

## **EKONOMICZNE ASPEKTY WYKORZYSTANIA GLINY W KONSTRUKCJI PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKÓW W PORÓWNANIU Z WYBRANYM MATERIAŁEM TRADYCYJNYM**

Krzysztof Wiśniewski<sup>1</sup>, Wojciech Gieniusz<sup>2</sup>, Agata Pawłat-Zawrzykraj<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa

<sup>2</sup>Aldesa Construcciones S.A., Warszawa

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań związanych z wykorzystaniem gliny nieprzetworzonej do konstrukcji przegród zewnętrznych w aspekcie ekonomiczno-środowiskowym. Jako alternatywne rozwiązanie przegród zewnętrznych przyjęto konstrukcję ścian zewnętrznych jednowarstwowych z betonu komórkowego o podwyższonej izolacyjności termicznej. Zakres analizy obejmował obliczenia ciepłno-wilgotnościowe w celu dostosowania do obowiązujących standardów cieplnych przegród, analizę kosztów, a do weryfikacji przyjętych rozwiązań została wykorzystana metodologia obliczania charakterystyki energetycznej. Uzyskane wyniki potwierdzają, że analizowane rozwiązanie przegród z wykorzystaniem gliny w budynku jednorodzinym może być dobrą alternatywą dla konwencjonalnych rozwiązań.

**Słowa kluczowe:** glina nieprzetworzona, charakterystyka energetyczna, dyfuzja pary wodnej, koszty budowy domu

### **WSTĘP**

Rozwój technologii stosowanych w budownictwie jest w dużej mierze wynikiem dostosowywania się polskiego prawodawstwa do standardów europejskich. Te zaś są odzwierciedleniem dążenia do budownictwa energooszczędnego, przyjaznego środowisku nie tylko w czasie eksploatacji, ale już na etapie produkcji materiałów, a nawet w czasie rozbiórki i utylizacji następującej po zużyciu technicznym. Jednym z rozwiązań wychodzących naprzeciw tego rodzaju potrzebom rynku budowlanego może być glina – materiał naturalny, niewymagający wysokich nakładów energetycznych, a co za tym idzie – wysokich kosztów produkcji, transportu i robocizny.

Przegrody zewnętrzne z gliny nieprzetworzonej mają wysoką, w granicach 1670–2500 J·(Kg·K)<sup>-1</sup>,

pojemność cieplną w porównaniu z innymi materiałami: cegła silikatowa pełna – 800–1000 J·(Kg·K)<sup>-1</sup>, beton komórkowy – 840 J·(Kg·K)<sup>-1</sup>, drewno sosnowe – 2510 J·(Kg·K)<sup>-1</sup> według PN-EN 12524:2003 oraz beton autoklawizowany – 1000 J·(Kg·K)<sup>-1</sup> według PN-EN ISO 6946: 2008. Zdolność akumulacji ciepła zmniejsza możliwość wykroplenia pary wodnej w przegrodzie. Wilgotność względna jest utrzymywana na poziomie około 50%, nie dopuszczając do nadmiernego wysuszenia powietrza, tj. spadku wilgotności względnej poniżej 40% (Kamieniarz, 2010). Utrzymywanie optymalnego poziomu wilgotności pozwala również na eliminację procesów gnilnych, rozwoju pleśni, ogranicza obecność kurzu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń – główne przyczyny alergii wziewnych i różnych chorób górnych dróg oddechowych (Brzeski, 2004; Byrdy, 2013). Cząstki iłu, które są jednym ze składników

✉agata\_pawlat\_zawrzykraj@sggw.pl

tworzących glinę, mają odczyn zasadowy, pochłaniają obce, szkodliwe substancje, tym samym sprzyjają zdrowemu mikroklimatowi (Kamieniarz, 2010).

Norma branżowa BN-62 6738-02 (brak znowelizowanej wersji normy) dotycząca budownictwa z gliny określa masy gliniane jako mieszaninę gliny z wypełniaczami mineralnymi bądź organicznymi. Zgodnie z normą masy gliniane dzieli się na:

- ciężkie, przeznaczone na ściany ubijane w szalunkach, konstrukcyjne bloczki ściennie,
- średnie, przeznaczone na konstrukcyjne bloczki ściennie, belki, nadproża drzwiowe oraz okienne,
- lekkie, przeznaczone na bloczki ściennie do ścian działowych i wypełniających, płyty ocieplające, płyty stropowe i dachowe.

Norma narzuca ograniczenia możliwości budowlanego wykorzystania mas glinianych do budynków o maksymalnie 3 kondygnacjach, o małym i średnim zawilgoceniu.

Nieprzetworzona, niewypalana glina jest wykorzystywana we współczesnym budownictwie w czterech podstawowych technologiach:

1. Metoda słombeli (prasowane kostki słomiane tynkowane gliną) – glina jest tu wykorzystywana do tynkowania ścian o konstrukcji nośnej w formie żelbetowego lub drewnianego szkieletu z wypełnieniem z kostek z prasowanej słomy; na ścianę nakłada się od zewnątrz 10 cm, a od wewnątrz 6–8 cm gliny, narzucając ją w kilku warstwach. Glina, jako materiał regulujący wilgotność, zabezpiecza szkielet i organiczne wypełnienie ścian, osuszając je i tym samym uodparniając na zagrzybienie (Kamieniarz, 2010).

