

Oszczędność energii za pomocą niekonwencjonalnych materiałów budowlanych

Mgr inż. arch. Michał Golański, Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Na świecie odnotowuje się nieustanny wzrost zainteresowania wykorzystaniem nowych materiałów w branży budowlanej, zaś ich upowszechnienie stwarza zarówno możliwości, jak i wyzwania dla naukowców, projektantów i wykonawców. Niniejszy artykuł zawiera przegląd niekonwencjonalnych materiałów budowlanych ważnych dla zrównoważonego budownictwa: konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego, balotowanej słomy i wyrobów z gliny niewypalanej. Materiały te charakteryzują się niską energochłonnością na etapie produkcji i minimalnym wpływem na środowisko naturalne oraz wielkim potencjałem dla recyklingu. Główne bariery w stosowaniu wymienionych materiałów w budownictwie zostaną omówione szczegółowo w osobnym artykule.

2. Oszczędność energii przy produkcji materiałów budowlanych

Nasz szybko zmieniający się świat stoi w obliczu wielu poważnych zagrożeń i wyzwań. Dalszy rozwój i przetrwanie to centralne kwestie stojące przed ludzkością. Osiągnięcia nowoczesnej cywilizacji przemysłowej spowodowały olbrzymie zniszczenia ekologiczne. Świat potrzebuje nowych wzorców dalszego zrównoważenia rozwoju, który powinien charakteryzować się przede wszystkim troską o środowisko naturalne. W skali globalnej przemysł materiałów budowlanych jest jednym z konsumentów energii i surowców. Poczyniono ogromne po-

stępy w zakresie jakości wyrobów budowlanych, jednak w dalszym ciągu istnieją możliwości dalszych ulepszeń. Do niedawna badania i rozwój przede wszystkim koncentrowały się na produkcji tańszych, trwalszych i bardziej wytrzymałych wyrobów. Ostatnio zwrócono uwagę na kwestie ochrony środowiska w produkcji, użytkowaniu, recyklingu materiałów budowlanych.

Innowacyjne materiały i technologie budowlane są przyjazne dla środowiska. Z uwagi na swą opłacalność i trwałość, stały się ważnym elementem budownictwa energooszczędnego. Rozwój niekonwencjonalnych materiałów i technologii może mieć również znaczącą rolę w zwiększeniu dostępności mieszkaniowej, zwalczaniu ubóstwa, tworzeniu miejsc pracy, rozwoju gospodarczego i stabilizacji społecznej. Komisja Europejska opublikowała w grudniu 2011 roku dokument dotyczący kierunku rozwoju innowacyjnych materiałów budowlanych – „Mapę drogową rozwoju materiałów na rzecz niskowęglowych technologii” [1]. Dokument opracowany został w ramach inicjatywy SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan) koordynującej działania Unii Europejskiej związane z rozwojem strategicznych technologii energetycznych oraz identyfikuje obszary priorytetowe w zakresie badań i innowacji na kolejne 10 lat. Wytyczne dla efektywnych energetycznie materiałów budowlanych koncentrują się przede wszystkim na obszarach, dla których przewidywane są największe oszczędności w zakresie energii wbudowanej oraz pozwalających najsukuteczniej ograniczyć zużycie energii podczas użytkowania budynku.

3. Konopie z dodatkiem spoiwa wapiennego (wapno konopiane)

Konopie z dodatkiem spoiwa wapiennego (z dodatkiem wapna hydraulicznego, piasku i pucolanów oraz cementu) są niskoemisyjnym materiałem budowlanym o dobrych właściwościach izolacyjnych i dużej trwałości. Wyrób ten szczególnie nadaje się do projektów wymagających dobrej termoizolacji i wyeliminowania mostków termicznych. Technologia ta najczęściej występuje w połączeniu z drewnianą konstrukcją szkieletową, lecz może znaleźć zastosowanie jako wypełnienie ścian różnych typów. Konopie można także mieszać z zaprawą gipsową z odpowiednimi uszlachetniczami otrzymując mieszanki odpowiednie do maszynowego wypełniania konstrukcji szkieletowych (drewnianych, betonowych lub metalowych), ręcznego nakładania bądź wykończeń.

