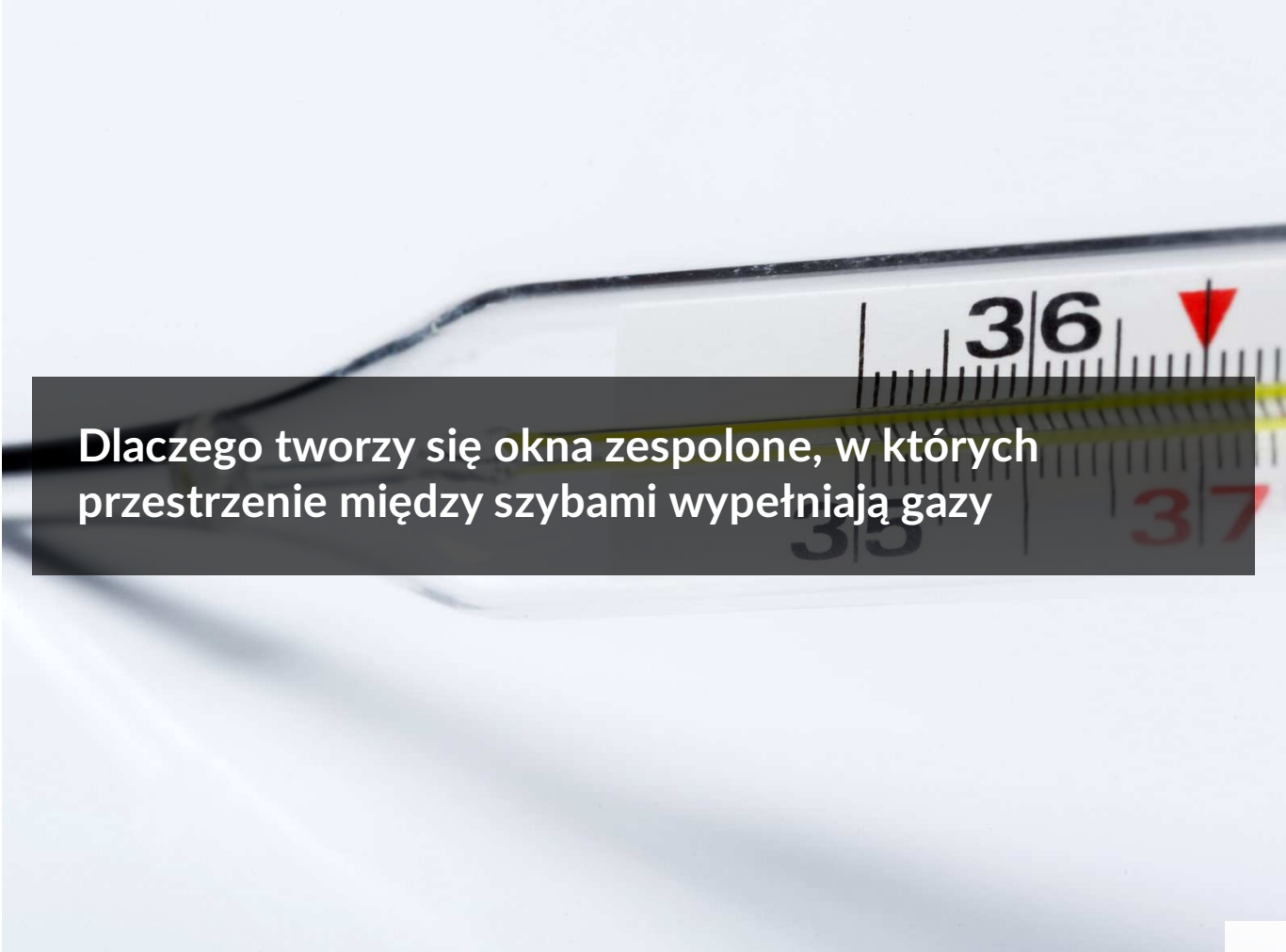




Dlaczego tworzy się okna zespolone, w których przestrzenie między szybami wypełniają gazy

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Dlaczego tworzy się okna zespolone, w których przestrzenie między szymbami wypełniają gazy

Czy to nie ciekawe ?

