

BUDOWNICTWO Z GLINY I SŁOMY – WSTĘPNA OCENA WYBRANYCH ASPEKTÓW TRWAŁOŚCI

Beata Backiel-Brzozowska¹

¹ Katedra Materiałów, Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45e, 15-351 Białystok, e-mail: b.backiel@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy jest wskazanie możliwości zastosowania tradycyjnych, ekologicznych materiałów budowlanych – gliny i słomy – do budowy współczesnych jednorodzinnych budynków mieszkaniowych. Przedstawiono genezę budownictwa naturalnego z gliny i słomy. Wyjaśniono podstawowe technologie konstruowania ścian oraz przedstawiono wybrane parametry techniczne przegród wykonywanych w technologii straw-bale. Następnie zaprezentowano wyniki badań nad wybranymi aspektami trwałości przegród z gliny i słomy, przeprowadzone w ramach pracy inżynierskiej wykonanej pod nadzorem autorki niniejszej pracy. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje próbek przygotowanych w technologii glinosłomobitki (z gliny ciężkiej z dodatkiem słomy) oraz w technologii straw-bale. Wykazano możliwość uzyskania dobrej mrozoodporności gliny z dodatkiem słomy oraz możliwość skutecznej poprawy odporności na wnikanie wody za pomocą łatwych do wykonania i tanich powłok malarskich.

Słowa kluczowe: naturalne materiały budowlane, domy ekologiczne, budownictwo z gliny i słomy, mrozoodporność, odporność na wnikanie wody.

STRAW-CLAY CONSTRUCTION – PRELIMINARY ASSESSMENT OF SELECTED ASPECTS OF SUSTAINABILITY

SUMMARY

The aim of this work is to show the possibility of a return to the traditional construction of walls from clay and straw in contemporary building construction characterized by high functional requirements. The introductory part summarizes the roots of natural building with clay and straw. It explains the basic technologies of building with clay and presents selected technical parameters of partitions made in the technology of straw-bale. Then, the results of preliminary tests on selected aspects of the sustainability of partitions made of clay and straw, carried out within the framework of engineering work done under the supervision of the author of this work. The tests were performed under the two types of specimens prepared with different technologies - heavy clay with the addition of straw and straw-bale. It has been shown that it is possible to obtain a good frost resistance of clay with the addition of straw. Also the resistance of water penetration can be effectively improved with easy to implement and low-cost coatings.

Keywords: natural building materials, ecological homes, straw-clay walls, frost resistance, water penetration resistance.

GENEZA WSPÓŁCZESNEGO BUDOWNICTWA Z GLINY I SŁOMY

Tradycja budowania z gliny, a ujmując szerzej – z ziemi, sięga czasów prehistorycznych. Na terenach polskich budownictwo z gliny rozwijało się na skalę masową wszędzie tam, gdzie dostępne było drewno wykorzystywane na szkielety konstrukcyjne oraz złoże gliny, którą te szkielety wypełniano. Rozwój techniki stawiania muru glinobitego oraz muru z surowej cegły na zaprawie gliniano-piaskowej w XVIII i XIX wieku spowodował wyrwanie budownictwa z gliny z ery lepiątek, a zainteresowanie tą technologią zarówno architektów, jak i świata nauki spowodowało postęp oraz kumulację wiedzy w zakresie budownictwa z gliny [2]. Wypierane przez inne technologie powracało do łask zwłaszcza w okresie zwiększonego popytu i deficytu innych materiałów, np. po zniszczeniach wojennych.

Po II wojnie światowej nadeszła wielka fala popytu na tanie domy z gliny. Powstały wówczas liczne osiedla mieszkaniowe zarówno na terenach Europy zachodniej (Francja), jak i za żelazną kurtyną (NRD i Polska). Zwłaszcza na terenach Niemieckiej Republiki Demokratycznej, gdzie wybudowano w technologii gliny surowej około 300 tys. mieszkań, rozwinął się wysoki poziom technologiczny i organizacyjny, co z kolei stanowiło podstawę do tworzenia uregulowań prawnych i normatywów dla stosowanych technologii. Również w Polsce istniało wówczas dobre zaplecze naukowo-badawcze dla rozwijania tej technologii. W roku 1954 z inicjatywy rządu powołano Ośrodek Badawczo-Instruktorzowy Budownictwa z Gliny w Krakowie, który wykonywał bezpłatne badania próbek gliny. Mieszkaniom budowanym w tej technologii przysługiwał 20% dodatek do powierzchni wynikającej z normatywów. Wzniesiono wówczas wiele do dziś eksploatowanych budynków z gliny oraz sformułowano normy branżowe opracowane przez Instytut Techniki Budowlanej.

