

dr inż. Agnieszka Kaliszuk-Wietecha*
mgr inż. Piotr Leon Narloch*

Ziemia ubijana jako materiał budowlany w klimacie umiarkowanym

Globalne tendencje w ograniczaniu zużycia energii oraz emisji zanieczyszczeń przez budownictwo skłaniają do poszukiwań materiałów lokalnych, niewymagających transportu ani skomplikowanego, wysokoenergetycznego procesu produkcji. Jednym z materiałów, który staje naprzeciw tym oczekiwaniom, jest surowa ziemia. O rosnącej popularności ziemi jako materiału budowlanego świadczy fakt, że w ostatnich trzydziestu latach zostały opublikowane 33 normy projektowe w dziewiętnastu krajach, znajdujących się na wszystkich kontynentach. Dwaście spośród nich zostało opublikowanych w ciągu ostatnich pięciu lat [1].

Ziemia jest często utożsamiana z nietrwałym materiałem budowlanym. Dzieje się tak nie bez przyczyny. Materiał ten był i wciąż jest stosowany głównie w krajach rozwijających się, często przy budowie prostych budowli. Warto jednak zaznaczyć, że wiele starożytnych budowli wykonanych z ziemi przetrwało do naszych czasów. Najbardziej znaną budowlą jest Wielki Mur Chiński, wzniesiony 4000 lat temu [2]. Na terenie Polski również można znaleźć wiele zabytkowych obiektów, których mury zostały wzniesione z ziemi ubijanej, np. pałac w Tarchominie z przełomu XVII i XVIII w., będący prawdopodobnie najstarszym budynkiem wykonanym w tej technice w Polsce (fotografia) [5].

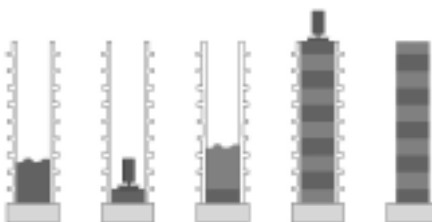
Technika ziemi ubijanej (Rammed Earth)

Spośród wspomnianych trzydziestu trzech norm projektowych opublikowanych w różnych krajach świata, aż czterdzieście dotyczy techniki ziemi ubijanej [1]. Polega ona na ubijaniu mieszanki wilgotnej ziemi układanej w deskowaniu ustawionym na stabilnym fundamencie (rysunek 1). Surowiec najczęściej pobierany jest bezpośrednio z placu budowy. Warstwy materiału układane są w deskowaniu i następnie dynamicznie ubijane za pomocą ubijaka tra-



Pałac w Tarchominie z przełomu XVII/XVIII w.

[fot. P. L. Narloch]



Rys. 1. Technika ziemi ubijanej warstwami

dycyjnego lub zmechanizowanego ubijaka pneumatycznego. Po odpowiednim zagęszczeniu jednej warstwy, sukcesywnie wykonywane są kolejne, aż do osiągnięcia planowanej wysokości elementu. Ubijanie warstw ma na celu zmniejszenie porowatości materiału, co wiąże się ze zwiększeniem jego wytrzymałości. Uzyskanie muru o odpowiedniej trwałości zależy od mieszanki użytej ziemi oraz zastosowanych dodatków stabilizujących. Technika ziemi ubijanej nie wymaga zmechanizowanego sprzętu, choć jego zastosowanie skraca czas wznoszenia murów.

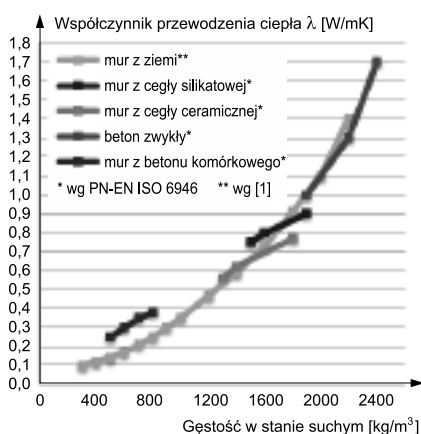
Cechą szczególną techniki ziemi ubijanej jest jej ekonomiczność. W ubogich krajach strefy umiarkowanej, gdzie koszt pracy ludzkiej jest nieduży, a o opłacalności inwestycji decydują ceny materiałów, ziemia jest racjonalnym rozwiązaniem. Czas wznoszenia muru z ubijanej ziemi bez zmechanizowanego sprzętu budowlanego, uwzględniający przygotowanie ziemi, jej transport i wznoszenie muru wynosi 20 – 30 h/m³. W krajach rozwiniętych wysokie koszty pracy ludzkiej i czas wznoszenia obiektu mają istotny