2. Lekka masa gliniana w szkielecie drewnianym (w połączeniu drewna z żelbetem lub z żelbetu) – lekka masa gliniana, o gęstości objętościowej w zakresie 600–1200 kg·m<sup>-3</sup>, w formie bloczków lub jako monolityczna ściana ubita w deskowaniu, stanowiąca wypełnienie konstrukcji nośnej. Zgodnie z normą PN-EN ISO 6946:2008 współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) dla gliny wynosi 0,75–0,85 W·(m·K)<sup>-1</sup>. Norma BN-62/6738-02 precyzuje wartość tego współczynnika w zależności od masy gliny, który wynosi: 0,81–0,93 W·(m·K)<sup>-1</sup> dla gliny ciężkiej, 0,47–0,81 W·(m·K)<sup>-1</sup> dla średniej i 0,23–0,47 W·(m·K)<sup>-1</sup> dla lekkiej. Zastosowany materiał charakteryzuje się stosunkowo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) rzędu

0,23–0,47 W·(m·K)<sup>-1</sup>, co pozwala na wykonanie węższych ścian zewnętrznych, odpowiadających wymogom dla tego rodzaju przegród (Racięcki, 1962; Hyła i Kupiec-Hyła, 1994).

3. Ściany z gliny ubijanej w deskowaniu – monolityczne ściany z mieszanek ciężkiej masy glinianej zdolnej do samodzielnego zapewnienia nośności konstrukcji budynku. Minimalna grubość ściany nośnej ubijanej w szalunku to 33 cm przy rozpiętości do 4 m i 50 cm – powyżej 4 m. Technologia ta wymaga optymalnych warunków schnięcia i uniemożliwia zastosowanie elementów konstrukcyjnych z innych materiałów z powodu skurczu (Racięcki, 1950). Ze względu na wysoki współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) dla glin ciężkich (BN-62 6738-02. Budownictwo z gliny. Masy gliniane) ściany wznoszone w tej technologii wymagają dodatkowego ocieplenia.

4. Bloczki uformowane z gliny i wypełniaczy, prasowane w prasach mechanicznych – bloki gliniane ze średnich i ciężkich mas glinianych wyrabiane na miejscu lub u producenta w specjalnych formach lub w prasach hydraulicznych. Możliwość wcześniejszego przygotowania bloczków eliminuje problem osiadania ścian w wyniku wysychania, co ma miejsce przy wykonywaniu ścian monolitycznych w szalunkach (Racięcki, 1950). Zalecana minimalna grubość przegród nośnych oraz konieczność dodatkowej warstwy izolacji termicznej tak jak w przypadku ściany z gliny ubijanej w deskowaniu (Minke, 2012).

W artykule analizie poddano rozwiązanie konstrukcyjne przegród zewnętrznych, wykorzystujące nieprzetworzoną glinę w ścianach z bloków konstrukcyjnych wykonanych z masy glinianej ciężkiej z dodatkiem piasku (ok. 40% w stosunku do ilości gliny) w celu odwrażliwienia gliny na możliwość pęknięcia w trakcie suszenia oraz z dodatkiem siewki słomianej (ok. 7% w stosunku do ilości gliny) w celu poprawienia właściwości cieplnych i mechanicznych. Wybrane rozwiązanie pozwala wykorzystać dobre właściwości materiału, jakim jest glina, a z drugiej strony umożliwia wykorzystanie w konstrukcji budynku innych powszechnie wykorzystywanych materiałów budowlanych, jak np. stropu gęstożebrowego i prefabrykowanych żelbetowych nadproży (Racięcki, 1962).

Celem pracy była weryfikacja i ocena przyjętego rozwiązania przegród z wykorzystaniem gliny

nieprzetworzonej w projektowanym budynku pod względem wybranych cech fizycznych wpływających na komfort i zdrowie użytkowników. Celem uzupełniającym, mającym wymiar praktyczny, jest analiza ekonomiczna rozpatrywanego budynku w porównaniu z konwencjonalnym rozwiązaniem ścian z bloczków Ytong Energo+.

