

dr hab. inż. Paweł Krause, prof PŚ<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-8398-1961

dr inż. Iwona Pokorska-Silva<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0003-0895-6587

mgr inż. Damian Szydłak<sup>2)</sup>

# Analiza rozwiązań izolacji termicznej, uszkodzonej w wyniku pożaru, pod płytą fundamentową posadowioną na gruncie

## *Analysis of solutions for thermal insulation damaged by fire under a ground floor slab*

DOI: 10.15199/33.2023.12.15

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę stanu ochrony cieplnej płyty fundamentowej posadowionej na gruncie. Opisano przypadek budynku jednorodzinny, w którym na skutek pożaru doszło do częściowego uszkodzenia warstwy izolacji termicznej ułożonej pod płytą fundamentową. Dokonano oceny rozkładu temperatury oraz rozkładu strumienia ciepła w wybranych wariantach naprawy uszkodzeń i odbudowy izolacji termicznej. Przedstawiono wariant najkorzystniejszy ze względu na charakter rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych budynku oraz z punktu widzenia stanu ochrony cieplnej budynku.

**Słowa kluczowe:** płyta na gruncie; izolacja termiczna; ochrona cieplna budynku; pożar budynku.

**Abstract.** The article presents an analysis of the thermal protection condition of the ground floor slab. The case of a single-family building in which the thermal insulation layer placed under the foundation slab was partially damaged as a result of a fire was described. The distribution of temperature and the distribution of heat flux were assessed in selected variants of damage repair and thermal insulation reconstruction. The most advantageous variant is presented due to the nature of the building's structural and material solutions and from the point of view of the building's thermal protection.

**Keywords:** slab on the ground floor; thermal insulation; thermal protection of the building; building fire.

Zdarzenie losowe, takie jak pożar, może być czynnikiem powodującym znaczne uszkodzenia i pogorszenie stanu technicznego budynku [1, 2]. W wyniku oddziaływania ognia dochodzi do uszkodzeń poszczególnych elementów budynku [2]. W zależności od intensywności pożaru i czasu jego trwania może dojść do znacznego uszkodzenia konstrukcji [4]. W przypadku pożarów mających swoje źródło zlokalizowane na zewnątrz budynku, w wielu sytuacjach uszkodzeniu ulegają izolacje termiczne występujące od strony środowiska zewnętrznego [5 – 7]. Najczęściej ich uszkodzenie ma pośredni wpływ na elementy konstrukcyjne i jest związane z wysoką temperaturą. Odtworzenie termoizolacji zewnętrznej po tego typu pożarach, kiedy konstrukcja budynków jest nienaruszona, nie stanowi dużego problemu technicznego.

W artykule przedstawiono przykład uszkodzenia izolacji termicznej, które mogło zagrozić bezpieczeństwu konstrukcji budynku (płyty fundamentowej). Przeprowadzono analizę rozwiązań poprawiających stan ochrony cieplnej części przyziemia, która po pożarze nie mogła zostać przywrócona do stanu pierwotnego (odtworzona).

### Izolacyjność cieplna podłogi typu płyta na gruncie

W przypadku budynków jednorodzinnych, kiedy obciążenia przekazywane na grunt są względnie niewielkie, projektuje się zazwyczaj posadowienie za pomocą fundamentów bezpośrednich, najczęściej w formie ław fundamentowych. Innym często realizowanym sposobem posadowienia są płyty fundamentowe. Decyzja o ich wykonaniu ma coraz częściej związek z rachunkiem ekonomicznym inwestycji. W celu ograniczenia kosztów robót ziemnych w wielu przypadkach projektanci posadawiają fundamenty płytowe na głębokości do 50 cm poniżej poziomu terenu lub bezpośrednio na jego powierzchni. Odpowiednio zaprojektowa-

wana i wykonana izolacja cieplna fundamentu umożliwia zachowanie ciągłości termoizolacji budynku i tym samym ogranicza straty ciepła z budynku do otoczenia [8]. Poprawne wykonanie tego etapu budowy jest szczególnie ważne ze względu na późniejszą trudną dostępność do tej części budynku.

