Michał Gołębiewski
Politechnika Warszawska

# MATERIAŁY STOSOWANE W NURCIE BUDOWNICTWA NATURALNEGO

## Streszczenie

Celem artykułu jest charakterystyka wybranych materiałów stosowanych w nurcie tzw. budownictwa naturalnego. W artykule opisano takie materiały, jak ziemia, słoma czy beton konopny, przedstawiając ich genezę, obecne zastosowania oraz wybrane właściwości. Zebrane na podstawie przeglądu literatury informacje wskazują na potencjał tego typu technologii dla rozwoju architektury proekologicznej. Popularyzacja wiedzy na temat rozwiązań materiałowych innych niż stosowane w budownictwie powszechnym powinna przyczynić się do ich szerszego wdrażania w praktyce projektowej i budowlanej, wspierając zrównoważony rozwój w aspekcie ekologicznym, ekonomicznym i społecznym.

**Słowa kluczowe:** naturalne materiały budowlane, ziemia, słoma, konopie.

## Wstęp

Procesy związane z wykorzystaniem materiałów budowlanych powodują nieodwracalną ingerencję w środowisko naturalne. Składają się na nie: pozyskanie i transport surowców; obróbka mechaniczna, cieplna i chemiczna; transport wyrobów na budowę; aplikacja; naprawy oraz utylizacja czyli składowanie lub recykling. Ponadto, właściwości materiałów wpływają na sposób, w jaki obiekt budowlany oddziałuje na środowisko w fazie użytkowania poprzez zapotrzebowanie na energię do zapewnienia odpowiednich warunków wewnętrznych i emisję związaną z jej produkcją. Budownictwo pochłania ok. 50% masy surowców stosowanych do wytwarzania wszystkich materiałów (Hager 2016). Od 8% do 12% całkowitej emisji $CO_2$ związane jest z produkcją materiałów budowlanych (Gielen 1997).

Zgodnie z obowiązującą Polsce i UE polityką zrównoważonego rozwoju, w budownictwie wdraża się szereg innowacji w zakresie materiałów budowlanych w celu racjonalnego gospodarowania zasobami i zmniejszenia negatywnego oddziaływania tej dziedziny gospodarki na środowisko. Przykładowymi działaniami są: wykorzystywanie odpadów przemysłowych w produkcji spoiw czy też wprowadzanie do użytku lekkich materiałów kompozytowych.

Równolegle do powszechnie stosowanych technologii budowlanych rozwija się nurt tzw. budownictwa naturalnego, który czerpiąc z tradycji promuje rozwiązania proekologiczne. Do jego najważniejszych założeń należą: stosowanie materiałów o jak najniższej energii wbudowanej i niskim śladzie węglowym, produkowanych bezodpadowo, lokalnie (wspiera-

jąc zrównoważony rozwój ekonomiczno-społeczny i ograniczając transport), które zmniejszają koszty energetyczne, ekonomiczne i środowiskowe budynku w całym cyklu jego życia, nie wpływają negatywnie na środowisko przyrodnicze i zdrowie człowieka, są trwałe i użyteczne, a zużyte nadają się do recyklingu lub nisko-energochłonnej utylizacji. Takie kryteria spełniają przede wszystkim materiały pochodzenia naturalnego, organicznego. Ich stosowanie służyć ma kreowaniu zdrowego, komfortowego mikroklimatu środowiska życia człowieka i musi odbywać się bez obniżenia funkcjonalności budynku oraz bezpieczeństwa ludzi (Hager 2016).

## Wapno zamiast cementu

We współczesnym budownictwie dominuje beton cementowy. Materiał ten posiada wiele korzystnych cech, jednak m.in. z uwagi na wysoki ślad węglowy nie zalicza się go do tzw. materiałów zrównoważonych. Na przestrzeni wieków wykorzystywano różne substancje spajające, m.in. wapno, które odegrało ogromną rolę w rozwoju budownictwa.

