

## **Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI) procesów produkcji wybranych górniczych materiałów wybuchowych** **Life Cycle Inventory of production processes selected mining explosives**

**Bożena Kuczyńska<sup>1)</sup>, Andrzej Maranda<sup>2)</sup>**

- 1) Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, Polska
- 2) Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy określania wpływu górniczych materiałów wybuchowych (GMW) na środowisko za pomocą ekologicznej oceny cyklu życia (ang. Life Cycle Assessment, LCA). Analiza stanowi instrument polityki i zarządzania środowiskowego, którego zasady określono w grupie norm ISO serii 14040x. Badania LCA składają się z czterech elementów: określenia celu i zakresu, analizy zbioru wejść i wyjść, oceny wpływu cyklu życia oraz interpretacji. Artykuł opisuje etap analizy zbioru wejść i wyjść (ang. Life Cycle Inventory, LCI) tzn. etap przygotowania i gromadzenia danych. W analizie LCA dane obejmują niemal wszystkie fizyczne wejścia i wyjścia głównie: energii, wody, surowców, materiałów pomocniczych, półproduktów, wyrobów równoległych, emisje do powietrza, wody, gleby, odpady, promieniowanie, hałas, odór. Zatem główną formą walidacji modelu otrzymywania GMW jest bilansowanie masowe i energetyczne każdego procesu jednostkowego.

W artykule opisano proces wytwarzania wyrobów takich jak: saletrol, dynamit, metanit oraz materiał wybuchowy emulsyjny. W etapie produkcji uwzględniono zużycie energii, wykorzystanie materiałów, koszty i sposoby recyklingu odpadów użytkowych i poprodukcyjnych. Dane są niezbędne do przeprowadzeniu porównawczej oceny potencjalnego wpływu na środowisko powstałego podczas cyklu życia wybranych górniczych materiałów wybuchowych, co w konsekwencji posłuży określeniu przyszłych kierunków ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko. Dzięki kompleksowej analizie aspektów środowiskowych i wskazaniu miejsc generujących największe zagrożenie będzie można ustalać sposoby minimalizowania wpływu materiałów wybuchowych lub procesu ich produkcji na środowisko, na przykład poprzez doskonalenie technologii w tej fazie „życia produktu” – materiału wybuchowego, czy procesu, który jest najbardziej uciążliwy dla środowiska.

**Abstract:** This article is about defining the influence of mining explosives on the environment with the help of Life Cycle Assessment, LCA. The analysis constitutes policy and environmental management whose principles were specified in a group of standard of the ISO 14040x series. LCA research is composed of four phases: defining the goal and scope, analysing life cycle inventory by using data on inputs and outputs, evaluating life cycle impact assessment and interpretation. The article describes the phase of Life cycle inventory LCI, i.e., the phase of creating and gathering data. The data of LCA analysis include almost all physical inputs and outputs, mainly of energy, water, raw materials, supplies, intermediate products, parallel products, releases to air, water and soil, waste, radiation, noise, stench. Therefore the main form of validating the model of obtaining mining explosives is using mass and energy balance of every unit process.

The process of generating products as: ANFO, dynamites, methanite, emulsion explosives was described in the article. During the production the following was considered: electricity and material consumption, costs and methods to recycle after utility and postindustrial waste. The data is indispensable to carry out comparative assessment of potential influence on the environment developed during the life cycle of chosen mining explosives. Consequently, its purpose is to determine new trends in limitation of negative influence on the environment. From complex analysis of environmental aspects and indication the places which produce the biggest danger it transpires that it is possible to establish methods of

*minimizing the influence of explosives and process of their production on the environment. Having said that, it will be made through improvement of this phase of „product lifecycle” of explosive or the process which is the most uncomfortable for the environment.*