Załamaniem ówczesnej dobrej passy budownictwa z gliny było związane z realizacją inwestycji Planu Sześcioletniego, w tym huty im. Lenina, której ogromna produkcja spowodowała konieczność zagospodarowania wielkich zasobów żużla hutniczego, co z kolei spowodowało rozwój żużlobetonu. Propaganda sukcesu tamtych lat zepchnęła budownictwo z gliny w świadomości społecznej do ery lepiątek.

W dobie materiałów wysokich technologii, będących synonimem postępu, nowoczesności czy wręcz luksusu, budownictwo z gliny i inne technologie przeżywają obecnie renesans. Wynika to z pewnych trendów społecznych, przejawiających się dążeniem ku lepszej harmonii człowieka z naturą oraz przeciwstawianiem się nadmiernemu konsumpcjonizmowi i komercjalizacji życia. Nie bez znaczenia jest również aspekt ekonomiczny – taki materiał jest po prostu dużo tańszy.

Motorem rozwoju współczesnego budownictwa z gliny, zarówno w Polsce jak i na całym świecie są organizacje, instytucje oraz formalne i nieformalne grupy. Pierwszą w Polsce organizacją propagującą domy z gliny i inne techniki naturalne w budownictwie była fundacja Earth Hands and Houses, działająca od 1997 r. Organizacja ta wybudowała pierwszy w kraju, niewielki dom wzniesiony metodą warsztatową w technologii straw-bale. W roku 2005 powstało Stowarzyszenie Biobu-

downictwa zajmujące się realizacją i propagowaniem technologii glino-słomo-beli i żerdzi. Prężnie działającą platformą wymiany informacji o budownictwie z gliny w technologii straw-bale oraz w innych technologiach naturalnych jest Grupa Cohabitat. Działające w ramach Grupy Studio Architektury Naturalnej – Cohabitat Atelier obsługuje inwestycje i organizuje warsztaty, które są typową formą rozpowszechniania wiedzy praktycznej na temat budownictwa z gliny i innych technik naturalnych, propagowaną przez wszystkie wymienione organizacje. Promowanie budownictwa z gliny jest też jednym z aspektów działania Polskiego Związku Premakultury. Na Podlasiu prężnie działa grupa Erth-Heart Budownictwo Naturalne wspomagająca aktualnie budowę pierwszego w Białymstoku, całorocznego domu wykonanego w technologii straw-bale, w której ściany konstruuje się ze słomianych beli i pokrywa tynkiem na bazie gliny.

W budownictwie słomę stosowano od tysiącleci, ale prawdziwym uznaniem jako materiał budowlany cieszy się od momentu wynalezienia technologii jej prasowania, tj. od XIX. Technologia domów z kostek słomy tynkowanych gliną rozwijała się przez ostatnie stulecie głównie w Stanach Zjednoczonych i wybranych krajach Europy zachodniej. Aktualnie niektóre stany USA posiadają normy techniczne dla technologii straw-bale. Aprobaty techniczne, normy branżowe, patenty istnieją również między innymi w Niemczech, Wielkiej Brytanii i we Francji. Niestety w Polsce nie ma obecnie uregulowań prawnych, norm czy aprobat umożliwiających zastosowanie tej technologii na szerszą skalę, a budynki są wznoszone na podstawie indywidualnych, jednorazowych rozwiązań zaproponowanych przez projektanta. Większość z kilkudziesięciu obiektów wzniesionych w ostatnich kilkunastu latach na terenie Polski to budynki gospodarcze, których budowa nie wymaga urzędowego pozwolenia. Dokładną sytuację formalno-prawną dla budownictwa naturalnego w Europie i Polsce ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zastosowania kostek ze słomy przedstawiono w opracowaniu [3] wykonanym przez Biuro Programu Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju.

