

## **WYBRANE PROBLEMY BUDOWNICTWA ZE SŁOMY**

**Paweł NOSZCZYK, Łukasz NOWAK, Anna PESZEK, Anna RUMIJOWSKA**

*Politechnika Wroclawska, Zaklad Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania,  
Wybrzeze St. Wyspianskiego 27, 50-370Wroclaw,  
e-mail: pawel.noszczyk@pwr.edu.pl, lukasz.nowak@pwr.edu.pl, anna.peszek@pwr.edu.pl, anna.rumijowska@pwr.edu.pl*

**Streszczenie:** Nowoczesne budownictwo ze słomy jest odnowionym sposobem wykorzystania tego naturalnego materiału jako budulec ścian w domach jednorodzinnych. Użycie słomy, jak każdego materiału budowlanego, wymaga odpowiedniego podejścia, aby w efekcie można było bezproblemowo eksploatować budynek. W artykule przedstawiono wybrane problemy związane z tego typu technologią.

**Słowa kluczowe:** budownictwo ekologiczne, budynki ze słomy, mostki termiczne, diagnostyka termowizyjna.

### **1. ROZWÓJ BUDOWNICTWA ZE SŁOMY W POLSCE I NA ŚWIECIE**

Słoma jako materiał budowlany znana jest od tysiącleci, jednak dopiero wynalezienie w XIX w. prasy do słomy spowodowało, że zaczęła być używana jako materiał konstrukcyjny w formie kostek słomianych. Zarówno po I jak i po II wojnie światowej powstawały budynki ze słomy (były to przede wszystkim obiekty gospodarcze, mieszkalne i użyteczności publicznej), jednak nie udało się wdrożyć tej technologii na szeroką skalę.

Obecnie nadal nie jest to powszechnie stosowana technologia, choć zyskuje coraz większą popularność. Wiąże się to z proekologiczną polityką państw oraz ogólną tendencją do życia bliższego naturze, będącą przeciwieństwem „sztucznego i niezdrowego” stylu życia. Słoma będąca materiałem naturalnym, pochodzenia roślinnego jest całkowicie biodegradowalna i prosta w produkcji, przez co jej wykorzystanie wpływa na zmniejszenie energochłonności w sektorze budownictwa mieszkaniowego. Może stać się odpowiedzią na wyzwania dotyczące zmniejszenia zużycia energii w procesie realizacji budynków oraz w trakcie ich eksploatacji. Domy ze słomy wpisują się w założenia budownictwa zrównoważonego. Słoma jest materiałem pochodzącym ze

źródeł odnawialnych, niskoemisyjnym i dość powszechnie dostępnym w całej Polsce. Rozpowszechnienie tej technologii daje szanse na rozwój wsi i prowincji.

Najpopularniejszą metodą wznoszenia obiektów ze sprasowanych kostek słomy jest *straw-bale*. W tym rozwiązaniu konstrukcję nośną stanowi słupowo-ryglowy szkielet drewniany, który wypełniany jest kostkami słomy o gęstości objętościowej w zakresie 80÷100 kg/m<sup>3</sup> [2]. Słoma może być prasowana bezpośrednio na polu po zbiorach lub też na miejscu budowy. Przegrody następnie tynkuje się z dwóch stron tynkami glinianymi lub wapiennymi o grubości kilku centymetrów.

Zdecydowanym liderem, jeśli chodzi o popularyzację technologii *straw-bale* są Stany Zjednoczone, które w latach 90. XX w. zdecydowanie zwiększyły ilość realizacji obiektów wznoszonych ze słomy. Ciekawym przykładem może być program ekonomii społecznej Navajo Project [7]. Osoby uzależnione od alkoholu zostały zatrudnione do budowy domów socjalnych ze słomy, w których po zakończeniu budowy zamieszkiwały.

