

Ciepłochłonność POSADZEK drewnianych

dr inż. Adam Ujma*

Przegrody budowlane budynków, w tym wykonane z drewna, funkcjonują w warunkach zmieniających się w czasie parametrów otoczenia, takich jak: temperatura powietrza zewnętrznego, temperatura pomieszczeń (w pewnym zakresie), intensywność promieniowania słonecznego, siła wiatru, oddziaływanie opadów atmosferycznych i inne. Czynniki te wpływają m.in. na temperaturę powierzchniową przegrody od strony pomieszczenia, a więc warunki wymiany ciepła, w tym również między ciałem człowieka a powierzchnią przegrody, przyswajanie ciepła przez przegrodę i straty ciepła związane z jego przenikaniem na zewnątrz budynku oraz inne procesy ciepło-wilgotnościowe. Z racji swojej budowy anizotropowej i właściwości odmiennych od innych materiałów budowlanych drewno zachowuje się w szczególny sposób w miejscach, w których może dochodzić do przepływu ciepła i wilgoci wzdłuż włókien i porów.

Specyficznym dynamicznym procesem cieplnym zachodzącym w przegrodach budowlanych jest proces oddziaływania konstrukcji podłogi na stopę człowieka i związane z tym jego odczucia cieplne. Również w tym procesie drewno wykazuje odmienne właściwości od innych materiałów budowlanych. Tradycyjnie traktowane jest w rozwiązaniach konstrukcyjnych podłóg jako jeden z bardziej przyjaznych dla człowieka materiałów.

Parametrem pozwalającym ocenić zjawisko oddziaływania konstrukcji podłogi na stopę człowieka i różnicować różne konstrukcje pod względem tej właściwości jest ciepłochłonność podłóg. Charakteryzuje ona zdolność podłogi do przyswajania ciepła od stopy człowieka i uzależniona jest od konstrukcji wierzchnich warstw podłogi, w tym zastosowanych materiałów, a w rozwiązaniach podłóg drewnianych – od rodzaju drewna.

Wybrane PARAMETRY charakteryzujące aktywność cieplną podłogi drewnianej

Wybrane właściwości drewna i konstrukcji drewnianych wynikające z zastosowanego drewna i jego budowy anizotropowej omówione zostały m.in. w pracach autora artykułu [1, 2]. Wśród analizowanych parametrów znalazły się współczynniki przewodzenia ciepła, współczynnik wyrównywania temperatury, współczynnik przyswajania ciepła w cyklu 24-godzinny, współczynnik dyfuzji pary wodnej, współczynnik oporu dyfuzyjnego.

Do opisu nieustalonych warunków cieplnych, czyli analizowania nieustalonych procesów cieplnych przebiegających w konstrukcjach poddawanych zmianom w czasie oddziaływaniami termicznym, wykorzystywany jest m.in. współczynnik wyrównywania temperatury a i współczynnik przyswajania ciepła s_{24} . Pierwszy z nich wyraża prędkość, z jaką dochodzi do wyrównywania się temperatury w rozpatrywanym materiale. Przy wyższych wartościach współczynnika a , podczas nagrzewania czy też ostygnięcia ciała, w różnych jego punktach szybko następuje zrównanie się temperatur (czy też ustabilizowanie warunków termicznych). Parametr ten w wypadku drewna jest kilkakrotnie niższy niż wielu innych materiałów budowlanych, w szczególności konstrukcyjnych, co w decydującym stopniu wpływa na bardzo dobrą stateczność cieplną konstrukcji drewnianych. Właściwość ta ulega pogorszeniu w miejscach, w których dochodzi do przewodzenia ciepła wzdłuż włókien [1], odpowiednio do przyrostu wartości współczynnika przewodzenia ciepła. Wartość współczynnika wyrównywania temperatury drewna maleje również wraz ze wzrostem jego wilgotności.

