

Projekt badawczy własny
Nr N N209 4408/B/H03/2010/39 pt.: „Parametryczna ocena cyklu życia materiałów
wybuchowych górniczych”
Instytut Przemysłu Organicznego, Warszawa

Kierownik projektu: **dr Tadeusz Piotrowski** e-mail: piotrowski@ipo.waw.pl

Termin rozpoczęcia realizacji projektu: **22.09.2010 r.**

Termin zakończenia realizacji projektu: **21.09.2013 r.**

Słowa kluczowe: **ocena cyklu życia, LCA, LCI, LCAI, ekowskażnik CML Baseline, zrównoważony rozwój, materiały wybuchowe górnicze, ochrona środowiska**

W roku **2012** wykonano poniżej przedstawione zadania realizowane w ramach kooperacji ze współwykonawcami (WAT, Politechnika Radomska):

2. Analiza cyklu życia obiektu

2.3. Ocena parametryczna etapów cyklu życia (określenie wskaźników)

3. Opracowanie projektu kryteriów parametrycznej oceny otrzymywania MW górniczych w skali przemysłowej

3.1. Opracowanie wskaźników ekotechnicznych przeznaczonych do oceny uciążliwości technologii wytwarzania MW górniczych (propozycja dla energii, wody, mediów, emisji itp.)

- Dobór optymalnej metody oceny zagrożenia środowiska,
- Opracowanie propozycji procedury klasyfikacji uciążliwości cyklu życia wyrobu dla środowiska (kategoryzacja)

3.2. Ocena obciążeń środowiska od wyrobu, zawierająca przykładowo (do przeanalizowania i wyboru): uszczuplenia zasobów naturalnych, oddziaływania zanieczyszczeń na zdrowie ludzkie, zmiany klimatyczne (efekt cieplarniany), degradacja stratosferyczna warstwy ozonowej, skażenie środowiska i inne skutki środowiskowe.

W ramach realizacji zadania nr 2 projektu badawczego Wojskowa Akademia Techniczna i Politechnika Radomska zakupiły program SimaPro 7.2.3. PhD a Instytut Przemysłu Organicznego w Warszawie zakupił program Sima Pro 7.2.3. Professional w wersji Analyst (wszystkie dla 1 użytkownika), które są produktami holenderskiej firmy PreConsultants i są rekomendowanymi programami do przeprowadzania analiz cyklu życia produktów (LCA) dla różnych użytkowników. Przy użyciu tego typu oprogramowania została wykonana i przedyskutowana wariantowo analiza wpływu pełnych cykli życia wytypowanych w poprzednim etapie projektu materiałów wybuchowych.

Dla wytypowanych określonych składów materiałów wybuchowych na etapie analizy inwentarzowej określono bilanse materiałowe i energetyczne w etapie produkcji w miejscach ich wytwarzania. Informacje te zebrane zostały na podstawie dokumentacji technicznej wyrobów, sprawozdań z pomiarów emisji, wywiadów z technologami, pracownikami działów zakupów i konstrukcji. Każdorazowo informacje dotyczące kluczowych procesów otrzymywania zostały pobierane z miejsca produkcji, a dane dotyczące mniej istotnych, z punktu widzenia oddziaływania na środowisko, procesów i materiałów zostały pobrane z baz danych typu Generic lub Ecoinvent. Wszystkim wytypowanym MW określono schematy cykli życia w ujęciu modularnym.

W oparciu o bazę danych Ecoinvent oraz dane szacunkowe i obliczeniowe (z procesów produkcji, użytkowania i unieszkodliwiania), przeprowadzone zostały przykładowe analizy pełnego cyklu życia 4 form użytkowych materiałów wybuchowych tj. saletrol, dynamit, metanit specjalny oraz materiał wybuchowy emulsyjny luzem (MWE). Wszystkie analizy dotyczyły aktualnie produkowanych i użytkowanych materiałów wybuchowych w jednej z polskich, dominujących w produkcji tego asortymentu, firm. Zaproponowano dwie metodologie służące ocenie cykli życia tj. CML Baseline i Ekowskażnik. Metodologia CML Baseline dotyczyła oceny w oparciu o punkty

pośrednie, natomiast metodologia Ekowskażnika oparta jest o punkty końcowe analizy. Dane do wytypowanych metodologii zbierane były na czterech etapach analizy w sposób modułowy tzn. na etapach produkcji, transportu do użytkownika, załadunku i detonacji.

