Dawid Pantera

Ring przeszklenia, czyli z pojedynczym czy podwójnym

Dlaczego niektóre kolektory próżniowe pracują słabiej?

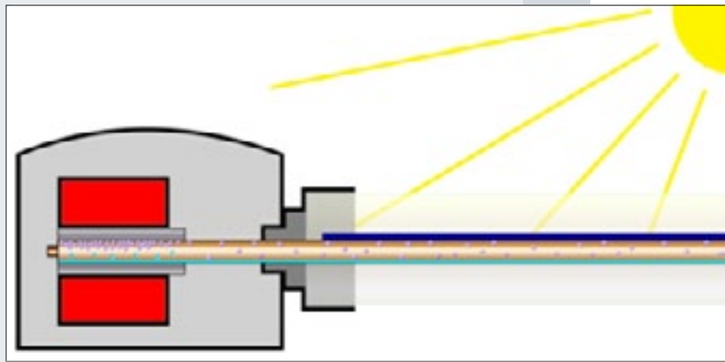
Przemiana energii słonecznej w ciepło jest identyczna w kolektorach płaskich, jak i w próżniowych. Istotne różnice polegają na izolacji cieplnej – w kolektorach próżniowych absorber znajduje się wewnątrz pojedynczej rury szklanej, w której panuje tzw. głęboka próżnia. Na rynku dostępne są także modele z podwójnym przeszkleniem, które budową przypominają termos: próżnia znajduje się pomiędzy ściankami szklanymi, a w środku termosu umieszczono absorber. Próżnia zapewnia skuteczną izolację cieplną, dzięki temu występują mniejsze straty ciepła niż w kolektorach płaskich – szczególnie w wysokiej temperaturze, kiedy problemem jest rozgrzewanie się obudowy.

Przepływ bezpośredni i heat pipe

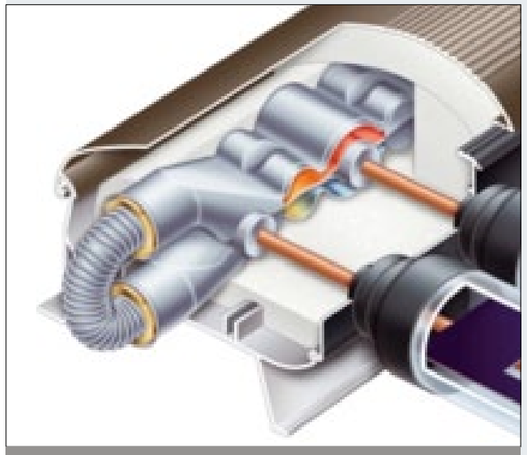
Kolektory próżniowe, rurowe dostępne są w dwóch rodzajach – z przepływem bezpośrednim oraz typu heat pipe. Przepływ bezpośredni gwarantuje najwyższe sprawności optyczne z uwagi na bezpośredni odbiór ciepła z kolektora, czynnik grzewczy przepływa bowiem przez każdą rurę. Jest to jednak technologia, od której się odchodzi, a przyczyną tego stanu są przede wszystkim problemy eksploatacyjne związanie z procesem stagnacji, które z biegiem czasu powodują zaburzenia w przepływie czynnika przez poszczególne rury i znacznie obniżają sprawność pracy kolektora. Coraz więcej produ-

Budowa i działanie rur heat pipe

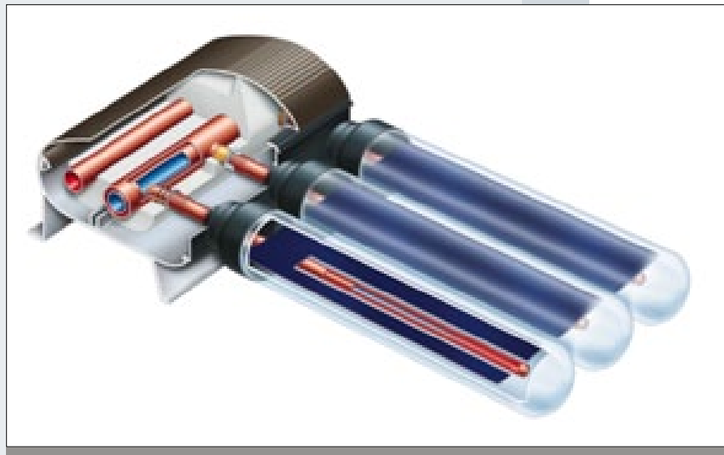
Rura kolektora próżniowego typu heat pipe to w zasadzie kolektor płaski z najlepszą możliwą izolacją, jaką stanowi tzw. głęboka próżnia. Rura typu heat pipe jest hermetycznie zamknięta i sama w sobie jest kolektorem próżniowym o niewielkiej powierzchni – połączenie poszczególnych rur w kolektorze zbiorczym tworzy baterię rur solarnych. Absorber wykonano podobnie jak w kolektorze płaskim, następnie do niego przymocowano pojedynczą rurę miedzianą transportującą ciepło. Rura miedziana napełniona jest niewielką ilością wody zdemineralizowanej z dodatkami inhibitorów (uwaga: niektórzy producenci stosują zamiast wody ciecze toksyczne). Ilość wody jest ściśle związana z producentem i zwykle ogranicza się do około 5 ml. Ciśnienie panujące wewnątrz rury miedzianej jest na tyle niskie, że już w temperaturze poniżej 28°C znajdująca się tam woda zaczyna wrzeć i przechodzić w parę. Ciepłe pary kierują się samoczynnie do górnej części do tzw. kondensatora. W kolektorze zbiorczym kondensator ma kontakt (na sucho) z czynnikiem solarnym któremu oddaje ciepło. Rura miedziana jest z zewnątrz prostą rurką o średnicy około 9 mm dzięki czemu woda może swobodnie wędrować w fazie gazowej oraz po skropleniu w fazie ciekłej.



1 Zasada działania kolektora typu heat pipe



2 Budowa kolektora próżniowego typu heat pipe z pojedynczym przeszkleniem



3 Budowa kolektora próżniowego z przepływem bezpośrednim z pojedynczym przeszkleniem

centów sięga po technologię heat pipe (tzw. rurka cieplna), która ogranicza skutki występowania stagnacji, co gwarantuje prawidłową eksploatację kolektora przez dłuższy okres czasu.

