

Politechnika Poznańska



Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania

Mechanika i Budowa Maszyn

Informatyzacja i Robotyzacja Wytwarzania

Semestr 7

PROJEKT

METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Prowadzący:

dr hab. Tomasz Stręk

Autorzy:

Bartłomiej Dolak

Marcin Jaworski

Dariusz Pawlak

Spis treści

1. Symulacja przepływu ciepła w modelu 3D	3
1.1 Wstęp teoretyczny.....	3
1.2 Opis badanego urządzenia	3
1.3 Przedmiot analizy	5
1.4 Wyniki analizy i wnioski	6
2. Analiza aerodynamiki	8
2.1 Wstęp teoretyczny.....	8
2.2 Opis badanego urządzenia	8
2.3 Przedmiot analizy	10
2.4 Wyniki analizy i wnioski	11
3. Analiza stanu naprężeń	16
3.1 Opis badanego urządzenia	16
3.2 Przedmiot analizy	18
3.3 Wyniki analizy i wnioski	20
4. Literatura	20

1. Symulacja przepływu ciepła w modelu 3D

1.1 Wstęp teoretyczny:

Do wykonania analizy program COMSOL MULTIPHYSICS używa następującego równania:

$$\delta_{st}\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k\nabla T) = Q$$

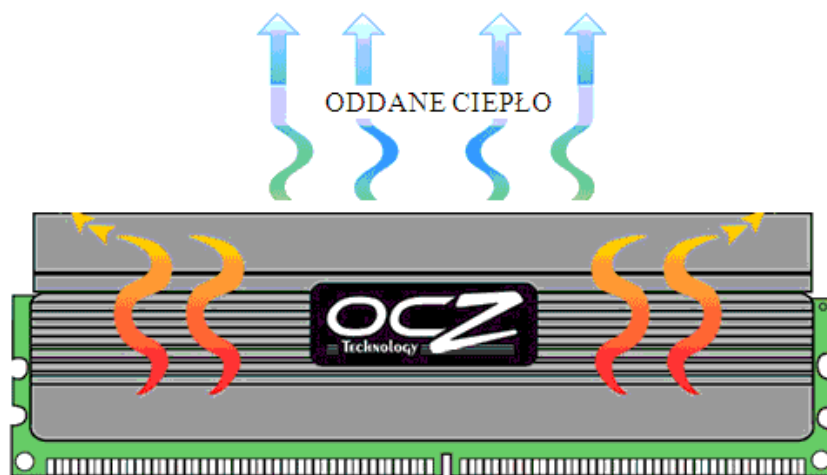
Gdzie:

- δ_{st} – współczynnik skalowania w czasie;
- ρ – gęstość;
- C_p - pojemność cieplna;
- k - tensor przewodności cieplnej;
- Q - źródło ciepła;

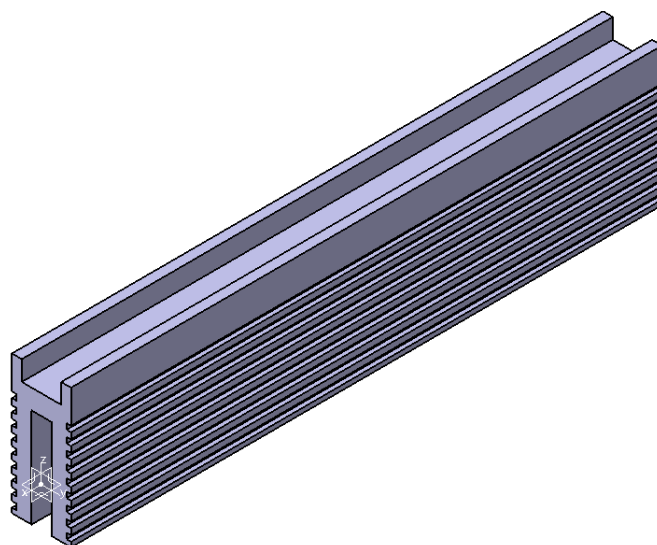
1.2 Opis badanego urządzenia:

Przedmiotem analizy jest radiator służący do chłodzenia kości pamięci RAM firmy OCZ. Radiator jest to wymiennik ciepła, czyli element odprowadzający ciepło z elementu, z którym się styka, do otoczenia (w tym przypadku otoczeniem jest powietrze). Radiator jest specjalnie ukształtowaną bryłą z metalu (lub jego stopów) dobrze przewodzącą ciepło o rozwiniętej powierzchni od strony zewnętrznej w postaci żeber, aby zwiększyć przepływ ciepła.

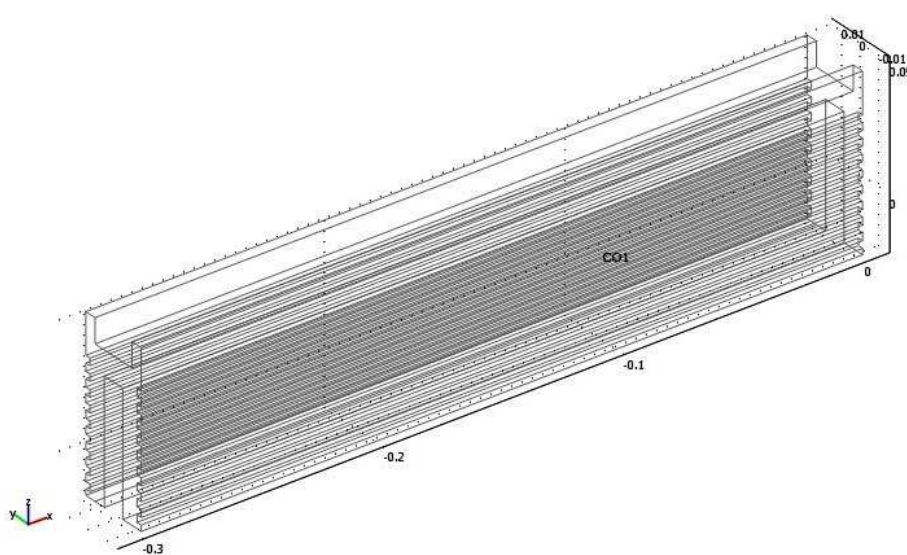
Ciepło wytworzone przez radiator zainstalowany na pamięci RAM jest odbierane przez powietrze bezpośrednio opływające układy scalone. Inne modele posiadają różnego typu radiatory: od najprostszych, ściśle przylegających do powierzchni całej płytki drukowanej (np. Patrioty LLK) poprzez dziurkowane zapewniające wentylację na wzór najwydajniejszych samochodowych tarcz hamulcowych, aż po moduły G.Skill PI bądź Patriot Viper wyposażone w specjalne grzebienie wyciągnięte ponad moduły odprowadzające ciepło na powierzchnię. Pamięci z radiatorami mają jedną istotną wadę. Gdy są zainstalowane w płycie głównej to przylegają ciasno do siebie, tak więc ilość oddawanego ciepła przez radiatory zainstalowane na pamięciach RAM szybko się kumuluje i radiator przy największym obciążeniu RAMu obniża swoją wydajność.



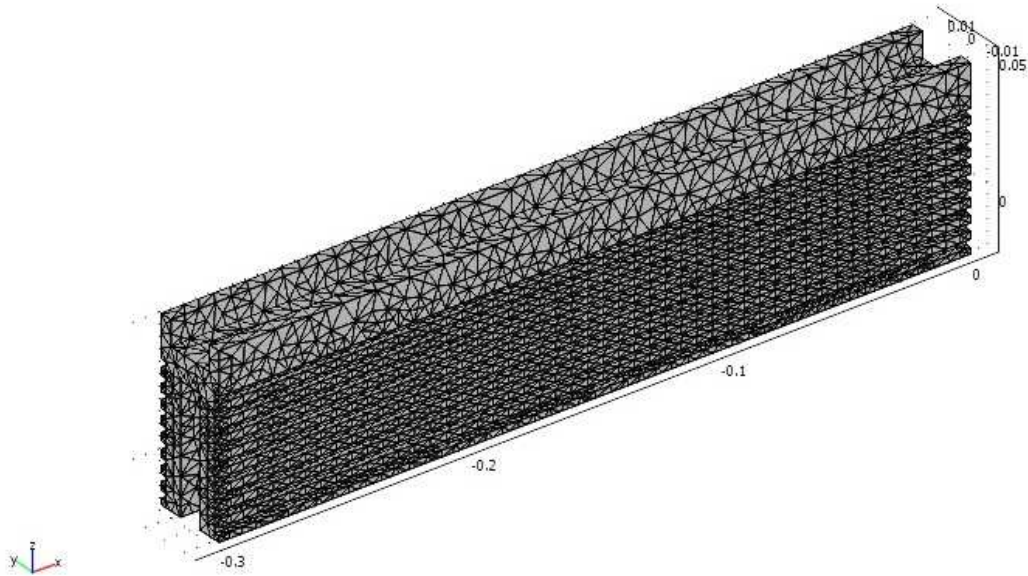
Rysunek 1. Schemat radiatora.



