

Streszczenie:

Biopaliwa stałe stanowią korzystną alternatywę dla paliw kopalnych z powodu postępujących zagrożeń związanych ze zmianami klimatu. Wykorzystanie biopaliw ogranicza wprowadzanie do atmosfery gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla. Spalanie produktów roślinnych jest częścią naturalnego obiegu węgla w atmosferze.

Parametrem informującym o przydatności energetycznej biopaliw stałych jest przede wszystkim ciepło spalania. Wśród biopaliw stałych obserwuje się istotne różnice ciepła spalania nawet w przypadku biopaliw tego samego rodzaju.

Celem niniejszej pracy była ocena różnic w ciepłach spalania biopaliw stałych, również wśród biopaliw tego samego rodzaju. Dokonano oceny dokładności różnych modeli literaturowych ciepła spalania biopaliw stałych opierających się na analizach elementarnej, technicznej i chemicznej. Zbudowano modele neuronowe oraz regresyjne oraz przeanalizowano ich dokładność. Oceniono wpływ poszczególnych parametrów na ciepło spalania oraz zbudowano modele regresyjne oparte na wybranych parametrach wynikających z różnych rodzajów analiz.

Dla potrzeb pracy uzyskano dane literaturowe dotyczące ciepła spalania biopaliw oraz wyników poszczególnych analiz. W przypadku ciepła spalania odniesionego do materii suchej pozyskano 986 zestawów danych dotyczących analizy elementarnej, 637 zestawów danych dotyczących analizy technicznej oraz 57 zestawów danych dotyczących analizy chemicznej. Z kolei w przypadku ciepła spalania odniesionego do materii suchej bezpopiołowej pozyskano 1007 zestawów danych dotyczących analizy elementarnej, 637 zestawów danych dotyczących analizy technicznej oraz 57 zestawów danych dotyczących analizy chemicznej. Dodatkowo wykonano badania 40 biopaliw stałych określające ich ciepło spalania oraz wszystkie parametry wynikające z analizy elementarnej, technicznej i chemicznej.

Wszystkie wymienione dane posłużyły do weryfikacji modeli do predykcji ciepła spalania, zbudowanych przez wcześniejszych autorów. Z literatury pozyskano 9 modeli opartych na analizie elementarnej, 8 modeli opartych na analizie technicznej oraz 7 modeli opartych na analizie chemicznej. W wyniku weryfikacji największą dokładność uzyskano w przypadku modelu odniesionego do materii suchej opartego na analizie elementarnej autorstwa Milne [1990]. Z kolei w przypadku modeli do predykcji ciepła spalania odniesionego do materii suchej na podstawie parametrów wynikających z analizy technicznej największą dokładność uzyskano w przypadku modelu opracowanego przez Demirbasa A. [1997]. Z pośród zależności wykorzystujących analizę chemiczną najdokładniejszy był model opracowany przez Telmo C., Lousada J., [2011].

W przypadku modeli do określania ciepła spalania odniesionego do materii suchej bezpopiołowej, najdokładniejszym okazał się model opracowany przez Boie [1953]. Nie były dostępne modele do oszacowania ciepła spalania materii suchej, bezpopiołowej przy pomocy parametrów związanych z analizą techniczną. Z kolei, spośród modeli wykorzystujących parametry wynikające z analizy chemicznej dostępne były tylko trzy modele opracowane przez Demirbasa A. [2002] dla różnych rodzajów biomasy i odnoszące się do zawartości

ligniny. Najmniejsze wyniki popełnianych przy predykcji błędów uzyskano dla zależności przystosowanej dla paliw zdrewniałych.

Wykonano analizy regresji wielorakiej dla zestawów danych pozyskanych z literatury. Zauważono najwyższą dokładność predykcji za pomocą parametrów analizy elementarnej, zarówno ciepła spalania materii suchej jak i suchej, bezpopiołowej. Kolejnymi pod względem dokładności w wyniku weryfikacji okazały się modele oparte na parametrach wynikających z analizy chemicznej. Najmniej korzystnymi w wyniku weryfikacji okazały się modele wykorzystujące parametry analizy technicznej. W wyniku weryfikacji stwierdzono, że uwzględnienie większej liczby parametrów w modelach nie podnosiło istotnie dokładności.

Na podstawie wyróżnionych we wcześniejszych analizach parametrów o największym wpływie na predykcję ciepła spalania, wykonano modele regresyjne z wykorzystaniem badań własnych. Zbudowano osobne modele, na podstawie parametrów wyszczególnionych na poszczególnych etapach weryfikacji. W przypadku predykcji ciepła spalania odniesionego do materii suchej bezpopiołowej widoczne są wyższe korelacje – bardzo wysokie, a nawet pełne - niż w przypadku predykcji ciepła spalania materii suchej bezpopiołowej, gdzie zauważalne były wyłącznie korelacje wysokie.

Najwyższy współczynnik korelacji liniowej wynoszący 0,90 uzyskano dla modelu wykorzystującego parametry takie jak: zawartość węgla, wodoru, siarki, tlenu, popiołu, węgla związanego, materii lotnej, ligniny, celulozy, substancji ekstrakcyjnych. Były to parametry zastosowane w modelach literaturowych, dla których stwierdzono największą dokładność. Analiza istotności tego modelu wskazała największą istotność zawartości substancji ekstrakcyjnych. Średni błąd bezwzględny (MAE) wyniósł $0,71 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a średni bezwzględny błąd procentowy (MAPE) 4,21%. W przypadku predykcji ciepła spalania odniesionego do materii suchej, bezpopiołowej najwyższy współczynnik korelacji liniowej uzyskano dla modelu uwzględniającego zawartość węgla, wodoru, siarki, tlenu oraz ligniny.

Najwyższe wyniki korelacji uzyskano tym samym dla parametrów wyszczególnionych na podstawie weryfikacji modeli zbudowanych przez wcześniejszych autorów.

Na podstawie analizy błędów występujących podczas predykcji, określono najniższe wartości błędów dla modelu do predykcji ciepła spalania materii suchej, opartego na najistotniejszych parametrach uzyskanych w wyniku analizy regresji dla danych literaturowych. Model ten uwzględniał parametry takie jak: zawartość węgla, wodoru, siarki, popiołu, węgla związanego i hemicelulozy. Średni błąd bezwzględny tej zależności wyniósł $0,66 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a średni bezwzględny błąd procentowy 3,90%.

Dla pozostałych modeli wartości średniego błędu bezwzględnego wahały się w przedziale od 0,70 do $0,88 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a średniego bezwzględnego błędu procentowego od 4,11% do 4,77%.

16.12.2019. Marcin Herkowiak