

- 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, stanowi 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.

2. Budownictwo ze słomy, historia i współczesność

Budownictwo ze słomy ma swe korzenie w środkowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych, ale historyczne przykłady można znaleźć w całej Europie i Australii. Z racji niedostępności tradycyjnych materiałów budowlanych posługiwano się powszechnie dostępnymi balotami słomy. Najstarszy znany budynek z balotów słomy to dom Burke'a zbudowany w 1903 roku, istnieje do dziś w Stanach Zjednoczonych, stan Nebraska [2]. Zainteresowanie słomą jako materiałem budowlanym zmalało w okresie industrializacji ze względu na zwiększenie dostępności nowoczesnych, wysoce przetworzonych materiałów budowlanych.

Współczesnym wymogiem politycznym jest zmniejszenie emisji dwutlenku węgla w sektorze budownictwa, projektanci szukają nowych metod budowy przy użyciu naturalnych materiałów. Dostępność i odnawialność słomy jako materiału budowlanego, doprowadziły do znacznego wzrostu jego stosowania w przeciągu ostatniej dekady. Nowoczesne energooszczędne technologie budowlane opierają się głównie na efektywnym wykorzystaniu izolacji termicznej. Specyfikacja materiałów budowlanych uwzględniająca zawartą w nich energię i emisję doprowadziła do wzrostu zainteresowania wykorzystaniem naturalnych materiałów izolacyjnych. Słoma jest nie tylko naturalnym, odnawialnym i biodegradowalnym materiałem, również może być pozyskiwana lokalnie przy wymaganiach stosunkowo niewielkiego przetwarzania przed zastosowaniem na budowie. Słoma jest ubocznym produktem gospodarki rolnej, absorbuje dwutlenek węgla w fazie wzrostu i stanowi doskonałą izolację termiczną, co znacznie obniża energochłonność i emisję CO₂ związaną z fazą użytkową budynku.

Na przestrzeni ostatniej dekady szczególnie w Wielkiej Brytanii słoma i inne naturalne materiały włókniste stały się przedmiotem badań, których celem jest rozwój nowoczesnych innowacyjnych wyrobów budowlanych o minimalnym wpływie na środowisko. Chociaż baloty słomy stosuje się w budownictwie od ponad stu lat, rozwój prefabrykowanych systemów to stosunkowo nowa koncepcja. Współczesne budynki i ich części składowe muszą spełniać normy dotyczące nośności, odporności na ogień, izolacyjności termicznej, akustycznej itp. Bez spełnienia tych kryteriów, innowacyjne technologie wykorzystujące baloty słomy nie znajdują zastosowania w nowoczesnym budownictwie.

3. Badania brytyjskiego Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych BRE

Wpływ branży budowlanej na środowisko jest ogromny. Ocenia się, że na całym świecie produkcja cementu odpowiada za 10% emisji dwutlenku węgla w przemyśle. Zadaniem Centrum Badań i Rozwoju Innowacyj-

nych Materiałów Budowlanych (British Research Establishment Centre for Innovative Construction Materials – BRE) na Uniwersytecie w Bath są badania alternatywnych, niskoemisyjnych technologii i materiałów budowlanych stosowanych obecnie w przemyśle budowlanym. Naukowcy prowadzą badania nad innowacyjnym zastosowaniem tradycyjnych materiałów oraz rozwojem niskoemisyjnych cementów i betonów w celu zmniejszenia wpływu budownictwa na środowisko naturalne. Naukowcy z Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych (BRE) opracowują także nowe sposoby wykorzystania drewna i innych materiałów pochodzenia organicznego takich jak paździerz konopne, włókna organiczne i balotowana słoma. Oprócz zmniejszenia wpływu na środowisko naturalne, materiały budowlane mają bardzo dobrą izolacyjność termiczną i zdolność do naturalnej regulacji poziomu wilgotności powietrza.