**Słowa kluczowe:** ocena cyklu życia, materiały wybuchowe, toksyczność.

**Keywords:** life cycle assessment, explosives, toxicity.

## 1. Wstęp

Normy z serii ISO 14000 dotyczą zarządzania środowiskowego, czyli tego co organizacja robi, by zminimalizować negatywny wpływ na środowisko swoich działań, wyrobów i usług. To kolejna grupa norm, dotycząca zarządzania, po normach serii ISO 9000. Grupa norm ISO 9000 dotyczy zarządzania wyrobami w sposób zamierzony tzn. zarządzania głównie z myślą o sprzedaży i zadowoleniu klientów. Normy ISO serii 14000 dotyczą zarządzania niezamierzonego wyrobami tzn. zarządzania z myślą o „kliencie” jakim jest środowisko. Normy ISO serii 14000 mają na celu usatysfakcjonowanie wszystkich stron. Niejednokrotnie w fakcie stosowania norm ISO serii 14000 wyrażony jest stosunek danej firmy do środowiska. Seria norm ISO 14000 obejmuje dokumenty dotyczące systemów zarządzania środowiskowego (ISO 14001 i ISO 14004) oraz dokumentów odnoszących się do narzędzi zarządzania środowiskowego tzn. wszystkich innych dokumentów serii ISO 14000 [1] np.:

- audytowanie i badania związane (ISO 14011, ISO 14015),
- etykietowanie i deklaracje środowiskowe (normy z grupy ISO 14020),
- ocenę efektów działalności środowiskowej (normy i dokumenty z grupy ISO 14030),
- ocenę cyklu życia (normy i dokumenty z grupy 14040),
- terminologię z zakresu zarządzania środowiskowego (ISO 14050),
- projektowanie pod kątem środowiska (ISO/TR 14062),
- komunikację środowiskową (ISO 14063),
- gazy cieplarniane i zagadnienia związane ze zmianami klimatu (ISO 14064, ISO 14065).

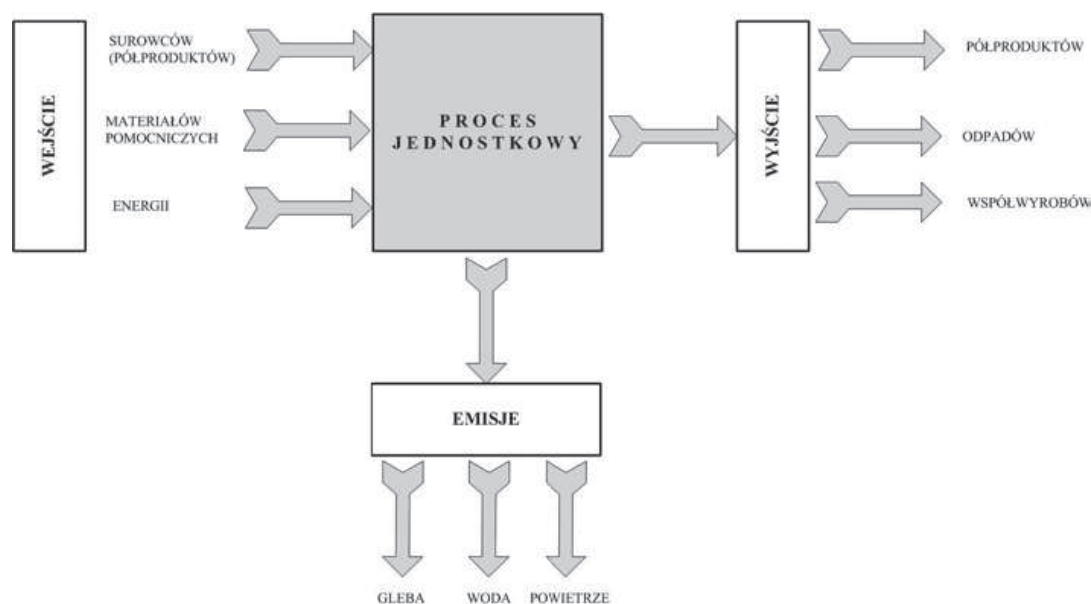
Normy serii ISO 14000 wykorzystywane są także w pracach Komisji Europejskiej dotyczących zintegrowanej polityki produktowej (ang. *Integrated Product Policy*, IPP). Jest to podejście mające na celu ograniczenie wpływu wyrobów na środowisko w cyklu życia wyrobu tzn. podczas kolejnych i powiązanych ze sobą etapów systemu wyrobu od pozyskania lub wydobycia surowca z zasobów naturalnych, poprzez produkcję, dystrybucję, użytkowanie, użytkowe przetwarzanie, aż do ostatecznej likwidacji i gospodarki odpadami. Analiza cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment*, LCA) dotyczy złożonych interakcji między wyrobami a środowiskiem. Główne kategorie wpływu na środowisko wymagają rozważań obejmujących zdrowie ludzkie, wykorzystanie zasobów naturalnych oraz skutki ekologiczne. Są to różne instrumenty i mechanizmy służące osiągnięciu celu jakim jest wyrób przyjazny środowisku. Normy dotyczące oceny cyklu życia odgrywają w IPP dużą rolę. LCA jest przedmiotem dwóch norm opublikowanych 1 lipca 2006 r.: ISO 14040 [2] i ISO 14044 [3], które zastąpiły wszystkie dotychczasowe normy dotyczące LCA. Zasady i struktura LCA obejmuje:

- określenie celu i zakresu LCA,
- inwentaryzację zbioru wejść i wyjść w cyklu życia danego wyrobu (ang. *Life Cycle Inventory*, LCI),
- ocenę potencjalnych wpływów cyklu życia związanych z tymi wejściami i wyjściami,
- fazę interpretacji rezultatów analizy oraz faz oceny wpływu w odniesieniu do celów badań,

Jednym z możliwych zastosowań środowiskowej oceny cyklu życia jest ocena technologii produkcji z punktu widzenia oddziaływania na środowisko. Jest to analiza „od bramy do bramy” tzn. ograniczona do etapu produkcji. Zamierzonym sposobem wykorzystania wyników badań są cele marketingowe. Analiza ma charakter klasycznego procesowego badania LCA typu opisowego, której celem jest określenie, czy istnieją różnice w poziomie wpływu na środowisko generowane podczas cyklu życia wybranych GMW. Analiza dotyczy kilku GMW produkowanych przez firmę posiadającą czołową pozycję na rynku, szczególnie w zakresie wytwarzania GMW. Analizowane wyroby są stosowane do urabiania górotworu w zakładach górniczych odkrywkowych i podziemnych. Są wieloskładnikowymi mieszaninami typu utleniacz-składnik palny.

O wyborze zdecydowała struktura zużycia MW w ostatnich latach, gdzie dominującą grupą GMW są materiały wybuchowe emulsyjne. Materiały, których zużycie jest na porównywalnym poziomie to dynamity i saletrole. W grupie pozostałych wymienić można metanit specjalny. Ogólnie obserwuje się odejście od materiałów wybuchowych uczulanych nitroestrami i innymi nitrozwiązkami w kierunku MW niezawierających wysokoenergetycznych komponentów. Od pewnego czasu wytwórcy MW wprowadzają odmiany, które ze względu na niewystępowanie w nich kancerogennych składników (dinitrotoluenu, trinitrotoluenu) umownie zaliczają je do MW ekologicznych. Przypisując w ofertach MW przydomek „ekologiczny” warto zwrócić uwagę na inne aspekty ich użycia, które są związane z zapewnieniem bezpieczeństwa pracy załóg jak i szkodliwym wpływem na środowisko w obszarze prowadzonych prac.

W górnictwie odkrywkowym problem powstawania toksycznych gazów jest związany wyłącznie z aspektem ekologicznym. W górnictwie podziemnym istotne jest zdrowie pracowników. Niska zawartość szkodliwych tlenków azotu i węgla w gazach postrzałowych jest parametrem determinującym możliwość zastosowania MW w podziemnych zakładach górniczych. Gazy postrzałowe jako emisje powinny być także uwzględniane przy ocenie MW przyjaznego środowisku. Rys. 1 przedstawia elementy brane pod uwagę w opisie każdego procesu jednostkowego.



Rys. 1. Przykład opisu procesu jednostkowego zgodnie z ISO/TR 14049, wg [4]

## 2. Analiza zbioru w cyklach życia

W analizie cyklu życia w etapie LCI należy określić bilans materiałowy i energetyczny. Informacje dotyczące kluczowych procesów zostały pobrane z miejsca produkcji. Informacje pierwotne zebrane zostały na podstawie dokumentacji technicznej wyrobów, sprawozdań z pomiarów emisji, wywiadów z technologami, pracownikami działów zakupów i konstrukcji. Dane dotyczące mniej istotnych, z punktu widzenia oddziaływania na środowisko, procesów i materiałów zostaną pobrane z baz danych zawartych w programie SimaPro. Tabela 1 określa bilans materiałowy średnich składów analizowanych MW. Tabele zawarte w kolejnych punktach zawierają informacje dotyczące gromadzenia informacji miejscowo specyficznych dla danych o kluczowym znaczeniu, z punktu widzenia wielkości wpływu na środowisko, w celu określania bilansu energetycznego związanego z produkcją analizowanych MW.

