

# ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

## Symulacja komputerowa przepływu ciepła dla wybranych rozwiązań turbosprężarek

K. Dominiuk<sup>a</sup>, A. Góra<sup>a</sup>, A. Śliwa<sup>b</sup>, M. Sroka<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

email: Karol.Dominiuk@gmail.com, AdrianGora14@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

email: agata.sliwa@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy została przeprowadzona symulacja komputerowa rozkładu ciśnienia gazów w turbosprężarce wykonanej z materiałów charakteryzujących się wysoką żaroodpornością. Model numeryczny turbosprężarki został wykonany z użyciem jego rzeczywistych wymiarów, a następnie wykonano komputerową symulację przepływu ciepła przy pomocy programu SolidWorks firmy Siemens, a dokładniej z modułu jakim jest Flow Simulation.

**Abstract:** The article presents the analysis of pressure distribution in the turbocharger made of material with high heat resistance. In numerical model used a real dimension of the turbocharger and next we made the computer simulation of pressure distribution in SolidWorks software, we used a modul of Flow Simulation.

**Słowa kluczowe:** turbosprężarka, solidworks, flow simulation,

### 1. WSTĘP

W ostatnich latach nastąpił wzrost zainteresowania technologią turbosprężarek do napędzania silnika. Turbiny te znalazły zastosowanie szczególnie w silnikach Diesla, stanowiąc kluczową rolę w procesie zmniejszenia pojemności silnika (*downsizing*). W naszym odczuciu zapoczątkowując niekoniecznie dobry trend w motoryzacji, natomiast opłacalny dla producentów przemysłu motoryzacyjnego.

Intensywne badania turbosprężarek przyczyniły się do zrozumienia ich aerodynamicznego zachowania, chcąc sprostać jak najwyższym wymaganiom w celach zwiększenia porządanej sprawności silnika (sprawność diesla w procesie spalania wynosi ok. 50%).

Zestawiony współczynnik wymiany ciepła, który został znaleziony przy użyciu konwencjonalnych korelacji transferu ciepła wg. Baines'a, który zaproponował model

wymiany ciepła dla trzech różnych turbosprężarek. Współczynniki wykazały niezależność od modelu turbosprężarki tzn. wymiana ciepła mogła być przeprowadzona z dobrą dokładnością dla każdego modelu turbiny.

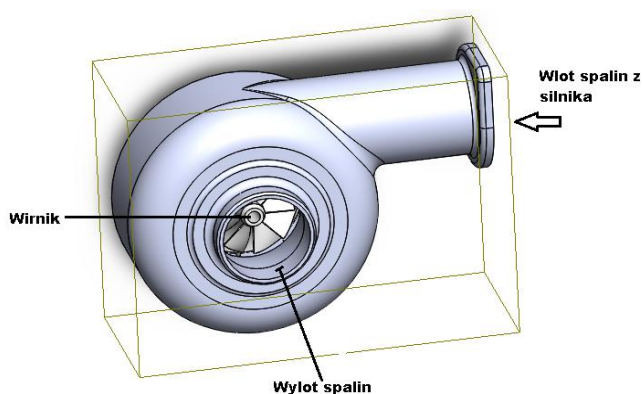
## 2. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA TURBOSPŘĘŻARKI

Konwencjonalna turbosprężarka jest zbudowana z dwóch głównych części: turbiny i sprężarki, a także z łożysk ślizgowych, kadłuba turbiny, kadłuba sprężarki, kadłuba środkowego, łożyska oporowego, kanałów olejowych, pierścieni uszczelniających, wałka turbosprężarki.

Wirnik, do którego wpadają spaliny z silnika napędza sprężarkę, która z kolei tłoczy powietrze do komory spalania. Zasada jego działania polega na wykorzystaniu energii kinetycznej spalin do wtłoczenia pod tłoki dodatkowej porcji powietrza. Spaliny wytracają swoją prędkość i zmieniają kierunek strumienia na wirniku napędowym, napędzają przez wspólną oś: wirnika sprężarki. Prędkość wirnika jest uzależniona od prędkości obrotowej silnika. Turbosprężarki (w tym poddana badaniu) pracują z prędkościami dochodzącymi do 250 tys obrotów na minutę w temperaturach około 800°C. Z powodu tak dużych prędkości wirnik turbosprężarki jest ułożyskowany w łożyskach ślizgowych smarowanych olejem z silnika.