Z pojedynczym czy podwójnym przeszkleniem?

Rury solarne dostępne są z pojedynczym lub podwójnym przeszkleniem. To drugie rozwiązanie jest dość powszechne z uwagi na prostą budowę (w formie termosu) i tym samym niskie koszty produkcji. Jednak sprawność takiego kolektora, nawet optyczna, jest na bardzo niskim poziomie. Często stosowany zabieg montażu tzw. luster do skupiania promieni słonecznych nie sprawdza się w praktyce i stanowi większy problem niż pożytek. Warstwa odbijająca matowieje i w krótkim czasie przestaje spełniać swoje zadanie, jest też miejscem gromadzenia się zanieczyszczeń, a w zimie zalegania śniegu. Co ważne, **rury z podwójnym przeszkleniem nie gwarantują utrzymania szczelności rury związanej z dyfuzją gazów na przestrzeni lat**.

Testy szczelności a rodzaj przeszklenia

Każda próżniowa rura solarna musi pozytywnie przejść test szczelności. W czasie testów nie stosuje się nadciśnienia, lecz wysokie podciśnienie. Wartość ciśnienia próby wynosi 10-8 mbar (ciśnienie bezwzględne). Jeżeli rura solarna jest nieszczelna w tak niewielkim stopniu, że nie wykazały tego badania szczelności, to w najgorszym wypadku testowana rura przestanie gwarantować izolacją termiczną po upływie prawie 32 lat! (warunkiem jest wykonanie testu szczelności z wykorzystaniem spektrometru).

Ciśnienie otoczenia	1000 mbar
Graniczne ciśnienie	1 mbar (poniżej tego ciśnienia w próżniowej rurze solarnej zanika przewodzenie ciepła)
Ciśnienie panujące w nowej rurze próżniowej	0,000001 mbar

Przez szkło oraz metal, w istotnej mierze mogą dyfundować małe atomy/cząsteczki i są to wodór (H_2) oraz hel (He). Cząsteczki H_2 oraz He dyfundują z otoczenia do wnętrza rury próżniowej poprzez szkło oraz metal. Dodatkowo, cząsteczki wodoru związane w metalu (rura miedziana oraz absorber) dyfundują także do wnętrza rury próżniowej – w tym przypadku ruch odbywa się w zasadzie wewnątrz rury pojedynczo przeszklonej, ale również stanowi zagrożenie dla utrzymania niskiego ciśnienia w jej wnętrzu.

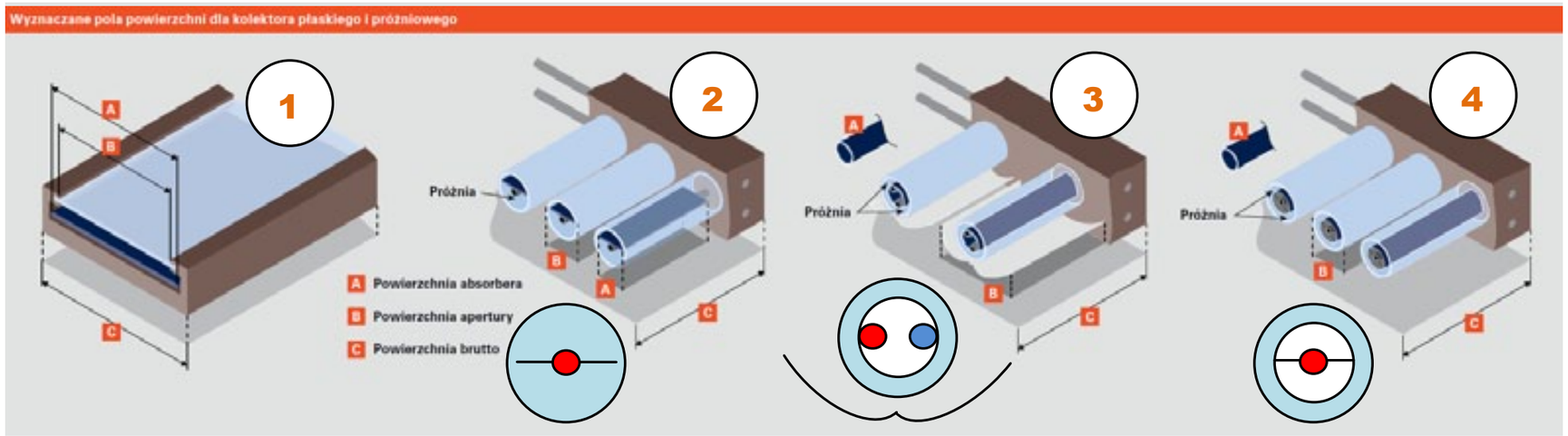
Przed montażem absorbera, metal poddawany jest wygrzewaniu do temperatury około 600°C, którą utrzymuje się przez co najmniej 30 min. Wygrzewanie powoduje usunięcie z metalu do 90% cząstek wodoru i tym samym redukuje się do minimum ilość cząstek, które mogą w późniejszym czasie dyfundować do wnętrza gotowej już rury próżniowej. Niewielka ilość cząstek wodoru, które pozostały związane w metalu mimo wszystko również stanowią zagrożenie dla utrzymania głębokiej próżni. Dlatego też wewnątrz rury montuje się specjalne tabletki tzw. gettery zawierające bar – metal bardzo aktywny chemicznie, którego zadaniem jest wiązanie (adsorbowanie) gazów resztkowych w tym cząstek wodoru H_2 z wnętrzna rury próżniowej.

Często powtarzające się pytania klientów do producentów kolektorów:
1. Jak zabezpieczony jest kolektor dla utrzymania próżni?
2. Jak ocenić, czy rura próżniowa jest szczelna?
3. Jakie medium zastosowano w rurze heat pipe?

Najważniejsze wielkości opisujące kolektor

Wymiary: w opisie kolektorów używa się trzech różnych miar ich powierzchni. Dane te dają informację o mocy i wydajności kolektorów. Jednakże literatura nie zawsze poprawnie podaje, o który rodzaj powierzchni w danym aspekcie chodzi.

