

Systemy budownictwa z drewna księżycowego

Mgr inż. Dominik Kownacki, dr hab. inż. Tomasz Błaszczński, prof. PP, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Branża budowlana ponownie zaczyna dostrzegać potencjał drewna jako budulca, przypominając sobie o dawnych tradycjach związanych z jego pozyskiwaniem, do tego nawiązuje właśnie fenomen drewna księżycowego. Stara francuska maksyma brzmi: „Miękkie drewno, gdy przybywający/twarde drewno, gdy ubywający”, co potwierdzają też leśnicy. Drewnem księżycowym określa się materiał pozyskiwany w okresie zimowym w fazie ubywającego księżyca. Wówczas charakteryzuje się ono większą wytrzymałością, większą odpornością na grzyby i insekty oraz mniejszą tendencją do pęknięcia podczas procesu suszenia, co potwierdzają badania naukowe [1].

2. Systemy budownictwa z drewna litego

Drewno jako materiał konstrukcyjny znany jest od tysięcy lat. Pierwszymi, które przychodzą na myśl, to budowle z bali. Taki system budownictwa jest niestety bardzo materiałochłonny, nie każdy pień nadaje się na element konstrukcyjny. Rozwiązaniem bardziej zrównoważonym są systemy lekkiego szkieletu drewnianego lub drewna litego spajanego. Ostatni z wymienionych dzieli się dodatkowo na:

- drewno klejone,
- drewno klejone warstwowo z fornirow LVL,
- panele LSL i PSL,
- krzyżowo warstwowane drewno CLT,
- drewno łączone na gwoździe,
- drewno łączone na kołki drewniane.

Wszystkie z wyżej wymienionych systemów pozwalają na wykorzystanie większej ilości elementów drzewa, niż budownictwo z bali. Głównym założeniem jest stworzenie materiału budowlanego z mniejszych elementów, jak deski czy forniry, redukujące liczbę powstających odpadów. Problemem z wdrożeniem budownictwa z drewna jest globalne przekonanie o jego małej odporności podczas pożaru, co nie jest prawdą. Konstrukcje w systemie lekkiego szkieletu drewnianego obudowuje się niepalnymi materiałami, drewno lite natomiast pali się w tempie zapewniającym taką samą lub lepszą odporność ogniową niż stal czy beton. Dodatkowo drewno lite spajane jest w stanie przenieść takie same obciążenia jak beton, będąc przy tym kilkukrotnie lżejszym. Decydując się na konstrukcję z drewna, wprowadza się również specyficzny dla tego materiału klimat do pomieszczeń, zwłaszcza, jeśli wybierze się system spajany na kołki drewniane. Właściwości

konstrukcji z drewna zostaną omówione na przykładzie systemu Thoma Holz100, systemu spajanego na kołki drewniane. Jest to obecnie jeden z nielicznych wyrobów, w którym wykorzystuje się drewno pozyskane w odpowiedniej fazie księżyca. Warto podkreślić, że drewno księżycowe można zastosować z powodzeniem w każdym z wymienionych wcześniej systemów budownictwa z drewna [2].

