

WYNIKI WYBRANYCH BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH WARSTWY ADHEZYJNEJ GRZEJNIKA PŁASZCZYZNOWEGO O LEKKIEJ KONSTRUKCJI

Jacek KARPESIUK*, Tadeusz CHYŻY

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

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki badań wytrzymałościowych lekkiego grzejnika płaszczyznowego wykonanego w tzw. technologii suchej. Jego cechą charakterystyczną jest mała grubość, ponieważ jastyrychy o mokrej i suchej konstrukcji zostały zastąpione cementową zaprawą klejową z wtopioną siatką z włókien szklanych. Badania przyczepności, nasiąkliwości i mrozoodporności wykonano w warstwie adhezyjnej odpowiednio dobranych klejów. Wyniki badań wytrzymałościowych potwierdzają możliwość stosowania płyt izolacyjnych EPS i XPS w przyjętej konstrukcji grzejnika złożonego z zaprawy klejowej z wtopioną siatką z włókna szklanego w zastępstwie podłóg z jastyrychami. Rezultaty badań mrozoodporności wskazują również, że przyjęta konstrukcja eliminuje zastosowanie tego rodzaju grzejnika w systemach ochrony przed śniegiem i lodem.

Słowa kluczowe: lekki grzejnik płaszczyznowy, przyczepność, wytrzymałość na rozciąganie.

1. Wprowadzenie

W 2015 roku w Politechnice Białostockiej zostały wykonane badania eksperymentalne gęstości strumienia ciepła i bezwładności cieplnej lekkich, cienkich grzejników płaszczyznowych bez jastyrychów i z jastyrychami (Karpiesiuk, 2015), opisane przez Żukowskiego i Karpiesiuka (2015a i 2015b). Wyniki tych badań wyodrębniły wiele zalet układu grzejnego bez jastyrychów, między innymi wykazały małą bezwładność cieplną, co skutkuje skróceniem okresów przegrzewania i niedogrzewania oraz wpływa na oszczędności energii. Dodatkowo należy zaznaczyć, że koszt takiej konstrukcji jest porównywalny do wykonania standardowego ogrzewania płaszczyznowego z gładziami betonowymi i można go zastosować przy rozwiązaniach modernizacji ogrzewania w przypadku stropów o niskiej nośności oraz w systemach wykorzystujących OZE (Odnawialne Źródła Energii). Badania grzejnika bez jastyrychu przeprowadzono bez rozpraszaczy ciepła (lameli), co miało wpływ na różnice temperatury na posadzce grzejnej do maksymalnie $\Delta T = 5^\circ\text{K}$, zależnie od temperatury wody zasilającej. Przeprowadzone badania określone były jako wstępne, z sugestią wykonania w przyszłości badań wytrzymałości mechanicznej tego typu płaszczyznowej konstrukcji grzejnej.

W artykule opisano wyniki badań przyczepności metodą pull-off oraz wytrzymałości po badaniu nasiąkliwości i mrozoodporności grzejnika płaszczy-

