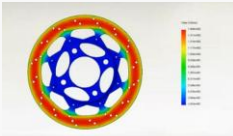


Modelowanie w projektowaniu maszyn i procesów cz.7

Solversy MES zaimplementowane
do środowisk CAD - **termika**



Dr hab. inż. Piotr Pawelko
p. 141
Piotr.Pawelko@zut.edu.pl
www.piopawelko.zut.edu.pl

Termika - SolidWorks Simulation

Przekazywanie ciepła jest przekazem energii cieplnej z jednego obszaru do innego wskutek różnicy temperatur.

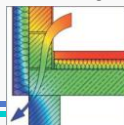
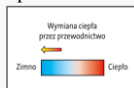
patrz. przepływ Δp , napięcie ΔU ...

Termika - SolidWorks Simulation

Rodzaje przekazywania ciepła

Trzy rodzaje przekazywania ciepła:

1. **Przewodnictwo** to przekazywanie ciepła wskutek ruchu cząsteczkowego w materiale bez wykonywania ruchu przez cały materiał. Przewodnictwo jest głównym rodzajem przekazywania ciepła w ciałach stałych. Jeżeli temperatura ciała stałego różni się w różnych jego punktach, wówczas ciepło przechodzi z punktów o wyższych temperaturach do punktów o temperaturach niższych w celu ustalenia równowagi cieplnej.



Termika - SolidWorks Simulation

Przewodnictwo

Przenoszenie ciepła przez przewodnictwo zachodzi zgodnie z prawem *Fouriera*, które stwierdza, że natężenie przewodzenia ciepła $Q_{przew.}$ jest proporcjonalne do powierzchni przekazywania ciepła A i gradientu temperatury (dT/dx) lub:

$$Q_{przew.} = -K A (dT/dx)$$

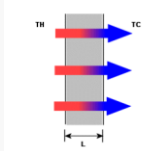
gdzie K , współczynnik przewodzenia ciepła, stanowi miarę zdolności materiału do przewodzenia ciepła.

Jednostką K jest W/m^2C .

Dla ukazanej niżej warstwy planarnej,

natężenie przewodzenia ciepła jest dane wzorem

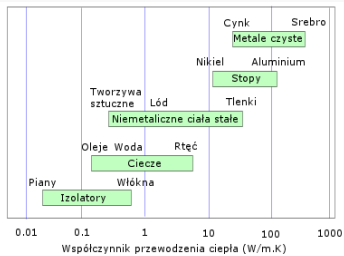
$$Q_{przew.} = -K A (T_H - T_C)/L$$



Termika - SolidWorks Simulation

Przewodnictwo

Zakres wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla cieczy, niemetalicznych ciał stałych i czystych metali przy normalnej temperaturze i ciśnieniu.



Termika - SolidWorks Simulation

Przewodnictwo

Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od temperatury (K)

Dla większości materiałów K zmienia się wraz z temperaturą. Wzrasta ze wzrostem temperatury w gazach pod niskim ciśnieniem, lecz może wzrastać lub spadać w metalach lub cieczach.

Poniższa tabela wyszczególnia współczynniki przewodzenia ciepła ($W/(m^2K)$) względem temperatury $^{\circ}K$ dla wybranych materiałów:

Metal	Temperatura ($^{\circ}K$)							
	103	173	273	373	473	573	673	873
Stal nierdzewna				15	17	19	21	25
Ołów	40	37	36	34	33	32	17 (ciecz)	20 (ciecz)
Płatyna	78	73	72	72	72	73	74	77
Cynk	124	122	122	117	110	106	100	60 (ciecz)
Krzem	856	342	168	112	82	66	54	38

Termika - SolidWorks Simulation

Współczynniki przewodności

materiał	przewodność cieplna W/(m·K)
grafen	4840-5300
diamant	900-2320
srebro	429
miedź	370; 375; 397; 400
złoto	317
stopy aluminium	200
nikiel	90,7
stal	58
żelbet	1,7
cegła	0,8
woda	0,6
gips	0,51
diament	0,2
węglina szklana	0,040
węglina skalna	0,037
celuloza	0,039
styropian EPS	0,036
polistyren ekstrudowany XPS	0,035
pianka poliuretanowa bez szczelnej osłony	0,035
pianka poliuretanowa w szczelnej osłonie	0,025
powietrze (nieruchome)	0,025

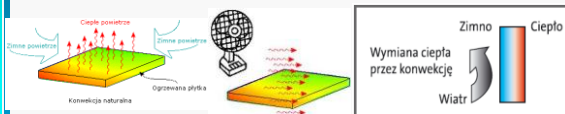
Podane współczynniki przewodności cieplnej obowiązują dla stanu powietrzno-suchego: temperatura 20 °C i wilgotność względna RH=50%.