3. Właściwości drewna litego (Thoma Holz100)

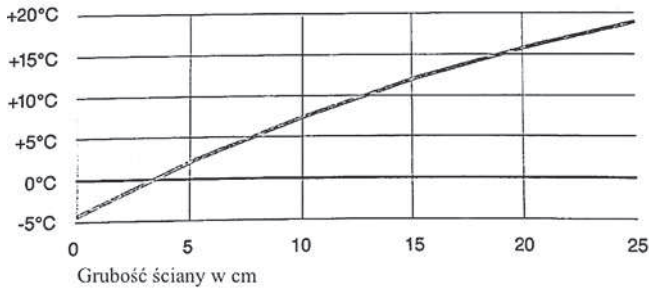
System Thoma Holz100 kieruje się zasadami budownictwa zrównoważonego. Proces produkcji elementów jest całkowicie bezodpadowy, gdyż wszelkie pozostałości drewna są przekształcane w biomasę, a następnie w energię cieplną i elektryczną. Dodatkowo Holz100 jest jedynym materiałem budowlanym nagrodzonym złotym certyfikatem „Cradle to Cradle”. Drewno użyte do produkcji pochodzi z lasów certyfikowanych przez Forest Stewardship Council (FSC) i jest pozyskiwane z uwzględnieniem pory roku oraz fazy księżyca. Elementy Holz100 składają się z warstw desek drewnianych ułożonych względem siebie pod kątem i połączonych kołkami bukowymi wokół nośnego rdzenia. Drewno bukowe pęcznieje pod wpływem wilgoci zawartej w elementach i trwale je łączy. Co najważniejsze do uzyskania systemowego elementu nie wykorzystuje się żadnych środków chemicznych, klei czy impregnatów, dzięki temu budynek wykonany z tego materiału jest w pełni paroprzepuszczalny, a wewnątrz niego powstaje klimat wolny od parujących związków chemicznych [3].

Budownictwo z drewna litego, w kategoriach izolacyjności i odporności ogniowej dorównuje tradycyjnym materiałom budowlanym. Więc z powodzeniem można je stosować bez dodatkowych zabezpieczeń na przegrody o odporności ogniowej do REI 120. Wartości współczynnika przenikania ciepła pozwalają na uzyskanie budowli w standardzie pasywnym. Drewno lite jest przy tym materiałem o większej bezwładności cieplnej, co wraz z naturalną paroprzepuszczalnością, w przypadku Holz100, gdzie nie użyto klejów do spojenia warstw drewna, daje naturalną i zdrową przestrzeń do życia [3].

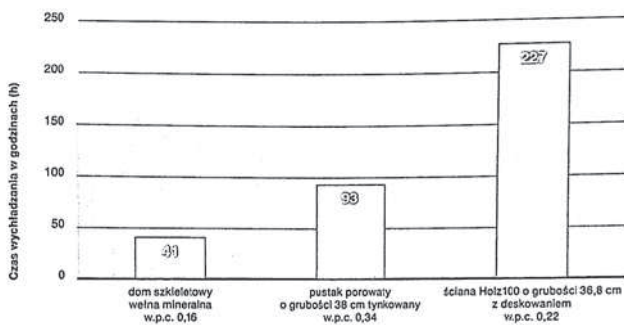
3.1. Akumulacyjność cieplna przegród zewnętrznych systemu Holz100

Akumulacyjność cieplna jest bardzo ważnym, często pomijanym parametrem przegrody budowlanej. Coraz popularniejszym sposobem na konstrukcje domów drewnianych

EKOLOGIA A BUDOWNICTWO



Rys. 1. Temperatura w przekroju ściany systemu Holz100 po 35 godzinach [3]



Rys. 2. Czas wychładzania badanych materiałów, od 10°C do 0°C [3]

jest system lekkiego szkieletu drewnianego – jest on lekki, tani i oferuje bardzo dobre parametry izolacyjności cieplnej. Jednak gdyby porównać budynki o przegrodach z takim samym współczynnikiem przenikania ciepła wykonane w systemie lekkiego szkieletu drewnianego i z drewna litego, zapotrzebowanie na ciepło wynosi odpowiednio 10,6 kWh/m² i 6,8 kWh/m². Ta znaczna różnica wynika z innych wartości akumulacyjności cieplnej analizowanych przegród.

Analizując 3 typy konstrukcji ścian, w systemie lekkiego szkieletu drewnianego, ceglaną lub betonową i z litego drewna, nawet jeżeli, będą one miały taki sam współczynnik U, to ściana szkieletowa zakumuluje najmniej ciepła, ściana betonowa lub ceglana zakumuluje najwięcej, lecz wychłodzi się znacznie szybciej od ściany z litego drewna. Wyższa akumulacyjność cieplna ścian wykonanych w systemie Holz100 tworzy stabilniejsze i w konsekwencji zdrowsze oraz bardziej komfortowe warunki wewnątrz budynku.