Starożytne cywilizcje Egiptu, Babilonu, Asyrii, Fenicji, Persji i Grecji używały różnych zapraw do łączenia cegieł, bloczków i bloków: gliny z piaskiem, sierścią lub sieczką z trawy ryżowej, zapraw iłowych, gipsowych, spoiw bitumicznych (Wirska-Parachoniak 1968). Pierwsze prymitywne piece do wypalania wapna powstały prawdopodobnie ok. 7000 lat p.n.e. (Czarnecki, Łukowski 2008). Spoiwa wapienne modyfikowane m.in. popiołami wulkanicznymi (Starożytny Rzym), naturalnymi żywicami (Chiny) lub mączką roślin strączkowych (Indie) pozwoliły na budowę potężnych budowli (Osiecka 2006). Pierwsze zaprawy o właściwościach hydraulicznych uzyskali prawdopodobnie Fenicjanie i Grecy łącząc wapno z tufem wulkanicznym – powszechne zastosowanie znalazły one w starożytnym Rzymie (Wirska-Parachoniak 1968). Z czasem rozwój technologii gaszenia wapna, precyzyjny dobór surowców oraz modyfikacje pozwoliły tworzyć zaprawy o lepszych właściwościach hydraulicznych. Wytwarzano je przez zmieszanie palonego wapna, wulkanicznego popiołu z odpowiednich lokalizacji, piasku oraz wody (Wirska-Parachoniak 1968). Wczesny beton Rzymianie wytwarzali przez wlewanie pomiędzy dwa mury kamienne zaprawy oraz wsypywaniu do niej kamieni i pokruszonej ceramiki (Raczkiewicz 2012). Wynalazek betonu – kompozytu wytrzymałego i odpornego na działanie wody stosowano do budowy różnych obiektów, z których wiele przetrwało do dnia dzisiejszego.

Ponowne odkrycie betonu przypada na drugą połowę XVIII wieku. W 1756 roku John Smeaton otrzymał wapno hydrauliczne i użył go do budowy latarni morskiej w Eddystone w Anglii. W kolejnych latach powstał cement Parkera (1796), cement Frosta (1811), cement Canvassa White'a (1820), oraz wynaleziony w 1824 roku przez Josepha Aspdina cement portlandzki, którego ulepszoną wersję jego syn William zastosował do budowy tunelu pod Tamizą (Raczkiewicz 2012). Opracowany przez Isaaca Charlesa Johnsona w 1845 roku

skład cementu portlandzkiego stosuje się niemal bez zmian do dziś (Raczkiewicz 2012). Następne lata przyniosły wynalazek betonu zbrojonego (1848 – Joseph-Louis Lambot) umożliwiającego wykonywanie wytrzymałych elementów zginanych i rewolucjonizującego budownictwo i architekturę.

W budownictwie naturalnym wykorzystanie cementu jest niepożądane. Preferowane jest stosowanie spoiw glinianych, gipsowych i w wielu przypadkach niezastąpionych spoiw wapiennych.

Wapno wytwarza się ze stanowiącej ok. 4% skorupy ziemskiej skały wapiennej (Allin 2012), która znajduje zastosowanie także jako konstrukcyjny lub okładzinowy materiał budulcowy, jako kruszywo oraz przy produkcji cementu (Stefańczyk 2005). Obecnie powszechnie używa się wapna hydratyzowanego, wytwarzanego przez wypał kamienia wapiennego w temperaturze ok. 950-1050˚C. W wyniku reakcji chemicznej z węglanu wapnia ($CaCO_3$) wytrąca się $CO_2$ i powstaje tlenek wapnia (CaO), tj. wapno palone, które w reakcji z wodą przekształca się w wodorotlenek wapnia ($Ca(OH)_2$), czyli wapno gaszone (Stefańczyk 2005). Wapno hydratyzowane otrzymuje się przez gaszenie na sucho czyli dodanie minimalnej ilości potrzebnej wody. Zmieszanie wapna z wodą powoduje w obecności powietrza wiązanie wstępne przez krystalizację oraz właściwe przez karbonatyzację wiążąc dwutlenek węgla z atmosfery. W wyniku tej reakcji wodorotlenek wapnia znów przekształca się w węglan wapnia zamykając cykl wapienny. Dla porównania, cement portlandzki otrzymywany jest przez wymieszanie wytworzonego w procesie wypalania wapieni i glinokrzemianów (w temp. ok. 1450˚C) klinkieru cementowego z gipsem oraz innymi składnikami (Stefańczyk 2005). Cement wiąże na powietrzu i pod wodą.