W metodzie CML Baseline profil środowiskowy odnoszony był do 10 rekomendowanych wskaźników podstawowych tj. uszczuplenie zasobów naturalnych (ADP), potencjał globalnego ocieplenia (GWP), potencjał niszczenia warstwy ozonowej (ODP), ekotoksyczność dla ludzi (http), ekotoksyczność wody słodkiej (FAETP), ekotoksyczność wody morskiej (MAETP), ekotoksyczność gleby (TETP), potencjał eutrofizacji (EP), potencjał zakwaszenia (AP), potencjał utleniania w troposferze (POCP). W określonych profilach środowiskowych dominujące wielkości określono dla potencjału ekotoksyczności wody morskiej (MAETP), potencjału globalnego ocieplenia (GWP) oraz toksyczności dla ludzi (HTP). Profile środowiskowe MW amonowosaletranych przesunięte są w stronę składników MW (azotan(V) amonu), a w przypadku dynamitu na profil środowiskowy znaczący wpływ wykazuje energochłonność procesu produkcji.

W metodzie Ekowskażnika profil środowiskowy odnoszony był do 11 kategorii szkody tj. kancerogenność, skutki oddechowe wywołane związkami organicznymi oraz nieorganicznymi, radioaktywność, niszczenie warstwy ozonowej, ekotoksyczność, eutrofizacja, zakwaszenie, zajęcie terenu oraz zużycie surowców odnawialnych i nieodnawialnych. Wszystkie 11 kategorii oceniano w odniesieniu do trzech głównych kategorii wpływu tj. zdrowie człowieka, skutki ekologiczne i zużycie zasobów. Na podstawie tak przeprowadzonej analizy największe niekorzystne oddziaływania wykazał dynamit (1790 punktów ekowskażnika). Najbardziej korzystnym środowiskowo oceniono materiał wybuchowy emulsyjny luzem (ok. 422 punktów ekowskażnika). Profil środowiskowy saletrolu i MWE przesunięty był w stronę zużycia zasobów (zużycie paliw), natomiast profile środowiskowe materiałów zawierających nitroestrowe składniki (dynamit, metanit specjalny) przesunięty był w stronę niekorzystnego oddziaływania na zdrowie człowieka, w szczególności kancerogenność.

W ramach realizacji zadania nr 3 projektu badawczego opracowano propozycje ekotechnicznych wskaźników porównawczych w odniesieniu do wybranego rodzaju materiału wybuchowego, uznanego za wzorcowy. Zaproponowano także zestaw ekotechnicznych wskaźników finalnych.

Dynamit jest materiałem wybuchowym stosowanym od 150 lat. Nadal jest on często stosowany przede wszystkim w górnictwie podziemnym. Wprowadzane z upływem czasu zmiany w jego składzie pozwoliły na zmniejszenie jego negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Z tego względu mógłby on posłużyć jako wzorcowy materiał wybuchowy.

Z drugiej strony ma on dosyć skomplikowany skład jakościowy, natomiast najprostszym pod względem składu jest saletrol zawierający tylko azotan amonu i olej napędowy, więc wydaje się także być dobrym wzorcowym materiałem wybuchowym. Analiza LCA metodą CML Baseline wykazała, że saletrol jest materiałem najbardziej uciążliwym dla środowiska. Największy wpływ na środowisko ma zastosowany w dużej ilości azotan amonu oraz zużyta energia podczas jego produkcji. W pracy przedyskutowano oba warianty przy opracowywaniu ekotechnicznych wskaźników porównawczych dla analizowanych górniczych materiałów wybuchowych. Wskaźniki te mają ogólną postać:

$$W_n = Q_i / Q_{iwMW}$$

Gdzie: Q_i określa dany składnik „n” obciążenia środowiska generowany w procesie wytwarzania i-tego MW górniczego, natomiast Q_{iwMW} określa analogiczny składnik obciążenia środowiska generowany w procesie wytwarzania wzorcowego materiału wybuchowego (wMW).

