

ARTYKUŁY – REPORTS

Katarzyna Firkowicz-Pogorzelska*

Jerzy A. Pogorzelski**

IZOLACYJNOŚĆ CIEPLNA ŚCIAN Z BETONU KOMÓRKOWEGO

Na zlecenie Stowarzyszenia Producentów Betonu autorzy przeprowadzili badania przewodności cieplnej betonu komórkowego kilku producentów. Celem tych badań było zorientowanie się w jednorodności – z uwagi na przewodność cieplną – betonu komórkowego produkowanego przez różnych producentów zgrupowanych w tym stowarzyszeniu, produkujących zarówno beton komórkowy piaskowy, jak i popiołowy. Na podstawie badań określano tzw. deklarowaną i obliczeniową przewodność cieplną. Aby ułatwić pracę projektantom, autorzy – na podstawie przeprowadzonych badań przewodności cieplnej i obliczeń komputerowych wartości Ψ liniowych mostków cieplnych – przeanalizowali izolacyjność cieplną ścian z betonu komórkowego produkowanego przez zakłady zgrupowane w Stowarzyszeniu Producentów Betonu, uwzględniając detale węzłów konstrukcyjnych według przygotowanego przez stowarzyszenie katalogu.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z [1], wymagania ochrony cieplnej budynków uznaje się za spełnione, jeżeli przegrody zewnętrzne budynku odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej podanym w załączniku do [1] (dotyczy to budynku mieszkalnego w zabudowie jednorodzinnej) lub jeżeli wartość wskaźnika E , określającego obliczeniowe zapotrzebowanie na energię końcową (ciepło) do ogrzewania budynku w sezonie ogrzewczym, jest mniejsza od wartości granicznej E_0 podanej w [1] (dotyczy to budynku mieszkalnego wielorodzinnego lub zamieszkania zbiorowego).

W przypadku pierwszym maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych pomieszczeń stykających się z powietrzem zewnętrznym (przy $t_f > 16^{\circ}\text{C}$) wynosi $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ w przypadku ścian jednomateriałowych lub $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ w przypadku ścian warstwowych, ocieplonych materiałem izolacji cieplnej o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda \leq 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

W przypadku drugim nie stawia się *explicite* wymagań izolacyjności cieplnej w odniesieniu do ścian (podobnie jak i w odniesieniu do innych przegród), a projektant ma moż-

* mgr – st. specjalista w ITB

** prof. dr hab. inż.

liwość wyboru parametrów geometrii budynku, pola powierzchni okien oraz izolacyjności przegród pełnych i okien.

Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku oblicza się według PN-B-02025:1999; można posługiwać się programami komputerowymi [2], [3], [4], [5]. Szczególnie przydatny jest program [5], za pomocą którego można obliczać również współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych pełnych, przy którym osiąga się graniczną wartość wskaźnika E . Z licznych obliczeń wynika, że wymaganie odnoszące się do budynku i wyrażone przez graniczną wartość E jest spełniane przy wartości współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych między 0,30 a 0,50 W/(m²·K), w zależności od geometrii budynku i wielkości oraz izolacyjności cieplnej zastosowanych okien.

Stąd autorzy rozpatrują poniżej przypadek pierwszy – jako ten, w którym *explicite* można mówić o wymaganiach izolacyjności cieplnej w odniesieniu do ścian – ze świadomością, że w odniesieniu do budynków mieszkalnych wielorodzinnych lub zamieszkania zbiorowego możliwa jest kompensacja na przykład większych strat ciepła przez ściany mniejszymi stratami przez okna.

Współczynnik przenikania ciepła ścian należy obliczać według PN-EN ISO 6946:1999 z uwzględnieniem mostków cieplnych punktowych (spowodowanych przez łączniki mechaniczne w murach szczelinowych) i mostków cieplnych liniowych, spowodowanych nieciągłościami lub pocienieniem warstwy izolacji cieplnej, szczególnie na długości ościeży, płyt balkonowych i nadproży.