Jako **powierzchnię brutto** określa się zewnętrzną powierzchnię kolektora, będącą iloczynem długości i szerokości urządzenia. Powierzchnia brutto nie wpływa na moc urządzenia, ale jest



4 Wyznaczanie pola powierzchni kolektora płaskiego i próżniowego: 1 – płaski, 2 – próżniowy typu heat pipe z pojedynczym przeszkleniem lub próżniowy z przepływem bezpośrednim z pojedynczym przeszkleniem (wtedy wewnętrzna rura jest podwójna, tzw. rura w rurze), 3 – próżniowy z przepływem bezpośrednim z podwójnym przeszkleniem (termos), 4 – próżniowy typu heat pipe z podwójnym przeszkleniem (termos)

niezbędna do projektowania, a później do montażu na połaci dachu. Jest ona również ważna w przypadku składania wniosków o dotacje na kolektory.

Powierzchnia absorbera odnosi się wyłącznie do absorbera. W absorberze ryflowanym zachodzące na siebie pojedyncze „prążki" nie są sumowane, gdyż częściowo przykryte obszary nie są wliczane do powierzchni aktywnej. Natomiast przy absorberze okrągłym zalicza się całą powierzchnię absorbera, pomimo że niektóre obszary nie są bezpośrednio wystawione na działanie promieni słonecznych (!). Podawanie takich wartości jako argumentu za danym kolektorem jest wprowadzaniem klienta w błąd.

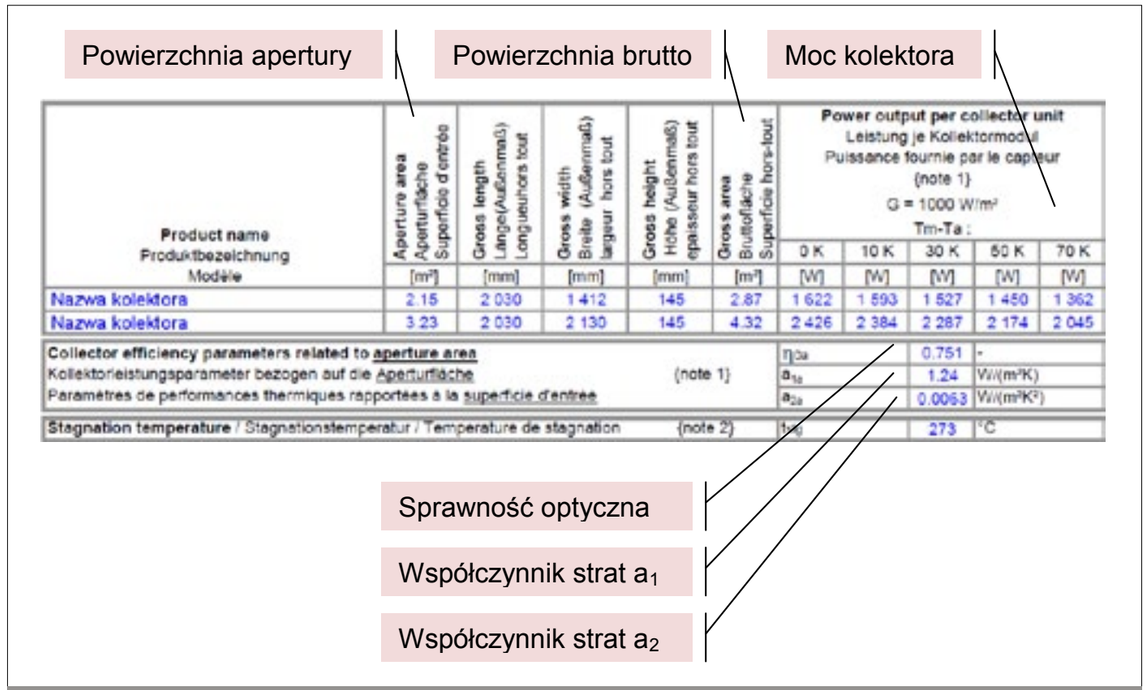
Warto sprawdzić parametry kolektora, ponieważ wiele firm w swoich materiałach podaje tylko wygodne dla siebie wartości. Certyfikaty dostępne są pod adresem: http://www.estif.org/solarkeymarknew/

W optyce aperturę określa się, mówiąc najprościej, jako średnicę otworu urządzenia optycznego, przez który wpada światło. W odniesieniu do kolektorów, powierzchnią apertury jest największa powierzchnia, na którą pada światło, a więc przez którą wpadają promienie słoneczne. W kolektorach płaskich powierzchnią apertury jest widoczny obszar na szybie kolektora, czyli obszar wewnątrz ramy kolektora, przez który wpada światło do urządzenia. W kolektorach próżniowych zarówno z płaskim, jak i z okrągłym absorberem bez powierzchni lustrzanej, powierzchnię apertury określa się jako sumę wszystkich odcinków szklanych rur. Powierzchnia apertury jest tu większa niż w kolektorach płaskich. W kolektorach rurowych, gdzie powierzchnia z lustrem leży po jego spodniej stronie, powierzchnię naświetloną zwierciadłem określa się mianem powierzchni apertury.

Sprawność kolektora jest zależna od ilości promieni słonecznych padających na aperturę powierzchni kolektora, która z kolei zamienia je na potrzebne ciepło. Jako aperturę powierzchni, określa się powierzchnię kolektora, na którą pada słońce. Sprawność działania kolektora jest między innymi zależna od jego rodzaju konstrukcji i użytych materiałów. Część napromieniowania słonecznego padającego na kolektor jest odbijana i absorbowana przez szybę kolektora.