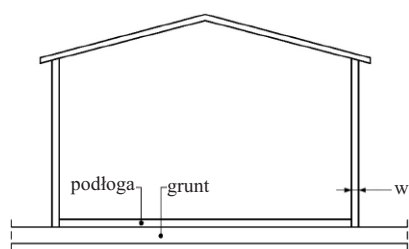
Zagadnienia związane z przegrodami stykającymi się z gruntem, w świetle obowiązujących wymagań cieplno-wilgotnościowych, przedstawiono w rozporządzeniu [9]. W załączniku 2 do tego rozporządzenia podane są m.in. wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła podłóg na gruncie.

W ogrzewanym pomieszczeniu takie podłogi powinny mieć obwodową izolację cieplną z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej 2,0 (m<sup>2</sup>·K)/W. Zasady obliczania wartości współczynnika przenikania ciepła U, w przypadku elementów budynku mających kontakt z gruntem, przedstawiono w PN-EN ISO 13370 [10]. Jednym z rozważanych przykładów jest podłoga typu płyta na gruncie pokazana na rysunku 1 [10 – 13].

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>2)</sup> Zakład Ekspertyz Budowlanych STEKRA Sp. z o.o.

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: pawel.krause@polsl.pl



Rys. 1. Schemat podłogi typu płyta na gruncie

Fig. 1. Scheme of slab on the ground floor

W celu obliczenia ekwiwalentnej wartości współczynnika przenikania ciepła bez uwzględnienia izolacji krawędziowych  $U = U_0$ , w przypadku przegród niez izolowanych lub umiarkowanie izolowanych, należy zastosować wzór (1), a w przypadku przegród dobrze izolowanych wzór (2):

- $d_t < B'$ :

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (1)$$

- $d_t \geq B'$ :

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (2)$$

Współczynnik przenikania ciepła zależy od wymiaru charakterystycznego podłogi  $B'$  (3):

$$B' = A/0,5P \quad (3)$$

gdzie:

A – całkowity obwód budynku [m];

P – całkowite pole powierzchni podłogi na gruncie [m<sup>2</sup>];

oraz całkowitej grubości równoważnej  $d_t$  (4)

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (4)$$

gdzie:

w – całkowita grubość ściany, ze wszystkimi warstwami [m];

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła gruntu [W/(m·K)];

$R_{si}$  – opór przyjmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej [(m<sup>2</sup>·K)/W];

$R_f$  – opór cieplny płyty podłogi, łącznie z każdą warstwą izolacyjną na całej powierzchni powyżej lub poniżej płyty podłogi i z każdym pokryciem podłogi [(m<sup>2</sup>·K)/W];

$R_{se}$  – opór przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej [(m<sup>2</sup>·K)/W].

W przypadku podłóg z izolacją krawędziową, ekwiwalentny współczynnik przenikania ciepła wyznacza się ze wzoru (5):

$$U = U_0 + \frac{2\Psi_{g,e}}{B'} \quad (5)$$

gdzie:

$\Psi_{g,e}$  – liniowy współczynnik przenikania ciepła [W/(m·K)].

Do obliczenia  $\Psi_{g,e}$  izolacji krawędziowej poziomej stosuje się równanie (6):

$$2\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (6)$$

natomiast w przypadku izolacji krawędziowej pionowej równanie (7):

$$2\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{2D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (7)$$

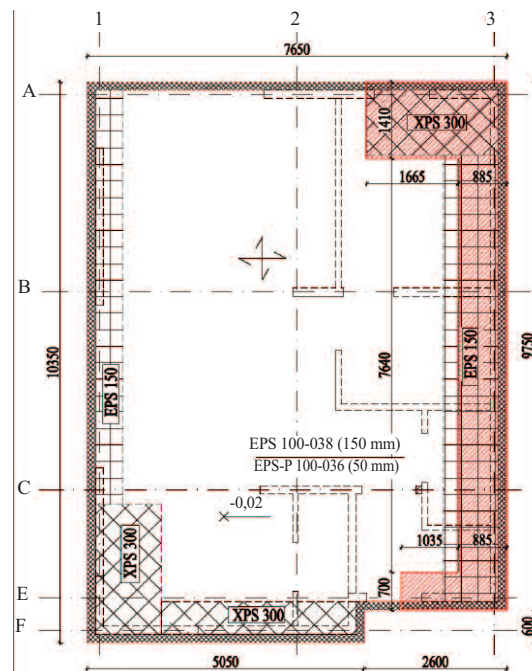
gdzie:

D – głębokość/szerokość izolacji krawędziowej [m];  
 $d' = R'\lambda$  – dodatkowa grubość ekwiwalentna związana z zastosowaniem izolacji krawędziowej [m].