wpływ na całkowity koszt inwestycji. Przez mechaniczne wykonywanie mieszanki ziemnej, zastosowanie systemowego deskowania, użycie ładowarki do wypełniania deskowania ziemią oraz ubijanie jej zmechanizowanymi ubijakami pneumatycznymi można osiągnąć wydajność ok. 2 h/m³. Jest to znacznie mniej niż w przypadku wznoszenia muru metodami murarskimi [2].

Parametry fizyczne ziemi jako materiału budowlanego

Rozpatrując ziemię jako zrównoważony materiał budowlany nie można pominąć analizy jego parametrów cieplnych. Porównując wartości współczynnika przewodzenia ciepła murów wykonanych z ziemi (rysunek 2) z murami z tradycyjnych popularnych materiałów budowlanych widać, że materiał z ziemi o tej samej gęstości charakteryzuje się zazwyczaj zbliżoną przewodnością cieplną. Gęstość w stanie suchym muru w technologii ziemi ubijanej wynosi 1800 ÷ 2200 kg/m³, a współczynnik przewodzenia ciepła 0,91 – 1,40 W/mK. Oznacza to, że aby przegroda o typowej grubości 20 ÷ 30 cm spełniała wymagania odpowiednio niskiego współczynnika przenikania ciepła, konieczne jest zastosowanie dodatkowego materiału izolacyjnego. Mniejszą gęstość i wiążący się z nią mniejszy współczynnik przewodzenia ciepła muru z ziemi można uzyskać, stosując inną technikę budowy, np. mury z bloczków ziemnych.

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Ładowej



Rys. 2. Porównanie współczynnika przewodzenia ciepła muru z ubijanej ziemi z innymi typami murów w zależności od ich gęstości

Ważnym elementem pasywnego chłodzenia i ogrzewania budynku jest masa termiczna. Materiały wyróżniające się dużą masą termiczną mają zdolność absorbowania i utrzymywania ciepła oraz jego uwalniania w późniejszym czasie. Dużą masę termiczną mają przegrody z materiałów o wysokiej pojemności cieplnej, umiarkowanej przewodności i gęstości. Z popularnych materiałów budowlanych, takie właściwości mają beton i cegła palona. Surowa ziemia charakteryzuje się wyższą masą termiczną od obu tych materiałów. W klimacie umiarkowanym, w okresie letnim, w ciągu dnia, kiedy temperatura na zewnątrz jest wyższa niż wewnątrz, masa termiczna gromadzi ciepło wywołane promieniowaniem słonecznym, nie dopuszczając do przegrzania się wnętrza budynku. Nocą, kiedy robi się chłodno, zgromadzone w murach ciepło utrzymuje na odpowiednio wysokim poziomie temperaturę wewnątrz budynku. Taki rodzaj pasywnego zapewniania komfortu cieplnego budynku jest bardzo efektywny ekonomicznie.

Mury z ziemi charakteryzują się innymi właściwościami ciepłno-wilgotnościowymi od murów z tradycyjnych materiałów budowlanych. Dzięki wyeliminowaniu procesu wypalania, zawarta w surowej ziemi niewypalona glina ma zdolność do absorbowania i uwalniania wilgoci. W przypadku, gdy temperatura na zewnątrz budynku jest wysoka, mur z ziemi paruje i uwalnia do otoczenia ciepłą parę wodną, zapobiegając przeniknięciu ciepła do wnętrza budynku. Natomiast gdy temperatura na zewnątrz jest niska, para wodna będzie absorbowana przez glinę, zwiększając temperaturę muru i wnętrza budynku [3].