znowego bez zastosowania rozpraszaczy ciepła. Badania przeprowadzono na płytach izolacyjnych polistyrenu ekstrudowanego SYNTHOS XPS 30, powierzchnia typu „wafel” oraz na płytach polistyrenu ekspandowanego EPS 200 hydro Genderka bez lameli (tak zwana wersja ekonomiczna). Powierzchnie płyt izolacyjnych zostały pokryte zaprawą klejową. Na nim przymocowano płytki gresu o wymiarach zgodnych z wymaganiami norm do tego typu badań, czyli 5×5 cm. Do tego celu użyto klej cementowy Sika Ceram 255 klasy C2TES1 według normy PN-EN 12004+A1:2012 *Kleje do płytek. wymagania, ocena zgodności, klasyfikacja i oznaczenie*, w wariancie z siatką z włókna szklanego o gramaturze 335 g/m^2 i bez tej siatki. Klej tego typu charakteryzuje się przyczepnością $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ i odkształceniem poprzecznym $\geq 2,5 \text{ mm}$ i $< 5 \text{ mm}$. Zbadano siłę przyczepności, stosując płyty XPS z dostępną w sprzedaży powierzchnią gofrowaną (waflową) i płyty EPS (styropianowe). Przeprowadzono badania na płytach XPS o wymiarach $600 \times 1250 \text{ mm}$ i EPS o wymiarach $500 \times 1000 \text{ mm}$ z zamontowanymi węzownicami z PCV PE/RT/AI/PE/RT o średnicy $16 \times 2 \text{ mm}$ w rozstawie 10 cm (płyty XPS) i $12,5 \text{ cm}$ (płyty EPS). Całość zbadano na przyczepność zaprawy klejowej pomiędzy gresem i płytą izolacyjną przed osiągnięciem pełnego obciążenia, wynoszącego minimum 14 dni, a dokładnie po 3 dniach. Kolejne badania przeprowadzono po osiągnięciu pełnego obciążenia, w okresie od 28-31 dni. Wykonano też badania nasiąkliwości i mrozoodporności w cyklu

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

normowym 25-krotnym według normy PN-B 06250:1988 *Beton zwykły*, ponieważ jej wymagania są bardziej restrykcyjne niż normy badającej kleje. Dodatkowo zbadano siły rozciągające dla 50 cykli zamrażania i odmrażania, czyli o wartości 2-krotnie wyższej niż przewiduje norma PN-EN 1348: 2008 *Kleje do płytek. Oznaczenie przyczepności dla klejów cementowych*, badająca kleje do płytek.

Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników badań dwóch modeli grzejnika płaszczyznowego o różniących się typach izolacji termicznej. Sprawdzono ich przyczepność metodą pull-off przed eksploatacją pomieszczeń, po 3 dniach od ułożenia terakoty oraz w czasie eksploatacji – badanie po 28 dniach, gdy zaprawa klejowa osiąga pełną, dedykowaną przez producenta wytrzymałość na rozciąganie przy zerwaniu i odkształcalność. Dodatkowo zbadano siły rozciągające prostopadłe do powierzchni czołowych po badaniach nasiąkliwości i mrozoodporności.

2. Opis stanowiska pomiarowego i metodyka badań

Badania zostały wykonane w przemysłowym laboratorium firmy Sika Poland w Warszawie. Zakres wykonanych badań obejmował pomiary przyczepności metodą pull-off grzejnika płaszczyznowego zbudowanego na bazie płyt SYNTHOS XPS 30, o powierzchni wytłaczanej, tak zwany „wafel” i EPS 200-036 „hydro” Dach-Podłoga-Parking, bez zastosowania rozpraszaczy ciepła w postaci folii lub blach z metali. Użyto klejów cementowych typu C2TE S1. Schemat stanowiska pomiarowego prezentuje rysunek 1.

Schemat stanowiska badawczego i oprzyrządowania do badania mrozoodporności prezentuje rysunek 2. Badania przyczepności zostały wykonane na konstrukcji podłóg przedstawionych na rysunku 3.

