

Katarzyna NOWAK – DZIESZKO¹
Małgorzata ROJEWSKA – WARCHAŁ²
Jacek DĘBOWSKI³

MOSTKI TERMICZNE W BUDYNKACH WIELKOPŁYTOWYCH PRZED I PO DOCIEPLENIU

Powszechnie wiadomo, że zabiegi termomodernizacyjne istniejących budynków prowadzą do redukcji zużycia energii na cele ogrzewania. W ostatnich kilkunastu latach tymże zabiegom poddano tysiące budynków wielorodzinnych wzniesionych w technologii wielkiej płyty w latach 60 – tych i 70 – tych XX wieku. Dominującym kryterium podczas tzw. szeroko rozumianej termomodernizacji budynków systemowych, jest poprawa charakterystyki energetycznej ścian, w ramach której podejmowane są jedynie działania dociepleniowe ścian zewnętrznych. Zwykle dociepleni nie poddaje się stropów nad najwyższą kondygnacją oraz nad piwnicą i przede wszystkim systemów naturalnej wentylacji. W ramach zabiegów dociepleniowych ścian zewnętrznych pomijana jest zwykle kompleksowa analiza cieplna obudowy budynku z uwzględnieniem tak istotnego w bilansie energetycznym wpływu mostków cieplnych, szczególnie tych występujących w miejscach połączeń systemowych, które są jednym z głównych problemów w tego typu budynkach. Złącza systemowe są niewątpliwymi punktami konstrukcji, tzw. mostkami termicznymi, w których nie można założyć jednowymiarowego przepływu ciepła. Niestety skomplikowanego wielowymiarowego przepływu ciepła w miejscach mostków cieplnych nie daje się opisać prostymi metodami analitycznymi, dlatego też konieczne jest stosowanie metod obliczeniowych bazujących na MES (Metodzie Elementów Skończonych). W artykule przedstawiono analizę trzech wybranych mostków cieplnych w wielorodzinnym budynku systemowym W70. Analiza została przeprowadzona przy użyciu programu AnTherm i pozwoliła na wyznaczenie tzw. liniowych współczynników przenikania ciepła oraz temperatury krytycznej powierzchni, poniżej której zachodzi ryzyko powstania pleśni na powierzchni wewnętrznej przegrody.

Słowa kluczowe: budynek wielkopłytowy, system W70, mostki cieplne, złącza systemowe, AnTherm.

¹ Autor do korespondencji: mgr inż. Katarzyna Nowak – Dzieszko, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, tel. 12 628 23 17, knowakdzieszko@o2.pl

² mgr inż. Małgorzata Rojewska – Warchał, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, tel. 12 628 21 32, m_rojewska@wp.pl

³ dr inż. Jacek Dębowski, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, tel. 12 628 23 17, jdebowski@pk.edu.pl. Artykuł przygotowano w ramach prac L-1/116/DS/2013

1. Mostki cieplne w modernizowanych budynkach

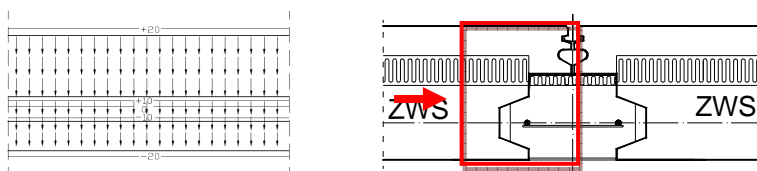
Z ogólnych, powszechnie wszystkim znanych, założeń w projektowaniu izolacyjności przegród budowlanych przyjmowane jest najczęściej tylko kryterium grubości izolacji termicznej dobieranej tak, aby spełnione były wymagania WT [1] co do wartości współczynnika przenikania ciepła U , od 1 stycznia 2014 roku wartość U dla ściany zewnętrznej nie powinna przekraczać $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mało tego wymagane wartości współczynnika przenikania ciepła będą ulegały kolejnym zmianom: $0,23$ od 1 stycznia 2017 r., $0,20$ od 1 stycznia 2021 r. Nie jest to do końca właściwa interpretacja, gdyż zgodnie z zasadami fizyki budowlanej o izolacyjności przegrody nie decyduje wartość współczynnika U lecz tzw. gęstość strumienia cieplnego. Ponadto najczęściej rozważana jest tylko płaska przegroda jednorodna lub warstwowa złożona z materiałów jednorodnych o stałej grubości, w której przepływ ciepła (strumień) jest jednowymiarowy i wtedy jego gęstość określa się wzorem:

$$q = U(t_i - t_e) \quad (1)$$

gdzie:

- q – gęstość strumienia cieplnego [W/m^2],
- U – współczynnik przenikania ciepła [$\text{W/m}^2\text{K}$],
- t_i – obliczeniowa temperatura wewnętrzna [K],
- t_e – obliczeniowa temperatura zewnętrzna [K].

W tak określonym sposobie przepływu ciepła przez przegrodę, izotermy są równoległe, natomiast linie gęstości strumienia cieplnego prostopadłe do powierzchni przegrody (Rys.1).



Rys. 1. Rozkład temperatur oraz gęstości strumienia cieplnego w przegrodzie jednorodnej oraz miejsce w elemencie wielkopłytyowym, w którym ten rozkład może zostać uwzględniony

Fig. 1. Temperature distribution and air flow rate in the homogenous component and the prefabricated element where this specific distribution can be noticeable.

W rzeczywistych przegrodach budowlanych, a szczególnie w budynkach systemowych, występują liczne przypadki odbiegające od schematu przegrody jednorodnej. W wyniku zmian geometrii wymuszonych konstrukcyjnie lub materiałowo, w przegrodzie może występować dwu lub trójwymiarowy przepływ ciepła, a wszelkie tego typu odstępstwa prowadzą do odchylenia izoterm i linii gęstości strumienia cieplnego w stosunku do narysowanego powyżej układu.

Prowadzi to również do znacznych zaburzeń rozkładu temperatur w i na powierzchniach przegród.

Niestety takiego rodzaju przepływu nie daje się opisać prostymi metodami analitycznymi, dlatego też konieczne jest stosowanie metod obliczeniowych bazujących na MES (Metodzie Elementów Skończonych).

2. Ryzyko powstania pleśni

W miejscach występowania mostków termicznych, temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody jest dużo niższa od temperatury przegrody co powoduje zwiększone ryzyko pojawienia się pleśnienia w tych niewralgicznych punktach konstrukcji.

Ryzyko powstania pleśni na powierzchni przegrody ocenia się na podstawie PN-EN 13788 [3] w oparciu o wartość bezwymiarowego współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , (wzór 2) będącego funkcją temperatury wewnętrznej, zewnętrznej oraz temperatury powierzchni przegrody θ_{si} , która zależy od mikroklimatu wewnątrz pomieszczenia.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2)$$

gdzie:

- θ_{si} – temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej, °C,
- θ_i – temperatura środowiska wewnętrznego, °C,
- θ_e – temperatura środowiska zewnętrznego, °C.

Ponadto na podstawie minimalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni $\theta_{si, min}$, poniżej której wilgotność względna na powierzchni przekroczy wartość 80% określa się minimalny czynnik temperaturowy f_{Rsimin} dla poszczególnych miesięcy w roku, a krytycznym miesiącem jest ten, w którym wymagana wartość f_{Rsimin} jest największa.

Im większa jest wartość współczynnika temperaturowego f_{Rsi} , tym wyższa jest wartość temperatury θ_{si} , a ryzyko kondensacji powierzchniowej mniejsze. Wymaganie dotyczące zabezpieczenia przed powstaniem pleśni jest spełnione jeśli wartość współczynnika f_{Rsi} jest większa od jego minimalnej wartości f_{Rsimin} podanej w przepisach budowlanych lub normie narodowej. Według WT [1], dopuszcza się przyjmowanie minimalnej wartości f_{Rsi} równej 0,72.