Porównaj małe okienka w starej chacie i ogromne przeszklenia w nowoczesnym domu. Czy współczesna moda na wielkie okna to tylko kwestia estetyki? Czy dawnym budowniczym nie zależało na doświetleniu pomieszczeń? Przyczyna stosowania niewielkich okien była prozaiczna. Po prostu zbyt wiele ciepła przez nie uciekało i zimą pomieszczenia bardzo się wyziębiały. Dopiero rozwój technologii i powstanie okien zespolonych pozwoliły na budowę domów z wielkimi przeszkleniami. Dlaczego okna zespolone zapewniają dobrą izolację cieplną, dowiesz się z tego e-materiału.



Rys. a. Stara chata z małymi oknami.



Rys. b. Ogromne przeszklenia w nowoczesnym domu.

Twoje cele

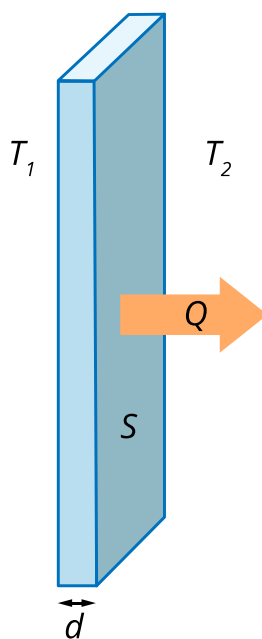
- zrozumiesz, jaki jest mechanizm przewodzenia ciepła,
- dowiesz się, od czego zależy szybkość przepływu energii cieplnej,
- poznasz definicje oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przez przegrody,
- zastosujesz poznane wzory do obliczania strat ciepła przez okna o różnej budowie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Energia cieplna przepływa zawsze od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze i jest przenoszona przez zderzenia między cząsteczkami. Temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Cząsteczki ciała o wysokiej temperaturze poruszają się z dużą średnią energią kinetyczną, a cząsteczki ciała chłodniejszego mają mniejszą średnią energię kinetyczną. W zderzeniach cząsteczek energia kinetyczna jest przekazywana od cząsteczki o większej energii do cząsteczki o mniejszej energii. Przy kolejnym zderzeniu energia przekazywana jest coraz dalej w stronę obszaru o niższej temperaturze. W ten sposób następuje przewodzenie ciepła.

Zastanówmy się, od czego zależy szybkość przewodzenia ciepła przez pojedynczą szybę. Szyba ma kształt prostopadłościanu o grubości d i polu powierzchni S (Rys. 1).



Rys. 1. Przez szybę przepływa energia cieplna, ponieważ między pomieszczeniem, a otoczeniem domu panuje różnica temperatur: $T_1 > T_2$.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Szybkość przewodzenia ciepła to ilość ciepła, która przepłynęła przez ciało w jednostce czasu. Jeśli w czasie t przez ciało przepłynęła energia Q , to szybkość przewodzenia ciepła wynosi $\frac{Q}{t}$. Jednostką energii cieplnej Q jest dżul (J), jednostką czasu sekunda. Zatem jednostką szybkości przewodzenia ciepła: $[\frac{Q}{t}] = \frac{J}{s} = W$ (wat – jednostka **mocy**).

Szybkość przepływu ciepła przez szybę jest wprost proporcjonalna do pola powierzchni przekroju poprzecznego szyby S , a także do różnicy temperatur po obu stronach szyby

$\Delta T = T_1 - T_2$. Natomiast im większa grubość szyby, tym mniejsza szybkość przepływu ciepła – są to wielkości odwrotnie proporcjonalne.

Możemy zatem wyrazić szybkość przepływu energii cieplnej wzorem:

$$\frac{Q}{t} = k \frac{S \Delta T}{d} \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności k nazywamy współczynnikiem przewodzenia ciepła (przewodnictwem właściwym). Jest on właściwością substancji, z jakiej zbudowane jest ciało przewodzące ciepło.