### Opis analizowanego przypadku – badania in situ

Analizowany budynek jednorodzinny o prostej bryle został wzniesiony na planie prostokąta. Konstrukcję nośną stanowią prefabrykowane ściany grubości 15 cm wykonane z keramzytobetonu LB16/1,6 (LC16/18/D1,6) z ociepleniem w systemie ETICS na bazie styropianu grubości 20 cm. Posadowienie budynku zostało wykonane na płycie fundamentowej grubości 20 cm. Z dokumentacji projektowej wynika, że płytę wykonano z betonu C20/25 ze zbrojeniem w dwóch warstwach siatkami ze stali A-IIIIN: dołem siatka Q221 z prętów  $\varnothing 6,35$  mm o oczku 15 x 15 cm; górą siatka Q335 z prętów  $\varnothing 8$  mm o oczku 15 x 15 cm. Pod fundamentem ułożono izolację termiczną grubości 20 cm wykonaną ze styropianu EPS100 i EPS150 oraz w wybranych obszarach krawędziowo z płyt styropianowych XPS300. Obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła w stanie istniejącym wyznaczony wg wzorów (1) – (7) wynosił  $U = 0,15$  W/(m<sup>2</sup>·K). Od strony zachodniej do budynku przylegał garaż w konstrukcji lekkiego szkieletu drewnianego posadowiony na stopach fundamentowych.

W opisywanym budynku miał miejsce pożar, w wyniku którego doszło do częściowego wytopienia warstwy izolacji termicznej wykonanej ze styropianu ułożonej pod płytą fundamentową. Uszkodzenia obejmowały całą północną krawędź płyty (oś 3) oraz częściowo krawędzie wschodnią i zachodnią (osie A i E). Pomierzona głębokość uszkodzeń warstwy termoizolacyjnej wynosiła 20–80 cm (rysunek 2). W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono uszkodzenia żel-



Rys. 2. Zakres uszkodzenia izolacji termicznej pod płytą fundamentową [14]

Fig. 2. The extent of damage to the thermal insulation under the foundation slab [14]

betowej płyty fundamentowej mającego negatywny wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji. Nastąpiło wyłącznie wykruszenie północnej krawędzi płyty (oś 3) na głębokość ~1,0 cm. Ubytki te nie spowodowały odsłonięcia zbrojenia. Ze względu na konieczność zabezpieczenia budynku przed wystąpieniem ewentualnych uszkodzeń konstrukcyjnych wykonano tymczasowe podparcie płyty fundamentowej w miejscu ubytków izolacji termicznej pod tą płytą (fotografie 1, 2).

Wytopiony fragment izolacji termicznej pod płytą fundamentową spowodował zagrożenie nie tylko bezpieczeństwa konstrukcji, ale także w odniesieniu do ochrony cieplno-wilgotnościowej budynku. W celu wybrania najkorzystniejszego sposobu naprawy uszkodzeń i odbudowy izolacji termicznej w podłodze



Fot. 1. Tymczasowe podparcie płyty fundamentowej budynku po pożarze

Photo 1. The temporary support of the foundation slab of the building after the fire





**Fot. 2. Częściowo spalona izolacja termiczna pod płytą fundamentową**  
 Photo 2. Partially burnt thermal insulation under the foundation slab