Konopie od tysiącleci mają szeroki zakres zastosowania, służą do produkcji papieru i worków, lin i oleju. Roślina ta była jedną z pierwszych udomowionych przez człowieka, miało to miejsce w starożytnych Chinach. Konopie siewne (przemysłowe) uprawiane są obecnie w Europie i Ameryce Północnej. W dalszym ciągu ich uprawa jest utrudniona, ze względu na skojarzenia z konopią indyjską, co wyklucza uprawę konopi siewnej bez specjalnej koncesji. Konopia jest szybko rozwijającą się rośliną, osiągającą wysokość 3-4 m. Jej uprawa nie wymaga zastosowania pestycydów, ani herbicydów. Roślina ta może być bez większych przeszkód uprawiana w klimacie umiarkowanym. Na półkuli północ-



Fot. 1. Budowa ściany z konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego [3]

nej jest zazwyczaj sadzona w kwietniu, a zbierana pod koniec sierpnia. Po zebraniu, ścięte krzewy są pozostawiane na polu do wyschnięcia. Potem następuje oddzielenie paździerzy (drzewiastego rdzenia)



Fot. 2. Budynek eksperymentalny Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich

od włókien zewnętrznych. Włókna stosowane są do produkcji np. tkanin lub materiałów kompozytowych, natomiast paździerz jest rozdrabniany, sortowany i przechowywany, aż do zastosowania [2].

Bezpośrednio na budowie konopie z dodatkiem spoiwa wapiennego stosuje się zwykle jako odlewane w szalunku wypełnienie ścian zewnętrznych w budynkach o szkieletach drewnianym. Alternatywnie materiał może być także natrykiwany maszynowo na podkład. Obie metody dają w rezultacie solidną ścianę o jednorodnej budowie, która ma dobre właściwości izolacyjne, szczelność i wyklucza powstanie mostków termicznych.

Pierwszy polski budynek z konopi jest obiektem eksperymentalnym o wielkości garażu. Wybudowany został z inicjatywy Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich (IW-NiRZ) z siedzibą w Poznaniu. Paździerz konopny użyty do budowy domu pochodził z upraw konopi przemysłowych wyhodowanych legalnie w Polsce. Budynek zaprezentowano latem tego roku na terenie Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

3.1. Zalety konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego:

- Dobre właściwości termoizolacyjne, brak mostków termicznych i zapewnie-

nie dobrej szczelności przegród.

- Lekki materiał zapewniający jednocześnie masę termiczną budynku.
- Nieskomplikowane wykonawstwo do wysokości 2 kondygnacji.
- Niewielka masa ścian oznacza mniejsze obciążenie fundamentów, a w konsekwencji mniejsze zapotrzebowanie na materiały budowlane z wysoką zawartością energii wbudowanej (beton i stal zbrojeniowa).
- Surowiec odnawialny, który akumuluje CO₂ w ciągu całego cyklu życia.
- Materiał jest paroprzepuszczalny, co stwarza możliwość wykonania „oddychających” ścian, w naturalny sposób usuwających nadmiar wilgoci z pomieszczenia.

3.2. Wady i ograniczenia konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego:

- Brak zrozumienia i zaakceptowania specyfikacji wyrobu przez projektantów i wykonawców.
- Okres budowy ograniczony do cieplejszych miesięcy z uwagi na proces suszenia ścian (podczas zimowych miesięcy konieczne jest ostonięcie ściany).
- Czasochłonny i wymagający ostroiny przed warunkami atmosferycznymi proces suszenia ściany.
- Możliwość zastosowania tylko ponad izolacją poziomą ściany kondygnacji nadziemnej, z uwagi na ryzyko zawilgocenia.

3.3. Właściwości konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego

Parametry konopi z dodatkiem spoiwa wapiennego, jako produktu naturalnego mogą być zróżnicowane [3]:

- Gęstość: 270–330 kg/m³.
- Przewodność cieplna: 0,07–0,09 W/mK (typowa wartość współczynnika U dla grubości 300 mm = 0,21 W/m²K).
- Wytrzymałość na ściskanie: 0,1–0,2 N/mm².

3.4. Akumulacja dwutlenku węgla przez konopie z dodatkiem spoiwa wapiennego

Emisja CO₂ związana z produkcją tego wyrobu budowlanego jest znikoma w porównaniu z innymi materiałami. Podobnie jak w przypadku wszystkich materiałów pochodzenia roślinnego, bardzo ważny jest aspekt absorpcji i akumulacji dwutlenku węgla przez rośliny w fazie wegetacji. W momencie zakończenia użytkowania i wyburzenia ścian, uzyskany materiał może być użyty ponownie, spalony jako biomasa lub zwrócony do gleby jako nawóz organiczny. W tym ostatnim przypadku dwutlenek węgla jest powoli uwalniany do atmosfery, przy jednoczesnym uwalnianiu składników odżywczych do gleby.

