

Konstrukcyjne zastosowanie surowej ziemi jako materiału budowlanego

Dr inż. Agnieszka Kaliszuk-Wietecha, mgr inż. Piotr Leon Narloch,
Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Do XX wieku budownictwo z surowej ziemi było upowszechnioną techniką budowlaną we wszystkich kulturach świata (rys. 1). Do dzisiaj co trzeci człowiek na świecie mieszka w domu wybudowanym z ziemi, zaś w krajach rozwijających się więcej niż połowa ludności [1]. Budownictwo z ziemi, po stuletnim zapomnieniu w krajach rozwiniętych odkrywane jest dziś na nowo. Współczesne realizacje obiektów z ziemi dowodzą, że obecnie jesteśmy w stanie konstruować tego typu ekologiczne domy o nowoczesnym standardzie.



Rys. 1. Obszary występowania licznych budowli wykonanych z surowej ziemi, wg [2]

2. Techniki budownictwa z ziemi

Na przestrzeni wieków w różnych rejonach świata rozwinęło się wiele technik budowlanych z użyciem ziemi. Ich urozmaicenie wynika głównie z rodzaju ziemi i warunków klimatycznych panujących na danym terenie. Opracowany przez International Centre on Earthen Architecture (CRATERre) podział technik budowlanych z udziałem ziemi pokazano na rysunku 2. Przy wyborze techniki budowy podstawowym kryterium jest jakość ziemi. Do budowy używa się ziemi zalegającej pod warstwą humusu. Poszczególne techniki mogą być zróżnicowane dodatkowo przez stosowanie materiału różnej konsystencji, zastosowanie dodatków stabilizujących i przez różne sposoby obróbki – ręczną i mechaniczną. W przypadku ziemnych materiałów budowlanych

bez dodatków stabilizujących glina odgrywa rolę naturalnego spoiwa.

Surowa ziemia daje szerokie możliwości racjonalnego i zrównoważonego wykorzystania w budownictwie. Spośród technik ujętych na diagramie, na szczególną uwagę zasługują ziemia ubijana i bloczki z ziemi. W przypadku obu technik, ziemia może zostać wykorzystywana zarówno jako wypełniacz, jak i materiał na konstrukcję nośną budynku. Obie metody pozwalają na wzniesienie obiektów za pomocą niezmechanizowanych urządzeń, jak i nowoczesnego sprzętu budowlanego, który znacząco skraca czas pracy. Z tego powodu można powiedzieć, że techniki te stanowią optymalny system wznoszenia obiektów zarówno w krajach wysoko rozwiniętych, jak i rozwijających się.



Rys. 2. Diagram różnych technik budownictwa z ziemi ustanowiony przez CRATERre (International Centre on Earthen Architecture) [2]

2.1. Ziemia ubijana (rammed earth)

W technice ziemi ubijanej mury wznosi się poprzez dynamiczne ubijanie warstw wilgotnej ziemi układanej w deskowaniu, opartym na stabilnym fundamencie. Ziemia pochodzi najczęściej prosto z placu budowy. Do ubijania ziemi służą tradycyjne ubijaki lub młoty pneumatycz-

ne. Po zagęszczeniu warstwy dodawane są kolejne, aż osiągnie się pożądaną wysokość muru. Jak pokazano w tabeli 1, przy budowie ściany z ubijanej ziemi zużywa się dwukrotnie mniej energii niż w przypadku ściany z cegły wapienno-piaskowej, trzykrotnie mniej niż w przypadku ściany z cegły ceramicznej pełnej i prawie czterokrotnie mniej energii niż w przypadku prefabrykowanej ściany betonowej.

Tabela 1. Porównanie zużycia energii przy wznoszeniu ścian z różnych materiałów budowlanych [8]

Rodzaj ścian konstrukcyjnych	Zużycie energii [kWh/m ²]	Gęstość [kg/m ³]
Ściany betonowe prefabrykowane	180	2400
Ściany z cegły ceramicznej pełnej	150	1800
Ściany z cegły wapienno-piaskowej	100	1900
Ściany monolityczne z ziemi ubijanej	50	2000

2.2. Bloczki z ziemi (earth blocks)

W zależności od metody formowania istnieje wiele rodzajów bloczków z ziemi. Adobe nazywamy cegłą suszoną na słońcu powstałą w wyniku ułożenia w prostopadłościenną formę wilgotnej ziemi bez żadnych dodatków stabilizujących ani dodatkowego ściskania. Bloczki poddane statycznemu lub dynamicznemu ściskaniu nazywamy bloczkami prasowanymi (compressed earth blocks, CEB). Do bloczków tego typu często dodawane są stabilizatory (compressed stabilised earth blocks, CSEB), zwiększające wytrzymałość i trwałość materiału. Najczęściej stosowanym stabilizatorem jest cement.