USA są też przykładem państwa, które jako jedno z pierwszych posiadało uregulowania prawne dotyczące *straw-bale* [11]. W Wielkiej Brytanii patent na wykonywanie prefabrykowanych paneli wypełnionych słomą (MODCELL), które uzyskały aprobatę techniczną, posiada wyłącznie Uniwersytet Techniczny w Bath [13].

W Niemczech powstało Narodowe Stowarzyszenie Budownictwa z Kostek Słomy (FASBA) [11], które promuje tę technologię i zrzesza osoby zainteresowane budowaniem domów ze słomy. FASBA uczestniczyła w działaniach nad uregulowaniem prawnym tego obszaru budownictwa oraz w opracowaniu specyfikacji technicznej słomy i wyrobów budowlanych ze słomy. Podobnie we Francji zostały opracowane krajowe normy branżowe dla słomy, prawomocne od 1 stycznia 2012 r. [7]. Innymi

krajami w Europie, w których działają zrzeszenia pasjonatów budownictwa ze słomy są: Szwajcaria, Austria, Czechy, Słowacja, Holandia, Belgia, ale także Włochy, Portugalia, Hiszpania, a nawet Łotwa, Norwegia i Szwecja. Poza tym budownictwo to cieszy się też popularnością w Australii [7].

W Polsce obserwuje się szybki rozwój oraz profesjonalizację tej technologii. Do roku 2011 powstało ponad 30 budynków ze słomy [4]. Zostały powołane liczne organizacje, które zajmują się promowaniem, szkoleniem, projektowaniem i zrzeszaniem ludzi zainteresowanych budownictwem naturalnym. Do najpopularniejszych należą: Grupa Cohabitat, Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego, Stowarzyszenie Biobudownictwa, czy też Earth, Hands and Houses.

Obecnie w Polsce nie ma uregulowań prawnych, które pozwoliłyby na masowe wykorzystanie technologii *straw-bale* w budownictwie. Pozwolenia na budowę wydawane są w oparciu o artykuł 10 ustawy o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz. U. z 2004 r. Nr 92, poz. 881), który dopuszcza wyrób do jednostkowego zastosowania.

## 2. SŁOMA JAKO MATERIAŁ BUDOWLANY

Słoma charakteryzuje się stosunkowo dobrą izolacyjnością termiczną, dzięki czemu możliwe jest wykonanie w technologii *straw-bale* budynków o niewielkim zużyciu energii na cele grzewcze, w tym nawet budynków o standardzie pasywnym. Właściwości termiczne sprasowanych kostek słomy zależą od ich gęstości oraz kierunku przepływu strumienia ciepła w stosunku do włókien. Wg niemieckiej aprobaty technicznej Z-23.11-1595 z 2009 r. [1] współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  wynosi 0,080 W/(mK) dla kostek sprasowanej słomy o gęstości z przedziału 85÷115 kg/m<sup>3</sup> i kierunku strumienia ciepła równoległym do włókien. Wg tej samej normy współczynnik  $\lambda = 0,052$  W/(mK) dla włókien prostopadłych do strumienia ciepła, jednak taka orientacja kostek słomy nie dotyczy technologii *straw-bale*. Badania laboratoryjne zebrane w [1] umieszczają wartości współczynnika przewodzenia ciepła w przedziale 0,030÷0,118 W/(mK).

Słoma jako materiał organiczny jest podatna na szybką degradację biologiczną, która jest następstwem rozwoju pleśni i grzybów. Trwałość przegród wykonanych ze sprasowanych kostek słomy uzależniona jest od rozkładu wilgotności i temperatury wewnątrz przegrody, jak i czasu trwania zawilgocecia. Wg [1] ryzyko rozwoju pleśni pojawia się już w przypadku wystąpienia wewnątrz przegrody wilgotności względnej powyżej 70%.