4. Balotowana słoma

Słoma jest odnawialnym materiałem posiadającym dobre właściwości termoizolacyjne i charakteryzującym się



Fot. 3. Ściana z kostek słomy z nałożonym tynkiem glinianym (fot. autora)

o wiele mniejszym wpływem na środowisko niż większość popularnych materiałów budowlanych. Słoma jest pozyskiwana lokalnie i ma nikły ślad ekologiczny. Jej dodatkowym atutem jest zapewnienie paro przepuszczalności przegrody budowlanej. Z uwagi na ryzyko zawilgocenia technologia ta wymaga jednak dokładnego projektowania i wykonawstwa. Sprasowana i balotowana słoma najlepiej sprawdza się jako wypełnienie ścian w budynkach w konstrukcji szkieletowej drewnianej przy jednoczesnym zastosowaniu tynku zewnętrznego lub systemu fasadowego.

Budownictwo domów z kostki słomianej (ang. strawbale) została upowszechniona w USA pod koniec dziewiętnastego wieku i wiąże się bezpośrednio z wynalazkiem prasy do słomy. W związku z rosnącym zainteresowaniem budownictwem ekologicznym, technologia ta zdobywa popularność w wielu krajach europejskich. W roku 2000 rozpoczęto budowę pierwszego domu w Polsce. W roku 2010 liczba zrealizowanych i będących w realizacji budów przekroczyła dwadzieścia. Podstawą prawną dla uzyskania pozwolenia na budowę dla budynku zaprojektowanego w tej technologii jest zapis o wyrobie jednostkowym w Ustawie o Wyrobach Budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz. U. Nr 92, poz. 881).

Słoma jest produktem ubocznym produkcji zbóż i nie ma wartości jako pasza dla zwierząt ze względu na zdrewniałe błony komórkowe, choć może być stosowana jako ściółka dla zwierząt lub jako nawóz organiczny. Użycie słomy jako materiału budowlanego nie ma zatem bezpośredniego wpływu na produkcję żywności lub innych zastosowań, jednak wykorzystywanie jej na szeroką skalę z pewnością nie pozostałoby bez konsekwencji. Do celów budowlanych najkorzystniejsze jest stosowanie słomy z pszenicy lub jęczmienia. Wszystkie odpady pochodzące z balotów słomy są całkowicie biodegradowalne.

Słoma jest najczęściej kojarzona z dachami krytymi strzechą. Z uglinionej słomy można wykonać niepalne pokrycie dachu, stosunkowo lekkie i łatwe w wykonaniu [4]. Technika ta pozwala wykonywać strzechy na zabytkowych obiektach lub tam, gdzie ten typ przekrycia jest szczególnie pożądanym w krajobrazie ze względu na kontynuację tradycji regionalnej. Kostki słomy mogą być wykorzystane zarówno jako nieprzenoszące obciążeń (*infill*) wypełnienie ścian, jak i materiał do budowy ścian nośnych dla lekkich konstrukcji (*loadbearing*) [5]. Baloty słomy najczęściej stosowane są ponad izolacją poziomą w ścianach zewnętrznych, gdzie zapewniona jest ochrona przed czynnikami atmosferycznymi, np. za pomocą szerokiego okapu. Ściany w tej technologii mogą być wykonywane na miejscu lub z dostarczonych, wykończonych zewnętrznie np. tynkiem wapiennym, prefabrykatów. Szczegółowe wymagania dla obu metod są podobne, jednak proces budowy wygląda inaczej. Zaletą prefabrykacji jest krótki czas i większa dokładność wykonania, ograniczenie odpadów produkcji i minimalizacja zagrożenia pożarowego oraz ryzyka uszkodzenia wyrobu przez wilgoć. Prefabrykat ma zazwyczaj postać drewnianej ramy, wypełnionej balotami słomy z nałożonym tynkiem wapiennym lub glinianym ewentualnie przykrytymi płytami drewnianymi. Drewno i słoma wstępują obficie na terenie całego kraju, co minimalizuje koszty transportu. Prefabrykowane pane-

le mogą być wykonane, montowane przez cały rok, wymagają jednak zastosowania specjalistycznych maszyn, głównie podnośników.