3. Analiza wybranych mostków systemowych

Głównym celem analizy mostka termicznego jest wyznaczenie rozkładu temperatur w analizowanym złączu oraz minimalnej temperatury powierzchni wewnętrznej $\theta_{si, \min}$. Po przyjęciu warunków brzegowych, na podstawie minimalnej temperatury w analizowanym węźle, wyznaczany jest czynnik f_{Rsi} . Kolejny etap to wyznaczenie dodatkowych strat ciepła, występujących w miejscu mostków cieplnych, określanych za pomocą liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/mK]. Określa on wartość dodatkowego strumienia ciepłego wywołanego przez mostek, w odniesieniu do strumienia ciepłego płynącego w polu jednowymiarowym. Na podstawie wzoru (3) możemy wyznaczyć współczynnik strat ciepła w wyniku przenikania przez obudowę budynku. Pierwsza część równania opisuje jednowymiarowy przepływ ciepła przez pole powierzchni A przegrody w współczynniku przenikania ciepła U . Druga część równania opisuje dodatkowe straty ciepła przez mostek o współczynniku przenikania ciepła Ψ i długości l .

$$H_{tr} = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \psi_i \quad [W/K] \quad (3)$$

gdzie:

A_i – pole powierzchni i -tej przegrody [m^2]

U_i – współczynnik przenikania ciepła i -tej przegrody [W/m^2K]

l_i – długość i -tego liniowego mostka cieplnego [m]

ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego [W/mK]

Wartości współczynników Ψ mogą być przyjmowane na podstawie normy PN-EN ISO 14683 [4], jednakże są one mało precyzyjne i nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, przede wszystkim typowych tylko dla konstrukcji prefabrykowanych złączy systemowych, dlatego uzasadnione jest wykorzystanie metod numerycznych przy analizie tego typu złączy.

Poniżej przedstawiono wyniki analizy dwóch złączy systemowych budynku w systemie W70, które będą częścią tworzonego przez autorów katalogu mostków systemowych.

1. Połączenie pionowe ścian szczytowych.

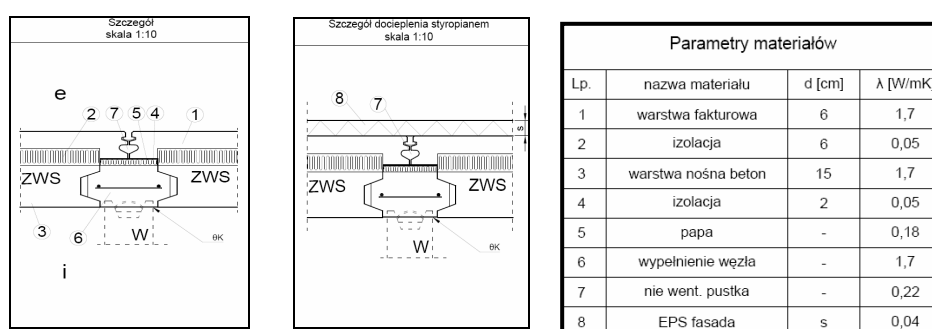
2. Płyta balkonowa.

W obu przypadkach obliczenia przeprowadzono dla czterech wariantów: ściana zewnętrzna bez docieplenia, ściana zewnętrzna ocieplona odpowiednio 5cm, 10cm, 15cm styropianu.

Analizę parametrów ciepłno wilgotnościowych wybranych mostków termicznych przeprowadzono za pomocą programu AnTherm. Do obliczeń, jako θ_e przyjęto, zgodnie z PN-EN ISO 13788 [3] minimalną średnią miesięczną tem-

peraturę termometru suchego z klimatycznych danych statystycznych dla stacji meteorologicznej Kraków-Balice, wynoszącą $-2,6^{\circ}\text{C}$. Natomiast jako θ_i przyjęto wg WT [1] wartość 20°C . Dodatkowo w przytaczanych przykładach zamieszczono maksymalną wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego φ_{\max} , przy której, dla powyższych warunków temperaturowych, nie zajdzie ryzyko powstania pleśni.

