

# WYNIKI WYBRANYCH BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI MIĘDZYFAZOWEJ LEKKIEGO GRZEJNIKA PŁASZCZYZNOWEGO Z ROZPRASZACZAMI CIEPŁA

Jacek KARPESIUK\*, Tadeusz CHYŻY

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano wybrane wyniki badań wytrzymałości międzyfazowej lekkiego grzejnika płaszczyznowego z rozpraszaczami ciepła w postaci lameli aluminiowych. Grzejnik charakteryzuje się niewielką wysokością i suchą, lekką konstrukcją. Uzyskano to poprzez wyeliminowanie warstw jastrychowych. W stosunku do grzejników bez rozpraszaczy ciepła jest konstrukcją droższą w wykonaniu, jednakże jego zaletą jest szybsze i bardziej równomierne przekazywanie energii cieplnej do otoczenia. W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych użytych klejów. Badano wytrzymałość na ścinanie, siły odrywania, siły przyczepności oraz nasiąkliwość i mrozoodporność. Rezultaty potwierdzają możliwość stosowania grzejników powierzchniowych na kleju poliuretanowym, z lamelami do ogrzewania wewnątrz i w systemach ochrony przed lodem i śniegiem.

*Słowa kluczowe:* lekki grzejnik płaszczyznowy, lamele, badania wytrzymałościowe, klej poliuretanowy.

## 1. Wprowadzenie

Jednym z rozważanych rozwiązań konstrukcyjnych dla lekkiego grzejnika płaszczyznowego jest zastosowanie w nim lameli (Karpiesiuk, 2015 i 2016). Pomimo zakładanej wyższej ceny inwestycyjnej grzejnik z lamelami będzie się charakteryzował lepszym komfortem użytkowania, powodowanym bardziej równomiernym i szybszym rozpraszaniem energii cieplnej do ogrzewanego pomieszczenia (Żukowski i Karpiesiuk, 2015). W związku z tym dobrano odpowiedni klej i lamele aluminiowe, mając jednocześnie na uwadze, aby cena tego systemu nie była znacznie wyższa od bardziej ekonomicznej konstrukcji tego rodzaju grzejnika bez lameli.

Wykonano i zaprezentowano odpowiednie badania wytrzymałościowe, w tym statyczną wytrzymałość na ścinanie, siły odrywania, przyczepności metodą pull-off i ścinania pressomessem. Ponadto wykonano badania nasiąkliwości i mrozoodporności. Eksperymentalne badania wykonano dla płyt izolacyjnych z lamelami aluminiowymi na polistyrenie ekstrudowanym XPS 30 „wafel” firmy Synthos i dodatkowo XPS 300 Fabric, frezowanym (szorstkim) firmy Fibran zgodnym z normą PN-EN 13164+A1: 2015-03 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Wyroby z polistyrenu ekstrudowanego (XPS) produkowane fabrycznie. Specyfikacja*. Płyty izolacyjne zostały pokryte klejem na całej powierzchni lub punktowo. Na nich przyklejono gres lub parkiet

drewniany o wymiarach zgodnych z wymaganiami norm PN-EN 12004+A1:2012 *Kleje do płytek - wymagania, ocena zgodności, klasyfikacja i oznaczenie* i PN-EN 1348:2008 *Kleje do płytek. Oznaczenie przyczepności dla klejów cementowych*, do tego typu badań. Do zamocowania folii aluminiowej o grubości 0,09 mm, stanowiącej rozpraszacz ciepła do płyt izolacyjnych zastosowano klej poliuretanowy z utwardzaczem typu Sika Force 7710, natomiast do przyklejenia folii do gresów i posadzki drewnianej użyto kleju poliuretanowego, jednoskładnikowego Sika Bond T8. Przeprowadzono badania zarówno na próbkach jak i na całych płytach XPS o wymiarach 600×1250 mm z zamontowanymi węzownicami z PCV PE/RT/Al/PE/RT o średnicy 16×2 mm w rozstawie 10 cm. Całość zbadano po osiągnięciu deklarowanego pełnego obciążenia klejów poliuretanowych Sika, wynoszących zgodnie z dokumentacją techniczną producenta (Karta Informacyjna, 2015) maksymalnie 24-48 godzin, zależnie od warunków klimatycznych, a dokładnie po 3 dniach.

Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników badań eksperymentalnych dotyczących wybranych parametrów wytrzymałościowych badanego modelu płyty grzejnej z lamelami, w tym dodatkowo sprawdzenie użyteczności w warunkach eksploatacyjnych wewnątrz i na zewnątrz budynków.

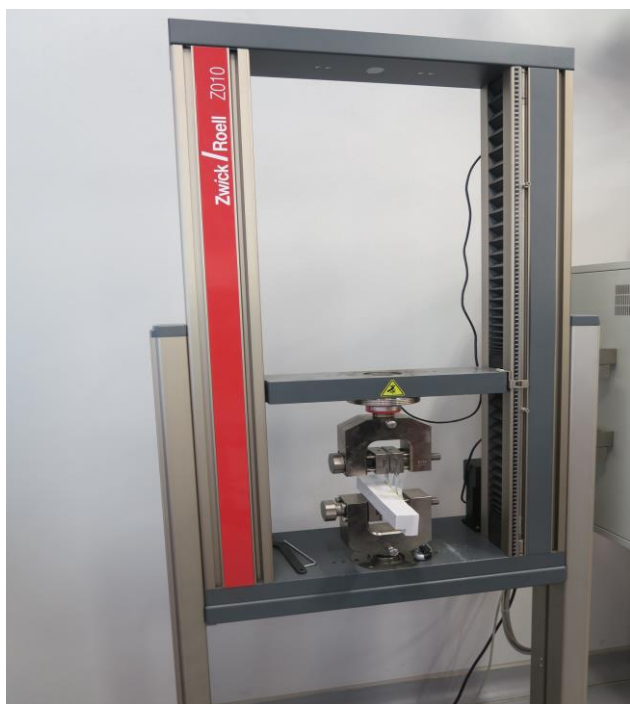
Badania zostały wykonane w firmie Sika Poland Technical Service TM Industry w Krakowie oraz w przemysłowym laboratorium w Warszawie.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: jack@elektra.pl