W konwekcyjnych turbosprężarkach obserwowane jest zjawisko tzw. turbo dziury tzn. opóźnienie pomiędzy wciśnięciem pedału gazu, a reakcją turbiny (także silnika).

Dzięki zastosowaniu turbosprężarek silnik ma więcej mocy i większy moment obrotowy z mniejszą pojemnością i liczbą cylindrów. Konwencjonalne turbosprężarki, zostają powoli wypierane przez e-turbiny (turbosprężarki elektryczne). Główną zaletą e-turbiny jest jej niezależność pracy od szybkości z jaką działa silnik, brak tzw. turbo dziury.



Rysunek 1. Model budowy turbosprężarki wykonany w programie SolidWorks

Figure 1. Model of the turbocharger from SolidWorks software

Do budowy kadłuba turbosprężarki wykorzystany został materiał o nazwie „Niresist” (tab. 1). Materiał ten charakteryzuje się wysoką żaroodpornością, odpornością na ścieranie i korozję. Materiał, który został użyty do produkcji wirnika nosi nazwę „Inconel” (tab. 2) – charakteryzuje się wysoką żaroodpornością i odpornością na korozję.

Tab. 1. Skład chemiczny materiału „Niresist” [%]

Tab. 1. Chemical composition of the material „Niresist” [%]

| Ni      | Si  | Mn | Cr | Cu |
|---------|-----|----|----|----|
| 11 – 16 | 2,5 | 2  | 4  | 8  |

Tab. 2. Skład chemiczny materiału „Inconel” [%]

Tab. 2. Chemical composition of the material „Inconel” [%]

| Ni      | Cr | Fe | Nb | Mo | Ti  | Al  | C    |
|---------|----|----|----|----|-----|-----|------|
| 46 – 65 | 19 | 9  | 5  | 3  | 0,9 | 0,6 | 0,05 |

### 3. ANALIZA ROZKŁADU CIŚNIENIA GAZÓW

W celu obliczenia przepływu powietrza dla silników wolnossących można wykorzystać formułę:

$$CFM = \frac{CID * RPM * 0,5 * Ev}{1728} \quad (1)$$

gdzie:

$CID$  – przemieszczenie,  $RPM$  – obroty na minutę,  $Ev$  – sprawność objętościowa (0,80 – 0,90),

Znając stopień doładowania (*Boost Level*), trzeba obliczyć wskaźnik przepływu powietrza pod doładowaniem, przez pomnożenie współczynnika ciśnienia przez wskaźnik przepływu powietrza, następnie obliczamy stosunek ciśnienia:

$$PR = \frac{14,7 + \text{Doładowanie}}{14,7} \quad (2)$$

Kolejnym krokiem jest obliczenie zwiększenia przepływu powietrza:

$$PPM = CFM * \text{Współczynnik ciśnienia} \quad (3)$$

W celu obliczenia prędkości powietrza na minutę, zamieniamy jednostkę przepływu powietrza na [lbs/min]:

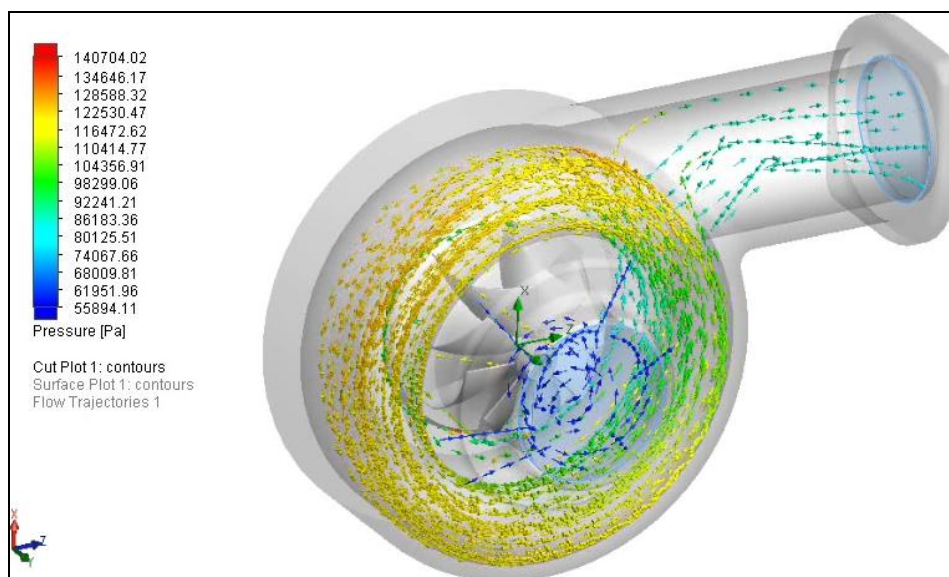
$$RPM = CFM * 0,076 \quad (4)$$

Na końcu zaleca się zastosowanie gotowych map (*Compressor Maps*) w celu dobrania najlepszego wskaźnika przepływu powietrza i współczynnika ciśnienia dla turbosprężarki. Reguła tych map jest to, że wzdłuż linii prądu występuje stałe całkowite ciśnienie.

Bardzo ważną cechą turbosprężarki jest doładowanie i ciśnienie napędowe (*Drive Pressure*). Ciśnienie napędowe jest wielkością siły, która jest używana by „zakręcić” turbosprężarkę. Natomiast doładowanie znacznie zwiększa moc silnika wolnossącego nawet 3 – 4 krotnie. W rzeczywistości „ciśnienie napędowe” jest trochę większe niż ciśnienie doładowania. Jeśli różnica między ciśnieniami będzie zbyt duża, spowoduje to spadek wydajności turbiny i obciąży elementy budowy turbosprężarki powodując uszkodzenie elementu.

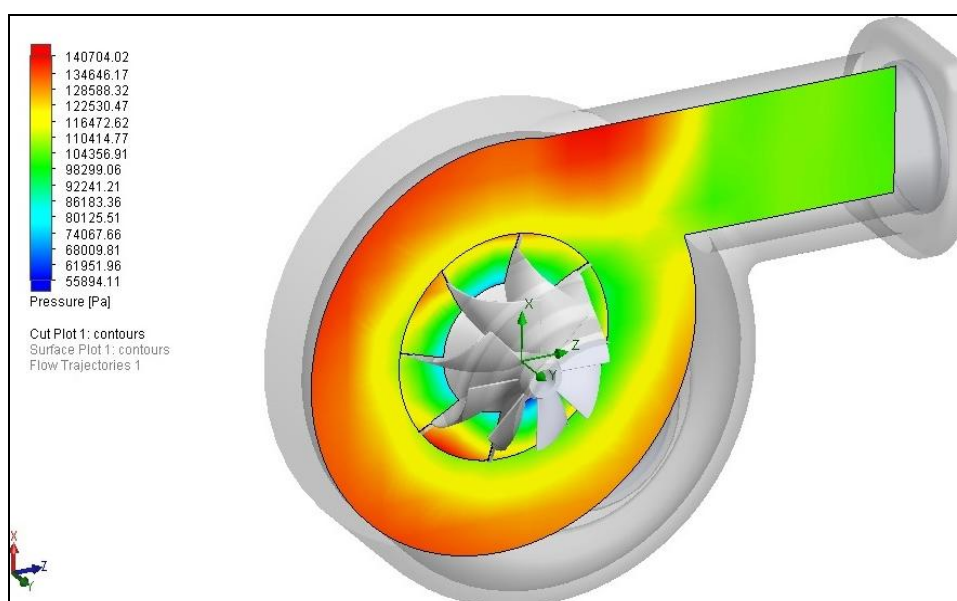
#### 4. ANALIZA ROZKŁADU CIŚNIENIA W PROGRAMIE SOLIDWORKS

Pierwszym krokiem w tworzeniu symulacji przepływu jest określenie obszaru obracania powietrza, wpisano wartość 2000 RPM. W menedżerze Wizard wybraliśmy gazy. Następnie określenie warunków brzegowych, w tym wypadku wlotu i wylotu powietrza. Nałożyliśmy na nie ciśnienia odpowiadające ciśnieniu atmosferycznemu. Zaznaczając wszystkie elementy modelu połączyliśmy je w element statyczny. Ostatnim krokiem było określenie celu badania, pokazującej wartość rozkładu ciśnienia w turbinie, widoczne na rys. 2– 4.