**Tab. 1.** Średnie składy analizowanych MW

Nazwa materiału	Składnik	Zawartość [%]
Saletrol	azotan(V) amonu	94
	olej	6
Metanit specjalny	nitrogliceryna/nitroglikol (60/40)	6
	azotan(V) amonu	60
	chlorek sodu	30
	guar gum	1
	mączka drzewna	3
Dynamit	nitrogliceryna/nitroglikol (60/40)	25
	azotan(V) amonu	65
	mączka drzewna	2
	guar gum	0,8
	nitroceluloza	1
	mączka żytnia	2
	skrobia	2,5
	parafina	1,5
	plastyfikator	0,1
centralit	0,1	
Materiał wybuchowy emulsyjny luzem	azotan(V) amonu	60
	azotan(V) wapnia	20
	woda	13
	olej	5
	emulgator	2
Materiał wybuchowy emulsyjny nabojewany	azotan(V) amonu	50
	azotan(V) sodu	10
	woda	10
	olej	5
	emulgator	3
	wosk/parafina	3
	mikrobalony	3
	saletra granulowana	16

## 2.1. Saletrol

Saletrole zostały wytypowane do analizy ze względu na dominujące ich wykorzystywanie w przemyśle wydobywczym, jako konsekwencję łatwości ich przygotowania w miejscu użycia oraz niską cenę surowców. Dodatkowo niska wrażliwość na bodźce mechaniczne umożliwiła mechanizację procesu załadunku do otworów strzałowych. Stosowane są obecnie systemy mieszalniczo-załadownicze np. system ANFO. Składa się on ze zbiorników na saletrę amonową granulowaną i olej napędowy oraz układu mieszania komponentów i mechanicznego załadunku otworów strzałowych. Cała instalacja jest zbudowana na podwoziu typowego samochodu ciężarowego Renault Midlum i jest zasilana z silnika pojazdu. Analizowany saletrol ma bilans tlenowy bliski zeru warunkujący otrzymanie mieszaniny o maksymalnych parametrach energetycznych. Rys. 2 to diagram procesu otrzymywania ANFO z wykorzystaniem systemu mieszalniczo-załadowniczego.

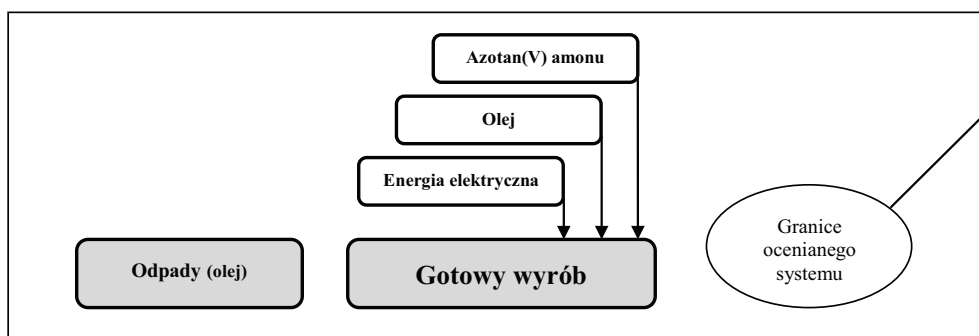
**Rys. 2.** Diagram przepływu dla technologii wytwarzania saletrolu (ANFO)