Przewodnictwo właściwe wyraża się wzorem:

$$k = \frac{Qd}{tS\Delta T} \quad (2)$$

gdzie:

Q – ilość ciepła przepływającego przez warstwę,

k – przewodnictwo właściwe,

S – pole przekroju, przez który przepływa ciepło,

t – czas przepływu,

ΔT – różnica temperatur między końcami ciała,

d – grubość warstwy przewodzącej ciepło.

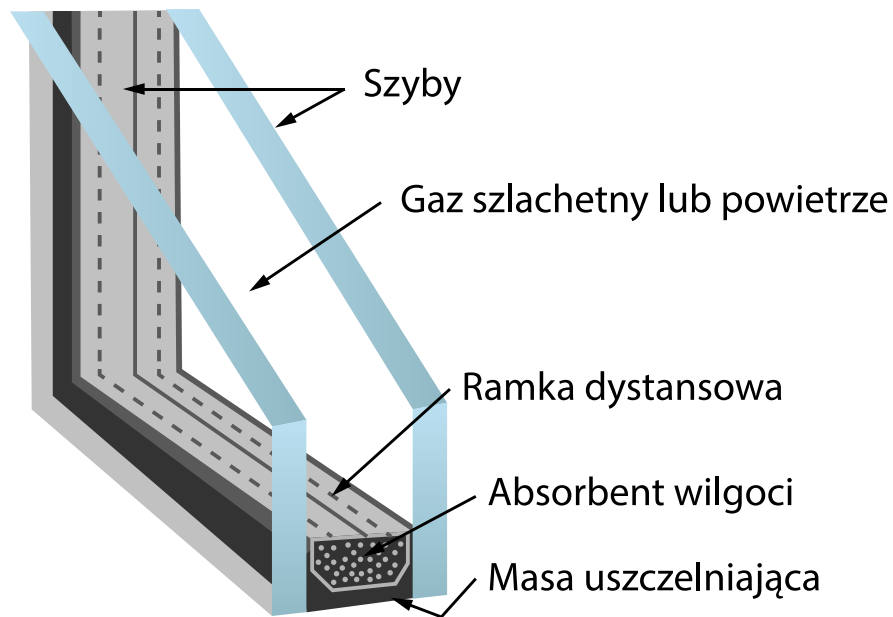
Jednostką przewodnictwa właściwego jest $\frac{J \cdot m}{s \cdot m^2 \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K}$ (wat na metr i kelwin).

Im większe przewodnictwo właściwe danego materiału, tym więcej ciepła przepływa przez niego w jednostce czasu. Dobre izolatory cieplne mają więc małe wartości tego współczynnika. Tabela 1. przedstawia wartość przewodnictwa właściwego dla szkła okiennego i dla dwóch gazów.

Tabela 1.

Materiał	Przewodnictwo właściwe [$\frac{W}{m \cdot K}$]
szkło okienne	0,8
argon	0,018

