



Termokinetyka urządzeń elektrycznych

▼ Przydatne zagadnienia, wzory, zależności

Średni strumień ciepła (moc grzewcza)

Średni strumień ciepła to po prostu moc grzewcza. Opisuje średnie tempo przepływu ciepła z jednego materiału do drugiego. Kropka na górze oznacza wartość średnią.

$$\dot{Q} = \Delta Q / \Delta t \quad [J/s][W]$$

Przy czym Q - przekazane ciepło [J], t - przedział czasu [s]

Uwaga: trzeba rozróżniać **wszędzie**, że \dot{Q} jest wyrażane w watach [W], natomiast samo Q jest wyrażane w dżulach [J]!

Gęstość strumienia ciepła

Gęstość strumienia ciepła to średni strumień ciepła przypadający na jednostkę powierzchni, czyli po prostu moc grzewcza podzielona przez powierzchnię.

$$\dot{q} = \dot{Q} / S \quad [W/m^2]$$

Przy czym Q jest (średnim) strumieniem ciepła, S - polem powierzchni ciała przewodzącego ciepło

Prawo Fouriera

Prawo Fouriera opisuje przewodnictwo cieplne ciał z uwzględnieniem ich współczynnika przewodności cieplnej, różnicy temperatur, pola powierzchni przewodzącej. W podstawowym zapisie:

$$\dot{q} = -\lambda \text{grad} T$$

$$\dot{Q} = -\lambda S \text{grad} T$$

Przy czym trzeba zaznaczyć, że znam tylko jedną osobę, która ma kisiel w głowie i chciałaby liczyć gradienty na kolosie, więc poniżej dodaję normalniejsze wzory na te wielkości.

Ponownie, Q - strumień ciepła, q - gęstość strumienia ciepła. Kropki

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta}(T_{w1} - T_{w2})$$

$$\dot{Q} = A\dot{q} = \frac{A\lambda}{\delta}(T_{w1} - T_{w2})$$

Przy czym: λ - przewodność cieplna [$\frac{W}{m \cdot K}$], δ - grubość ścianki przewodzącej ciepło, $T_{w1} - T_{w2}$ - różnica temperatur po dwóch stronach ścianki (ciepło zawsze przepływa od cieplejszej do zimniejszej - jeśli oznaczymy to ze znakiem "+").

Uwaga: prawo Fouriera przyjmuje różne postacie, zależnie od tego, jaki jest kształt ścianki przewodzącej. Np. dla cylindra, którego średnica wewnętrzna to ma postać:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi l \lambda}{\ln \frac{r_2}{r_1}}(T_{w1} - T_{w2})$$

Więcej informacji w wykładzie:

[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/eed421fc-5634-4314-b221-b363fa2fd838/W2_-_teoria_\(przewodnictwo\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/eed421fc-5634-4314-b221-b363fa2fd838/W2_-_teoria_(przewodnictwo).pdf)

Prawo Wiedemanna-Franza-Lorenza

Prawo Wiedemanna-Franza-Lorenza opisuje związek między przewodnością cieplną i elektryczną. Możliwe, że ten wzór z jakiegoś powodu przyda się na kolokwium.

$$L = \frac{\lambda}{\sigma T}$$

Przy czym: L - liczba Lorenza [$\frac{W\Omega}{K^2}$], λ - przewodność cieplna [$\frac{W}{m \cdot K}$], σ - przewodność elektryczna [S][$1/\Omega$], T - temperatura wyrażona w [K]

Prawo Newtona (prawo stygnięcia)

Prawo Newtona określa ciepło przekazywane przez **konwekcję**, np. gdy mówimy o stratach ciepła z rury grzewczej do otoczenia. Wzór ogólny przyjmuje wartość:

$$\dot{q} = \alpha(T_{w1} - T_{w2})$$

Wzór powyżej oznacza gęstość strumienia ciepła. Jeżeli chcemy policzyć strumień ciepła, trzeba też uwzględnić powierzchnię (kabla, rury, etc.):

$$\dot{Q} = A\alpha(T_{w1} - T_{w2})$$

Przy czym A - powierzchnia obiektu (rury, kabla), α - współczynnik wnikania (przejmowania) ciepła $[\frac{W}{m^2K}]$, $T_{w1} - T_{w2}$ - temperatury w układzie (np. temperatura rury minus temperatura otoczenia).