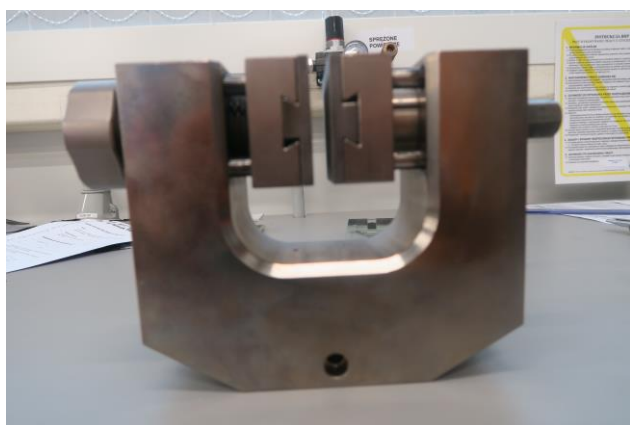
## 2. Opis stanowisk pomiarowych i metodyka badań

### 2.1. Badania w laboratorium Sika Poland

W firmie Sika Poland Technical Service TM Industry w Krakowie wykonano badania wytrzymałości metodą statycznego ścinania według procedury korporacyjnej CQP046-0 aplikacji kleju (zgodnie z normą DIN EN 1465) oraz badanie wytrzymałości siły odrywania według procedury CQP564-1 aplikacji kleju (zgodnie z normą DIN 53289) na konstrukcji płyt izolacyjnych z użyciem folii aluminiowych. Schemat stanowiska badawczego i oprzyrządowania prezentuje rysunek 1, 2 i 3. W przyrządzie do badania wytrzymałości odrywania użyto siły 5 N/cm (oderwanie folii od izolacji) i 35 N/cm (oderwanie folii od gresu) przy prędkości 300 mm/min. Podczas badania statycznego ścinania prędkość wynosiła 10 mm/min przy sile 52 N/cm w obu przypadkach ścinania.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe firmy Zwick Polska



Rys. 2. Oprzyrządowanie do badania wytrzymałości metodą statycznego ścinania



Rys. 3. Oprzyrządowanie do badania wytrzymałości siły odrywania

Oba badania zostały wykonane dla następujących warstw:

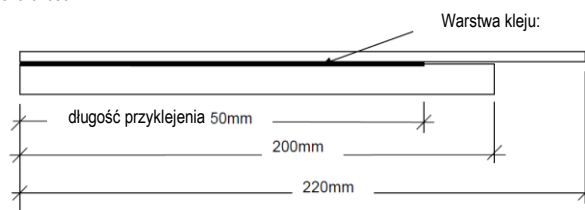
- płyta izolacyjna XPS 30 „wafel” /klej Sika Force 7710/ folia aluminiowa 0,09 mm;
- płyta izolacyjna XPS 300 szorstka /klej Sika Force 7710/ folia aluminiowa 0,09 mm;
- folia aluminiowa 0,09 mm /klej Sika Bond T8/ płytka gresu.

Wymiary próbek do badania siły odrywania są zaprezentowane na rysunku 4, gdzie długość próbki XPS-u wynosi 200 mm, a długość folii aluminiowej 220 mm, przy długości przyklejenia 150 mm.

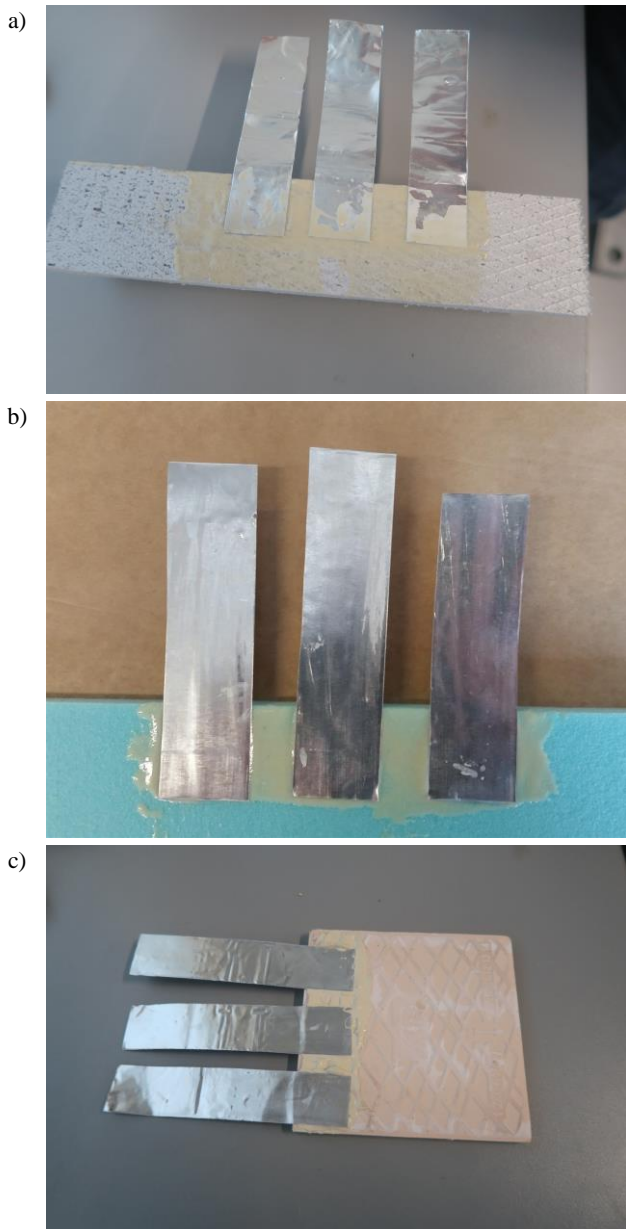
Przy badaniu wytrzymałości metodą statycznego ścinania, nałożona folia aluminiowa na płytę XPS i płytki gresu miała zarówno szerokość, jak i zakładkę przyklejenia wynoszące po 25 mm (rys. 5).