Współczynnik przyswajania ciepła jest kolejnym parametrem wykorzystywanym przy analizowaniu nieustalonych warunków cieplnych występujących w konstrukcjach budowlanych. Charakteryzuje zdolność materiału do pochłaniania ciepła przy wahańach temperatury na powierzchni materiału. Tutaj przy wzroście wartości współczynnika s_{24} wzrasta intensywność tego procesu. Indeks 24 wskazuje na założony z reguły 24-godzinny cykl wahań temperatury w otoczeniu przegrody czy też na jej powierzchni.

Innym parametrem związanym ze zjawiskiem wymiany ciepła jest współczynnik ciepłochłonności podłogi b , wyrażony w $W/(m^2 \cdot K)$, lub ciepłochłonności (aktywności cieplnej podłogi) B , wyrażony w $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$. Stosowany jest on m.in. przy ocenie zdolności górnych warstw podłogi (z reguły od jednej do trzech warstw) do odbioru ciepła ze stykającej się z nią stopy ludzkiej.

Podłogi wykonane z drewna charakteryzują się bardzo korzystnymi właściwościami związanymi z przyswajaniem ciepła ze względu na to, że współczynnik aktywności cieplnej drewna jest jednym z najniższych dla grupy materiałów wykorzystywanych w tym rodzaju przegrody budowlanej. Dla drewna sosnowego kształtuje się on w przedziale 450–480 $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$ przy przepływie ciepła poprzecznie do włókien i 700–730 $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$ przy przepływie ciepła wzdłuż włókien. Natomiast dla drewna dębowego jest większy – wynosi 600–680 $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$ przy przepływie ciepła poprzecznie do włókien i 800–900 $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$ przy przepływie ciepła wzdłuż włókien. Dzięki takim charakterystykom drewno wymieniane jest jako jeden z najwłaściwszych materiałów do stosowania na podłogi w pomieszczeniach o podwyższonych wymaganiach cieplnych. Konstrukcje podłóg powstałe przy zastosowaniu drewna zalicza się z reguły do grupy podłóg cieplnych, czyli takich, na których po chwilowym odczuciu chłodu przy zetknięciu stopy z jej powierzchnią następuje wzrost temperatury w miejscu kontaktu stopy z podłogą. Nieznaczne pogorszenie tych właściwości może wystąpić jedynie na obrzeżach podłogi drewnianej, szczególnie w okolicy przegród zewnętrznych, czyli w miejscach, w których może dojść do przepływu ciepła wzdłuż włókien drewna.

Z racji swoich właściwości podłogi drewniane uzyskują wartości optymalnej komfortowej temperatury powierzchniowej przy kontakcie bosą stopą z taką powierzchnią, znacznie niższą niż inne materiały wykonczeniowe (Tabela 1) [3].

Temperatura optymalna powierzchni podłogi wskazuje, przy jakim jej poziomie osoba, której stopy stykają się z podłogą, czuje się komfortowo, czyli nie ma odczucia chłodu na powierzchni podłogi. Przy posadzkach

Tabela 1. Zestawienie wartości temperatury komfortowej powierzchni podłogi wykonanej z różnych materiałów [3]

Materiał podłogi lub posadzki (na podłożu betonowym)	Temperatura optymalna [°C]	
	kontakt stopy w ciągu 1 min	kontakt stopy w ciągu 10 min
Korek (grubość warstwy 5 mm)	24,0	26,0
Drewno	26,5	25,5
PCW (grubość warstwy 2 mm)	29,0	27,5
Marmur	30,0	29,0

Tabela 2. Wymagania w zakresie ciepłochłonności podłóg [4]