Rysunek 2. Model wykonany w programie CATIA



Rysunek 3. Model wczytany do programu COMSOL.



Rysunek 4. Siatka (mesh)

1.3. Przedmiot analizy:

Przedmiotem analizy jest wpływ ciepła w modelu radiatora chłodzącego pamięć RAM. Celem analizy jest sprawdzenie rozkładu analizy w radiatorze.

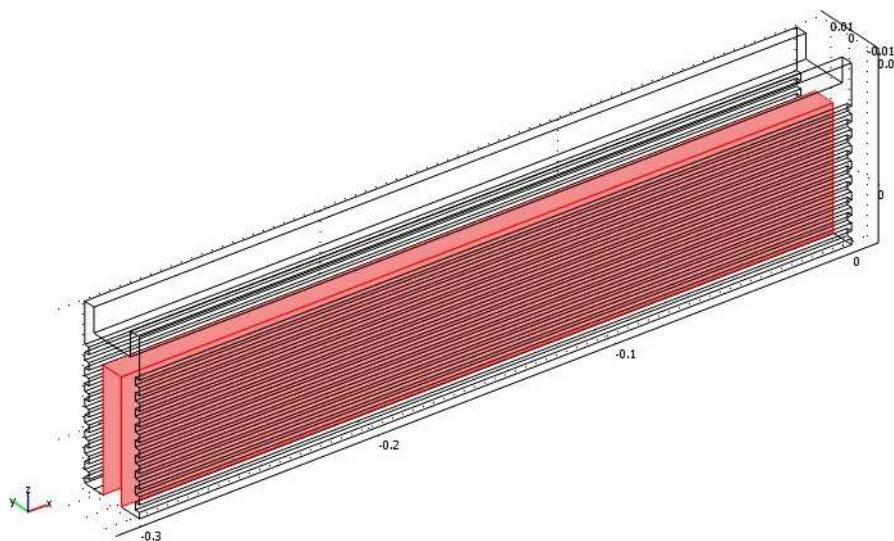
Założenia modelowe:

- Materiał jest jednolity w całej objętości;
- Wszystkie powierzchnie zewnętrzne są idealnie gładkie;

Zadane parametry analizy:

- Materiał (wybrany z bazy materiałowej programu COMSOL):
 - Gatunek: Miedź UNS C10200
 - Procentowy skład chemiczny: czysta miedź (100% Cu)
 - Współczynnik skalowania w czasie: $\delta_{st} = 1$
 - Gęstość: $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$
 - Ciepło właściwe: $C_p = 390 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
 - Temperatura początkowa: 293K
 - Temperatura otoczenia: 298K
 - Temperatura chłodzonego urządzenia: 363K
 - Ilość elementów w siatce: 16221 elementów skończonych.
 - Zależność czasowa: (0:1:600)

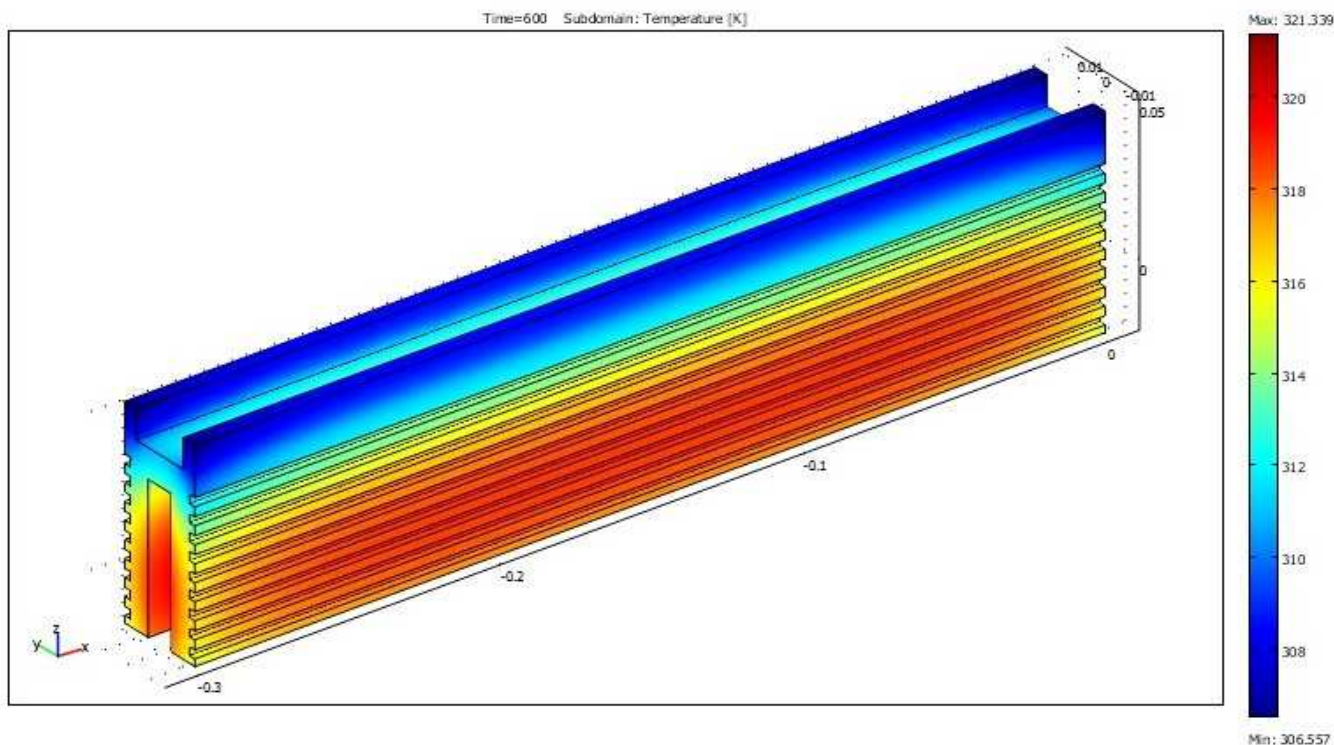
Na poniższym rysunku pokazane zostały powierzchnie, które bezpośrednio stykają się z kością RAM, przez co zostają nagrzane do temperatury 90°C (363K), natomiast pozostałe powierzchnie posiadają temperaturę równą temperaturze otoczenia (co zostało ustawione poprzez funkcję *Heat flux* – współczynnik oddawania ciepła $h = 75\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).



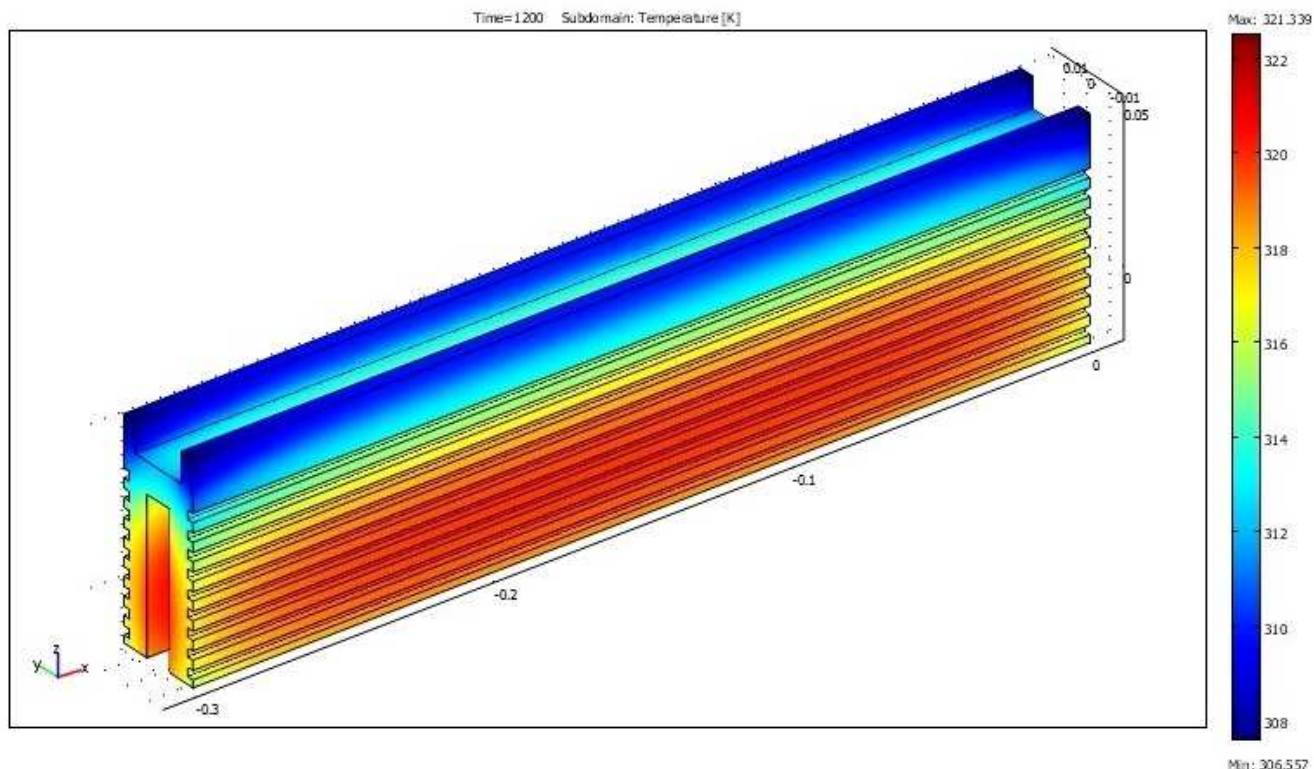
Rysunek 5: powierzchnia do której bezpośrednio dostarczane jest ciepło.

