

mgr inż. Piotr Leon Narloch\*  
Krzysztof Ostrowski\*

# Surowa ziemia materiał budowlany przeszłości i przyszłości

*Raw earth – the building material with the past and of the future*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono surową ziemię jako materiał budowlany ze szczególnym uwzględnieniem jej parametrów cieplnych oraz zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju. Przedstawiono dwa sposoby obniżania przenikalności cieplnej przegród wykonanych z ziemi surowej – stosowanie lekkiej gliny oraz stosowanie dodatkowej warstwy izolacji termicznej wewnątrz przegrody.

**Słowa kluczowe:** surowa ziemia, budownictwo z ziemi, ziemia jako materiał budowlany, zrównoważony materiał budowlany.

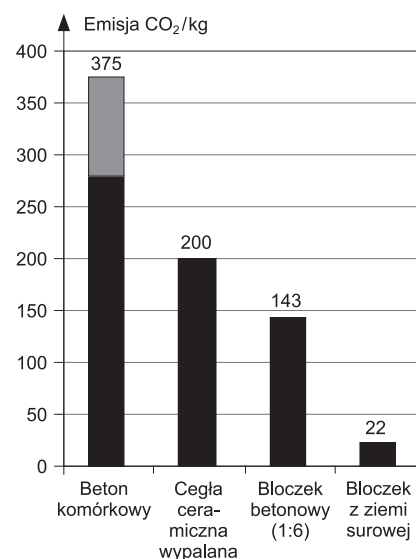
**Abstract.** The paper presents raw earth as building material in regards to its thermal properties and sustainability. Two different methods of decreasing raw earth walls thermal transmittance have been presented – light clay straw walls and using additional layer of thermal insulation inside rammed earth walls.

**Keywords:** raw earth, building with earth, earth as a building material, sustainable building material.

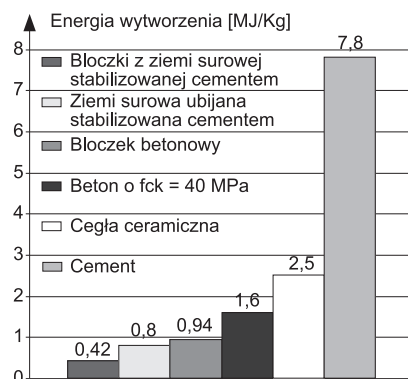
Surową ziemię stosowano jako materiał budowlany od początków istnienia cywilizacji, ponieważ była powszechnie dostępna, łatwa w kształtowaniu, niewymagająca specjalistycznej obróbki. Wyparta w XX wieku przez nowe materiały – żelbet i stal – od niedawna powraca do łask i świadomości inżynierów na całym świecie. Sceptycyzm wobec konstrukcji wzniesionych z surowej ziemi nie jest jednak jedynie problemem dnia dzisiejszego, ale istniał również w czasach, gdy budowle te były wznoszone powszechnie. Jest 1648 r. Na mocy traktatu westfalskiego cesarz Ferdynand I Habsburg pod naporem Szwedów wyraża zgodę na wzniesienie kościołów ewangelickich w trzech śląskich miastach – Głogowie, Świdnicy i Jaworze. Pozwolenie było obwarowane wieloma ograniczeniami, a jednym z nich była konieczność zastosowania materiałów pozornie nietrwałych, takich jak glina, słoma, piasek czy drewno. Świątynie zostały wzniesione w tradycyjnej konstrukcji szachulcowo-ryglowej wypełnionej ziemią ze słomą. Kościoły w Świdnicy i Jaworze zachowały się w dobrym stanie do dnia dzisiejszego i wpisane zostały na listę światowego dziedzictwa kultury UNESCO.