Technologia bloczków prasowanych umożliwia wykonanie elementów zarówno na placu budowy, jak i w lokalnej wytwórni. Zagęszczanie ziemi możliwe jest zarówno za pomocą pras ręcznych, jak i pras zmechanizowanych ułatwiających masową produkcję. Ściany zbudowane z bloczków prasowanych stabilizowanych (CSEB) są tańsze w produkcji od pustaków betonowych i cegieł palonych, gdyż do ich produkcji zużywa się odpowiednio

Tabela 2. Porównanie zużycia energii przy produkcji bloczków prasowanych stabilizowanych cementem (CSEB) z alternatywnymi materiałami budowlanymi [3]

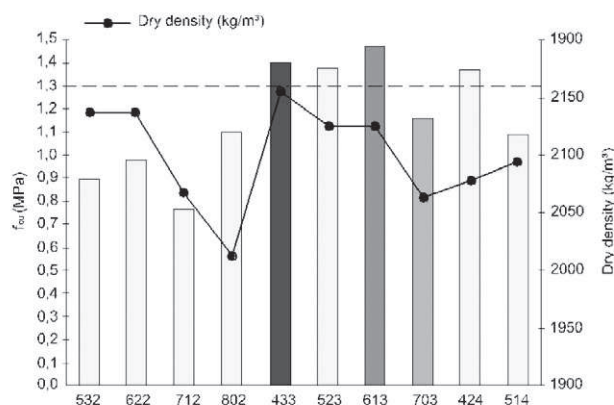
Materiał budowlany	Grubość [cm]	Liczba [szt./m ²]	Energia potrzebna na wyprodukowanie [MJ/m ³]	Emisja CO ₂ [kg/m ²]
CSEB (6% cementu)	24	-	646	16
Cegła pełna palona	25	112	2550	126
Pustak betonowy	20	20	971	26

około dwukrotnie i czterokrotnie mniej energii (tab. 2). Jednakże technika budowy z bloczków jest bardziej pracochłonna w porównaniu do ziemi ubijanej i wymaga wykwalifikowanych murarzy.

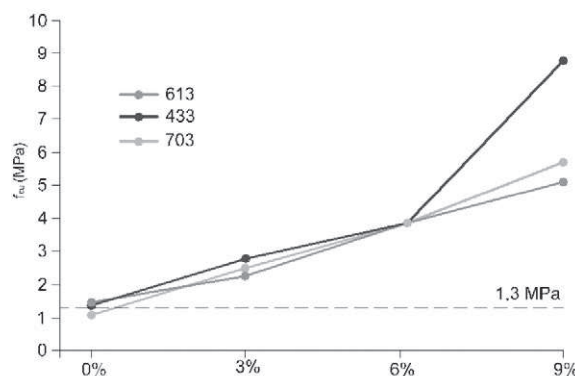
3. Wytrzymałość na ściskanie ziemnych materiałów budowlanych

W zależności od zawartości składu ziemi uzyskuje się materiał o różnych parametrach wytrzymałościowych. Według norm nowozelandzkich [7] ziemia powinna mieć minimalną charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie na poziomie 1,3 MPa. Chociaż jest to wytrzymałość zdecydowanie niższa od wytrzymałości betonu czy cegieł palonych, warto zaznaczyć, że do budowy parterowego budynku wystarczy materiał o wytrzymałości równiej 0,1 MPa [4].

Badanie wytrzymałości na ściskanie próbek ziemi ubijanej dla różnych wariantów mieszanki ziemi zostały przeprowadzone przez angielskich naukowców Matthew Hal i Youcef Djerbib [5]. W ich badaniu, poszczególne frakcje ziemi zostały zmieszane w partiach po 10 kg suchej



Rys. 3. Zależność między gęstością w stanie suchym a wytrzymałością na ściskanie dla różnych niestabilizowanych mieszanek ziemi [5]



Rys. 4. Zależność między zawartością cementu a wytrzymałością na ściskanie dla próbek z trzech różnych rodzajów ziemi [9]

masy. Symbol mieszanki 613 oznacza, że składa się ona z 6 kg piasku, 1 kg żwiru i 3 kg itu pylastego. Wartości wytrzymałości na ścisłanie próbek ziemi ubijanej wyniosły pomiędzy 0,7 a 1,5 MPa (rys. 3). Cztery spośród dziewięciu próbek uzyskały wytrzymałość na ścisłanie powyżej założonego minimalnego poziomu 1,3 MPa. Oznacza to, że dla niektórych rodzajów ziemi, w celu osiągnięcia minimalnej wymaganej wytrzymałości, konieczne jest zastosowanie dodatków, którym najczęściej jest cement. W kolejnych badaniach Hall i Djerbib [5] zbadali wzrost wytrzymałości na ścisłanie przy dodatku 3, 6 i 9 % wagowo cementu (CEM IIa) dla mieszanek ziemi o wysokim, przeciętnym i niskim poziomie absorpcji wilgoci. Jak widać, trend wzrostu wytrzymałości wraz ze wzrostem zawartości cementu nie zawsze jest liniowy i zależy od zawartości poszczególnych frakcji ziemi (rys. 4). Dla przeanalizowanych mieszanek trend liniowego wzrostu utrzymał się do poziomu dodatku cementu wynoszącego 6% wt. Próbkę ziemi ubijanej z dodatkiem wagowym takiej ilości cementu posiadają wytrzymałość na ścisłanie na poziomie około 3,7 MPa.