W przypadku gdy warstwę izolacyjną przebijają łączniki mechaniczne, poprawkę do współczynnika przenikania ciepła określa się ze wzoru:

$$\Delta U_f = \alpha \lambda_f n_f A_f \quad (1)$$

w którym

- α – współczynnik (patrz tablica 1),
- λ_f – współczynnik przewodzenia ciepła łącznika,
- n_f – liczba łączników na metr kwadratowy,
- A_f – pole przekroju poprzecznego jednego łącznika.

Tablica 1. Wartości współczynnika α

Typ łącznika	α , m ⁻¹
Kotew między warstwami muru	6
Mocowanie płyt izolacyjnych dachu	5

a skorygowany współczynnik przenikania ciepła U_c wyraża się wzorem:

$$U_c = U + \Delta U_f \quad (2)$$

w którym:

U – współczynnik przenikania ciepła obliczony ze wzorów jednokierunkowego przenikania ciepła (bez uwzględnienia mostków).

Wreszcie współczynnik przenikania ciepła U_k przegród z mostkami cieplnymi liniowymi oblicza się według wzoru:

$$U_k = U_c + \sum_i \frac{\Psi_i L_i}{A} \quad (3)$$

w którym:

- U_c – współczynnik przenikania ciepła przegrody bez uwzględniania wpływu mostków cieplnych liniowych,
- Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka liniowego o numerze i ,
- L_i – długość mostka liniowego o numerze i ,
- A – pole powierzchni przegrody w osiach przegród do niej prostopadłych, pomniejszone o pole powierzchni ewentualnych okien i drzwi balkonowych, obliczone w świetle ościeży.

Ustalenie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ wymaga obliczeń komputerowych. Projektanci europejscy korzystają zwykle z katalogów mostków, zawierających stabelaryzowane wartości Ψ , obliczone za pomocą odpowiednich programów. W Polsce katalogi takie są trudniej dostępne i niepopularne.

Aby ułatwić pracę projektantom, autorzy – na podstawie przeprowadzonych badań przewodności cieplnej i obliczeń komputerowych wartości Ψ – przeanalizowali izolacyjność cieplną ścian z betonu komórkowego produkowanego przez zakłady zgrupowane w Stowarzyszeniu Producentów Betonu, przyjmując rozwiązania detali według projektu katalogu stowarzyszenia.

2. Podstawowe definicje dotyczące przewodności cieplnej

Współczynnik przewodzenia ciepła ciała stałego zależy od składu chemicznego i budowy morfologicznej. W materiałach porowatych przewodzenie ciepła odbywa się przez materiał matrycy i gaz wypełniający pory (najczęściej powietrze); wzrost porowatości i spadek gęstości powoduje (na ogół) obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła materiałów porowatych o strukturze zwartej od gęstości materiału najlepiej opisują funkcje wykładnicze [6]; w wąskim przedziale gęstości można stosować aproksymację liniową.

Przewodność cieplną materiału o znanym składzie chemicznym i morfologicznym (z wyjątkiem niektórych polimerów) można wyrazić jako funkcję wielu zmiennych:

$$\lambda = \lambda(\rho, u, t) \quad (4)$$

- gdzie: ρ – gęstość materiału,
 u – zawartość wilgoci,
 t – temperatura.

Przy znanej gęstości materiału, w pewnych określonych granicach zmian zawartości wilgoci, temperatury i wieku można dokonać konwersji przewodności cieplnej z jednego zestawu warunków na drugi, zgodnie z wyrażeniem:

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_t F_u \quad (5)$$

gdzie F_t , F_u są czynnikami konwersji odpowiednio z uwagi na temperaturę i wilgotność.

Czynnik konwersji F_t , związany z temperaturą t , jest określony następująco:

$$F_t = e^{f_t(t_2-t_1)} \quad (6)$$

gdzie f_t jest współczynnikiem konwersji z uwagi na temperaturę, 1/K.