Z zależności pomiędzy całkowitą wartością napromieniowania słonecznego padającego na kolektor, a tą jego częścią, która została przetworzoną przez absorber w ciepło, można wyliczyć sprawność kolektora. Tzw. optyczny współczynnik sprawności, określany jako η0 jest sprawnością określoną przy warunkach zerowej różnicy temperatury pomiędzy temperaturą czynnika solarnego a temperaturą otoczenia. Kiedy kolektor nagrzeje się dzięki promieniom słonecznym, oddaje część ciepła do otoczenia – poprzez izolację, promieniowanie cieplne obudowy kolektora i konwekcję (ruch powietrza). Te straty można wyliczyć za pomocą współczynników strat ciepła a1 i a2 i różnicy temperatury między absorberem, a środowiskiem. Optyczny współczynnik sprawności i współczynniki strat ciepła są określane wg europejskich norm EN 12975.

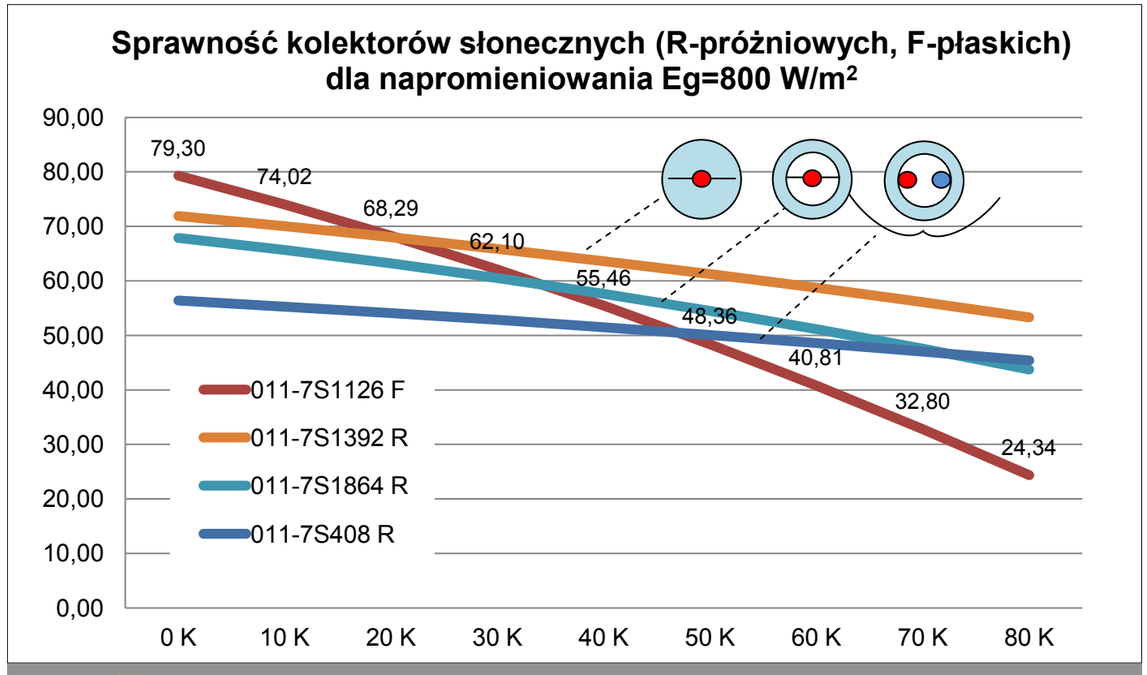
Obok (wykres 1) przykład parametrów podawanych w certyfikacie SolarKeyMark dla kolektora próżniowego.



Product name / Produktbezeichnung / Modèle	Aperture area / Aperturfläche / Superficie d'entrée [m²]	Gross length / Länge (Außenmaß) / Longueur hors tout [mm]	Gross width / Breite (Außenmaß) / largeur hors tout [mm]	Gross height / Höhe (Außenmaß) / épaisseur hors tout [mm]	Gross area / Bruttofläche / Superficie hors-tout [m²]	Power output per collector unit / Leistung je Kollektormodul / Puissance fournie par le capteur (note 1) G = 1000 W/m² Tm-Ta : 0 K [W]	10 K [W]	30 K [W]	50 K [W]	70 K [W]
Nazwa kolektora	2.15	2 030	1 412	145	2.87	1 622	1 593	1 527	1 450	1 362
Nazwa kolektora	3.23	2 030	2 130	145	4.32	2 426	2 384	2 287	2 174	2 045

Collector efficiency parameters related to aperture area / Kollektorleistungsparameter bezogen auf die Aperturfläche / Paramètres de performances thermiques rapportées à la superficie d'entrée (note 1)	η_{0a}	0.751	-
	a_{1a}	1.24	W/(m²K)
	a_{2a}	0.0063	W/(m²K²)
Stagnation temperature / Stagnationstemperatur / Température de stagnation (note 2)	t_{stg}	273	°C

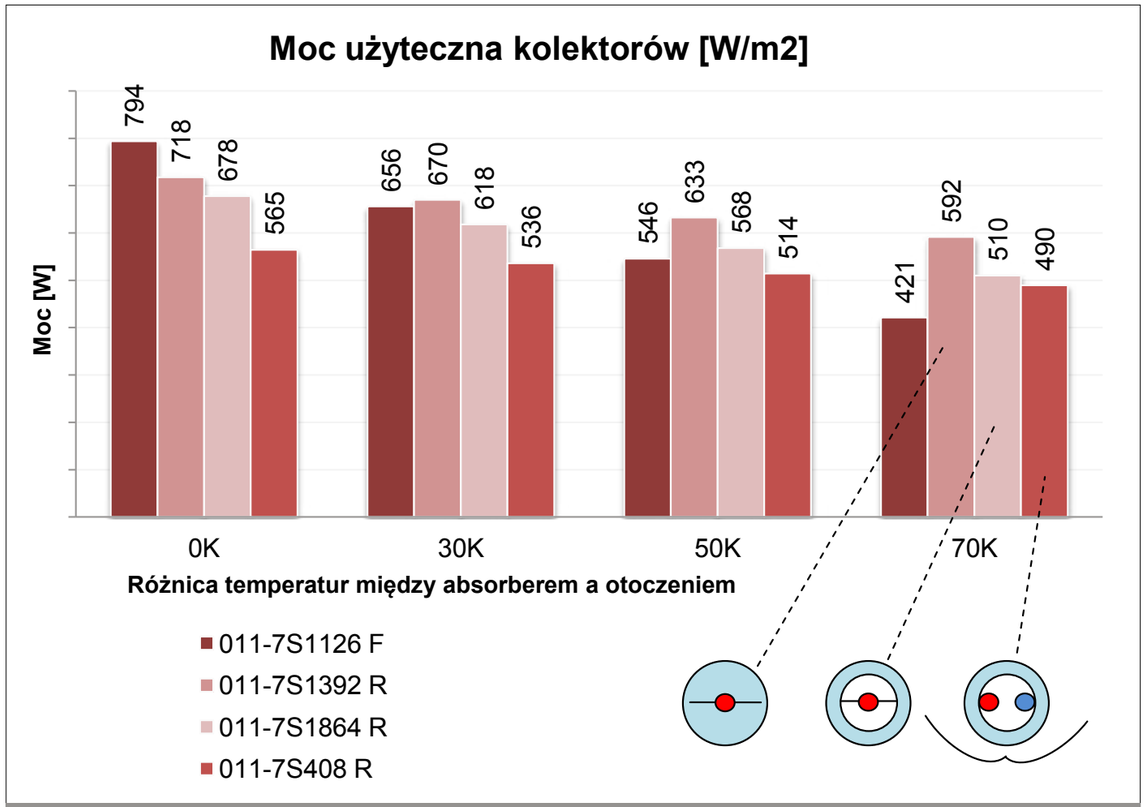
Wykres 1 Przykład parametrów w certyfikacie SolarKeyMark dla kolektora próżniowego