Kostki słomy mogą być również używane do wznoszenia ścian konstrukcyjnych w lekko obciążonych budynkach, do dwóch kondygnacji. Z uwagi na fakt, że siły ściskające są bardzo niskie (czego rezultatem są przemieszczenia włókien, a nie zniszczenie materiału), badania *British Research Establishment* – BRE wykazały, że 1 metr ściany z beli słomianych grubości 45 cm jest w stanie przenieść 0,8–1,0 tony [6]. Jest to wynik wystarczający dla budynków jednorodzinnych o lekkiej konstrukcji dachu. Tynk w tym przypadku odgrywa znaczącą rolę strukturalną poprzez zwiększenie wytrzymałości i poprawę sztywności (ograniczenie ruchu włókien), jak również służy do ochrony słomy przed korozją biologiczną i zwiększa odporność ogniową. W trakcie wznoszenia ścian nośnych ze słomy zbelowanej problem ochrony przed kaprysmi pogody ma dużo większe znaczenie niż w przypadku stosowania ich tylko jako wypełnienie ścian. Aby temu zaradzić, opracowano specjalny system, w którym zadaszenie budynku wsparte jest na tymczasowej konstrukcji podczas budowy, a następnie zostaje opuszczone na wykonane ściany. Inną opcją jest narzucenie ochronnej plandeki lub wznoszenie tymczasowego zadaszenia.

Bele słomy przygotowane są w formie dużych, lekkich i gotowych do użycia kostek. Technologia budowy ścian z kostek słomy jest nieskomplikowana. Podstawowe umiejętności można szybko opanować na miejscu. Powierzchnia ścian z wypełnieniem belami słomianymi może być wykończona zewnętrznie i wewnętrznie paroprzepuszczalnym tynkiem glinianym lub wapiennym. Inna opcja wykończenia zewnętrznego to okładzina drewniana. Doświadczenia praktyczne wskazują, że paroprzepuszczalność ściany od strony, gdzie jest ciepło i wilgotno, powinna być wielokrotnie mniejsza niż suchej i chłodnej. Ekspert w dziedzinie budownictwa

ze słomy – niemiecki architekt Gernot Minke, emerytowany profesor Uniwersytetu w Kassel zaleca, aby wartość współczynnika S_d tynku zewnętrznego była mniejsza niż 0,1–0,2 wartości S_d tynku wewnętrznego [5]. Ściany wykonane z balotów słomy składają się z milionów poszczególnych słomek, z których każda ma możliwość absorpcji i późniejszego rozproszenia na zewnątrz stosunkowo dużych ilości wilgoci. W porównaniu z wełną drzewną lub mineralną, słoma w kostkach jest ułożona zdecy-



Fot. 3. Budynek ze słomy balotowanej w Waddington And Martin [8]

dowanie luźniej, co zapewnia większe możliwości kapilarnego przemieszczania i przechowywania wilgoci [7]. Jednym z problemów w wielu klimatach jest fakt, że warunki panujące od wewnątrz i na zewnątrz budynku są zdecydowanie różne w zależności od pory roku. Jednak największe ryzyko występuje w sezonie grzewczym, kiedy istnieje znaczna różnica temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku. W klimacie z mroźnymi zimą, w celu uniknięcia kondensacji pary wodnej należy stosować rozwiązania opóźniające dyfuzję pary wodnej od strony wewnętrznej.

W Wielkiej Brytanii technika *straw bale* znajduje zastosowanie w budownictwie socjalnym, pierwsze tego typu budynki ukończono w 2010 roku w pobliżu Waddington. Jedynym źródłem ogrzewania jest piec na drewno, zaś doskonale właściwości izolacyjne słomy sprawiają, że rachunki za paliwo wyniosą 20% tych z domów konwencjonalnych. To bardzo znaczący argument dla użytkowników, jak i dla samorządów, od których wymaga się obniżania emisji zanie-

czyszczeń. Na każdy dwupiętrowy dom zużyto 450 bali słomy, które kupione zostały u miejscowego farmera. Podobne osiedle *Epping Forest* poddane zostało ocenie naukowców z Uniwersytetu Bath, których zadanie polegało na przeprowadzeniu testów w zakresie efektywności energetycznej oraz odporności na wiatr i ogień domów ze słomy. Dom doskonale zniósł napór wiatru o prędkości przekraczającej 150 km/h, zaś odporność ogniowa podwójnie przekroczyła normy przeciwpożarowe wymagane przez prawo budowlane w Wielkiej Brytanii [8].