Typ budynku, sposób wykorzystania pomieszczeń	Współczynnik ciepłochłonności b [$W/(m^2 \cdot K)$]
1. Budynki mieszkalne, szpitale, przychodnie, sanatoria, domy dziecka, domy opieki społecznej, żłobki, przedszkola, szkoły itp.	≤ 12
2. Budynki użyteczności publicznej niewymienione w pkt 1, powierzchnie w pomieszczeniach ogrzewanych obiektów handlowych, przemysłowych itp. ze stałymi miejscami pracy i wykonywanymi pracami lekkimi	≤ 14
3. Powierzchnie w pomieszczeniach ogrzewanych obiektów handlowych, przemysłowych ze stałymi miejscami pracy i wykonywanymi pracami o średnim stopniu wysiłku fizycznego	≤ 17

kamiennych, ceramicznych uzyskanie poziomu temperatury komfortowej powierzchni podłogi wiąże się z reguły z potrzebą ogrzania podłogi, w przypadku drewnianych nie ma potrzeby stosowania dodatkowego podgrzania, a wzrost temperatury wynika tylko z dopływu ciepła ze stopy człowieka.

WYMAGANIA dotyczące ciepłochłonności i metodologia ich sprawdzania

W nielicznych stosunkowo publikacjach opisujących właściwości cieplno-wilgotnościowe przegród budowlanych można znaleźć dane dotyczące wymagań, ewentualnie zaleceń związanych z ciepłochłonnością podłóg. Jedne z takich wymagań zamieszczone w tabeli 2 [4].

Ciepłochłonność podłogi b według [4] określa się według następującej metodologii. W pierwszej kolejności należy określić głębokość strefy oddziaływania na warunki cieplne zachodzącej na powierzchni podłogi podczas kontaktu ze stopą. Głębokość ta wyznaczana jest przez sumaryczną wartość wskaźników bezwładności cieplnej kolejnych warstw ΣD równą 0,5:

$$D = R \cdot S_{24}$$

gdzie:
 R – opór cieplny pojedynczej warstwy podłogi [$m^2 \cdot K/W$];
 S_{24} – współczynnik przyswajania ciepła (w cyklu 24-godzinny) materiału w danej warstwie podłogi [$W/(m^2 \cdot K)$] (w kolejnych zależnościach indeks 24 zostanie pominię-

ty; wartości indeksu 1, 2, 3 oznaczają numer warstwy, licząc od góry).

Jeżeli dla warstwy pierwszej uzyskuje się $D_1 \geq 0,5$, to oznacza, że jedynie pierwsza warstwa podłogi ma wpływ na przyswajanie ciepła od stopy. Wówczas współczynnik ciepłochłonności takiej podłogi równy jest

$$b = 2 \cdot s_1$$

Spełnienie nierówności $D_1 < 0,5$ oznacza, że wpływ na odbiór ciepła ze stopy mają również warstwy leżące pod warstwą pierwszą. Wówczas jeżeli $D_1 + D_2 \geq 0,5$, to:

$$b = \frac{2R_1 s_1^2 + s_2^2}{0,5 + R_1 s_2}$$

Natomiast jeżeli $D_1 + D_2 < 0,5$, to należy wziąć pod uwagę przy ocenie przyswajania ciepła wpływ warstwy trzeciej, licząc od góry, i jeżeli $D_1 + D_2 + D_3 \geq 0,5$, to wówczas:

$$b = \frac{4R_1 s_1^2 (0,5 + R_2 s_2) + 2R_2 s_2^2 + s_3^2}{0,5 + R_2 s_3 + R_1 (2R_2 s_2^2 + s_3)}$$

We wszystkich zaprezentowanych zależnościach:

R_1, R_2, R_3 – opory cieplne kolejnych warstw podłogi [$m^2 \cdot K/W$];
 s_1, s_2, s_3 – współczynniki przyswajania ciepła (w cyklu 24-godzinny) materiałów zastosowanych w kolejnych warstwach podłogi [$W/(m^2 \cdot K)$].
 Charakterystyczne dla większości konstrukcji podłóg jest to, że maksymalnie trzy warstwy wpływają na warunki ciepłochłonności.

