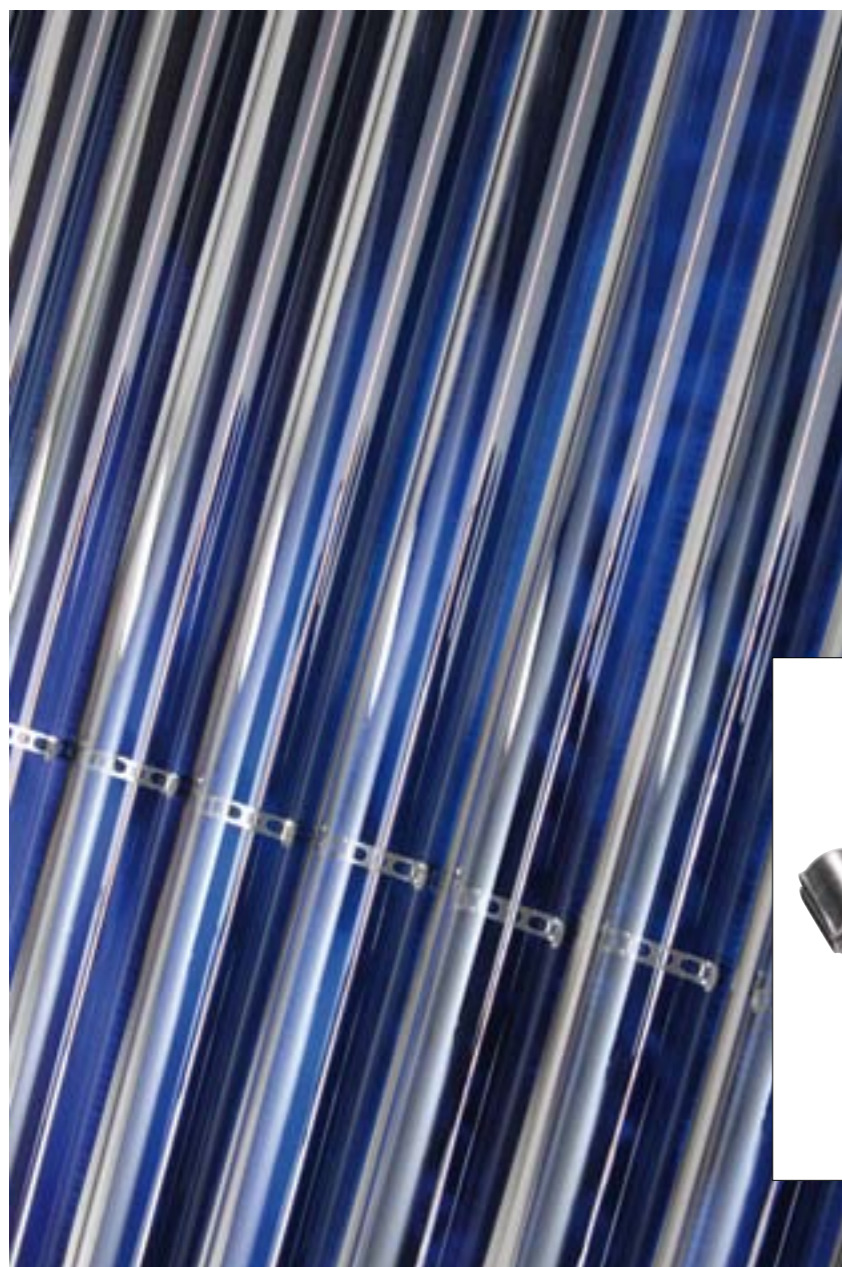


► Dawid Pantera

O detalach budowy odpowiedzialnych za jakość Kolektory próżniowe typu HeatPipe „dobrze zbudowane”



Popularność kolektorów próżniowych w Polsce jest na tle Europy zjawiskiem dość wyjątkowym – w zasadzie wiele przemawia za wyborem kolektora płaskiego, a jednak okazuje się, że około 25% zapytań o kolektory słoneczne dotyczy właśnie kolektorów próżniowych.