Czynnik konwersji F_u , związany z zawartością wilgoci na jednostkę masy, u , jest określony następująco:

$$F_u = e^{f_u(u_2-u_1)} \quad (7)$$

gdzie f_u jest współczynnikiem konwersji z uwagi na wilgotność odniesioną do masy.

Laboratoryjne badania przewodności cieplnej materiałów prowadzi się w określonych warunkach i przy określonym stanie próbek, w ogólności różniących się od warunków użytkowania materiału i odpowiadającego im jego stanu (głównie w zakresie wilgotności).

Na podstawie zmierzonych wartości λ w określonych warunkach odniesienia – stosując odpowiednią konwersję – określić λ w wybranych warunkach odniesienia (λ_p). Najczęściej za warunki odniesienia przyjmuje się stan suchy próbki i temperaturę 10°C. Zaleca się prowadzenie badań w tych warunkach, co pozwala na uniknięcie konwersji na warunki odniesienia.

Do badań aprobacyjnych i certyfikacyjnych wyrobów budowlanych stosuje się wyłącznie przyrządy wykorzystujące stacjonarne przewodzenie ciepła, w których znany strumień ciepła przechodzi przez próbkę; są to tzw. aparaty płytowe:

- z kompensacją strumienia cieplnego (metoda pierwotna, przyrządy według PN ISO 8302:1999),
- z pomiarem strumienia ciepła za pomocą przetwornika (metoda wtórna, przyrządy według PN ISO 8301:1998).

Specyficzna sytuacja istniała do niedawna w badaniach – i w konsekwencji w podawaniu właściwości wyrobu – w odniesieniu do betonów komórkowych produkowanych przez zakłady zgrupowane w Stowarzyszeniu Producentów Betonu. Materiały te są badane i certyfikowane głównie przez CBOR Przemysłu Betonów (CEBET). Zgodnie z PN-B-06258 do badań λ można było stosować dwie metody: aparat Bocka i tzw. aparat termistorowy (α -kalorymetr Kondratiewa); w praktyce CEBET przez wiele lat stosował tylko aparat termistorowy. Jest to przyrząd niestacjonarny własnej konstrukcji CEBET, służący do określania współczynnika wyrównywania temperatury α , skąd pośrednio oblicza się λ .

W przeprowadzonych w drugim kwartale 1997 r. porównawczych badaniach międzylaboratoryjnych w CEBET i Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB próbek tego samego materiału przy gęstości od 400 do 600 kg/m³ wyniki według aparatu termistorowego były zaniżone do 14% w stosunku do badań prowadzonych przez Zakład Fizyki Ciepłej ITB przyrządem działającym według metody pierwotnej. Zaniżenie wyników badań według aparatu termistorowego miało charakter systematyczny i było najprawdopodobniej wywołane wadami konstrukcji przyrządu. Oznacza to, że w odniesieniu do współczynnika λ betonów komórkowych certyfikowanych przez CEBET należało stosować współczynnik korekcyjny 1,05–1,15 w zależności od odmiany.

W latach 1999-2000 CEBET przestawił się również na badania przewodności cieplnej przyrządem konstrukcji ITB, działającym według metody pierwotnej, w wyniku czego zmianą Az1 do PN-89/B-06258 wprowadzono korektę do wartości λ według badań „aparatem termistorowym”; przy odmianie 300 przekracza ona 20%.

W normach i aprobatkach technicznych krajów UE na konkretne wyroby podawane są dwie wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów (lub oporu cieplnego komponentów):

- deklarowanej, służącej kontroli jakości produkcji, odpowiadającej warunkom laboratoryjnym,
- obliczeniowej, służącej projektowaniu, odpowiadającej warunkom stosowania materiału w budynku.

Wartość deklarowana cechy jest to wartość oczekiwana w populacji generalnej wyrobu oszacowana na podstawie:

- wyników pomiarów,
- określonej frakcji rozkładu przy zadanym poziomie ufności.

Wartość obliczeniowa cechy jest to jej wartość w warunkach uważanych za typowe w zastosowaniu materiału w budynku w zakresie temperatury (zwykle 10°C) i wilgotności (najczęściej odpowiadającej stanowi równowagi termodynamicznej z powietrzem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 80%).