Zdjęcia próbek do badania siły odrywania pokazano na rysunku 6.

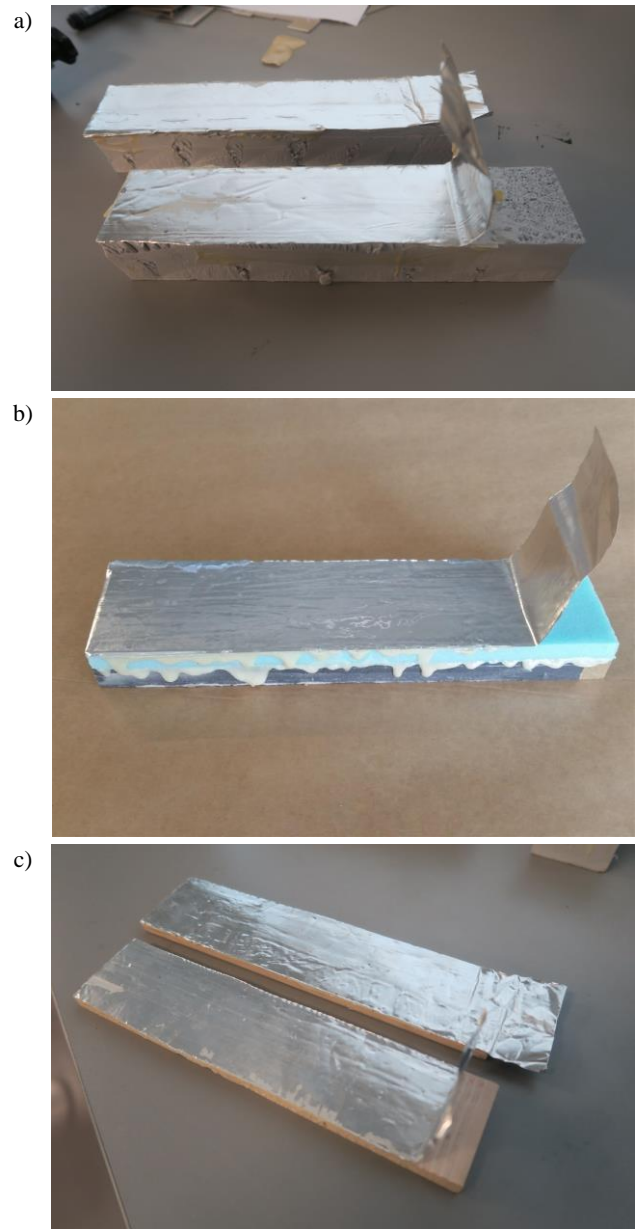
szerokość: 50mm



Rys. 4. Wymiary próbki do testów odrywania zgodnie z procedurą nakładania kleju i czasu jego schnięcia CQP564-1 (archiwum firmy Sika Poland)



Rys. 5. Próbkę do badania statycznego ścinania płytek: a) XPS „wafel”, b) XPS frezowana, c) gres



Rys. 6. Próbkę do badania siły odrywania płytek: a) XPS „wafel”, b) XPS frezowana, c) gres

## 2.2. Badania w przemysłowym laboratorium w Warszawie

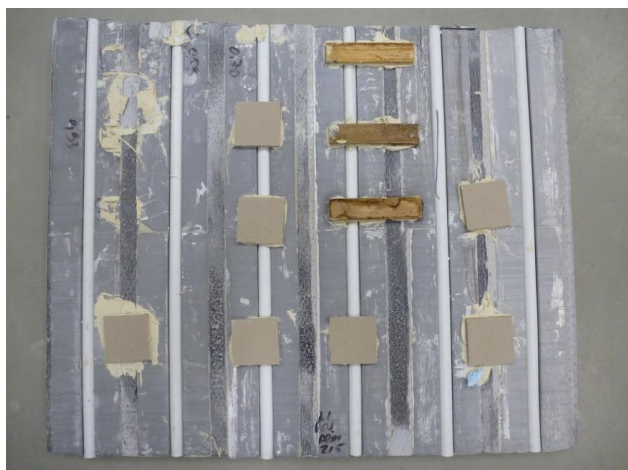
W Warszawie, w laboratorium przemysłowym wykonano badania przyczepności metodą pull-off grzejnika płaszczyznowego, wykonanego z płyt izolacyjnych XPS 30 „wafel” z folią aluminiową (zamocowaną klejem poliuretanowym, utwardzonym Sika Force 7710), stosując do przyklejenia posadzki kleje poliuretanowe Sika Bond T8. Dodatkowo zostały też wykonane pressomessem badania wytrzymałości na ścinanie tylko konstrukcji podłogi z posadzką z drewna w postaci klocków – podporowy o wymiarach  $100 \times 23 \times 8$  mm oraz próbnę  $43,5 \times 23 \times 8$  mm, przyklejonych do folii aluminiowej klejem poliuretanowym Sika Bold T8 na płycie izolacyjnej XPS „wafel”.

Badania laboratoryjne wykonano za pomocą przyrządu DYNA Z16 Leo1 o zakresie pomiaru 1,6-16 kN firmy Proteq do badania przyczepności.