Degradacja środowiska

(ekotoksyczność - woda słodka i słona, gleba)

| | Saletrol | MWE | Dynamit | Metanit |
|------------------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| Suma ekotoksyczności | 2938184,70 | 734139,66 | 754827,82 | 1169310,49 |
| Wskaźnik _{Dynamit} | 0,26 | 1,03 | 1,00 | 0,65 |
| Wskaźnik _{Saletrol} | 1,00 | 0,25 | 0,26 | 0,4 (0,397) |

Zmiany atmosfery

(efekt cieplarniany, uszczuplenie warstwy ozonowej, smog)

| | Saletrol | MWE | Dynamit | Metanit |
|------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|
| Suma ekotoksyczności | 14690,5 | 6172,29 | 6709,46 | 7244,29 |
| Wskaźnik _{Dynamit} | 0,46 | 1,09 | 1,00 | 0,93 |
| Wskaźnik _{Saletrol} | 1,00 | 0,42 | 0,46 | 0,49 |

Toksyczność dla ludzi

| | Saletrol | MWE | Dynamit | Metanit |
|------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|
| Toksyczność dla ludzi | 5384,6 | 1953,84 | 1981,51 | 1964,05 |
| Wskaźnik _{Dynamit} | 0,37 | 1,01 | 1,00 | 1,01 |
| Wskaźnik _{Saletrol} | 1,00 | 0,36 | 0,37 | 0,36 |

Wskaźnik_{Dynamit} – dynamit jako wzorcowy materiał wybuchowy (wMW)

Wskaźnik_{Saletrol} – saletrol jako wzorcowy materiał wybuchowy (wMW)

Dane przedstawione w powyższych tabelach wskazują, że wszystkie przeanalizowane MWG mają ekotechniczne wskaźniki porównawcze niższe (a więc lepsze) od saletrolu, są więc od niego bardziej przyjazne dla środowiska i człowieka. Natomiast w przypadku dynamitu jako wzorcowego materiału wybuchowego (wMW) porównanie nie jest już tak jednoznaczne. W tym przypadku wartości niższe wskaźników oznaczają, iż dane MWG są gorsze od dynamitu ponieważ ich wartości obciążenia dla środowiska w ekopunktach metody CML Baseline są większe od dynamitu. Z tego wynika wniosek, iż dynamit nie jest najkorzystniejszym wMW do tworzenia ekotechnicznych wskaźników porównawczych. Najlepiej, na potrzeby tej pracy, na wMW nadaje się saletrol wykazujący najwyższe wartości ekopunktów metody CML Baseline dla obciążeń środowiskowych i dla człowieka.

Emisje do środowiska które powstają w procesach produkcji materiałów wybuchowych są niewielkie, np. w trakcie otrzymywania 1 Mg metanitu powstaje 4,6 kg, dynamitu 6,2 kg a MWE 2,58 kg odpadów. Powstające odpady są mieszaniną makulatury, złomu stalowego, drewna odpadowego i tworzyw sztucznych. Dlatego ich wpływ ze względu na ich ilość można uznać za mało znaczący. Nie znaczy to jednak, iż dla innych rodzajów materiałów wybuchowych wartości te mogą być o wiele większe – z tego powodu zdecydowano się jednakże na uwzględnienie tzw. „wskaźnika efektywności materiałowej” w grupie ekotechnicznych wskaźników finalnych.

Projekt wskaźników ekotechnicznych finalnych dla Materiałów Wybuchowych Górniczych (MWG)

1. Wskaźnik efektywności materiałowej (wykorzystania surowców / zasobów naturalnych) dla procesu produkcji MWG

$$E_M = \Sigma \text{masy odpadów (Mg)} / \text{masa produktu (1 Mg MWG)} \text{ (ew. } * 100\% \rightarrow E_M\%)$$

| L.p. | Rodzaj materiału wybuchowego | Wskaźnik E_M |
|------|------------------------------|----------------|
| 1. | Saletrol | 0 |
| 2. | Metanit specjalny | 0,005 |
| 3. | Dynamit | 0,006 |
| 4. | MW Emulsyjny luzem | 0,002 |
| 5. | MW Emulsyjny nabożowany | 0,003 |

2. Wskaźnik efektywności energetycznej (wykorzystania energii) dla procesu produkcji MWG

$$E_E = \Sigma \text{energii zużytej w procesie produkcji MWG (MJ)} / \text{masa produktu (1 Mg MWG)}$$

| L.p. | Rodzaj materiału wybuchowego | Wskaźnik E_E |
|------|------------------------------|----------------|
| 1. | Saletrol | 936,00* |
| 2. | Metanit specjalny | 492,59 |
| 3. | Dynamit | 486,47 |
| 4. | MW Emulsyjny luzem | 1078,81 |
| 5. | MW Emulsyjny nabojowany | 1332,90 |