4.1. Zalety balotowanej słomy:

- Dobre właściwości termoizolacyjne, brak mostków termicznych i zapewnienie dobrej szczelności budynku.
- Baloty słomy to lekki materiał z nieskomplikowanym detalowaniem konstrukcyjnym.
- Niewielka masa ścian oznacza mniejsze obciążenie fundamentów, a w konsekwencji mniejsze zapotrzebowanie na materiały budowlane z wysoką zawartością energii wbudowanej (np. zawartej w betonie i stali zbrojeniowej).
- Słoma to materiał niedrogi i dostępny lokalnie.
- Słoma to materiał odnawialny i akumulujący CO_2 w ciągu całego cyklu życia.
- Materiał wymaga podstawowych umiejętności budowlanych, nadaje się doskonale do samodzielnej budowy metodą gospodarczą i do przedsięwzięć wspólnotowych.
- Możliwość zastosowania zarówno bezpośrednio na budowie, jak i prefabrykacji.
- Materiał jest paroprzepuszczalny, co stwarza możliwość wykonania „oddychających” ścian, w naturalny sposób usuwających nadmiar wilgoci z pomieszczenia.

4.2. Wady i ograniczenia balotowanej słomy:

- Kostki słomiane jako produkt uboczny produkcji rolnej mogą charakteryzować się niespójnością parametrów (np. wymiarów, gęstości, wilgotności).

- Z uwagi na konieczność ochrony słomy przed wilgocią, konieczna jest staranność wykonywania detali narażonych na kontakt z wodą.
- Ograniczona możliwość przeniesienia obciążeń.
- Ograniczona odporność na wodę wyklucza stosowanie na terenach zagrożonych powodzią.
- Bardzo skomplikowana naprawa zawilgoconych ścian (szczególnie nośnych).
- Ściana z kostek słomianych w trakcie budowy i wykończenia wymaga osłonięcia przed czynnikami atmosferycznymi.
- Możliwość zastosowania tylko ponad izolacją poziomą ściany z uwagi na ryzyko zawilgocenia.

4.3. Właściwości balotowanej słomy:

Typowe właściwości balotowanej słomy [6]:

- Zalecana minimalna gęstość balota słomy: 110–130 kg/m^3 .
- Przewodność cieplna: 0,055–0,065 W/mK (przy gęstości 110–130 kg/m^3).
- Zalecana początkowa wilgotność: 10–16%.
- Zalecana maksymalna w trakcie eksploatacji wilgotność: zwykle nie przekracza 20–25%.

5. Wyroby z gliny niewypalanej

Wyroby z gliny niewypalanej to jedne z najstarszych materiałów budowlanych świata. Współcześnie docenia się fakt, że charakteryzują się minimalną zawartością wbudowanej energii i emisji. Głina to stosunkowo wytrzymały i ognioodporny materiał, posiadający duży potencjał dla absorpcji ciepła w swej masie termicznej. Głina ma zdolność do regulowania poziomu wilgotności wewnątrz pomieszczeń. Niestety niestabilizowane wyroby z gliny nie są odporne na długotrwałe działanie wody, także powinny być chronione przed deszczem.

Głina to surowiec spotykany na prawie całym obszarze naszego kraju. Istniejące w różnych krajach do dziś kilkusetletnie rezydencje magnackie, dwory szlacheckie, budynki gospo-

darce oraz cały szereg mniejszych i większych budynków ze ścianami wykonanymi z surowej gliny świadczą o tym jak długowieczne są budynki z tego materiału. W Polsce najbardziej znanymi budynkami z gliny są: pałac na Tarchominie k. Warszawy, dwór Szaniec w Dolinie Będkowskiej, szkoła w Kasince Małej k. Limanowej, domy mieszkalne w Limanowej k. Rabki i we wsi Bedlno k. Kutna. W Polsce już od roku 1962 obowiązują normy techniczne dotyczące zastosowania gliny w budownictwie [9]:

- BN-62/6738-01 „Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami”.
- BN-62/6738-02 „Budownictwo z gliny. Masy gliniane”.
- BN-62/9012-01 „Cegła i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami”.
- BN-62/8841-04 „Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej – Warunki techniczne wykonania i odbioru.”