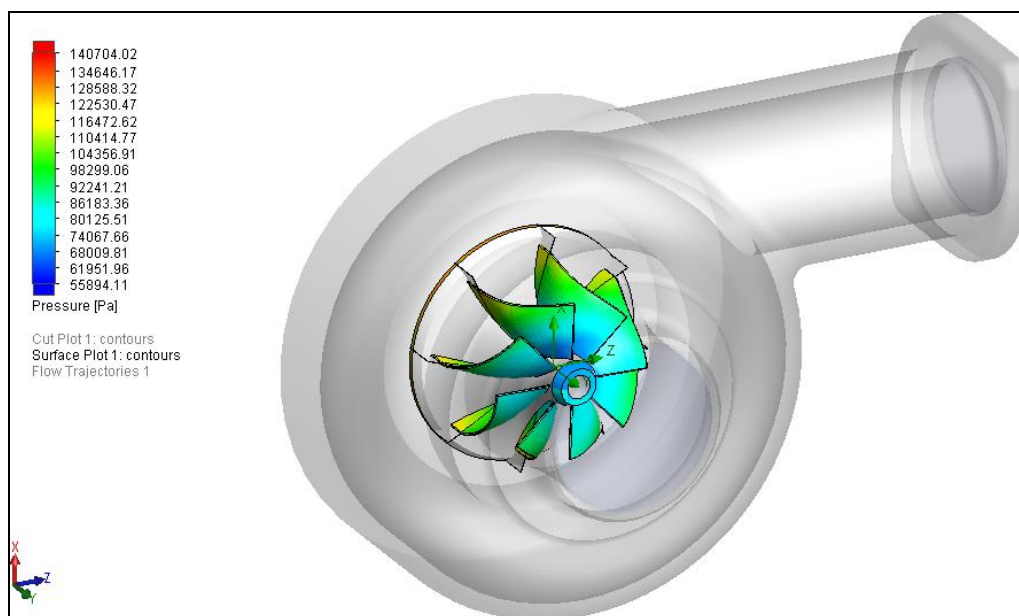
Rys. 2. Rozkład ciśnienia gazu w turbosprężarce

Fig. 2. The pressure distribution of gas on the turbocharger



Rys. 3. Rozkład ciśnienia gazu w turbosprężarce

Fig. 3. The pressure distribution of gas on the turbocharger



Rys. 4. Rozkład ciśnienia na wirniku turbiny

Fig. 4. The pressure distribution on the turbo wheel

## 5. PODSUMOWANIE

Powietrze o ciśnieniu atmosferycznym wpada do filtra powietrza, następnie do sprężarki w której jest sprężane powietrze przez turbosprężarkę do 140704 Pa (wirnik wykazuje 250 tysięcy obrotów na minutę w  $T = 800^{\circ}\text{C}$ , jego konstrukcja dosłownie pozwala na „zasysanie” powietrza). Najwyższy gradient ciśnienia w modelu pojawia się przy kadłubie turbiny do 140704 Pa. Gaz o określonym ciśnieniu przechodzi przez chłodnicę powietrza (*intercooler*), po czym kolektorem dolotowym dociera do komory spalania. W intercoolerze obniża się temperatura sprężonego powietrza, dzięki temu spalanie w komorze jest efektywniejsze przez zwiększoną ilość tlenu, co wpływa na większą moc silnika. Turbina wykorzystując energię spalin, powstałą w wyniku spalania mieszanki paliwowo–powietrznej. Efektywność powstałej energii wynosi 30%.

Podsumowując, dzięki turbosprężarce wzrasta sprawność silnika, dzięki wykorzystaniu energii gazów wydechowych, a w konsekwencji lepsza charakterystyka silnika. Wadą jest szybsze zużycie podzespołów silnika.

## LITERATURA

1. Rautenberg M, Mobarak A, Malobabic M, Influence of heat transfer between turbine and compressor on the performance of small turbochargers, Int. Gas Turbine Congress, 1983.
2. Bohn D, Heuer T, Kusterer K, Conjugate flow and heat transfer investigation of a turbocharger: Part i - numerical results, Proceedings of ASME turbo expo, Atlanta, 2003.
3. Bohn D, Moritz N, Wolff M, Conjugate flow and heat transfer investigation of a turbo charger: Part ii - experimental results, Proceedings of ASME turbo expo, Atlanta, 2003.

4. Casey MV, Fesich TM, On the efficiency of compressors with adiabatic flows, Proceedings of the ASME turbo expo, Orlando, 2009.
5. <http://www.solidworks.pl/>
6. <http://autokult.pl/>