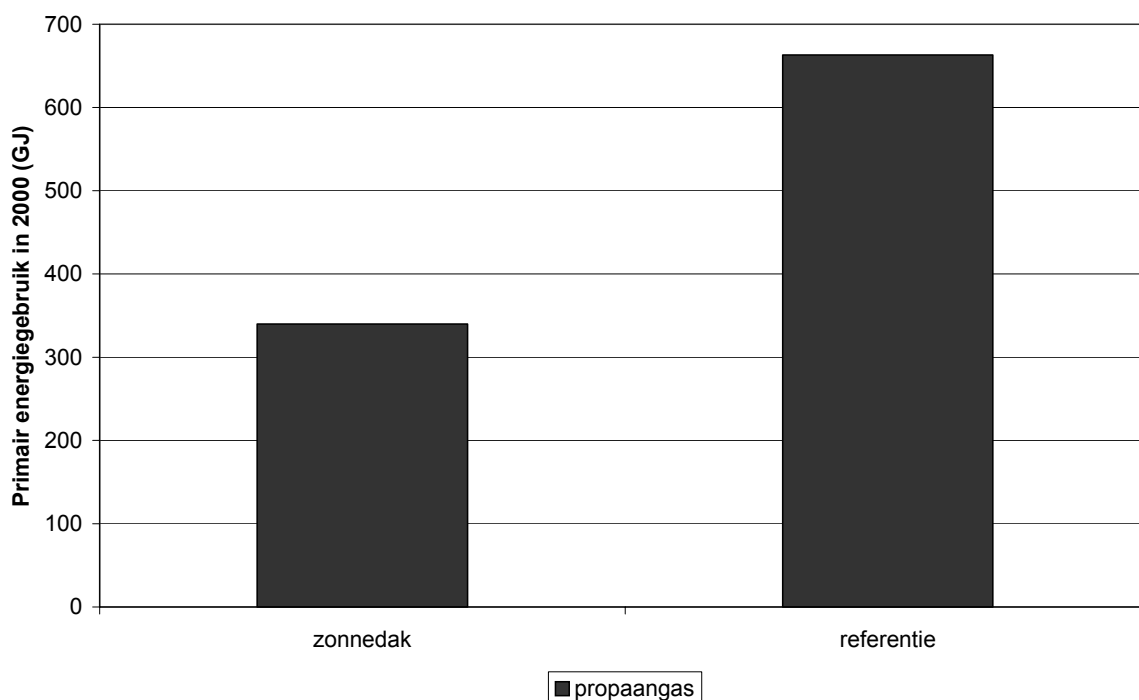
Figuur 4.17 geeft de belastings-duurkurve van de warmtevraag in 2000 bij Daso weer. Uit deze figuur blijkt dat de piekvraag in 2000 382,9 kW bedroeg. De warmtevraag was gedurende 810 uren hoger dan 100 kW. Gedurende 325 uren was de warmtevraag hoger dan 200 kW en gedurende 31 uren hoger dan 300 kW.

5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO₂-EMISSIE

5.1 Primaire energiebesparing

Voor de bepaling van de primaire energiebesparing over het droogseizoen in 2000 wordt een vergelijking gemaakt met een installatie zonder zonnedak (referentiesituatie). De energie door de zon geleverd, zou in de referentiesituatie geleverd zijn door de propaanbranders. Het verbruik van de ventilatoren wordt voor de vergelijking buiten beschouwing gelaten.

In figuur 5.1 wordt het primair energieverbruik van het systeem met zonnedak en propaanbranders vergeleken met de referentiesituatie (enkel propaanbranders) voor het droogseizoen van 2000.