W latach powojennych w naszym kraju istniał silny ruch budownictwa z gliny; niestety, obecnie budownictwo to kojarzy się jednak z prymitywnymi i nietrwałymi lepiankami. Na przestrzeni ostatnich lat rośnie jednak w naszym kraju zainteresowanie budownictwem ekologicznym z gliny, organizowane są także warsztaty praktycznej nauki rzemiosła na budowach. Naukowcy z Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej: prof. dr hab. Teresa-Kelm, dr inż. arch. Jerzy Górski, oraz mgr inż. arch. Marek Kołłątaj zaprojektowali i zrealizowali ze stu-

dentami budynek eksperymentalny z ziemi i gliny zlokalizowany na terenie Parku Ekologicznego w Pasłęku. Przed zaprojektowaniem budynku wykonano testy i badania laboratoryjne pod kątem fizycznych i mechanicznych właściwości skompresowanych bloczków z surowej ziemi. Celem tego projektu było zademonstrowanie metod konstrukcyjnych stosowanych w technologii wznoszenia budynków z surowej ziemi oraz stworzenie możliwości do prowadzenia obserwacji i badań podczas wznoszenia obiektu. Ciepło do budynku dociera przeszkłoną werandą zaprojektowaną i wykonaną od południowej strony budynku. Badania naukowe skupią się na właściwościach cieplnych budynku, warunkach panujących wewnątrz budynku (wilgotność, naświetlenie) i możliwościach utrzymywania ciepła przez ściany wykonane z ubitej surowej ziemi. Budynek ten został wyróżniony w ramach międzynarodowego projektu Terra [In]cognita – Earthen Architecture in Europe (Ziemia nieznaną – Architektura Ziemia w Europie).

Za granicą, przede wszystkim na terenie Niemiec glina jest materiałem budowlanym traktowanym poważnie na równi z cegłą i cementem. Powstają tam budynki wznoszone z gliny przy całkowicie zmechanizowanym systemie pracy. Przykłady nowoczesnych budynków zrealizowanych w tej technologii nie pozwalają traktować budownictwa z gliny jako ekologicz-

nej fanaberii. Gлина jest doskonałym materiałem budowlanym i to bardzo tanim, bo uzyskanym z wykopów pod fundamenty i piwnice lub z innego niezbyt odległego od placu budowy miejsca. Budownictwo z gliny w pełni zaspokaja wymagania techniczne i higieniczne współczesnego mieszkania.

Właściwości gliny jako materiału budowlanego są bardzo ciekawe. Niewypaloną, surową glinę można ponownie zastosować do budowy po rozdrobnieniu i zmoczeniu wodą. W odróżnieniu od innych materiałów, nie zanieczyszcza środowiska. Gлина przyczynia się do poprawy klimatu mieszkania, gdyż akumuluje ciepło. Stanowi doskonałą masę termiczną gromadzącą ciepło przy pasywnym korzystaniu z energii słonecznej. Drewniane elementy konstrukcyjne i inne materiały organiczne otoczone gliną zostają albo osuszone, albo pozostają suche, co chroni je przed zagrzybieniem i zaatakowaniem przez insekty (owady potrzebują co najmniej 14%, a grzyby więcej niż 20% wilgotności). Zdecydowaną wadą gliny jest kurczenie się podczas schnięcia. Przez odparowanie wody koniecznej do zaktywizowania lepkości gliny zmniejsza się jej objętość i mogą powstać pęknięcia.

Gлина reguluje także wilgotność powietrza w pomieszczeniach poprzez zdolność do szybkiego wchłaniania i oddawania wilgoci. Niewypalane gliniane cegły potrafią wchłoniąć około 30 razy więcej wody niż wypalane. Gliniane ściany tworzą zdrowy odpowiedni mikroklimat. Gлина zapobiega spadkowi wilgotności powietrza poniżej 40%, co może prowadzić do wyschnięcia błony śluzowej, a tym samym do zwiększonego ryzyka zachorowań w wyniku przeziębienia. Gлина redukuje powstawanie kurzu, eliminuje przykre zapachy oraz zapobiega naładowaniu elektrostatycznemu przedmiotów w pokoju, ma także właściwości antyalergiczne, antibakteryjne. Gлина jest materiałem plastycznym i rzeźbiarskim, praca z nią nie wymaga profesjonalnego przygotowania. W czasie budowy, dopóki glina nie wyschnie, można



Fot. 4. Budynek eksperymentalny w Pasłęku [www.culture-terra-incognita.org]

ją łatwo modelować, wycinać i wstawiać fragmenty, a zmiany będą niewidoczne.

Technologia budownictwa z gliny sprzyja rozwojowi lokalnej produkcji i zachowaniu niezależności kulturowej regionu i kraju. Zastosowanie wyrobów z gliny oszczędza energię i zmniejsza zanieczyszczenie środowiska. Gлина, w przeciwieństwie do innych materiałów budowlanych, potrzebuje do przygotowania i przerobienia minimalną ilość energii. Dodatkowo istnieje możliwość pozyskania materiału lokalnie, także dzięki oszczędności na transporcie i braku konieczności przetwarzania w wysokich temperaturach, zużywa się niewielkie ilości energii potrzebnej do wyprodukowania tej samej ilości cegły wypalanej albo betonu. Przykładowy całkowity nakład energii na zbudowanie 100 m² domu jednorodzinnego wynosi [4]:

- w technologii wielkopłytywowej – 180 tys. kWh,
- w technologii tradycyjnej (cegła) – 80 tys. kWh,
- w technologii ekologicznej (głina + drewno) – 25 tys. kWh.