Rys. 3. Wygląd elementu Holz100 o grubości 20 cm po 1 godzinie w płomieniu 1000°C [11]

Przeprowadzone badania obrazują różnice w akumulacyjności wspomnianych materiałów. Pierwszy test, przeprowadzony na Politechnice w Graz w Instytucie Termodynamiki, porównuje ściany wykonane z 25 cm betonu oraz 25 cm elementu Holz100. Początkowo obie konstrukcje ogrzano do 22°C, następnie temperaturę na zewnątrz każdej ze ścian zmniejszono do -5°C, a wewnątrz do 20°C. Po 35 godzinach temperatura wewnątrz ścian się ustabilizowała i dla betonu wyniosła 8°C, a dla elementu Holz100 19°C. Oznacza to, że ściana drewniana była ciągle ciepła i miła w dotyku, podczas gdy ściana betonowa była zimna (rys. 1).

Drugi test przeprowadzony na Politechnice w Graz oceniał czas wychładzania budynku wykonanego w systemie lekkiego szkieletu drewnianego ($U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$), z pustaków ceramicznych otynkowanych ($U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$) oraz ściany Holz100 36,4 cm ($U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$). Testowane konstrukcje były poddane stałej temperaturze -10°C na zewnątrz i 10°C wewnątrz, następnie wyłączono wewnętrzne ogrzewanie. Poszukiwaną wartością był czas, po jakim temperatura na wewnętrznej stronie ścian osiągnie 0°C. Ściana z drewna litego osiągnęła ponad dwukrotnie lepszy wynik od rozwiązania z pustaków ceramicznych (rys. 2) [3].

Wykorzystując zjawisko akumulacyjności w drewnianych elementach systemu Holz100 w Zweisimmen w Szwajcarii, wybudowano obiekt biurowo-mieszkalny, w którym zrealizowano instalację ogrzewania i chłodzenia. Dzięki zastosowaniu drewna litego obiekt nie potrzebuje wentylacji ani mechanicznej, ani grawitacyjnej, a temperatura waha się w przedziale od 19°C do 25°C [7].

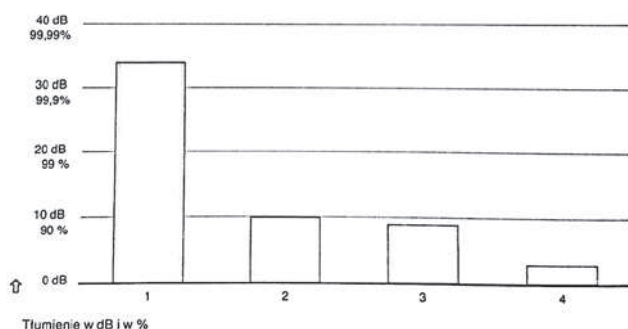
3.2. Odporność ogniowa elementów systemu Holz100

Wysoki stopień odporności ogniowej mogą zapewnić systemy drewna litego łączonego na kołki. Prędkość spalania takiego elementu wynosi od 0,4 do 0,7 mm na minutę. Wiedząc o tym, można zaprojektować element o grubości, która zapewni wymaganą klasę odporności ogniowej, nie dopuszczając przy tym do uszkodzenia głównego rdzenia nośnego w ścianie.

W Instytucie Technologii Ochrony Przeciwpożarowej i Badania Bezpieczeństwa (IBS) w Linz w Austrii ściana Holz100 była testowana, podobnie jak w Japonii (rys. 3). W płomieniu 1000°C po 90 minutach ciąglego pożaru po drugiej stronie ściany odnotowano wzrost temperatury tylko o 1,8°C. Wyniki otrzymane z innych badań materiałów zestawiono w tabeli 1 [3].