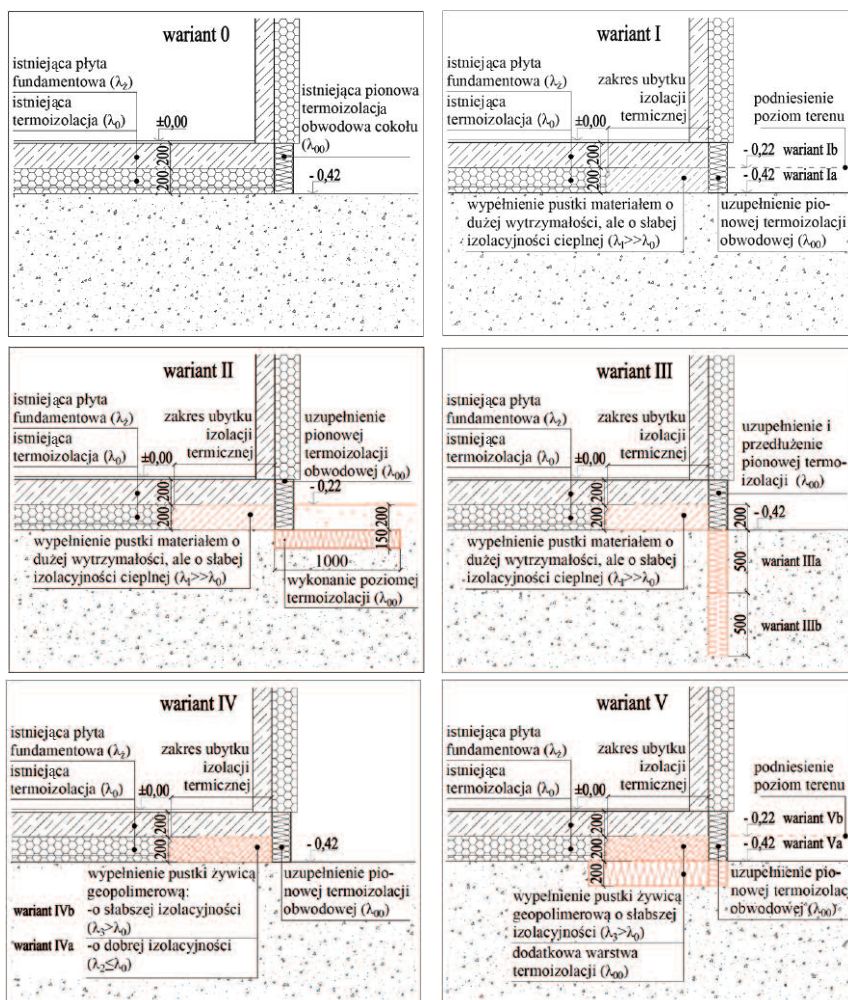
typu płyta na gruncie przeanalizowaliśmy wariantowe rozwiązania z wykorzystaniem modelowania numerycznego.

## Analizy numeryczne i ich wyniki

Obliczenia prowadzono metodą elementów skończonych przy użyciu programu THERM7.6. Analizy w tym programie umożliwiły modelowanie dwuwymiarowego przepływu ciepła, w tym obliczenie gęstości strumienia ciepła oraz pola temperatury w modelowanym przekroju. Obliczanie numeryczne wykonano, wykorzystując model geometryczny podany w PN-EN ISO 10211 [15], zgodnie z którą odpowiednio wprowadzono płaszczyzny wycięcia modelu. Założono temperaturę wewnętrzną  $T_i = 20^\circ\text{C}$ , temperaturę zewnętrzną  $T_e = -20^\circ\text{C}$  oraz adiabatę w miejscu płaszczyzn wycięcia modelu. Przyjęto współczynniki przejmowania ciepła: w przypadku podłogi na gruncie równy  $h_i = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; ściany od wewnątrz  $h_i = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; ściany od zewnątrz  $h_e = 25,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Do analizy ochrony cieplnej, w obrębie uszkodzonej izolacji termicznej płyty fundamentowej, przyjęto następujące warianty ocieplenia (rysunek 3):

- wariant 0 – stan projektowany (przed pożarem) – pod żelbetową płytą fundamentową ( $\lambda_2 = 1,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), ułożona jest na całej powierzchni izolacja termiczna grubości 20 cm ze styropianu XPS ( $\lambda_0 = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) oraz jest pionowa izolacja obwodowa cokołu ze styropianu XPS ( $\lambda_{00} = 0,033 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) o grubości 0,15 m i wysokości 0,40 m;
- wariant I – pustkę pod płytą fundamentową uzupełniono materiałem o dużej wytrzymałości na ściskanie (beton), ale słabej izolacyjności cieplnej ( $\lambda_1 = 1,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) \gg \lambda_0$  – wariant Ia)



**Rys. 3. Warianty 0 ÷ V**  
 Figs. 3. Variants 0 ÷ V

oraz opcjonalnie podniesiono poziom terenu do poziomu posadowienia płyty fundamentowej o 20 cm – wariant Ib;

- wariant II – pustkę pod płytą uzupełniono materiałem jak w wariantcie I ( $\lambda_1$ ) oraz podniesiono poziom terenu do poziomu posadowienia płyty fundamentowej (jak wariant Ib), a także w gruncie ułożono dodatkową poziomą warstwę styropianu XPS ( $\lambda_{00}$ ) o grubości 0,15 m i szerokości 1,0 m, zapewniając ciągłość z termoizolacją obwodową częściowo zagłębioną w gruncie;