1.4. Wyniki analizy i wnioski:

Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki analizy dokonanych przez program COMSOL. Analizę prowadzono do chwili, w której nie następowało dalsze nagrzewanie górnych i bocznych zewnętrznych powierzchni radiatora.



Rysunek 6. Rozkład temperatury w radiatorze po upływie 600s



Rysunek 7. Rozkład temperatury w radiatorze po upływie 1200s

Z przeprowadzonej analizy można wnioskować, że radiator skutecznie odprowadza ciepło z chłodzonego urządzenia do otoczenia. Uźebrowanie radiatora powoduje efektywniejsze odprowadzenie ciepła poprzez zwiększenie powierzchni oddającej ciepło do otoczenia. Wyniki otrzymane w programie COMSOL podczas tej analizy można uznać za wiarygodne i zgodne z oczekiwaniami.

Metalowa część radiatora nie powinna dotykać bezpośrednio rdzenia podzespołów pamięci, gdyż jest ona na tyle nierówna, że uzyskanie dobrego przewodnictwa cieplnego podzespół – radiator, wymagałoby silnego dociśnięcia radiatora do rdzenia RAMu, co z reguły kończy się uszkodzeniem danego podzespołu.

Żebra radiatorów, jak i całe wnętrze ich obudowy powinny być wolne od kurzu i brudu, które spowalniają pracę radiatora i utrudniają wymianę ciepła.

2. Analiza aerodynamiki przekroju skrzydła samolotu

2.1 Wstęp teoretyczny:

Do wykonania analizy program COMSOL MULTIPHYSICS używa następującego równania:

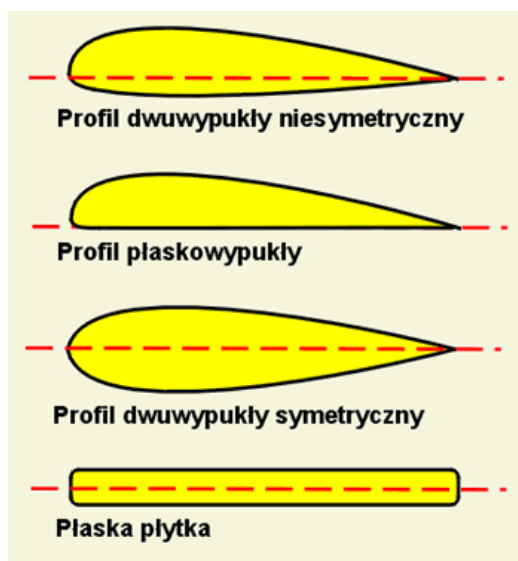
$$\frac{\rho \partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-\rho l + \eta(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F$$

$$\nabla u = 0$$

2.2 Opis badanych modeli:

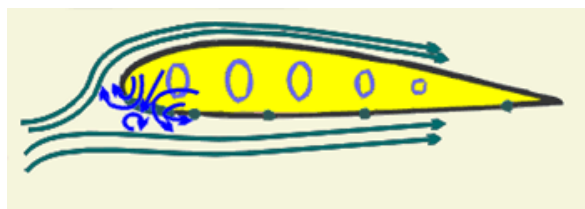
Przedmiotem analizy są cztery rodzaje profili skrzydeł samolotu. Profilem nazywamy kształt, jaki otrzymamy po przekrojeniu w poprzek danego przedmiotu. Profil aerodynamiczny charakteryzuje się tym, że daje udźwig bardzo duży, zaś opór w stosunku do niego jest bardzo mały.

Będziemy analizować przepływ wokół następujących rodzajów profili aerodynamicznych :



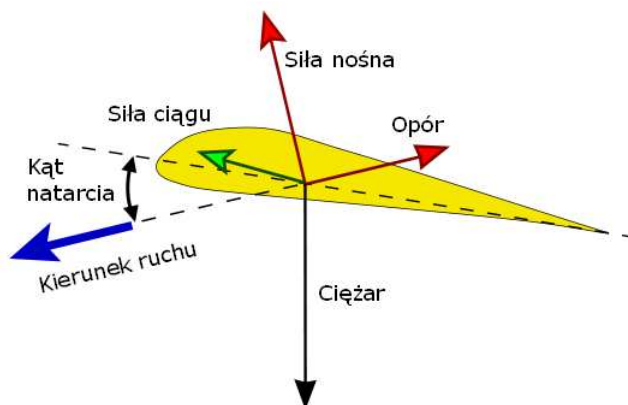
Rysunek 1. Cztery profile skrzydeł poddane analizie.

W paralotniarstwie używany jest profil dwuwypukły niesymetryczny. Wynika to z faktu użycia tkaniny do produkcji skrzydła. Z tkaniny nie da się wytworzyć profilu płasko wypukłego. Dolna powierzchnia zawsze się wybrzuszy zmieniając jego obrys. Skrzydło paralotni uzyska kształt profilu aerodynamicznego, gdy zostanie wypełnione powietrzem. Służą do tego wloty znajdujące się na krawędzi natarcia, przez które dostaje się powietrze. Po wypełnieniu się skrzydła, ciśnienie wewnątrz niego powoduje uzupełnienie brakującego fragmentu pokrycia - tworzy się jego fałszywy obrys. Dzięki temu opływ powietrza podczas lotu nie jest zakłócony – jest to uwidocznione na poniższym schemacie



Rysunek 2. Opływ powietrza podczas lotu.

Siła nośna powstaje, gdy powietrze opływa profil w sposób niezakłócony.



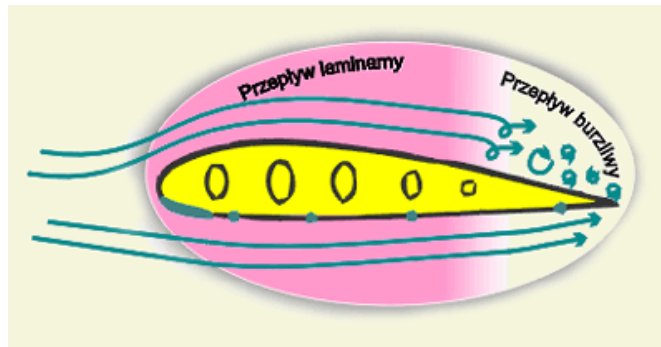
Siła nośna – siła działająca na ciało poruszające się w płynie (gazie lub cieczy), prostopadła do kierunku ruchu. Siła nośna działa np. na skrzydła i usterzenie samolotu, łopaty śmigła lub wirnika śmigłowca, na żagiel jachtu, jego ster, kil lub miecz, na łopatki turbin i sprężarek.

Siła nośna jest niekiedy czynnikiem szkodliwym i trzeba podejmować specjalne kroki, aby uniknąć jej wpływu. Na przykład kominy na Wyspach Brytyjskich, gdzie częste są silne wiatry, mają specjalne spiralne kołnierze z blachy, aby uniknąć pulsującej siły mogącej rozkołysać komin. Nie jest to bynajmniej siła oporu, ale zmienna (w takt odrywania się od komina zawirowań powietrza), prostopadła do kierunku wiatru .

Możemy wyróżnić tutaj dwa rodzaje przepływu:

- laminarna warstwa przyścienna - gdy przepływ jest uporządkowany, tzn. wszystkie cząsteczki powietrza biegną równoległe do siebie oraz do opływanej ścianki. Przepływ ten nazywamy laminarnym, zaś warstwę przyścienną - warstwą laminarną.
- burzliwa warstwa przyścienna - od przebycia pewnej drogi, której długość zależy od stopnia szorstkości ścianki, przepływ przestaje być równoległy do opływanej powierzchni i cząsteczki powietrza płyną początkowo po torach coraz bardziej pofalowanych, a później mieszają się między sobą na skutek zawirowań.

Zafalowania te są bardzo podobne do zafalowań powierzchni wody przez wiatr. Taki przepływ nazywamy przepływem turbulentnym albo burzliwym.



Rysunek 3. Różnice pomiędzy przepływem laminarnym a turbulentnym i miejsce ich występowania.

2.3 Przedmiot analizy:

Do symulacji użyto modułu nieściśliwego badania przez profil skrzydła w kanale pod kątem prostym do nadciągającego płynu (w naszym wypadku będzie to powietrze).

Tunel aerodynamiczny został zaprojektowany jako widok 2D (prostokąt), bok lewy jest miejscem, w którym strumień powietrza dostaje się do układu (wlot powietrza) natomiast blok prawy umożliwia jego swobodny wylot. Ścianę górną oraz dolną skonstruowano jako granice nie przepuszczające przepływu.