Zdaniem naukowców to właśnie słoma jest optymalnym ekologicznym materiałem budowlanym, ponieważ jest zarówno odnawialna, jak też jest produktem ubocznym produkcji rolnej. Słoma może pochodzić z lokalnych upraw, ponieważ absorbuje dwutlenek węgla w trakcie wzrostu, zatem wykonane z niej budynki mogą być postrzegane, jako zero-, a nawet minusemisyjne. Ponadto, wysokie właściwości izolacyjne pozwalają utrzymać niskie koszty eksploatacji minimalizując w ten sposób wpływ na środowisko. W ocenie zespołu badawczego Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych (BRE) zastosowanie w szerszym zakresie balotów słomy i paździerzy konopnych w budownictwie mieszkaniowym może odegrać znaczącą rolę w redukcji emisji dwutlenku węgla. Badania prowadzone na Uniwersytecie w Bath potwierdziły wydajność prefabrykatów wykorzystujących ww. materiały. W celu przeprowadzenia doświadczeń wybudowano dwa eksperymentalne budynki: dwukondygnacyjny BaleHaus, wykorzystujący baloty słomy i parterowy HemPod z zastosowaniem wapna konopianego. W budynku BaleHaus zastosowano modułowe prefabrykaty produkowane przez firmę ModCell składające się z drewnianej ramy strukturalnej wypełnionej balotami słomy lub paździerzami konopnymi z zaprawą wapienną, otynkowanymi paroprzepuszczalnym tynkiem wapiennym.

4. Prefabrykowane panele ModCell

Typowy panel ModCell zastosowany w budynku BaleHaus ma wymiary 320 x 300 x 50 cm i wagę około 1600 kg [3]. Zbudowany jest z grubych na 10 cm elementów z laminowanego poprzecznie drewna (*cross-laminated timber*) tworzących sztywną ramę. Rama wypełniona jest balotami słomy ustabilizowanymi, co drugą warstwę, drewnianymi kołkami. Słoma jest wstępnie skompresowana, aby zapobiec osiadaniu w przyszłości, zaś sama rama wzmocniona jest gwintowanymi prętami ze stali nierdzewnej w pionie oraz w narożnikach, co zapewnia jej sztywność. Po zainstalowaniu przewodów elektrycznych pane-



Fot. 1. Wypełnianie prefabrykowanych paneli ModCell balotami słomy [4]



Fot. 2. Prefabrykowane panele ModCell wypełnione balotami słomy [4]

le przekrywane są trzema warstwami tynku wapiennego i dostarczane na budowę.

W celu zminimalizowania transportu i ochrony przed deszczem nieotynkowanych balotów słomianych, panele ModCell zmontowane zostały w zadaszonym budynku gospodarczym zlokalizowanym sześć kilometrów od kampusu Bath. Prefabrykowane panele ModCell produkowane są w różnych wymiarach i umożliwiają instalację drzwi oraz okien.

Typowy prefabrykat ModCell o wymiarach 320 x 300 x 50 cm waży 1600 kg, z czego:

- skompresowane baloty słomy – 600 kg,
- drewniany szkielet – 200 kg,
- stal zbrojeniowa, mocowanie śrubowe i kołki drewniane – 20 kg,
- tynk wapienny – 780 kg.

Prefabrykaty ModCell mogą stanowić konstrukcję nośną budynków do wysokości 3 kondygnacji. Powyżej tej wysokości, panele muszą być montowane do niezależnej konstrukcji.

Czas realizacji potwierzonego zamówienia wynosi 16 tygodni. Produkcja paneli ModCell nie odbywa się w żadnym centralnym zakładzie, najczęściej panele są prefabrykowane w wynajętych halach 3–15 kilometrów od placu budowy ze słomy pozyskanej od lokalnych rolników. Po-

zwala to ograniczyć konieczność transportu wielkogabarytowych elementów, obniżyć emisję CO₂ i znacząco zmniejszyć koszty budowy.

Do montażu paneli na placu budowy wymagany jest dźwig lub podnośnik teleskopowy oraz rusztowanie. Panele mogą być zamontowane w ilości 4 na godzinę. Typowy dom jednorodzinny z 3 sypialniami może być wzniesiony w przeciągu 2 dni. Nałożenie ostatniej warstwy tynku odbywa się w późniejszym terminie.