Na świecie spotkać się można z wieloma technikami budowania z niewypalanej gliny. Odzwierciedlają one dostępny materiał, klimat i kulturę.

Ściany wznoszone w technice ziemi ubijanej (*rammed earth*) powstają przez zagęszczanie warstwami bogatej w glinę ziemi w tymczasowym szalunku. Technika ziemi układanej (*cob*) polega na ręcznym umieszczeniu mieszanki gliny, piasku i słomy bezpośrednio na fundamentach. Powstają w ten sposób grube, solidne mury, które nie wymagają konstrukcji nośnej. Cob jest techniką najłatwiejszą do opanowania i daje ogromne możliwości samodzielnego kształtowania charakteru budynku. Dzięki temu wzrasta rzesza zwolenników, szczególnie wśród fanów budownictwa organicznego o miękkich kształtach. Niewypaloną glinę można także wykorzystać jako tynk wewnętrzny. Regulacja wilgotności może przyczynić się zwiększenia komfortu użytkowania pomieszczeń poprzez ograniczenie liczby roztoczy.

Technika „*adobe*” polega na formowaniu bloczków w szalunku i wysuszeniu ich na wolnym powietrzu. Choć teoretycznie jest możliwa produkcja własnych bloków bezpośrednio na budowie, niewypalone cegły gliniane lub bloczki są zazwyczaj pro-



Fot. 5. Bloczki z gliny niewypalanej [10]

dukowane masowo. Proces ich produkcji jest w podobny do wypalanych cegieł. Po wydobyciu surowca z ziemi, glina jest doprowadzana do formy cegły lub bloczka przez wytłaczanie. Technika ziemi stabilizowanej (*compressed earth blocks*) to rozwinięcie starożytnej techniki „*adobe*”. Bloczki gliniane są wtedy tworzone przez kompresję w specjalnej prasie, która zwiększa wytrzymałość na ściskanie i pozwala formować w bloczkach wy-



Fot. 6. Budowa ściany w technice gliny lekkiej [10]

drażenia i odpowiednio je profilować, co ułatwia montaż. Zawartość wilgoci w glinie służącej do produkcji takich wyrobów jest znacznie mniejsze niż w przypadku bloczków „*adobe*” i zazwyczaj wynosi około 10–13%.

Głina lekka ubijana w szalunku, to popularna glinobitka. Masa gliniana ze słomą umieszczana jest w ruchomych szalunkach i zagęszczana. Glinę lekką w szalunku używamy do wzniesienia grubych ścian zewnętrznych, może być także używana do budowy wąskich ścianek wewnętrznych, w celu powiększania masy termalnej budynku, a także w budownictwie sezonowym i gospodarczym. Bloczki z gliny lekkiej powstają przez uformowanie w pożądaną kształty i wysuszenie masy glinianej z wypełnieniem organicznym (słomą, wiórami drewnianymi). Bloczki można wyprodukować na placu budowy lub nabyć gotowe. Są one łatwe w użyciu, tworzą podłoże o wysokiej przyczepności, można je murować przy użyciu zaprawy glinianej lub wapienno-glinianej.

5.1. Zalety wyrobów z gliny niewypalanej:

- Technika budowlana osadzona w lokalnej tradycji.
- Regulacja środowiska higroskopijnego w pomieszczeniach.
- Niska zawartość wbudowanych energii i emisji.
- Niewielka ilość odpadów i łatwość ponownego użycia lub recyklingu.
- Wysoka masa termiczna.
- Materiał jest paroprzepuszczalny, co stwarza możliwość wykonania „oddychających” ścian, w naturalny sposób usuwających nadmiar wilgoci z pomieszczenia.

5.2. Wady i ograniczenia wyrobów z gliny niewypalanej:

- Wymaga staranności wykonania.
- Ograniczona możliwość przeniesienia obciążeń.
- Konieczność ochrony przed wilgocią z uwagi na możliwość zniszczenia materiału.
- Czasochłonny i wymagający ostrożności przed warunkami atmosferycznymi proces suszenia.