Rosnące koszty energii i wysoka emisja zanieczyszczeń przez budownictwo skłaniają do poszukiwania tech-

nologii i rozwiązań zmniejszających zapotrzebowanie budynków na energię oraz ich negatywny wpływ na środowisko naturalne. Budownictwo z surowej ziemi – materiału o bardzo niskiej energii wytworzenia (rysunek 1) i emisji dwutlenku węgla (rysunek 2) – doskonale wpisuje się w ideę budownictwa zrównoważonego. Kolejnym jej atutem jest możliwość wykorzystania lokalnego surowca występującego powszechnie. Dodatkowym bodźcem do weryfikacji istniejących rozwiązań i poszukiwania nowych jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2010/31/UE z 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Zgodnie z zaleceniami dyrektywy wprowadzono w Polsce nowe wartości maksymalnego stosowanego współczynnika przenikania ciepła. Od 1 stycznia 2021 r. w przypadku ścian



Rys. 2. Emisja CO<sub>2</sub> wybranych materiałów budowlanych [5]



Rys. 1. Energia wytworzenia wybranych materiałów budowlanych [1]

będzie on wynosił  $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  w budynku o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię (obecnie  $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Przegroda wykonana z ziemi surowej z dodatkami o charakterze termoizolacyjnym lub z osobną warstwą termoizolacyjną może z powodzeniem spełniać wymienione kryteria.

## Parametry cieplne surowej ziemi

Parametrami charakteryzującymi materiał budowlany pod względem cieplnym jest przewodność cieplna i ciepło właściwe. Parametry te zale-

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

żą m.in. od struktury materiału, porowatości, wilgotności i temperatury. W zależności od rodzaju materiału wytworzonego z surowej ziemi i technologii produkcji uzyskuje się odmienne wartości parametrów cieplnych. Dążenie do uzyskania materiału o jak najniższym współczynniku przewodności cieplnej wiąże się ze zmniejszeniem jego gęstości, co w konsekwencji zmniejsza wytrzymałość materiału, dlatego też przy niskiej wartości gęstości nie będzie się on nadawał do celów konstrukcyjnych, a jedynie do izolacyjnych [6].

Obniżając gęstość objętościową surowej ziemi, można uzyskać przewodność cieplną podobną do przewodności muru z bloczków z betonu komórkowego. Surową ziemię o małej przewodności cieplnej uzyskuje się przez zastosowanie dodatków takich jak np. sieczka słomiana. Inną możliwością zmniejszenia przenikalności cieplnej przegród wykonanych z ziemi surowej jest wznoszenie ścian warstwowych z dodatkową warstwą termoizolacyjną wewnątrz lub na zewnątrz przegrody.

Ziemia w budownictwie ceniona jest również za wysoką akumulacyjność cieplną. Ciepło właściwe ziemi wynosi 800 – 1000 [J/kgK] [5], co nie odbiega od wartości dla typowych materiałów budowlanych, ale ściana z ziemi jest zazwyczaj znacznie grubsza, co wpływa na jej wysoką pojemność cieplną. Miało to historycznie szczególne znaczenie w przypadku klimatu gorącego i suchego, w którym występuje wysoka dzienna amplituda temperatury – grube ściany chroniły równie dobrze przed nocnym chłodem, jak i upałem w ciągu dnia. Przegroda wykonana z ziemi wolno się nagrzewa i powoli oddaje ciepło do otoczenia. Ciepło pochodzące z promieniowania słonecznego jest akumulowane w ciągu dnia, ale duża masa termiczna nie pozwala na przegrzanie wnętrza budynku. Podczas chłodnej nocy zgromadzone ciepło jest powoli oddawane do otoczenia, zapewniając komfort cieplny wewnątrz budynku.