Wartości deklarowane i obliczeniowe ustala się na podstawie wyników badań odpowiednio licznej serii próbek. Jeżeli badania prowadzi się w warunkach odmiennych od warunków odniesienia, należy dokonać konwersji ich wyników na warunki odniesienia.

Po konwersji na warunki odniesienia dane pomiarowe stanowią populację jednorodną. Jeśli dysponuje się danymi charakteryzującymi zespół próbek pobranych zgodnie z odpowiednim schematem, liczba danych n , ich średnia arytmetyczna λ_m i odchylenie średnie s_λ przy założeniu określonego rozkładu dają podstawę do wyprowadzenia wszelkich wielkości, charakteryzujących populację generalną.

Przy założeniu, że mamy do czynienia ze zmienną losową niezależną i przy rozkładzie gaussowskim estymowana przewodność cieplna λ_{es} jest określona równaniami jak niżej:

- gdy odchylenie standardowe, σ_λ w populacji generalnej jest znane:

$$\lambda_{es} = \lambda_m \pm k_1 \sigma_\lambda \quad (8)$$

- gdy odchylenie standardowe nie jest znane:

$$\lambda_{es} = \lambda_m \pm k_2 s_\lambda \quad (9)$$

gdzie k_1 i k_2 są odpowiednimi współczynnikami rozkładu Studenta, uzależnionymi od wymaganej frakcji p , wymaganego poziomu ufności $1-\alpha$ i liczby danych n .

Znak plus daje jednostronną górną, a znak minus – dolną granicę przedziału tolerancji wartości estymowanej.

Jeżeli wyniki badań są zmiennymi zależnymi, na przykład przy zależności λ od gęstości, co może mieć miejsce w serii badań obejmującej różne odmiany betonu komórkowego, należy założyć model tej zależności i skorzystać na przykład z pakietu STATGRAPHICS. Otrzymuje się wówczas równanie zależności $\lambda(p)$ i linie ograniczające przedział tolerancji przy założonej frakcji i założonym poziomie ufności.

Jako wartość deklarowaną przyjmuje się maksymalną wartość przy założonej frakcji i założonym poziomie ufnosci. Najczęściej przyjmuje się frakcję dziewięćdziesięciopromentową (to jest 90% produkcji ma mieć właściwości korzystniejsze od deklarowanych) i $\alpha = 0,10$.

Kolejną sprawą jest określenie wartości obliczeniowej. Dokonujemy tego przez wykonanie konwersji górnej granicy przedziału tolerancji estymowanej przewodności cieplnej na warunki eksploatacji materiału w budynkach.

W dotychczasowym stanie normalizacyjno-prawnym w odniesieniu do betonu komórkowego nie występują wyraźnie zdefiniowane wartości deklarowane i obliczeniowe współczynnika λ . W PN-89/B-06258, w p. 4.8, w tablicy 5 jest mowa o nieprzekraczalnych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła w stanie suchym i w stanie wilgotności ustabilizowanej (nie zdefiniowanej).

W PN-91/B-02020 występowały obliczeniowe wartości współczynnika przewodzenia ciepła, zróżnicowane w zależności od wilgotności pomieszczeń. Nie wiadomo dokładnie, na podstawie jakich badań i jak licznej populacji ustalono wartości obliczeniowe współczynnika przewodzenia ciepła λ betonów komórkowych w PN-91/B-02020. *A posteriori* porównano wartości z PN-91/B-02020 z danymi z wieloletnich badań wilgotnych próbek prowadzonych w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB, zestawionymi w pracy [6], otrzymując dobrą zgodność. Stąd doraźnie „przedłużono życie” wartościom obliczeniowym według PN-91/B-02020, powtarzając je w załączniku krajowym ND do PN-EN ISO 6946:1999.