4.1 ModCell – minimalna emisja CO₂

Produkcja materiałów budowlanych i budowa konwencjonalnej ściany wiąże się z emisją 100 kg CO₂/m². Emisja CO₂ związana z produkcją i budową prefabrykowanego panelu Modcell wynosi około 34 kg (3,5 kg CO₂/m²). Zastosowanie paneli daje zatem oszczędność około 96,5 kg CO₂ na metrze kwadratowym ściany. W typowym domu jednorodzinym powierzchnia ścian wynosi około 150–200 m², daje to możliwość zaoszczędzenia ponad 19 ton CO₂. Budowa ścian z balotów słomy ze względu na bardzo dobrą izolację termiczną pozwala zaoszczędzić od 2 do 4 ton CO₂ rocznie na ogrzewaniu. Zakładając, że okres użytkowania obiektu wynosić będzie 60 lat, daje to całkowitą oszczędność 120–240 ton CO₂ [3]. Udział budownictwa jednorodzinnego wykorzystującego materiały izolacyjne ze słomy na poziomie 0,1% w roku 2011 (ok. 200 budynków) mógłby ograniczyć emisję CO₂ aż o 50 000 ton.

Biorąc pod uwagę zjawisko sekwestracji, zawartość dwutlenku węgla w panelach ModCell jest wręcz negatywna. Typowy panel ModCell o wymiarach 3 x 3,2 m to równowartość 1400 kg z atmosferycznego CO₂ zamkniętego w słomie i drewnie. Eksperymentalny dwupiętrowy budynek BaleHaus posiada 34 tony dwutlenku węgla „uwięzione” w materiałach budowlanych.



Fot. 3. Montaż prefabrykowanych paneli na budowie [5]

4.2. Odporność ogniowa balotów ze słomy

Baloty słomy są szczelnie przykryte tynkiem wapiennym. Słoma we wnętrzu panelu jest ściśnięta i zbita. Tworzy

w ten sposób praktycznie bezpowietrzne środowisko, co zapewnia bardzo dobrą odporność ogniową. Panele ModCell posiadają certyfikat odporności ogniowej na 2 godziny, co dwukrotnie przekracza wymagania brytyjskiego prawa budowlanego. W laboratoriach Uniwersytetu w Bath prefabrykowany panel poddany został przez 2 godziny i 15 minut próbie ogniowej o temperaturze powyżej 1000°C. Zniszczenie tynku wapiennego przykrywającego panel nastąpiło po 90 minutach. Odstońnięte baloty słomy były wystawione na działanie ognia przez kolejne 45 minut, czego rezultatem było zwęglenie słomy [5].



Fot. 4.
Prefabrykowany panel ModCell poddany próbie ogniowej [5]

4.3. Zabezpieczenie przed gryzoniami

Słoma zawiera bardzo mało wartości odżywczych i sama w sobie nie budzi zainteresowania szkodników. Izolacja trzema warstwami tynku wapiennego o własnościach aseptycznych oraz duża gęstość skompresowanej słomy bardzo ogranicza ryzyko pojawienia się intruzów. Inwazja gryzoni może nastąpić tylko w sytuacji, kiedy panel został uszkodzony i słoma wewnątrz panelu została odstońnięta. Panele ModCell wypełnione wapnem konopianym tworzą z kolei monolityczną strukturę niedostępną dla szkodników.

4.4. Zabezpieczenie przed gniciem, pleśnią

Organiczny charakter słomy umożliwia jej rozkład w warunkach zaistnienia określonych warunków termicznych i wilgotnościowych [2]. Panele ModCell są paroprzepuszczalne, tworzą zatem „oddychającą” przegrodę budowlaną, co zapobiega gromadzeniu się wilgoci. Jednak w przypadku wysokiego poziomu wilgotności powietrza, mogą zaistnieć warunki powodujące gnienie. Badania wykazały, że rozkład słomy następuje w sytuacji kiedy jej wilgotność przez dłuższy czas przekracza 25% [6]. W celu zapewnienia marginesu bezpieczeństwa przyjęto, że zawartość wilgoci w słomie nie powinna przekraczać 20%. Paroprzepuszczalność tynku wapiennego pozwala na regulację poziomu wilgoci wewnątrz panelu poprzez oddawanie nadmiaru pary wodnej do otoczenia, uniemożliwiając rozkład słomy. Badania naukowców z Uni-

wersytetu w Bath wykazały, że zawartość wilgoci w słomie w panelach ModCell zmienia się na przestrzeni doby i wynosi średnio 15%, co nie stanowi zagrożenia dla materiału. Z kolei silny odczyn zasadowy wapna, niska zawartość wilgoci i znikoma wymiana powietrza nie sprzyjają rozwojowi mikroobów i owadów.