Wapno powietrzne w porównaniu z cementem charakteryzuje się niższą wytrzymałością, niższym współczynnikiem przewodzenia ciepła i niższym współczynnikiem oporu dyfuzyjnego przede wszystkim dlatego, że w przeciwieństwie do cementu jest porowate. Wapno posiada niższy ślad węglowy, gdyż większość $CO_2$ wyemitowanego podczas produkcji w wyniku reakcji chemicznej jest później sekwestrowana. Wapno jest też bardziej elastyczne oraz ma zdolność do „samonaprawiania się" – znajdujące się w nim cząsteczki wodzianu wapna penetrują jego strukturę i przez reakcję z dwutlenkiem węgla zamykają mikropęknięcia (Allin 2012). Wapno jako materiał „oddychający" przyczynia się do kreowania naturalnego klimatu w budynku oraz dobrze współpracuje z materiałami pochodzenia organicznego, które również są otwarte dyfuzyjnie, np. z drewnem.

W budownictwie naturalnym spoiw używa się do produkcji zapraw, tynków i innych specjalnych zastosowań. Natomiast podstawowy budulec powinny stanowić materiały możliwie najmniej przetworzone, o małej energii wbudowanej. Z uwagi na fakt, że tego typu materiały posiadają przeważnie małą wytrzymałość, rolę konstrukcyjną w budynku częstokroć pełnią elementy drewniane, gdyż drewno jest materiałem wytrzymałym (także na rozciąga-

nie) a jego organiczne pochodzenie zapewnia stosunkowo niski ślad węglowy. Stosowane są też liczne wyroby drewnopochodne, głównie jako materiały wykończeniowe.

## Ziemia

Ziemia była jednym z pierwszych budulców używanych przez ludzi w początkach osadnictwa. Już w neolicie budowano z niej prymitywne jamy mieszkalne (Wirska-Parachoniak 1968). Jako substancja powszechna, dostępna, łatwa w obróbce, lecz nietrwała i mało wytrzymała, podlegała licznym modyfikacjom, których kierunek zależał od warunków klimatycznych oraz dostępności surowców. Ziemię wykorzystywano jako materiał budowlany na wszystkich zamieszkałych kontynentach (Ganderau, Delboy 2010). Formowano z niej cegły suszone na słońcu, których najstarsze przykłady pochodzą z 8000 r. p.n.e. (Kelm 2014). Budowano też z mokrych cegieł, które wysychając w murze tworzyły przegrodę monolityczną. Ziemię mieszano z włóknami organicznymi: trawą, słomą, sierścią zwierząt, które działając jako zbrojenie rozproszone ograniczały zjawisko skurczu i pękanie materiału przy jego wysychaniu oraz zwiększały spoistość i wytrzymałość. Na obszarach o ostrzejszym klimacie ziemię mieszano z sieczką słomianą w celu polepszenia jej właściwości termoizolacyjnych i stosowano wraz z drewnianymi elementami konstrukcyjnymi. Ślady występowania takich konstrukcji w Europie sięgają okresu neolitu (Kelm 2014). Tzw. „lekka glina" była najbardziej rozpowszechnioną technologią budowlaną wykorzystującą ziemię na terenie Polski (Kelm, Długosz 2011). Właściwości ziemi poprawiano także przez dodawanie kruszyw zwiększających twardość i sztywność materiału, mineralnych i organicznych substancji spajających i wiążących, takich jak przypadkowo odkryte minerały, kleje roślinne, krew bydlęca, oraz poddawanie jej obróbce termicznej, co doprowadziło do rozwoju ceramiki budowlanej.