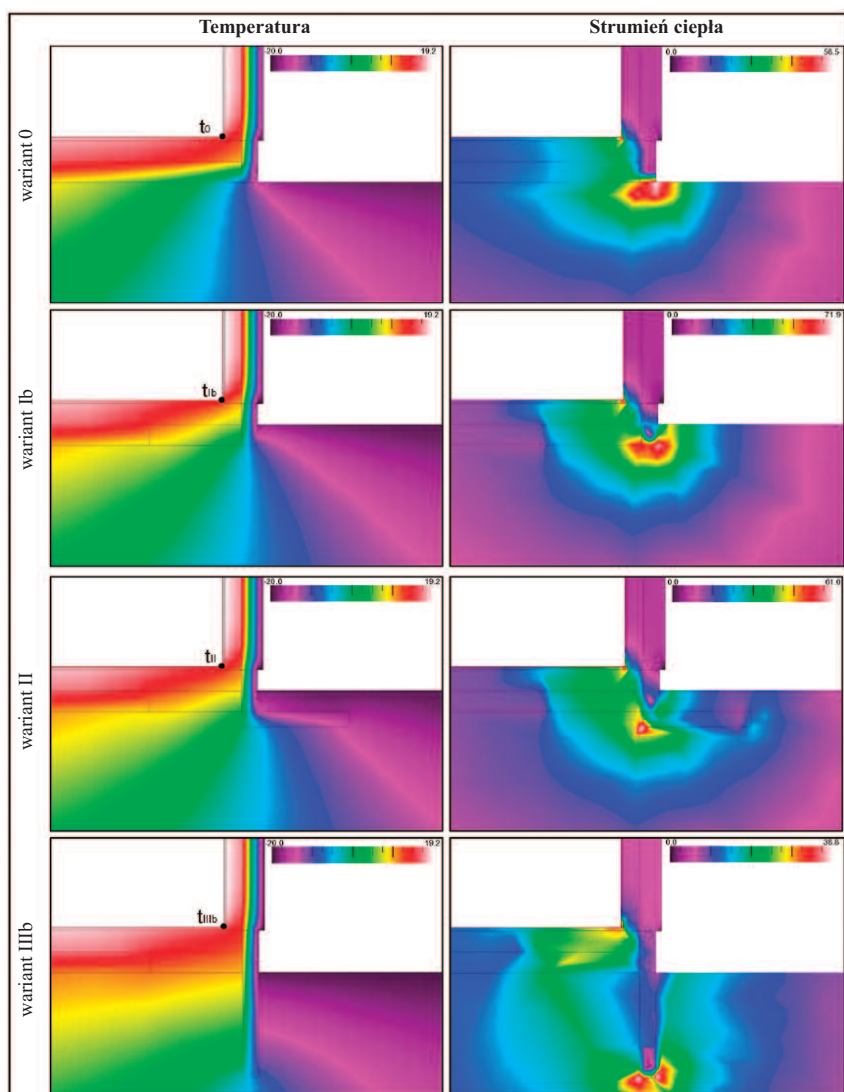
- wariant III – pustkę pod płytą uzupełniono materiałem, jak w wariantcie I ( $\lambda_1$ ), a także przedłużono pionową izolację obwodową ze styropianu XPS ( $\lambda_{00}$ ) o 0,5 m (wariant IIIa) i 1,0 m (wariant IIIb) poniżej poziomu terenu;

- wariant IV – pustkę pod płytą wypełniono żywicą geopolimerową o niewielkiej gęstości i małym współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda_2 = 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) < \lambda_0$