Stałe obliczeniowe:

- gęstość pola $\rho_0 = 1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- lepkość dynamiczna $\eta_0 = 1.0E - 3 [Pa \cdot s]$
- maksymalna prędkość początkowa $U_{max} = 1.5 \left[\frac{m}{s} \right]$

Siły lepkości w tunelu aerodynamicznym są proporcjonalne do gradientu pola prędkości na powierzchni profilu. Ocena gradientu prędkości na granicy poprzez bezpośrednie różnicowanie jest rozwiązywana metodą MES.

W prowadzonym przez nas badaniu ważną rolę odgrywają bezwymiarowe współczynniki sił, które zależą wyłącznie od liczby Reynoldsa i kształtu obiektu a nie jego wielkości. Wspomniane współczynniki są definiowane następująco :

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho U^2 D}$$

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho U^2 D}$$

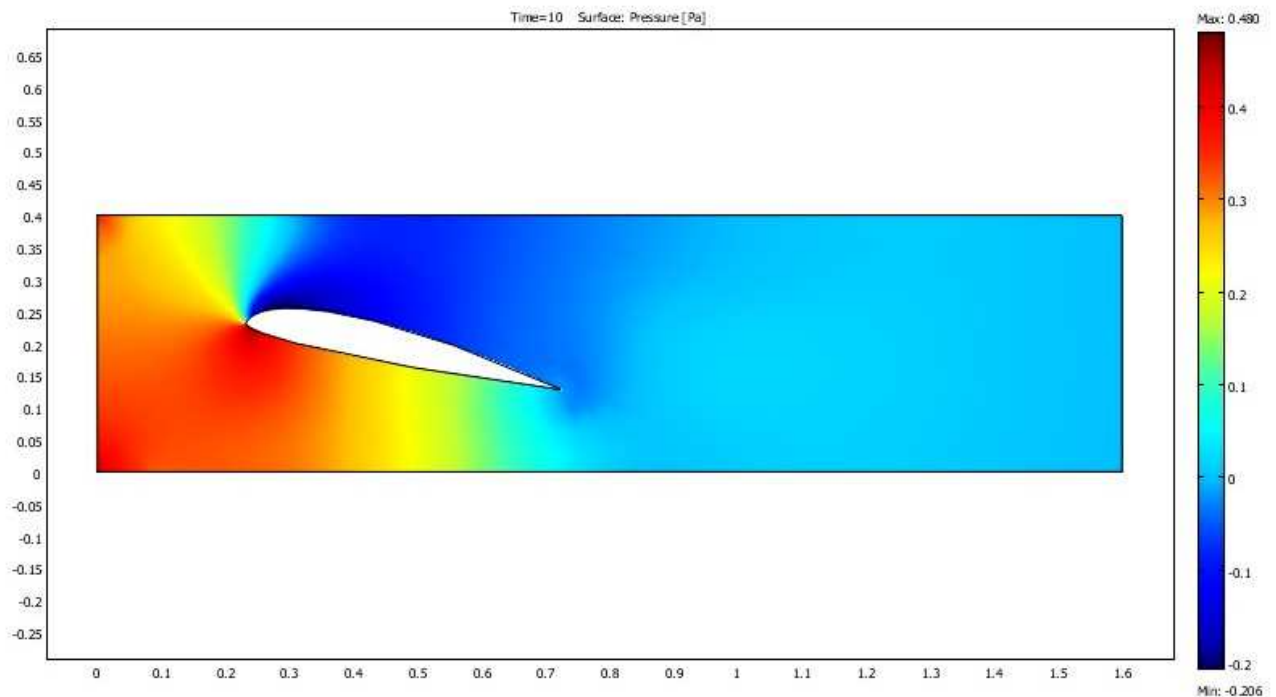
Gdzie:

- F_D oraz F_L to siły dynamiczne (powodujące unoszenie i opadanie)
- ρ to gęstość powietrza
- U to średnia prędkość

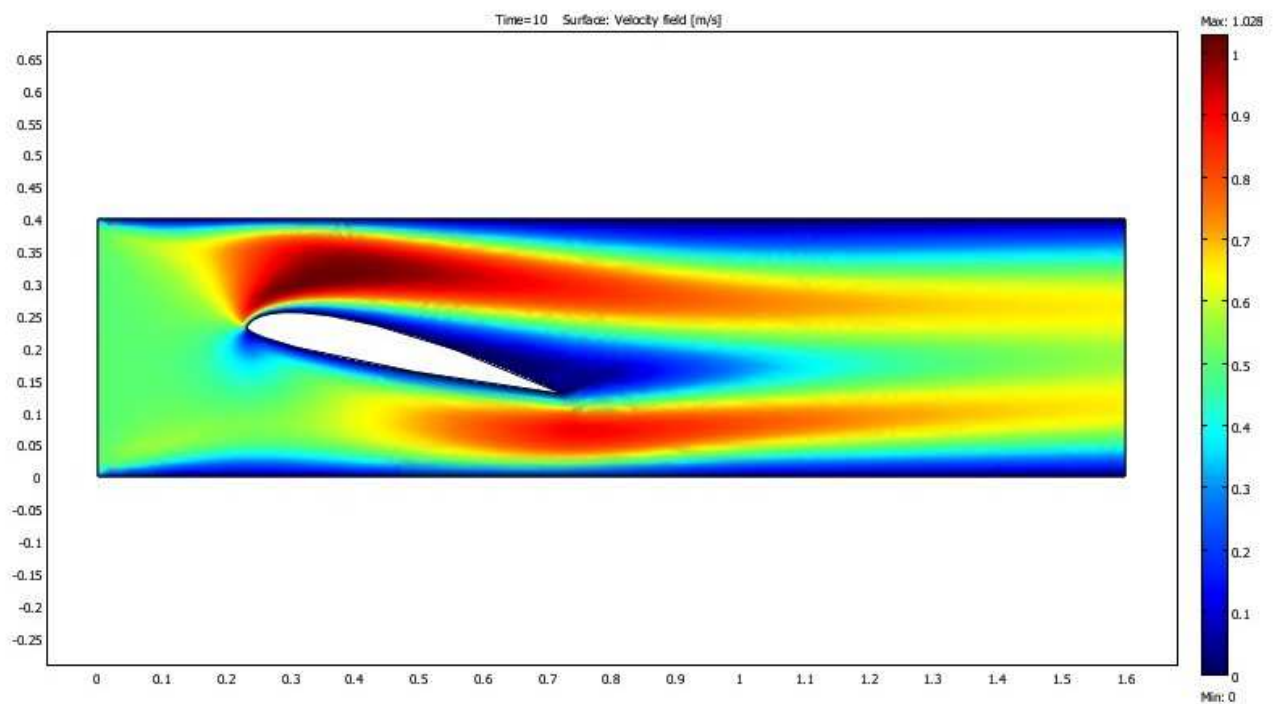
- D to współczynnik kształtu, w tym wypadku zależy od wysokości profilu.

2.4 Wyniki analizy i wnioski:

- **Profil dwuwypukły niesymetryczny**

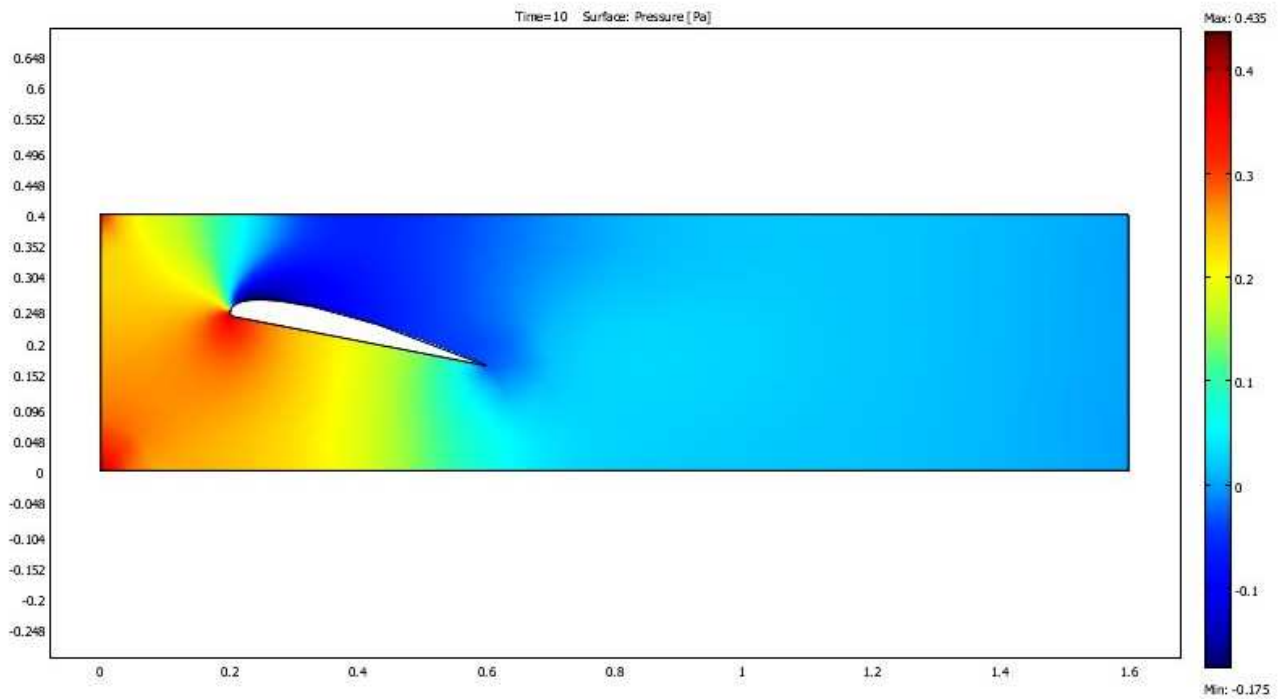


Rysunek 4. Rozkład ciśnienia (siła nośna).