Techniki budowy z ziemi wykształcone w starożytności nie zmieniły się znacząco aż do XIX wieku (Kelm 2014). Obecnie współistnieją one w formie niemal identycznej jak przed wiekami (przeważnie w krajach rozwijających się, o gorącym klimacie), wraz z uwspółcześnionymi technologiami stosowanymi w krajach rozwiniętych, w których wraz z rosnącą świadomością ekologiczną społeczeństw powróciło zainteresowanie tym naturalnym materiałem. Do dziś ziemia pozostała jednym z najpowszechniejszych budulców, z którego wykonanych jest ponad połowa budynków mieszkalnych, zamieszkanych przez co trzeciego, a w krajach rozwijających się co drugiego człowieka na świecie (Minke 2006).

Ziemia nie pełniąca funkcji konstrukcyjnej stosowana jest m.in. w tradycyjnej technice lekkiej gliny, w której wymieszana z sieczką słomianą wypełnia drewniany szkielet konstrukcyjny (ang. *watle and doub*). Do wznoszenia nośnych konstrukcji murowanych stosuje się najczęściej cegłę suszoną na słońcu (adobe), zazwyczaj z dodatkiem włókien roślinnych. a obecnie częstokroć także z dodatkiem cementu. Cegły wytwarza się w formach, ręcz-

nie lub z pomocą urządzeń mechanicznych. Buduje się także z różnego rodzaju bloczków (prasowanych, ubijanych, wytłaczanych). Do popularnych technik budowy konstrukcyjnych przegród monolitycznych z ziemi należą: ziemia układana (ang. *cob*) polegająca na ręcznym ubijaniu warstw ziemi zmieszanej z pełniącymi funkcję zbrojenia rozproszonego włóknami organicznymi (gł. słomą) oraz ziemia ubijana (ang. *rammed earth*) – technika polegająca na ubijaniu ziemi warstwami w szalunku na stabilnym gruncie. Ziemia do budowy w technice ubijania może pochodzić z wykopu na placu budowy, zazwyczaj zawiera różne frakcje (żwirowe, piaskowe, iłowe, pyłowe), może zawierać sieczkę słomianą w celu poprawy właściwości termoizolacyjnych przegrody i obecnie jest powszechnie stabilizowana cementem w celu poprawy właściwości wytrzymałościowych i trwałości (Narloch 2017).

Stosowanie ziemi (opcjonalnie z dodatkami organicznymi lub mineralnymi) jako materiału budowlanego ogranicza zużycie surowców i innych zasobów odnawialnych oraz energii, emisję pochodzącą z transportu, produkcję odpadów oraz pozwala tworzyć obiekty o korzystnym mikroklimacie wnętrza (Kelm 2014). Przegrody wykonane z ziemi są otwarte dyfuzyjnie [$\mu$ ziemi = 2,5 ÷ 8 w zależności od składu mieszanki (Minke 2006)] oraz posiadają istotną masę termiczną. Obecnie w Polsce budowanie z ziemi nie jest powszechne m.in. z uwagi na trudne do spełnienia wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród ($\lambda$ ziemi = 0,14 ÷ 1,1 W/(m·K) dla różnych mieszanek o różnej gęstości), aczkolwiek materiał może znaleźć zastosowanie m.in. do wznoszenia ścian wewnętrznych lub ścian zewnętrznych dodatkowo izolowanych termicznie.