TECHNOLOGIE WYKORZYSTYWANE W BUDOWNICTWIE Z GLINY I SŁOMY ORAZ WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW

Podobnie jak przed wiekami we współczesnym budownictwie z gliny materiał ten może spełniać dwa zadania: spajać słomę lub inne wypełniacze organiczne lub ją otaczać w postaci tynku. Zmieszana z bardzo dużą ilością słomy lub innych wypełniaczy, na przykład trocin, wiórów drewna, granulek keramzytu, daje lekki materiał o niskim ciężarze objętościowym i dobrych właściwościach termoizolacyjnych. Głina ciężka to mieszanka gliny z piaskiem i niewielkim dodatkiem słomy lub trocin, a także sama ubijana glina. Jej ciężar objętościowy wynosi powyżej 1 t/m^3 . Materiał ten ma jednak wysoki współczynnik przewodzenia ciepła, dlatego ściana w domu całorocznym wymaga dodatkowej izolacji termicznej.

Najbardziej klasyczną technologią budowania z gliny jest murowanie z cegieł wykonywanych w prasach ręcznych lub hydraulicznych. Masę glinianą miesza się ze słomą, formuje i suszy w warunkach naturalnych. Z cegieł można murować zewnętrzne i wewnętrzne ściany nośne oraz ściany działowe, używając zaprawy glinianej lub wapienno-glinianej. Inną metodą wznoszenia ścian jest popularna od stuleci glinobitka, której technologia jest aktualnie znacznie udoskonalona poprzez zastosowanie urządzeń wspomagających proces mieszania i ubijania gliny w odpowiednich szalunkach. Konstruowane w ten sposób mury o grubości około 60 cm nie wymagają konstrukcji nośnej. Ta technika daje duże możliwości samodzielnego tworzenia dowolnych kształtów, toteż realizacje zadziwiają często fantazyjnymi, wręcz bajkowymi kształtami. Z gliny ciężkiej wykonuje się wewnętrzne ściany akumulacyjne o dużej pojemności i bezwładności cieplnej. Taka ściana stabilizuje temperaturę w pomieszczeniach chłodząc latem i ogrzewając zimą. Z uwagi na rosnące wymagania izolacyjnych w stosunku do budynków niskoenergetycznych czy pasywnych, technikę gliny układanej ręczne należy łączyć z innymi, na przykład stosując izolację z kostek słomy.

Aktualnie najbardziej spopularyzowaną technologią umożliwiającą spełnienie kryteriów domu niskoenergetycznego czy pasywnego jest technologia glino-słomobeli (ang. straw-bale). Drewnianą konstrukcją nośną (tradycyjnie słupowo-ryglową) wypełnia się sprasowanymi kostkami słomy o ciężarze objętościowym ok. 80 kg/m^3 . Dzięki dużej zawartości powietrza w sprasowanej słomie jest ona dobrym izolatorem. Niemiecka generalna aprobata techniczna 23.II-1595 (2014) dla technologii stosowania kostek słomy w zestawie z konstrukcją drewnianą jako wypełnienie ścian i połączenia dachowej w różnych wariantach wykończenia powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przegrody [4] określa współczynnik przewodzenia ciepła dla kostki słomy na poziomie $0,052 \text{ W/(mK)}$ w poprzek włókien i $0,080 \text{ W/(mK)}$ wzdłuż włókien. Takie parametry przy typowej grubości izolacji wynikającej z gabarytów kostki wynoszącej 45 cm umożliwiają konstruowanie przegród o współczynniku przenikania ciepła na poziomie typowych przegród izolowanych styropianem o grubości 20 cm. Według tej samej aprobaty technicznej izolacyjność akustyczna w warunkach laboratoryjnych wynosi 46 dB, a akustyczność obliczeniowa – 44 dB, co potwierdza skuteczną ochronę przed hałasem przegród wykonanych przy zastosowaniu kostek ze słomy.

Dobra izolacyjność termiczna i akustyczna kostek ze słomy nie jest ich jedynym atutem. Słoma jest produktem obocznym uprawy zbóż i wytwarzana jest w Polsce w ilości ok. 25 mln ton rocznie, co przy zużyciu ok. 16 ton słomy na jeden budynek, stanowi ogromny potencjał. Należy podkreślić, że zboża w fazie wzrostu pochłaniają dwutlenek węgla – jedna standardowa kostka o wymiarze $40 \times 47,5 \times 100 \text{ cm}$ pochłania $31,28 \text{ kg CO}_2$, podczas gdy w produkcji typowych materiałów termoizolacyjnych, takich jak styropian czy wełna mineralna, następuje znaczna emisja zanieczyszczeń. Ponadto cena kostki to jedynie kilka złotych, a więc całkowity koszt tego materiału zakładając zużycie około 1000 sztuk na budynek jednorodzinny wynosi jedynie kilka tysięcy.

