

Wytrzymałość muru na cienkie spoiny i muru scalonego poliuretanowym klejem murarskim

Dr inż. Roman Gajownik, mgr inż. Jan Sieczkowski, Warszawa

1. Wprowadzenie

Tradycyjny sposób murowania, w którym stosowane są zaprawy zwykłe (cementowo-wapienne i cementowe), ze względu na duże tolerancje wymiarów elementów murowych (rzędu kilku milimetrów) wymuszał wykonywanie spoin o grubościach dochodzących do kilkunastu milimetrów. Konieczność ograniczenia strat ciepła przenikającego przez ściany początkowo przyczyniła się do rozwoju i stosowania zapraw lekkich, aby następnie, w wyniku rozwoju technologii produkcji elementów murowych i wytwarzania ich z dużą dokładnością wymiarów, powstała możliwość wykonywania murów ze spoinami o zdecydowanie mniejszej grubości, tzw. murów na cienkie spoiny.

Mury na zaprawie do cienkich spoin, w których grubość spoin poziomych nie przekracza 3 mm, wznoszone są już od kilkunastu lat. Obecnie coraz częściej wykonywane są mury ze spoinami o grubości jednej dziesiątej części milimetra. Są to mury, w których scalenie elementów murowych uzyskuje się poprzez ich sklejenie klejem poliuretanowym [4, 5]. Nowa technologia wznoszenia murów, poza znaczną poprawą parametrów izolacyjności cieplnej ścian, w istotny sposób ogranicza też:

- roboty mokre, związane z przygotowaniem zapraw, a co za tym idzie – ilości materiałów do ich wykonania,
- czas wykonania muru i czas do obciążenia muru po jego wykonaniu.

Zaprawy murarskie do cienkich spoin były produkowane i wprowadzane na rynek na podstawie aprobat technicznych (AT), do czasu opracowania w 2004 r. polskiej wersji językowej normy PN-EN 998-2 [9]. Norma ta zobowiązywała producentów zapraw do wydawania deklaracji zgodności (obecnie deklaracji właściwości użytkowych) na swoje produkty według reguł w niej określonych¹. Zasady projektowania i sposób wykonania murów z cienkimi spoinami są objęte normą PN-EN 1996-1-1 [10].

Kleje murarskie ze względu na to, że nie są objęte zakresem normy PN-EN 998-2, są produkowane i wprowadzane na rynek na podstawie krajowych ocen technicznych (KOT)

(dawniej AT). W dokumentach tych klej murarski (poliuretanowy) jest zazwyczaj nazywany „poliuretanową zaprawą murarską do cienkich spoin”. Na niewłaściwe nazywanie kleju poliuretanowego – „zaprawą murarską do cienkich spoin” zwracano już uwagę w prasie technicznej, np. [6–8]. Zasady projektowania i sposób wykonania murów wznoszonych z zastosowaniem kleju murarskiego podawane są w KOT i odniesione do [10].

Dla pełniejszej oceny właściwości użytkowych murów wykonywanych z zastosowaniem kleju murarskiego autorzy porównali ich parametry wytrzymałościowe z wartościami podanymi w [10], zarówno dla muru wykonanego na zaprawie do cienkich spoin, jak i na zaprawie zwykłej.

2. Właściwości użytkowe zapraw do cienkich spoin i klejów murarskich (poliuretanowych)

• Wartości właściwości użytkowych zapraw do cienkich spoin podawane w aprobaty technicznych:

- gęstość nasypowa suchych mieszanek 1250–1600 kg/m³,
- gęstość objętościowa zaprawy stwardniałej 1400–1800 kg/m³,
- czas zachowania właściwości roboczych 3–5 h (w większości 4 h),
- czas zdolności do korygowania 7–15 min (w większości 7–8 min),
- konsystencja, oznaczana za pomocą:

- stożka	6,2–9,0 cm,
- stolika rozplywu 13,5	17,5 cm,
- nasiąkliwość 15–24%,
- skurcz 0,5–1,5%, (w większości 1,1–1,5%),
- wytrzymałość na ściskanie 5, 10, 15 i 20 MPa,
- wytrzymałość na zginanie 25–35% wytrzymałości na ściskanie,
- wytrzymałość spoiny (przyczepność określana przez odrywanie próbki zaprawy) ≤ 0,5 MPa,
- trwałość (odporność na zamrażanie/odmrażanie)

- spadek wytrzymałości	≤ 20%,
- ubytek masy	≤ 5%.