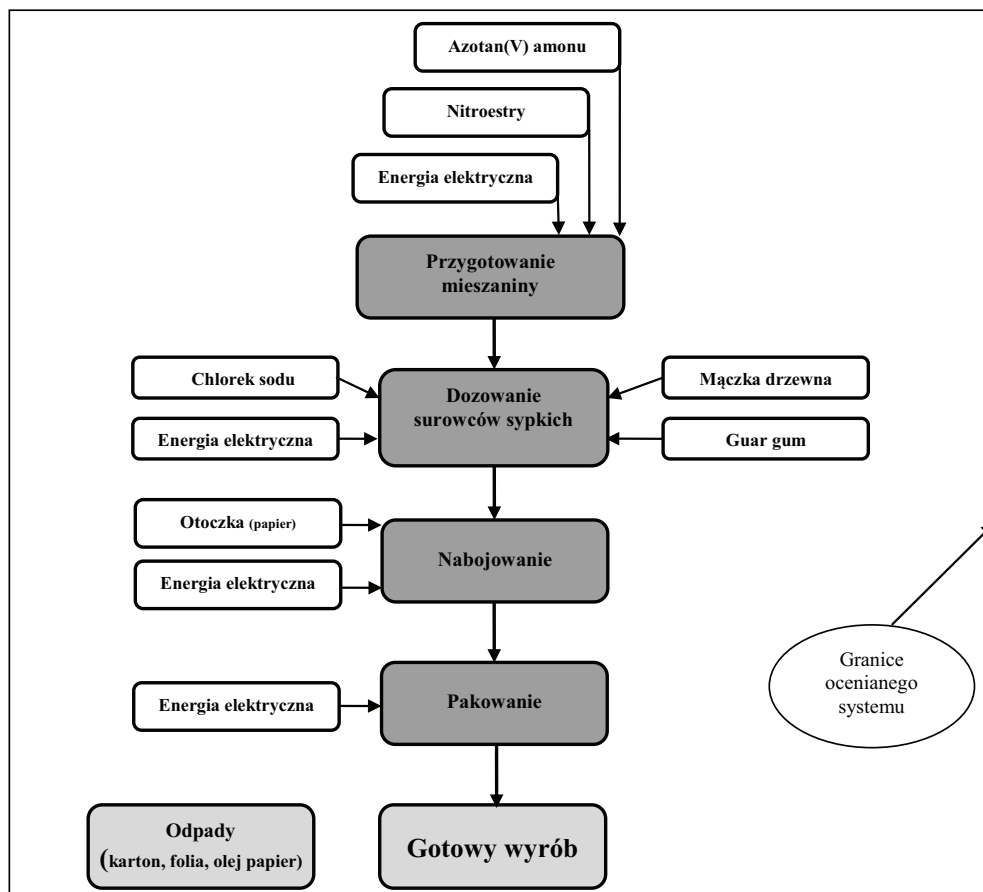
Tabela 2 przedstawia zużycie paliwa jednostki mieszalniczo-załadowczej w etapach dojazdu, produkcji i ładowania 1 Mg ANFO.

**Tab. 2.** Bilans energetyczny elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania ANFO

	Opis	Zużycie paliwa [dm <sup>3</sup> ]	Materiał pomocniczy	Surowiec (półprodukt)
Wejścia	Dojazd na miejsce	32	---	Azotan(V) amonu, olej
	Przygotowanie mieszanki: Zużycie paliwa samochodu wytwórni podczas mieszania i ładowania	5,5	---	---
Emisje	Emisje do powietrza - norma emisji spalin EURO 3	---	---	---
Wyjścia	Produkt (ANFO)	---	---	---

## 2.2. Metanit specjalny

Metanity specjalne zostały wytypowane do analizy ze względu na dominację ich zużycia w węglowych zakładach górniczych uwarunkowaną spełnianiem przez grupę tych MW wyższych wymagań bezpieczeństwa wobec mieszanin pyłu węglowego z powietrzem oraz możliwość stosowania także w warunkach zagrożenia wybuchowego metanem. Należą one do grupy sypkich MW amonowosaletranych stosowanych w górnictwie węglowym. Sensybilizowane są nitroestrami w ilości do 10% i zawierają chlorek sodu w ilości około 30%. Licznie są wprowadzane na rynek odmiany metanitów specjalnych ekologicznych. Na rys. 3 przedstawiono diagram procesu otrzymywania metanitu specjalnego. Natomiast tabela 3 przedstawia sumaryczne efekty energetyczne dla procesu otrzymania 1 Mg metanitu specjalnego.