## MATERIAŁ I METODY

### Dane ogólne

Rozpatrywany budynek to projektowany wolnostojący, parterowy, niepodpiwniczony dom jednorodzinny, o powierzchni zabudowy 301,86 m<sup>2</sup> (pow. użytkowa 223,19 m<sup>2</sup>, kubatura netto 580,29 m<sup>3</sup>), zlokalizowany w Warszawie. Na potrzeby analizy przyjęto szereg założeń materiałowo-konstrukcyjnych, w tym wykonanie przegród zewnętrznych z bloków z gliny, pełniących rolę ścian nośnych, bez wzmocnienia dodatkowymi elementami konstrukcyjnymi. Założono ciężar objętościowy ( $\gamma$ ) masy glinianej ciężkiej, równy 1800 kg·m<sup>-3</sup>, oraz współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ), równy 0,93 W·(m·K)<sup>-1</sup>. Ściany zewnętrzne murowane są z uprzednio osuszonych bloczków o wymiarach 33 × 16 × 21,5 cm, na zaprawie cementowo-glinianej ze względu na większą wytrzymałość. Zgodnie z zaleceniami literatury dla rozpiętości powyżej 4 m (Racięcki, 1962) założono grubość warstwy nośnej przegrody 50 cm, z uwzględnieniem spoiny pomiędzy blokami grubości 1 cm. Grubość ścian wewnętrznych 16 cm. Sieczka w celu ochrony przed możliwością wystąpienia gnicia i rozwoju grzybów powinna być poddana mineralizacji poprzez wcześniejsze zmieszanie z wapnem.

Ze względu na wysoki współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) ciężkich mas glinianych, z których zrobione są bloczki, należy wykonać dodatkową warstwę przegrody z izolacją termiczną. Materiał izolacyjny musi charakteryzować się małym oporem dyfuzyjnym ( $\mu$ ), by przegroda mogła zachować swoje pożądane właściwości fizyczne (Byrdy, 2013). Materiałem, który spełnia te założenia, jest popularna w naszym kraju wełna mineralna skalna. Przyjęto izolację termiczną z płyt Rockwool Frontrock MAX E o grubości 20 cm, zamocowanych w bezspoinowym systemie ociepleń (ETICS). Ściany zostaną otynkowane dopiero po

ich całkowitym wyschnięciu. Zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej zostaną użyte tynki wapienne, nakładane w dwóch warstwach, zgodnie z zaleceniami znajdującymi się w literaturze (Pawlikowski, 1955). Wybrane pozostałe rozwiązania obejmują:

- żelbetowe ławy fundamentowe z betonu klasy C16/20, szerokości 100 cm, wysokości 50 cm, warstwa podbetonu o grubości 10 cm,
- ściany fundamentowe wylewane na mokro z betonu C16/20, o grubości 50 cm, ocieplone izolacją pionową krawędziową w postaci styroduru Austrotherm XPS TOP 30 SF, grubość 20 cm,
- stropodach pełny niewentylowany z pokryciem papowym termozgrzewalnym, ocieplony płytami ze styropianu grafitowego Austrotherm EPS DACH/PODŁOGA PREMIUM, grubość 16 cm,
- strop gęstożebrowy w systemie TERIVA I-BIS,
- wieńce stropowe żelbetowe monolityczne,
- nadproża okienne i drzwiowe żelbetowe prefabrykowane.

### Metody

W celu weryfikacji konstrukcyjnej przyjętego rozwiązania przegród zewnętrznych sprawdzono nośność wybranego filarka międzyokiennego ściany zewnętrznej. Obliczenia przeprowadzono według normy PN-EN 1996-1-1:2010. Eurokod 6, zgodnie z metodą uproszczoną przedstawioną w rozdziale 4.2, dla ścian poddanych obciążeniu pionowemu i obciążeniu poziomemu wiatrem. Szczegółowa metodyka i uzyskane wyniki obliczeń konstrukcyjnych nie są przedmiotem prezentowanego artykułu. Badania dotyczą przede wszystkim analizy cieplno-wilgotnościowej przegrody zewnętrznej wykonanej z glinianych bloków ściennych oraz wybranych kosztów realizacji rozpatrywanego budynku.

**Obliczenie współczynnika przenikania ciepła ( $U$ ) ściany zewnętrznej** według normy PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania zgodnie ze wzorem:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

gdzie:  $R_T$  – opór całkowity [(m<sup>2</sup>·K) ·W<sup>-1</sup>].

**Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej pary wodnej** według normy PN-EN ISO 13788:2003 poprzez sprawdzenie warunku wykraplania się pary wodnej na przegrodzie, zgodnie z załącznikiem do Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422); współczynnik temperaturowy ( $f_{Rsi}$ ) dla danej przegrody musi być większy lub równy wartości krytycznej tego współczynnika ( $f_{Rsi,crit}$ ).

**Ocena ryzyka kondensacji międzywarstwowej pary wodnej**, będącej przyczyną rozwoju grzybów pleśniowych w okresie eksploatacji, objęła określenie rocznego bilansu wilgoci według metodologii opisanej w normie PN-EN ISO 13788:2003. Zastosowana metodyka wprawdzie posiada pewne ograniczenia i dotyczy tradycyjnych materiałów, ale dla celów porównawczych opisu zjawiska dyfuzji pary wodnej bez uwzględnienia akumulacji pary wodnej w materiałach takich, jak glina lub gips, przy takich założeniach może być wykorzystana. Do obliczenia dyfuzji pary wodnej wykorzystano oprogramowanie ARCADia-TERMO PRO 6.4 i KONSTRUKTOR 6.5.

Dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza ( $S_d$ ) obliczona została ze wzoru:

$$S_d = \mu \cdot d \quad (2)$$

gdzie:  $\mu$  – współczynnik oporu dyfuzyjnego [–],  
 $d$  – grubość warstwy [m].