1 Stożkowane zakończenie wewnętrznej części rury miedzianej zapobiega pękaniu w razie ewentualnego zamarzania wody wewnątrz rury



2 Jedno z pierwszych rozwiązań zakończenia rury miedzianej – znane były przypadki pęknięcia spowodowane zamarzaniem wody wewnątrz rury

■ Dlaczego kolektor próżniowy i... jaki najlepszy?

Istnieją 3 sposoby przekazywania ciepła: konwekcja, przewodzenie i promieniowanie. Największy udział strat ciepła w kolektorze odbywa się przez przewodzenie, które można jednak niemal całkowicie ograniczyć, zapewniając ciśnienie w otoczeniu absorbera poniżej 1 mbar (ciśnienie bezwzględne). O ile osiągnięcie tak niskiego ciśnienia nie jest większym problemem, o tyle sporo wysiłku wymaga utrzymanie tego ciśnienia przez jak najdłuższy czas.

Można wskazać 3 podstawowe wyzwania, przed którymi stoją producenci próżniowych kolektorów słonecznych:

1. Rura próżniowa musi być szczelna. Szczelność połączeń szkło-metal, zakończe-

nie rury itd. Wymagana możliwie duża szczelność na dyfuzję gazów do wnętrza rury.

2. Szczelność rury musi zostać potwierdzona.

Wymagane bardzo dokładne próby szczelności potwierdzające zdatność rury do wieloletniej eksploatacji.

3. W czasie wieloletniej eksploatacji musi istnieć możliwość wiązania gazów resztkowych dyfundujących do wnętrza rury.

Służy to utrzymaniu niskiego ciśnienia w rurze i tym samym eliminowaniu strat ciepła przez przewodzenie.

Kolektory próżniowe, rurowe dostępne są w dwóch rodzajach – z przepływem bezpośrednim oraz typu HeatPipe. Przepływ bezpośredni, mimo że gwarantuje najwyższe sprawności optyczne, jest technologią,

od której się odchodzi. Przyczyną są przede wszystkim problemy eksploatacyjne związane z procesem stagnacji, które z biegiem czasu powodują zaburzenia w przepływie czynnika przez poszczególne rury i znacznie obniżają sprawność pracy kolektora. Nie bez znaczenia są także wyższe koszty wykonania instalacji z uwagi na wymagane większej pojemności naczyń przeponowe i większe wymagane ilości czynnika solarnego, a także problemy związane z odpowietrzeniem ukła-

du w czasie jego napełniania. Coraz więcej producentów sięga po technologię HeatPipe (tzw. rurka cieplna), która ogranicza do minimum skutki występowania stagnacji, co gwarantuje prawidłową eksploatację kolektora przez dłuższy okres czasu.

Absorber w kolektorach HeatPipe

Rura kolektora próżniowego typu HeatPipe to w zasadzie kolektor płaski z najlepszą

możliwą izolacją jaką stanowi tzw. głęboka próżnia. Rura typu HeatPipe jest hermetycznie zamknięta i sama w sobie jest kolektorem próżniowym o niewielkiej powierzchni – połączenie poszczególnych rur w kolektorze zbiorczym tworzy baterię rur solarnych. Absorber wykonany jest z miedzi pokrytej powłoką selektywną, a do niego przyspawana jest pojedyncza rura miedziana transportująca ciepło. Rura miedziana napełniona jest niewielką ilością wody zdemineralizowanej z dodatkami inhibitorów. Ilość wody jest ściśle związana z producentem, lecz zwykle ogranicza się do około 5 ml. Ciśnienie panujące wewnątrz rury miedzianej jest na tyle niskie, że już przy temperaturze poniżej 30°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. W sposób specjalny wykonane jest zakończenie rury w jej dolnej części. Strona wewnętrzna uformowana jest stożkowo, co zapobiega pękaniu rury w czasie ewentualnego zamarzania wody wewnątrz rurki miedzianej (stożek powoduje rozkład sił towarzyszących zamarzaniu wzdłuż rury). Dodatkowo stosuje się stop miedzi o możliwie dużej wytrzymałości. W czasie produkcji przeprowadza się testy szczelności rury helem pod ciśnieniem.

Jakie szkło, czyli pojedyncze czy podwójne przeszklenie?

Rury solarne dostępne są z pojedynczym lub podwójnym przeszkleniem (tzw. typ Sydney).