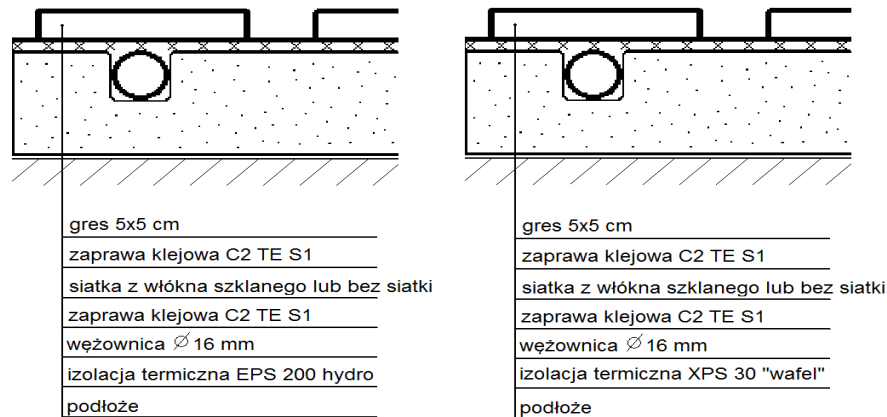
Badania nasiąkliwości wykonano na płytach z siatką po 21 dniach całkowitego zanurzenia w wodzie w temperaturze 20°C, zgodnie z normą PN-EN 1348: 2008. Próbkki te poddano badaniu na rozciąganie prostopadłe do powierzchni czołowych zgodnie z procedurą 8.3 tej normy. Kolejne próbki opisane na rysunku 2 (wyłącznie z siatką) poddano badaniu mrozoodporności po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w wodzie zgodnie z normą PN-B 06250:1988. Zastosowano procedurę 6.5.1.3 normy dotyczącej badań betonów zwykłych, stosując zamrażanie w temperaturze $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ na minimum 4 godziny i odmrażanie w wodzie w temperaturze $+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ w czasie 2-4 godzin. Wykonano również eksperymenty nienormowe z 50 krotnym cyklem zamrażania i odmrażania, czyli 2 razy dłuższym niż podaje norma badania klejów do płytek.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do badania przyczepności o zakresie pomiaru 1,6-16 kN (fot. J. Karpiesiuk)



Rys. 2. Komora do badań mrozoodporności (fot. J. Karpiesiuk)



Rys. 3. Stanowiska do badania przyczepności konstrukcji podłogi z płytą izolacyjną metodą pull-off (opracował J. Karpiesiuk)

3. Wyniki pomiarów

Wyniki wykonanych badań przyczepności metodą pull-off czterech różnych układów płyt grzewczych przedstawia tabela 1.

Rezultaty badań wytrzymałości na rozciąganie układów A i B bez odcinania siatki, badanych prostopadle do powierzchni czołowych po długotrwałej nasiąkliwości i całkowitym zanurzeniu w wodzie przez 21 dni, podano w tabeli 2.

Wyniki badań nad wytrzymałością na rozciąganie prostopadle do powierzchni czołowych po zamrażaniu i odmrażaniu układów A i B podano w tabeli 3.

Sposób i miejsca odspojenia pokazano na rysunku 4.

4. Analiza wyników

W artykule zaprezentowano wyniki badań wytrzymałości, nietypowego grzejnika powierzchniowego, w którym wyeliminowano warstwę konstrukcyjną podłogi w postaci tak zwanych jastrychów. Zastosowano ten sam układ warstw podłogi jak w badaniach gęstości strumienia ciepła i bezwładności cieplnej (Karpiesiuk, 2015). Model badawczy rozszerzono poprzez zastosowanie tańszej płyty izolacyjnej EPS i brak siatki z włókien szklanych. W prezentowanym modelu zastosowano następujący

schemat warstw konstrukcyjnych od dołu podłogi lub od wnętrza ściany:

- płyta izolacyjna XPS „wafel” lub EPS,
- wężownica PCV wbudowana w rowki,
- klej typu C2TE S1 z siatką z włókna szklanego lub bez siatki,
- posadzka z gresu zamocowana klejem cementowym klasy C2TE S1.

Zastosowanie wariantów z tańszym materiałem izolacyjnym EPS i droższym XPS, jak też z siatką i bez jej użycia było celowe. Celem było sprawdzenie możliwości wykorzystania różnych rozwiązań materiałowych do zastosowanych konstrukcji podłogi oraz ocena zasadności ich stosowania, a także porównanie różnic przyczepności metodą pull-off po badaniu nasiąkliwości i mrozoodporności. Wielowariantowość badań umożliwiła porównanie użytych materiałów. Badania przyczepności wykonane po 3 dniach od ułożenia gresu na kleju cementowym, czyli w trakcie wykonywania prac posadzkarskich, jak też w warunkach eksploatacji podłogi grzewczej, po osiągnięciu całkowitej ich wytrzymałości, czyli po 28-31 dniach, pozwoliły porównać siły przyczepności dla tych warunków, jak też względem wykazanych w normach przy systemach ETICS i w stosunku do betonów. Dodatkowo porównano siły przyczepności klejów bez siatki i z siatką z włókna szklanego.