3. Wyniki badań przewodności cieplnej betonu komórkowego

Autorzy przeprowadzili na zlecenie Stowarzyszenia Producentów Betonu badania przewodności cieplnej betonu komórkowego kilku producentów. Celem tych badań było zorientowanie się w jednorodności – z uwagi na przewodność cieplną – betonu komórkowego produkowanego przez różnych producentów zgrupowanych w tym stowarzyszeniu, jednak bez ingerencji w ich tajemnicę produkcyjną i handlową. W tym celu uzgodniono ze stowarzyszeniem przeprowadzenie badań na anonimowych próbkach nadesłanych przez stowarzyszenie; producentów oznaczono cyframi od I do V. Wiadomo było tylko, że producenci I, III i IV produkują beton komórkowy piaskowy, a producenci II i V produkują beton komórkowy popiołowy. Ustalono, że będą badane po trzy próbki betonu od każdego producenta, odmian 400, 500, 600 (odmianę definiuje się według średniej gęstości próbek betonu komórkowego). Miało to zapewnić możliwość analizy statystycznej wyników badań 9 próbek każdego producenta, przy jednoczesnym traktowaniu ich nie jako zmiennych losowych niezależnych, lecz przyjąwszy liniową zależność współczynnika λ od gęstości.

Aby umożliwić zdefiniowanie i ustalenie obliczeniowych wartości współczynnika przewodzenia ciepła badano również wilgotność sorpcyjną betonu komórkowego w temperaturze 23°C i wilgotności względnej powietrza 80%.

W tablicach 2 i 3 zestawiono wartości deklarowane współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego różnych producentów, porównując je z projektem zmiany do PN-89/B-06258 (wtędy w ankietyzacji).

Tablica 2. Wartości deklarowane λ (w temperaturze 23°C; beton komórkowy piaskowy)

Producent	λ_{dekl} dla odmiany		
	400	500	600
I	0,110	0,140	0,175
III	—	0,115	0,135
IV	0,115	0,130	0,150
Wartości deklarowane wg projektu zmiany Az1 do PN-89/B-06258	0,120	0,140	0,160

Tablica 3. Wartości deklarowane λ (w temperaturze 23°C; beton komórkowy popiołowy)

Producent	λ_{dekl} dla odmiany		
	400	500	600
II	0,105	0,120	0,140
V	0,085	0,105	0,120
Wartości deklarowane wg projektu zmiany Az1 do PN-89/B-06258	0,120	0,140	0,160

Tablica 4. Wartości obliczeniowe λ (beton komórkowy piaskowy)

Producent	λ_{dekl} dla odmiany		
	400	500	600
I	0,130	0,165	0,210
III	—	0,135	0,155
IV	0,135	0,155	0,175
Wartości deklarowane wg PN-EN ISO 6946:1999	0,140	0,170	0,210

Jak wynika z danych zestawionych w tablicach 2 i 3, występują duże różnice wartości deklarowanych współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego piaskowego i popiołowego. W tablicach 4 i 5 zestawiono wartości obliczeniowe współczynnika przewodzenia ciepła betonu komórkowego różnych producentów obliczone na podstawie wartości deklarowanych przy znanej wilgotności sorpcyjnej, porównując je z wartościami obliczeniowymi według załącznika krajowego NC do PN-EN ISO 6946:1999.

Tablica 5. Wartości obliczeniowe λ (beton komórkowy popiołowy)

Producent	λ_{dekl} dla odmiany		
	400	500	600
I	0,115	0,130	0,150
IV	0,095	0,115	0,130
Wartości deklarowane wg PN-EN ISO 6946:1999	0,140	0,170	0,210

Jak wynika z powyższych zestawień, beton czterech producentów (po dwu producentów betonu popiołowego i piaskowego) miał niższe wartości obliczeniowe współczynnika przewodzenia ciepła niż wynika to z załącznika NC do PN-EN ISO 6946:1999; beton piaskowy jednego producenta (oznaczonego numerem I) był na granicy wartości normowych.