Tabela 1. Porównanie parametrów odporności ogniowej różnych materiałów budowlanych; opracowanie własne na podstawie [3]

Tradycyjne elementy konstrukcji szkieletowej	Efekt po badaniu	Tradycyjna cegła	Standardowe elementy Holz100
Ściany	Klasa odporności ogniowej REI 30 tylko z płytami gipsowymi lub z deskowaniem ochronnym REI 30	REI 30 – REI 90	REI 60 – REI 150
Stropy	Klasa odporności ogniowej REI 30 tylko z płytami gipsowymi lub z deskowaniem ochronnym REI 30	REI 15 – REI 90	REI 30 – REI 90
Przewodzenie ciepła: powierzchnia drugiej strony ściany po 90 min działania płomieni	Ściana całkowicie spalona	W przypadku istnienia nadproża od +50°C do +600°C	+1,8°C



Rys. 4. Izolacyjność akustyczna wg amerykańskiej normy wojskowej MIL-STD-285 (fala spolaryzowana pionowo): 1 – Holz100 2,4 cm modrzew/37 cm świerk/4 cm modrzew, 2 – żelbet 16 cm, 3 – pustak ceramiczny 36 cm, jednostronnie otynkowany, 4 – ściana prefabrykowana 0,9 cm tynk/4 cm styropian/1,3 cm płyta wiórowa/14 cm wełna mineralna/1,8 cm płyta g-k [4]

3.3. Izolacyjność akustyczna elementów systemu Holz100

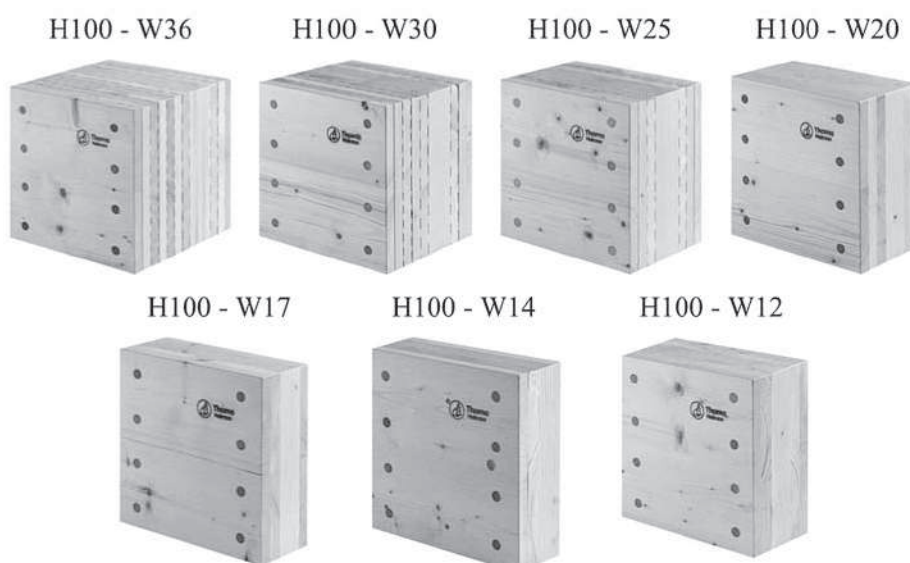
Ochrona akustyczna i radiacyjna to dziedzina, w której drewno lite ma znaczną przewagę nad innymi materiałami budowlanymi. Zapewnia to wysoka gęstość i elastyczność materiału. Drewno lite przez swoje właściwości zapewnia ciche i spokojne wnętrza (rys. 4) [3].

4. Thoma Holz100 – elementy systemowe

Elementy ściennie przygotowywane w systemowych grubościach z możliwością modyfikacji przedstawia rysunek 5 i tabela 2.

Elementy stropowe i dachowe przygotowywane w systemowych grubościach z możliwością modyfikacji przedstawia rysunek 6 i tabela 3.