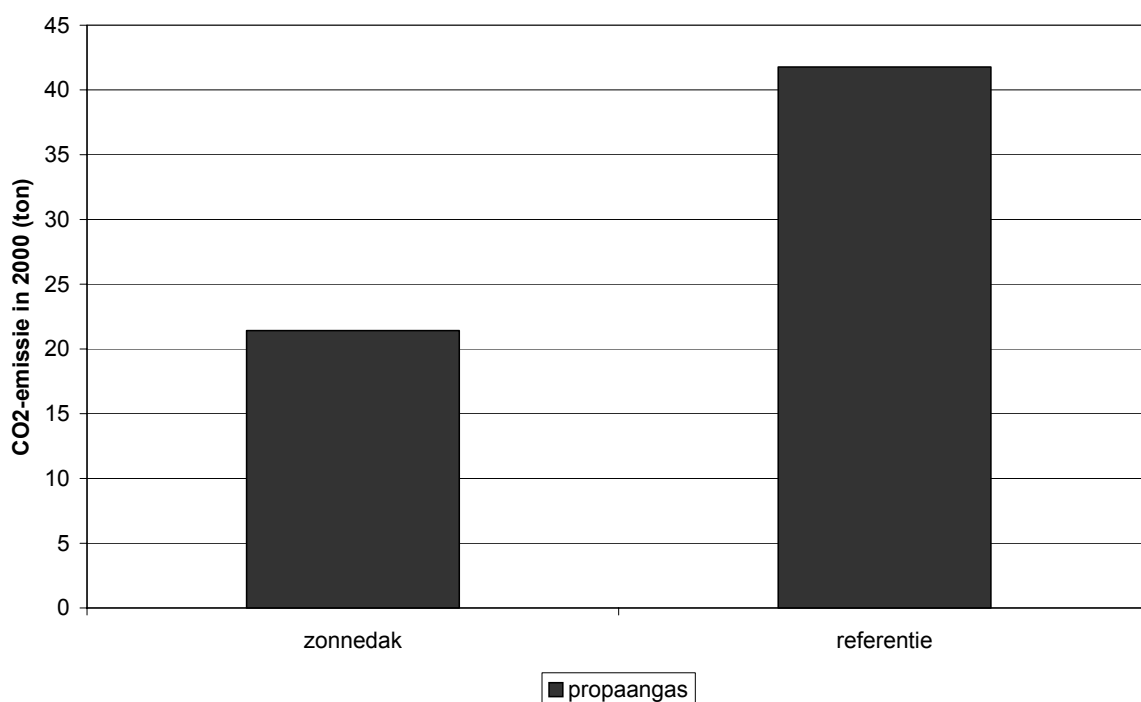
Figuur 5.1: Primair energieverbruik over de meetperiode in 2000

Het primair energieverbruik van de installatie (propaanbranders) bedroeg 339,9 GJ/jaar over de meetperiode in 2000. In de referentiesituatie (geen zonnedak, warmtevraag wordt volledig gedekt door de propaanbranders) zou het primair energieverbruik gelijk zijn aan 663,2 GJ/jaar. Dit betekent dat over de meetperiode in 2000 de primaire energiebesparing 323,3 GJ/jaar of 48,8% bedraagt.

5.2 Vermindering CO₂-emissie

Voor de bepaling van de reductie van de CO₂-emissie wordt gerekend met een CO₂-emissiefactor voor propaangas van 63 kg CO₂ / GJ.

In figuur 5.2 wordt de CO₂-emissie van het systeem met zonnedak en propaanbranders vergeleken met de referentiesituatie (enkel propaanbranders).



Figuur 5.2: CO₂-emissie over de meetperiode in 2000

De CO₂-emissie van de installatie bedroeg 21,4 ton/jaar in 2000. Indien er geen zonnedak geïnstalleerd zou zijn, dan bedroeg de CO₂-emissie over de meetperiode 41,8 ton/jaar. Dit betekent dat de reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode gelijk is aan 20,4 ton/jaar of 48,8%.

6 ECONOMISCHE EVALUATIE

Voor de economische evaluatie wordt de investeringskost van het zonnedak tegenover de onderhoudskost en de energiebesparingskost geplaatst.

6.1 Investeringskost en meerprijs van het zonnedak

De totale investeringskost van het gebouw en de installatie bedroeg volgens Daso 18.283.109 BEF (excl. BTW). De meerkost van het zonnedak bedroeg volgens Daso 3.800.000 BEF (excl. BTW) bestaande uit:

ontwerpkosten	260.000 BEF
meerkost ventilatiegang	1.000.000 BEF
zonnedak	2.540.000 BEF

6.2 Onderhoudskost

Volgens Daso is er geen jaarlijkse onderhoudskost verbonden aan het zonnedak. De installatie vergt wel jaarlijks onderhoud (ongeveer 200.000 BEF/jaar) maar deze onderhoudskost zou er ook zijn in het geval dat er geen zonnedak geplaatst zou zijn.