Podsumowując liczne przymioty zarówno gliny jak i słomy należy podkreślić, iż domy wykonane z tych materiałów nie tylko w pełni zaspakajają postulaty bu-

downictwa ekologicznego i zrównoważonego z uwagi na wykorzystanie materiałów przyjaznych środowisku i materiałów wtórnych. Są cenione z uwagi na naturalny i zdrowy mikroklimat – regulują wilgoć, kumulują energię cieplną, wiążą substancje szkodliwe i działają antystatycznie na kurz. Dobra izolacyjność termiczna sprasowanej słomy umożliwia znaczące zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania domu. Komfort życia w budynku ze słomy i gliny jest dodatkowo podniesiony dzięki wysokiej izolacyjności akustycznej ścian. Należy też podkreślić, iż wbrew naturalnym obawom ściany z gliny i słomy mają odpowiednią ognioodporność, którą zapewnia gruba warstwa tynku z gliny lub wapna. Spełniają również warunek odpowiedniej trwałości, o czym świadczą liczne budowle, które przetrwały dziesięciolecia, a nawet stulecia, i to w tak trudnych warunkach klimatycznych jak polskie. Aby jednak uzyskać odpowiednią trwałość budynki wykonane z gliny i słomy muszą być dobrze zabezpieczone przez zawilgoceniem, w szczególności przed wodą gruntową i opadami atmosferycznymi. W przeciwnym razie glina może być łatwo wymywana z powierzchni muru. Zawilgocona powierzchnia narażona na działanie mrozu może ulegać destrukcji. Trwałe zawilgocenie słomy może być przyczyną wystąpienia korozji biologicznej.

BADANIA NAD MROZODPORNOŚCIĄ ORAZ SKUTECZNOŚCIĄ ZABEZPIECZANIA ŚCIAN Z GLINY I SŁOMY PRZED WNIKANIEM WODY

W pracy [1] zaproponowano oryginalne metody badania mrozoodporności próbek wykonanych w technologii glino-słomo-bitki oraz glino-słomo-beli (straw-bale). W pierwszym przypadku przygotowano cztery elementy sześciennie o wymiarach krawędzi 20 cm. Gęstość pozorna materiału wahała się w zakresie 1715–1858 kg/m³. Z elementów wycięto za pomocą piły próbki sześciennie o przybliżonych wymiarach 10x10x10 cm. W drugim przypadku wykonano cztery próbki w postaci paneli odzwierciedlających fragment muru wykonywanego w technologii straw-bale. Rdzeń próbki stanowiła sprasowana ręcznie słoma z pszenżyta, natomiast dwie przeciwległe powierzchnie pokryto tynkiem glinianym przygotowanym na bazie gliny. Całość przygotowano w specjalnym stelażu wykonanym ze sklejki wodoodpornej, aby uzyskać stabilną konstrukcję próbek w praktyce stanowiących wypełnienie ściany, oraz ograniczyć przepływ wilgoci do kierunku właściwego procesowi eksploatacji, czyli poprzez tynk gliniany. Konstrukcję panelu pokazano na rysunku 1.

W badaniach wykorzystano grunt popularnie nazywany gliną, będący w rzeczywistości ilem pylastym. Jest to materiał drobnoziarnisty o zawartości frakcji poniżej 0,002 mm (ił) w ilości 62,7% oraz frakcji 0,002–0,05 mm (pył) w ilości 31,3%. Zawartość ziaren grubych frakcji 0,05–2,00mm (piasek) wynosi jedynie 6%. Współczynnik plastyczności iłu jest większy niż 40%, jest to więc grunt bardzo spoisty. Skurczliwość suszenia wynosi aż 10%.

Jak wynika z powyżej przedstawionych parametrów iłu pylastego materiał bazowy wymagał zastosowania dodatku schudzającego, który umożliwił obniżenie



Rys. 1. Panele ze słomy przed (po lewej) i po otynkowaniu gliną z domieszką słomy (po prawej) (foto. M. Maksymiuk)