Generalnie beton komórkowy popiołowy charakteryzuje się niższymi wartościami λ niż beton piaskowy, niezależnie od odmiany. Dotyczy to zarówno wartości deklarowanych (w stanie suchym), jak i wartości obliczeniowych (przy wilgotności odpowiadającej warunkom eksploatacji). To ostatnie jest spowodowane faktem, że ustabilizowana wilgotność sorpcyjna, odpowiadająca równowadze termodynamicznej z powietrzem o temperaturze 23°C i wilgotności względnej 80%, okazała się praktycznie niezależna od odmiany betonu (tzn. od jego gęstości), jak również słabo zależna od rodzaju betonu. Betony popiołowe charakteryzowały się nieco tylko większą wilgotnością sorpcyjną niż piaskowe – odpowiednio 6% i 5%.

W wynikach występuje znaczne zróżnicowanie przewodności cieplnej betonu komórkowego nie tylko w zależności od rodzaju (na piasku lub na popiołach lotnych), ale również od producenta. Przykładowo, w przypadku betonu piaskowego różnica wartości deklarowanych dla tej samej odmiany betonu dwóch różnych producentów (oznaczonych cyframi I i III) przekracza 20%.

W przypadku jednego producenta (oznaczonego cyfrą I) wystąpiła w dodatku duża zależność przewodności cieplnej od gęstości, blisko dwukrotnie silniejsza, niż w przypadku innych producentów.

Fakt takiego zróżnicowania wyników między producentami w ramach jednego rodzaju betonu komórkowego narzuca konieczność ostrożnego formułowania wniosków ilościowych; nie wiadomo, czy zmiany te nie zachodzą również w czasie lub w wyniku zmiany dostawcy składników betonu.

Konieczne są dalsze, szersze badania, przy czym powinny one dotyczyć również tych producentów, których beton był badany obecnie (w celu umożliwienia porównań i wyciągnięcia wniosków). Tym niemniej wydaje się, że należy zastanowić się nad zasadnością wprowadzenia w PN w przyszłości rozróżnienia dwóch rodzajów betonu komórkowego, jeśli chodzi o deklarowane i obliczeniowe wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Również wydaje się, że część producentów może deklarować niższe wartości przewodności cieplnej swojego betonu komórkowego w stosunku do propozycji

zmian w PN-89/B-06258 i potwierdzać je w procesie certyfikacji; z drugiej strony, producent oznaczony cyfrą I miałby trudności z uzyskaniem certyfikatu zgodności z PN-89/B-06258 dotyczącą betonu komórkowego odmiany 600.

4. Ocena ścian z betonu komórkowego według projektu „Katalogu”

Oceny dokonano przez sprawdzenie, czy współczynnik przenikania ciepła ścian, obliczony z uwzględnieniem mostków cieplnych, spełnia wymagania Załącznika do [1].

W projekcie katalogu ścian zewnętrznych, opracowywanego przez Stowarzyszenie Producentów Betonu, przyjęto występowanie trzech typów ścian:

- ścian jednomateriałowych,
- ścian dwuwarstwowych,
- murów szczelinowych.

O ile w przypadku ścian dwuwarstwowych i murów szczelinowych spełnienie wymagań izolacyjności cieplnej wynika przede wszystkim z grubości dodatkowej izolacji (styropianu lub wełny mineralnej), to w przypadku ścian jednomateriałowych spełnienie tych wymagań zależy od grubości ściany i odmiany betonu komórkowego.

W ścianach jednomateriałowych założono wstępnie stosowanie betonu komórkowego odmian 400, 500, 600 i 700 na zaprawie klejowej lub zaprawie „cieplej”; mur obustronnie otynkowany.

W tabelicy 6 podano wartości U , obliczone przy przyjęciu obliczeniowych wartości λ betonu.