• Właściwości użytkowe klejów murarskich (poliuretanowych) podawane w KOT/AT:

- gęstość objętościowa 16–20 kg/m³,
- czas zachowania właściwości roboczych 3–5 min,

¹ W AT, dla określonego wyrobu, podawano wszystkie jego właściwości użytkowe wraz z ich wymaganym poziomem. Natomiast norma [9] zawiera wykaz właściwości użytkowych charakteryzujących wyrób bez określania ich wartości. Producent na podstawie badań ustala poziom tych właściwości, które będzie deklarował.

Tabela 1. Porównanie zaprawy murarskiej i kleju murarskiego poliuretanowego

Właściwość	Zaprawa murarska	Klej murarski poliuretanowy
Skład	mieszanka: spoiw nieorganicznych, kruszywa, wody, dodatków i domieszek	pianka poliuretanowa
Po stwardnieniu	ciało stałe	porowate ciało stałe
Podstawowa właściwość użytkowa	wytrzymałość na ściskanie	nie ma wytrzymałości na ściskanie
Wypełnienie spoin między elementami murowymi	całkowite lub pasmowe	nie w pełni
Grubość spoiny	6–15 mm – zaprawy zwykłe i lekkie 0,5–3 mm – cienkie spoiny	dziesiąte części mm

- czas zachowania zdolności do korygowania 30 s–5 min,
- stopień ekspansji 42–135%,
- stabilność wymiarowa $\pm 6\%$,
- wytrzymałość na rozciąganie (pianka swobodnie spieniona) 0,06–0,15 MPa,
- wytrzymałość spoiny (na rozciąganie w połączeniu z elementami murowymi) 0,07–0,30 MPa,
- trwałość – odporność na zamrażanie/odmrażanie po 20 cyklach, po 7 dniach 0,10–0,20 MPa.

W porównaniu do właściwości użytkowych wymaganych dla zapraw do cienkich spoin właściwości użytkowe klejów murarskich poliuretanowych, przydatne dla projektanta i wykonawcy konstrukcji, to:

- czas zachowania właściwości roboczych (zdolności klejenia),
- czas zachowania zdolności do korygowania,
- wytrzymałość spoiny (wytrzymałość na rozciąganie spoiny w połączeniu z elementami murowymi), przy czym w przypadku zaprawy do cienkich spoin jest to wytrzymałość na ścinanie spoiny,
- trwałość (odporność na zamrażanie/odmrażanie).

Pozostałe właściwości użytkowe klejów murarskich, zdaniem autorów, nie wnoszą informacji pozwalających na ocenę zachowania się kleju (pianki) w murze w warunkach jego użytkowania, z uwagi na traktowanie muru jako „materiału konstrukcyjnego”.

Porównanie podstawowych charakterystyk zaprawy murarskiej i kleju murarskiego poliuretanowego, decydujących o odrębności obu materiałów podano w tabeli 1.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz to, że właściwości użytkowe kleju murarskiego poliuretanowego nie odpowiadają wymaganym właściwościom użytkowemu zaprawy murarskiej należy stwierdzić, że pianka poliuretanowa stosowana do murowania nie może być nazywana zaprawą murarską. Prawidłową nazwą spoiwa poliuretanowego do łączenia elementów murowych jest więc **klej murarski poliuretanowy** (bez uzupełnienia **do cienkich spoin**), która w pełni charakteryzuje funkcję, jaką ten materiał pełni w murze.

3. Nakładanie kleju murarskiego (poliuretanowego)

Klej murarski poliuretanowy może być, w większości rodzajów klejów, nakładany w temperaturze od -5°C do $+30^{\circ}\text{C}$. Sposób nakładania kleju na kolejne warstwy muru (liczba pasm i ich szerokość), temperatura, w jakiej klej może być stosowany, a także czas zachowania zdolności klejenia (tzw. czas otwarty) oraz czas, w jakim może być korygowane ułożenie elementu murowego, podawane są w dokumentach odniesienia (KOT/AT).