Liczba Grashofa, Reynoldsa, Prandtla, Rayleigha

Liczba Grashofa opisuje konwekcję naturalną. To może nie być potrzebne na kolosie, ale dodaję w razie jakby jednak się okazało potrzebne.

Wzór na liczbę Grashofa:

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l_0^3 \cdot \Delta T}{\nu^2}$$

Oznaczenia: $\beta = 1/T_p$ - współczynnik rozszerzalności objętościowej płynu (dla wody: można odczytać z tabel, dla powietrza: odwrotność temperatury - jak w podanym wzorze, przy czym musi być to temperatura w Kelwinach, czyli +273,15); g - przyspieszenie ziemskie $g = 10 \frac{m}{s^2}$; ν - kinematyczny współczynnik lepkości (można odczytać z tabel); l_0 - wymiar charakterystyczny - np. średnica hydrauliczna rury, długość krótszego boku powierzchni; ΔT - różnica temperatur (np. między rurą a otoczeniem);

Liczba Reynoldsa określa podobieństwo hydrodynamiczne i można ją określić ze wzoru:

$$Re = \frac{v \cdot l_0}{\nu}$$

Gdzie v - prędkość charakterystyczna płynu $[\frac{m}{s}]$, l_0 - wymiar charakterystyczny - np. średnica hydrauliczna rury, długość krótszego boku powierzchni, ν - lepkość kinematyczna płynu, do odczytania z tabel

Liczba Prandtla charakteryzuje fizyczne właściwości danego czynnika

$$Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha}$$

Przy czym: C_p - ciepło właściwe; μ - współczynnik lepkości dynamicznej, λ - współczynnik przewodzenia ciepła; ν - współczynnik lepkości kinematycznej, α - stała dyfuzji cieplnej (wszystkie te wielkości są do odczytania z tabel)

Liczba Rayleigha łączy liczbę Grashofa i liczbę Prandtla:

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

▼ Przykładowe zadania z wykładów

Innych zadań nie wrzucam, chyba nie ma sensu. W razie czego, link do mojego OneDrive z prezentacjami i wszystkimi materiałami do tego przedmiotu:

Sign in to your account

 https://politechnikawroclawska-my.sharepoint.com/:f/g/personal/245365_student_pwr_edu_pl/ErUmLUlnw_BLsYjEXUX02YUBKTP1i6MWzQDvG6ldKwJGWg?e=4UreHA

▼ Zadania z przewodnictwa cieplnego

[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/9c4f4579-02a9-4146-90e9-b57f5ba2ccb4/W2b_-_PRZYKADY_\(przewodnictwo\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/9c4f4579-02a9-4146-90e9-b57f5ba2ccb4/W2b_-_PRZYKADY_(przewodnictwo).pdf)


[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/96cef965-e7e6-4938-a4de-1200f7a3a29c/W3_-_PRZYKADY_\(przewodnictwo\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/96cef965-e7e6-4938-a4de-1200f7a3a29c/W3_-_PRZYKADY_(przewodnictwo).pdf)

▼ Zadania z konwekcji naturalnej

[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/e9ce6152-55d7-4efd-ae2f-7acd0c28544f/W4_-_PRZYKADY_\(konwekcja_naturalna\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/e9ce6152-55d7-4efd-ae2f-7acd0c28544f/W4_-_PRZYKADY_(konwekcja_naturalna).pdf)

Więcej zadań: link do OneDrive. Nie mogłem wrzucić na Notion, za duży rozmiar pliku.

Sign in to your account

 https://politechnikawroclawska-my.sharepoint.com/:b/g/personal/245365_student_pwr_edu_pl/EXNibMcAZNdGkRywKwwBMqsBAeoKdMaCAj_1Yw-MpPXTbQ?e=PWEfhO

▼ Zadania z konwekcji wymuszonej

Zadania są na dole slajdów.