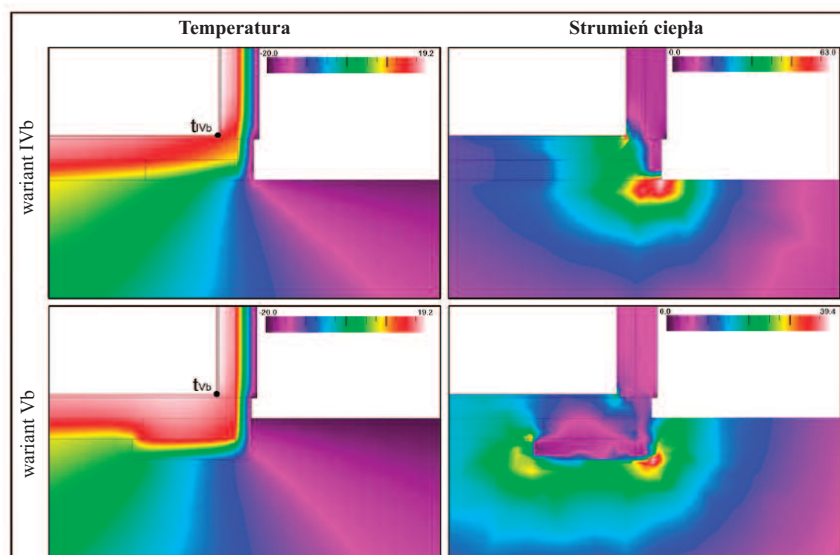
(wariant IVa) oraz o dużej gęstości i współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda_3 = 0,055 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) > \lambda_0$  (wariant IVb);

- wariant V – pustkę pod płytą wypełniono żywicą geopolimerową o dużej gęstości i gorszej izolacyjności cieplnej jak w wariantcie IVb ( $\lambda_3 = 0,055 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) > \lambda_0$ ), a także przedłużono pionową izolację obwodową pod żywicą ułożono poziomą izolację krawędziową ze styropianu XPS ( $\lambda_{00}$ ) (wariant Va) oraz opcjonalnie podniesiono poziom terenu do poziomu posadowienia płyty fundamentowej o 20 cm (wariant Vb).

Wyniki analiz numerycznych przedstawiono w formie porównania rozkładu temperatury oraz rozkładu strumienia ciepła uzyskanych w przypadku wybranych wariantów (rysunki 4, 5). W celu dobrej czytelności grafik przedstawiono wyłącznie rozkłady w najbliższej odległości od narożnika płyty fundamentowej.



Rys. 4. Rozkład temperatury oraz strumienia ciepła w modelach – warianty 0, Ib, II i IIIb  
 Fig. 4. Distribution of the temperature and heat flux density in the model – variants 0, Ib, II i IIIb



Rys. 5. Rozkład temperatury oraz gęstość strumienia ciepła w modelach – warianty IVb i Vb  
 Fig. 5. Distribution of the temperature and heat flux density in the model – variants IVb i Vb

W zależności od przyjętego sposobu naprawy uszkodzonej izolacji termicznej uzyskuje się zróżnicowany rozkład strumienia ciepła, wpływający na kształtowanie pola temperatury w obrębie podłogi na gruncie [16, 17]. Wartości strumienia ciepła  $Q$ , gęstości strumienia ciepła w węźle  $q$ , minimalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni podłogi  $t$  (w miejscu styku ze ścianą zewnętrzną) oraz współczynnika przenikania ciepła  $U$  obliczone zgodnie z PN-EN ISO 13370 [10] i czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  wg PN-EN ISO 13788 [18] wyznaczone w programie w przypadku modelowanych przekrojów przedstawiono w tabeli.