Wykres 2 Przykładowe wykresy sprawności kolektorów słonecznych

Moc maksymalną kolektora definiuje się jako iloczyn optycznego współczynnika sprawności i przyjętego napromieniowania np. 1000 W/m². Przy przyjętym optycznym współczynniku sprawności wynoszącym 78%, moc maksymalna wynosi 0,78 kW/m² powierzchni kolektora. Jednakże z uwagi na różne warunki operowania słońca i występujące straty ciepła do otoczenia, przy normalnej pracy kolektor rzadko osiąga tę wartość. Wartości mocy dla różnych Δt pomiędzy absorberem a otoczeniem podane są w certyfikacie SolarKeyMark. Analizując podane wartości, można dojść do bardzo ciekawych wniosków.

Wykres 3 przedstawia moc użyteczną różnych kolektorów w odniesieniu do metra kwadratowego powierzchni absorbera – wskazuje zatem spodziewaną moc rzeczywistą niezależnie od wielkości kolektora. Okazuje się, że kolektor płaski wykazuje większą moc niż kolektory próżniowe… ale tylko w niskich różnicach temperatury między otoczeniem a absorberem. Dopiero większa różnica temperatury powoduje wzrost udziału strat ciepła do otoczenia i jego moc wyraźnie spada. Najniższe słupki mocy użytecznej to kolektory próżniowe z podwójnym przeszkleniem – a więc z dwukrotnie większą przeszkodą dla promieni słonecznych. Nawet dodatkowe zabiegi związane z montażem lustra nie pomagają w osiąganiu wyższych wartości.



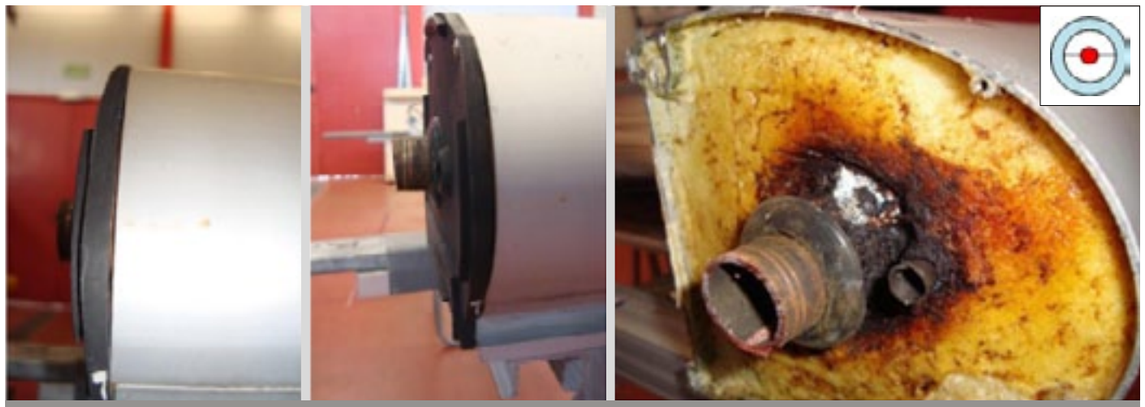
Wykres 3 Porównanie mocy użytecznych kolektorów dla różnych różnic temperatury i wartości napromieniowania G=1000 W/m2

Testy „starzenia" prowadzone na kolektorach

Kolektory słoneczne wg założenia mają wspomagać ogrzewanie co oznacza, że ich dobór powinien gwarantować maksymalnie długie czasy pracy bez zatrzymywania się szczególnie w okresie sporego nasłonecznienia. Nie trzeba przecież nikogo przekonywać, że nawet najlepsze kolektory przynoszą oszczędności tylko wtedy, gdy pracują. Jeżeli kolektory nie mają gdzie oddać ciepła, instalacja solarna może ulec przegrzaniu, a jest to sytuacja absolutnie niekorzystna. Nie chodzi tylko o płyn solarny, który z biegiem czasu ulega degradacji (rozwarstwieniu), ale chodzi także o sam kolektor.

