

Ewa Karchniwy

# Detailed numerical modeling of solid fuels conversion processes

Doctoral thesis  
for the degree of Philosophiae Doctor

Trondheim/Gliwice, September 2021

Norwegian University of Science and Technology  
Faculty of Engineering  
Department of Energy and Process Engineering

Silesian University of Technology  
Faculty of Energy and Environmental Engineering  
Department of Thermal Engineering



**Silesian University  
of Technology**

## Streszczenie

W tej pracy proces konwersji paliw stałych badany jest z różnych perspektyw. W szczególności, badane są dwa aspekty procesu konwersji: 1) wpływ turbulencji na szybkość reakcji heterogenicznych oraz 2) charakterystyka spalania pojedynczej cząstki koksiku.

Przeprowadzone zostały bezpośrednie symulacje numeryczne układów, w których izotropowa i jednorodna turbulencja oddziałuje na cząstki o określonym rozkładzie średnic. Celem tych symulacji była analiza wpływu turbulencji na szybkość transportu masy w takich konfiguracjach. Stwierdzono, że efekt turbulencji jest identyczny jakościowo i bardzo podobny ilościowo do efektu, który został zaobserwowany w przypadku układów monodispersyjnych, tzn. można rozróżnić dwa mechanizmy o przeciwstawnym działaniu, poprzez które turbulencja wpływa na transport reagentów do powierzchni cząstek. Pierwszy mechanizm prowadzi do tworzenia się skupisk cząstek, które powodują spowolnienie transportu masy, natomiast drugi mechanizm związany jest z nasileniem transportu masy przez ruchy turbulentne. Wykazano, że model uwzględniający oba przeciwstawne efekty turbulencji może zostać zastosowany do układów polidispersyjnych. Wrażliwość efektu turbulencji na wybrane parametry zbadano za pomocą analizy teoretycznej i prostych przykładów liczbowych. Wykazano, że kilka parametrów (skład mieszaniny, materiał cząstek, intensywność turbulencji, wielkość cząstek, masowe natężenie przepływu) ma znaczący wpływ na siłę tego efektu. Wpływ turbulencji na szybkość konwersji został również zbadany w praktycznych systemach. W tym celu przeprowadzono symulację kotła w rzeczywistej skali w programie ANSYS Fluent. Wyniki pokazały, że bardzo zróżnicowane warunki mogą jednocześnie występować w różnych częściach kotła, co uniemożliwia identyfikację efektu netto turbulencji apriorycznie. Ponadto wykazano, że turbulencja może wpływać na szybkość konwersji w znacznie mniejszym stopniu niż wynika to z przewidywań teoretycznych. Dzieje się tak ze względu na to, że szybkość reakcji jest często kontrolowana przez kinetykę, tj. jest niezależna od szybkości transportu reagenta.

Prosty model konwersji pojedynczej cząstki koksiku został zaimplementowany w programie Pencil Code. Efektywność modelu osiągnięto dzięki uprzedniemu dopasowywaniu współczynników dyfuzji, zmniejszeniu prędkości dźwięku i zastosowaniu globalnego mechanizmu reakcji. Pomimo licznych uproszczeń, zdolność modelu do przewidywania głównych cech konwersji cząstek koksiku i formacji płomienia została wykazana poprzez walidację modelu w oparciu o wyniki eksperymentalne i numeryczne. Ponadto, zbadana została wrażliwość szybkości konwersji na parametry kinetyczne i współczynniki dyfuzji. Zaobserwowano dużą wrażliwość na dyfuzyjność tlenu, zwłaszcza w wyższych temperaturach.