6.3 Energiebesparing

De kost voor propaan bedroeg in 2000 volgens Daso 12,48 BEF/liter vloeistof (excl. BTW). Voor de berekeningen worden volgende propaanwaarden genomen:

- de dichtheid van propaan is 0,51 kg/liter vloeistof
- de onderste verbrandingswaarde van propaan is 46,35 MJ/kg

De energiebesparing in 2000 bedroeg zoals hoger vermeld 323,3 GJ/jaar. De energiebesparing in 2000 bedroeg dus 171.000 BEF/jaar.

6.4 Terugverdientijd

meerkost zonnedak	3.800.000 BEF
onderhoudskost	0 BEF/jaar
energiebesparing	171.000 BEF/jaar
terugverdientijd	22,2 jaar

De meerkost van het zonnedak bedroeg 3.800.000 BEF. Met een onderhoudskost van 0 BEF/jaar en een energiebesparing van 171.000 BEF/jaar leidt dit tot een terugverdientijd van 22,2 jaar.

Volgens Daso bedroeg de verwerkte hoeveelheid in 2000 ongeveer de helft van de hoeveelheid in 1998. Wanneer gekeken wordt naar de droogcapaciteit, dan was de benutting in 1998 ongeveer twee derde en in 2000 ongeveer één derde volgens Daso.

Gezien de drooginstallatie in 2000 volgens Daso slechts op één derde van de capaciteit werkte, dan zou bij volle capaciteitsbezetting en terugverdientijd van 8 jaar of hoger kunnen verkregen worden.

7 MENING VAN DE EIGENAAR

Het idee van het zonedak vond zijn oorsprong in de volgende overwegingen:

- graszaad, waarvan het vochtgehalte bij de oogst varieert tussen 25% en 40% wordt aangeleverd in de maanden juli en augustus, zijnde de warmste maanden;
- het is een energieverspilling om met brandstoffen te drogen, terwijl in deze periode de zon overvloedige warmte beschikbaar stelt.

De bestaande drooginstallaties ombouwen voor het recupereren van zonne-energie, was zowel technisch als naar kostprijs een onhaalbare oplossing.

De noodzaak tot het bouwen van bijkomende droogcapaciteit was een enige gelegenheid om het dak van de nieuwe loods uit te bouwen als een zonedak.

Teneinde geen kiemkrachtbeschadiging te bekomen, mag graszaad slechts opgewarmd worden tot 45°C. Bij buitentemperaturen in juli en augustus van $\pm 25^{\circ}\text{C}$ en een zonneopwarming van de aangezogen lucht met ± 15 à 20°C , kon er voor een groot deel gedroogd worden zonder bijverwarming.

Het zonedak werd voor het eerst in gebruik genomen in 1998. In 2000 werd een gepland roersysteem in gebruik genomen om lagen tot 3 meter hoogte te kunnen drogen en het droogrendement te verhogen.

Uit berekeningen blijkt dat de terugverdientijd bij normale capaciteitsbenutting op 8 jaar ligt. Lagere capaciteitsbenutting, koude weersomstandigheden of extra warme zomermaanden kunnen de terugverdientijd korter of langer maken.

Als besluit kunnen wij stellen dat het zonedak naar onze mening een succes is en ten volle beantwoordt aan de verwachtingen.

Uit de Vito studie leiden wij af dat de reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode in 2000 ± 20 ton per jaar bedraagt. Vermits er in 2000 door de landbouwcrisis slechts op 1/3 capaciteit gedroogd werd, kan gesteld dat bij normale capaciteitsbenutting er een CO₂-reductie van ± 60 ton per jaar zou gelden, wat voor het milieu uiteraard een goede zaak is.

