

Analiza konstrukcji generatora termoelektrycznego ATEG przy wykorzystaniu narzędzi CFD

Andrzej Ziółkowski^{1a}, Paweł Fuć^{1b}, and Michał Dobrzyński^{1c}

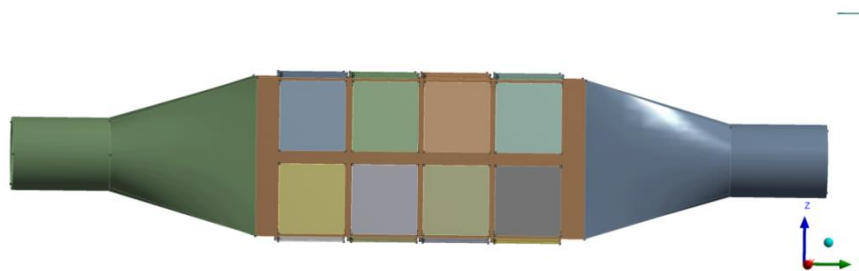
¹ Politechnika Poznańska

^{a)}Autor korespondencyjny: andrzej.j.ziolkowski@put.poznan.pl

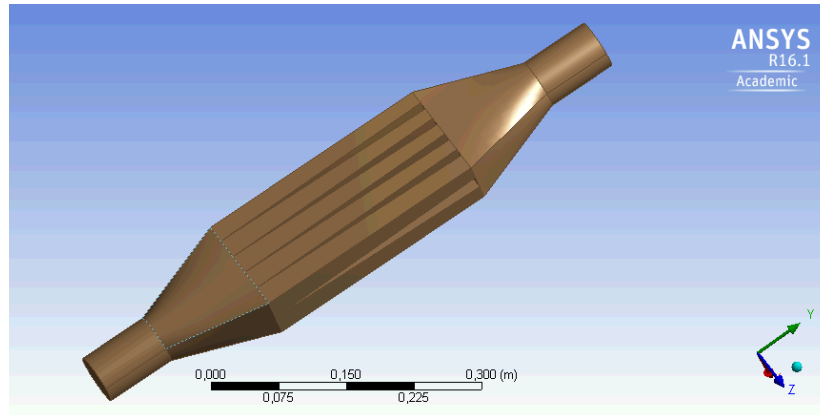
^{b)}pawel.fuc@put.poznan.pl

^{c)}michal.dobrzynski@put.poznan.pl

Streszczenie. Generator ATEG (Automotive Thermoelectric Generator) jest urządzeniem instalowanym w układzie wylotowym silnika, służącym do konwersji energii gazów wylotowych na energię elektryczną. Generator ATEG składa się z wymiennika ciepła, na którego powierzchni przymocowane są moduły termoelektryczne TEM (Thermoelectric Module) oraz z układu chłodzenia modułów. Nadrzędnym zadaniem generatora ATEG jest zwiększenie efektywności spalinowych układów napędowych. Jest to realizowane przez wykorzystanie energii chemicznej zwartej w paliwie pod postacią strumienia energii odprowadzanej z gazami wylotowymi. Wskutek zjawiska termoelektrycznego moduły TEM wytwarzają prąd elektryczny, który wspomaga działanie sieci elektrycznej pojazdu prowadząc do zmniejszenia mocy i rozmiarów klasycznego alternatora, co przekłada się na redukcję zużycia paliwa i emisji CO₂. W artykule przedstawiono analizę konstrukcji autorskiego generatora ATEG w zakresie rozkładu prędkości przepływu gazów wylotowych oraz rozkładu temperatury i gęstości strumienia ciepła na powierzchni żeber wymiennika ciepła. Wykonano ją przy wykorzystaniu akademickiej wersji oprogramowania Ansys CFX v16. Do prac przyjęto wartości temperatury i masowego natężenia przepływu gazów wylotowych uzyskane z pojazdu samochodowego podczas wykonywania pomiarów RDE (Real Driving Emissions) w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Wyniosły one odpowiednio $\dot{m}_{gw} = 0,010$ kg/s i $t_{gw} = 300^\circ\text{C}$, $\dot{m}_{gw} = 0,015$ kg/s i $t_{gw} = 450^\circ\text{C}$. W pierwszej kolejności zaimplementowano model geometrii wymiennika ATEG stworzony w oprogramowaniu CAD (rys. 1). Na potrzeby analizy numerycznej usunięto wszystkie zbędne elementy niewpływające na wyniki prowadzonych prac. W ostateczności geometrię tę dostosowano do analizy CFD i analizy termicznej. Do przeprowadzenia analizy CFD wygenerowano z objętości wewnętrznej wymiennika ciepła, objętość gazów wylotowych (rys. 2).