3 Termokompresja: połączenie o dużej powierzchni styku i dużej wytrzymałości mechanicznej. Stosowane od lat nie tylko przy produkcji rur próżniowych



4 Bezpośrednie przejście rury miedzianej przez szkło. Technologia z powodzeniem stosowana przy produkcji solarnych rur próżniowych – wymaga elastycznego połączenia z kondensatorem z uwagi na geometrię połączenia i zastosowane materiały

Testy szczelności rury próżniowej

Każda próżniowa rura solarna musi pozytywnie przejść test szczelności. W czasie testów szczelności nie stosuje się nadciśnienia, lecz wysokie podciśnienie. Wartość ciśnienia próby wynosi zaledwie 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 następującego czasu (wskazówka: pojemność rury próżniowej wynosi 10 litrów):

- Testy szczelności z wykorzystaniem pomiaru różnicy ciśnienia:

$$Czas = \frac{(1\text{mbar} - 10^{-6}\text{mbar}) * 10\text{l}}{10^{-3}\text{mbar} * \text{s}} = 9999,99 \text{ s} = 2,78 \text{ h}$$

- Testy szczelności z wykorzystaniem spektrometru:

$$Czas = \frac{(1\text{mbar} - 10^{-6}\text{mbar}) * 10\text{l}}{10^{-8}\text{mbar} * \text{s}} = 999.999.000 \text{ s} = 31,7 \text{ lat}$$

Wniosek: Jeżeli rura solarna przeszła pozytywne testy szczelności przy wykorzystaniu spektrometru to gwarantuje szczelność przez co najmniej 32 lata (czyli po czasie 32 lat wewnątrz rury ciśnienie może wzrosnąć do granicznego ciśnienia parowania 1 mbar – ciśnienie bezwzględne)!

Ciśnienie otoczenia:	1000 mbar
Graniczne ciśnienie parowania:	1 mbar Poniżej tego ciśnienia w próżniowej rurze solarnej zanika przewodzenie ciepła (brak strat ciepła).
Ciśnienie panujące w nowej rurze próżniowej:	10 ⁻⁶ mbar

Tabela 1 Wartości istotnych ciśnienia przy produkcji kolektorów próżniowych

Przez pomiar różnicy ciśnień	Dokładność pomiaru do 10 ⁻³ mbar*l/s
Przez pomiar spektrometrem	Dokładność pomiaru do 10 ⁻⁸ mbar*l/s

Tabela 2 Powszechne metody testowania szczelności rur próżniowych

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. Rozwiązanie z podwójnym przeszkleniem utrudnia także pracę kolektora zimą, a więc w okresie kiedy uważa się, że kolektory próżniowe powinny pracować wydajniej od kolektorów płaskich. **Rozwiązanie z pojedynczym przeszkleniem, oferowane przez niewielu producentów, to technologia gwarantująca wyższe sprawno-**

ści i lepsze wartości współczynników strat ciepła niż dobrej klasy kolektory płaskie.

Wynika to z faktu zastosowania cieńszego szkła niż w kolektorze płaskim, w dodatku z powłoką antyrefleksyjną, oraz oczywiście wykorzystania najlepszej możliwej izolacji cieplnej – próżni. Rura szklana dostępna jest najczęściej w dwóch rodzajach, jako szkło borowo-krzemianowe o grubości 2 mm oraz sodowo-wapienne o grubości 1,6 mm. Od rury szklanej wymaga się dużej odporności na zmiany temperatury, oraz uszkodzenia mechaniczne (badania wg normy EN12975-2). Szkło musi także stanowić maksymalnie szczelną barierę przed dyfuzją cząstek gazów do wnętrza rury. Różnica ciśnienia pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną częścią rury to „zaledwie” 1 bar, ale cząsteczki gazów atmosferycznych bardzo chętnie będą próbowały dyfundować do wnętrza rury przez ścianki szkła, co prowadzi do podnoszenia ciśnienia wewnątrz i wzrost strat ciepła. Szkło borowo-krzemianowe wykazuje najlepszą odporność mechaniczną i szczelność przed dyfuzją gazów.