[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/143a81e6-286c-4230-9504-29fbddbfb436/W6_-_teoria_i_Pzykady_\(konwekcja_wymuszona\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/143a81e6-286c-4230-9504-29fbddbfb436/W6_-_teoria_i_Pzykady_(konwekcja_wymuszona).pdf)

▼ Konwekcja wymuszona, przepływ wymuszony - jak to liczyć - ALGORYTM DOBORU KRYTERIUM

1. Obliczyć temperaturę odniesienia, czyli temperaturę średnią

Na podstawie danych temperatur: $T_o = (T_1 + T_2)/2$

2. Określ typ przepływu

Obliczamy liczbę Reynoldsa:

$$Re = \frac{vd_h}{\nu}$$

Przy czym ν - prędkość średnia w przekroju, d_h - średnica hydrauliczna przekroju, ν - kinematyczny współczynnik lepkości cieczy [$m^2 \cdot s^{-1}$] odczytany z tablic na podstawie temperatury odniesienia.

Średnica hydrauliczna rury to: $d_h = \frac{4A}{B}$

Przy czym A - pole powierzchni przekroju rury, B - obwód rury;

Dla przekroju okrągłego: $d_h = d$ (średnica)

Dla przekroju kwadratowego: $d_h = a$ (bok)

Dla przekroju prostokątnego: $d_h = \frac{2ab}{a+b}$

Dla "koła w kole": $d_h = D - d$ (średnica okręgu zewnętrznego minus średnica okręgu wewnętrznego)

Współczynniki

Współczynniki do obliczenia liczby Reynoldsa dla powietrza i wody - poniżej.

https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/4c1d570f-a281-4e54-b106-187bc834d913/tablice_termo.doc

Na podstawie liczby Reynoldsa:

$Re < 2300$: ruch laminarny

$Re > 2300$: ruch burzliwy



Uwaga! Dla konwekcji naturalnej, trzeba policzyć liczbę Rayleigha zamiast liczby Reynoldsa. Wzory opisane są tutaj: <https://www.notion.so/Obliczanie-zada-0b127f7272a5452898f2af23b2e76f32#c215016f56a144789471dfcbce8d1764>



Dalej obliczenia idą tak samo, tylko zamiast Re trzeba używać Ra i skorzystać z kryteriów dla konwekcji naturalnej, nie wymuszonej.

3. Oblicz liczbę Nusselta

Liczba Nusselta opisuje intensywność przepływu ciepła na granicy płyn-ścianka. Liczbę Nusselta należy obliczyć na podstawie dobrego kryterium. Kryterium należy dobrać na podstawie znanych wielkości.

Przykład:

Dla wody w temperaturze odniesienia $T_o = 40^\circ C$ liczba Prandtla - na podstawie tabel - przyjmuje wartość $Pr = 4,31$. Obliczona Liczba Reynoldsa: $Re = 1500$ - czyli mówimy o ruchu laminarnym.

Jeżeli mówimy o opływaniu powierzchni płaskiej przez wodę, to spełniamy warunki stosowania kryterium Polhausena ($Re < 2 \cdot 10^5$, $0,6 < Pr < 10$). Do obliczenia liczby Nusselta przyjmujemy wzór: $Nu = 0,664 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}$.

Uwaga: warunki mogą opierać się o różne wartości, np. kryterium Michiejewa bierze pod uwagę stosunek długości kanału do jego średnicy hydraulicznej.

Na podstawie dobrego wzoru, obliczamy liczbę Nusselta. Z liczby Nusselta możemy wyznaczyć pozostałe potrzebne nam wielkości do przeprowadzenia obliczeń, zgodnie z zależnością:

$$Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda}$$

Przy czym α - współczynnik wnikania ciepła $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$, d_h - średnica (lub średnica hydrauliczna), λ - współczynnik przewodzenia ciepła $[\frac{W}{m \cdot K}]$.



Uwaga: dla płyt płaskich, zamiast d_h trzeba używać długości krótszego boku.

Współczynnik wnikania ciepła można znaleźć w tabelach termodynamicznych.


Materiały z wykładu

Kryteria dla konwekcji wymuszonej:

[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/34dd2147-d656-4076-ba5c-eb467046e6c6/W6_-_teoria_i_Pzykady_\(konwekcja_wymuszona\).pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/secure.notion-static.com/34dd2147-d656-4076-ba5c-eb467046e6c6/W6_-_teoria_i_Pzykady_(konwekcja_wymuszona).pdf)

Kryteria dla konwekcji naturalnej:

Sign in to your account

 https://politechnikawroclawska-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/245365_student_pwr_edu_pl/EV6plAQ6zGROt3oxKyisHQMBViqBYm2yWguXnYyOS7K50w?e=EittbH