Fig. 1. Panels of straw-bale before (on the left) and after plastered with clay with admixture of straw (on the right) (photo. M. Maksymiuk)

plastyczności oraz zmniejszenie wrażliwości na suszenie. W tym celu zastosowano piasek kwarcowy średnioziarnisty, w którym frakcje pylaste zostały wyeliminowane poprzez płukanie, a także niewielką ilość ścinek słomy z pszenżyta, które w tej technologii nie tylko pełnią funkcję materiału schudzającego i obniżającego gęstość pozorną materiału, ale działają jako zbrojenie rozproszone poprawiając parametry wytrzymałościowe kompozytu. Właściwe proporcje materiału bazowego i materiału schudzającego zwykle ustala się na placu budowy na podstawie obserwacji próbek w postaci placków przygotowanych przy różnych proporcjach materiałów oraz konsystencji roboczej, wysychających w warunkach naturalnych. Podstawowym kryterium są prędkość wysychania oraz brak rys skurczowych na powierzchni wyschniętego materiału. W toku badań wstępnych przeprowadzonych przez autora pracy [1] przy różnych kombinacjach proporcji materiałów ustalono, że najlepszy tynk uzyskuje się przy zmieszaniu łu i piasku w proporcji objętościowej odpowiednio 1:3. Warto wspomnieć, iż badania wstępne i przygotowanie próbek badawczych było dodatkowo nadzorowane przez praktyków z grupy Earth-Heart Budownictwo Naturalne.

Przed przystąpieniem do oceny mrozoodporności standardowo próbki różnych elementów murowych doprowadza się do pełnego nasycenia poprzez moczenie w wodzie. Również proces rozmrażania przeprowadza się poprzez zanurzenie w wodzie, choć żadna z powyższych procedur nie stanowi odzwierciedlenia rzeczywistych warunków pracy konstrukcji murowych. W odniesieniu do próbek z gliny i słomy nasycenie w wodzie nie jest możliwe, należało więc podnieść zawilgocenie próbek w inny sposób – poprzez przetrzymywanie nad lustrem wody i regularne zraszanie próbek przez okres kilkunastu dni. Na rysunku 2 pokazano kostki z glinobitki przecho-



Rys. 2. Próbkę gliny ciężkiej z dodatkiem słomy w warunkach powietrzno-suchych (na górze) oraz po zawilgoceniu do badania mrozoodporności (na dole) (foto. M. Maksymiuk)
Fig. 2. Specimens of heavy clay with the addition of straw under air-dry conditions (at the top) and after damp before the frost resistance test (at the bottom) (photo. M. Maksymiuk)

wywane w warunkach powietrzno-suchych oraz próbki zawilgocone, przygotowane do oceny mrozoodporności.

Tak przygotowane próbki wstawiono do komory klimatyzacyjnej i poddano 30 cyklom naprzemiennego zamrażania (przez 4 godz. w temp. $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$) i rozmrażania (przez 4 godz. w temp. $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ w powietrzu nad lustrem wody). Mrozoodporność była oceniana zarówno na podstawie obserwacji ewentualnych zmian na powierzchni próbek, jak i na podstawie zmiany masy próbek, które zarówno przed, jak i po badaniu wysuszono do stałej masy w identycznych warunkach. Dodatkowo dla próbek z gliny ciężkiej oceniono zmianę wytrzymałości na ściskanie.

Po 30 cyklach naprzemiennego zamrażania i rozmrażania obie badane partie próbek nie wykazały większych uszkodzeń powierzchniowych. Widoczne było tylko lekkie złuszczenie powierzchniowe, jednak ubytek masy był bliski zerowemu. Spadek wytrzymałości na ściskanie próbek z glinobitki wyniósł około 26% (z poziomu 1,9 MPa do 1,4 MPa), co stanowi nieznaczne przekroczenie wartości progowej przy normowej ocenie mrozoodporności typowych materiałów budowlanych określonej na poziomie 20%.

W przeciwieństwie do materiałów o sztywnej matrycy, takich jak ceramika czy beton, których główny mechanizm destrukcji mrozowej jest związany z rozsadzaniem struktury na skutek naprężeń wewnętrznych powstających w wyniku zamrażania wody, glina, której cząsteczki nie są sztywno związane, poddaje się zmianom objętościowym wywołanym przejściem wody do stanu zamrożenia. Podczas topienia lodu cząstki gliny ulegają ponownemu zbliżeniu, jednak stopniowo jej struktura może ulegać pewnemu rozluźnieniu, o czym świadczy spadek wytrzymałości na ściskanie próbek z gliny ciężkiej bez wyraźnego ubytku ich masy. Należy jednak podkreślić, że w technologiach, w których glina nie pełni funkcji nośnej (np. straw-bale), kryterium spadku wytrzymałości na ściskanie staje się raczej podrzędne.