- Wykonawstwo cienkich ścian wymaga zapraw specjalistycznych.
- Ograniczone zastosowanie w przypadku wykończeń zewnętrznych.
- Możliwość zastosowania tylko ponad izolacją poziomą ściany z uwagi na ryzyko zawilgocenia.
- Wymaga wznoszenia grubych ścian zewnętrznych, z uwagi na dużą przewodność cieplną.

5.3. Właściwości wyrobów z gliny niewypalanej:

Parametry wyrobów z niewypalanej gliny, jako produktu naturalnego mogą być zróżnicowane [10]:

- Gęstość: 270–330 kg/m³.
- Przewodność cieplna: 0,07–0,09 W/mK (typowa wartość współczynnika U na 300 mm = 0,21 W/m²K).
- wytrzymałość na ściskanie: 0,1–0,2 N/mm².

6. Podsumowanie

Budownictwo zużywa 24% światowego ogółu surowców naturalnych wydobywanych z ziemi. Produkcja, obróbka, transport i montaż materiałów budowlanych zużywają duże ilości

energii i wody. Badania porównujące oddziaływanie na środowisko materiałów budowlanych wykazały, że zużycie energii, emisja dwutlenku węgla i zapotrzebowanie na wodę mogą być zmniejszone poprzez zastosowanie odnawialnych źródeł energii, poprawę technologii produkcji i promowanie ekologicznych materiałów budowlanych [11].

Powszechnie uznaje się, że wzrost wykorzystania ekologicznych materiałów w zrównoważonym budownictwie zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających, stanowić może odpowiedź na globalne problemy ocieplenia klimatu. Niskoenergetyczne materiały budowlane pozwalają też obniżyć koszty realizacji budynków mieszkaniowych. Paradoksalnie największym wyzwaniem dla szerokiego rozpowszechniania alternatywnych technologii budowlanych w nowoczesnej gospodarce jest dziś przede wszystkim nie ich trwałość, ale zgodność z obowiązującymi normami w normach budowlanych oraz niska akceptacja wśród projektantów, wykonawców i inwestorów wynikająca z przekonania, że materiały te nie są w stanie za-

pewnić komfortu użytkownikom. Bez przezwyciężenia tych problemów innowacyjne, niskoenergetyczne technologie budowlane będą w dalszym ciągu na marginesie współczesnego budownictwa.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Komisja Europejska (2011) SEC 1609, załącznik 1
- [2] Grabowska L., (2009), Rynek konopny w EU i w Polsce, Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, Poznań
- [3] Sutton A., Black D., Walker P., (2011) Hemp Lime, IHS BRE Press
- [4] Kupiec-Hyła D., Hyła M., (1993) Poradnik budowy szkieletowych domów z wypełnieniem lekką gliną, Kraków
- [5] Minke G., Mahlke F., (2005) Building with Straw, Berlin
- [6] Sutton A., Black D., Walker P., (2011) Straw bale, IHS BRE Press
- [7] Wihan J., (2007) Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw, University of East London
- [8] <http://www.guardian.co.uk/society/2011/jul/26/straw-council-houses-fuel-efficiency>
- [9] Kelm T., (2011) Budownictwo z surowej ziemi, Politechnika Warszawska
- [10] Sutton A., Black D., Walker P., (2011) Unfired Clay Masonry, IHS BRE Press
- [11] Berge B., (2001), The Ecology of Building Materials, Oxford Architectural Press

BaleHaus – eksperymentalny budynek z prefabrykowanych paneli modularnych ModCell

Mgr inż. arch. Michał Golański, ZAIU IB WILIŚ, Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Słoma jest ubocznym produktem rolniczym wykorzystywanym, jako ściółka dla zwierząt, podłoże do upraw grzybów i do celów energetycznych. Po uwzględnieniu ww. zastosowań roczna nadwyżka słomy w Polsce oceniana jest na około 10–12 mln ton [1]. Wykorzystanie nieżywnościowych upraw w budownictwie uważa się za korzystne nie tylko ze względu na sekwestrację dwutlenku

węgla w czasie wzrostu roślin. Słoma dzięki swoim znakomitym właściwościom izolacyjnym ma potencjał, aby znacząco zmniejszyć ilość energii potrzebnej do ogrzewania pomieszczeń. Dużą przeszkodą w szerszym zastosowaniu tego materiału jest brak badań naukowych dot. zastosowań balotów słomy w budynkach. W artykule przedstawiono eksperymentalny budynek zbudowany z prefabrykowanych paneli modularnych ModCell w kampusie Uniwersytetu Bath w Wielkiej Brytanii.