**Rys. 3.** Diagram przepływu dla technologii wytwarzania metanitu specjalnego

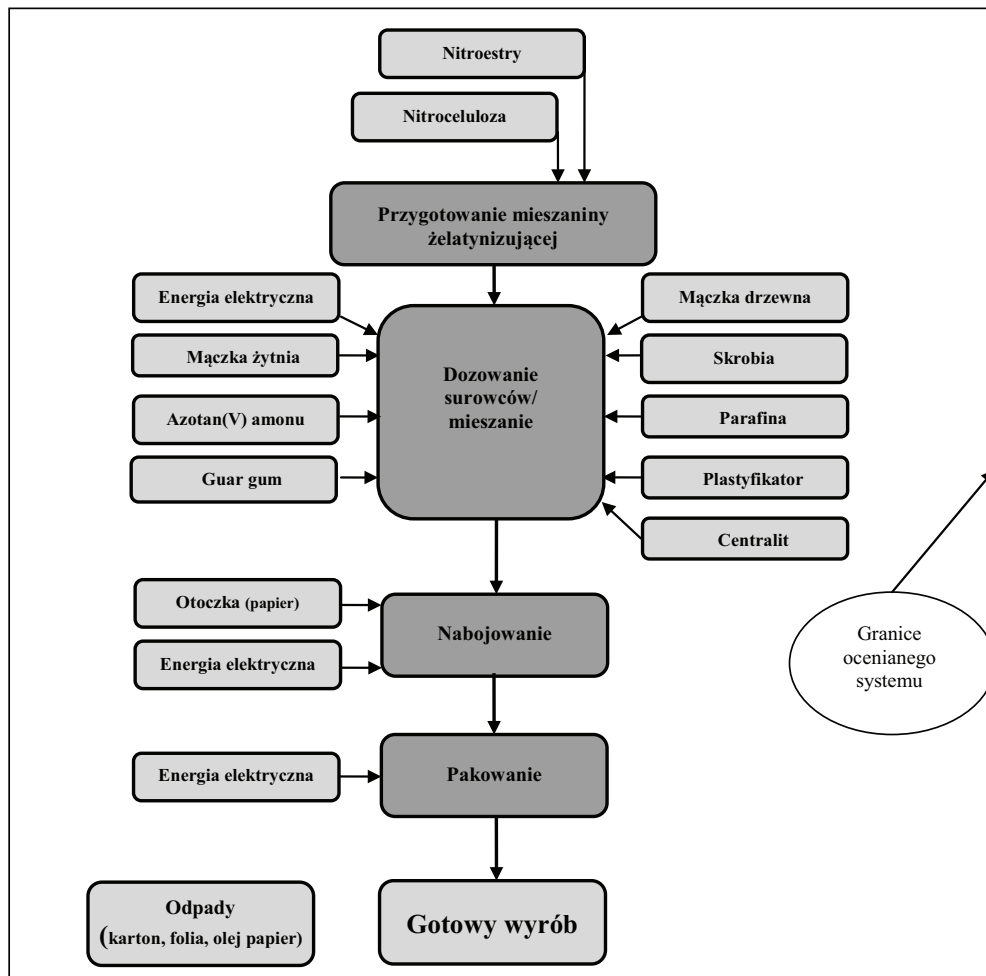
**Tab. 3.** Bilans energetyczny elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania metanitu specjalnego