Tablica 6. Wartości współczynnika przenikania ciepła U

Grubość ściany, m	Współczynnik przenikania ciepła, U , przy odmianie betonu			
	400	500	600	700
0,49	—	0,32	0,39	0,46
0,42–0,43	0,31	0,37	0,45	0,53
0,36	0,36	0,43	0,52	0,60

W tabelicy 6 zaznaczono – przez cieniowanie – pola, w których współczynnik przenikania ciepła, obliczony bez uwzględnienia mostków cieplnych, przekracza wartość $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (pola ciemne) lub jest bliski tej wartości (pola jasne). Jak widać, w przypadku odmiany 700 ściany nie spełniają wymagań izolacyjności cieplnej dla budynków jednorodzinnych, nawet bez uwzględnienia dodatku na liniowe mostki cieplne. Przy odmianie 600 i grubości 0,36 m rezerwa na mostki cieplne nie jest duża i do sprawdzenia spełnienia wymagań potrzebne są bardziej szczegółowe obliczenia.

W ścianach dwuwarstwowych założono stosowanie betonu komórkowego odmiany 700 na zaprawie cementowo-wapiennej; mur głębokości 24 cm, otynkowany tradycyjnie od wewnątrz, z pocienioną wyprawą dekoracyjną od zewnątrz.

Spełnienie wymagań z lekkim zapasem uzyskuje się przy grubości warstwy zewnętrznej izolacji cieplnej 12 cm (λ przyjęto $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); współczynnik przenikania ciepła U_c wynosi $0,258 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; rezerwa na mostki cieplne nie jest duża i do sprawdzenia spełniania wymagań trzeba wykonać bardziej szczegółowe obliczenia.

W przypadku ścian dwuwarstwowych z pracy [7] wynika, że wpływ mostków cieplnych liniowych zależy od usytuowania okien w ścianie i ocieplenia ościeży bocznych, nadproża oraz parapetu.

W przypadku:

- osadzenia okien w styk do izolacji zewnętrznej z zaizolowaniem ościeżnic na szerokość 3 cm,
 - zaizolowania muru od zewnątrz pod obróbką blacharską okna warstwą izolacji (na przykład pianki poliuretanowej na grubość 3 cm),
 - okna $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ w ścianie o polu powierzchni 9 m^2
- wartość dodatku na mostki cieplne wynosi poniżej $0,045 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Stąd współczynnik przenikania ciepła ścian dwuwarstwowych, U_k , wynosi $0,258 + 0,045 \approx 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

W murach szczelinowych założono również stosowanie betonu komórkowego odmiany 700 na zaprawie cementowo-wapiennej; a w warstwie zewnętrznej klinkieru lub cegły licowej; mur otynkowany tradycyjnie od wewnątrz. Grubość muru wewnętrznego $0,24 \text{ m}$, zewnętrznego $0,12 \text{ m}$.

Przyjęto cztery kotwy ze stali zwykłej $\phi 5 \text{ mm}$ na metr kwadratowy ściany i stąd $\Delta U_f = 0,027 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Spełnienie wymagań z lekkim zapasem uzyskuje się przy grubości warstwy izolacji cieplnej 12 cm (przyjęto $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); współczynnik przenikania ciepła, U , wynosi $0,252 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; rezerwa na mostki cieplne nie jest duża i do sprawdzenia spełniania wymagań trzeba wykonać bardziej szczegółowe obliczenia.

W przypadku murów szczelinowych i przy spełnionych warunkach:

- usytuowania okien w grubości warstwy izolacji cieplnej,
- zaizolowania muru od zewnątrz pod obróbką blacharską okna warstwą izolacji (na przykład pianki poliuretanowej) na grubość 3 cm

wpływ mostków cieplnych liniowych jest całkowicie do pominięcia.

Stąd współczynnik przenikania ciepła, $U_k = U_c = 0,252 + 0,027 = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – przy grubości warstwy izolacji cieplnej 12 cm.

W przypadku ścian jednomateriałowych wykonano obliczenia wartości Ψ za pomocą programu KOBRA z pakietu PHYSIBEL [8].

W tabelicy 7 podano zbiorcze zestawienie wartości Ψ przy różnych przykładowych rozwiązaniach detali izolacji w przypadku ścian jednomateriałowych i dwuwarstwowych; detale wybrano z projektu katalogu ścian budynków z betonu komórkowego.