Słoma jest materiałem paroprzepuszczalnym, charakteryzującym się współczynnikiem oporu dyfuzyjnego pary wodnej  $\mu = 2$  [9]. Ze względów wilgotnościowych

konieczny jest odpowiedni dobór tynków zgodnie z zasadą większego oporu dyfuzyjnego po stronie wewnętrznej. Tynk zewnętrzny powinien charakteryzować się wysoką paroprzepuszczalnością ( $s_d \leq 0,1$  m wg [8]), aby w przypadku dostania się pary wodnej do konstrukcji możliwa była jej migracja na zewnątrz przegrody. Tynk wewnętrzny należy wykonać jako warstwę paroszczelną ( $s_d > 2$  m wg [8]) w celu ograniczenia wnikania wilgoci do wnętrza przegrody. Natomiast opracowanie [9] podaje łagodniejsze wytyczne:  $s_d \leq 0,5$  m dla tynku zewnętrznego i  $s_d \geq 0,1$  m dla tynku wewnętrznego. Wymogi te mogą zostać osiągnięte przy zastosowaniu wewnętrznego tynku glinianego grubości 3 cm ( $s_d = 0,3$  m) i zewnętrznego tynku wapiennego grubości 3 cm ( $s_d = 0,45$  m). Należy jednak pamiętać, że podane wartości są odpowiednie dla klimatu niemieckiego i w naszych warunkach klimatycznych mogą wymagać zmian.

Ważne jest także zapewnienie szczelności warstw powierzchniowych, aby zminimalizowany był dostęp tlenu do wnętrza przegrody, ze względu na przyspieszanie przez niego procesów biodegradacji.

Ze względu na możliwość rozwoju pleśni podczas procesu wysychania słomy należy zwrócić szczególną uwagę na początkową wilgotność materiału, która powinna być jak najmniejsza oraz na wykonanie kostek ze słomy dobrej jakości, nie zainfekowanej chorobami, bez śladów rozwoju pleśni.

Konieczne jest zabezpieczenie przegród przed opadami atmosferycznymi poprzez stosowanie wysuniętych okapów lub zewnętrznej fasady wentylowanej. Ważne jest także zastosowanie izolacji przeciwwodnych poziomych zapobiegających kontaktowi wody gruntowej z przegrodami. Dodatkowo wskazane jest stosowanie wysokich podmurówek. Wg [5] niedostateczne zabezpieczenie przegród wykonanych z kostek słomy od wpływów atmosferycznych, w tym przede wszystkim od opadów, powoduje wystąpienie wysokiego ryzyka rozwoju pleśni wewnątrz przegrody. Symulacje przeprowadzone, przez autorów artykułu [5], dla ściany wykonanej ze sprasowanych kostek słomy o grubości 35cm z dwoma warstwami tynku glinianego grubości 3 cm, zabezpieczonej przed opadami atmosferycznymi, wykazały, że może w niej dochodzić do kondensacji, a w konsekwencji do lokalnego rozwoju pleśni.

Środowisko wilgotnościowe wewnątrz przegrody jest zmienne na wysokości ściany, a także po jej grubości [3]. Konieczne jest więc wyznaczenie miejsc zwiększonego ryzyka wykraplania się wilgoci w przegrodzie i ich monitorowanie. Badania przeprowadzone na budynku wykonanym w technologii *straw-bale* położonym w Japonii [3] wykazały, że miejscami szczególnie narażonymi na rozwój pleśni są zewnętrzna górna część ściany zewnętrznej oraz wewnętrzny narożnik przy połączeniu ściany zewnętrznej z podmurówką. Jednakże w zależności

od rozwiązań konstrukcyjnych połączeń elementów budynku miejsca zwiększonej kondensacji pary wodnej mogą występować w innych lokalizacjach.

W przypadku budynków wykonanych w technologii *straw-bale* zastosowanie w przegrodach stosunkowo grubych warstw tynków zabezpiecza konstrukcję przed działaniem ognia, dzięki czemu budynek cechuje się odpornością ogniową rzędu od 30 do nawet 90 minut w zależności od grubości tynku [1]. Należy jednak pamiętać, iż sprasowane kostki słomy bez zabezpieczenia w postaci tynku nie są odporne na działanie ognia, przez co konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności w czasie wznoszenia budynku.