Pomimo iż wyniki badań mrozoodporności nie wskazują na szczególną wrażliwość badanych materiałów na cykliczne zamrażanie-rozmrażanie, należy stanowczo podkreślić, iż ograniczenie zawilgocenia przegród konstruowanych przy wykorzystaniu gliny i słomy jest kluczowe dla uzyskania odpowiedniej trwałości. Elementarną sprawą jest przyjęcie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, takich jak wysoka podmurówka, dach z wydłużonym okapem, szczelna izolacja pozioma nad fundamentem, itp. Dodatkowo ściany budynków można zabezpieczać przed wpływami atmosferycznymi za pomocą tynków (głównie wapiennych i wapienno-glinianych) i powłok malarskich. Tynki i powłoki muszą chronić przed deszczem, a jednocześnie zapewnić swobodną migrację pary wodnej.

W pracy [1] oceniono także skuteczność działania niektórych popularnych powłok hydrofobizujących, zalecanych do zabezpieczania ścian z gliny surowej: szkła wodnego, mydła malarskiego, farby lateksowej oraz pokostu lnianego. Powierzchnię licową jednego panelu wykonanego ze słomy sprasowanej pokrytej gliną podzielono na cztery części, każdą z nich pokrywając inną powłoką impregnacyjną, przy czym malowanie mydłem malarskim i szkłem wodnym przeprowadzono dwukrotnie w odstępie 4 godzin, a pozostałe powłoki przygotowano poprzez jednokrotne malowanie. Tak przygotowaną próbkę pozostawiono w warunkach laboratoryjnych przez 5 dni. Następnie do każdej z badanych powierzchni przyklejono przy pomocy silikonu pierścienie aluminiowe o polu podstawy ok. 18 cm². Do pierścieni wiano po 10 ml wody, a ich górną powierzchnię zabezpieczono folią z tworzywa sztucznego. Najszybszy czas wchłaniania wody, około 8 godz., zanotowano dla powierzchni zabezpieczonych mydłem malarskim i farbą lateksową. Wchłanianie wody na powierzchni pokrytej pokostem lnianym przebiegało w czasie około 20 godzin, a szkłem wodnym – około 28 godzin. Wyniki tego prostego eksperymentu wyraźnie pokazują dużą skuteczność badanych powłok, pozostaje tylko pytanie o trwałość takiego zabezpieczenia w warunkach eksploatacyjnych.

PODSUMOWANIE

Rozwój budownictwa z gliny i słomy, w szczególności technologii straw-bale, jest bardzo ciekawą perspektywą o silnym aspekcie ekologicznym. Domy wykonane

w tej technologii mogą nie tylko spełniać rygory niskiego zużycia energii w fazie eksploatacji, ale przede wszystkim nie wymagają zużycia dużej energii w facie produkcji materiałów i wykonania obiektu. Rozpowszechnienie tej technologii może w znaczący sposób przyczynić się do redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych i odpadów, a także emisji hałasu, wibracji promieniowania. Brakuje jednak uregulowań prawnych w zakresie technologii straw-bale w Polsce, co znacznie ogranicza jej rozwój.

Wyniki badań nad niektórymi aspektami trwałości murów wskazują na możliwość uzyskania dobrej mrozoodporności gliny z dodatkiem słomy oraz na możliwość skutecznej poprawy odporności na wnikanie wody za pomocą łatwych do wykonania i tanich powłok malarskich.

LITERATURA

1. Maksymiuk M. 2014. Budownictwo ekologiczne z wykorzystaniem gliny. Praca dyplomowa inżynierska wykonana pod kierunkiem dr inż. B. Backiel-Brzozowskiej. Politechnika Białostocka.
2. Szewczyk J. 2009. Budownictwo z gliny w dawnej polskiej literaturze technicznej, *Architecture et artibus*, 1, 84–98.
3. Zatylny M. Uwarunkowania formalno-prawne dla budownictwa naturalnego w Europie i Polsce ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania kostek słomy. Program Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju (UNDP) (<http://osbn.pl>; dostęp 30.09.2014 r.).
4. Z-23.11-1595 (31.01.2014) Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Deutsches Institut für Bautechnik (<http://www.downloads.fasba.de/oeffentlich/pruefzeugnisse/z-23.11-1595%282009%29.pdf>; dostęp 30.09.2014 r.).