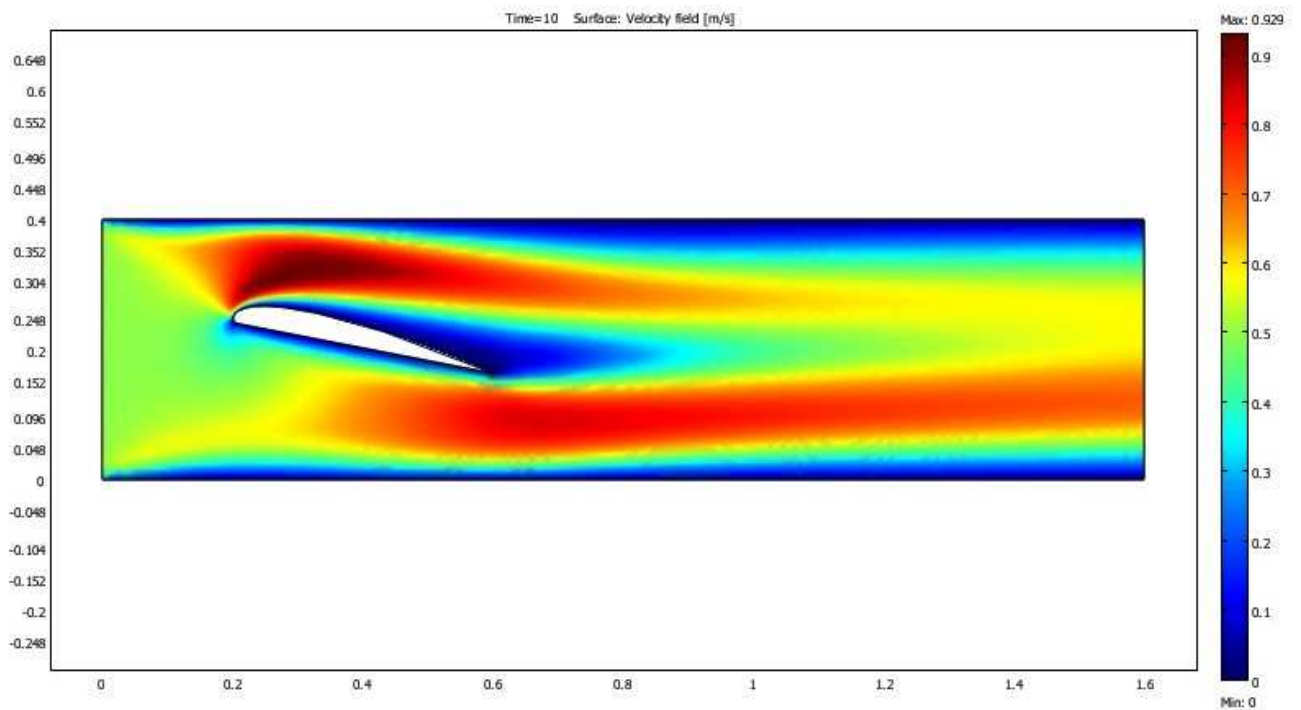


Rysunek 5. Rozkład prędkości cząsteczek powietrza.

- Profil płasko wypukły

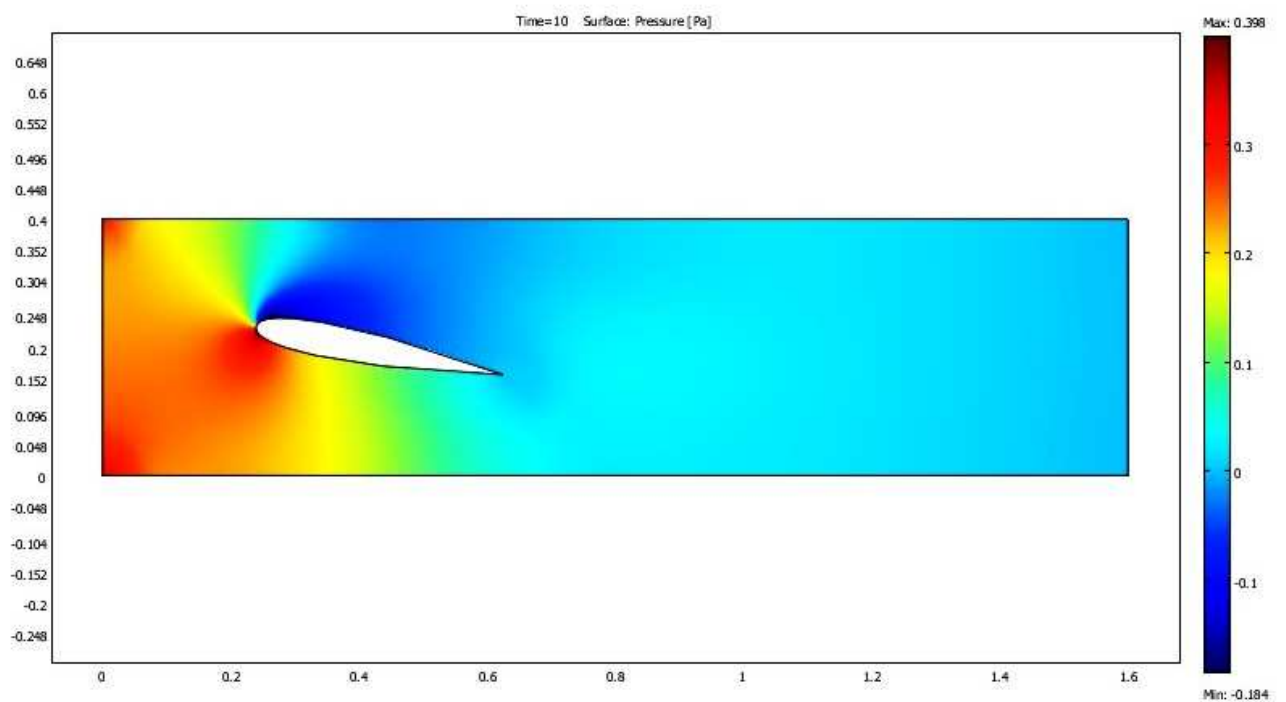


Rysunek 6. Rozkład ciśnienia (siła nośna).