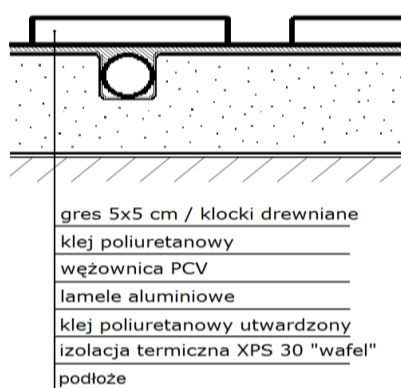
Badania te zostały wykonane dla następującej konstrukcji płyty grzejnej:

- płyta izolacyjna XPS/ klocki drewniane,
- klej poliuretanowy utwardzony,
- lamele aluminiowe,
- węzownica PCV,
- klej poliuretanowy,
- gres  $5 \times 5$  cm.

Wszystkie próbki zamocowano punktowo, w tym 1, 2 i 3 przyklejono do 3/4 powierzchni aluminium i 1/4 powierzchni do rurki PCV, próbkę 4 przyklejono do 2/3 powierzchni aluminium i 1/3 powierzchni do XPS-u (rys. 7 i 8).

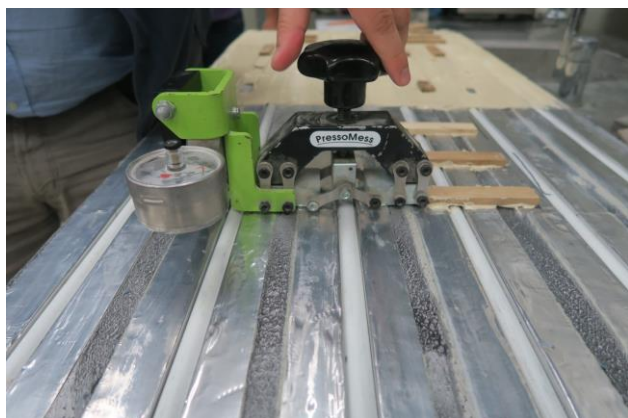


Rys. 7. Płyta izolacyjna do badania przyczepności metodą pull-off

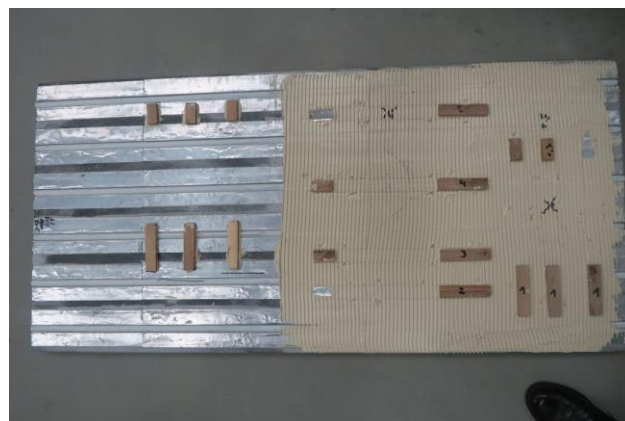


Rys. 8. Schemat stanowiska do badania przyczepności metodą pull-off

Badania wytrzymałości na ścinanie z użyciem pressomessu wykonano na płycie grzejnej z posadzką drewnianą, mocowaną punktowo lub powierzchniowo (rys. 9 i 10). Stanowisko badawcze i oprzyrządowania do badania mrozoodporności stanowiła komora typu K-010, producent ToRoPol.



Rys. 9. Pressomess do badania wytrzymałości na ścinanie



Rys. 10. Próbkę do badania wytrzymałości na ścinanie z klejem poliuretanowym

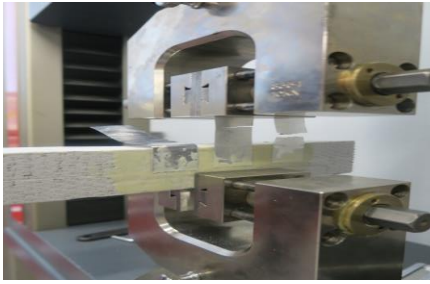
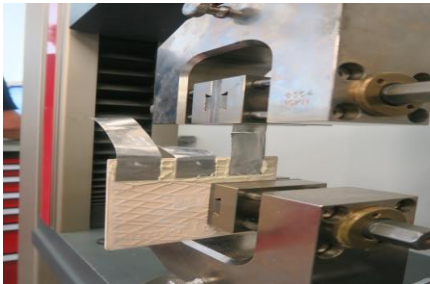
Badania nasiąkliwości wykonano na płytach jak na rysunku 7, z próbkami drewnianymi i z gresu, mocowanymi punktowo. Po 21 dniach całkowitego zanurzenia w wodzie w temperaturze 20°C, zgodnie z normą PN-EN 1348:2008 poddano je badaniu na rozciąganie prostopadle do powierzchni czołowych.

Kolejne próbki opisane na rysunku 8 z gresu i drewna, zamocowane punktowo poddano badaniu mrozoodporności po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w wodzie zgodnie z bardziej restrykcyjną normą PN-B 06250:1988 *Beton zwykły* niż norma do badania klejów. Wykonano również eksperymenty nienormowe 50-krotnym cyklem zamrażania i odmrażania, czyli 2 razy dłuższym niż podaje norma badania klejów do płytek.

### 3. Wyniki badań

Rezultaty badania wytrzymałości metodą statycznego ścinania, każdorazowo dla 3 próbek, przedstawia tabela 1, a wykresy zależności siły ścinającej do wydłużenia pokazano na rysunku 11. Rezultaty badania wytrzymałości siły odrywającej, każdorazowo dla 3 próbek, przedstawia tabela 2, a wykresy zależności tej siły względem wydłużenia są na rysunku 12 i 13. Wyniki badania przyczepności metodą pull-off przedstawia tabela 3.