Material	Przewodnictwo właściwe [$\frac{W}{m \cdot K}$]
powietrze	0,025

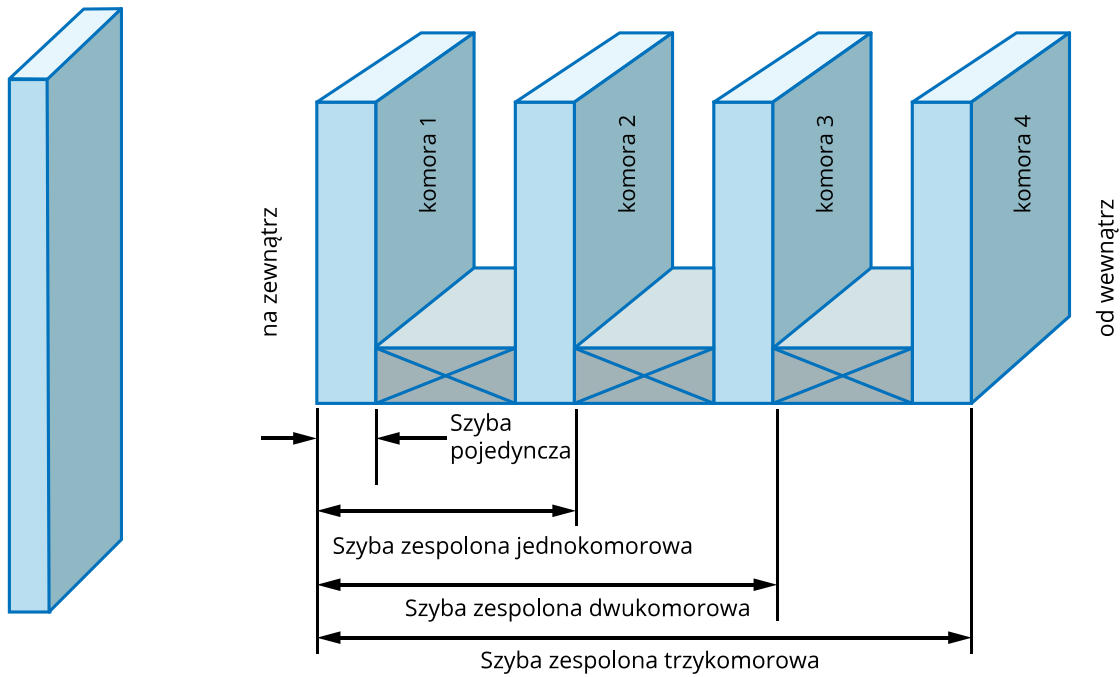


Rys. 2. Budowa okna zespolonego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Powietrze, a tym bardziej argon, są o wiele lepszymi izolatorami cieplnym niż szkło okienne. Warstwa powietrza o tej samej grubości i polu powierzchni przewodzi ciepło 32 razy wolniej niż szkło, a argonu nawet 44 razy wolniej. Dlatego powstał pomysł, aby skonstruować okno z warstwą powietrza lub gazu szlachetnego zamkniętą między dwiema szybami. To właśnie okno zespolone. Jego budowę pokazuje Rys. 2.

Przestrzeń między szybami musi być szczelna i wolna od wilgoci, aby okno nie ulegało zaparowaniu.



Rys.3. Jedno, dwu i trzykomorowe okno zespolone.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Współczesne okna zespolone mają od jednej do trzech komór (Rys.3.).

Opór cieplny

Jak określić szybkość przepływu energii cieplnej przez kilka warstw różnych materiałów? Ciepło przepływające przez warstwę materiału o jednostkowej powierzchni i w jednostkowym czasie $\frac{Q}{tS}$, zgodnie ze wzorem (1), wynosi:

$$\frac{Q}{tS} = \frac{k}{d} \Delta T = \frac{\Delta T}{\frac{d}{k}} = \frac{\Delta T}{R} \quad (3)$$

Wielkość

$$R = \frac{d}{k} \quad (4)$$

to opór cieplny, który określa zdolność warstwy materiału do powstrzymywania strat ciepła. Opór cieplny jest tym większy, im większa jest grubość warstwy d i im mniejsza wartość współczynnika przewodzenia ciepła k .

Jeśli przegroda izolacyjna składa się z kilku warstw różnych materiałów, to jej opór cieplny jest sumą oporów cieplnych poszczególnych warstw:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots (5)$$

Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła U określa ilość ciepła przenikającego w czasie 1 s przez przegrodę o polu powierzchni 1 m^2 , gdy po obu stronach przegrody panuje różnica temperatur równa 1K :

$$U = \frac{Q}{tS\Delta T}$$

gdzie Q to ciepło przenikające w czasie t przez przegrodę, S – pole powierzchni przegrody, ΔT – różnica temperatur po obu stronach przegrody. Jednostka współczynnika przenikania ciepła: $[U] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Współczynnik **przenikania** ciepła U charakteryzuje konkretną przegrodę, na przykład ścianę, okno zespolone itp. Natomiast współczynnik **przewodzenia** ciepła k (przewodnictwo właściwe) jest cechą materiału.

Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością oporu cieplnego przegrody:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} = \frac{1}{\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \dots}$$

gdzie d_1, d_2, d_3 to grubości warstw przegrody, k_1, k_2, k_3 – współczynniki przewodzenia ciepła materiałów, z których zbudowane są kolejne warstwy.

Dla przegrody jednorodnej:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{k}{d}$$

Możemy teraz porównać ciepło uciekające przez okno z pojedynczą szybą oraz przez okno zespolone jednokomorowe, składające się z dwóch szyb i przestrzeni między nimi wypełnionej argonem. Załóżmy, że w obu oknach zastosowano szyby o grubości 4 mm , a grubość warstwy argonu w oknie zespolonym wynosi 16 mm (to standardowe wymiary). W pokoju, a więc na wewnętrznej powierzchni szyby, temperatura wynosi 20°C , a na zewnątrz -5°C .

Opór cieplny pojedynczej szyby:

$$R_1 = \frac{d_1}{k_1}$$

gdzie $d_1 = 0,004 \text{ m}$, $k_1 = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Po wstawieniu danych liczbowych otrzymamy:

$$R_1 = \frac{0,004 \text{ m}}{0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 0,005 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Opór cieplny warstwy argonu:

$$R_2 = \frac{d_2}{k_2},$$

gdzie $d_2 = 0,016 \text{ m}$, $k_2 = 0,018 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Po wstawieniu danych liczbowych otrzymamy:

$$R_2 = \frac{0,016 \text{ m}}{0,018 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 0,89 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Opór cieplny okna zespolonego obliczymy, dodając opory cieplne dwóch szyb i warstwy argonu:

$$R = 2R_1 + R_2 = 2 \cdot 0,005 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,89 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,9 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Dla okna z pojedynczą szybą ciepło uciekające przez 1 m^2 powierzchni w ciągu 1 s wynosi:

$$\frac{Q}{\text{tS}} = \frac{\Delta T}{R_1} = \frac{25\text{K}}{0,005 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} = 5000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Wynik ten oznacza, że przez 1 m^2 powierzchni okna w ciągu 1 s ucieka aż 5 kJ energii cieplnej. Nic dziwnego, że w czasach, gdy nieznane były okna zespolone, budowano jak najmniejsze okna, aby zminimalizować straty ciepła.

Natomiast dla okna zespolonego wartość uciekającego ciepła wynosi:

$$\frac{Q}{tS} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{25K}{0,9 \frac{m^2 K}{W}} = 28 \frac{W}{m^2}$$

Przez okno zespolone ucieka prawie 180 razy mniej energii cieplnej niż przez pojedynczą szybę!

Słowniczek

moc

(*ang.: power*) - praca wykonana w jednostce czasu $P = \frac{W}{t}$ lub energia cieplna wydzielona w jednostce czasu $P = \frac{Q}{t}$.

Symulacja interaktywna

Dlaczego tworzy się okna zespolone, w których przestrzenie między szybami wypełniają gazy?

Polecenie 1

Pobaw się symulacją interaktywną, w której wcielisz się w projektanta okien zespolonych.

Twoim zadaniem jest zaprojektowanie okien zespolonych dla bardzo wymagającego inwestora. Okna powinny stanowić doskonałą izolację cieplną, a jednocześnie mieć jak najmniejszą grubość. Masz do dyspozycji:

- szyby o różnych grubościach: 4 - 10 mm (współczynnik przewodzenia ciepła szkła $k = 0,8 \frac{W}{m \cdot K}$),
- ramki dystansowe wyznaczające szerokość komory wypełnionej gazem o szerokościach: 10 - 22 mm,
- gazy do wypełnienia komór: powietrze ($k_1 = 0,025 \frac{W}{m \cdot K}$), argon ($k_2 = 0,018 \frac{W}{m \cdot K}$), krypton ($k_3 = 0,009 \frac{W}{m \cdot K}$), ksenon ($k_4 = 0,006 \frac{W}{m \cdot K}$).