Termika - SolidWorks Simulation

Rodzaje przekazywania ciepła

Trzy rodzaje przekazywania ciepła:

2. **Konwekcja** to przekazywanie ciepła za pośrednictwem poruszających się płynów. Konwekcja jest głównym rodzajem przekazywania ciepła pomiędzy ciałami stałymi a przylegającymi cieczami. Cząstki płynu działają jako nośniki energii cieplnej.



Termika - SolidWorks Simulation

Konwekcja

Konwekcja jest głównym rodzajem przekazywania, w którym ciepło jest przekazywane pomiędzy ścianą ciała stałego, a przyległym, poruszającym się płynem (lub gazem). Konwekcja posiada dwa elementy:

Przekazywanie energii w wyniku losowych ruchów cząsteczek (**dyfuzja**) oraz

Przekazywanie energii w wyniku masowego lub makroskopowego ruchu płynu (**adwekcja**).

Termika - SolidWorks Simulation

Konwekcja

Mechanizm konwekcji można objaśnić następująco: gdy warstwa płynu przyległa do gorącej powierzchni nagrzewa się, jej gęstość spada (przy stałym ciśnieniu gęstość jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury) i zaczyna na nią działać siłą wyporu. Chłodniejszy (cięższy) płyn w pobliżu powierzchni zastępuje płyn cieplejszy i powstaje ruch cyrkulacyjny.



Termika - SolidWorks Simulation

Konwekcja

Natężenie wymiany ciepła pomiędzy płynem o temperaturze T_f i ścianą ciała stałego o powierzchni A i temperaturze T_s jest zgodne z prawem chłodzenia Newtona, które można zapisać jako:

$$Q_{konw.} = h A (T_s - T_f)$$

gdzie h jest współczynnikiem przekazywania ciepła przez konwekcję. Jednostką h jest W/m^2K .

Współczynnik przekazywania ciepła przez konwekcję (h) zależy od ruchu płynu, geometrii oraz własności termodynamicznych i fizycznych.

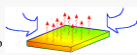
Termika - SolidWorks Simulation

Konwekcja

Generalnie występują dwa typy przekazywania ciepła przez konwekcję:

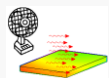
Konwekcja naturalna (swobodna)

Ruch płynu przyległego do ściany ciała stałego jest wywoływany przez siły wyporu powodowane zmianami gęstości płynu w wyniku różnicy temperatur pomiędzy ciałem stałym, a płynem. Gdy gorąca płyta będzie pozostawiona do ostygnięcia w powietrzu, cząstki powietrza przyległe do ściany płyty nagrzewają się, ich gęstość maleje i dlatego poruszają się do góry.



Konwekcja wymuszona

Stosowane są zewnętrzne środki (np. wentylator lub pompa) do przyspieszenia przepływu płynu na ścianie ciała stałego. Szybki ruch cząstek płynu na ścianie ciała stałego maksymalizuje gradient temperatury i zwiększa natężenie wymiany ciepła. Wymuszenie przepływu powietrza nad gorącą płytą ukazano na poniższym rysunku.

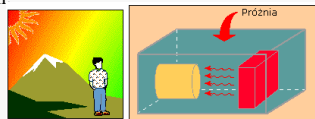


Termika - SolidWorks Simulation

Rodzaje przekazywania ciepła

Trzy rodzaje przekazywania ciepła:

3. **Promieniowanie** to przekazywanie ciepła za pośrednictwem fal elektromagnetycznych. W przeciwieństwie do przewodnictwa i konwekcji, promieniowanie nie wymaga medium, ponieważ fale elektromagnetyczne mogą poruszać się w próżni. Zjawisko promieniowania ma większe znaczenie przy wyższych temperaturach



Termika - SolidWorks Simulation

Promieniowanie

Promieniowanie termiczne to energia termiczna emitowana przez obiekty w postaci fal elektromagnetycznych, ze względu na ich temperaturę.

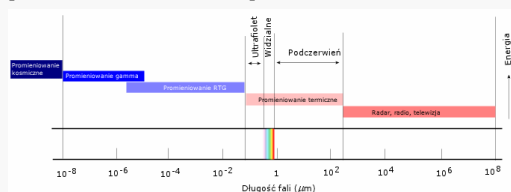
Wszystkie obiekty o temperaturach powyżej zera bezwzględnego emitują energię termiczną. Ponieważ fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni, dla zachodzenia promieniowania *nie jest wymagana obecność ośrodka*.