Rys. 5. Elementy ścienne Holz100; opracowanie własne na podstawie [5]

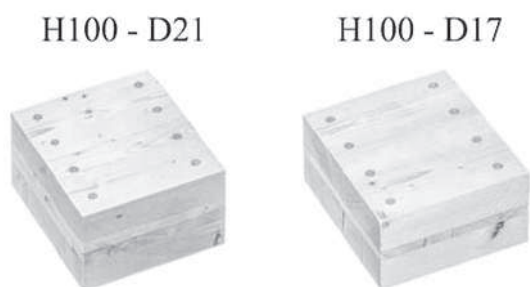


4.1. Nośność elementów w systemie Holz100

Maksymalną nośność elementów ściennych przedstawia tabela 4, a elementów stropowych i dachowych – tabela 5.

4.2. Współczynnik przewodzenia ciepła dla elementów w systemie Holz100

Współczynnik przewodzenia ciepła dla systemu Holz100 waha się pomiędzy 0,079–0,12 W/mK. Jest to spowodowane różnymi metodami uzyskiwania współczynnika λ . Dokładne informacje przedstawiono w tabeli 6.



Rys. 6. Elementy na stropy i dachy w Holz100; opracowanie własne na podstawie [5]

Tabela 2. Przekroje elementów ściennych w Holz100; opracowanie własne na podstawie [5]

Typ ściany	Grubość	Funkcja	Rdzeń	Liczba warstw
W36	36,6 cm	Termiczna, nośna, ściana zewnętrzna	80 mm	11
W30	30,6 cm	Termiczna, nośna, ściana zewnętrzna	80 mm	9
W25	25,0 cm	Termiczna, nośna, ściana zewnętrzna	80 mm	7
W20	20,0 cm	Nośna, ściana zewnętrzna	60 mm	6
W17	17,0 cm	Nośna, ściana zewnętrzna	60 mm	5
W14	14,0 cm	Nośna, ściana zewnętrzna	60 mm	4
W12	12,0 cm	Ściana wewnętrzna	40 mm	4

Tabela 3. Przekroje elementów na stropy i dachy w systemie Holz100; opracowanie własne na podstawie [5]

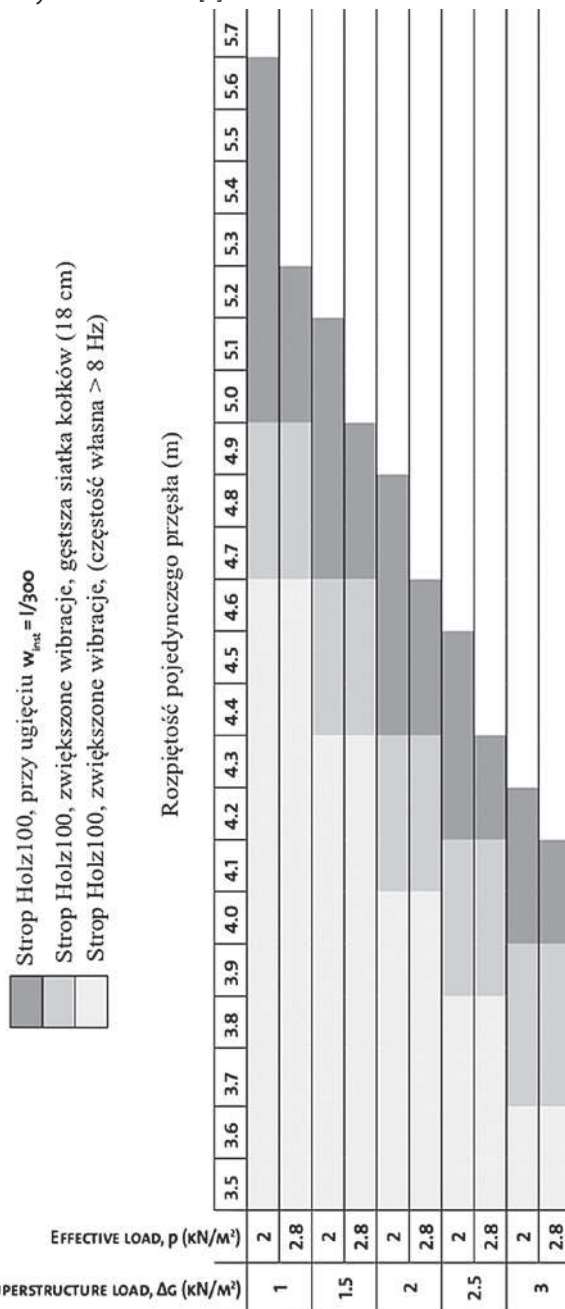
Typ ściany	Grubość	Funkcja	Górna i dolna warstwa	Liczba warstw
D21	21,2 cm	element stropowy/dachowy	77 mm	4
D17	17,6 cm	element stropowy/dachowy	77 mm	3