3.1. Złącze nr 1 – Połączenie pionowe ścian szczytowych (ze ścianą zewnętrzną)



Rys. 2. Detal złącza systemowego przed dociepleniem i po dociepleniu, parametry materiałów złącza.

Fig. 2. System joint connection detail before and after insulation, parameters of materials.

Tabela 1. Wyniki obliczeń

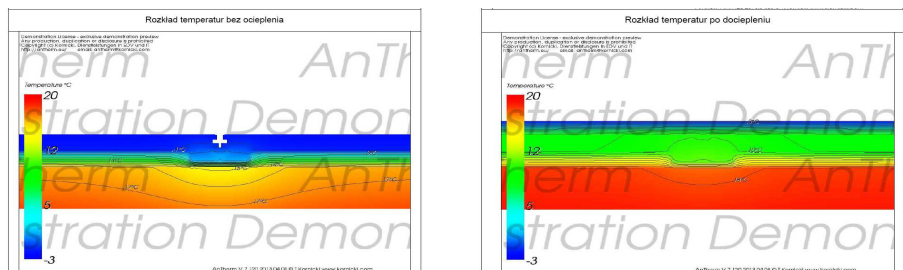
Table 1. Calculation results

Parametry w zależności od grubości docieplenia				
λ [W/mK]	0,04			
s [cm]	0	5	10	15
U [W/m ² K]	0,669	0,364	0,25	0,191
Ψ_e [W/mK]	0,169	0,042	0,019	0,012
θ_K [°C]	17,15	18,62	19,08	19,31
f.rsi	0,87	0,94	0,96	0,97
φ_{\max} [%]	83,64	91,78	94,4	95,8

Z przeprowadzonych analiz złącza nr 1 wynika, że:

1. Wartość współczynnika przenikania ciepła uległa znacznej poprawie, docieplenie ściany pięcioma centymetrami styropianu zmniejszyło wartość U z $0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ do $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$, kolejne 5 cm obniżyło wartość do $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wartość ta spełnia wymogi Warunków Technicznych obowiązujących od 1 stycznia 2014. Docieplenie ściany 15 cm izolacji zmniejsz-

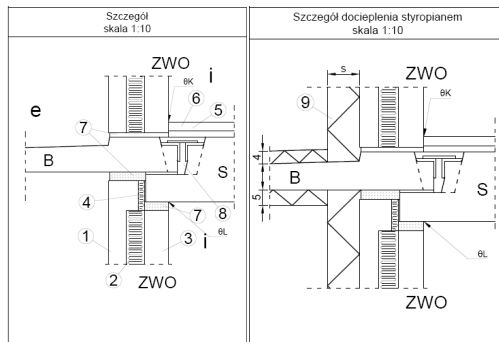
- szyłoby wartość U aż do $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ (wartość obowiązująca od 1 stycznia 2021 roku).
2. Wartość liniowego współczynnika Ψ_e , po dociepleniu przegrody 10 cm styropianu zmalała prawie dziesięciokrotnie z $0,17$ do $0,019$. Dalsze zwiększanie grubości docieplenia powoduje dalsze obniżanie wartości Ψ , jednakże już nie tak znaczące.
 3. Temperatura powierzchni wewnętrznej wpływająca na ewentualne ryzyko rozwoju pleśni wzrosła z $17,2^\circ\text{C}$ do $18,6^\circ\text{C}$ i kolejno aż do wartości $19,3^\circ\text{C}$. Czynniki temperaturowy w przypadku tego złącza we wszystkich przypadkach jest większy niż dopuszczalna wartość $0,72$.