Uszczelnienie przejścia rury miedzianej przez szkło

Dużym wyzwaniem jest szczelne połączenie szkła i metalu.

W rurach typu HeatPipe z pojedynczym przeszkleniem można spotkać dwa rozwiązania: termokompresja oraz przejście bezpośrednie (połączenie fizyko-chemiczne).

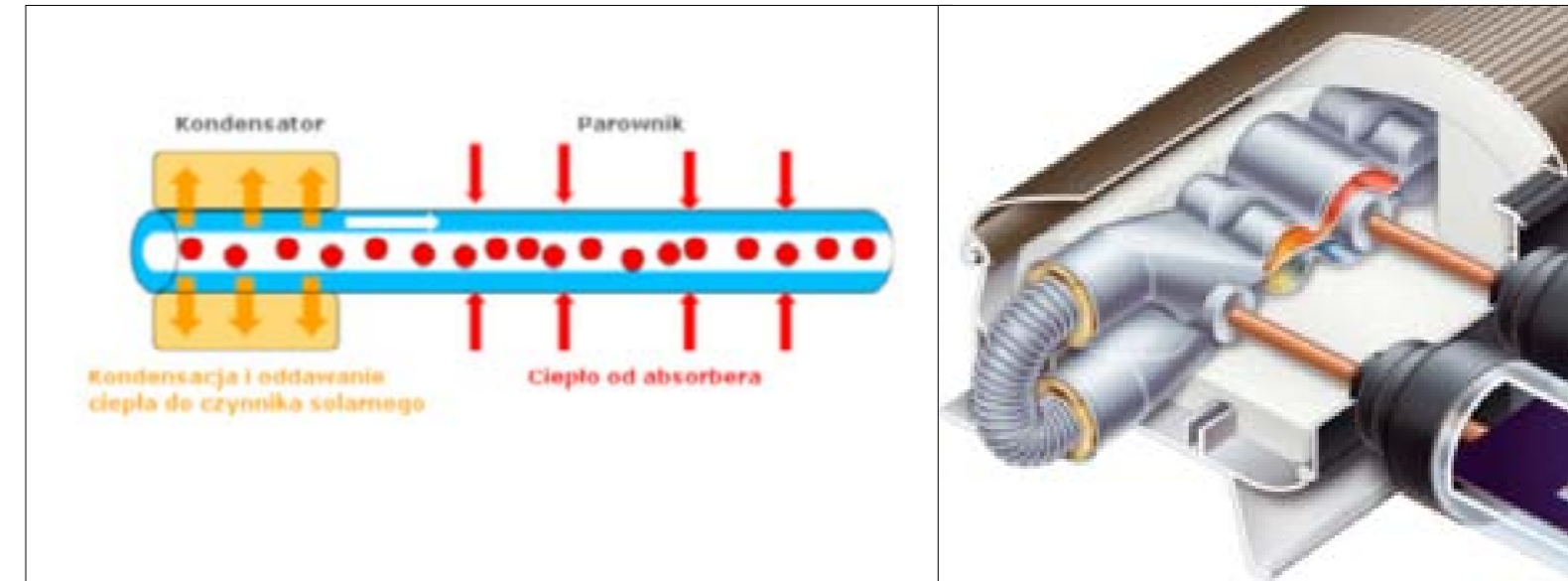
Proces termokompresji stanowi bardzo stabilne połączenie metalu i szkła i jest z powodze-

niem stosowany na rynku już od ponad 25 lat. Proces ten został opatentował przez firmę Donier-Prinz, a na szeroką skalę po raz pierwszy zastosowała go firma Philips w produkcji telewizorów kineskopowych. Co ważne, element łączący jest stopem metali o współczynnikiem rozszerzalności cieplnej identycznym jak szkło. Technologia bezpośredniego przejścia przez szkło jest również stosowana od wielu lat, a charakterystycznym elementem tego rozwiązania jest elastyczne połączenie z kondensatorem znajdującym się na zakończeniu rury w jej górnej części. Elastyczne połączenie jest wymagane z uwagi na występujące w czasie pracy kolektora naprężenia, które związane są ze zmianami temperatury i specyficznym ukształtowaniem rury szklanej w miejscu przejścia rury miedzianej.