Rys. 1. Model geometryczny generator ATEG zaimportowany z program CAD

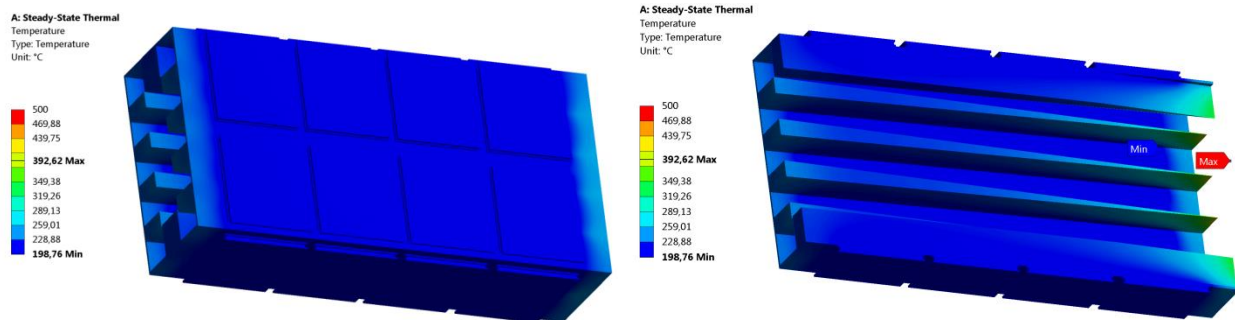


Rys. 2. Model gazów wylotowych do analizy CFD

W celu określenia warunków brzegowych do analizy termicznej wykonano w pierwszej kolejności analizę CFD. Na jej podstawie uzyskano informacje dotyczące rozkładu prędkości, ciśnienia oraz parametrów wpływających na wartość wymiany ciepła, takich jak energia kinetyczna turbulencji oraz szybkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji. Wyniki analizy przedstawiono w postaci rozkładu prędkości. Wynika z niego, że największa prędkość przepływu gazów występowała na wlocie i wylocie z generatora ATEG. W kolejnym etapie wykonano symulację parametrów wymiany ciepła – rozkład temperatury i gęstości strumienia ciepła na powierzchni żeber wymiennika oraz na ściankach zewnętrznych. Temperatura strony gorącej modułów TEM wynosiła maksymalnie 200°C. Współczynnik przyjmowania ciepła α dobrano na podstawie danych ujętych w literaturze przedmiotu i mieścił się w przedziale 80–180 W/m²K. Z analizy otrzymanych wyników stwierdzono, że temperatura wzdłuż krawędzi wlotowej i wylotowej wymiennika jest najbardziej zmienna. W pozostałym obszarze powierzchni zewnętrznej wymiennika ATEG moduły TEM w równomierny sposób chłodzą powierzchnię. W przypadku rozkładu temperatury na żebrach wewnętrznych stwierdzono, że jej największa wartość uzyskano w obszarze o najmniejszym polu przekroju poprzecznego. Wraz ze wzrostem przekroju żebra temperatura obniżała się (rys. 3). W przypadku gęstości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej największe wartości uzyskano w pobliżu modułów TEM. Wewnątrz generatora ATEG zaobserwowano podobne zależności – największa gęstość strumienia ciepła wystąpiła u podstawy żebra.

a)

b)



Rys. 3. Rozkład temperatury generatora ATEG dla $\dot{m}_{gw} = 0,015$ kg/s, $t_{gw} = 450^\circ\text{C}$ i $\alpha = 180$ W/m²K:
a) powierzchnia zewnętrzna b) powierzchnia wewnętrzna żeber