4.5 Izolacja termiczna

Wartości współczynnika U podawane przez producenta zależą od rodzaju płyt i wynoszą odpowiedni 0,13 W/m²K dla panelu wypełnionego balotami słomy i 0,14 W/m²K dla panelu wypełnionego wapnem konopianym [3]. Badania Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych (BRE) wykazały, że współczynnik przenikania ciepła uwzględniający mostki cieplne (U_k) wynosi około 0,178 W/m²K. [7]

W opinii naukowców panele ModCell to optymalna kombinacja masy termicznej i izolacji termicznej. Panele wypełnione wapnem konopianym mają większą masę termiczną niż te wypełnione kostkami słomy. Masa ścian w obu rodzajach paneli zapewnia 12-godzinne opóźnienie termiczne, które jest optymalne dla większości zastosowań.

4.6 Trwałość

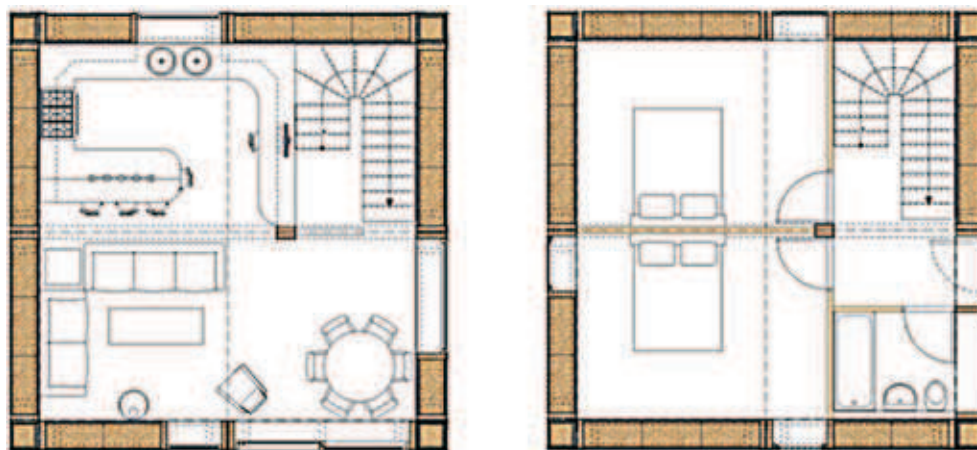
Na chwilę obecną na świecie istnieją tysiące budynków wybudowanych z balotów słomy, z których niektóre mają ponad 100 lat. W ocenie firmy ModCell, trwałość prefabrykowanych paneli jest w pełni wystarczająca dla budownictwa jednorodzinnego, w którym faza użytkowa wynosi 50–60 lat. Po zakończeniu użytkowania budynku prefabrykaty mogą być łatwo zdemontowane i zastosowane ponownie. Słoma, konopie i drewno to materiały biodegradowalne, które mogą być zastosowane także jako surowiec energetyczny. Wapno może być zastosowane ponownie do wykonania tynków. Wszystkie elementy metalowe mogą być odzyskane i poddane recyklingowi.

5. Eksperymentalny budynek BaleHaus

BaleHaus w Bath (fot. 1) jest pierwszym zrealizowanym budynkiem, w którym do budowy ścian nośnych budynku w całości zastosowano prefabrykowane panele ModCell wypełnione kostkami słomy. BaleHaus to pełnowymiarowy, dwupiętrowy budynek o powierzchni użytkowej 71 m². Obiekt został zbudowany latem 2009 roku na terenie kampusu Uniwersytetu Bath w Wielkiej Brytanii w ramach projektu badawczego finansowanego przez Technology Strategy Board (TSB).

Z uwagi na zapewnienie łatwego dostępu do budynku, wejście do budynku znajduje się od wschodniej strony. Od północy budynek jest osłonięty drzewami. Zastosowanie dużych otworów okiennych i drzwiowych zapewnia optymalne doświetlenie wnętrza. Budynek doskonale wpisuje się w kontekst otoczenia kampusu uniwersyteckiego.