## Kostki słomy

Słoma, poza wykorzystaniem jako strzecha lub dodatek do mieszanek ziemi, znalazła także zastosowanie jako materiał ścienny w formie kostek. Pierwsze konstrukcje ze słomy pochodzą ze Stanów Zjednoczonych z drugiej połowy XIX wieku, kiedy to pojawiły się prasy do słomy. Pierwszymi obiektami z kostek słomy mogły być prowizoryczne schronienia dla robotników (Minke, Krick 2014), natomiast prawdopodobnie pierwszym trwałym obiektem był jednoizbowy budynek szkoły w Bayard w Scott's Bluff County zbudowany w 1886 roku [Steen, Steen, Bainbridge 1994). Początkowo budynki powstawały w tzw. technice „Nebraska" (nazwa pochodzi od stanu, w którym rozpowszechniła się ta technika), w której kostki słomy były stosowane jako materiał nośny (Minke, Krick 2014). Z czasem pojawiły się budynki o drewnianej konstrukcji szkieletowej, w których kostki słomy stanowiły wypełnienie. Do połowy XX wieku w Europie techniki budowania ze słomy znalazły zastosowanie jedynie w pojedynczych realizacjach, a dominacja budownictwa przemysłowego w drugiej połowie XX wieku ograniczyła rozwój tej technologii (Minke, Krick 2014). Renesans stosowania słomy jako materiału budowlanego przypada na koniec XX wieku, kiedy to najpierw w Stanach Zjednoczonych, a następnie w Europie pojawiły się publikacje o tej tematyce, a z czasem także czasopisma branżowe i regulacje prawne. Lata 90. XX wieku przyniosły

pierwsze po długim czasie realizacje ze słomy w Europie, natomiast pierwsza dekada XXI wieku to już okres dynamicznego rozwoju tej technologii w wielu krajach – z danych literaturowych (Minke, Krick 2014) można wywnioskować, że w Europie zbudowano do dnia dzisiejszego co najmniej kilkanaście tysięcy obiektów z kostek słomy; zarówno budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej, jak i przemysłowych oraz gospodarczych, w większości jedno- lub dwukondygnacyjnych, choć w indywidualnych przypadkach także wielokondygnacyjnych. Obecnie słomę w postaci zbitych kostek stosuje się jako materiał nośny, jako materiał wypełniająco-izolujący w ścianach o drewnianym szkielecie konstrukcyjnym, jako warstwę izolacyjną dachów (między, pod lub nad krokwiami), podłóg oraz jako warstwę izolacyjną istniejących ścian.

Kostki słomy, wbrew intuicyjnym obawom, są trwałym i bezpiecznym budulcem. Mimo iż słoma w luźnej formie jest materiałem łatwopalnym, to po silnym skompresowaniu i otynkowaniu posiada wystraczającą odporność ogniową (wg badań austriackich i niemieckich) (Minke, Krick 2014). Odpowiednie zabezpieczenie powierzchni przegród tynkami lub innymi warstwami wykończeniowymi powoduje, że są one także odporne na korozję biologiczną i działanie gryzoni oraz nie powodują alergii. Kostki słomy są dobrym izolatorem, gdyż przy gęstości ok. 100 kg/m$^3$ charakteryzują się niskim przewodnictwem cieplnym: $\lambda = 0{,}08$ W/(m·K) wzdłuż włókien oraz 0,052 W/(m·K) w poprzek włókien. Słoma jest materiałem o bardzo niskiej energii wbudowanej: wytworzenie 1m$^2$ przegrody o współczynniku U = 0,15 W/(m$^2$K)) wymaga nakładu jedynie 3 kWh energii w porównaniu do np. 20 kWh dla celulozy i 100 kWh dla polistyrenu (Krick 2008). Dzieje się tak głównie dlatego, że do bilansu nie wlicza się niektórych etapów produkcji materiału, ponieważ słoma wykorzystywana do budowy jest produktem ubocznym uprawy zbóż, głównie pszenicy, orkiszu i żyta. W technikach budowania z kostek słomy niezwykle ważne są też inne materiały: drewno i wyroby drewnopochodne używane jako elementy konstrukcyjne i wykończeniowe oraz wapno i glina, z których wykonuje się tynki, pełniące nie tylko funkcje ochronne, ale zapewniające także pojemność cieplną przegród.