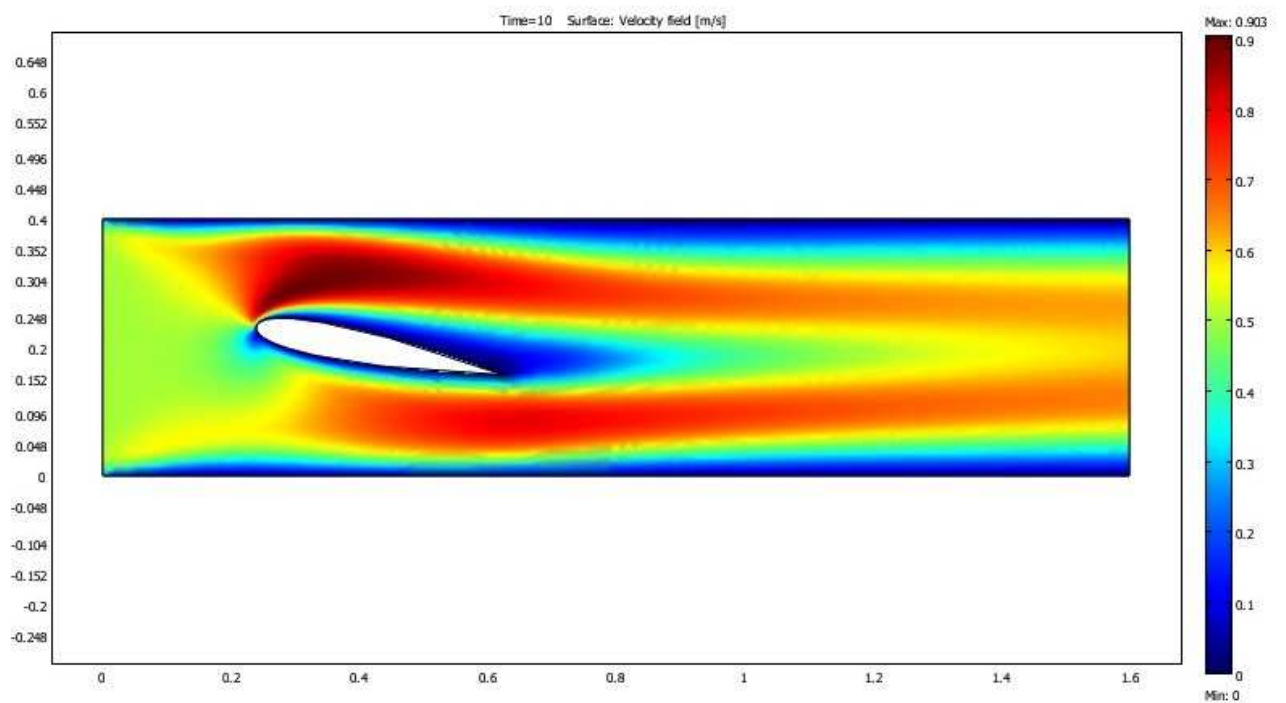


Rysunek 7. Rozkład prędkości cząsteczek powietrza

- Profil dwuwypukły symetryczny

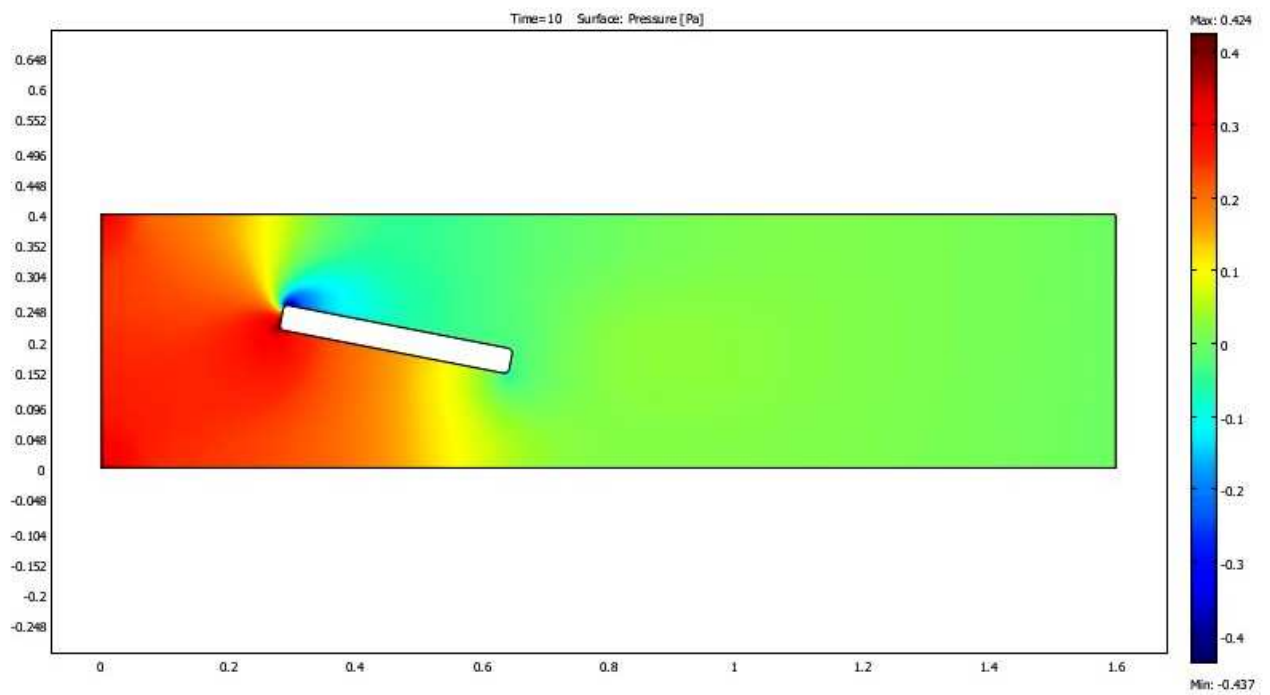


Rysunek 8. Rozkład ciśnienia (siła nośna).