Metodologię wyznaczania ciepłochłonności b , wyrażanej w $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$, można znaleźć w opracowaniu J. Reháňka [5]. W metodologii tej również różnicuje się sposób określenia ciepłochłonności w zależności od liczby warstw wpływających na analizowany proces i stąd przyjęty tam podział podłóg na jedno-, dwu- lub trójwarstwowe. Z kolei wymagania zdefiniowane są tam w odniesieniu do czterech kategorii budynków i funkcjonalnego przeznaczenia znajdujących się w nich pomieszczeń, z przyporządkowanymi im następującymi dopuszczalnymi poziomami współczynnika B : 1. kategoria – poniżej 348 $(W \cdot s^{1/2})/(m^2 \cdot K)$, 2. – od 585, 3. – do 845, 4. – powyżej 845.

OCENA aktywności cieplnej podłóg wykonanych z różnego rodzaju drewna

Jak wynika z przytoczonych zależności, decydujący wpływ na ciepłochłonność mają trzy parametry opisujące właściwości materiałowe zastosowanych w podłogach, a przede wszystkim w jej warstwie wierzchniej. Są to: gęstość, przewodność cieplna i ciepło właściwe materiału. W przypadku różnych rodzajów drewna, które mogą być zastosowane w podłogach, przy założeniu wilgotności drewna w eksploatacyjnych stałe pomieszczeniach w granicach 8–12%, średnia gęstość zawiera się z reguły w przedziale 440–720 kg/m^3 , a przewodność cieplną można przyjąć od 0,12 do 0,19 $W/(m^2 \cdot K)$. Przy tym dane w zakresie parametrów p i λ , przytaczane w różnych publikacjach nieznacznie różnią się między sobą. Natomiast w przypadku trzeciego z parametrów, czyli ciepła właściwego, sytuacja jest odmienna – zazwyczaj można znaleźć w literaturze stwierdzenia, że parametr ten w odniesieniu do różnych rodzajów drewna przyjmuje taką samą wartość. Przy tym rozbieżności w przytaczanych w różnych źródłach wartościach c_p dla drewna, które może być stosowane w podłogach, jest bardzo duża i może wahać się od ok. 1300 do 2700 $J/(kg \cdot K)$. Parametr ten ma tendencję do wzrostu wraz ze wzrostem wilgotności materiału, co łatwo wytłumaczyć tym, iż ciepło właściwe wody i pary wodnej wypełniającej pory przyjmuje wartość 2–3-krotnie większą od ciepła właściwego suchego drewna. Dodatkowo pewne zamieszanie w zakresie poszukiwanych wartości ciepła właściwego drewna powoduje fakt, iż niejednokrotnie w różnym rodzaju publikacji można spotkać zbliżone wartości ciepła właściwego dla tego samego rodzaju drewna, przy czym w jednej zaznacza się, że jest to wartość drewna suchego (ok. 0% wilgotności masowej), a w drugiej – drewna

* Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowlanej

wilgotnego, np. o 12-15% wilgotności masyowej. Zdarza się, że czasami wartość ciepła właściwego drewna suchego w jednym źródle jest nawet większa, niż podana w innym źródle literaturowym w odniesieniu do drewna wilgotnego.

Do oceny aktywności cieplnej podłóg wykonanych według zaprezentowanej wyżej metodyki przyjęto dziesięć różnych rodzajów drewna (tabela 3), z parametrami fizycznymi zaczerpniętymi z publikacji P. Kozakiewicza [6] oraz Encyklopedii drewna [7]. Wartość ciepła właściwego w odniesieniu do wszystkich rodzajów drewna przyjęto stałą na poziomie 2000 J/(kg·K).

Zestawienie to uzupełniono obliczonymi dla zadanych danych wyjściowych wartościami współczynników wyrównywania temperatury a i współczynników przyswajania ciepła s_{24} . Uporządkowane zestawienie od najmniejszej do największej wartości współczynników s_{24} (rys. 1) wskazuje orientację, które rodzaje drewna powinny charakteryzować się najkorzystniejszymi, a które najmniej korzystnymi właściwościami pod względem ciepłochłonności.