Atutem przegród wykonanych w technologii *straw-bale* jest ich wysoka izolacyjność akustyczna. W przykładzie przedstawionym w [9] dla ściany z kostek słomy grubości 36 cm obustronnie otynkowanej wartość wskaźnika izolacyjności akustycznej  $R_{w,R}$  wyniosła 43 dB. W zależności od konstrukcji przegrody wartość ta jest zmienna, przez co przy zwiększeniu grubości poszczególnych warstw można uzyskać lepsze parametry akustyczne.

Teoretycznie wykorzystanie tanich materiałów naturalnych, powszechnie dostępnych, jakimi są słoma i glina, mogłoby się przyczynić do zmniejszenia kosztów wzniesienia budynku. Jednakże wg [4] nie należy zakładać znacznych oszczędności w porównaniu do budynków konwencjonalnych, czego powodem jest słabe rozpowszechnienie tej technologii, czy też konieczność wykonania droższej konstrukcji ścian (szkielet drewniany), a także wysokie nakłady robocizny. Problemem może być również znalezienie firmy wykonawczej z doświadczeniem w pracy z tym materiałem. Można przewidywać, że wraz z wzrostem popularności budownictwa *straw-bale* pojawi się na rynku więcej wyspecjalizowanych firm, zapewniających wysoką jakość wykonania budynku.

Istotną trudnością pojawiającą się podczas wznoszenia budynków z kostek słomy jest uzależnienie procesu budowlanego od warunków pogodowych. Ze względu na konieczność ochrony słomy przed zawilgoceniem, nie można wykonywać prac w czasie trwania opadów atmosferycznych.

### 3. OPIS ANALIZOWANEGO BUDYNKU

Budynek parterowy, mieszkalny, o powierzchni  $A_f = 225 \text{ m}^2$ , wykonany w technologii *straw-bale*, zlokalizowano we wsi Piskórką pod Warszawą. Wygląd budynku w kolejnych etapach budowy pokazują rys.1, rys.2 i rys. 3.



Rys. 1. Drewniana konstrukcja szkieletowa budynku [14].  
Fig. 1. Timber frame structure of the building [14].



Rys. 2. Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy [14].  
Fig. 2. Timber frame filled with straw bales [14].



Rys. 3. Częściowo nałożony tynk gliniany [14].  
Fig. 3. Partially placed clay plaster [14].

Ściany zewnętrzne są oparte o drewniany szkielet nośny, umieszczony przy wewnętrznej powierzchni przegrody. Szkielet ten wypełniono kostkami słomy, a następnie obustronnie otynkowano tynkiem glinianym. Wyniesienie zasadniczej części ściany zewnętrznej (część słomiana) ponad powierzchnię terenu wynosi około 0,5 m. Dach wykonano z prefabrykowanych wiązarów drewnianych. Ściana fundamentowa wykonana jako betonowa, w części cokołowej dodatkowo obłożona cegłą pełną. Posadzkę na gruncie zaizolowano warstwą gliny lekkiej.

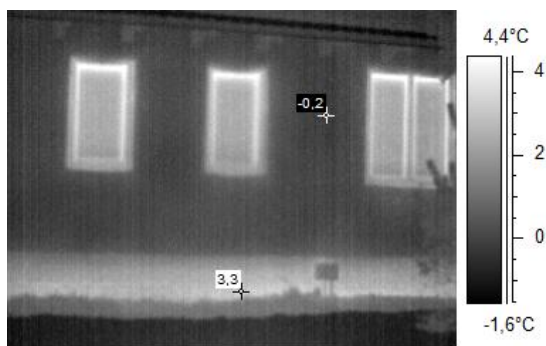
#### 4. ZAOBSERWOWANE PROBLEMY

Podczas budowy budynku zwrócono uwagę na wykonany detal połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie. Miejsce to, z uwagi na swoje rozwiązanie materiałowo-konstrukcyjne (brak ciągłości izolacji cieplnej ściany budynku a podłogą na gruncie), może spowodować wystąpienie mostka cieplnego. Budowę ściany cokołowej pokazano na rys.4. Widoczna jest na nim drewniana podwalina oparta na betonowej ścianie fundamentowej oraz warstwa licowa z cegły pełnej.