Tab. 1. Siły przyczepności z opisem miejsca odspojenia

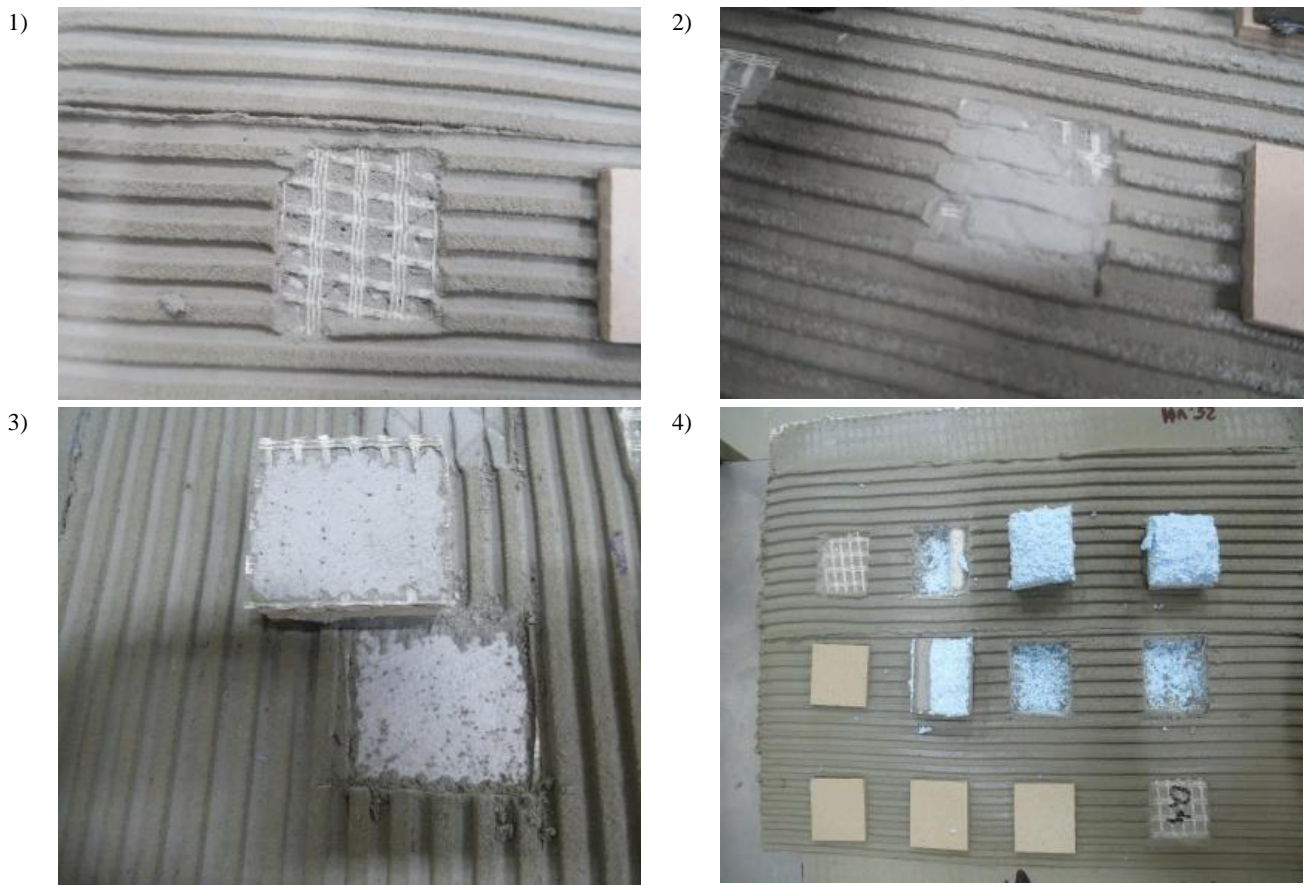
PRÓBK NR	UKŁAD „A”	Liczba dni	F [kN]	F _p [MPa]	Opis zniszczenia
1	XPS SYNTHOS	3	0,34	0,136	
2	30,”wafel”/ SikaCeram 255	3	0,49	0,196	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
3	z siatką/ gres	3	0,49	0,196	
1	XPS SYNTHOS	28	0,77	0,308	
2	30,”wafel”/ SikaCeram 255	28	0,72	0,288	
3	z siatką/ gres	28	0,62	0,248	adhezyjne odspojenie kleju od gresu
1	XPS SYNTHOS	29	0,85	0,340	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
2	30,”wafel”/ SikaCeram 255	29	0,77	0,308	
3	z siatką/ gres	29	0,80	0,320	
UKŁAD „B”					
1	EPS 200 hydro/	3	0,36	0,144	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
2	SikaCeram 255	3	0,34	0,136	
3	z siatką/ gres	3	0,28	0,112	
1		28	0,49	0,196	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
2	EPS 200 hydro/	28	0,59	0,236	
3	SikaCeram 255	28	0,49	0,196	
1	z siatką/ gres	29	0,44	0,176	
UKŁAD „C”					
1	XPS SYNTHOS	31	0,46	0,184	kohezyjne odspojenie w XPS-ie
2	30,”wafel”/ SikaCeram 255,	31	0,54	0,216	
3	siatka punktowo odcięta/ gres	31	0,46	0,184	
UKŁAD „D”					
1	EPS 200 hydro/	31	0,24	0,096	Kohezyjne odspojenie w EPS-ie
2	SikaCeram 255,	31	0,34	0,136	
3	siatka punktowo odcięta / gres	31	0,31	0,124	