Rys. 3. Rozkład temperatury w mostku przed i po dociepleniu

Fig. 3. Temperature distribution in the thermal bridge before and after insulation

3.2. Złącze nr 2 – Płyta balkonowa



Rys. 4. Detal złącza systemowego przed i po dociepleniu

Fig. 4. System joint connection detail before and after insulation

Tabela 2. Parametry materiałowe

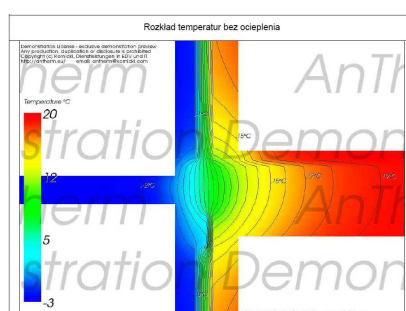
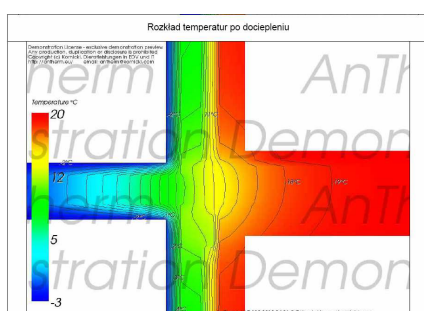
Table 2. Material parameters

Parametry materiałów			
Lp.	nazwa materiału	d [cm]	λ [W/mK]
1	warstwa fakturowa	6	1,7
2	izolacja	6	0,05
3	warstwa nośna beton	8	1,7
4	izolacja	2	0,05
5	piłsnia	2	0,07
6	zaprawa cem.	3	1
7	zaprawa cem.	-	1
8	wypełnienie węzła	-	1,7
9	EPS fasada	s	0,04

Tabela 3. Wyniki obliczeń

Table 3. Calculation results

Parametry w zależności od grubości docieplenia				
λ [W/mK]	0,04			
s [cm]	0	5	10	15
U [W/m ² K]	0,689	0,37	0,253	0,192
Ψ_e [W/mK]	0,764	0,282	0,253	0,101
Ψ_i [W/mK]	0,95	0,382	0,321	0,291
θ_K [°C]	14,42	17,47	18	18,28
θ_L [°C]	14,5	17,54	18,05	18,34
f.rsi	0,75	0,89	0,91	0,92
ϕ_{max} [%]	70,3	85,4	88,3	89,9



Rys. 5. Rozkład temperatury w mostku przed i po dociepleniu

Fig. 5. Temperature distribution in the thermal bridge before and after insulation

Z przeprowadzonych analiz złącza nr 2 wynika, że:

1. Wartość liniowego współczynnika Ψ_e , po dociepleniu przegrody 5 cm styropianu zmalała trzykrotnie z 0,76 do 0,28. Dalsze zwiększanie grubości docieplenia powoduje dalsze obniżanie wartości Ψ , jednakże już nie tak znaczące.
2. Temperatura powierzchni wewnętrznej wpływająca na ewentualne ryzyko rozwoju pleśni wzrosła znacznie z 14,5°C do 17,5°C i kolejno aż do wartości 18,3°C. Czynniki temperaturowy w przypadku tego złącza we wszystkich przypadkach jest większy niż dopuszczalna wartość 0,72.

4. Ocena wpływu mostków na straty ciepła

W celu oceny wpływu analizowanego mostka na straty ciepła dokonano również analizy strat ciepła przez prostokątny element o wymiarach 2 m x 10 m, wzdłuż którego przebiega mostek o długości 10 m. Wyniki analiz zestawiono w tabelach 4 oraz 5.

Tabela 4 i 5. Wyniki obliczeń dla złącza 1 i złącza 2

Table 4 and 5. Calculation results for joint 1 and joint 2

Charakterystyczne parametry	Grubość warstwy docieplenia [cm]			
	0	5	10	15
Pole powierzchni elementu [m ²]	20			
Długość analizowanego mostka [m]	10			
Straty ciepła przez element U·A [W/K]	13,4 (89%)	7,2 (95%)	5 (96%)	3,8 (97%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych $\Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	1,7 (11%)	0,4 (5%)	0,2 (4%)	0,1 (3%)
Całkowity współczynnik strat ciepła analizowanego elementu H_{tr} [W/K]	15,1 (100%)	7,6 (100%)	5,2 (100%)	3,9 (100%)