Fot. 5.
Rzuty kondygnacji
eksperymentalnego
budynku
BaleHaus [4]



Ściany wykonane są z opisanych wcześniej prefabrykowanych paneli modułowych ModCell. Wielkoformatowe elementy budowlane, z których zbudowany jest dach oraz strop wykonane są z drewna klejonego. Drewno jest wytrzymałym, trwałym i niskoenergetycznym materiałem budowlanym. Niezaprzeczalnym atutem drewna jest absorpcja dwutlenku węgla z atmosfery. Poza tym drewno może być łatwo ponownie zastosowane, przetworzone lub poddane biodegradacji po zakończeniu fazy użytkowej budynku. Pokrycie dachu to jednowarstwowa powłoka bitumiczna. Membrana może być ponownie wykorzystana w innym projekcie, po rozbiórce budynku. W projekcie przyjęto następujące współczynniki przenikalności termicznej przegród Uk:

- Ściana zewnętrzna 0,19 W/m²K
- Podłoga 0,23 W/m²K
- Dach 0,16 W/m²K
- Typowe okno 1,3 W/m²K

6. Badania eksperymentalnego budynku BaleHaus

Zespół badawczy Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych (BRE) prowadził



Fot. 6. Eksperymentalny budynek BaleHaus na kampusie uniwersyteckim w Bath [4]

2-letni monitoring budynku. Szczegółowym badaniom poddana została izolacyjność termiczna przegród, wydajność energetyczna budynku i wilgotność słomy ukrytej w prefabrykowanych panelach ściennych. Wewnątrz paneli zainstalowano 66 bezprzewodowych czujników rejestrujących poziom wilgotności względnej i temperatury, kolejnych 9 czujników monitorowało warunki w połączeniach płyt. Dodatkowych 12 czujników bezprzewodowych zamontowanych zostało wewnątrz domu. Zebrane dane posłużyły do opracowania charakterystyki energetycznej obiektu [7].



Fot. 7. Wnętrze eksperymentalnego budynku BaleHaus [4]

Przeprowadzono także badania przewodności cieplnej próbek słomy o różnych gęstościach. Podobnie jak w przypadku większości materiałów budowlanych, pojawiła się niedokładność wynikająca z wpływu temperatury, zawartości wilgoci i niejednorodnej gęstości materiału. Na podstawie zebranej wiedzy naukowej i danych doświadczalnych balotów słomy stosowanych w budownictwie przyjęto reprezentatywną przewodność cieplną słomy o wartości 0,064 W/mK. Badania wykazały, że współczynnik przenikania ciepła (Uk) uwzględniający mostki cieplne dla całego prefabrykatu ModCell wynosi 0,178 W/m²K [8].

Próba szczelności przeprowadzona w eksperymentalnym budynku BaleHaus wykazała szczelność na poziomie $0,86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ przy ciśnieniu 50 Pa [7].

Przeprowadzono także eksperyment wytrzymałości struktury budynku na wiatr o prędkości 150 km/h . Obciążenie wiatrem było symulowane za pomocą podnośników hydraulicznych o łącznej sile naporu przekraczającej 4 tony , co odpowiada dynamicznej sile huraganu. Testy wykazały przesunięcie ścian o nie więcej niż 4 milimetry przy szczytowym obciążeniu.

Badania wykazały, że roczne zapotrzebowanie na ogrzewanie dla budynku wynosi $39,7 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Wynik ten ma związek ze stratami ciepła przez okna, które są najślabszymi termicznie miejscami w budynku. W BaleHaus zastosowano stolarkę okienną o wartości współczynnika $U \text{ } 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Symulacje pokazały, że zastosowanie okien o $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ pozwoliłoby zredukować roczne zapotrzebowanie na ogrzewanie o prawie $10\text{--}30 \text{ kWh}/\text{m}^2$ [7].

7. Podsumowanie

Uniwersytet w Bath stanowi światową czołówkę w badaniach nad innowacyjnymi technologiami budowlanymi ograniczającymi zużycie energii i emisję CO_2 . Budowa eksperymentalnego obiektu BaleHaus stała się możliwa dzięki partnerstwu badawczemu Centrum Badań i Rozwoju Innowacyjnych Materiałów Budowlanych (BRE), wsparciu producentów materiałów budowlanych i finansowaniu Technology Strategy Board.