Uwaga. Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.

The screenshot shows a simulation interface for a window. On the left, there are four configuration sections: 1. 'Wybierz liczbę komór' (Choose number of panes) with radio buttons for 1 (checked), 2, and 3. 2. 'Wybierz grubość szyby [mm]' (Choose glass thickness [mm]) with a slider set to 4 mm. 3. 'Wybierz rozmiar ramek dystansowych [mm]' (Choose spacer size [mm]) with a slider set to 20 mm. 4. 'Wybierz gaz' (Choose gas) with checkboxes for Powietrze (checked), Argon, Krypton, and Ksenon. On the right, the window is identified as 'Okno jednokomorowe 4/20/4'. Below this, it shows 'Grubość okna: D = 28 mm' and 'Współczynnik przenikania ciepła okna: U = 1.23 W / (m² · K)'. A 3D perspective view of the window is shown on the far right.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DdCSFo6WD>

Polecenie 2

Czy zmiana grubości szyby wpływa znacząco na zwiększenie izolacji cieplnej?

Polecenie 3

Którym gazem należy wypełnić komory okna zespolonego, aby uzyskać najlepszą izolację cieplną?

powietrze

krypton



ksenon

argon

Polecenie 4

Gdy już udało ci się zaprojektować okno o optymalnych parametrach, dowiadujesz się, że masz do dyspozycji pompę, za pomocą której możesz zwiększać lub zmniejszać ciśnienie gazu w komorach okna zespolonego. Odpowiedz, czy warto ją użyć i w jaki sposób. Odpowiedź uzasadnij.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Połącz fragmenty zdań, aby otrzymać prawdziwe stwierdzenia:

Współczynnik przewodzenia ciepła
jest

własnością materiału.

Współczynnik przenikania ciepła jest

własnością dowolnej przegrody.

Ćwiczenie 2



Wybierz dokończenie zdania, aby otrzymać prawdziwe stwierdzenie:

Aby określić zdolność izolacyjną przegrody złożonej z kilku warstw, należy

dodać do siebie opory cieplne R wszystkich warstw.

dodać do siebie współczynniki przewodzenia ciepła k wszystkich warstw.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij zdanie:

Współczynnik przenikania ciepła U nie zależy od grubości przegrody /

maleje ze wzrostem grubości przegrody /

rośnie ze wzrostem grubości przegrody .

Ćwiczenie 4



Oblicz współczynnik przenikania ciepła U_1 przez drewnianą podłogę pokrytą dywanem i współczynnik przenikania ciepła U_2 przez samą podłogę. Grubość podłogi wynosi $d_1 = 2,5$ cm, a współczynnik przewodzenia ciepła drewna $k_1 = 0,22 \frac{W}{m \cdot K}$. Grubość dywanu $d_2 = 1,2$ cm, a jego współczynnik przewodzenia ciepła $k_2 = 0,06 \frac{W}{m \cdot K}$. Podaj wyniki z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

$$U_1 = \boxed{} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U_2 = \boxed{} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ćwiczenie 5



Odpowiedz, co zwiększy własności izolacyjne okna zespolonego: zwiększenie, czy zmniejszenie ciśnienia gazu zamkniętego w komorach okna. Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 6



W chłodne dni zalecane jest ubieranie się "na cebulkę". Oblicz, ile razy zmniejszy się utrata ciepła, jeśli założymy dwie cienkie flanelowe koszule zamiast jednej grubej. Przyjmij, że cienka koszula ma grubość 1 mm, a gruba 2 mm oraz, że grubość warstwy powietrza między cienkimi koszulami wynosi 1 mm. Współczynnik przewodzenia ciepła flaneli wynosi $k_1 = 0,08 \frac{W}{m \cdot K}$, a powietrza $k_2 = 0,025 \frac{W}{m \cdot K}$. Temperatura ciała wynosi 36°C , a temperatura zewnętrzna 16°C .