W tabeli przedstawiono porównanie parametrów cieplnych ścian wykonanych z materiałów tradycyjnych, z ziemi ubijanej i balotów słomianych. Ściana z ziemi ubijanej charakteryzuje się bardzo dużą akumulacyjnością cieplną, ale również wysoką przenikalno-

**Akumulacyjność i przenikalność cieplna przegród z wybranych materiałów bez uwzględnienia termoizolacji. Do obliczeń akumulacyjności cieplnej przyjęto przegrodę o powierzchni 1m<sup>2</sup>**

Materiał	Grubość przegrody [m]	Przewodność cieplna [W/mK]	Przenikalność cieplna [W/m <sup>2</sup> K]	Gęstość objętościowa [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciepło właściwe [J/kgK]	Akumulacyjność cieplna [kJ/K]
Mur z betonu komórkowego	0,36	0,38	1,06	800	840	242
Mur z cegły pełnej na zaprawie c-w	0,37	0,77	2,11	1800	880	578
Mur z cegły silikatowej drażnionej	0,24	0,80	3,33	1600	880	338
Mur z pustaków MAX	0,29	0,44	1,52	1100	880	281
Ściana z balotów słomianych	0,40	0,04	0,10	90	1500	54
Ściana z ziemi ubijanej	0,50	0,80	1,60	1800	900	810

ścią cieplną. W przeciwieństwie do niej, ściana wykonana z balotów słomianych ma bardzo niski współczynnik przenikalności cieplnej, lecz ze względu na małą gęstość ma też niską pojemność cieplną i wytrzymałość na ściskanie, dzięki czemu może pełnić jedynie funkcję termoizolacyjną. Materiałem łączącym zalety i redukującym wady ziemi i słomy jest tzw. lekka glina będąca połączeniem surowej ziemi oraz dodatku o charakterze termoizolacyjnym. Najczęściej stosowanym dodatkiem do ziemi o charakterze termoizolacyjnym jest sieczka słomiana stosowana w budownictwie na ziemiach polskich od wieków.

W tabeli porównano również akumulacyjność cieplną przegród wykonanych z wybranych materiałów budowlanych. Ściana z ziemi ubijanej ma najwyższą wartość akumulacyjności cieplnej spośród zaprezentowanych przegród.

### Budownictwo z ziemi w Polsce – lekka glina

W tradycyjnym polskim budownictwie szkieletowym (konstrukcja szachulcowo-ryglowa) ziemia stanowiła wypełnienie drewnianego szkieletu konstrukcyjnego. Rzadziej wykonywano konstrukcje z ziemi ubijanej. W obu przypadkach ziemia była często mieszana z sieczką słomianą w celu zwiększenia termoizolacyjności materiału. W tradycyjnych rozwiązaniach stropów i podłóg drewnianych stosowano polepę stanowiącą rodzaj wypełniacza pełniącego funk-

cję izolacji termicznej i akustycznej. Polepa jest mieszanką gliny i sieczki słomianej, trocin lub innego dodatku zwiększającego termoizolacyjność przegrody. Stosowano ją również niekiedy jako materiał termoizolacyjny od wewnątrz przegród.

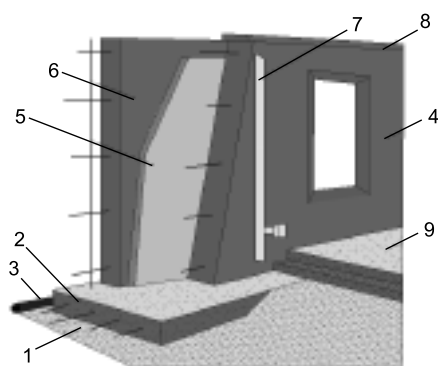
W warunkach polskich skutecznym i uzasadnionym ekonomicznie sposobem budownictwa z ziemi jest konstrukcja szkieletowa z wypełnieniem z lekkiej gliny, czyli gliny z zastosowaniem materiałów o znacznie mniejszej gęstości objętościowej i niskiej przewodności cieplnej. W zależności od przeznaczenia takim dodatkiem może być keramzyt, sieczka słomiana lub granulaty polistyrenowy. Ziemię wymieszaną z dodatkiem kształtuje się w formie bloczków lub ubija w deskowaniu. Większość powstających obecnie w Polsce budynków z surowej ziemi, to konstrukcje o drewnianym szkielecie wypełnionym bloczkami z lekkiej gliny z dodatkiem sieczki słomianej, której zawartość zmniejsza co prawda wytrzymałość na ściskanie, ale ma korzystny wpływ na wytrzymałość na rozciąganie, a co za tym idzie zmniejsza ryzyko występowania zarysowań. Zależnie od składu bloczków ich wytrzymałość na ściskanie wynosi 0,6 ÷ 1,5 MPa, gęstość objętościowa 600 ÷ 1200 kg/m<sup>3</sup>, a przenikalność cieplna ściany grubości 45 cm U = 0,42 W/(m<sup>2</sup>K) w przypadku bloczka o gęstości objętościowej rzędu 700 kg/m<sup>3</sup> [3].