W ścianach konstrukcyjnych klej (pianka) układany jest za pomocą pistoletu:

- w murach wznoszonych z pustaków ceramicznych – w pasmach o szerokości minimum 30 mm, zazwyczaj 50–60 mm, w odległości od lica muru około 50 mm lub równej 1/3 szerokości elementu murowego,
- w murach wznoszonych z elementów silikatowych i ABK – w pasmach o szerokości 20–30 mm, w odległości od lica muru równej 1/3 szerokości elementu murowego (w jednym przypadku o szerokości 40–50 mm, w odległości 30 mm od lica muru).

W przypadku wykonywania ścian działowych o grubości nie większej niż 130 mm nakładane jest jedno pasmo, ułożone wzdłuż muru, w połowie jego grubości.

Procent pokrycia klejem powierzchni wspornej elementów murowych jest bardzo zróżnicowany i wynosi dla ściany grubości 240 mm od 25 do 50%. Dla porównania zaprawa do cienkich spoin nakładana jest na całej powierzchni wspornej. Czas korygowania położenia elementu jest mocno zróżnicowany i waha się od 30 s do nawet 5 min, a czas zachowania zdolności klejenia – od 3 do 5 min. Trzeba stwierdzić, że nawet pozornie bardzo krótki czas korygowania położenia elementu (30 s) jest wystarczający do jego prawidłowego ustawienia w murze.

4. Parametry wytrzymałościowe murów

4.1. Wyniki badań

Szerokie, dostępne badania porównawcze parametrów wytrzymałościowych murów scalonych klejem, dotyczą tylko

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałości murów na ściskanie z elementów z ABK (odniesione do murowania „na sucho”, w %)

Rodzaj spoiwa	Naprężenie rysujące	Naprężenie niszczące	Moduł sprężystości
„Na sucho”	100	100	100
Klej murarski poliuretanowy	97	95	136
Zaprawa do cienkich spoin	90 (80)	94 (83)	361 (433)
Zaprawa zwykła	78 (84)	73 (87)	422 (426)
(..) – wartości dla murów z wypełnionymi spoinami pionowymi.			

murów wykonanych z elementów z ABK [1–3]. Brak jest natomiast wyników badań parametrów wytrzymałościowych takich murów wykonanych z pustaków ceramicznych i elementów silikatowych.

Badania [1–3] zostały przeprowadzone na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej i objęły mury scalone poliuretanowym klejem murarskim oraz mury wykonane przy zastosowaniu zaprawy do cienkich spoin i zaprawy zwykłej. Jako bazową serię badawczą do porównania uzyskanych wyników, przyjęto mur wykonany bez użycia zaprawy. Brak w tych badaniach murów na zginanie nie pozwala jednak na dokonanie kompleksowej oceny przydatności murów scalanych klejem murarskim w stosunku do murów wykonywanych przy zastosowaniu zapraw murarskich.

W celu dokonania ogólnej oceny charakterystyki konstrukcyjnej badanych murów, wyniki badań przedstawiono w tabeli 2, w procentach odniesionych do muru wykonanego bez użycia zaprawy.

Analiza wyników badań podanych w tabeli 2 pozwala na sformułowanie wniosków charakteryzujących mury ściskane, wykonane z zastosowaniem kleju poliuretanowego (również mury wykonane „na sucho”), w stosunku do murów wykonanych na cienkie spoiny i zwykłą zaprawę, jak niżej:

- wartości naprężeń rysujących i maksymalnych (niszczących) oraz wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie murów wykonanych:

- bez zaprawy są około 5% większe niż w murach wykonanych przy użyciu kleju poliuretanowego,

Tabela 3. Wytrzymałości charakterystyczne muru na ściskanie oraz moduły sprężystości