Obliczono temperaturę ( $\theta_n$ ) na wszystkich powierzchniach styku komponentów przegrody, zaczynając od strony zewnętrznej według wzoru z normy PN-EN ISO 13788:2003:

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3)$$

gdzie:  $R'_n$  – narastający opór cieplny od strony zewnętrznej do styku komponentów [(m<sup>2</sup>·K)·W<sup>-1</sup>],

$R'_T$  – całkowity opór cieplny [(m<sup>2</sup>·K)·W<sup>-1</sup>],

$\theta_i$  – temperatura wewnętrzna [°C].

Zgodnie z metodą opisaną w normie PN-EN ISO 13788:2003 narysowano przekrój rozpatrywanej przegrody z uwzględnieniem dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza ( $S_d$ ). Naniesiono wartości ciśnienia pary wodnej nasyconej ( $p_{sat}$ ) oraz wewnętrznego i zewnętrznego ciśnienia pary wodnej dla każdego miesiąca.

W celu weryfikacji i określenia optymalnego rozwiązania pod względem energetycznym wykonano charakterystykę energetyczną dla wybranych wariantów rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych. Wykorzystano metodykę wzorów oraz danych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376) oraz norm, do których odsyła to Rozporządzenie.

Ekonomiczny aspekt wykorzystania gliny jako alternatywnego materiału budowlanego opracowano, zestawiając koszty takiego rozwiązania w porównaniu z kosztami realizacji rozpatrywanego budynku z zastosowaniem popularnego autoklawizowanego betonu komórkowego (Ytong Energo+). Założono wykonanie przegród zewnętrznych z bloczków o grubości 48 cm, wykończonych tynkiem cementowo-wapiennym (łączna grubość przegrody 50 cm). Rozwiązanie to zapewnia zadowalający współczynnik przenikania ciepła ( $U$ ) równy 0,172 W·(m<sup>2</sup>·K)<sup>-1</sup> (obliczenia własne według normy PN-EN ISO 6946:2008 oraz karty technicznej bloczków Ytong Energo+). Parametry energetyczne dla projektowanego domu w dwóch rozpatrywanych wariantach są porównywalne (obliczenia własne na podstawie Dz.U. 2015 poz. 376).

Na potrzeby oceny opłacalności wznoszenia ścian z gliny ustalono koszt wyrobu glinianych bloczków konstrukcyjnych według metodyki zaczerpniętej z literatury (Racięcki, 1950), z uwzględnieniem aktualnych kosztów robocizny, zakładając mechaniczną produkcję na prasie ślimakowej. Następnie obliczono łączny koszt podstawowych materiałów na ściany zewnętrzne i wewnętrzne projektowanego budynku jednorodzinnego w dwóch analizowanych rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych. Nie uwzględniono kosztów tynku cementowo-wapiennego przyjętego w obu wariantach. Kalkulacje

dla materiałów budowlanych przyjęto zgodnie z ofertami internetowymi (<https://sklep.ceradbud.pl>; [www.cennik-budowlany.pl](http://www.cennik-budowlany.pl); <https://bednarek.sklep.pl/>), stawkę robocizny dla województwa mazowieckiego – zgodnie z <https://www.wielkiebudowanie.pl>.

## WYNIKI

Współczynnik przenikania ciepła ( $U$ ) dla proponowanego rozwiązania z wykorzystaniem bloczków z gliny uzyskano na poziomie  $0,158 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$  (tab. 1). Jest to zadowalający wynik w zestawieniu z maksymalną dopuszczalną wielkością tego współczynnika dla ścian zewnętrznych, przy temperaturze

ogrzewanego pomieszczenia  $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ , która wynosi od 1 stycznia 2017 roku  $0,23 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$  (Dz.U. 2015 poz. 1422).

Obliczenia potwierdziły zapewnienie przez proponowane rozwiązanie wymaganej w obowiązujących przepisach (Dz.U. 2015 poz. 1422) ochrony przed wilgocią. Analiza dokonana zgodnie z normą PN-EN ISO 13788:2003 (przy ograniczeniach, o których wspomniano na wstępie) dowiodła, że ściana w założonych warunkach mikroklimatycznych nie jest zagrożona kondensacją wilgoci na powierzchni wewnętrznej i wewnątrz samej przegrody oraz między poszczególnymi jej komponentami, w efekcie nie stwarza zagrożenia rozwoju zagrzybienia.