#### Wyniki obliczeń

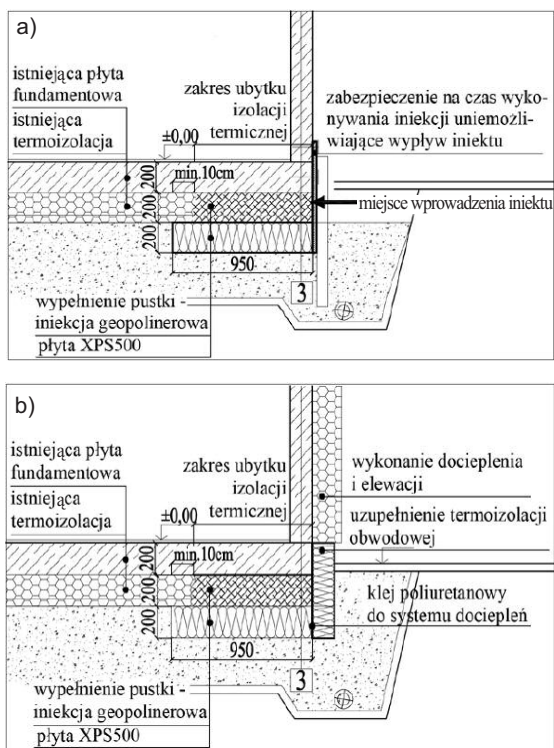
##### Calculation results

Wariant rozwiązania	$U$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$t$ [°C]	$f_{Rsi}$ [-]	$Q$ [W]	$q$ [W/m <sup>2</sup> ]
0	0,150	14,7	0,868	72,08	15,24
Ia	0,165	12,4	0,810	80,66	17,05
Ib	0,165	13,0	0,825	76,83	16,24
II	0,153	14,0	0,850	70,54	14,91
IIIa	0,151	14,5	0,863	67,90	14,36
IIIb	0,140	15,2	0,880	61,20	12,94
IVa	0,147	17,8	0,945	60,86	12,87
IVb	0,154	14,0	0,850	74,55	15,76
Va	0,145	17,6	0,940	58,34	12,33
Vb	0,145	17,6	0,940	56,89	12,03

Obliczenia numeryczne wykazały, że największe wartości temperatury na wewnętrznej powierzchni naroża ściennego w obrębie połączenia z podłogą na gruncie ( $t = 17,6 \div 17,8^{\circ}\text{C}$ ) i jednocześnie najmniejsze wartości strumienia ciepła ( $Q = 56,89 \div 60,86$  W) uzyskano w przypadku wariantów IVa i V. Są to rozwiązania, w których do wypełnienia pustki powstałej w wyniku pożaru zastosowano żywicę geopolimerową (IVa – żywicę o małym współczynniku przewodzenia ciepła i V – żywicę o gorszej izolacyjności cieplnej, ale z dodatkową poziomą izolacją obwodową). Rozwiązaniem nie pogarszającym warunków ochrony cieplnej analizowanego fragmentu budynku w odniesieniu do stanu sprzed pożaru jest również wariant IIIb, w którym wykorzystano materiał o dużej wytrzymałości, ale słabej izolacyjności cieplnej oraz wykonano dodatkową izolację pionową o głębokości 1 m. Takie rozwią-



zanie skutkuje jednak koniecznością wykonania wykopu w bezpośrednim sąsiedztwie płyty fundamentowej, co nie jest korzystne z punktu widzenia posadowienia budynku. Optymalnym rozwiązaniem eliminującym występujące pustki termoizolacji pod płytą fundamentową jest iniekcja geopolimerowa. Polega ona na aplikacji żywicy geopolimerowej, która rozszerza się i wypełnia istniejącą pustą przestrzeń pod płytą fundamentową oraz dodatkowo wzmacnia grunt. Wskazane jest również dodatkowe ułożenie styropianu XPS500, po uprzednim częściowym wybraniu warstwy gruntu. Ponadto należy pamiętać o uprzednim oczyszczeniu i przygotowaniu odśnieżonej dolnej krawędzi płyty fundamentowej zgodnie z wymaganiami dostawcy systemu iniekcyjnego, a także o zabezpieczeniu krawędzi fundamentu w celu uniemożliwienia niekontrolowanego wypływu iniektu (faza 1 – rysunek 6a). W celu zapewnienia wymaganej izolacyjności cieplnej, ostatnim etapem prac jest wykonanie docieplenia ściany zewnętrznej wraz z obwodową izolacją termiczną (faza 2 – rysunek 6b).



**Rys. 6. Fazy naprawy uszkodzeń i odbudowy izolacji termicznej: a) faza 1; b) faza 2**

*Fig. 6. Phases of damage repair and reconstruction of thermal insulation: a) phase 1; b) phase 2*

## Wnioski

Przeprowadzone studium przypadku budynku jednorodzinnego, w którym w wyniku pożaru doszło do częściowego spalenia warstwy termoizolacji pod płytą fundamentową, wykazało, że istnieją zróżnicowane możliwości poprawy izolacyjności cieplnej podłogi na gruncie w obrębie występującego uszkodzenia. Wypełnienie wolnej przestrzeni po uszkodzonej izolacji cieplnej betonem nie musi skutkować w każdym przypadku pogorszeniem stanu ochrony cieplnej budynku. Odpowiednie wykonanie izolacji krawędziowej może wręcz zapewnić zwiększenie temperatury na wewnętrznej powierzchni podłogi w narożu.