Tab. 2. Siły rozciągające przy zerwaniu w badaniu długotrwałej nasiąkliwości (po 21 dniach) z opisem miejsca odspojenia

PRÓBK NR	UKŁAD	F [kN]	F _p [MPa]	Opis zniszczenia
UKŁAD „B”				
1		0,44	0,176	
2	XPS SYNTHOS	0,42	0,168	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
	30,”wafel”/ SikaCeram 255			
3	z siatką/ gres	0,49	0,196	
UKŁAD „A”				
1		0,50	0,200	
2	EPS 200 hydro/	0,46	0,184	kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką
	SikaCeram 255			
3	z siatką/ gres	0,42	0,168	

Tab. 3. Siły rozciągające prostopadłe do powierzchni czołowych przy 25 i 50 cyklach zamrażania i rozmrażania

PRÓBK NR	UKŁAD	F[kN] po 25 cyklach	F _p [MPa]	F [kN] po 50 cyklach	F _p [MPa]	Opis zniszczenia
UKŁAD „A”						
1	XPS	0,40	0,160	0	0	adhezyjne odspojenie kleju od gresu
2	SYNTHOS 30, „wafel”/	0,39	0,156	0,12	0,048	
3	SikaCeram 255 z siatką/	-	-	0,13	0,052	
4	gres	-	-	0	0	
UKŁAD „B”						
1	EPS 200	0,43	0,172	0,12	0,048	adhezyjne odspojenie kleju od gresu
2	hydro/ SikaCeram	0,46	0,184	0,20	0,080	
3	255 z siatką/	-	-	0,12	0,048	
4	gres	-	-	0	0	