W obliczeniach ciepłochłonności założono, że podłoga ułożona jest na podkładzie betonowym o grubości 5 cm. Przyjęty do obliczeń przedział grubości wierzchniej warstwy drewnianej kształtował się od 5 do 30 mm.

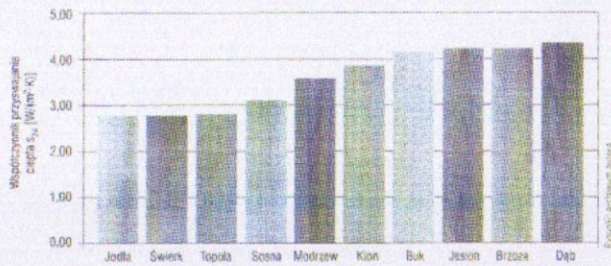
Wyniki obliczeń współczynników ciepłochłonności b zamieszczono na wykresie (rys. 2). Oprócz linii z wartościami współczynnika b różnych gatunków drewna zamieszczono również linie graniczne $b_{max,1} = 12 \text{ W/(m}^2\text{·K)}$ dla podłóg w pomieszczeniach zaliczanych do pierwszej grupy o najwyższych wymaganiach cieplnych i higienicznych oraz $b_{min,2} = 14 \text{ W/(m}^2\text{·K)}$ dla podłóg w pomieszczeniach zaliczanych do drugiej grupy (tabela 2).

Z obliczeń wynika, iż ciepłochłonność podłóg drewnianych w odniesieniu do praktycznie wszystkich rodzajów drewna poprawia się (czyli słabnie aktywność cieplna tej konstrukcji) wraz ze wzrostem grubości warstwy drewnianej i stabilizuje na poziomie 22-24 mm. Wynika z tego, iż przyjmowanie grubszej warstwy drewna nie poprawia właściwości ciepłochłonnych podłogi.

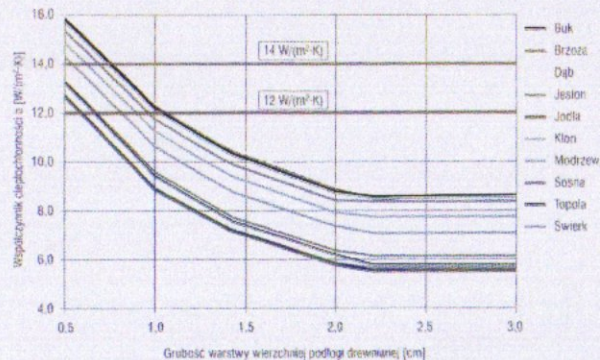
Z kolei przy grubości warstwy podłogi drewnianej poniżej ok. 12 mm wykonanej z drewna dębowego, buku, brzozy nie jest spełniony wymóg stawiany pomieszczeniom w budynkach z pierwszej grupy, a przy grubościach poniżej 8 mm – wymóg stawiany pomieszczeniom w budynkach z drugiej grupy (tabela 2). Nieco korzystniej pod tym względem zachowują się inne rodzaje drewna, ale ogólnie rzecz biorąc, poziom grubości war-

Tabela 3. Przyjęte do obliczeń rodzaje drewna i ich parametry fizyczne

Rodzaj drewna	Gęstość objętościowa ρ [kg/m ³]	Przewodność cieplna λ [W/(m ² ·K)]	Ciepło właściwe c_p [J/(kg·K)]	Współczynnik wyrównywania temperatury $a \cdot 10^{-7}$ [m ² /s]	Współczynnik przyswajania ciepła dla cyklu 24 h s_{24} [W/(m ² ·K)]
Buk	720	0,18	2000	1,11	4,08
Brzoza	640	0,19		1,48	4,19
Dąb	680	0,19		1,40	4,32
Jesion	710	0,17		1,19	4,18
Jodła	440	0,12		1,36	2,76
Klon	650	0,16		1,23	3,88
Modrzew	580	0,15		1,29	3,55
Sosna	510	0,13		1,27	3,10
Świerk	460	0,12		1,30	2,82
Topola	440	0,13		1,48	2,87



Rys. 1. Zestawienie rosnące wartości współczynników przyswajania ciepła różnych rodzajów drewna



Rys. 2. Charakter zmiany współczynnika ciepłochłonności b podłogi drewnianej w zależności od grubości warstwy drewna

stwy drewna poniżej 10 mm może być niewystarczający do spełnienia wymogu odpowiedniej ciepłochłonności podłogi drewnianej.