Rys. 4. Konstrukcja ściany cokołowej [14].  
Fig. 4. Plinth wall construction [14].

Przeprowadzone pomiary termowizyjne w analizowanym budynku potwierdziły przypuszczenia. Zostały one wykonane za pomocą kamery FLIR P65 w lutym 2015 r. Podczas badania temperatura powietrza zewnętrznego wynosiła około 0°C, natomiast w ogrzewanym wnętrzu była utrzymywana temperatura 20°C. Pomiar kamerą IR był wykonywany w nocy przy całkowitym zachmurzeniu nieba. Wyniki przedstawiające rozkład temperatury dla ściany zewnętrznej pokazano na rys.5.

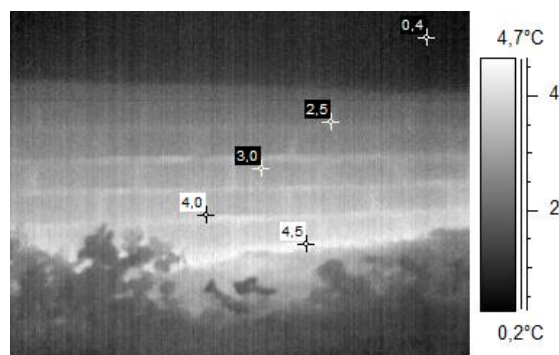


Rys. 5. Termogram ściany zewnętrznej budynku.  
Fig. 5. Thermogram of building's external wall.

Termogram ten pokazuje wyższą wartość temperatury powierzchni ceglano cokołu w stosunku do ocieplonej słomą ściany o około 3,5°C. Natomiast ściana ocieplona słomą grubości 40 cm posiada temperaturę zbliżoną do powietrza zewnętrznego, co świadczy o dobrych

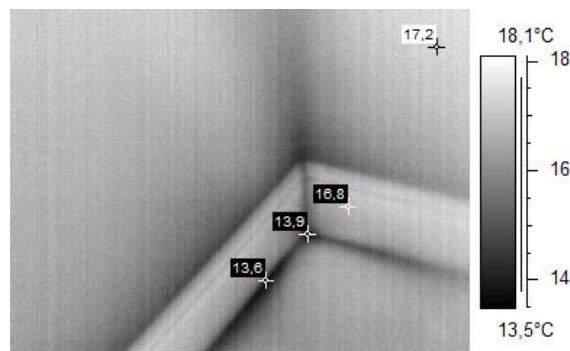
właściwościach termoizolacyjnych takiego rozwiązania. Nie ma również widocznego, lokalnego podwyższenia temperatury w miejscach występowania drewnianej konstrukcji nośnej.

Termogram przedstawiony na rys.6 pokazuje rozkład temperatur na całej wysokości cokołu oraz dolnej części ściany zewnętrznej. Dobrze zaizolowana termicznie (kostkami słomy) ściana ma temperaturę równą 0,4°C. Górna część cokołu, gdzie od wewnętrznej strony ściany znajduje się belka podwalinowa, ma temperaturę około 2,3°C, natomiast w dolnej części cokołu temperatura przekracza już wartość 4,0°C (cegła od strony licowej ściany fundamentowej).



Rys. 6. Termogram ściany cokołowej.  
Fig. 6. Thermogram of plinth wall.