4. Podsumowanie

Osiągnięcie wytrzymałości pozwalającej na zastosowanie ziemi w roli materiału konstrukcyjnego jest możliwe przy odpowiedniej proporcji zawartości frakcji pyłowej, piaskowej i żwirowej w mieszance ziemnej lub przez dodanie niewielkiej ilości cementu. Aby materiał mógł stać się upowszechnioną techniką budowlaną

potrzebne są odpowiednie normy projektowe i akty prawne. Chociaż aktualnie na całym świecie istnieją zaledwie 33 normy projektowe dotyczące budownictwa z ziemi, obowiązujące w 19 krajach świata, szybko rosnąca liczba tych dokumentów (12 spośród wspomnianych norm została opublikowana w ciągu ostatnich 5 lat [6]) świadczy o rosnącym zainteresowaniu ziemią jako materiałem budowlanym, w tym również do konstrukcji nośnej budynków.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Minke G., 2006, *Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser – Publishers for Architecture, Kassel
- [2] Kelm T., 1996, *Architektura Ziemi. Tradycja i współczesność*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warsaw
- [3] Venkatarama Reddy, B. V. and Lokras, S. S., 1998, 'Steam-cured stabilised soil blocks for masonry Construction', *Energy and Buildings*, 29, pp. 29–33
- [4] Houben H, Guillaud H., 1996, *Earth construction – a comprehensive guide*. Second ed. London: Intermediate Technology Publications,
- [5] Hall M., Djerbib Y., 2004, *Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency*. *Construction and Building Materials* 18
- [6] Schroeder H., 2012, 'Modern earth buildings codes, standards and normative development', *Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications*. Woodhead Publishing Series in Energy: Numner 33, pp. 72–106, 2012
- [7] Standards New Zealand. NZS 4298: 1998 *Materials and Workmanship for Earth Buildings Standards New Zealand*, Wellington, New Zealand (1998)
- [8] Kelm T., Długosz-Nowicka D., *Budownictwo z surowej ziemi. Idea i realizacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
- [9] Hall M., 2004, 'The mechanisms of moisture ingress and migration in rammed earth walls', *Praca doktorska*, Sheffield Hallam University, UK

III Konwent Stolarki

27-28 lutego br. w Krakowie odbył się III-ci Konwent Stolarki dla profesjonalistów z branży. Mottem tego spotkania, które zgromadziło prawie 120 uczestników było hasło „Fakty i Mity”.

Tego typu szkolenia organizowane są przez producentów i dostawców dla producentów, dostawców, dystrybutorów, fachowców i specjalistów. Prezentacje firmy Aluplast o przyszłości stolarki PVC, o nowych rozwiązaniach, jak i prezentacje firm: Selena, Exte, Roto-Frank, Fakro, Effector czy Klinar inspirowały wszystkich do dyskusji, czasami bardzo intensywnej i prowadzącej do wielu nowych wniosków. Firma AIB – główny patron Konwentu przygotował stanowiska do montażu stolarki i poprowadził praktyczne pokazy.

Do chwili obecnej organizatorzy gościli na szkoleniach i konwentach ponad 650 osób z całej Polski. W trakcie spotkania pokazany został profesjonalny montaż okien, drzwi typu HS i rolet. Wystawcy zaprezentowali wiele nowości i ciekawych rozwiązań.

Wśród nowości wyróżniała się energooszczędna pianka montażowa firmy Selena (marka Tytan). Nowe konsole firmy Knelsen i zupełnie nowe rozwiązania „ciepłych parapetów” firmy Klinar, które mogą znacznie ułatwić montaż okien. Znajomość szyb i ich optymalne zastosowanie zostało w sposób szczególny przedstawione przez firmę Effector, która również produkuje stolarkę aluminiową. Firma Roto-Frank, potentat w dziedzinie okuć, wzbogacił swoją ofertę poprzez przejęcie firmy Gluske, specjalizującej się w produkcji podkładek do szyb dla wszystkich rodzajów okien. Firma Exte, ekspert w dziedzinie rolet, pokazała praktyczny montaż rolety zintegrowanej z oknem. Wielkim zainteresowaniem cieszyły się pokazy rolet i markiz z napędem słonecznym firmy Fakro, komponentów do okien pionowych – jest to nowość na polskim rynku. Konwentom towarzyszą pokazy montażowe oraz panel Ekspertów, czyli swobodna wymiana zdań i odpowiedzi na wiele pytań dotyczących branży i jej problemów.

IV Konwent Stolarki odbędzie się 11-12 kwietnia 2014 r. we Wrocławiu. Więcej informacji: szkolenia@stolarkavip.pl lub pod nr telefonu: 531-561-202.