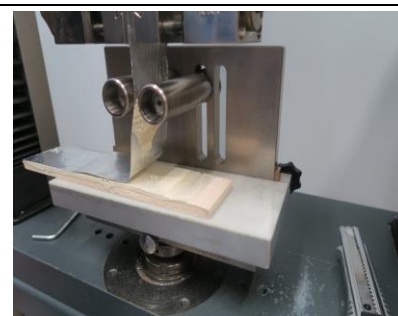
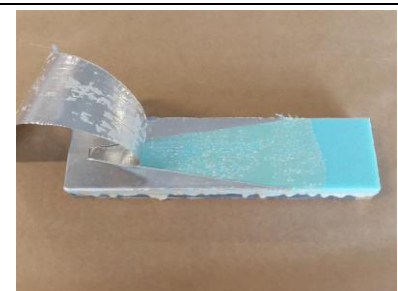
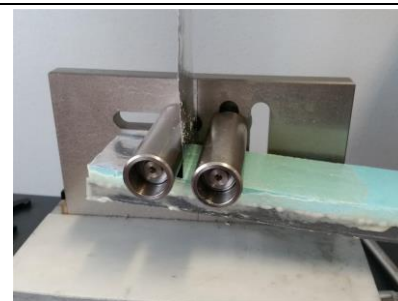
Tab. 1. Siła ścinająca i wydłużenie próbki przy badaniu wytrzymałości metodą statycznego ścinania z opisem rodzaju zniszczenia próbek

Numer próbki	Układ	$F_{max}$ [N]	$e_{max}$ [mm]	Rodzaj zniszczenia	
1	Układ "A" XPS „wafel” SYNTHOS 30/ SikaForce 7710	139,40	2,68	Rozerwanie folii aluminiowej	
2		138,61	2,62		
3		138,59	2,98		
1	Układ "B" XPS szorstki FIBRAN 300 FABRIC-I-8mm/ SikaForce 7710	143,47	4,61	Rozerwanie folii aluminiowej	
2		138,14	4,28		
3		122,55	2,76		
1	Układ "C" PŁYTKA GRESOWA/ SikaBond T8	119,02	3,36	Rozerwanie folii aluminiowej	
2		121,18	3,23		
3		119,30	2,20		

 $F_{max}$  - siła ścinająca $e_{max}$  - wydłużenie całej próbki (ze względu na sztywność kleju i XPS-u dot. wydłużenia folii)

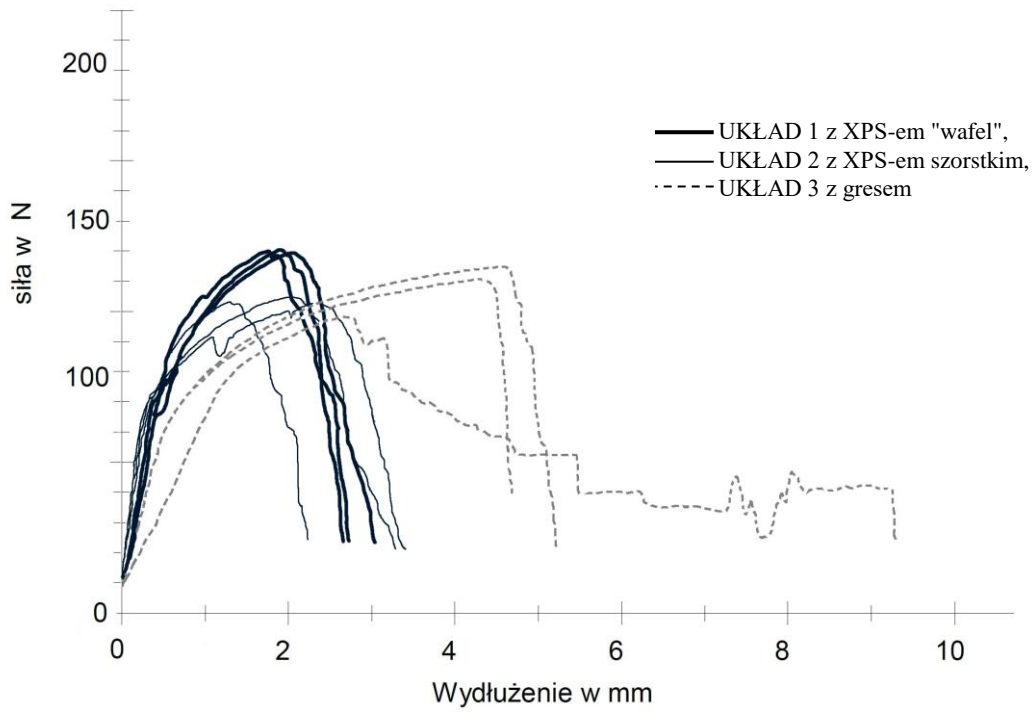
Tabela 2. Siły odrywania przy badaniu wytrzymałości z opisem rodzaju zniszczenia próbek

Numer próbki	Układ	$P_s$ śr. [N/cm]	$P_s$ max [N/cm]	$P_s$ mini [N/cm]	Rodzaj zniszczenia
1	Układ "A" XPS „wafel” SYNTHOS 30/ SikaForce 7710	3,50	4,13	3,00	oderwanie powierzchni gofry od rdzenia XPS-u
2		3,45	4,05	2,99	
3		3,48	4,02	2,93	
1	Układ "B" XPS szorstki FIBRAN 300 FABRIC-I- 8mm/ SikaForce 7710	3,83	4,47	3,24	oderwanie powierzchni folii aluminium od kleju Force
2		3,30	3,93	2,62	
3		3,95	5,69	1,78	
1	Układ "C" PŁYTKA GRESOWA/ SikaBond T8	32,92	37,83	29,69	oderwanie folii aluminiowej od kleju T8
2		34,25	42,21	28,58	
3		32,98	40,33	29,71	