Pomiar termowizyjny tego połączenia został również zarejestrowany na termogramie wykonanym od wnętrza budynku (rys.7). Temperatura powierzchni ściany wynosi ponad 17°C. Pole temperatury jest zaburzone przez szeroką listwę przypodłogową, jednak widać, że temperatura zaraz nad i pod nią, miejscami wynosi poniżej 14°C.



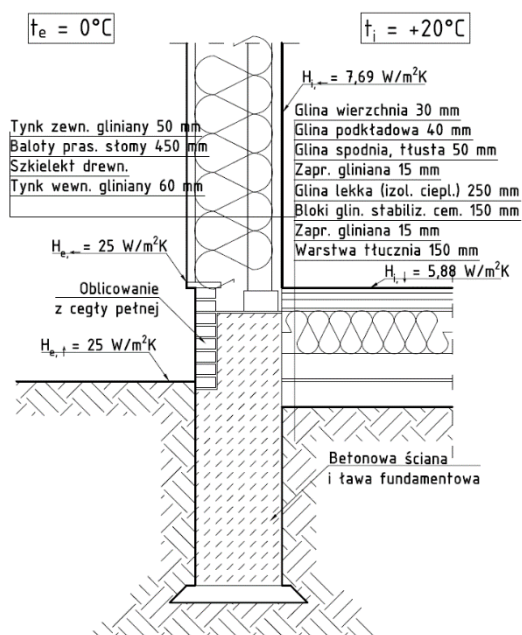
Rys. 7. Termogram naroża między ścianami zewnętrznymi a podłogą na gruncie (od wewnątrz).  
Fig. 7. Thermogram of corner between external walls and ground floor (from inside).

Stanowi to problem z uwagi na możliwość wystąpienia kondensacji powierzchniowej pary wodnej. Wychładzanie analizowanego miejsca jest prawdopodobnie konsekwencją braku izolacji w części cokołowej oraz brakiem ciągłości między termoizolacją w ścianie i w podłodze na gruncie.

Wykonane zdjęcia termowizyjne potwierdzają niepoprawne rozwiązanie projektowe detalu połączenia podłogi na gruncie ze ścianą zewnętrzną. Newralgicznym punktem widocznym na termogramie jest cokół ściany zewnętrznej oraz widoczne znaczne wychłodzenie ściany w dolnej części pomieszczeń wewnętrznych. Tak niskie temperatury na wewnętrznych powierzchniach przegród mogą skutkować dogodnymi warunkami do rozwoju pleśni, która jest wyjątkowo niebezpieczna dla konstrukcji ze słomianym wypełnieniem.

## 5. ANALIZA OBLICZENIOWA

Analizę obliczeniową złącza, przedstawionego na rys. 8, wykonano w programie Therm 7.3. Do obliczeń przyjęto materiały wg opisu projektu oraz ich parametry wg dostępnej literatury, które zestawia tabela 1. Zanim przystąpiono do analizy złącza obliczono współczynniki przenikania ciepła dla ściany zewnętrznej (jak dla przegrody niejednorodnej) –  $U_{sz} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  oraz dla podłogi na gruncie –  $U_{pg} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , bazując na literaturowych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła materiałów. Można zauważyć, że o ile ściana zewnętrzna ma wartość współczynnika  $U$  na dobrym poziomie, to podłoga na gruncie jest zdecydowanie od niej słabsza pod kątem izolacyjności cieplnej.



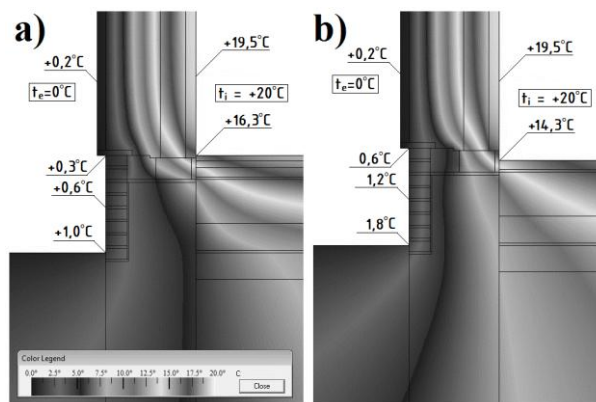
Rys. 8. Detal połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie wg projektu.