Rodzaj spoiny	Rodzaj elementu murowego		Wytrzymałość muru na ściskanie f_k (MPa)		Moduł sprężystości muru E (MPa)	
			KOT/AT	PN-EN 1996	KOT/AT	PN-EN 1996
Klej murarski poliuretanowy	ceramika	grupa 2	$0,5 f_b^{0,7}$	–	$(335-369)f_k$	–
		grupa 3	$0,4 f_b^{0,7}$	–	$324 f_k$	–
	silikaty		$0,55 f_b^{0,7}$ 4,5	–	$(330-375)f_k$	–
	ABK		$0,7 f_b^{0,85}$ 1,9	–	$(41-193)f_k$	–
Zaprawa do cienkich spoin	ceramika	grupa 1	–	$0,6 f_b^{0,85}$	–	$1000 f_k$
		grupa 2		$0,5 f_b^{0,7}$		
		grupa 3		$0,45 f_b^{0,7}$		
		grupa 4		$0,35 f_b^{0,7}$		
	silikaty	grupa 1	–	$0,55 f_b^{0,85}$	–	$1000 f_k$
		grupa 2		$0,45 f_b^{0,85}$		
ABK		–	$0,75 f_b^{0,85}$ dla $f_b \geq 2,4$ MPa	–	$600 f_k$	
			$0,60 f_b^{0,85}$ dla $f_b < 2,4$ MPa			
Zaprawa zwykła	ceramika	grupa 1	–	$0,45 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$	–	$1000 f_k - \text{dla } f_m \geq 5 \text{ MPa}$ $600 f_k - \text{dla } f_b < 5 \text{ MPa}$
		grupa 2		$0,40 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$		
		grupa 3		$0,30 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$		
		grupa 4		$0,30 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$		
	silikaty	grupa 1	–	$0,45 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$	–	$1000 f_k - \text{dla } f_m \geq 5 \text{ MPa}$ $600 f_k - \text{dla } f_b < 5 \text{ MPa}$
		grupa 2		$0,40 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$		
	ABK		–	$0,45 f_b^{0,7} f_m^{0,3}$	–	$600 f_k$

- przy użyciu kleju poliuretanowego są około 10–15% większe niż w murach wykonanych na cienkie spoiny,
- we wszystkich badanych seriach murów pierwsze rysy pojawiały się na poziomie 80–92% wytrzymałości muru na ściskanie,
- współczynnik sprężystości muru wykonanego przy użyciu kleju poliuretanowego bez wypełnienia spoin pionowych jest mniejszy około 2,6 razy od współczynnika sprężystości muru wykonanego na cienkie spoiny z niewypełnionymi spoinami pionowymi; przy wypełnionych spoinach pionowych różnica ta jest większa i wynosi blisko 3,2 razy,
- współczynnik sprężystości muru wykonanego bez użycia zaprawy w stosunku do muru wykonanego na cienkie spoiny jest jeszcze mniejszy niż dla muru wykonanego przy użyciu kleju poliuretanowego, odpowiednio 3,6 i 4,3 razy.

4.2. Wytrzymałość muru na ściskanie i moduł sprężystości

Wytrzymałości charakterystyczne muru na ściskanie oraz moduły sprężystości murów scalanych klejem murarskim poliuretanowym zalecane w KOT/AT oraz wykonanych z cienkimi spoinami (na zaprawach do cienkich spoin) i na zaprawach zwykłych, zalecane w PN-EN 1996 [10] – zestawiono w tabeli 3. Z porównania parametrów wytrzymałościowych murów scalonych klejem w stosunku do murów na cienkie spoiny zestawionych w tabeli 3 wynika, że:

- charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie, f_{rk} , muru scalonego klejem jest:
 - dla elementów ceramicznych – jak dla muru na cienkie spoiny,
 - dla elementów silikatowych – mniejsza, co uzyskuje się przez zmianę wykładnika potęgi z 0,85 na 0,7,
 - dla elementów ABK - mniejsza, co uzyskuje się przez zmianę współczynnika K z 0,75 na 0,7,
- moduł sprężystości muru, E:
 - dla elementów ceramicznych – wynosi 33 do 55% wartości dla muru na cienkie spoiny,
 - dla elementów silikatowych – wynosi 33 i 37% wartości dla muru na cienkie spoiny,