Poniższy rysunek ukazuje zakres długości fal promieniowania termicznego w porównaniu z promieniowaniem emitowanych w inny sposób (promieniowanie RTG, promieniowanie γ , promieniowanie kosmiczne itp.).

Termika - SolidWorks Simulation

Promieniowanie

Rysunek ukazuje zakres długości fal promieniowania termicznego w porównaniu z promieniowaniem emitowanych w inny sposób (promieniowanie RTG, promieniowanie γ , promieniowanie kosmiczne itp.).



Termika - SolidWorks Simulation

Promieniowanie

W celu poprawnego zamodelowania układu należy przeanalizować podstawowe definicje z zakresu tematyki

- definicje dotyczące promieniowania
- Prawo Stefana-Boltzmannna
- emisja promieniowania z powierzchni rzeczywistych
- wymiana promieniowania pomiędzy powierzchniami
- współczynniki konfiguracji promieniowania

Termika - SolidWorks Simulation

Typy przekazywania ciepła

Dwa typy analizy przekazywania ciepła:

Analiza termiczna stanu ustalonego - koncentruje się na stanie cieplnym ciała, gdy osiągnie ono stan równowagi cieplnej. Czas potrzebny do osiągnięcia równowagi cieplnej nie ma znaczenia.

$$\Delta t = \infty$$

Analiza termiczna stanu nieustalonego - koncentruje się na stanie cieplnym ciała w różnych chwilach czasowych.

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

Termika - SolidWorks Simulation

Analiza naprężeń cieplnych

Zmiany temperatury mogą wywoływać znaczne naprężenia w obiekcie.

Analiza naprężeń cieplnych oblicza naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia wywołane zjawiskami cieplnymi.

Termika - SolidWorks Simulation

Analiza termiczna oblicza rozkład temperatury w obiekcie w wyniku działania wszystkich tych mechanizmów lub niektórych z nich.

We wszystkich trzech mechanizmach energia cieplna przepływa od ośrodka o wyższej temperaturze do ośrodka o niższej temperaturze.

Przekazywanie ciepła przez przewodzenie i konwekcję wymaga obecności ośrodka pośredniczącego, w przeciwieństwie do przekazywania ciepła przez promieniowanie.

Termika - SolidWorks Simulation

Analiza termiczna

Symulowanie efektów wpływu temperatury umożliwia analizy stanów ustalonych i przejściowych wymian ciepła.

Badania termiczne obliczają temperatury, gradienty temperatur oraz przepływ ciepła na podstawie warunków wytwarzania ciepła, przewodzenia, konwekcji i promieniowania cieplnego.

Analiza termiczna pomaga uniknąć niepożądanych warunków cieplnych doprowadzających do przegrzania czy stopienia.

Termika - SolidWorks Simulation

Aby wykonać analizę termiczną, należy:

1. Utworzyć badanie termiczne.
 2. Zdefiniować **Właściwości** badania, aby ustawić typ badania (stan nieustalony lub ustalony), interakcję z SolidWorks Flow Simulation i solver.
 3. Zdefiniować **material** dla każdej bryły i skorupy.
 4. Zdefiniować umocowania i obciążenia termiczne. Można zdefiniować: **temperatury**, **konwekcję**, **strumień cieplny**, **moc cieplną** oraz **promieniowanie**.
- Można zadać temperatury na ścianach, krawędziach i wierzchołkach. Energia termiczna jest określana jako strumień cieplny lub moc cieplna. Konwekcja i promieniowanie są stosowane jako warunki brzegowe. Podczas określania konwekcji, należy wprowadzić współczynnik konwekcji oraz temperaturę płynu lub gazu otoczenia. Podobnie w przypadku promieniowania, należy określić współczynnik emisji oraz temperaturę otoczenia. Stała Stefana-Boltzmannna jest definiowana automatycznie.
5. W złożeniach i częściach wieloobiektowych należy zdefiniować prawidłowe ustawienia kontaktowe. Warunki kontaktu wpływają na przepływ ciepła przez obszary kontaktu.
 6. Utworzyć siatkę modelu i uruchomić badanie.
 7. Przejrzyć wyniki

Termika - SolidWorks Simulation

Naczynie na kuchence

- temp. początkowa 23 stop.C
- moc palnika 2000 W
- materiał Garnka – miedz
- naczynie wypełnione wodą
- analiza nieustalona – podgrzewanie przez 20 min (1200 sek.)
- konwekcja $90 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