Fig. 8. Detail of designed external wall to ground floor junction

Tabela 1. Współczynnik przewodzenia ciepła dla materiałów  
Table 1. Thermal conductivity for used materials

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła
	$\lambda$ [W/(mK)]
Baloty prasowanej słomy	0,080
Bloki gliniane stabilizowane cementem	0,300
Cegła pełna	0,770
Głina lekka (izolacja cieplna)	0,300
Głina podkładowa	0,500
Głina spodnia, tłusta	0,500
Głina wierzchnia	0,950
Konstrukcja drewniana	0,160
Ława i ściana betonowa	1,700
Tynk gliniany	0,950
Warstwa tłucznia	0,900
Zaprawa cementowa	1,000
Zaprawa gliniana	0,950

Analizując wyniki przedstawione na rys.9a można zauważyć, że o ile wartości temperatur na ścianie zewnętrznej są dość zbliżone do wartości z pomiarów termowizyjnych (rys.5 ÷ 7), to już temperatury na cokole wykazują pewne rozbieżności (rzędu  $2 \div 3^\circ\text{C}$ ). Podjęto próbę ustalenia źródła rozbieżności.



Rys. 9. Obliczony rozkład temperatury: a) w detalu wg projektu, b) w detalu zbliżonym do stanu rzeczywistego.

Fig. 9. Calculated temperature distribution: a) in designed detail, b) in detail nearing its actual state.

Po pierwsze, właściciel poinformował o pewnym odstępstwie od projektu, polegającym na zamianie wykończeniowych warstw gliny w podłodze na wylewkę cementową. Po drugie, pomiary kamerą termowizyjną są też obarczone pewnym błędem (dla kamery FLIR P65 jest to wartość większa z:  $\pm 2^\circ\text{C}$  lub  $\pm 2\%$  użytego zakresu pomiarowego). Następnie, ograniczona jest dokładność modelu zbudowanego w Thermie, który nie ma możliwości uwzględnienia poprawnej wymiany ciepła w gruncie. Kolejną przyczyną różnic w temperaturach mogło być



przyjęcie zbyt optymistycznych wartości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  w modelu obliczeniowym dla warstw gliny w podłodze czy warstwy licowej z cegły, która ma kontakt z gruntem.

Na rys.9b przedstawiono wyniki z uwzględnieniem powyższych czynników w celu przybliżenia modelu do wartości pomiarowych. Dla wszystkich warstw gliny w podłodze przyjęto  $\lambda = 1,000 \text{ W/(mK)}$ . Dla trzech warstw cegły pełnej, licząc od powierzchni terenu, przyjęto  $\lambda = 0,920 \text{ W/(mK)}$ . Zamieniono również ostatnie trzy, wykończeniowe warstwy gliny na wylewkę cementową o  $\lambda = 1,000 \text{ W/(mK)}$ . Po wprowadzeniu tych zmian, temperatury na cokole zewnętrznym wzrosły od 0,3 do 0,8°C od wartości poprzednich, a od strony wewnętrznej w narożu spadły o 2°C – czyli to rozwiązanie jest bliższe pomiarom wykonanym w podczerwienu.

## 6. PODSUMOWANIE

Naturalne pochodzenie słomy i gliny predysponuje te materiały do zastosowania w budownictwie zrównoważonym. W wielu wypadkach możliwość ich lokalnego pozyskania może zdecydowanie zmniejszyć całkowity wpływ budynku na środowisko (od procesu jego powstania, poprzez użytkowanie, aż do rozbiórki).