Tabela 4. Wytrzymałość muru na zginanie f_{xk} i ścinanie f_{vko} w MPa

Materiał muru		II do spoin wspornych f_{xk1}	⊥ do spoin wspornych f_{xk2}	Ścinanie f_{vko}
Klej murarski poliuretanowy* (AT/KOT)	ceramika	0,15–0,19	0,06–0,11	0,08
	silikaty	0,21–0,27	0,18–0,19	0,15–0,31
	ABK	0,22–0,44	0,19–0,43	0,10–0,18
Zaprawa do cienkich spoin (PN-EN 1996)	ceramika	0,15	0,15	0,25
	silikaty	0,15	0,30	0,30
	ABK	0,15	0,15	0,25
Zaprawa zwykła (PN-EN 1996)	ceramika	0,10	0,40	0,20
	silikaty			0,15
	ABK			0,15

*) Wytrzymałości charakterystyczne dla określonych murów podane w AT/KOT.

- dla elementów ABK – wynosi 7 do 32% wartości dla muru na cienkie spoiny.

Niewielka liczba analizowanych danych nie pozwala na dokonanie uogólnień uzyskanych wyników, tym bardziej że podawane wartości poszczególnych właściwości dla analizowanych rozwiązań materiałowych elementów murowych znacznie różnią się między sobą, nawet o więcej niż 100%. Odnosi się to szczególnie do modułu sprężystości muru wykonanego z elementów ABK, którego wartości różnią się między sobą o kilkaset procent.

Zastanawiająca jest też różnica między wartością modułu sprężystości muru wykonanego na cienkie spoiny zalecaną w normie PN-EN 1996-1-1 [10] a wartościami podanymi w AT i KOT, które są zdecydowanie mniejsze – od ponad trzykrotnie do prawie piętnastokrotnie! Zdaniem autorów istnieje potrzeba znalezienia przyczyny tak małych wartości modułu sprężystości muru klejonego i zarazem tak dużych rozrzutów uzyskanych wyników. Duże różnice w wartościach E mogą być wynikiem dużych odkształceń muru powodowanych pustymi spoinami poziomymi, tylko częściowo wypełnionymi klejem poliuretanowym. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym odkształcalność muru pod obciążeniem mogą być również zbyt duże wartości odchyłek wymiarowych wysokości zastosowanych elementów ABK uniemożliwiających właściwe przyleganie do siebie powierzchni wspornych elementów murowych. Wszystkie te czynniki mogą wpływać na trwałość spoin, warunkując tym samym stabilność właściwości użytkowych muru w czasie. Do czasu uzyskania odpowiedzi na powyższe wątpliwości, wykonywanie murów z elementów ABK łączonych klejem poliuretanowym powinno mieć wyłącznie charakter badań wdrożeniowych.

4.3. Wytrzymałość muru na zginanie

Wytrzymałości charakterystyczne muru na zginanie w płaszczyźnie zniszczenia:

- równoległej do spoin wspornych – f_{xk1}
- prostopadłej do spoin wspornych – f_{xk2} ,

oraz wytrzymałości początkowej muru na ścinanie – f_{vko} podane KOT/AT dla murów scalonych klejem murarskim oraz pozostałych murów podane w PN-EN 1996 zestawiono w tabeli 4.

Z porównania wartości parametrów wytrzymałościowych murów scalonych klejem, w stosunku do murów na cienkie spoiny wynika, że:

- charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych, f_{xk1} dla murów scalonych klejem jest:

- dla elementów ceramicznych – równa (z jednym wyjątkiem) wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów silikatowych – większa o 40 i 80% od wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów ABK – większa o 157 i 214% od wartości dla muru na cienkie spoiny, a w przypadku ścianek działowych – ponad 300% (dla muru z wypełnionymi spoinami pionowymi),

- charakterystyczna wytrzymałość muru na zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych, f_{xk2} :

- dla elementów ceramicznych – wynosi 67% wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów silikatowych – wynosi 60 i 63% wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów ABK – większa o 100% od wartości dla muru na cienkie spoiny, a w przypadku ścianek działowych – ponad 300% (spoiny pionowe wypełnione),

- charakterystyczna wytrzymałość muru na ścinanie, f_{vko} :

- dla elementów ceramicznych – wynosi 25 i 32% wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów silikatowych – jest większa o 3% i mniejsza o 100% od wartości dla muru na cienkie spoiny,

- dla elementów ABK – wynosi 40 i 72% wartości dla muru na cienkie spoiny.