**Tabela 1.** Współczynnik przenikania ciepła ( $U$ ) dla ściany zewnętrznej wykonanej z bloczków z masy glinianej ciężkiej

**Table 1.** Thermal transmittance coefficient  $U$  for tan external wall made of clay blocks

Rodzaj warstwy Layer	Grubość warstwy $d$ [m] Layer thickness	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$ [ $\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ ] Thermal conductivity coefficient	Opór cieplny warstwy $R$ [ $(\text{m}^2\cdot\text{K})\cdot\text{W}^{-1}$ ] Thermal layer resistance
Powierzchnia wewnętrzna, $R_{si}$ Interior surface	–	–	0,13
Tynk mineralny cienkowarstwowy Thin mineral plaster	0,02	0,70	0,03
Bloczki z masy glinianej ciężkiej Blocks of heavy clays $33 \times 16 \times 21,5 \text{ cm}$	0,50	0,93	0,54
Wełna mineralna skalna Rockwool Frontrock Max E Mineral stone wool	0,20	0,036	5,56
Tynk cementowo-wapienny Cement-lime plaster	0,02	0,70	0,03
Powierzchnia zewnętrzna, $R_{se}$ External surface	–	–	0,04
Całkowity opór cieplny, $R_t$ [ $(\text{m}^2\cdot\text{K})\cdot\text{W}^{-1}$ ] The total thermal resistance	–	–	6,32
Współczynnik przenikania ciepła, $U$ [ $\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$ ] Thermal transmittance coefficient	–	–	0,158

Źródło: Opracowanie własne według PN-EN ISO 6946:2008.

Source: Own elaboration by PN-EN ISO 6946:2008.

**Tabela 2.** Obliczenie czynnika  $f_{Rsi,crit}$

**Table 2.** Calculations for critical temperature coefficient  $f_{Rsi,crit}$

Miesiąc Month	$\theta_e$ [°C]	$\varphi_e$ [-]	$p_{sat}$ [Pa]	$p_e$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$p_i$ [Pa]	$p_{sat}(\theta_{si,min})$ [Pa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi,min}$ [-]
Styczeń January	-1,2	0,86	552,78	475,39	858,6	1419,85	1774,81	14,6	0,745
Krytyczny współczynnik temperaturowy, $f_{Rsi,crit}$ [-] Critical temperature coefficient							0,745		

Objaśnienia:  $\theta_e$  – temperatura zewnętrzna,  $\varphi_e$  – wilgotność powietrza zewnętrznego,  $p_{sat}$  – ciśnienie pary wodnej nasyconej,  $p_e$  – ciśnienie aktualne pary wodnej na zewnątrz,  $\Delta p$  – różnica ciśnień,  $p_i$  – ciśnienie pary wodnej aktualne wewnątrz pomieszczenia,  $p_{sat}$  – ciśnienie pary wodnej nasyconej przy min. temp. wewnętrznej,  $\theta_{si,min}$  – minimalna temperatura wewnętrzna.

Explanations:  $\theta_e$  – outdoor temperature,  $\varphi_e$  – external humidity,  $p_{sat}$  – saturation vapour pressure,  $p_e$  – current pressure of outdoor water vapour,  $\Delta p$  – pressure difference,  $p_i$  – current pressure of indoor water vapour,  $p_{sat}$  – saturation vapour pressure at minimum internal temperature,  $\theta_{si,min}$  – minimum internal temperature.

Źródło: Opracowanie własne według PN-EN ISO 13788:2003.

Source: Own elaboration by PN-EN ISO 13788:2003.

Powyższe stwierdzenie wynika z następujących danych:

1. Wartość czynnika temperaturowego przegrody zewnętrznej ( $f_{Rsi}$ ) wynosi 0,960, a krytyczny współczynnik temperaturowy  $f_{Rsi,crit} = 0,745$  (tab. 2). Warunek  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,crit}$  został spełniony i nie występuje ryzyko rozwoju pleśni i zagrzybienia na powierzchni przegrody.

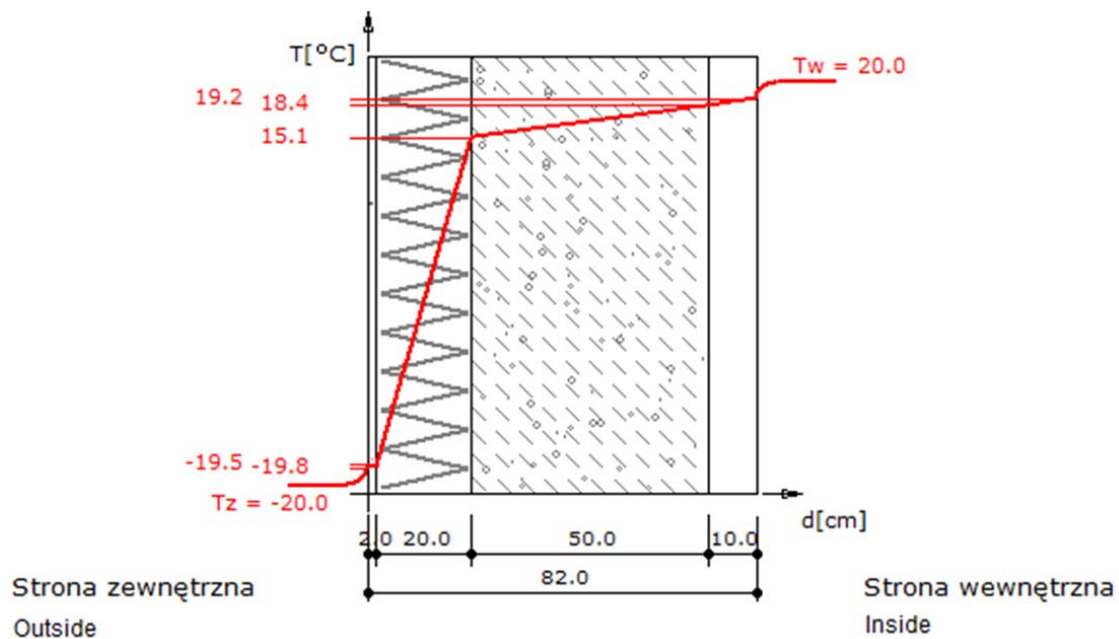
2. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dyfuzji pary wodnej przez przegrodę nie stwierdzono występowania kondensacji pary wodnej, a także nie stwierdzono punktów stycznych (rys. 1 i 2).

3. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń charakterystyki energetycznej budynku w celu weryfikacji wielkości zużycia energii budynku jednorodzinne wykorzystującego przegrody z gliny stwierdzono, że wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową budynku (nie uwzględniając typu i sprawności systemu grzewczego) kształtuje się na poziomie  $72,35 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$ . Pozwala to stwierdzić, że analizowany budynek wzniesiony z gliny jest energooszczędny i należy do klasy B, według nieoficjalnej klasyfikacji energetycznej przedstawionej przez Stowarzyszenie na rzecz Zrównowa-

żonego Rozwoju (Żurawski, 2013). W przypadku budynku, w którym przegrody zewnętrzne zostały wykonane z betonu komórkowego, zapotrzebowanie na energię użytkową (uwzględniając typ i sprawność systemu grzewczego) kształtuje się na poziomie  $77,23 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$ . Natomiast wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową ( $EK$ ) wynosi odpowiednio: dla budynku z gliny  $EK = 40,25 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$ , dla budynku z betonu komórkowego  $EK = 41,86 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$ . W przypadku wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną ( $EP$ ) wartości są jednakowe i wynoszą  $EP = 25,89 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$  (rys. 3).

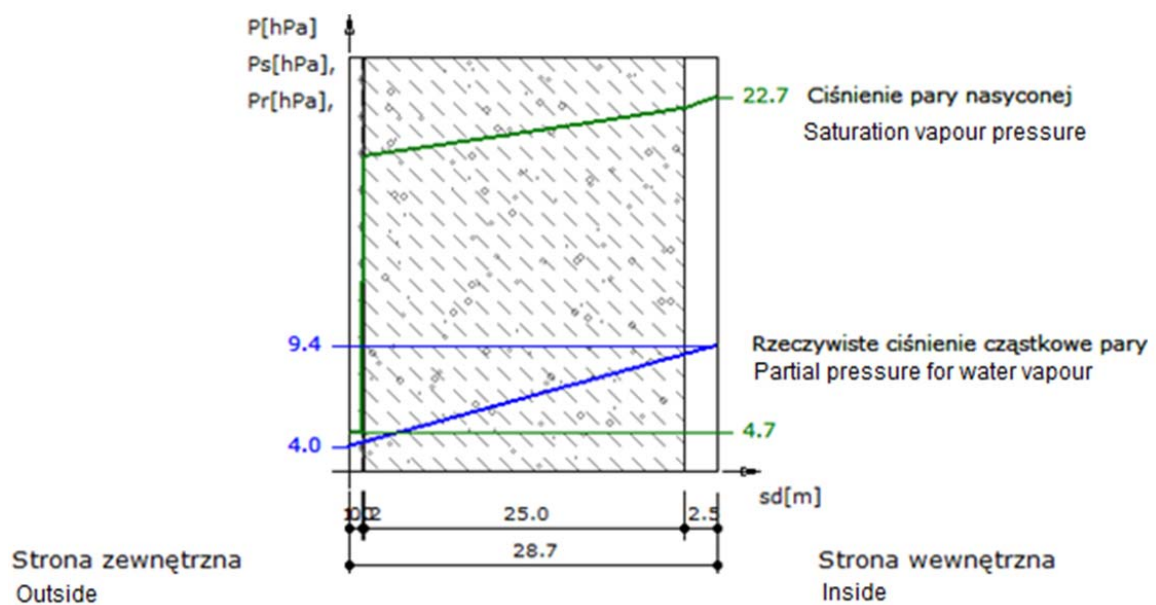
Natomiast osiągnięcie wymaganego w Obwieszczeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. (Dz.U. 2015 poz. 1422) współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wykonanych z gliny nieprzetworzonej wymaga zastosowania dodatkowego ocieplenia, najlepiej z wełny mineralnej, która nie ogranicza dyfuzji pary wodnej przez przegrodę.

Koszt materiałów potrzebnych do wykonania przegród zewnętrznych i wewnętrznych przedstawiono w tabelach 3 i 4.



