

Streszczenie

Amoniak może być rozpatrywany jako praktyczny nośnik wodoru oraz substytut oleju napędowego służący do dekarbonizacji silnika o zapłonie samoczynnym stosowanym w mini ciągniku przeznaczonym do prac sadowniczych. Analiza środowiskowa oraz ekonomiczna takiego rozwiązania zostały przedstawione przy użyciu metod oceny cyklu życia i kalkulacji kosztów cyklu życia. Ocena cyklu życia, przeprowadzona przy użyciu oprogramowania LCA for Experts (dawniej GaBi), uwzględnia kilka ścieżek produkcji amoniaku: amoniak oparty na wodorze z reformingu parowego metanu (szary), amoniak z reformingu parowego metanu z wychwytywaniem i składowaniem CO₂ (niebieski) oraz amoniak z wodoru z elektrolizy zasilanej energią elektryczną przez fotowoltaikę (amoniak zielony, PV), wiatr (amoniak zielony, wiatr) i elektrownię jądrową (różowy). Analiza opiera się na eksperymentalnie zebranych danych dotyczących emisji silnika, w którym amoniak jest wykorzystywany w konfiguracji wtrysku pośredniego (port), a biodiesel na bazie rzepaku służy jako paliwo pilotażowe. Uwzględniono cykl pracy pojazdu dostosowany do mini ciągnika, a wyniki są podawane w przeliczeniu na hektar-rok eksploatacji pojazdu (jednostka funkcjonalna). Do oceny wpływu na środowisko wykorzystano trzy kategorie pośrednie ReCiPe – zmiana klimatu, wyczerpywanie zasobów kopalnych i zużycie wody słodkiej – oraz dwie kategorie końcowe: zdrowie ludzkie i jakość ekosystemu.

W pierwszym kroku przedstawiono analizę cyklu życia metod produkcji amoniaku w porównaniu z olejem napędowym. Wyniki pokazują, iż NH₃ wytwarzany z energii jądrowej i wiatrowej minimalizuje emisje gazów cieplarnianych, jednak różowy amoniak zwiększa wyczerpywanie zasobów kopalnych i zużycie wody słodkiej ze względu na eksploatację złóż uranu oraz zapotrzebowanie elektrowni na wodę chłodzącą. Następnie, wyniki eksperymentów silnika dwupaliwowego wskazują na nieco niższą średnią sprawność energetyczną niż w przypadku silnika zasilanego dieslem, przy czym różnica zmniejsza się przy dużych obciążeniach. Jednak praca silnika przy częściowym obciążeniu ujawnia podwyższony poziom emisji NO_x, N₂O oraz NH₃.

Kompletna analiza LCA mini traktora napędzanego amoniakiem pokazuje, że na etapie eksploatacji emisje gazów cieplarnianych zostały zmniejszone z około 88 kg ekw. CO₂ dla silnika zasilanego olejem napędowym do około 72 kg ekw. CO₂ dla silnika zasilanego amoniakiem (–18 %), co można ocenić jako umiarkowaną redukcję. Wynika to z obecności emisji N₂O, silnego gazu cieplarnianego, oraz emisji CO₂ pochodzących z paliwa pilotażowego w przypadku silnika zasilanego amoniakiem. Niemniej, z perspektywy pełnego cyklu życia wyniki wskazują, że redukcję emisji gazów cieplarnianych na poziomie 42–44 % osiąga się, gdy NH₃ jest wytwarzany z energii wiatrowej lub jądrowej oraz uwzględniony jest ślad węglowy biodiesla. W ujęciu pełnego cyklu życia wyniki w kategorii wyczerpywania zasobów kopalnych pokazują, że zielony amoniak, wytwarzany z energii słonecznej/wiatrowej, pozwala na redukcję o 43–45 %,

natomiast amoniak różowy powoduje wzrost wpływu o 78 % w porównaniu z silnikiem zasilanym olejem napędowym. Zużycie wody słodkiej wzrasta o 40–50 % dla wszystkich rozpatrywanych wariantów NH_3 (z wyjątkiem ścieżki jądrowej, dla której zużycie to wzrasta do około dwukrotności poziomu dla oleju napędowego). W porównaniu do diesla wyniki w kategoriach końcowych, w ujęciu pełnego cyklu życia, wskazują, że traktor zasilany amoniakiem powoduje około 47 % wyższy wpływ na zdrowie ludzkie oraz w przybliżeniu dwukrotnie wyższy wpływ na jakość ekosystemu, niezależnie od zastosowanego źródła amoniaku. Uwzględnienie układu SCR wykorzystującego amoniak obecny w spalinach w celu redukcji emisji NO_x i NH_3 powstających na etapie eksploatacji pojazdu prowadzi do obniżenia tych oddziaływań, jednak wpływ na zdrowie ludzkie pozostaje o około 19 % wyższy, a wpływ na jakość ekosystemu pozostaje o około 1,6–2 razy większy niż w przypadku oleju napędowego.

Rachunek kosztów cyklu życia opiera się na podejściu oddolnym, uwzględniającym koszty pozyskania, eksploatacji i utylizacji na podstawie danych laboratoryjnych i literaturowych, przy czym uwzględniono te same metody produkcji amoniaku, co w ocenie środowiskowej. Najpierw przedstawiono porównanie cen paliw w przeliczeniu na jednostkę energii; wykazano, że amoniak jest konkurencyjny ekonomicznie w stosunku do oleju napędowego przy niskiej cenie gazu ziemnego (poniżej 6 USD/MMBtu dla gazu ziemnego z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla) lub cenie energii elektrycznej poniżej 38 USD/MWh dla amoniaku wytwarzanego w procesie elektrolizy przy cenie oleju napędowego wynoszącej 1 USD/l. Wyniki studium przypadku dotyczące całkowitych kosztów cyklu życia wskazują, że głównym wyzwaniem uniemożliwiającym konkurencyjność ekonomiczną jest wysoka wartość inwestycji początkowej dla pojazdu napędzanego amoniakiem, która jest około trzykrotnie wyższa niż w przypadku pojazdu z silnikiem diesla.

Uwzględniając niepewność w szacowaniu nakładów kapitałowych i niestabilność rynków paliwowych, szacowany zakres wyników pokazuje, że ciągnik napędzany amoniakiem wymaga 2–4 razy wyższych kosztów całkowitych niż mini ciągnik zasilany dieslem. Opłacalność stosowania amoniaku w pojeździe z punktu widzenia właścicieli sadów może zostać zwiększona przez decydentów politycznych poprzez wprowadzenie bezpośredniej dopłaty do zakupu pojazdów bezemisyjnych, w celu skompensowania wysokich kosztów nabycia pojazdu (w przedziale 3000–8000 USD, przy czym domyślnym szacunkiem jest 6000 USD), oraz uwzględnienie kosztu emisji dwutlenku węgla w cenie oleju napędowego, co może zwiększyć opłacalność technologii o niskim śladzie węglowym.