Obliczenia za pomocą wzoru (3) współczynnika przenikania ciepła ścian jednomateriałowych z uwzględnieniem mostków liniowych wykazały, że wpływ mostków w przypadku większości katalogowych rozwiązań detali nie jest duży i mieści się w wartości $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zgodnej z PN-EN ISO 6946:1999.

Nieco gorsza jest sytuacja w przypadku nadproży bez ocieplenia styropianem, a jedynie z zastosowaniem kształtek U.

Największe negatywne skutki daje płyta balkonowa wspornikowa; bezpośredni kontakt z nadprożem odprowadza bardzo duży strumień ciepły. Przy szerokim balkonie straty ciepła w wyniku odprowadzenia go przez balkon są porównywalne ze stratami ciepła przez powierzchnię ściany zewnętrznej pomieszczenia. Stąd w budynkach nowo projektowanych niskich najlepszym rozwiązaniem są płyty balkonowe oparte na odrębnej konstrukcji wsporczej (analogicznie do loggi dostawianych) z oddylatowaniem warstwą izolacji cieplnej od betonu nadproża; w budynkach wyższych poprawę mogą przynieść izolacyjne łączniki zbrojenia.

Tablica 7. Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ przy różnych rozwiązaniach detalu izolacji

Charakterystyka rozwiązania detalu izolacji	Wartość Ψ , W/(m ² ·K)
Ościeże boczne w ścianie dwuwarstwowej; osadzenie okna w styk do izolacji	0,09
ściana dwuwarstwowa; płyta balkonowa wspornikowa w przekroju przez drzwi balkonowe	0,69
wieniec w ścianie jednomateriałowej; ocieplenie betonem komórkowym i styropianem	0,06
wieniec w ścianie jednomateriałowej; ocieplenie styropianem	0,05
podwyższony wieniec w ścianie jednomateriałowej; ocieplenie styropianem	0,04
nadproże okienne; osadzenie okna w styk do izolacji	0,27
nadproże okienne z zastosowaniem kształtek U z betonu komórkowego	0,38
ościeże boczne; osadzenie okna w środku grubości muru	0,036
nadproże okienne; osadzenie okna w styk do izolacji, z zaizolowaniem ościeżnic na szerokość 3 cm	0,06
podokienniki; od zewnątrz izolacja cieplna grubości 3 cm	0,07

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami – tekst jednolity DzU rr 15 z dnia 25 lutego 1999 r., poz. 140)
- [2] Program Auditor 1.1. Fundacja Poszanowania Energii
- [3] Program TERMO-DANFOSS v. 2.1, Grodzisk Maz., 2000
- [4] Program „Złoty Środek”, GULLFIBER Polska, 2000

- [5] Pogorzelski J. A., Szyluk A.: Uproszczone obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego według PN-B-02025. COIB, 1998
- [6] Pogorzelski J. A., Stempniak B.: Opracowanie wyników pomiarów przewodności cieplnej z badań ITB z lat 1956–1988. Praca nauk.-bad. ITB 2850/NF-88, maj 1989, maszyn., biblioteka ITB
- [7] Pogorzelski J. A.: Mostki cieplne w ścianach budynków mieszkalnych z zewnętrzną izolacją cieplną. *Budownictwo fachowe*, 5, 6, 1999
- [8] Program KOBRA. PHYSIBEL c. V., Belgia

THERMAL RESISTANCE OF WALLS OF AERATED CONCRETE

Summary

On the order of Association of Concrete Producers the authors carried out the tests of thermal conductivity of aerated concrete from several producers. The aim of the tests was to recognize the homogeneity – with regard to the thermal conductivity – of aerated concrete produced by different producers assembled in the Association, producing sand and fly ash concrete. On the basis of tests the values of declared and design thermal conductivity were determined. In order to facilitate the designers task, authors – on the basis of carried out tests of thermal conductivity and computer calculations of ψ values for linear thermal bridges – have analyzed the thermal insulation of walls of aerated concrete produced by factories assembled in the Association, taking into consideration the details of construction joints according to the catalogue prepared by the Association.

Praca wpłynęła do Redakcji 22 II 2001