Tabela 4. Maksymalne nośności elementów ściennych w systemie Holz100 [5]

Grubość ściany (cm)	V - pionowa H - pozioma	Długość wybozczeniowa (m)					
		2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		Maksymalna nośność Rd (kN/m)					
14	H	118.3	83.4	61.9	47.7	37.9	30.8
17	V	195.0	153.4	127.5	110.2	97.8	88.6
	H	118.3	83.4	61.9	47.7	37.9	30.8
20	V	207.7	166.0	140.0	122.6	110.1	100.8
	H	151.4	111.9	87.5	71.3	59.9	51.6
25	V	384.4	298.0	244.2	208.3	183.0	164.3
	H	376.0	287.5	232.3	195.4	169.4	150.2
30.6	V	386.3	299.5	245.4	209.4	184.0	165.2
	H	376.0	287.5	232.3	195.4	169.4	150.2
36.4	V	391.5	303.6	248.8	212.4	186.7	167.8
	H	376.0	287.5	232.3	195.4	169.4	150.2

Wyniki pokazane w tabeli 6 mogą być polepszone poprzez dodanie warstwy izolacji termicznej w postaci płyt z włókna drzewnego będącymi naturalnym i paroprzepuszczalnym rozwiązaniem. Ostateczne wartości współczynnika

Tabela 5. Maksymalne nośności elementów stropowych i dachowych w systemie Holz100 [5]



przenikania ciepła U z użyciem dodatkowej izolacji drzewnej zaprezentowano w tabeli 7. Najniższa wartość, jaką można uzyskać, to $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5. Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że dzisiaj już wiemy, że zwykły budynek pasywny nie jest najwyższym osiągnięciem. W tym przypadku nie przewidziano stworzenia budynku zdrowego i zrównoważonego. Najzdrowszym budynkiem dla człowieka jest budynek wykonany z naturalnych materiałów, bez zastosowania przy jego budowie sztucznie wytwarzanych elementów oraz bez

Tabela 6. Współczynnik przewodzenia ciepła λ dla systemu Holz100; opracowanie własne na podstawie [5]

Odniesienie	Zastosowanie	Element systemu Thoma Holz100
Według EN ISO 10456, $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$	Drewno o gęstości $< 450 \text{ kg/m}^3$	Dla wszystkich elementów Holz100
Pomiary zgodnie z EN ISO 8990 – FH, Austria $\lambda = 0,079 \text{ W/mK}$	Wartość zmierzona zgodnie z zaleceniami	Dla wszystkich ścian cieplnych: W25, W30, W36
Kalkulacje numeryczne Instytut Fizyki Budowli Fraunhofer, $\lambda = 0,105 \text{ W/mK}$	Matematyczny dowód poprawy przez zastosowanie frezowania termicznego (13%)	Dla ścian thermo: W30
Rozporządzenie w sprawie technologii budowlanych rządu kraju związkowego Salzburg $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$	Dla suszonego drewna świerkowego i jodłowego	W Salzburgu dla wszystkich elementów Holz100

Tabela 7. Wartości współczynnika U elementu w systemie Holz100 przy zastosowaniu dodatkowej warstwy termicznej [5]