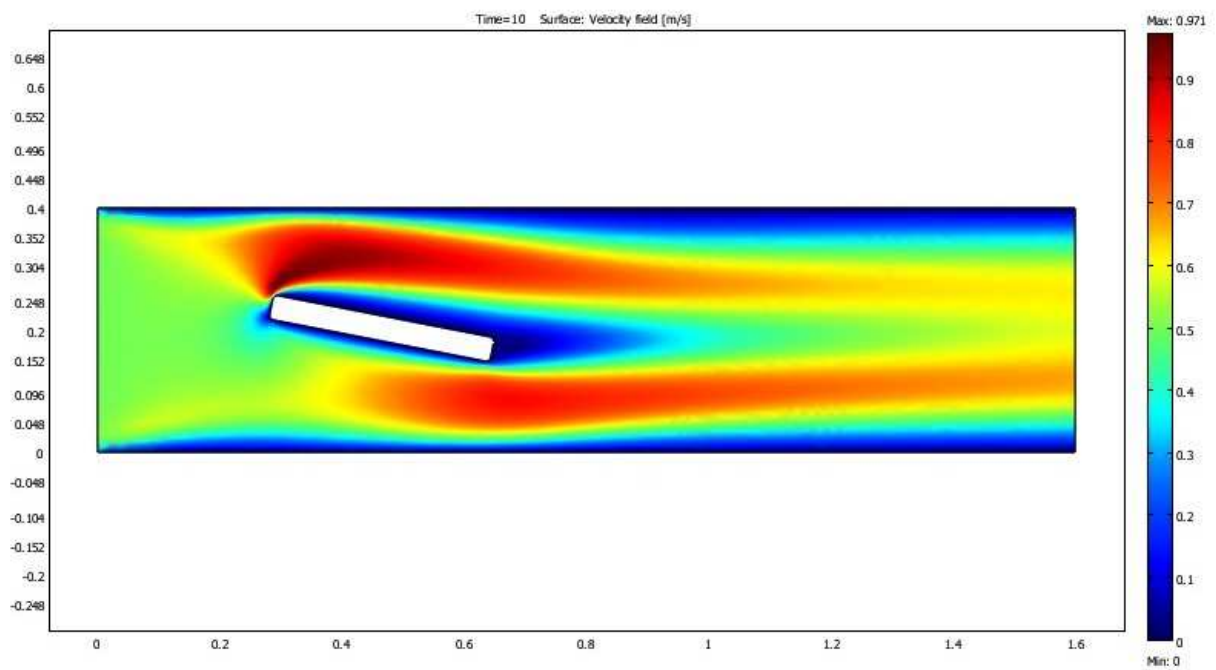


Rysunek 9. Rozkład prędkości cząsteczek powietrza

- Płaska płytk

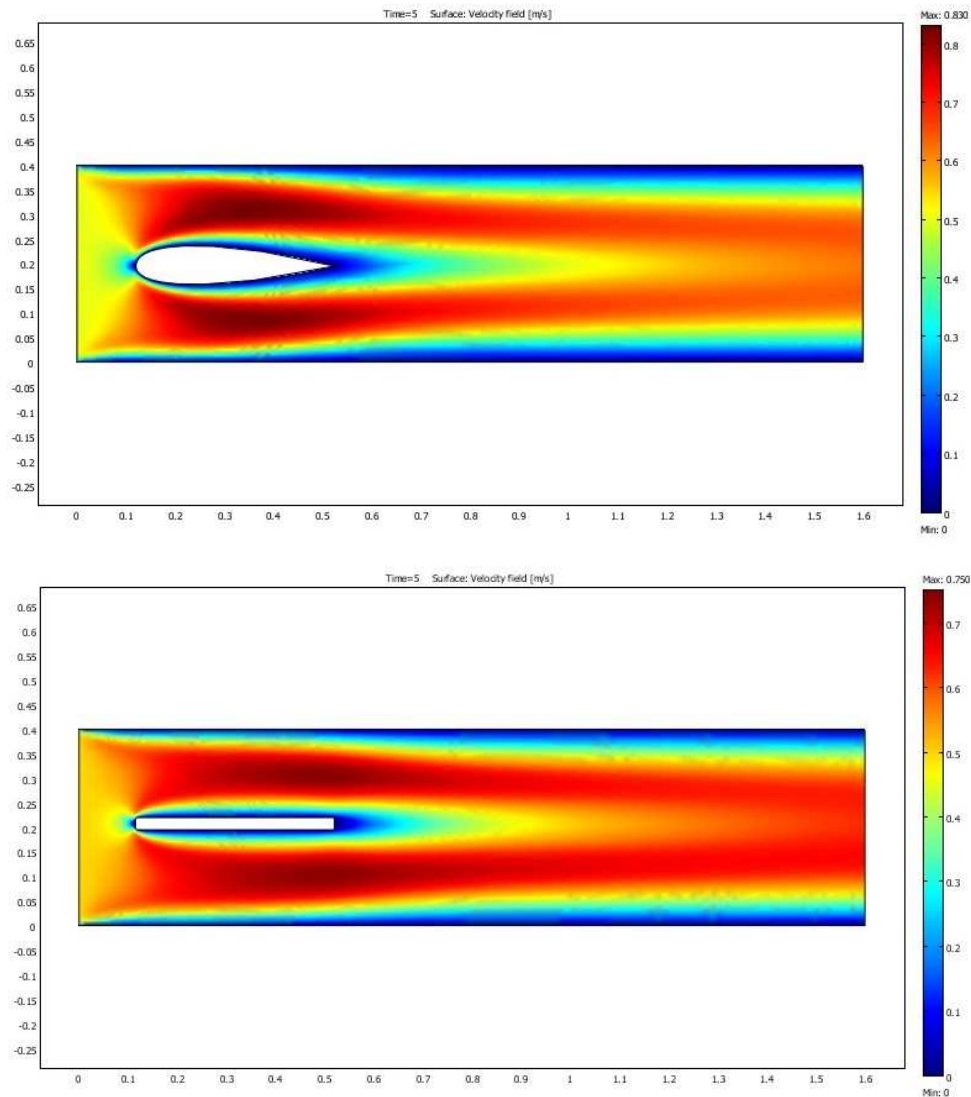


Rysunek 10. Rozkład ciśnienia (siła nośna).



Rysunek 11. Rozkład prędkości cząsteczek powietrza.

Wykonanie analizy potwierdziło, iż płytka płaska oraz profil dwuwypukły symetryczny nie wytwarza siły nośnej przy zerowym kącie natarcia. Droga powietrza opływającego górną i dolną powierzchnię tych profili jest taka sama (widać to na zdjęciach zamieszczonych poniżej). Aby wytworzyć na nich siłę nośną, należy ustawić je pod kątem do napływających strug.



Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia można wywnioskować, iż najlepsze właściwości aerodynamiczne posiada skrzydło o profilu dwuwypukłym niesymetrycznym. Jego kształt na przestrzeni lat wyewoluował tak, by sprawniej oraz z mniejszymi oporami powietrza uzyskać jak największą siłę nośną. Najwyraźniej widać to na widmie przedstawiającym dynamikę opływu tego właśnie kształtu przez powietrze. Profil dwuwypukły niesymetryczny charakteryzuje się pełną statecznością bez jakichkolwiek zakłóceń.

3. Analiza stanu naprężeń

3.1 Opis badanego urządzenia:

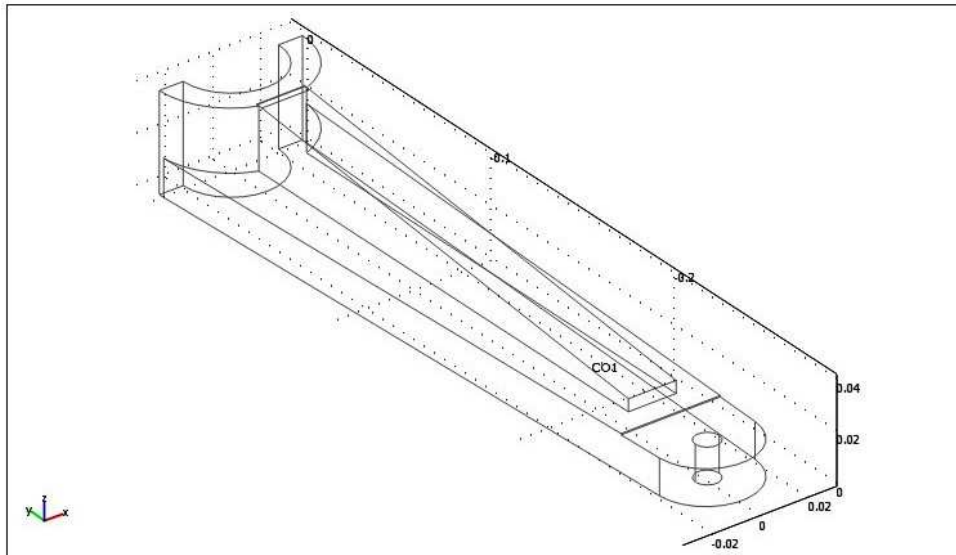


Rysunek 1. Zdjęcie ściągacza do łożysk

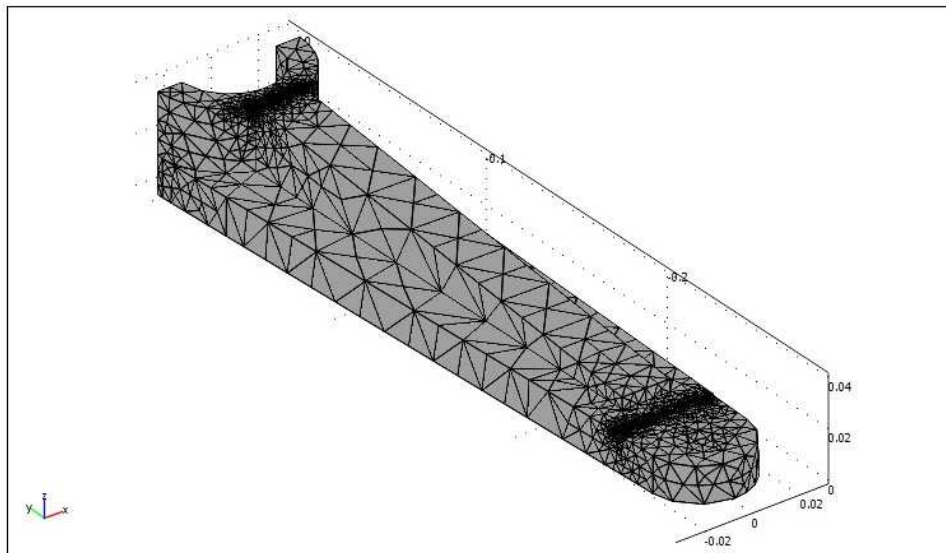
Przedmiotem analizy jest ściągacz służący do wyjmowania łożysk z gniazda.

Do ściągania łożysk z wałów należy używać ściągaczy, które są skonstruowane w ten sposób, że pozwalają wygiętymi zakończeniami łap zaczepiać za pierścień wewnętrzny, osadzony na wale. dzięki czemu nie wywierają żadnego nacisku na luźny pierścień zewnętrzny. Zdejmowanie łożyska można znacznie ułatwić, a nawet obejść się bez ściągacza, jeżeli rozgrzejemy je we wrzącym oleju wrzecionowym.

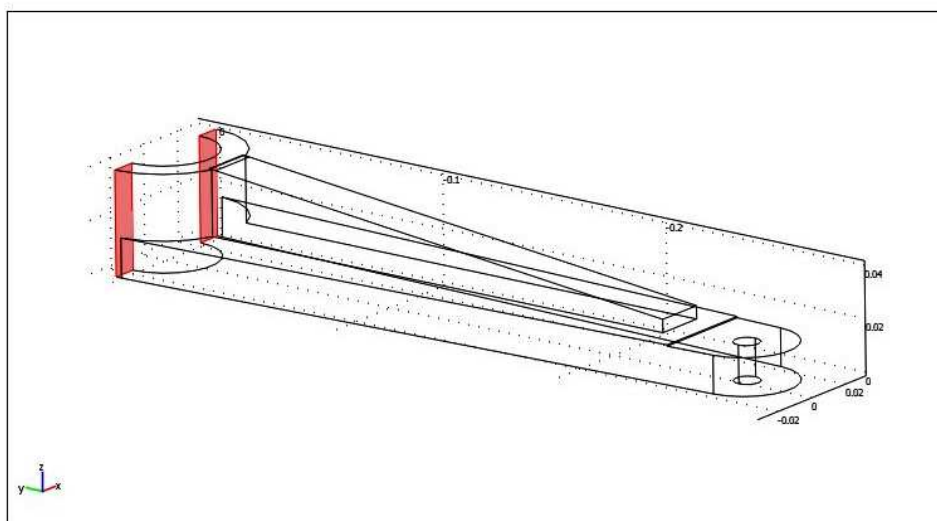
Łożyska wyciągamy z gniazd w obudowie posługując się ściągaczem w ten sposób, żeby siła nacisku wywierana była tylko na pierścień zewnętrzny, równomiernie na całym jego obwodzie. Jedynie przy wyciąganiu łożyska z gniazda nieprzelotowego trzeba założyć specjalny ściągacz na pierścień wewnętrzny. Demontaż łożyska tym sposobem przeprowadzamy również po rozgrzaniu obudowy, aby jak najbardziej zmniejszyć siłę wcisku utrzymującą łożysko w gnieździe.