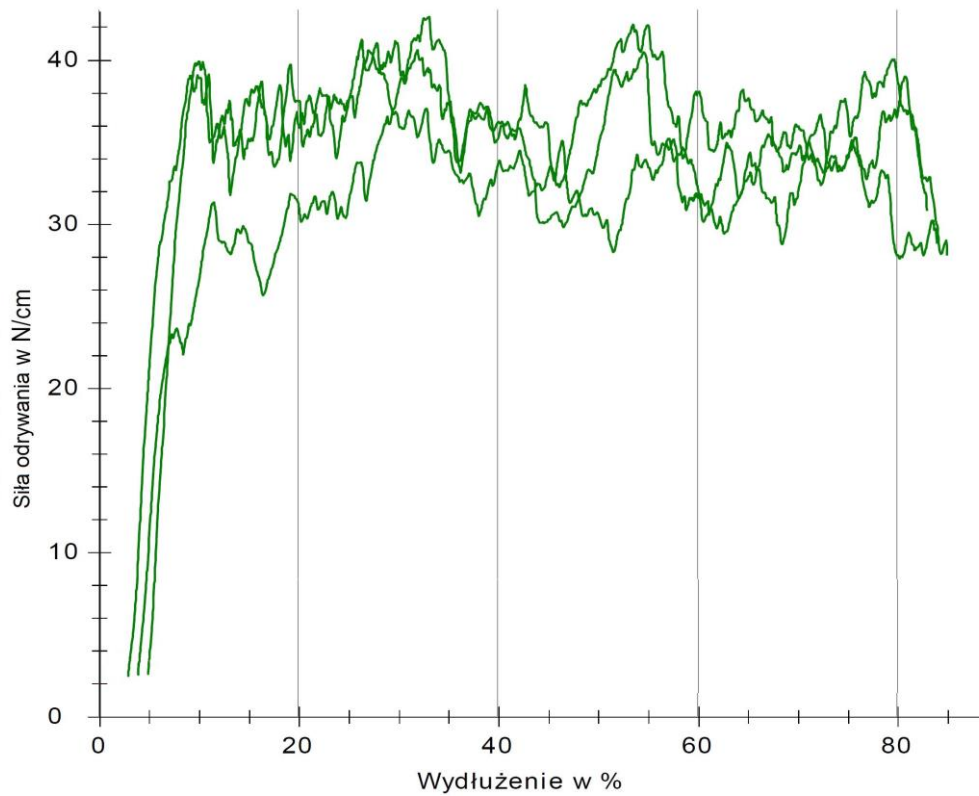


Tab. 3. Siły odspojenia przy badaniu przyczepności pull-off z opisem miejsca odspojenia

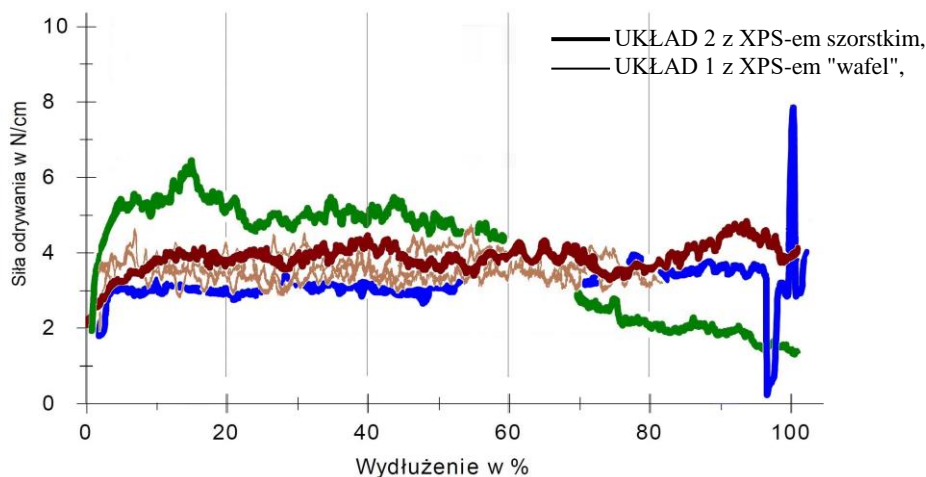
Numer próbki	Układ	Ilość dni	$F$ [kN]	$F_p$ [MPa]	Opis zniszczenia
1	XPS "wafel" SYNTHOS 30/Sika Force/folia alum./SikaBond T8/ gres (na 1/4 pow. rurka pcv)	3	>>0,70	>>0,280	brak oderwania, klej Sika Bond T8 rozciąga się, maszyna osiąga max ruchu
2		3	>>0,59	>>0,236	
3		3	>>0,72	>>0,288	
4	XPS "wafel" SYNTHOS 30/Sika Force/folia alum./SikaBond T8/ gres (na 1/3 pow.XPS)	3	>>0,93	>>0,372	



Rys. 11. Wykres zależności siły ścinającej od wydłużenia próbki



Rys. 12. Wykres zależności siły odrywającej od wydłużenia próbki. Układ „C” z płytką gresu



Rys. 13. Wykres zależności siły odrywającej od wydłużenia próbki (opracował J. Karpiesiuk)