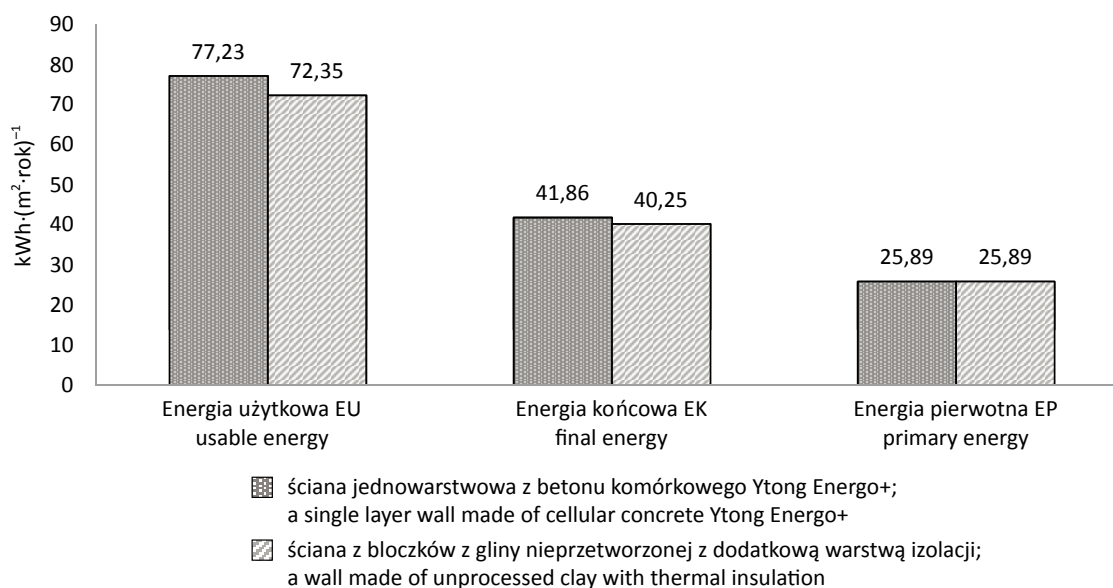
**Rys. 1.** Wykres rozkładu temperatury na grubości przegrody (opracowanie własne)

**Fig. 1.** Diagram of temperature distribution in the partition (own elaboration)



**Rys. 2.** Wykres rozkładu ciśnień w przegrodzie dla miesiąca krytycznego – styczeń (opracowanie własne według PN-EN ISO 13788:2003)

**Fig. 2.** Diagram of pressure distribution in the partition for the critical month – January (own elaboration by PN-EN ISO 13788:2003)



**Rys. 3.** Zużycie energii dla dwóch wariantów konstrukcji ścian zewnętrznych (opracowanie własne)

**Fig. 3.** Energy consumption for two variants of external wall structures (own elaboration)

**Tabela 3.** Koszt podstawowych materiałów na ściany z gliny

**Table 3.** The cost of building materials for clay walls

Rodzaj ściany Type of partitions	Liczba bloczków z gliny na 1 m <sup>2</sup> powierzchni ściany [szt.] Number of clay blocks per 1 m <sup>2</sup> of a wall	Powierzchnia ścian [m <sup>2</sup> ] Surface of walls	Liczba bloczków [szt.] Number of blocks	Koszt bloczków [zł] The cost of blocks
Ściany zewnętrzne o grubości 50 cm External walls at a thickness of 50 cm	45	198,80	8946	18 693
Ściany wewnętrzne konstrukcyjne o grubości 50 cm Internal load-bearing walls at a thickness of 50 cm	45	138,60	6237	13 032
Ściany działowe o grubości 16 cm Partition walls at a thickness of 16 cm	16	74,45	1191	2 489
Łączny koszt bloczków z gliny The total cost of clay blocks				34 214
Koszt materiału termoizolacyjnego na ściany zewnętrzne The cost of thermal insulation material for external walls				9 906
Razem – Total				44 120

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



**Tabela 4.** Koszt zakupu bloczków z betonu komórkowego Ytong Energo+

**Table 4.** The cost of cellular concrete blocks

Rodzaj ściany Type of partitions	Zużycie na 1 m <sup>2</sup> ściany [szt.] Number of blocks per 1m <sup>2</sup> of wall	Powierzchnia ścian [m <sup>2</sup> ] Surface of walls	Cena jednostkowa brutto [zł/m <sup>2</sup> ] The unit price	Łączny koszt bloczków [zł] The cost of blocks
Ściany zewnętrzne jednowarstwowe o łącznej grubości 50 cm External single-layer walls at a thickness of 50 cm	8,33	198,80	149,10	29 641
Ściany wewnętrzne o łącznej grubości 50 cm <sup>a</sup> Internal load-bearing walls at a thickness of 50 cm <sup>a</sup>	8,33	138,60	149,10	20 665
Ściany działowe o grubości 11,5 cm Partition walls at a thickness of 11.5 cm	4,17	74,45	31,78	2 366
Razem – Total				52 672

<sup>a</sup> Grubość ścian przyjęta ze względu na porównywalność danych wyjściowych.

<sup>a</sup> Wall thickness adopted due to the comparability of the output data.

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

## WNIOSKI I PODSUMOWANIE

1. Przyjęte rozwiązanie w postaci ściany z konstrukcyjnych bloków glinianych, izolowanej warstwą izolacji termicznej z płyt ze skalnej wełny mineralnej, zapewnia wystarczającą nośność oraz dobrą izolację cieplną wyrażaną przez współczynnik przenikania ciepła ( $U$ ) rzędu  $0,158 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ . Uzyskana wartość jest mniejsza od obecnie obowiązującego współczynnika na poziomie  $0,23 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ , jak również od jego bardziej restrykcyjnej wartości  $0,20 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ , która będzie obowiązywać od 1 stycznia 2021 roku.