Charakterystyczne parametry	Grubość warstwy docieplenia [cm]			
	0	5	10	15
Pole powierzchni elementu [m ²]	20			
Długość analizowanego mostka [m]	10			
Straty ciepła przez element U·A [W/K]	14,0 (65%)	7,4 (73%)	5 (67%)	3,8 (79%)
Straty ciepła wywołane występowaniem mostków cieplnych $\Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	7,4 (35%)	2,8 (27%)	2,5 (33%)	1,0 (21%)
Całkowity współczynnik strat ciepła analizowanego elementu H_{tr} [W/K]	21,4 (100%)	10,2 (100%)	7,5 (100%)	4,8 (100%)

Zastosowanie docieplenia elementu znacznie zredukowało straty ciepła w analizowanym elemencie – już w przypadku 5cm izolacji straty ciepła zmniejszyły się o połowę. Zastosowanie 15 cm izolacji to redukcja strat aż o około 75%. Udział strat wywołanych występowaniem mostka jest większy

w przypadku płyty balkonowej i wynosi aż 35% całkowitych strat przez przenikanie, w przypadku złącza to tylko 11%. Procentowy wpływ mostka jest bardziej zredukowany po dociepleniu złącza numer 1 gdyż zastosowanie docieplenia „zamyka” mostek i praktycznie go eliminuje. Zwiększanie grubości docieplenia tylko nieznacznie poprawia wyniki. W przypadku płyty balkonowej procentowy udział w stratach przez przenikanie utrzymuje się na podobnym poziomie przy zwiększaniu grubości docieplenia.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można sformułować następujące wnioski:

1. Kompleksowa ocena cieplno-wilgotnościowa obudowy budynków wielkopłytowych powinna dotyczyć nie tylko systemowych elementów ale również złączy między płytami.
2. W przypadku tak skomplikowanych rozwiązań złączy jak w przypadku budynków wielkopłytowych, do analizy mostków cieplnych niezbędne jest stosowanie programów komputerowych opartych na metodzie elementów skończonych.
3. Stworzenie katalogu mostków cieplnych dla budynków systemowych ułatwiłoby sporządzanie bilansu energetycznego budynków oraz analizę indywidualnych złączy.
4. Należy jednak zauważyć, wszystkie analizy prowadzone były przy założeniu poprawnie wykonanego złącza, w rzeczywistości niestety właściwe poprawne wykonanie nie jest zawsze spotykane – należy zatem rozważyć i błędne warianty wykonania (np. niepełne wypełnienie szczeliny przydylatacyjnej izolacją).

Literatura

- [1] Warunki techniczne jakimi powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] PN-EN ISO 6946. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [3] PN-EN ISO 13788. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej – Metody obliczania
- [4] PN-EN ISO 14683. Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

THERMAL BRIDGES IN LARGE PANEL BUILDING BEFORE AND AFTER THERMAL MODERNIZATION

S u m m a r y

It's commonly known that thermal modernization of existing buildings leads to reduction of heating energy demand. In the last couple of years, thousands of multi-family large panel buildings, built in sixties and seventies of twentieth century, have been modernized. The dominant criterion in the process of thermal modernization is to improve the energy performance of those buildings, in which the most common are insulation of building envelope combined with replacement of windows. In the designing of external insulation the complex energy analysis including so important system joints is usually neglected. One of the main problems in these kind of building is presence of joints between prefabricated panels. Those are the weak points of the construction, thermal bridges where significant heat losses are noticeable. Unfortunately one dimensional heat flow in those places cannot be assumed that is why using of MES programs is necessary to describe three dimensional heat flow. In the article the analysis of thermal bridges in the connection joints, between prefabricated elements of W70 system building, have been presented. Analysis conducted in AnTherm program allowed for determining the linear thermal transmittances and critical temperature below which, the risk of mold growth would appear.

Keywords: large panel buildings, W70 system, thermal bridges, system joints, AnTherm

DOI:10.7862/rb.2014.105

Przesłano do redakcji: 22.05.2014 r.

Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.