**Technologia produkcji bloczków z gliny lekkiej jest nieskomplikowa-**

na i nie wymaga specjalnych maszyn i narzędzi. Glinę należy wymieszać z wodą do uzyskania płynnej konsystencji. Następnie dodaje się siekę słomianą. Otrzymaną mieszaninę układa się w prostopadłościennych formach i prasuje. Ostatnim etapem produkcji jest wyjęcie z formy i suszenie. Wszystkie prace budowlane wykonywane są jak w przypadku tradycyjnie murowanego obiektu, a jedyną różnicę stanowi skład zaprawy, gdyż najczęściej stosowana jest zaprawa gliniana z dodatkiem wapna. Częstym błędem podczas wykonywania przegród budowlanych jest dobór materiałów wykończeniowych. Należy pamiętać, iż dowolna zamiana tynku (w tym przypadku zalecany tynk gliniany) bądź błędny dobór powłok malarskich może skutkować utratą paroprzepuszczalności przegrody i zdolności przegrody do wymiany wilgoci, co jest jedną z głównych zalet ziemi jako materiału budowlanego.

### Ściana warstwowa z ziemi ubijanej z termoizolacją

Przykładem nowoczesnego rozwiązania technologicznego jest ściana warstwowa z ziemi ubijanej, stabilizowanej cementem, z termoizolacją. Budynki w tej technologii powstają w Kanadzie od ponad 20 lat [4]. Przekrój przez taką przegrodę przedstawiono na rysunku 3. W celu zapewnienia większej nośności i zminimalizowania



Rys. 3. Przekrój przez ścianę warstwową z ziemi ubijanej z izolacją termiczną [4]: 1 – podbudowa żwirowa; 2 – ława żelbetowa; 3 – rura drenażowa; 4 – wewnętrzna ściana z ziemi ubijanej zbrojona stalowymi prętami; 5 – termoizolacja piankowa; 6 – zewnętrzna ściana z ziemi ubijanej zbrojona stalowymi prętami; 7 – rura EMT do poprowadzenia instalacji elektrycznej; 8 – murlata zakotwiona w ścianie; 9 – podłoga wewnętrzna

rys, ściana jest dodatkowo zbrojona stalowymi prętami. Warstwę izolacji termicznej stanowi pianka, prawdopodobnie z rodziny poliizocyanuranów, charakteryzująca się dużą twardością i sztywnością. W zależności od rodzaju materiału użytego do budowy (grunt zalegający poniżej warstwy humusu z dodatkiem stabilizującym, którym najczęściej jest cement), jego wytrzymałość na ściskanie wynosi od 10 MPa do 30 MPa, zaś wartość współczynnika przenikania ciepła  $U = 0,20 - 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Co więcej, materiał jest odporny na działanie strumienia wody pod ciśnieniem 17 barów [4].