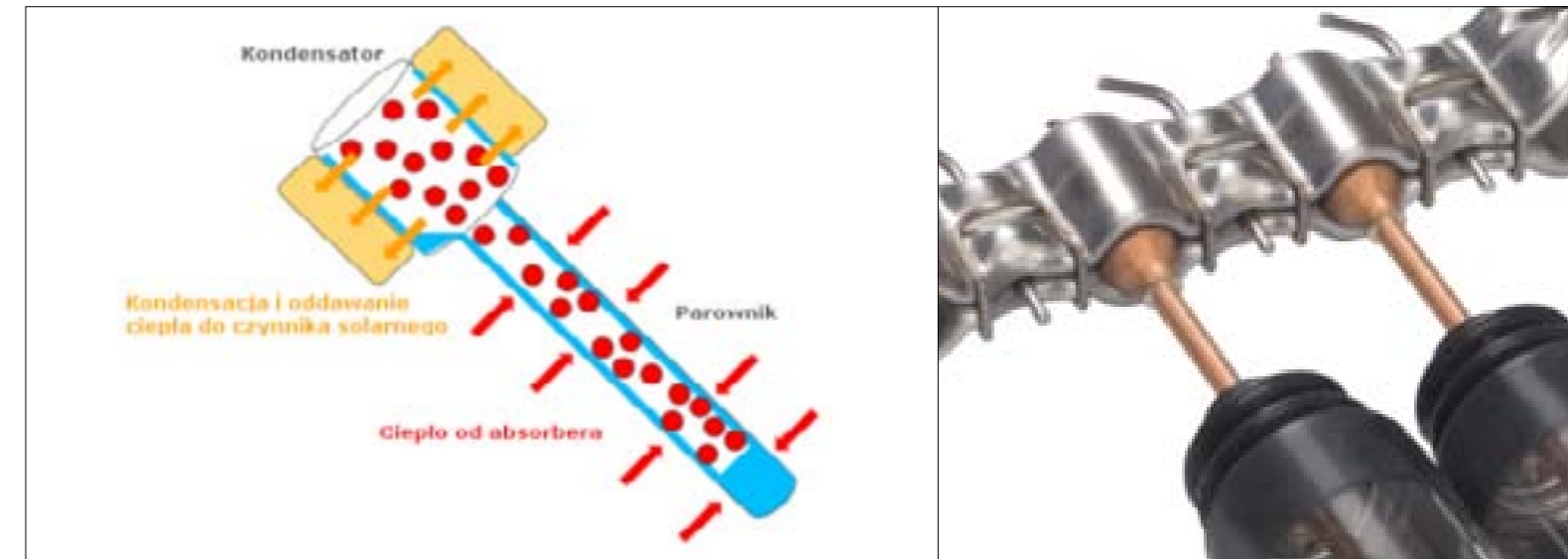
Dodatkowe rozwiązania dla utrzymania głębokiej próżni wewnątrz rury

Nieco chemii i fizyki... Skład powietrza to mniej więcej: 78% azot, 21% tlen, 0,9% argon, oraz 0,1% pierwiastki śladowe jak 0,038% CO₂, czy 0,000524% Hel.

Przez szkło oraz metal w istotnej mierze mogą dyfundować jedynie małe atomy/cząsteczki i są to wodór (H₂) oraz hel (He). Cząsteczki H₂ oraz He dyfundują z otoczenia do wnętrza rury próżniowej poprzez szkło oraz metal (rura miedziana). Dodatkowo, cząsteczki wodoru H₂ związane w metalu (rura miedziana oraz absorber) dyfundują także do wnętrza rury próżniowej – w tym przypadku ruch odbywa się wewnątrz rury, ale również stanowi



6 Schemat pracy rury typu HeatPipe do uniwersalnego montażu

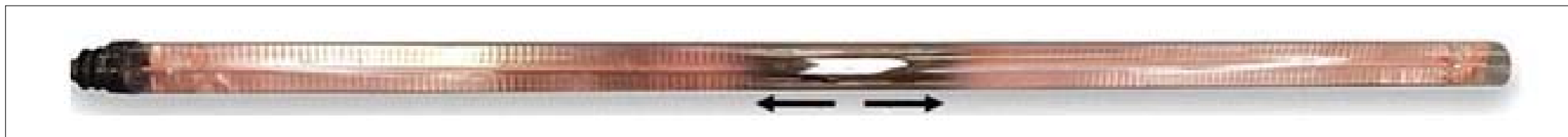


7 Schemat pracy rury typu HeatPipe z rozszerzonym zakończeniem rury miedzianej (kondensator)

zagrożenie dla utrzymania niskiego ciśnienia wewnątrz rury.

Przed montażem absorbera do rury szklanej, miedź poddawana jest wygrzewaniu do temperatury około 600°C, którą utrzymu-

je się przez co najmniej 30 min. Wygrzewanie miedzi 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



5 Widoczna w środkowej części srebrzysta warstwa, zwana testerem próżni. Zmiana barwy na białą jest oznaką nieszczelności

specjalne tabletki tzw. gettery zawierające bar – metal bardzo aktywny chemicznie, którego zadaniem jest wiązanie (adsorbowanie) gazów resztkowych w tym cząstek wodoru H_2 z wnętrza rury próżniowej. Producenci rur próżniowych montują jeden lub dwa gettery – im więcej tym trwałość próżni powinna być zachowana przez dłuższy czas. Dodatkowo napylana jest warstwa gettera na wewnętrznej części rury – zabarwienie srebrne pochodzi od baru, który reagując z powietrzem zabarwia się na biało, tym samym można bardzo łatwo ocenić szczelność rury.

Typy kondensatorów

Rury HeatPipe dostępne są w rozwiązaniach z kondensatorem w postaci rozszerzonej mie-

dzianej rury, będącej przedłużeniem rury biegnącej pod absorberem lub w postaci nakładanej aluminiowej tulei. W obu przypadkach kondensator styka się z kolektorem zbiorczym, przez który płynie czynnik solarny. Rozwiązanie z aluminiową tuleją obniża nieco sprawność kolektora z uwagi na dodatkowy materiał przekazujący ciepło, pozwala jednak na większe możliwości dotyczące montażu kolektora. Rurka miedziana na całej długości jest o takiej samej średnicy, co pozwala na montaż kolektora z rurami skierowanymi pionowo lub poziomo na fasadzie budynku, a także montaż płasko na podłożu czy dachach płaskich. W rzeczywistości oryginalne elementy montażowe gwarantują zachowanie minimalnego, niezauważalnego kąta pochylenia rur (kolektor zbiorczy jest około 1 cm wyżej). ■

HeatPipe a płaskie – które, kiedy i dlaczego?

Cena. Kolektory próżniowe typu HeatPipe, dobrej klasy są technicznie bardzo zaawansowanym produktem – stąd różnica cenowa w stosunku do kolektorów płaskich.

Trwałość. Rura, która pozytywnie przeszła badania szczelności, powinna podczas prawidłowej eksploatacji gwarantować długie lata pracy bez strat ciepła.

W instalacji c.o. Minimalna pojemność cieczowa kolektora to mniej płynu solarnego w instalacji, łagodniejsze skutki ewentualnej stagnacji i mniejsze naczyńia przepływowe. Także instalator ma prościej – układ można napełnić i odpowietrzyć nawet przed montażem rur próżniowych. Próżniowy kolektor to również lepsze rozwiązanie do wspomagania centralnego ogrzewania i wspomagania ogrzewania

wody basenowej – mam tu na myśli tylko i wyłącznie instalacje, gdzie obie te funkcje występują jednocześnie.

Do budynków wysokich. Również dachy budynków wysokich lepiej wyposażać w kolektory próżniowe, o ażurowej konstrukcji nieostwarzającej bariery dla wiatrów i niewymagających tak dużych obciążeń balastowych, jak to jest w przypadku kolektorów płaskich. Kolektory płaskie, pionowe montowane pod kątem 35° na budynku o wysokości około 20 m w zależności od strefy wiatrowej i śniegowej mogą wymagać obciążenia do 400 kg, natomiast kolektory próżniowe z uwagi na możliwość montażu płasko na podłożu (obrócenie rur pozwoli na dopasowanie kąta padania promieni słonecznych) będą wymagały 4-krotnie mniej.