Najkorzystniejsze parametry ciepłochłonności, a więc i najlepsze pod względem odczuć cieplnych użytkowników pomieszczeń, mają podłogi wykonane z drewna jod-

ły, świerku, topoli, sosny. Najmniej korzystne natomiast – podłogi wykonane z drewna dębowego, bukowego i brzoźowego.

Dla porównania posadzki z marmuru o grubości płyt 15-45 mm na podkładzie betonowym charakteryzują się współczynnikiem ciepłochłonności b 29-38 W/(m²·K),

a posadzki z płytek ceramicznych o grubości 6-30 mm – 25-26 W/(m²·K), co kwalifikuje je do stosowania w pomieszczeniach zaliczanych do grupy trzeciej, według klasyfikacji przedstawionej w tabeli 2.

WNIOSKI

1. Zagadnienie ciepłochłonności podłóg dotyczące oddziaływania tej konstrukcji na stopę człowieka i związane z tym jego odczucia cieplne jest stosunkowo słabo opisane w literaturze polskiej. Brak jest w tym zakresie wyraźnych uregulowań prawno-normatywnych.

2. Porównanie parametrów cieplnych różnego rodzaju drewna stosowanego w konstrukcjach podłóg wskazuje na pewne różnice we właściwościach związanych z aktywnością cieplną w przypadku kontaktu podłogi ze stopą ludzką.

3. Charakterystyczne jest występowanie pewnej granicznej grubości warstwy drewnianej podłogi na poziomie 22-24 mm, powyżej której właściwości związane z ciepłochłonnością nie ulegają zmianie.

4. Grubość warstwy drewnianej poniżej 10-12 mm może nie zagwarantować odpowiedniego poziomu ciepłochłonności w pomieszczeniach z grupy o najwyższych wymaganiach cieplnych i higienicznych.

5. Najkorzystniejsze wyniki analizowanej właściwości, czyli najniższej aktywności cieplnej (ciepłochłonności), uzyskały podłogi wykonane z drewna jodły, świerku, topoli, sosny, a najmniej korzystne – z drewna dębowego, bukowego i brzoźowego.

LITERATURA

1. A. Ujma, „Wybrane właściwości cieplno-wilgotnościowe przegród drewnianych”, [w:] „Tradycyjne i współczesne budownictwo drewniane”, praca zbiorowa pod red. J. Rajczyka, M. Rajczyk, T. Sobko, N. Kaźnar, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
2. A. Ujma, „Wpływ anizotropii na wybrane właściwości przegród drewnianych”, [w:] „Tradycyjne i współczesne budownictwo drewniane”, praca zbiorowa pod red. J. Rajczyka, M. Rajczyk, T. Sobko, N. Kaźnar, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
3. „Budownictwo ogólne”, T. 2, „Fizyka budowli”, pod kierunkiem P. Kleniewa, Arkady, Warszawa 2007.
4. A. I. Jeremiń, T. J. Korolajew, „Tepłowoj razim zdaniy”, Izdatelstwo Assojacji Strojitelnych Wzrosz, Moskwa 2000.
5. J. Rehanek, „Tepłota akumulacie budov”, Informační centrum ČKAET, Praha 2002.
6. P. Kozakiewicz, „Fizyka drewna w teorii i zadaniach”, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2006.
7. The Encyclopedia of Wood, Forest Products Laboratory, US Dept of Agriculture, Skyhorse Publishing Inc., 2007.