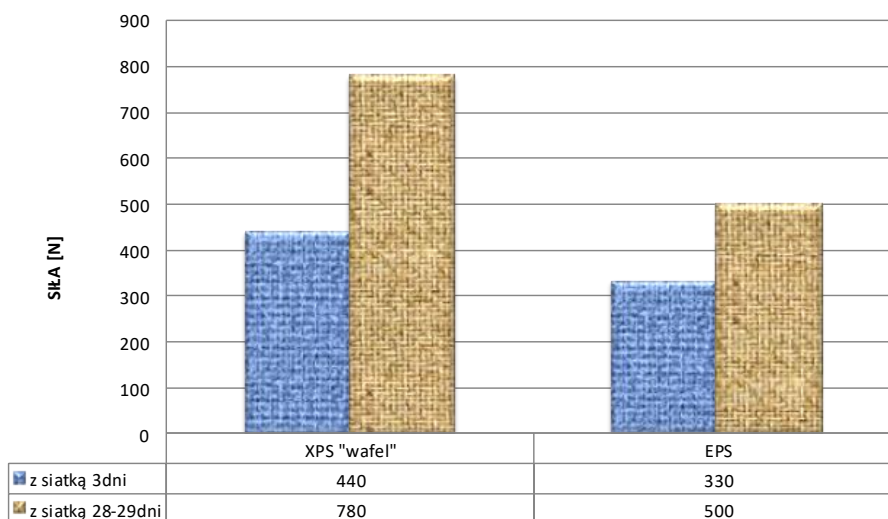


Rys. 4. Opis odspojień przy badaniu przyczepności: 1) kohezyjne odspojenie w kleju na połączeniu z siatką, 2) adhezyjne odspojenie kleju od gresu, 3) kohezyjne odspojenie w XPS-ie, 4) Kohezyjne odspojenie w EPS-ie

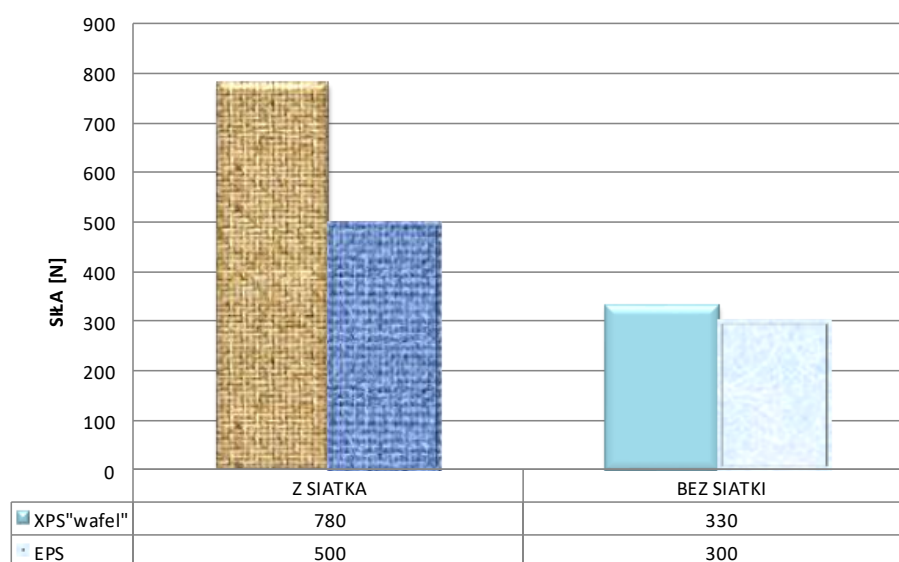
Na podstawie wyników badań stwierdzono, że dla wariantu z siatką z włókna szklanego, po 3 dniach od nałożenia kleju, obciążenie rozciągające przy zerwaniu wynosi około 60% zbadanej, całkowitej siły przyczepności dla płyt izolacyjnych XPS „wafel”, a około 70% dla płyt EPS. Odpowiednio siły te wynoszą 440 N (0,176 MPa) i 330 N (0,130 MPa). O około 35% lepszą przyczepność wykazują płyty XPS „wafel” o średniej sile odspojenia po 28-29 dniach wynoszącej 780 N (0,3 MPa) względem EPS – średnio 500 N

(0,21 MPa). Pokazują to rysunki 5 i 6.