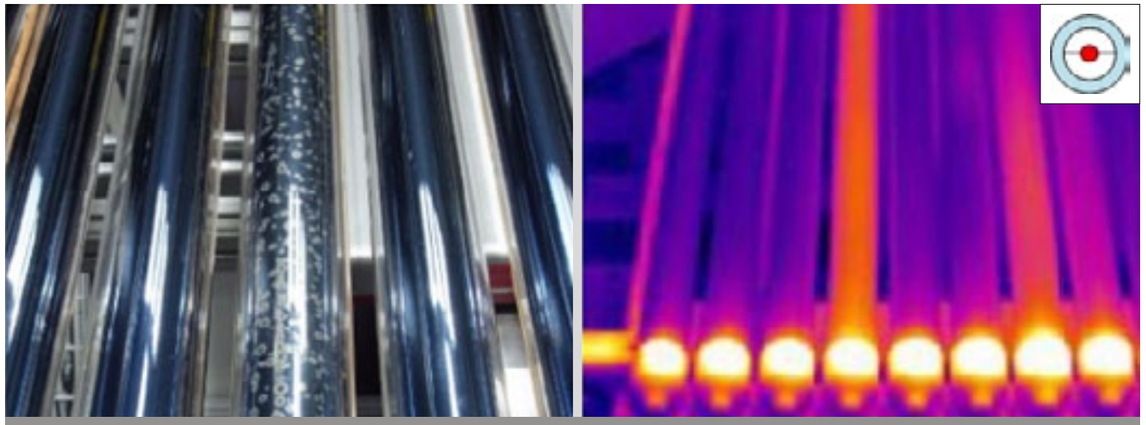
Często powtarzające się pytania Klientów do producentów kolektorów
1. Jaka jest sprawność optyczna kolektora?
2. Jak jest moc użyteczna kolektora?

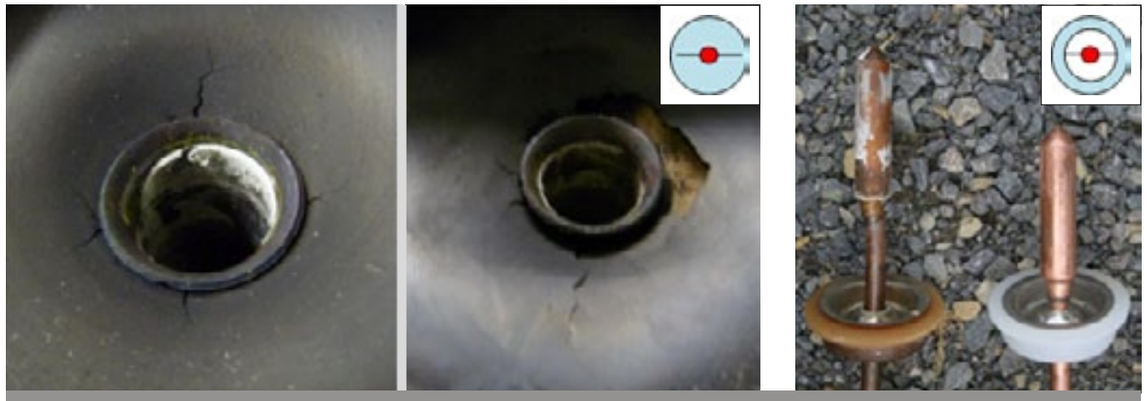
Centrum CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) wraz z kilkoma laboratoriami europejskimi przeprowadziło ciekawe testy prób starzenia przez okres jednego roku 20 kolektorów próżniowych i 1 kolektora płaskiego (data raportu: 18.06.2012). W przedsięwzięciu uczestniczyły laboratoria z Niemiec, Portugalii, Szwajcarii, Austrii, Francji i Szwecji. Okres ekspozycji wynoszący jeden rok jest ciężką próbą starzenia, która wywołuje niekorzystne skutki w niektórych kolektorach słonecznych. Badania przeprowadzono przed i po trwającej jeden rok ekspozycji, a potem porównano wyniki. Jak można było się domyślać stan kolektorów w mniejszym lub mniejszym stopniu uległ pogorszeniu (spadek sprawności, wzrost lub spadek współczynników strat). Różnice w sprawności cieplnej pomiędzy stanem początkowym a stanem końcowym mogą mieścić się w przedziale od +1% do nawet -33%! Należy zaznaczyć, że jeden rok stagnacji na sucho nie jest typowym i powszechnym wykorzystaniem kolektorów.



5 Problemy z kolektorem zbiorczym po długotrwałej próbie ekspozycyjności

6 Problemy zaobserwowane w żebrach kolektora – oddzielenie elementów przewodzących ciepło


7 Widok zniszczonej rury (pęcherze i utrata próżni)


8 Zesztywnienie i popękanie uszczelek w kolektorze zbiorczym a także przy górnym końcu rurki kondensatora (tzw. naczynia Dewara)

Jednak przeprowadzony test jest odpowiedzią, jak dany kolektor będzie wytrzymywał lata pracy na dachu u Klienta.

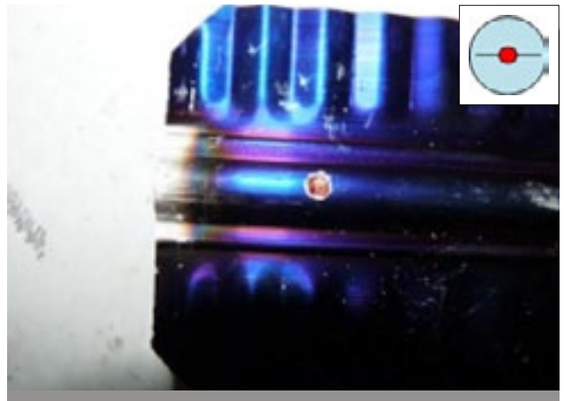
Poniżej przykłady uszkodzeń kolektorów próżniowych typu heat pipe po próbie starzenia.

- Problemy z kolektorem zbiorczym po długotrwałej próbie ekspozycyjności – zaobserwowano deformację spowodowaną rozszerzaniem się poliuretanu. Paczenie obudowy powoduje jej rozszczelnienie przez co woda łatwo może wnikać do wnętrza. Zmiana koloru i pogorszenie stanu izolacji termicznej (rys. 5).
- Problemy zaobserwowane w żebrach kolektora polegające na rozwarstwieniu i oddzieleniu rury heat pipe od absorbera, tym samym pogorszeniu ulega sprawność przekazywania ciepła (rys. 6).
- W innym kolektorze zaobserwowano powstanie pęcherzy na powłoce absorbera oraz utratę próżni, co ewidentnie wpływa na obniżenie sprawności (rys. 7).
- Zesztywnienie i popękanie uszczelek pomiędzy rurkami grzewczymi a kolektorem zbiorczym (rys. 8), oraz połamanie uszczelek w ramie kolektora (rys. 9).
- Lokalne uszkodzenie powłoki absorbera (rys. 10).
- Utrata płynu z rurki heat pipe (rys. 11).