Innowacyjny system prefabrykowanych paneli ModCell z wypełnieniem kostkami słomy lub wapnem kopnianym pozwala na realizację budynków o dużej izolacyjności termicznej i niskich kosztach ogrzewania. Dalsze badania nad eksperymentalnym budynkiem zrealizowanym na Uniwersytecie w Bath pozwolą sformułować wnioski i wytyczne dla rozwoju brytyjskiego niskoenergetycznego i niskoemisyjnego budownictwa mieszkaniowego w Wielkiej Brytanii. Posłużą także do opracowania metod budowy estetycznych, niedrogich i trwałych domów wykonanych z naturalnych i odnawialnych materiałów budowlanych.

Zaprezentowany w artykule budynek stanowi niezbitą dowód, że możliwa jest realizacja nowoczesnego budownictwa jednorodzinne z odnawialnego surowca, jakim jest słoma. Wyniki badań wskazują, że wykorzystanie balotów słomy do izolacji termicznej budynku pozwala uzyskać wysoki poziom efektywności energetycznej budynku. Niezaprzeczalnym atutem materiałów pochodzenia organicznego jest sekwestracja dwutlenku węgla w trakcie wzrostu upraw rolnych. Stosowanie materiałów budowlanych na bazie słomy i innych odnawialnych surowców może radykalnie obniżyć emisję CO_2 w sektorze budownictwa. Jest także szansą na zaangażowanie sektora rolnictwa w polityce mieszkaniowej kraju i rozwój obszarów wiejskich poprzez stworzenie nowych miejsc pracy.

Koncepcja budynków mieszkalnych zbudowanych z odnawialnych materiałów to doskonała propozycja dla użytkowników pragnących żyć w sposób ekologiczny i zrównoważony, przy jednoczesnym zachowaniu komfortowego stylu życia. Polska posiada nadwyżki słomy przekraczającej $10\text{--}12 \text{ mln ton}$ rocznie [1], są to zasoby wystarczające do budowy ponad 2 milionów budynków typu BaleHaus.

Budownictwo ze słomy od dawna jest obecne na zachodzie Europy. W samej Francji istnieje ponad 700 tego rodzaju budynków, natomiast w Niemczech oraz Austrii ponad 100 . Taki stan rzeczy wiąże się z istnieniem ośrodków badawczych, odpowiedzialnych za regulacje prawne oraz organizacjami, które popularyzują wiedzę wśród inżynierów oraz inwestorów. W Polsce jesteśmy aktualnie świadkami znacznego wzrostu zainteresowania techniką wznoszenia budowli z użyciem kostek słomy, jednak działania te najczęściej podejmowane przez entuzjastów, mają charakter nieprofesjonalny. Do tej pory powstało kilkanaście obiektów w tej technologii, w tym budynki mieszkalne. Pierwszym polskim budynkiem ze słomy jest obiekt gospodarczy we wsi Przełomka na Suwalszczyźnie, który funkcjonuje do dziś jako domek agroturystyczny.

Realizacja budynków z naturalnych materiałów budowlanych zgodnych z wymaganiami przepisów technicznych może doprowadzić do osiągnięcia 70% redukcji zużycia energii pierwotnej i emisji CO_2 w budownictwie jednorodzinne [7]. Stanowi to wyzwanie, ale i obiecującą szansę dla projektantów i wykonawców. Certyfikacja i dostosowanie do wymogów norm technicznych innowacyjnych wyrobów budowlanych powstałych z lokalnych, naturalnych i odnawialnych surowców pozwoliłoby na ich szerokie zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym. W znaczący sposób może przyczynić się to do realizacji krajowych i międzynarodowych zobowiązań redukcji emisji CO_2 oraz poprawy efektywności energetycznej budynków.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Kwaśniewski D., Ocena produkcji i potencjalnych możliwości wykorzystania słomy do celów grzewczych na przykładzie powiatu żywieckiego, Inżynieria Rolnicza $6(104)/2008$
- [2] Minke G., Mahlke F., Building with Straw, Berlin, 2005
- [3] www.modcell.com
- [4] www.bath.ac.uk/features/balehaus
- [5] Beadle K., BaleHaus: Impact of research on low-carbon housing, BRE Centre for Innovative Construction Materials, 2009
- [6] Wihan J., Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw, University of East London, 2007
- [7] Shea A., Wall K., Walker P., Dynamic simulation and full-scale testing of a pre-fabricated straw-bale house, BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, 2009
- [8] Shea A., Wall K., Walker P., Evaluation of the thermal performance of an innovative prefabricated natural plant fibre building system BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, 2012