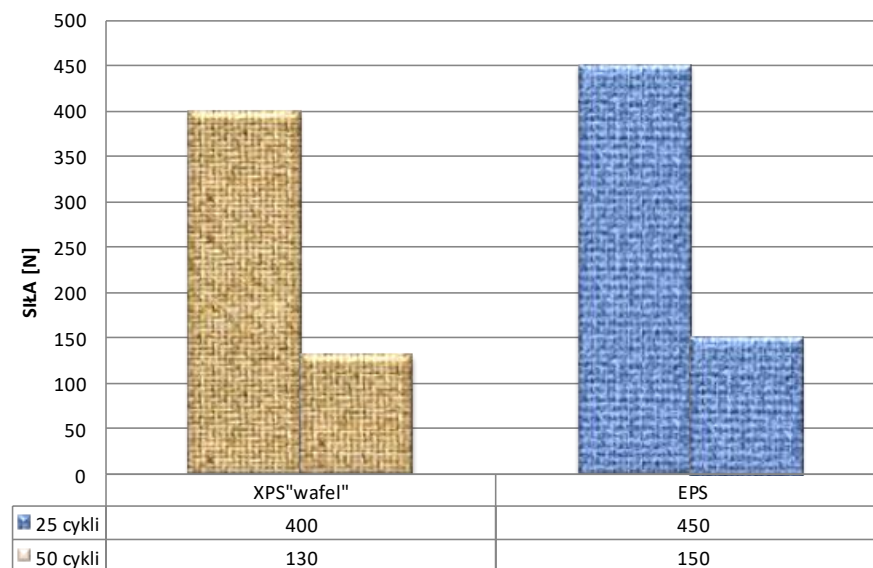
Stosując pokrycie płyty grzejnej bez siatki z włókna szklanego przyczepność gresu w płycie XPS jest o 10% większa niż w EPS, przy sile odpowiednio 330 N (0,132 MPa) i 300 N (0,12 MPa), co przedstawia rysunek 6. Siła rozciągająca określana po badaniu nasiąkliwości układów warstw z XPS-em i EPS-em wynosi w obu przypadkach średnio 450 N (0,18 MPa). Porównując ten wynik do rezultatów badań w warunkach suchych odnotowano niewielki średnio około 10% spadek siły



Rys. 5. Uśrednione wyniki badań przyczepności metodą pull-off płyty izolacyjnej XPS i EPS po 3 i 28-29 dniach.



Rys. 6. Uśrednione wyniki badań przyczepności metodą pull-off płyty izolacyjnej XPS i EPS po 28-31 dniach, z wtopioną w klej siatką lub bez niej.



Rys. 7. Uśrednione wyniki rozciągania po zamrażaniu i rozmrażaniu płyty izolacyjnej XPS i EPS z wtopioną w klej siatką

przyczepności po całkowitym 21 dniowym zanurzeniu w wodzie dla konstrukcji podłogi z użyciem siatki i EPS-u oraz większy – 28% spadek w tego typu podłodze z XPS-em.

Średnia siła rozciągająca prostopadła do powierzchni czołowych po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania płyty EPS wynosi średnio 450 N (0,18 MPa), czyli jest zbliżona do wyników badań samej nasiąkliwości. W płycie XPS ta wytrzymałość nieznacznie spada do około 0,16 MPa, czyli o 10%. Przy 50 cyklach zamrażania i rozmrażania wytrzymałość na rozciąganie spada w tym przypadku do poziomu średnio 0,05 MPa (130 N) dla XPS-u i 0,06 MPa dla EPS-u (150 N), co przedstawiono na rysunku 7.