2. Przeprowadzona analiza wilgotnościowa dowodzi, że przyjęte rozwiązanie jest wolne od ryzyka rozwoju szkodliwych mikroorganizmów, spełnia warunki stawiane w tym względzie przez Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422). Jednakże ze względu na możliwość okresowego buforowania wilgoci w przegródach z gliny nieprzetworzonej dodatek organiczny w postaci siewki słomianej należy wcześniej poddać mineralizacji, najlepiej mieszając z wapnem.

3. Pod względem energetycznym oba rozwiązania są porównywalne. Występują jedynie niewielkie różnice dla poszczególnych wskaźników ( $EU$ ,  $EP$ ,  $EK$ ). W przypadku wskaźnika energii pierwotnej wartości są porównywalne i pozwalają zakwalifikować analizowany budynek jako budynek o małym zużyciu energii.

4. Analiza kosztów materiałów do wykończenia przegród zewnętrznych i wewnętrznych w projektowanym budynku jednorodzinym wskazuje, że wykorzystanie bloczków z gliny może być tańszą alternatywą dla klasycznego rozwiązania z zastosowaniem betonu komórkowego.

Podsumowując, analizowane rozwiązanie konstrukcyjne przegród z gliny nieprzetworzonej jest optymalne pod względem zużycia energii oraz spełnia zarówno wymogi techniczne, jak i te związane z oszczędnością energii. Ściany nośne z bloków uformowanych z gliny, w połączeniu ze współcześnie stosowanymi materiałami izolacyjnymi, mogą stanowić ekologiczną i uzasadnioną ekonomicznie konkurencję dla powszechnie stosowanych materiałów budowlanych pochodzenia przemysłowego.

## PIŚMIENNICTWO

- BN-62 6738-02. Budownictwo z gliny. Masy gliniane.
- Brzeski, W. (2004). Naturalny dom – technologia budowy naturalnych domów z cegieł z gliny ze słomą mieszaną. *Zielone brygady, pismo ekologów*, 11.
- Byrdy, A. (2013). Stosowanie materiałów z gliny a mikroklimat wewnętrzny nowoczesnych budynków energooszczędnych. *Izolacje*, 9.
- Hyla, M. i Kupiec-Hyla, D. (1994). *Domy z lekkiej gliny – poradnik*. Kraków: Zarząd Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych w Krakowie.
- Kamieniarz, M. (2010). Nowe rozwiązanie z zakresu technologii wznoszenia domów z gliny, *Czasopismo techniczne*, 8-A.
- Karta techniczna bloczków Ytong Energo +. Pobrano z lokalizacji: [https://www.ytong-silka.pl/pl/docs/YTONG\\_EnergoPlus\\_PP2-03\\_SGT\\_48\\_cm\\_-\\_karta\\_techiczna.pdf](https://www.ytong-silka.pl/pl/docs/YTONG_EnergoPlus_PP2-03_SGT_48_cm_-_karta_techiczna.pdf) (dostęp 10.01.2018 r.)
- Minke, G. (2012). *Podręcznik budowania z gliny*. Łódź: Fundacja Cohabitant.
- Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422).
- Pawlikowski, M. (1955). *Nowoczesne budownictwo z gliny*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- PN-EN 12524:2003. Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaaryczne wartości obliczeniowe.
- PN-EN 1996-1-1:2010. Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 13788:2003. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
- PN-EN ISO 13789:2008. Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 13790:2009. Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- Racięcki, Z. (1950). *Budownictwo z gliny*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwa Techniczne.
- Racięcki, Z. (1962). *Budujemy sami budynki z gliny*. Warszawa: Arkady.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376).
- Żurawski, J. (2013). Efektywność energetyczna w budownictwie. Pobrano z lokalizacji: [http://www.eip-cz-pl.eu/cz/files/Workshopy/02/ZURAWSKI\\_Budynki.pdf](http://www.eip-cz-pl.eu/cz/files/Workshopy/02/ZURAWSKI_Budynki.pdf) (dostęp 10.01.2018 r.).

## ECONOMIC ASPECTS OF USING CLAY IN CONSTRUCTION OF BUILDING ENVELOPES IN COMPARISON WITH TRADITIONAL SOLUTION

### ABSTRACT

The article concerns environmental and economic aspects of the use of unprocessed clay for the construction of buildings. The comparison of this unconventional solution with single-layer external walls made of cellular concrete with enhanced thermal insulation power was carried out. The scope of the study covered hygrothermal calculations in order to adapt the walls structure to the current thermal standards for the partitions. The methodology for calculating the energy performance of buildings was used to verify the adopted solutions. In addition, the cost analysis for both solutions was made. The obtained results confirmed that the construction of partitions using clay in a single-family building can be a good alternative to conventional solutions.

**Key words:** unprocessed clay, energy performance of a building, vapour diffusion, investment costs