Grubość elementu	LAMBDA											
	0.042	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
17	0.120	0.457	0.370	0.311	0.268	0.236	0.210	0.190	0.173	0.159	0.147	
20	0.120	0.410	0.339	0.289	0.251	0.223	0.220	0.181	0.166	0.153	0.142	
25	0.105	0.326	0.279	0.244	0.217	0.195	0.178	0.163	0.150	0.139	0.130	
30.6	0.105	0.279	0.244	0.217	0.195	0.178	0.163	0.150	0.139	0.130	0.122	
36.4	0.105	0.243	0.216	0.195	0.177	0.162	0.150	0.139	0.130	0.122	0.115	
17.6	0.120	0.447	0.363	0.306	0.265	0.233	0.208	0.188	0.172	0.158	0.146	
21.2	0.120	0.394	0.328	0.280	0.245	0.218	0.196	0.178	0.163	0.151	0.140	

Wartości U, obliczone dla współczynnika λ otrzymanego zgodnie z EN ISO 10456.
W obliczeniach założono dla izolacji wartość $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$.

Grubość elementu	LAMBDA											
	0.042	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
17	0.081	0.348	0.295	0.257	0.227	0.203	0.184	0.168	0.155	0.143	0.133	
20	0.081	0.308	0.266	0.234	0.209	0.189	0.172	0.158	0.146	0.136	0.127	
25	0.079	0.254	0.225	0.201	0.183	0.167	0.154	0.143	0.133	0.124	0.117	
30.6	0.079	0.215	0.194	0.176	0.162	0.149	0.139	0.129	0.121	0.114	0.108	
36.4	0.079	0.186	0.170	0.156	0.145	0.135	0.126	0.118	0.111	0.105	0.100	
17.6	0.081	0.339	0.289	0.252	0.223	0.200	0.181	0.166	0.153	0.142	0.132	
21.2	0.081	0.295	0.256	0.226	0.203	0.184	0.168	0.155	0.143	0.133	0.125	

Wartości U, obliczone dla współczynnika λ otrzymanego zgodnie z obliczeniami numerycznymi.
W obliczeniach założono dla izolacji wartość $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$.

wyposażenia emitującego substancje chemiczne, które zatrują powietrze i przyczyniają się do powstawania chorób dręczących obecną cywilizację lub tworzących „chory budynek”. Jak widać, system Holz100 daje możliwość mieszkania w budynku, który ma najlepsze parametry nie tylko najważniejszych współczynników jego oceny, ale również możliwość mieszkania w obiekcie zdrowym.

BIBLIOGRAFIA

- Zürcher E., Lunar rhythms in forestry traditions – lunar-correlated phenomena in tree biology and wood properties, *Earth, Moon and Planet*, str. 85–86, 2001
- Mayo J., Wood S., *Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, New York, 2015
- Thoma E., *Na długi czas, Dom Drewno100*, Nowy Sącz, 2017
- Pauli P., Moldan D., *Reduction and Shielding of RF and Microwaves*, [in:] *Electromagnetic Environments and Health in Buildings*, Edit. Derek Clements-Croome, Spon Press, New York, 2004
- Thoma E., Holz GmbH, *Thoma Holz100 Building Parts Catalogue 01/2019*
- NEES Testing, <https://www.strongtie.com/about/research-testing-innovation/academia/nees-testing>, data dostępu: 05.2019
- Budynek w Zweisimmen, <http://monviso-institute.org/low-tech-high-brain/>, data dostępu: 09.2019
- <https://static1.squarespace.com/static/58506c532e69cfa05e47f087/t/59fa6347c8302592d853db64/1509581643839/8MoonPhases.png?format=1000w>, data dostępu: 04.2019
- https://www.holz100canada.com/uploads/9/5/8/7/95874198/3_16_orig.jpg, data dostępu: 05.2019
- https://holz100.ch/wp-content/uploads/2016/03/Architektur_13_183_Aussen_1-1080x768.jpg, data dostępu: 09.2019
- <https://www.youtube.com/watch?v=aJSWhZMwCl0>, data dostępu: 05.2019
- <https://www.youtube.com/watch?v=hSwjG3nv1c>, data dostępu: 05.2019