Ziemia – najbardziej ekologiczny materiał budowlany

Budownictwo jest jednym z najbardziej energochłonnych i szkodliwych dla środowiska sektorów gospodarki. Szacuje się, że pochłania 20 ÷ 40% zapotrzebowania na energię w krajach rozwiniętych [4]. Ziemia jest najbardziej ekologicznym materiałem budowlanym. Spośród innych wyróżnia ją niskie zapotrzebowanie na energię przy produkcji (tabela 1) i brak odpadów powstających zwykle przy wznoszeniu obiektów. Dodatkowo, po okresie eksploatacji budynku, ziemia z rozbiórki może posłużyć jako pełnowartościowy surowiec do budowy innej konstrukcji lub „powrócić do natury”. Do oceny potencjalnych zagrożeń środowiska przez cały okres istnienia budynku służy Analiza Cyklu Życia (Life Cycle Assessment, LCA), któ-

Tabela 1. Zużycie energii pierwotnej przy produkcji wybranych materiałów budowlanych [1]

Materiał budowlany	Zużycie [kWh/m³]
Materiały z ziemi	0 – 30
Drewno	300
Materiały z drewna	800 – 1 500
Cegła palona	500 – 900
Cement	1 700
Beton	450 – 500
Panele szklane	15 000
Stal	63 000

rej uproszczeniem jest analiza pomiaru zużycia energii w trakcie całego cyklu życia budynku (Live Cycle Energy Analysis, LCEA). Zużycie to można oszacować, sumując zapotrzebowanie na energię w następujących po sobie fazach cyklu życia budynku:

- energia na produkcję materiałów budowlanych (tabela 1) i transport na plac budowy (tabela 2);
- energia zużyta podczas procesu budowy;
- energia związana z użytkowaniem budynku;
- energia związana z rozbiórką budynku [1].

Porównując wartości energii pierwotnej zużytej przy produkcji materiałów budowlanych, widać znaczną różnicę w zużyciu energii pomiędzy materiałami z ziemi a tradycyjnymi popularnymi materiałami budowlanymi. Dodatkowo, w przypadku techniki ziemi ubijanej, surowiec często jest pozyskiwany prosto z placu budowy, co pozwala na zaoszczędzenie energii związanej z transportem materiału (tabela 2). Warto przy tym zaznaczyć, że w klimacie umiarkowanym budynki muszą być ogrzewane zimą, a niekiedy również chłodzone latem, aby za-

Tabela 2. Zużycie energii pierwotnej na cele transportowe w zależności od środka transportu [1]

Środek transportu	Zużycie [kWh/t · km]
Kolej	0,43
Samochód (zachodnia Europa)	1,43
Ciężarówka 40 t	0,72
Ciężarówka 28 t	1,00
Ciężarówka 16 t	1,45
Ciężarówka < 3,5 t	3,10
Łódź, transport morski	0,04
Łódź, transport rzeczny	0,27

pewnić komfort użytkownika. Ziemia wyróżnia się wyższą masą termiczną niż wszystkie pozostałe popularne materiały budowlane. Duża masa termiczna pomaga zapewnić optymalną temperaturę wnętrza budynku w dzień i w nocy w każdej porze roku, a tym samym zmniejszyć zapotrzebowanie na energię związaną z jego użytkowaniem.

Podsumowanie

W obliczu stale rosnącego globalnego zużycia energii oraz coraz większej świadomości ekologicznej społeczeństw w krajach rozwiniętych, surowa ziemia ma szansę odegrać ważną rolę w kontekście współczesnego budownictwa zrównoważonego w klimacie umiarkowanym. Powszechna dostępność materiału pozwala na ograniczenie kosztów ekonomicznych i środowiskowych, zaś prosty proces produkcji na zaoszczędzenie dużej ilości energii przy wznoszeniu budowli oraz uniezależnienie od globalnej koniunktury. Konstrukcje z ziemi ubijanej charakteryzują się doskonałą masą termiczną, zapewniającą ich wysoki komfort użytkownika. Szybko rosnąca liczba norm budowlanych na całym świecie świadczy o rosnącym zainteresowaniu ziemią jako materiałem budowlanym. Należy dodać, że ziemia ubijana została sklasyfikowana metodą BREEAM jako materiał A+.

Literatura

- [1] Schroeder H.: Modern earth buildings codes, standards and normative development, Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications. Woodheat Publishing Series in Energy: Nummer 33/2012, pp. 72 – 106.
- [2] Minke G.: Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhäuser – Publishers for Architecture Basel – Berlin – Boston, 2006.
- [3] Informacje ze strony Auroville Earth Institute www.earth-auroville.com
- [4] Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C.: A review on buildings energy consumption information Energy and Buildings 40/2008.
- [5] Kelm T., *Architektura Ziemi. Tradycja i współczesność*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1996.