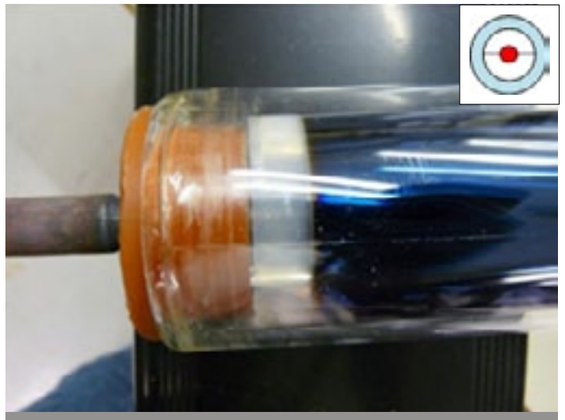
Nie we wszystkich jednak kolektorach przeprowadzono kontrolę ilości cieczy: tam gdzie była woda z inhibitorami – tak, a tam gdzie ciecz toksyczna – nie.

- Ślady korozji na kondensatorze pary (rys. 12).
- Poważne odbarwienia i spadek skutecz-

9 Popękana uszczelka w ramie kolektora


10 Lokalne uszkodzenie powłoki absorbera

11 Utrata płynu w rurach heat pipe



12 Osad na szklanej rurce wewnętrznej. Ślady korozji na kondensatorze pary

13 Zmiana barwy i właściwości izolacja termicznej kolektora zbiorczego

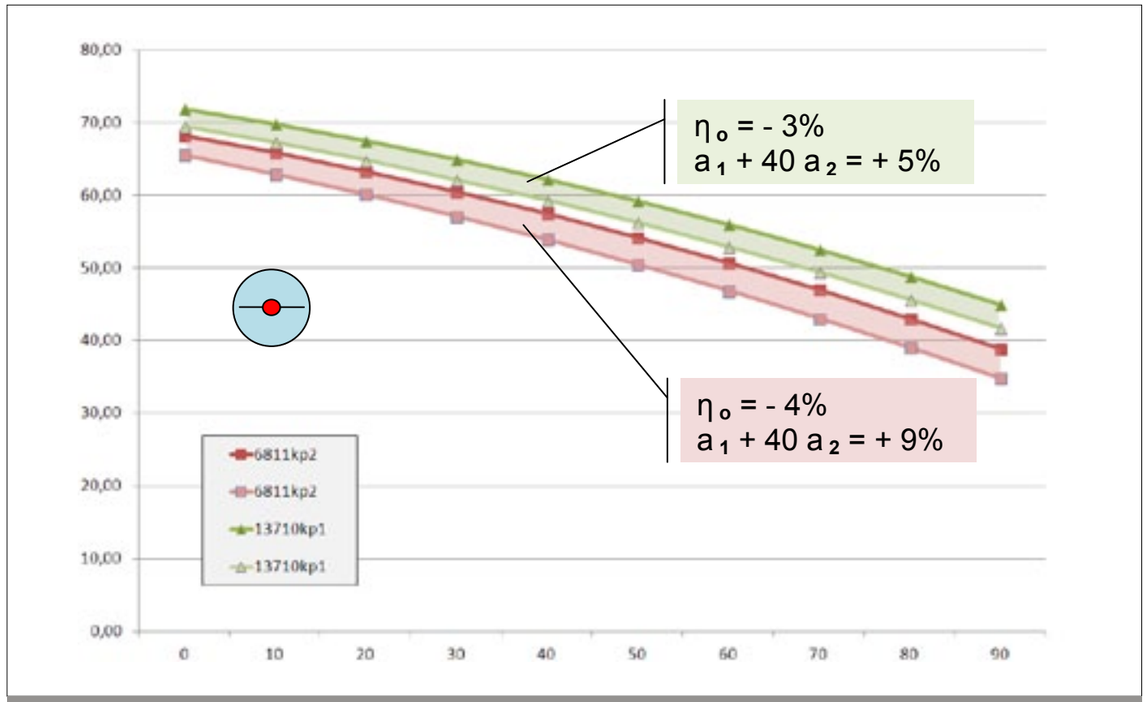
14 Wyschnięta pasta przenosząca ciepło na aluminiowej rurce przy kondensatorze pary

ności izolacji termicznej kolektora zbiorczego (rys. 13).

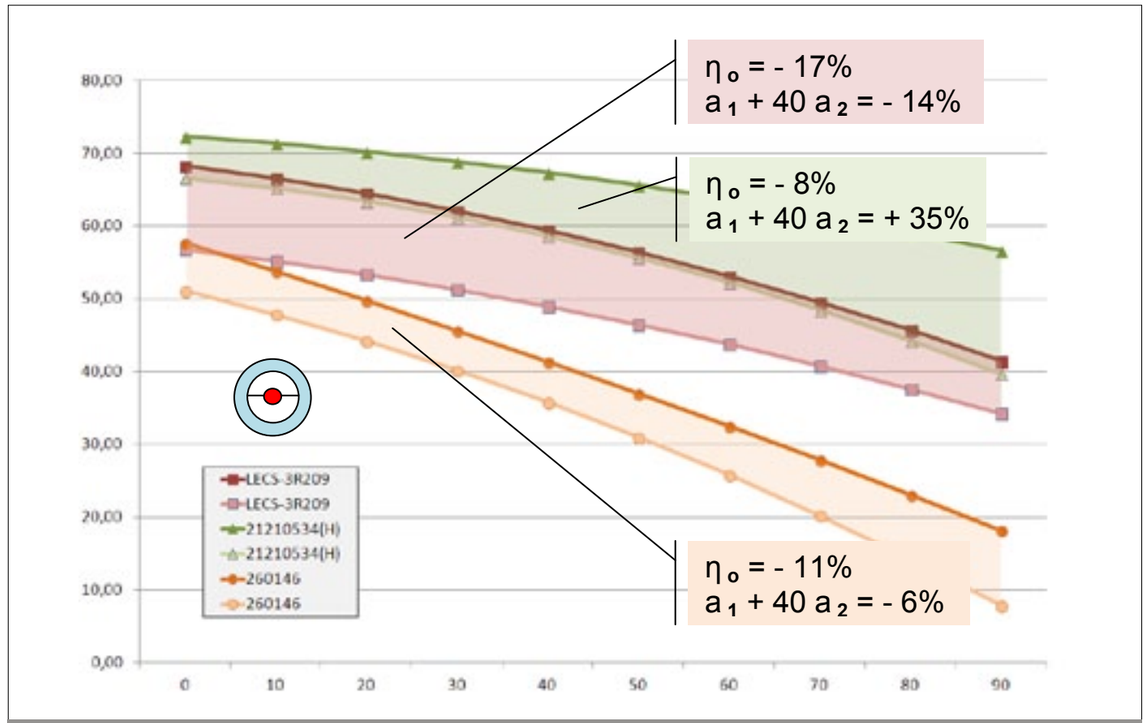
- Wysychanie pasty przewodzącej ciepło (rys. 14).