Bardzo istotnym aspektem, w budynkach powstałych w technologii *straw-bale* i jej pochodnych, jest przestrzeganie zasad wykonania, gdyż dopuszczenie do zawilgocenia konstrukcji podczas jej wznoszenia, czy też do kondensacji międzywarstwowej podczas jej eksploatacji, prowadzi do jej degradacji.

Konieczne jest także dokładne określenie parametrów cieplnych zastosowanych materiałów. Różnice pomiędzy właściwościami projektowymi a rzeczywistymi powodują nie tylko niepoprawne obliczenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku, lecz również mogą przyczynić się do niedostatecznego zwrócenia uwagi na mostki termiczne, a przez to nieuwzględnienie ich skutków (kondensacja, ryzyko rozwoju pleśni).

Rozwiązanie zaproponowane w analizowanym detalu, z punktu widzenia fizyki budowli, jest oczywiście niepoprawne (brak izolacji ściany cokołowej, brak typowej warstwy izolacyjnej w podłodze na gruncie czy bezpośredni kontakt licówki z cegły pełnej z gruntem) stąd powinna być przeprowadzona odpowiednia analiza poprawy tego detalu.

Bardzo istotnym zagadnieniem, które pojawiło się w tym przypadku, to dobór modelu obliczeniowego tak, aby dobrze opisywał zachodzące zjawiska cieplne oraz dobór parametrów materiałowych do analizy numerycznej, aby odzwierciedlały cechy materiałów rzeczywistych. W związku z powyższym ta tematyka wymaga dalszej ewaluacji.

## SELECTED PROBLEMS OF STRAW-BALE CONSTRUCTION HOUSES

**Summary:** A renewed usage idea of straw as a wall construction material is present in straw-bale single-family houses. Like every building material, straw needs a proper design and construction approach to eliminate problems during building operation. Selected problems of straw-bale construction are presented in the paper.

### Literatura

- [1] Bernard T., Korjanic A., Bednar T. *Bautechnische, ökologische und ökonomische Grundlagen der Planung von Strohballen-Gebäuden – Literaturzusammenstellung und Analyse des thermischen Leitwertes der Gebäudehülle*. Bauphysik 36 (2014) 134-143
- [2] Googhew S., Carfrae J., De Wilde P. *Briefing: Challenges related to straw bale construction* Engineering Sustainability 163 (2010) 185-189
- [3] Holzhueter K., Itonaga K. *The hydrothermal environment and potential for mold growth within a straw bale wall*. Jour. of Asian Architecture and Building Engineering vol.9 no.2 (2010) 495-499
- [4] Jagielak M. *Strawbale Building in Poland* Ecological Architecture 2011, Kowno (2011).
- [5] Klatecki M., Otto F. *Hydrothermische und Hydrothermische Simulationen an Bauteilen mit einer Dämmung aus Strohballen*. II Deutsch-Österreichische IBSA-Konferenz (2008) 57-59
- [6] Krick B. *Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise*. Unidruckerei der Universität Kassel, Kassel 2008
- [7] 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: 13.03.2015 r.)
- [8] Deutsches Institut für Bautechnik: *Allgemeinebauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“*. Berlin 2009
- [9] Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. *Strohbaurichtlinie SBR-2014* FASBA, Verden 2014
- [10] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, *House Straw*, p.4-8, U.S. Government Printing Office, 1995
- [11] [http://fasba.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=203&Itemid=301](http://fasba.de/index.php?option=com_content&task=view&id=203&Itemid=301); (dostęp: 13.03.2015)
- [12] <http://www.dcat.net/resources/index.php>; (dostęp: 13.03.2015 r.)
- [13] <http://www.modcell.com>; (dostęp: 13.03.2015 r.)
- [14] <https://plus.google.com/photos/1019667830803567468/32/albums/5363116607276318449?banner=pwa>; (zdjęcia w serwisie Google+, dostęp: 13.03.2015 r.)