## Beton konopny

Kompozyt wapienno-konopny (ang. *hempcrete*) nazywany w Polsce betonem konopnym, jest materiałem powstałym ze zmieszania paździerza konopnego (odpowiedniej wielkości cząsteczki łodygi konopi siewnej po usunięciu włókna) i spoiwa wapiennego (głównie wapna hydratyzowanego modyfikowanego pucolanami i spoiwami hydraulicznymi) przy udziale wody. Ślady stosowania zapraw wapienno-glinianych zawierających konopie pochodzą już z VI-XIII wieku [tynki w kompleksie Ellora Cave na terenie Indii (Singh, Sardesai 2016)], lecz pierwsze współczesne zastosowanie materiału miało miejsce w 1986 roku we Francji podczas renowacji zabytkowego budynku Maison de la Turquie o drewnianym szkielecie wypełnionym mieszankami ziemnymi. Kompozyt szybko stał się jednym

z powszechnie stosowanych rozwiązań w renowacji budynków o konstrukcji szachulcowej służąc do uzupełniania ubytków lub wymiany tkanki wypełniającej, a także w renowacji innych typów budowli jako materiał do wykonywania warstw izolacji termicznej. Jeszcze w latach 80. powstał pierwszy nowy budynek w tej technologii – dom jednorodzinny niedaleko Tours we Francji (Allin 2012). W latach 90. postępował rozwój badań i szybki wzrost liczby realizacji, głównie we Francji, a po 2000 roku także w Wielkiej Brytanii i innych krajach.

Obecnie z materiału wykonuje się ściany, warstwy izolacyjne ścian, podłóg, poddaszy i dachów oraz tynki zarówno w małych budynkach jednorodzinnych, jak i dużych obiektach o różnych funkcjach przez: ubijanie lub natryskiwanie przegród monolitycznych, natryskiwanie lub układanie warstw izolacyjnych, murowanie z cegieł i bloczków, montaż prefabrykowanych elementów wielkoformatowych. Podstawowym zastosowaniem kompozytu jest wypełnienie przestrzeni między elementami konstrukcyjnymi budynku, wykonanymi przeważnie z drewna, gdyż oba materiały dobrze współpracują. *Hempcrete* jest higroskopijny i porowaty – „oddycha" jak drewno, nie powodując ryzyka zawilgocenia oraz jest elastyczny i nie pęka podczas przemieszczeń typowych dla konstrukcji drewnianych.

Wytwarzane w naturalnym cyklu spoiwo wapienne oraz wypełniacz pochodzenia organicznego zapewniają stosunkowo niski ślad węglowy materiału, który może być w sprzyjających warunkach ujemny (Miskin 2010). *Hempcerete* charakteryzują pośrednie właściwości pomiędzy ziemią i słomą. Posiadając współczynnik przewodzenia ciepła równy ok. 0,1 W/m·K (Gołębiewski, Pietruszka 2019) kompozyt jest lepszym izolatorem niż ziemia, lecz gorszym niż słoma. Posiada on także pośrednią pojemność cieplną, gdyż jest lżejszy od ziemi, lecz cięższy od słomy, potrafi więc zakumulować i oddać mniej energii niż masywna przegroda z ziemi, ale za to dzieje się to wolniej i jest od niej materiałem cieplejszym w odczuciu. Podobnie jak porównywane materiały, *hempcrete* posiada dużą otwartość dyfuzyjną – mniejszą niż sama słoma, lecz większą niż ziemia. Z uwagi na dokładne pokrycie cząsteczek paździerza wapnem materiał jest zabezpieczony przed działaniem ognia i korozją biologiczną. Ponieważ właściwości kompozytu pozwalają na spełnienie wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej przez ściany jednowarstwowe o racjonalnej grubości (ok. 40 cm), materiał ma potencjał do szerszego zastosowania w warunkach polskich.