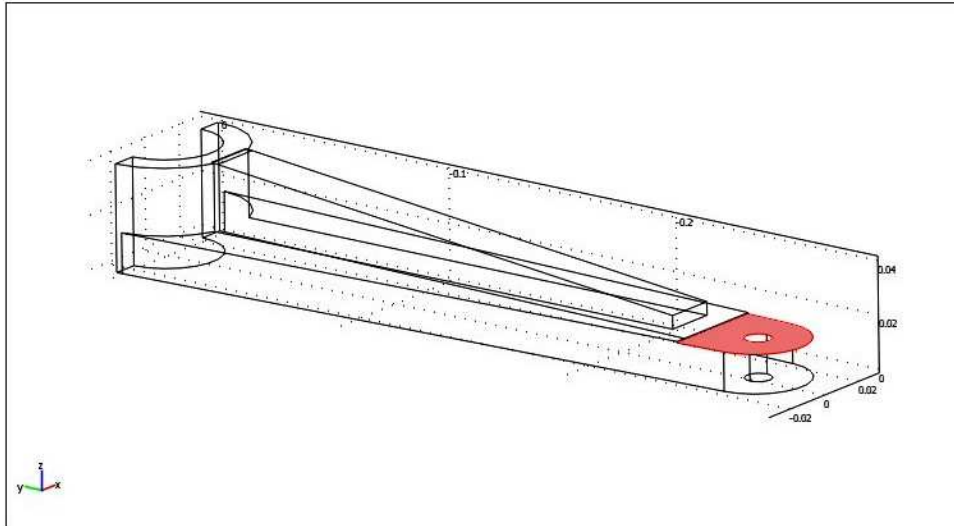
Rysunek 2. Model wczytany do programu COMSOL.



Rysunek 3. Siatka (mesh).



Rysunek 4. Powierzchnie utwierdzone;



Rysunek 5. Powierzchnia przyłożenia siły.

3.2 Przedmiot analizy:

Przedmiotem analizy jest połowa belki górnej ściągnąca do łożysk poddana momentowi gnącemu.

Stałe obliczeniowe:

- gęstość materiału belki $\rho_0 = 7850 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- współczynnik Poissona $\nu = 0,33$
- moduł Younga $E = 2e11 Pa$
- siła obciążająca: $F = -78503 N/m^2$

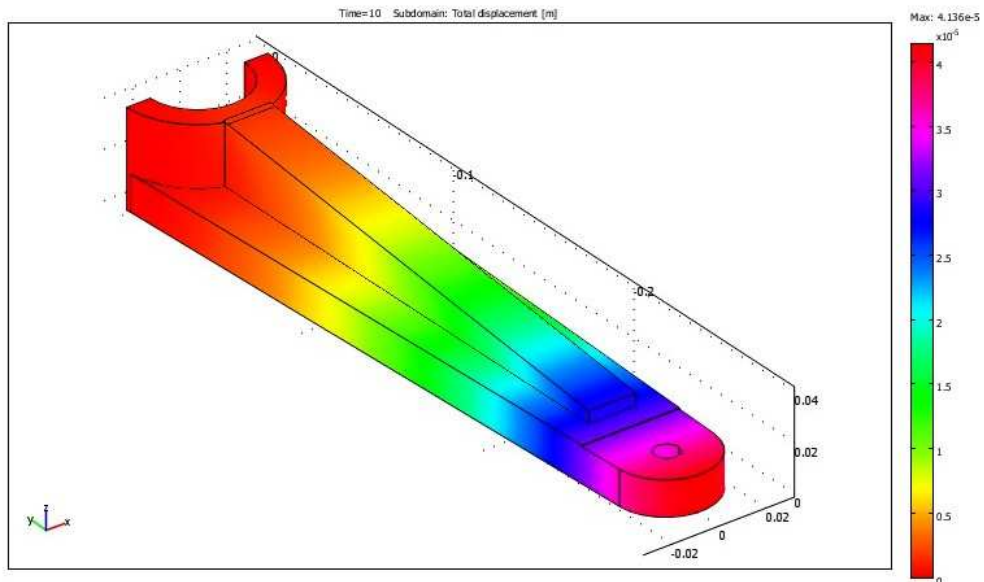
Założenia modelowe:

- Materiał jest jednolity w całej objętości;
- Wszystkie powierzchnie zewnętrzne są idealnie gładkie;

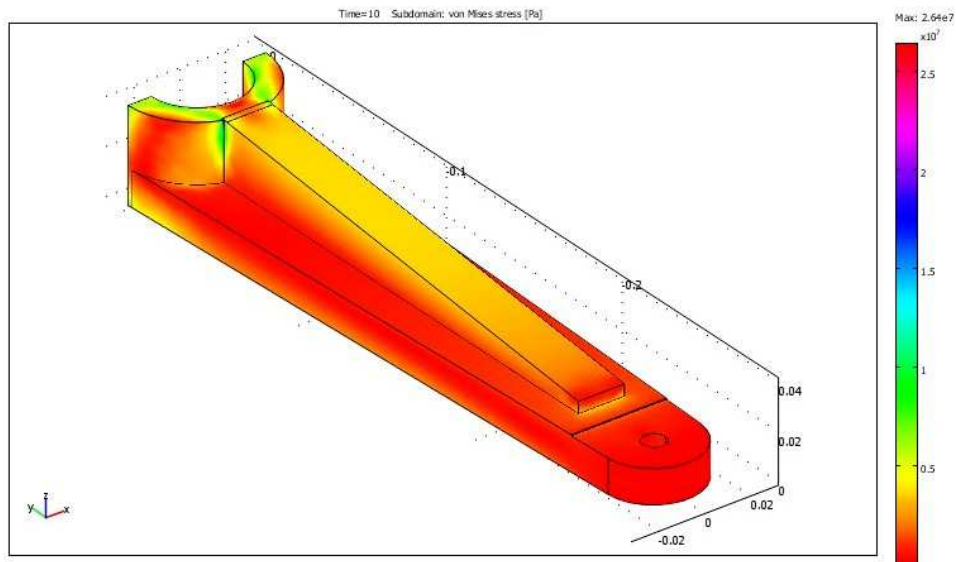
3.3 Wyniki analizy i wnioski:

Analizie poddano belkę o długości 0,3 [j], która jest utwierdzona w ścianie z jednej strony. Powierzchnię pokazaną na Rysunku 5. poddano obciążeniu równemu $F = -78503 N/m^2$ działającemu przeciwnie i wzdłuż osi z (ze znakiem minus, ponieważ zwrot działania siły jest przeciwny do zwrotu osi).

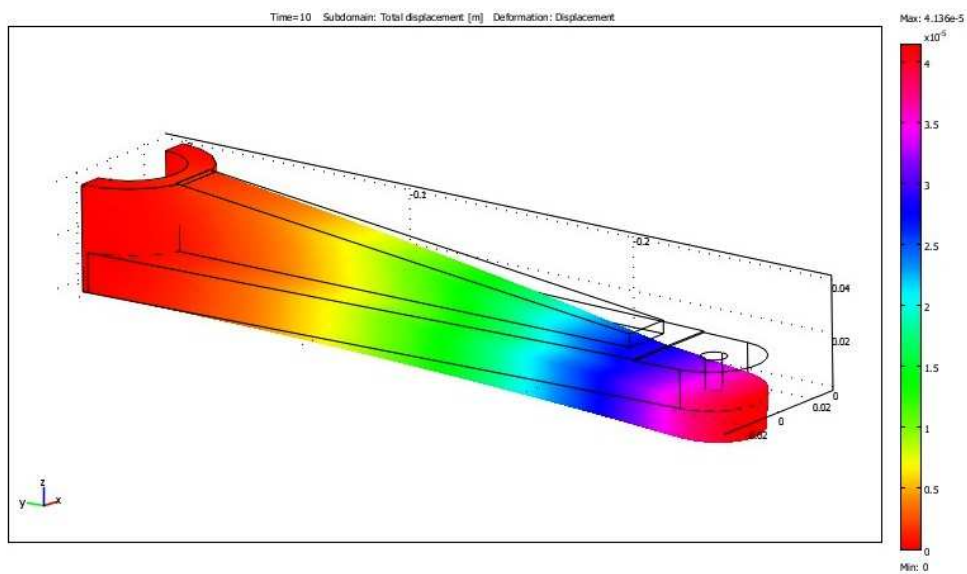
Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki analizy dokonanych przez program COMSOL.



Rysunek 6. Naprężenia całościowe – w każdej osi



Rysunek 7. Naprężenia zredukowane Von Mises bez deformacji



Rysunek 8. Naprężenia całościowe z deformacją.

W wyniku działającego obciążenia belka uległa odkształceniu, co widoczne jest na Rysunku 8. Do pokazania odkształcenia posłużono się funkcją *Total displacement*, której wartość wyrażono w metrach. Dodatkowo w celu uwidocznienia kształtu odkształceń uruchomiono funkcję *Deformed shape plot*.

Z przeprowadzonej przy pomocy programu COMSOL analizy można wnioskować, że belka poddana obciążeniu 78503 N/m^2 ulegnie odkształceniu, którego maksymalna wartość wynosi ok. $41 \mu\text{m}$ i znajduje się na końcu badanej belki.

4. Literatura:

[1] Kostowski E., Przepływ ciepła, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2006;