* 1 l oleju – 39,0 MJ (www.e-petrol.pl), do produkcji 1Mg saletrolu zużyto 24 l oleju

3. Wskaźnik zużycia wody dla procesu produkcji MWG

$E_W = \Sigma$ ilości wody zużytej w procesie produkcji MWG (m^3) / masa produktu (1 Mg MWG)

4. Wskaźnik wydajności energetycznej MWG

$E_{WE} =$ Ilość energii wytworzonej w wybuchu 1 Mg MWG (MJ) / Σ energii zużytej do wyprodukowania 1 Mg MWG (MJ) (ew. * 100% \rightarrow $E_{WE}\%$)

Propozycja kategoryzacji wydajności energetycznej MWG:

$E_{WE} \geq 7,0$ MWG bardzo wydajny \rightarrow kat. 1

$E_{WE} \geq 5,0$ MWG wydajny \rightarrow kat. 2

$E_{WE} \geq 3,0$ MWG średnio wydajny \rightarrow kat. 3

$E_{WE} \geq 1,0$ MWG słabo wydajny \rightarrow kat. 4

$E_{WE} < 1,0$ MWG nieopłacalny \rightarrow kat. 5

Wartości wskaźników E_E i E_{WE} różnych rodzajów MWG.

| L.p. | Rodzaj materiału wybuchowego | Wartości ciepła wybuchu [kJ/Mg] | Uwagi | Wartości energii zużytej do wytworzenia MWG, E_E [MJ/Mg] | Wskaźnik E_{WE} |
|------|------------------------------|---|---|--|---------------------------|
| 1. | Saletrole | 3756 | klasyczny skład: 94,5% AA + 5,5% olej | 936,00* | 4,04 kat. 3 |
| 2. | Dynamity | 4516, 4184, 4294, 3835 ¹ , 3776 ² | ^{1,2})Ergodyn | 486,47 | 7,76 ÷ 9,28 kat. 1 |
| 3. | Metanity | 2035, 2164, 2665, 3100 | skład typowy | 492,59** | 4,13 ÷ 6,29 kat. 3 ÷ 2 |
| 3A. | Metanity specjalne | 1627 ¹ , 2244 ¹ , 2410 ^{1,2} 2641 | ¹)dodatek NaCl ²)dodatek nitroestrów | 492,59** | 3,79 ÷ 5,36 kat. 3 ÷ 2 |
| 4. | MW Emulsyjne luzem | 2947, 2906, 3180, 3392, 3207, 2228 ¹ | skład typowy ¹) osłabiony zawiera NaCl | 1078,81 | 2,07 ÷ 3,14 kat. 4 ÷ 2 |
| | MW Emulsyjne nabojowane | 3140 ² , 3469 ² , 3702 ² , | ²)Low water content | 1332,90 | 1,67 ÷ 2,54 kat. 4 |
| | MW Emulsyjne LWC | | | 1332,90 ² | 2,36 ÷ 2,78 kat. 4 |

AA – azotan (V) amonu (NH_4NO_3)

* Do produkcji 1Mg saletrolu zużyto 24 l oleju napędowego (diesel) a ciepło spalania 1 l oleju wynosi 39,0 MJ (www.e-petrol.pl)

** Przyjęto upraszczające założenie, że przy produkcji metanitów zużywa się taka sama ilość energii do wytworzenia 1 Mg MWG

INNE FORMY UPOWSZECHNIENIA WYNIKÓW

- B. Kukfisz, A. Maranda, *Ekologiczna analiza cyklu życia wybranych górniczych materiałów wybuchowych wykorzystujących technologie mechanicznego załadunku*, Materiały konferencyjne 8th International Conference IPOEX 2012 Explosives Research Application Safety, Ustroń Zawodzie, 4-6.06.2012.**

W komputerowych prezentacjach konferencyjnych referatów zawsze podawano na końcowym slajdzie następującą informację: „Praca wykonana w ramach realizacji projektu badawczego Nr NN209 440839 p.t.: „Parametryczna ocena cyklu życia materiałów wybuchowych górniczych” – finansowanego ze środków na naukę”