Przykładem nowoczesnego budynku wykonanego w technologii stabilizowanej ziemi surowej ubijanej w deskowaniu z ociepleniem wewnątrz przegrody jest modelowy budynek wzniesiony w kanadyjskim Cobourg przez *Aerecura Rammed Earth Builders*. Materiał do budowy pozyskano z placu budowy i stabilizowano dodając spoiwo hydrauliczne, w tym wypadku cement w ilości 5% wag. Ściany nośne budynku powstały w technologii ziemi ubijanej w szalunkach za pomocą ubijaka pneumatycznego. Konstrukcja ściany nośnej składa się z zewnętrznej warstwy ziemi ubijanej grubości 6", warstwy termoizolacji grubości 6" oraz z wewnętrznej warstwy ziemi ubijanej grubości 6". Jako termoizolację zastosowano piankę z rodziny poliuretanów [7].

### Podsumowanie

Jak pokazano w artykule, budynki z surowej, niewypalanej ziemi, to modelowy przykład zrównoważonego budownictwa przyszłości. W wielu przypadkach grunt z wykopu pod fundamenty, zalegający pod warstwą humusu, nadaje się do bezpośredniego zastosowania jako materiał budowlany. Takie rozwiązanie pozwala znacznie zmniejszyć koszty budowy i jej negatywny wpływ na środowisko naturalne. Przedstawione rozwiązania technologiczne pokazują, że stosując tradycyjne, stosowane od wieków, materiały można budować budynki o doskonałych parametrach cieplnych, spełniających obecne wymagania.

Niestety budownictwo zrównoważone uważane jest za budownictwo drugiej kategorii, również na uczelniach

technicznych, gdzie kształceni są przyszli konstruktorzy. Wśród uczelni rozpowszechniających technologie budownictwa z ziemi znajdują się jednak takie uczelnie techniczne świata, jak Massachusetts Institute of Technology, ETH Zürich, a w Polsce Politechnika Warszawska – w Pałeczkim Parku Ekologicznym powstał budynek eksperymentalny Wydziału Architektury PW będący pierwszym w Polsce budynkiem energooszczędnym wzniesionym w technologii ziemi ubijanej.

Budownictwo z ziemi nie zostanie upowszechnione, dopóki nie powstaną odpowiednie normy projektowe i akty prawne regulujące kwestie wznoszenia obiektów. W Polsce w latach sześćdziesiątych XX wieku wydano co prawda wiele norm branżowych dotyczących budowy z gliny, ale wg Polskiego Komitetu Normalizacyjnego *Normy branżowe (...) mogą być stosowane na zasadzie dobrowolności. Należy (...) wziąć pod uwagę fakt, iż mogą one zawierać nieaktualne dane techniczne. Bezpieczniejsze jest stosowanie Polskiej Normy, która zawiera aktualne dane techniczne*. Polskiej Normy dotyczącej budownictwa z ziemi niestety nie ma. Jednocześnie warto podkreślić, że liczba norm projektowych na świecie dotyczących budownictwa z ziemi zwiększyła się w ostatnich 5 latach o jedną trzecią, świadcząc o zainteresowaniu ziemią jako materiałem budowlanym XXI wieku [2].

### Literatura

- [1] Pacheco Torgal F., Jalali S. *Eco-efficient Construction and Building Materials*, 2011, Springer, pp. 35 – 40.
- [2] Schroeder H., *Modern earth buildings codes, standards and normative development, Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications*. Woodhead Publishing Series in Energy: Number 33, 2012, pp. 72 – 106.
- [3] Kupiec-Hyła D., Hyła M., *Domy z lekkiej gliny*. Zarząd Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych w Krakowie, 1994 r.
- [4] [www.sirewall.com](http://www.sirewall.com).
- [5] Morton T., *Earth Masonry – Design and construction guidelines*, 2008, IHS BRE Press, pp. 4 – 67.
- [6] Kaliszuk-Wirotecka A., Narloch P. L. *Ziemia ubijana jako materiał budowlany w klimacie umiarkowanym*, Materiały Budowlane 12/2013.
- [7] <http://aerecura.ca/rammed-earth/>.