5. Wnioski

Znaczne różnice wyników badań przyczepności układów warstwowych grzejnika płaszczyznowego z siatką włókna szklanego i bez niej pozwalają na stwierdzenie, że konstrukcja podłogi z siatką jest stabilniejsza. Użycie tego rodzaju wzmocnienia zaprawy klejowej nie wpływa znacząco na koszty wykonania systemu grzejnego. Należy przy tym pamiętać o możliwym tak zwanym klawiszowaniu płyt, mogącym występować w przypadku nierówności podłoża. Powyższe wyniki zarówno po 3, jak i po 28 dniach potwierdzają dodatkowo spełnienie Zaleceń Udzielania Aprobata Technicznych ITB ZUAT-15/V.03/2010 (2010), dotyczących zestawów do wykonywania ociepleń zewnętrznych ścian z zastosowaniem płyt EPS w systemie ETICS oraz z Europejską oceną techniczną (ETA) dla płyt XPS na podstawie ETAG 004:2013, gdzie minimalna wartość przyczepności kleju do styropianu wynosi 0,08 MPa. Układ płyty izolacyjnej XPS "wafel" z siatką o średniej przyczepności 0,30 MPa spełnia nawet wymagania ITB (2010), klejów do betonu o znacznie lepszej przyczepności, która wynosi minimum 0,25 MPa.

Konstrukcja podłogi ze styropianem (EPS) ma wyższą odporność na siły rozciągające pod wpływem długotrwałego działania wody, co jest spowodowane, wyższą jego wodochłonnością od XPS-u. Powyższe wnioski potwierdzają badania mrozoodporności przy 25 cyklach zamrażania i rozmrażania. Dodatkowe nienormowe badania przy 50 cyklach pokazują, że zastosowany klej cementowy układany na warstwie izolacji termicznej, poddany długotrwałemu działaniu wody i mrozu traci właściwości adhezyjne, a więc nie powinien być stosowany w systemach ochrony przed śniegiem i lodem.

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe grzejnika płaszczyznowego o lekkiej konstrukcji bez jastrychów

można uznać za wstępne. Żukowski i Karpiesiuk (2015b) wskazują, że tego typu grzejnik nie jest idealnym rozwiązaniem. Jego niedoskonałość upatruje się w braku warstwy rozpraszającej ciepło (lameli), co przy większych rozstawach węzownicy może pogorszyć termiczny komfort tego modelu grzejnego. W związku z tym, należy przeprowadzić tego typu badania wytrzymałościowe na grzejniku płaszczyznowym z elementami rozpraszającymi ciepło.

Literatura

- Karpiesiuk P. (2015). Badania pola temperatury przy ogrzewaniu płaszczyznowym. Praca dyplomowa inżynierska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, *Politechnika Białostocka*.
- Żukowski M., Karpiesiuk P. (2015a). Wyniki badań grzejnika płaszczyznowego typu B wykonanego w technologii suchej. *Instal*, 7/8, 33-37.
- Żukowski M., Karpiesiuk P. (2015b). Wyniki badań grzejnika płaszczyznowego o bardzo małej wysokości. *Instal*, 10, 38-41.
- ITB (2010). ZUAT-15/V.03/2010 Zestawy wyrobów do wykonywania ociepleń ścian zewnętrznych z zastosowaniem styropianu jako materiału termoizolacyjnego i pocienionej wyprawy elewacyjnej (ETICS). Wydanie III. *ITB*, Warszawa.
- ETAG 004:2013 Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering.
- ETA 07/0316 ATLAS XPS Złożony system izolacji cieplnej z wyprawami tynkarskimi.

THE RESULTS OF SELECTED STRENGTH TESTS OF THE ADHESIVE LAYER OF RADIANT HEATER WITH LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION

Abstract: The paper presents the results of strength tests for lightweight radiant heater made in so called dry technology. One of its features is a very low thickness due to wet or dry screeds replaced by the fiberglass mesh structure with the adhesive cement. The research of pull-off, water absorption and frost resistance of the radiant heaters without the heat dissipating elements (heat diffusers) were carried out for the selected adhesives. The results confirm the complying with the conditions of applying insulation boards EPS and XPS in the adopted design of this radiant heater by using a fiberglass mesh, except applying it for protection against snow and ice.

Autorzy dziękują Panom z firmy Sika Poland Wojciechowi Ziemińskiemu i Kamilowi Psyk za przygotowanie próbek i udostępnienie przemysłowego laboratorium w Warszawie.