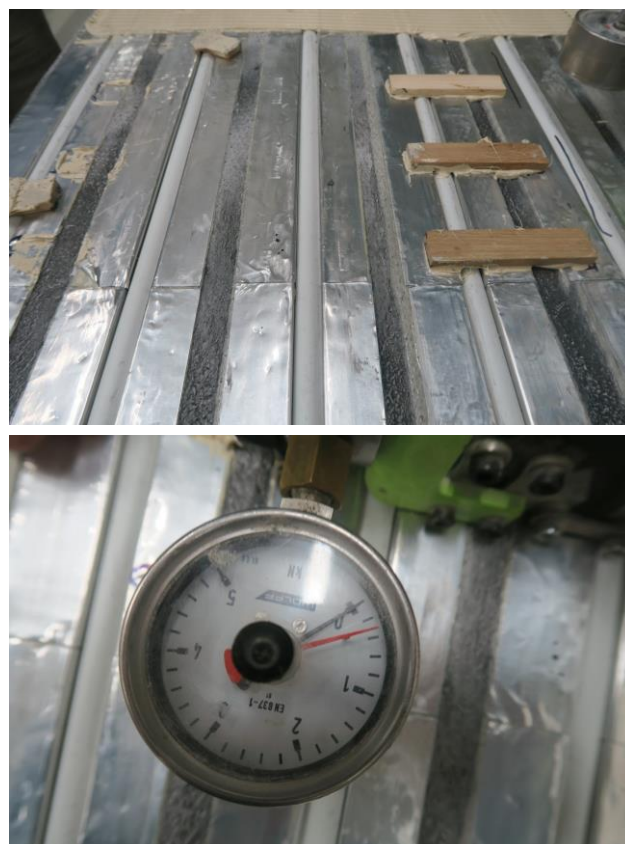
Badania wytrzymałości na ścinanie płyty (rys. 14) wykonano przy użyciu miernika o nazwie pressomess. Na izolacyjnej płycie XPS „wafel” z zamocowanymi lamelami aluminiowymi i rurkami PCV nałożono powierzchniowo i punktowo klej SikaBond T8 z drewnianymi próbkami. Próbkę klejono w ten sposób, aby była możliwa do zbadania bezpośrednia siła na izolowanym podłożu. Wykonano poprzeczne ułożenie próbek, aby zbadać średnią z trzech różnych podłoży (folia aluminiowa, rurki PCV, XPS „wafel”). Przy nałożeniu kleju powierzchniowo oddziaływanie wysoko elastycznego kleju poliuretanowego Sika Bond T8 umożliwiało przesunięcie się drewnianego klocka pomiarowego o około 4 mm i jego powrót bez zerwania kleju od podłoża.



Rys. 14. Płyta grzejna wykonana na bazie XPS „wafel” z wklejonymi lamelami aluminiowymi, pokryta w całości lub punktowo klejem Sika Bond T8 z próbkami drewna

W celach badawczych wykonana została próbka z punktowym mocowaniem kleju do podłoża płyty grzejnej (rys. 15). Dodatkowo powierzchnię aluminium zaimpregnowano podkładem SikaPrimer 3N i aktywatorem SikaActivator 205, a rurki PCV zmatowiono papierem ściernym drobnoziarnistym i podkładem SikaPrimer 215. Badanie wykonano po około 18 godz od aplikacji. W tym przypadku odspojenie kleju od podłoża aluminium/ PCV następuje przy sile ścinającej

w granicach od 0,2-0,25 N/mm<sup>2</sup>. Niemniej następuje również początkowe, kilkumilimetrowe przesunięcie przed zerwaniem. To badanie nie odzwierciedla realnej aplikacji gdyż jest punktowe. Wykonano je, jako jedyne możliwe w celu dokonania pomiarów przy pomocy pressomessu.



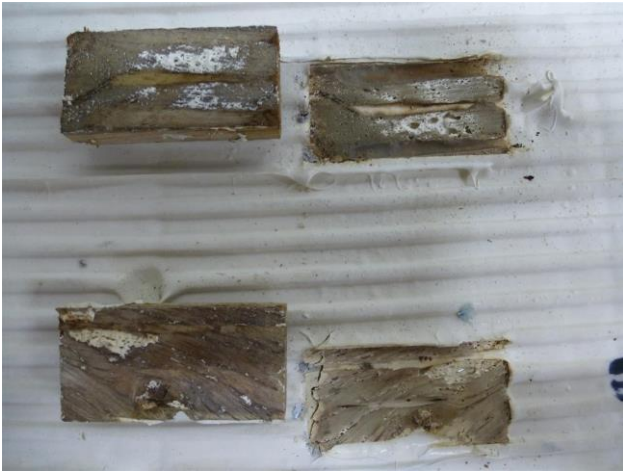
Rys. 15. Wynik badania wytrzymałości na ścinanie przy punktowym mocowaniu posadzki drewnianej

Rezultatem badania wytrzymałości na rozciąganie prostopadle do powierzchni czołowych przy długotrwałej nasiąkliwości i całkowitym zanurzeniu w wodzie przez okres 21 dni był brak oderwania się próbek od podłoża.

Wynikiem badania wytrzymałości na rozciąganie



prostopadle do powierzchni czołowych przy zamrażaniu i odmrażaniu próbek drewnianych przeprowadzone po 25 cyklach był brak oderwania się próbek od podłoża, a po 50 cyklach próbki straciły przyczepność na styku drewno-klej, ulegając odspojeniu jak na rysunku 16. Sam klej poliuretanowy SikaBond T8 nie odspoił się od podłoża płyty grzejnej.



Rys. 16. Drewniane próbki przy badaniu mrozoodporności po 50 cyklach zamrażania i rozmrażania

W przypadku próbek gresu, przyklejonych punktowo zarówno po 25 cyklach, jak i po 50 cyklach nie nastąpiło oderwanie próbek od płyty grzejnej przy maksymalnym wyężeniu przyrządu badawczego.

#### 4. Analiza wyników

W artykule zaprezentowano wyniki wybranych badań wytrzymałości mechanicznej nietypowego grzejnika powierzchniowego z lamelami bez użycia jastrychów. Zastosowano konstrukcję warstwową grzejnika o następujących komponentach:

- płyta izolacyjna XPS „wafel” lub frezowana,
- klej poliuretanowy z utwardzaczem, mocujący do płyty izolacyjnej folię aluminiową, jako warstwa rozpraszająca ciepło (lamel),
- wężownica PCV, wbudowana w rowki,
- posadzka z gresu lub parkietu zamocowana klejem poliuretanowym.

Wykonano następujące badania grzejnika w różnych układach konstrukcyjnych:

- wytrzymałość metodą statycznego ścinania,
- wytrzymałość siły odrywania,
- przyczepność metodą pull-off,
- wytrzymałość na ścinanie,
- nasiąkliwość i mrozoodporność.

Wielowariantowość badań dała porównanie wytrzymałości mechanicznej użytych materiałów. Wykonano zarówno badania do celów wyłącznie badawczych lub rzadko spotykanych przy użytkowaniu, jak też te, potrzebne do określenia rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Jako badawcze i sporadycznie występujące można zaliczyć eksperymenty

wytrzymałości na odrywanie, punktowe mocowanie płytek, czy też badania mrozoodporności posadzek drewnianych.