Bilans zysków i strat, czyli... najlepsze z pojedynczym przeszkleniem

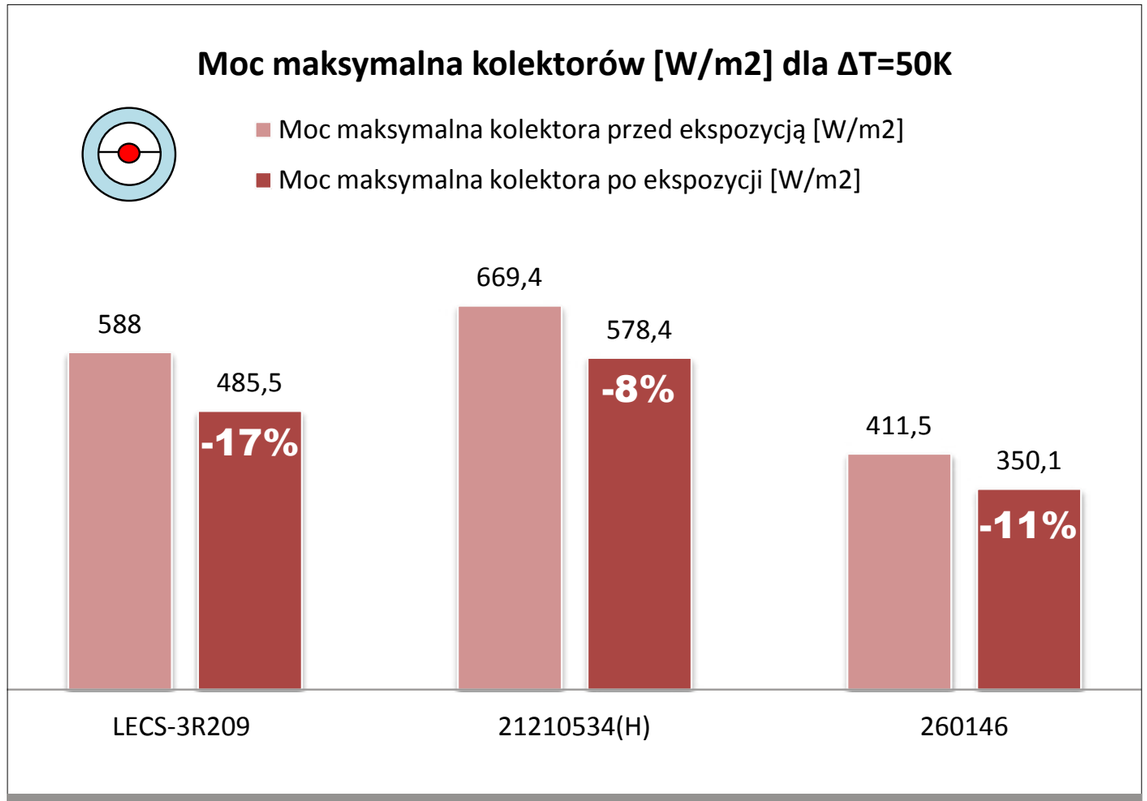
W zestawieniu końcowym najkorzystniej wypadły kolektory typu heat pipe z pojedynczym przeszkleniem, których sprawność spa-



Wykres 4 Sprawności kolektorów z pojedynczym przeszkleniem przed i po czasie ekspozycji



Wykres 5 Sprawności kolektorów z podwójnym przeszkleniem przed i po czasie ekspozycji



Wykres 6 Moc maksymalna kolektorów przed i po czasie ekspozycji

dła średnio o 3,5%, czego przyczyną była wyschnięta pasta przewodząca ciepło. Po ponownym nałożeniu pasty na kondensatory, spadek sprawności wynosił już tylko niecałe 2%. Średni wzrost współczynników strat ciepła wyniósł 7% (wykres 4). Warto dodać, że są to wartości niemal identyczne, jak dla kolektora płaskiego poddanego takim samym testom „starzenia".

Odwrotny biegun stanowią kolektory z podwójnym przeszkleniem, których uszkodzenia były trwałe i powodujące spadek sprawności średnio o 11%, a skrajnie nawet o 19%. Współczynniki strat wzrosły średnio o 5%, przy czym skrajnie nawet o 35% (wykres 5).

Jeżeli współczynniki sprawności oraz strat ciepła wykorzystamy do obliczenia mocy użytecznej kolektorów, wyniki są jeszcze bardziej przekonujące. Kolektory z pojedynczym przeszkleniem wykazują spadek mocy średnio o 4,5%, natomiast kolektory z przeszkleniem podwójnym średnio o ponad 12% (wyk. 6). Oznacza to spadek ilości energii uzyskiwanej z kolektorów i mniejsze oszczędności wynikające z pracy instalacji solarnej.

Literatura:

Podręcznik architekta, projektanta i instalatora. Kolektory słoneczne, Viessmann 08.2010.
Raport QAiST (QualityAssurance In Solar and Heating and Cooling Technology), 18.06.2012.