Utrata ciepła zmniejszy się razy.

Ćwiczenie 7



Oblicz współczynniki przenikania ciepła U dla okna zespolonego jednokomorowego i dwukomorowego wypełnionych argonem. W obu oknach grubości szyb wynoszą 4 mm, a szerokości komór 16 mm. Współczynnik przewodzenia ciepła szkła wynosi $0,8 \frac{W}{m \cdot K}$, a argonu $0,018 \frac{W}{m \cdot K}$. Podaj wyniki w zaokrągleniu do części setnych.

Współczynnik przenikania ciepła dla:

okna jednokomorowego $U_1 =$ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$,

dla okna dwukomorowego $U_2 =$ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Ćwiczenie 8



Oblicz, ile energii zaoszczędzimy w ciągu jednej doby, jeśli w domu okna z jedną szybą zastąpimy oknami zespolonymi jednokomorowymi wypełnionymi argonem. Całkowita powierzchnia wszystkich okien w tym domu wynosi $10,8 \text{ m}^2$. Przyjmij standardowe wymiary okien: szyby mają grubości równe 4 mm, a grubość warstwy gazu w oknie zespolonym wynosi 16 mm. Współczynnik przewodzenia ciepła szkła wynosi $0,8 \frac{W}{m \cdot K}$, a argonu $0,018 \frac{W}{m \cdot K}$. Przyjmij różnicę temperatur między wnętrzem domu i otoczeniem równą 20 K. Wynik podaj w MJ w zaokrągleniu do liczb całkowitych.

Oszczędność energii wynosi MJ.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Dlaczego tworzy się okna zespolone, w których przestrzenie między szybami wypełniają gazy?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>V. Termodynamika. Uczeń:</p> <p>2) odróżnia przekaz energii w postaci ciepła między układami o różnych temperaturach od przekazu energii w formie pracy.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>VI. Termodynamika. Uczeń:</p> <p>2) odróżnia przekaz energii w postaci ciepła między układami o różnych temperaturach od przekazu energii w formie pracy.</p>

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wyjaśni, jaki jest mechanizm przewodzenia ciepła, 2. określi, od czego zależy szybkość przepływu energii cieplnej, 3. poda definicje oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przez przegrody, 4. zastosuje poznane wzory do obliczania strat ciepła przez okna o różnej budowie.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Badanie przewodnictwa cieplnego wybranych ciał stałych”, „Jak definiuje się przewodnictwo właściwe”, „Jak odróżnić przekaz energii w formie pracy mechanicznej od przekazu energii w postaci ciepła?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<ul style="list-style-type: none"> • Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. • Odwołanie do wiedzy uczniów o przewodzeniu ciepła – uczniowie z pomocą nauczyciela wyjaśniają mechanizm przewodzenia energii cieplnej przez zderzenia cząsteczek. 	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel w krótkim wykładzie wprowadza pojęcie współczynnika przewodzenia ciepła jako własności materiałowej oraz współczynnika przenikania ciepła przez przegrodę, podkreślając różnice między tymi pojęciami. Uczniowie podają przykłady, kiedy używamy obu pojęć. Nauczyciel wprowadza pojęcie oporu cieplnego i zasadę sumowania oporów cieplnych kolejnych warstw składających się na przegrodę. Następnie na schemacie wyjaśnia budowę okna zespolonego. Uczniowie w grupach obliczają stratę ciepła przez pojedyncze okno i okno zespolone. Uczniowie przy pomocy symulacji interaktywnej projektują okna zespolone spełniające określone kryteria i w dyskusji rozważają, jak zmiana ciśnienia gazu zmienia opór cieplny okna zespolonego.

Faza podsumowująca:

W celu sprawdzenia przyswojonych wiadomości uczniowie w grupach rozwiązują zadanie 8 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń, obowiązkowo zadania 1 - 3, do wyboru jedno z pozostałych zadań.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium:**

Symulację interaktywną można wykorzystać na lekcji. Może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji jako praca domowa, której wyniki zostaną przedyskutowane na następnej lekcji.