## Podsumowanie

W nurcie budownictwa naturalnego wykorzystuje się szeroką gamę rozwiązań materiałowo-budowlanych o wysokim walorze ekologicznym. Szczególnie dobre rezultaty przynosi odpowiednie łączenie naturalnych budulców, pozwalające na optymalne wykorzystanie ich zalet. Coraz bardziej obszerna i podparta bogatym doświadczeniem praktycznym wiedza

naukowa na temat omawianych technologii materiałowych pozwala na projektowanie zdrowego i komfortowego środowiska w bezpiecznych i trwałych obiektach architektonicznych.

## Bibliografia


Allin S. (2012), *Building with Hemp*, Seed Press, Ireland.

Czarnecki L., Łukowski P. (2008), *Spoiwa wapienne – historia, stan obecny i perspektywy*, „Materiały Budowlane", nr 10.

Gandreau D., Delboy L. (2010), *Patrimoine mondial, Inventaire et situation des biens construits en terre*, CRAterre-ENSAG, Paris.

Gielen D. (1997), *Building materials and CO2 – Western European emissions reduction strategies: MATTER project report*, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).

Hager I. (2016), *Materiały budowlane i zrównoważony rozwój*, „Nasza Politechnika", nr 12(160).

Kelm T. (2014), *Architektura ziemi. Tradycja i współczesność*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Kelm T., Długosz-Nowicka D. (2011), *Budownictwo z surowej ziemi. Idea i realizacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Krick B. (2008), *Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtgung der lasttragenden Bauweise*, Dissertation, FachbereichArchitektur Stadt- und Landschaftsplanung, Universität Kassel.

Minke G. (2015), *Podręcznik budowania z gliny*, Fundacja Cohabitat, Łódź.

Minke G., Krick B. (2015), Podręcznik budowania z kostek słomy, tłum., Fundacja Cohabitat, Łódź.

Miskin N. (2010), *The Carbon Sequestration Potential of Hemp – binder. A study of embodied carbon in hemp-binder compared with dry lining solutions for insulating solid walls*, Thesis Msc. Architecture: Advanced Environmental and Energy Studies, University of East London, London.

Narloch P. (2017), *Ziemia ubijana stabilizowana cementem jako konstrukcyjny materiał budowlany w klimacie umiarkowanym*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa.

Osiecka E. (2006), *Wapno w budownictwie – tradycja i nowoczesność*, Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego, Kraków.

Pietruszka B., Gołębiewski M., Lisowski P. (2019), *Characterization of hemp-lime composite, "*IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", Vol. 290/1.

Raczkiewicz W. (2012), *Beton – materiał budowlany znany od wieków*, „Przegląd Budowlany", nr 10.

Singh M., Sardesai M. (2016), *Cannabis sativa (Cannabaceae) in ancient clay plaster of Ellora Caves*, "Current Science", Vol. 110, No. 5.

Steen A.S., Steen B., Bainbridge B. (1994), *The strawbale house*, Chelsea Green Publishing, Vermont/ Totnes.

Stefańczyk B. (red.) (2005), *Budownictwo ogólne, Tom 1: Materiały i wyroby budowlane*, Arkady, Warszawa.

Wirska-Parachoniak M. (1968), *Z historii wiążących materiałów budowlanych*, „Ochrona Zabytków", nr 21/4(83).

# MATERIALS USED IN THE NATURAL BUILDING TREND

## Summary

The purpose of the article is to characterize selected materials used in the so-called natural construction. The article describes materials such as earth, straw, hempcrete presenting their genesis, current applications and selected properties. Information collected on the basis of literature review indicates the potential of this type of technologies for the development of ecological architecture. Popularization of knowledge about material solutions different than commonly used in construction should contribute to their wider implementation in design and construction practice, supporting sustainable development in ecological, economic and social aspects.

**Key words**: natural building materials, earth, strawbale, hempcrete

Artykuł zaakceptowany do druku w maju 2019 roku

Afiliacja:
mgr inż. arch. Michał Gołębiewski
Politechnika Warszawska
Wydział Architektury
ul. Koszykowa 55
00-659 Warszawa
e-mail: m.w.golebiewski@gmail.com