Ze względu na charakter rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych budynku **optymalnym rozwiązaniem** z punktu widzenia stanu ochrony ciepło-wilgotnościowej **jest zastosowanie iniekcji geopolimerowej**. Zaproponowana technologia jest możliwa do bezpośredniego zastosowania w przypadku braku uszkodzenia konstrukcji żelbetowej płyty. Analiza numeryczna wykazała, że takie rozwiązanie, w przypadku wybranych koncepcji połączenia z dodatkową izolacją krawędziową,

można poprawić izolacyjność cieplną w porównaniu ze stanem pierwotnym.

Przeprowadzając studium literaturowe, nie znaleziono bezpośredniego odniesienia do identycznych przypadków uszkodzenia izolacji termicznej pod płytą fundamentową. Omówione zagadnienie, wraz z przeprowadzonymi analizami, stanowi cenny przykład zdarzenia, które może nastąpić w wyniku pożaru, szczególnie że nie ma przepisów i wytycznych dotyczących ochrony przeciwpożarowej pozwalających na uniknięcie takich sytuacji. Zasadne wydaje się więc zalecenie, aby poziom terenu w obrębie budynku był wyniesiony powyżej warstwy izolacji termicznej podłogi na gruncie.

## Literatura

- [1] Karolak D. Ocena stanu technicznego i wzmocnienie konstrukcji dwóch budynków po pożarze w garażu podziemnym. *Przegląd Budowlany*. 2021; 1: 18 – 25.
- [2] Biegus A. Awaria stalowego dachu hali produkcyjno-magazynowej spowodowana pożarem. *Inżynieria i Budownictwo*. 2014; 3: 133 – 137.
- [3] Kuti R, Zólyomi G, László G, Hajdu C, Környei L, Hajdu F. Examination of effects of indoor fires on building structures and people. *Helvion*. 2023; 9.
- [4] Bogdanovičová H. Ocieplenie styropianem: ocieplamy materiałem palnym. *Zdrowo mieszkać*. 2023.
- [5] Wieczorek M, Niziurska M, Borkowicz K. Ocena bezpieczeństwa pożarowego elewacji na podstawie badań w dużej skali. *Izolacje*. 2019; 9: 87 – 89.
- [6] Li Y, Wang Z, Huang X. An exploration of equivalent scenarios for building facade fire standard tests. *Journal of Building Engineering*. 2022; 52.
- [7] Hyjek M. Pożar ściany zewnętrznej z barierami ogniowymi. *Materiały Budowlane*. 2021; 1: 30 – 32.
- [8] Wesołowska M, Szczepaniak P. Kształtowanie węzła połączenia z gruntem w systemowym budynku niskoenergetycznym. *Materiały Budowlane*. 2015; 5: 88 – 90.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wraz z późniejszymi zmianami.
- [10] PN-EN ISO 13370:2017. Ciepłota właściwości użytkowe budynków – Przenoszenie ciepła przez grunt – Metody obliczania.
- [11] Pogorzelski JA. Uprozczone obliczanie strat ciepła z budynku przez grunt zgodnie z PN-EN ISO 13370: Prace Instytutu Techniki Budowlanej. *Kwartalnik*. 2006; 2 (138).
- [12] Pawłowski K. Projektowanie ciepłych przegród stykających się z gruntem. *Izolacje*. 2022; 10.
- [13] Pawłowski K. Projektowanie przegród poziomych w budownictwie energooszczędnym. *Dachy, stropodachy, podłogi, stropy*. Grupa Medium, Warszawa 2018.
- [14] Krause P, Szydłak D. Ekspertyza techniczna budynku uszkodzonego w wyniku pożaru. *Grupa Stekra, Mikołów* 2022.
- [15] PN-EN ISO 10211:2017-09 Mostki cieplne w konstrukcji budowlanej – Przepływy ciepła i temperatury powierzchni – Obliczenia szczegółowe.
- [16] Pokorska-Silva I, Kadel M, Orlik-Koźdoń B, Fedorowicz L. Calculation of building heat losses through slab-on-ground structures based on soil temperature measured in situ. *Energies*. 2022; 15 (1), 114.
- [17] Ickiewicz I. Wpływ ocieplenia fundamentów na rozkład temperatury w gruncie w otoczeniu budynku. *Izolacje*. 2018; 4.
- [18] PN-EN ISO 13788:2013-05 Ciepłota-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania.

Przyjęto do druku: 06.11.2023 r.