Badania wytrzymałości na ścinanie próbek pomiędzy płytą izolacyjną, folią i gresem wykazały bardzo dobre właściwości klejów poliuretanowych. Przy wydłużeniu folii aluminiowej o grubości 0,09 mm o 2,20-4,61 mm nastąpiło jej rozerwanie. Zastosowane kleje poliuretanowe zachowały swoją przyczepność przy sile od około 120-140 N zarówno do gresu, jak i płyty izolacyjnej nawet bez gruntowania tych powierzchni. Te wysokie wartości elastyczności i przyczepności klejów poliuretanowych potwierdzone zostały przy badaniu pressomessem konstrukcji płyty grzejnej, pokrytej tym klejem powierzchniowo z zamocowaną wężownicą. Przyrząd ten przy maksymalnym odchyleniu powodował przesunięcie klocka drewnianego bez zerwania połączenia z klejem poliuretanowym nawet do 4 mm a po badaniu, próbka parkietu wracała do pierwotnego położenia. Dopiero badania przy mocowaniu punktowym klocka pozwoliły na ścięcie połączenia folia aluminiowa-klej poliuretanowy mocujący drewno, ale też przy znacznej sile ścinającej około 0,2-0,25 N/mm<sup>2</sup>. Co ciekawe niestandardowe badania dotyczące przyczepności metodą pull-off, nawet przy punktowym mocowaniu gresu, na kleju poliuretanowym wykazały bardzo dobre jego właściwości. Używając maksymalnych możliwości ruchu maszyny do badania przyczepności o sile powyżej 590 N, a nawet powyżej 930 N nie nastąpiło oderwanie zarówno kleju od podłoża folii aluminiowej, jak też folii od XPS-u.

Zbadano też wytrzymałość na odrywanie folii od gresu i folii od płyty izolacyjnej. Siła odrywania gresu od folii jest około 10-krotnie wyższa od tej przy odrywaniu folii od XPS-u i wynosi 145-280 N. Aby oderwać folię od płyty izolacyjnej wystarczy użyć siły odrywającej od 13-28 N. Badania nad nasiąkliwością i mrozoodpornością potwierdziły znakomitą jakość kleju poliuretanowego do tego rodzaju konstrukcji grzejnika płaszczyznowego z lamelami. Jedyne posadzka drewniana mocowana punktowo została odspojona i to tylko ze względu na ponadnormowe badania mrozoodporności przy 50 cyklach zamrażania i rozmrażania.

#### 5. Wnioski

Rezultaty badań eksperymentalnych potwierdzają możliwość stosowania lekkich grzejników powierzchniowych na kleju poliuretanowym, z lamelami do ogrzewania wewnątrz i w systemach ochrony przed lodem i śniegiem na zewnątrz budynków. Zastosowany klej wykazuje bardzo duże siły przyczepności, jak też wytrzymałości na ścinanie. W przypadku stosowania elementów drewnianych w warunkach działania ujemnych temperatur zaleca się ich impregnowanie z każdej strony, celem zwiększenia odporności na wodę i mróz. Badania wytrzymałości na odrywanie wykazały, że przy ewentualnej wymianie posadzki będzie następowało

odrywanie się folii od płyty izolacyjnej. Folia pozostanie niezerwana jedynie w miejscach ułożenia węzownicy. Może to być istotne przy remoncie całej podłogi lub części wymiany posadzki.

W przyszłości Warto byłoby określić wytrzymałość warstw zespolonymi tańszymi klejami cementowymi i zbadać wytrzymałości na ścinanie kleju klasy C2S1 i o wyższej elastyczności, typu C2S2 oraz jego przyczepność przy XPS-ie frezowanym. Wskazane są też badania na zginanie i ściskanie tego rodzaju grzejników.

### Literatura

- DIN EN 1465:2009-07 Klebstoffe-Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebungen; Deutsche Fassung.
- DIN 53289:1979 Testing of adhesives for metals and adhesively bonded metal joints; floating roller peel test.
- Karpiesiuk J. (2015). Ciepło z posadzki bez jastrychów (1). Cenna podłogówka. *Magazyn Instalatora*, 11/2015, 30-31.
- Karpiesiuk J. (2016). Ciepło z posadzki bez jastrychów (2). Ultra cienki grzejnik. *Magazyn Instalatora*, 02/2016, 20-21.
- Karta Informacyjna (2015). Sika Bond – T8. Kleje i uszczelniacze, 30.03.2015. Firma Sika Poland.
- Żukowski M., Karpiesiuk P. (2015). Wyniki badań ogrzewania płaszczyznowego typu B wykonanego w technologii suchej. *Instal*, 7-8/2015, 33-37.

### THE RESULTS OF SELECTED INTERFACE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT RADIANT HEATER WITH DISSIPATING ELEMENTS

**Abstract:** The paper presents selected results of interface strength tests for lightweight radiant heater with dissipating elements made of aluminum heat diffusers. Small height and lightweight structure are the main features of the heater. It has been achieved through eliminating layers of screeds. Comparing to heaters without dissipating elements the structure is more expensive to make, however, the advantage is faster and more uniform transfer of heat to the environment. The article presents the results of strength tests on used adhesives. The following factors have been tested: the shear strength, floating roller peel, pull-off strength and water absorption and frost resistance. The results confirm the possibility of using the radiator heaters on polyurethane adhesive with heat diffusers for heating interiors and in protection systems against ice and snow.

Autorzy dziękują Panom z firmy Sika Poland – Andrzejowi Burcekowi, Rafałowi Siwkowi, Wojciechowi Ziemińskiemu i Kamilowi Psykowi za przygotowanie próbek i udostępnienie przemysłowego laboratorium w Krakowie i Warszawie