Tevens wil ik al diegenen danken die bijgedragen hebben tot het welslagen van het project, zowel door hun advies, als bij de projectmatige bijdrage. Zonder beperkend te zijn, denk ik hierbij aan Jan Dumon die de voorbereidende studie deed en als projectleider optrad, de aannemer Lambert-Geerkens en zijn ploeg die door praktische tips bijdroeg tot een geslaagde uitvoering van het zonedak, de mensen van Vito die de studie en opstart begeleidden en een grondige studie maakten van de resultaten en het Vlaamse Gewest dat een subsidiesteun leverde als demoproject.

ir. Stefaan Dumon
bestuurder en technisch verantwoordelijke Daso nv

8 BESLUIT

Gedurende de zomermaanden wordt door het bedrijf Daso graszaad gedroogd met buitenlucht die verwarmd wordt via propaanbranders. Om het energieverbruik van dit proces te verminderen werd besloten om de lucht voor te verwarmen door middel van zonne-energie. De lucht wordt buiten aangezogen aan één langzijde van het dak en stroomt in een spouw gevormd door zwarte cementgolfplaten die de zonnewarmte absorberen, en een isolatielaag. Indien de luchttemperatuur te laag is kunnen propaanbranders ingeschakeld worden.

In het droogseizoen van 2000 (11 juli 2000 t.e.m. 6 oktober 2000) werd gedurende 1.739 uren (82% van de beschikbare tijd) zaden gedroogd en bedroeg de totale warmtevraag 663,2 GJ. 323,3 GJ of 48,8% werd geleverd door het zonnedak, 339,9 GJ of 51,2% werd geleverd via de propaanbranders. In augustus 2000 was de warmtevraag het hoogst (61,2% van de totale warmtevraag in 2000 of gemiddeld 13,1 GJ/dag). De piekvraag naar warmte bedroeg 382,9 kW en het hoogste thermische vermogen geleverd door het zonnedak bedroeg 306,9 kW. Gedurende 311 h leverde het zonnedak een thermisch vermogen dat hoger was dan 100 kW. Meer dan 200 kW werd geleverd gedurende 101 h.

Overdag (8:00h – 22:00h) realiseerde het zonnedak een gewogen gemiddelde temperatuursverhoging van 6,5°C met een maximum van 19,3°C. De temperatuursverhoging die 's nachts gerealiseerd wordt door het zonnedak (thermische inertie van de dakconstructie en de muren) bedroeg gemiddeld 1,2°C, het maximum bedroeg 4,2°C. Het zonnedak heeft gedurende meer dan de helft van de werkingsuren een temperatuursverhoging van 2,6°C gerealiseerd. Gedurende 240 uren werd een temperatuursverhoging van meer dan 10°C bekomen via het dak.

De zon leverde over deze meetperiode in 2000 5.209,0 GJ. Het globale rendement van het zonnedak in 2000 bedroeg dus 6,2%. Er zitten weldegelijk verschillen in de maandrendementen. In augustus 2000 werd het hoogste maandrendement (10,3%) opgetekend, in oktober werd het laagste maandrendement (0,9%) genoteerd. Wanneer gekeken wordt naar de meetwaarden op dagbasis dan bedroeg het hoogst genoteerde rendement 17,3%.

Het primair energieverbruik van de installatie (propaanbranders) bedroeg 339,9 GJ/jaar over de meetperiode in 2000. In de referentiesituatie (geen zonnedak, warmtevraag wordt volledig gedekt door de propaanbranders) zou het primair energieverbruik gelijk zijn aan 663,2 GJ/jaar. Dit betekent dat over de meetperiode in 2000 de primaire energiebesparing 323,3 GJ/jaar of 48,8% bedraagt.

De CO₂-emissie van de installatie bedroeg 21,4 ton/jaar in 2000. Indien er geen zonnedak geïnstalleerd zou zijn, dan bedroeg de CO₂-emissie over de meetperiode 41,8 ton/jaar. Dit betekent dat de reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode gelijk is aan 20,4 ton/jaar of 48,8%.

De meerkost van het zonnedak bedroeg 3.800.000 BEF. Met een onderhoudskost van 0 BEF/jaar en een energiebesparing van 171.000 BEF/jaar leidt dit tot een terugverdientijd van 22,2 jaar.