Przeprowadzone porównanie zalecanych w dokumentach normalizacyjnych i aprobowanych wartości charakterystycznych wytrzymałości murów na zginanie daje zaskakujące wyniki. Odnosi się to zwłaszcza do charakterystycznej wytrzymałości muru na zginanie w płaszczyźnie równoległej do spoin wspornych, f_{xk1} .

Wytrzymałość ta dla muru scalonego klejem, dla wszystkich rozpatrywanych rodzajów elementów murowych, jest największa, przy czym dla murów na zaprawie zwykłej jest ona najmniejsza (najmniejsze różnice występują w przypadku elementów ceramicznych, największe w przypadku elementów z ABK).

Przy zniszczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do spoin wspornych – f_{xk2} , wytrzymałość charakterystyczna muru wykonanego na kleju jest najmniejsza (dla ABK – większa niż w przypadku muru na cienkie spoiny i zdecydowanie mniejsza niż dla zaprawy zwykłej).

Wytrzymałość początkowa muru na ścinanie f_{vko} , wykonanego przy zastosowaniu kleju poliuretanowego jest zdecydowanie mniejsza niż w przypadku muru na cienkie spoiny i zaprawy zwykłej.

5. Podsumowanie

Właściwości użytkowe kleju murarskiego poliuretanowego różnią się zasadniczo od właściwości zapraw murarskich. Współpraca w murze pomiędzy klejem a elementami murowymi różni się od współpracy, jaka występuje w murach tradycyjnych. W konsekwencji, zdecydowanie odmienne są również właściwości użytkowe murów, dlatego też projektowanie i wykonywanie murów przy użyciu kleju murarskiego poliuretanowego powinno podlegać innym zasadom projektowania, wykonywania i stosowania niż podanym w Eurokodzie 6 (PN-EN 1996-1-1).

Przydatność klejów murarskich do wznoszenia murów powinna być określana na podstawie badań wymaganych właściwości użytkowych klejów. Jedną z takich właściwości powinna być zdolność kleju do pokrycia jak największej powierzchni wspornej elementów murowych, po nałożeniu kolejnej warstwy elementów murowych.

Duże rozrzuty wartości właściwości użytkowych murów wykonanych przy użyciu kleju murarskiego poliuretanowego wywołują potrzebę dodatkowych badań dla wyjaśnienia przyczyn ich powstawania.

Szczególną uwagę należy zwrócić na badania wpływu pasmowego układania kleju murarskiego poliuretanowego na:

- przewiewanie połączeń,
- ich zawilgocenie i przemarzanie,
- trwałość połączeń.

Do czasu wyjaśnienia wszystkich wątpliwości, stosowanie klejów murarskich poliuretanowych powinno być ograniczone do murów konstrukcji mniej odpowiedzialnych i mniej wyteżonych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Drobiec Ł, Jasiński R., Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK poddanych ścisłaniu, Materiały Budowlane 4/2015
- [2] Drobiec Ł, Jasiński R., Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z betonu komórkowego poddanych ścinaniu, Materiały Budowlane 5/2015
- [3] Drobiec Ł, Jasiński R., Wpływ rodzaju zaprawy na rysoodporność i wytrzymałość na ścinanie murów z betonu komórkowego, Materiały Budowlane 6/2015
- [4] Gajownik R., Sieczkowski J., Zaprawy murarskie. Nowe rozwiązania, XXXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2019, tom I, str. 193–226
- [5] Gajownik R., Sieczkowski J., Nowy sposób murowania – klejenie elementów murowych, Materiały Budowlane 4/2019, str. 18–20
- [6] Jarmontowicz R., Uwagi do artykułów o nowej technologii murowania, Materiały Budowlane 7/2010
- [7] Sulik P., Nowe technologie spajania elementów murowych, Materiały Budowlane 4/2010
- [8] Sulik P., Odpowiedź na uwagi do artykułu Nowe technologie spajania elementów murowych, Materiały Budowlane 8/2010
- [9] PN-EN 998-2 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2: Zaprawa murarska
- [10] PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych