

dr inż. Kamil Słowiński¹⁾
ORCID: 0000-0002-4225-520X

Badanie wytrzymałości kolektorów słonecznych na gradobicie w świetle obowiązujących przepisów krajowych

Hail resistance tests for solar collectors in the light of the applicable national regulations

DOI: 10.15199/33.2022.01.06

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodologię badań wytrzymałości kolektorów słonecznych na uderzenia spowodowane gradobicie, na podstawie zapisów obowiązującej normy krajowej PN-EN ISO 9806. Omówiono wybrane aspekty dwóch zaproponowanych w normie metod badawczych, wykorzystujących kule lodowe lub kule stalowe do symulowania uderzeń gradem. Obie metody badań poddano ocenie, wskazując na ich zalety i wady. Wskazano przy tym na problem braku korelacji między formami zniszczenia wywołanymi przez kule lodowe i stalowe, o tych samych energiach uderzenia. W tym kontekście powołano się na zapisy wycofanej normy krajowej PN-EN 12975-2 oraz opracowań o charakterze naukowo-badawczym.

Słowa kluczowe: kolektor słoneczny; wytrzymałość na gradobicie; certyfikat Solar Keymark.

Abstract. The article presents the methodology of testing the resistance of solar collectors to impacts caused by hail, based on the provisions of the applicable national standard PN-EN ISO 9806. Selected aspects of the two research methods proposed in the standard, using ice or steel balls to simulate hail impacts, are discussed. Both test methods were assessed, pointing to their advantages and disadvantages. At the same time, the problem of the lack of correlation between the forms of failure caused by ice and steel balls with the same impact energies was pointed out. In this context, reference was made to the provisions of the withdrawn national standard PN-EN 12975-2 and research studies.

Keywords: solar collector; hail resistance; Solar Keymark certificate.

Silne gradobicia stają się stałym elementem krajobrazu w wielu miejscach na świecie, w tym również w Polsce [1]. „Nowej rzeczywistości” muszą sprostać m.in. producenci pokryć dachowych, paneli fotowoltaicznych czy kolektorów słonecznych. Przy wyborze tych ostatnich, klienci coraz częściej stawiają na wyroby o wysokiej jakości, gwarantującej efektywność i trwałość w całym przewidywanym okresie użytkowania. Gwarantem takiej jakości kolektorów słonecznych może być stosowny certyfikat, np. Solar Keymark, wyznaczający standard certyfikacji kolektorów w Europie, wystawiany przez organizację ESTIF (*European Solar Thermal Industry Federation*). Certyfikat ten jest dokumentem poświadczającym, że produkt spełnia wymagania stosownych wytycznych europejskich. Jego posiadanie daje korzyści również dla producentów kolektorów, m.in. w postaci znacznego uproszczenia procedur związanych z wprowadzaniem produktu na rynki większości krajów europejskich. W celu uzyskania certyfikatu produkt musi

przejsć serię badań w wyznaczonych zagranicznych ośrodkach badawczych. Potwierdzeniem odpowiedniej jakości kolektora może być jednak już samo wskazanie, że kolektor przeszedł pomyślnie, np. w warunkach krajowych, testy wymagane do uzyskania certyfikatu. Zakres tych testów wskazany został we wprowadzonej w 2017 r. stosownej normie krajowej.

W artykule przedstawiono metody badania wytrzymałości kolektorów słonecznych na uderzenia spowodowane gradobicie na podstawie obowiązujących przepisów krajowych, wskazując zalety i ograniczenia tych metod.

Metody badania

Badania wytrzymałości kolektorów słonecznych na uderzenia spowodowane gradobicie prowadzone są obecnie wg PN-EN ISO 9806:2017 *Energia słoneczna – Słoneczne kolektory grzewcze – Metody badań* [8]. Norma ta, opublikowana w języku angielskim, zastępuje wersję z 2013 r. oraz poprzedniczkę tej ostatniej – normę PN-EN 12975-2:2007 *Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy – Kolektory słoneczne – Część 2: metody badań* [9], opublikowaną w ję-

zyku polskim. W normie [8] określone zostały metody badania pozwalające na dokonanie oceny trwałości, niezawodności i bezpieczeństwa kolektorów słonecznych, dlatego też od 2016 r. stanowi ona podstawę do wydawania certyfikatu Solar Keymark. W odniesieniu do badania wytrzymałości na gradobicie, zapisy normy wskazują dwie metody.

Badanie wg metody 1 polega na ostrzeliwaniu powierzchni kolektora kulami lodowymi, za pomocą wyrzutni zdolnej do nadawania kulom odpowiedniej prędkości. Norma nie narzuca konkretnych urządzeń do wystrzeliwania kul, przy czym najczęściej do tego typu badań wykorzystuje się wyrzutnie pneumatyczne [3, 5, 7]. Podstawowe parametry fizyczne kul lodowych, w tym średnicę, masę i nadawaną im prędkość, zestawiono w tabeli 1. Do badania używa się kul o czterech średnicach. Kule powinny mieć postać czystego lodu, wykonanego z wody bez dodatków, wolnego od pęcherzy powietrza i pęknięć widocznych gołym okiem. Odpowiednią jakość kul lodowych ma szczególnie istotne znaczenie w kontekście możliwości uzyskania w badaniu powtarzalnych wielkości energii uderze-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; kamil.slowinski@polsl.pl

Tabela 1. Parametry fizyczne kul lodowych
Table 1. Physical parameters of ice balls

Seria strzałów	Średnica [mm]	Masa [g]	Prędkość [m/s] (km/h)	E_k [J]
1	15	1,63	17,8 (64,08)	1,03
2	25	7,53	23 (82,8)	1,99
3	35	20,7	27,2 (97,92)	7,66
4	45	43,9	30,7 (110,52)	20,69

nia absorbowanej przez badany element. Jej wartość jest znacznie mniejsza niż wartość energii kinetycznej (E_k , tabela 1), obliczonej w przypadku zadanej masy i prędkości kuli. Pomimo że dokładne określenie wielkości energii absorbowanej przez badany element okazuje się bardzo problematyczne i wciąż jest przedmiotem badań [2, 6], to pewne jest, że obecność wskazanych wad kul lodowych przełoży się na odpowiednio duży rozrzut wyników i trudności w ich interpretacji.

Podczas badania oddaje się maksymalnie cztery serie strzałów, a w każdej z nich po cztery strzały kulami o jednokowej średnicy. Badanie rozpoczyna się od ostrzału badanego elementu kulami o najmniejszej średnicy, rekomendowanej w normie, bądź wskazanej przez producenta kolektora. Strzały oddawane są w miejsca kolektora wrażliwe na uszkodzenie przy uderzeniu. W normie wskazano precyzyjnie takie miejsca oraz właściwą liczbę uderzeń w przypadku płaskich kolektorów szklawionych i próżniowo-rurowych. Określono również, w sposób ogólny, tok postępowania podczas badania innych typów kolektorów niż wskazane. W rezultacie określona zostaje wytrzymałość kolektora na uderzenie, wskazana przez maksymalną średnicę kuli lodowej i odpowiadającą jej prędkość, przy których kolektor nie doznał uszkodzeń. Należy podkreślić, że przeprowadzenie badania metodą 1 wymaga dosyć kosztownego stanowiska badawczego, wyposażonego m.in. we wspomnianą wyrzutnię kul lodowych, zamrażarkę oraz przyrządy do precyzyjnego pomiaru prędkości nadawanej kulom. Obecnie takie badania prowadzone są niemal wyłącznie w ośrodkach zagranicznych, co pociąga za sobą duże koszty. Na tym tle zdecydowanie przystępniejsza dla krajowych producentów kolektorów słonecznych może być druga metoda badawcza, wskazana w normie [8].

Do symulacji uderzenia gradem w ramach metody 2 wykorzystywane są kule stalowe o masie 150 ± 10 g, tj. o średnicy wynoszącej 33,17 mm. Kule zrzucają się z wysokości 0,4 – 2 m na usytuowaną poziomo powierzchnię kolektora (tabela 2), podobnie jak w metodzie 1, w seriach po cztery z każdej z wskazanych wysokości. Badanie rozpoczyna się od najmniejszej wysokości, tj. $H = 0,4$ m lub wskazanej przez producenta kolektora. Lokalizacja punktów uderzeń jest taka sama, jak w badaniach przy użyciu kul lodowych. Obliczone wartości energii potencjalnej E_p , odpowiadającej poszczególnej wysokościom upadku H kuli, zestawiono w tabeli 2. W sytuacji kiedy powierzchnia kolektora usytuowana jest pionowo na stanowisku badawczym, do symulacji uderzenia wykorzystywane jest wahadło, tak aby uderzenie miało kierunek poziomy. Będąc wynikiem badań wytrzymałość na uderzenie określana jest największą wysokością upadku H (tj. pionową odległością między punktem zwolnienia kuli lub wahadła a poziomą płaszczyzną przechodzącą przez punkt uderzenia), przy której nie doszło jeszcze do uszkodzenia kolektora.

Tabela 2. Parametry badania kulami stalowymi

Table 2. Parameters of the test procedure using steel balls

H [m]	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
E_p [J]	0,589	0,883	1,177	1,472	1,766	2,06	2,354	2,649	2,943

Ocena wyników badań

Po wykonaniu każdej serii strzałów kulami lodowymi lub zrzutów kul stalowych należy przeprowadzić inspekcję kolektora, zamontowanego na stanowisku badawczym, pod kątem uszkodzeń. Szczególnie ważna jest jednak inspekcja końcowa, wykonana na kolektorze zdemontowanym ze stanowiska badawczego, która jednocześnie jest badaniem końcowym, zaliczanym do grupy badań niszczących. Do oceny stanu przebadanego elementu norma [8] proponuje ogólny wzorzec klasyfikacji wg następującego schematu:

- „0 – brak problemu”, kiedy nie zarejestrowano wpływu badania na wydajność, trwałość, bezpieczeństwo i wygląd kolektora;
- „1 – drobny problem”, w sytuacji kiedy zarejestrowano defekty obniżające jedynie walory estetyczne kolektora;

- „2 – poważna awaria”, kiedy zostały stwierdzone uszkodzenia powodujące poważną awarię w kontekście wydajności, trwałości i wyglądu kolektora; norma podaje rodzaje uszkodzeń kwalifikujące element do tej kategorii.

Dyskusja

W wielu publikacjach dotyczących badania wytrzymałości urządzeń (głównie paneli fotowoltaicznych) lub pokryć dachowych na gradobicie podnoszony jest argument o braku korelacji między formami zniszczenia, wywołanymi przez kule lodowe i stalowe o tej samej energii uderzenia [2, 6]. Z wyników tych badań można wyciągnąć wniosek, że **badanie kulami stalowymi nie odwzorowuje fizycznego efektu gradobicia**. Pomimo niewątpliwiej zalety metody 2, w postaci niewymagającego znacznych nakładów finansowych wyposażenia stanowiska badawczego oraz nieskomplikowanej procedury badawczej, pojawia się pytanie o zasadność wykonywania badań z zastosowaniem kul stalowych. Norma [8] nie rekomenduje żadnej z opisywanych metod badań. W normie PN-EN ISO 9806 z 2013 r. (poprzednicze [8]) zawarto zapis, że wyboru me-

tody dokonuje producent kolektora. Wyrażną rekomendację można było natomiast znaleźć w wycofanej już normie [9], w której wskazano metodę badania przy użyciu kul lodowych, jako bliższą rzeczywistości. Należy podkreślić, że zaproponowana w normie [8] metoda badania kulami lodowymi została znacznie zmodyfikowana w stosunku do opisanej w [9]. Wprowadzone zmiany miały na celu lepsze odwzorowanie rzeczywistych warunków gradobicia, a kierunek tym zmianom nadawały zapisy wytycznych [4], dotyczące badania paneli fotowoltaicznych. Tymczasem metoda badania kulami lodowymi opisana w normach [8, 9] jest dokładnie taka sama.

W dokumencie [10], będącym podsumowaniem prac komisji roboczej CEN TC 312 WG1, podjętych w celu sformułowania wytycznych do prenormy prEN ISO 9806 można znaleźć zapis, że

metoda badania kulami stalowymi może być użyta do stwierdzenia, czy kolektor jest bądź nie jest odporny na gradobicie. Przyjęto założenie, że jeżeli kolektor przetrwa uderzenia kulami stalowymi, to nie dozna również uszkodzenia pod wpływem uderzeń gradzinami. Jeżeli jednak podczas badania dojdzie do uszkodzenia kolektora, wówczas należy przeprowadzić badanie z użyciem kul lodowych. To badanie ma stanowić ostateczną weryfikację, umożliwiającą podtrzymanie bądź zmianę wcześniejszej kwalifikacji kolektora lub wskazanie jego wytrzymałości wg kryteriów właściwych dla metody 1. Należy podkreślić, że w wycofanej normie [9] badanie za pomocą kul stalowych stanowiło alternatywę badania, w którym wykorzystywane były kule lodowe o jednej tylko średnicy, tj. 25 mm, wystrzelowane z prędkością 23 m/s. Energia uderzenia kuli stalowej przy $H = 2$ m stanowiła wówczas blisko 148% energii kinetycznej kuli lodowej. W takich warunkach, w pełni uzasadnione było traktowanie badania przy użyciu kul stalowych jako konserwatywnej wersji badania z zastosowaniem kul lodowych. Z porównania zestawionych w tabelach 1 i 2 wartości energii uderzeń uzyskiwanych w badaniach wg [8] wynika, że największa energia generowana w badaniu kulami stalowymi stanowi tylko nieco ponad 14% maksymalnej energii uzyskiwanej z zastosowaniem kul lodowych (tabela 1). Pojawia się zatem wątpliwość, czy w obliczu zmian wprowadzonych do normy [8] metoda 2 w dalszym ciągu umożliwia rzetelną i bezpieczną ocenę wytrzymałości na gradobicie. Pozostaje mieć nadzieję, że w przypadku uderzenia kulą stalową upuszczoną z maksymalnej, określonej w normie, wysokości wartość energii absorbowanej przez badany element będzie nie mniejsza niż generowana uderzeniami za pomocą kul lodowych o średnicy 35 i 45 mm (tabela 1).

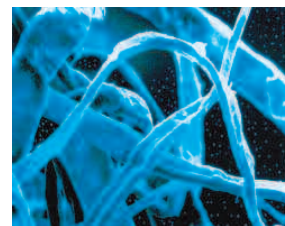
Podsumowanie

Do jednoznacznej oceny odporności kolektora na efekty silnego gradobicia najbardziej odpowiednia jest metoda badania przy użyciu kul lodowych. Ważną zaletą tej metody jest to, że odwzorowuje ona wiernie warunki gradobicia.

Dzięki temu możliwa jest analiza uzyskanych postaci uszkodzeń, np. pod kątem ewentualnych prób udoskonalenia/wzmocnienia w przyszłości konstrukcji kolektora. Natomiast wadą tej metody są przede wszystkim wysokie koszty związane z wyposażeniem stanowiska badawczego. Z kolei metoda badania kulami stalowymi jest nieskomplikowana, tania i zapewnia powtarzalne wyniki. Zgodnie z zapisami normy [8], metoda ta pozwala na zakwalifikowanie kolektora jako odpornego na gradobicie w przypadku, kiedy nie dozna on uszkodzeń w wyniku uderzeń wywołanych upadkiem kul z największej przewidzianej przez normę wysokości, tj. 2 m. W przypadku wcześniejszego uszkodzenia kolektora trudno jednak o jednoznaczną interpretację uzyskanego rezultatu, ponieważ otrzymane formy uszkodzeń nie odwzorowują tych będących wynikiem gradobicia.

Literatura

- [1] Field P. R., W. Hand, G. Cappelluti, A. McMillan, A. Foreman, D. Stubbs, M. Willows. 2010. *Hail Threat Standardisation – Final report for EASA. 2008. OP. 25. EASA.*
 - [2] Flüeler P., M. Stucki, F. Guastala, T. Egli. 2008. *Hail impact resistance of building materials – Testing, evaluation and classification.* Proceedings of the 11 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Istanbul.
 - [3] Frąckiewicz P., M. Jakimowicz. 2021. „Zestawy wyrobów do mocowania modułów fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych w aspekcie wytrzymałości i bezpieczeństwa użytkowania”. *Materiały Budowlane* 587 (7): 41 – 44.
 - [4] ISO IEC 61215-1:2005 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements.
 - [5] Jenkins D. R., R. G. Mathey. 1982. *Hail impact testing procedure for solar collector covers.* Washington. U. S. Department of Commerce.
 - [6] Moore D., A. Wilson, R. Ross. 1978. *Simulated impact testing of photovoltaic solar panels.* Proceeding of 24th Annual Technical Meeting, Institute of Environmental Sciences Ft. Worth.
 - [7] Moore D., A. Wilson. 1978. *Photovoltaic solar panel resistance to simulated hail.* Pasadena. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology.
 - [8] PN-EN ISO 9806:2017 Energia słoneczna. Słoneczne kolektory grzewcze. Metody badań.
 - [9] PN-EN 12975-2:2007 Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy. Kolektory słoneczne. Część 2: Metody badań.
 - [10] Quality assurance in solar thermal heating and cooling technology. 2012. Summary report – Impact resistance testing. Fraunhofer ISE. Freiburg.
- Przyjęto do druku: 20.12.2021 r.



ARBOCEL – The Power of Reinforcement



– wyjątkowe włókna na bazie celulozy, redukujące ilość powstających rys/mikropęknięć i spękań tynków, szpachli i farb



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@jrs.pl