Opis	Energia [kWh]	Materiał pomocniczy	Surowiec (półprodukt)	
<b>WEJŚCIA</b>				
Przygotowanie mączki drzewnej:				
1. Transporter korowiny 1	1,5			
2. Transporter korowiny 2	1,5			
3. Dmuchawa mączki drzewnej do silosa	5			
4. Silos (cyklon)	5			
5. Transporter ślimakowy do suszarni 1 trocin - silnik	5			
6. Para do grzania suszarni 1 bar (płaszcz bezciśnieniowy) temp. pracy ok. 100 °C	5	Para wodna t = 100 °C, p = 1 bar		
7. Transporter ślimakowy wysuszonych trocin	5			
8. Suszarnia trocin 2 - silnik	10			
9. Młyn – dwustopniowe mienienie – 4 silniki	40			
10. Dmuchawa do suszarni mączki	2			
11. Cyklon mączki	10			
12. Transporter ślimakowy – silnik	2			
13. Transporter do suszarni mączki drzewnej po zmieleniu	0,5			
14. Transporter ślimakowy				
15. Przesiewacz wibracyjny				
Przygotowanie saletry amonowej (SA):				Saletra amonowa zakupiona w big bag 1 Mg z PE
1. Podnośnik widłowy	1,00			
2. Transporter ślimakowy pomocniczy do młyna (7kWh)	1,05			
3. Młyn – (50 ÷ 70)% przejść przez sito 0,2 (17 kWh)	2,55			
4. Transporter zmielonego surowca (9 kWh)	1,35			
Przygotowanie soli – łączny czas pracy zespołu do przemiału soli:			Sól	
1. Podnośnik widłowy	1,00			
2. Transporter ślimakowy do młyna (7 kWh)	1,05			
3. Młyn – (30 ÷ 55)% przechodzi przez sito 0,2 (17 kWh)	2,55			
4. Transporter zmielonego surowca (9 kWh)	1,35			
Przygotowanie innych dodatków np. guar gum nie wymaga żadnej obróbki energetycznej.	0		Zakup z zewnątrz	
Transport zakładowy surowców ciągnikiem akumulatorowym w przeliczeniu na 1 Mg metanitu.	9,9			
Przygotowanie mieszaniny – mieszarko ugniataрка Drais do homogenizacji MW o wydajności 300 dm <sup>3</sup> (3 szarże / 1 h):			Nitrogliceryna, nitroglikol	
1. Mieszalnik z obrotowym zestawem mieszadeł (5 ÷ 16) obr min <sup>-1</sup> (czas pracy 20 min / 300 kg)	6,67			
2. Pompa do zassania nitrogliceryny z cysterny (5 min / 1 tonę MW) – 2 kWh	0,17			
3. Mieszalnik z obrotowym zestawem mieszadeł (7,7 ÷ 25,5) obr min <sup>-1</sup> (czas pracy 20 min / 300 kg)	18,9			
Nabojarka do nabojowania MW w papier				
1. Podajnik ślimakowy materiału luzem	0,1	papier do nabojarki 28 kg, parafina do impregnacji papieru 12 kg, worki PE, pudła kartonowe z tektury 5 warstwowej 40 kg		
2. Glizarka	0,2			
3. Grzanie parafiny	0,5			
4. Nabojarka (2,5 h/MgMW)	5,5			
5. Transporter pionowy naboi (2,5 h / MgMW)	1,25			
6. Transporter poziomy naboi (2,5 h / MgMW)	1,25			
7. Zakłajarka	0,1			
8. Transporter kartonów (ręczny samotok)	0			
9. Naklejarka (0,6 h / MgMW)	0,1			
10. Transporter metanitu na wózek (20 min / MgMW)	0,1			
Otrzymanie 1 Mg metanitu specjalnego w nabojach 125 g Ø 32 = 40 kartonów				

Przygotowanie metanitu do transportu krajowego: 1. Paletownica POLPAK (1 paleta 600 kg / 2min) 2. Transport lokomotywą spalinową – odległość 8 km	0,04 0,5	Paleta drewniana sosnowa 33,5 kg, PE stretch 0,85 kg	
<b>WYJŚCIA</b>			
Średnio roczna ilość odpadów w przeliczeniu na 1 Mg metanitu			
1. Korowina – biodegradowalna 100% – sprzedaż	0		
2. Saletra amonowa zanieczyszczona – sprzedaż okolicznym rolnikom	0		
3. Makulatura	1,001 kg		
4. Tworzywa sztuczne	1,425 kg		
5. Drewno odpadowe (palety)	0,721 kg		
6. Żłom stalowy	0,502 kg		
7. Saletra odpadowa	0,506 kg		
8. Odpadowa mieszanina surowców sypkich	0,442 kg		
9. Opakowania zakupionych materiałów - zwrot	0		
10. Opakowania do detonacji, gdy zanieczyszczenia MW przekraczają 5%	0,001 kg		
11. Opakowania do spalania, gdy zanieczyszczenia MW nie przekraczają 5%	0,006 kg		
12. Ścieki (socjalne)	0		
13. Zużycie wody - woda w pompie krąży w obiegu zamkniętym	0		

### 2.3. Dynamit

Dynamity należą do grupy MW bardzo często stosowanych głównie w górnictwie podziemnym i nieznacznie w odkrywkowym. Podstawową zaletą są wysokie parametry detonacyjne predysponujące do stosowania w urabianiu skał zwięzłych oraz wodoodporność umożliwiającą wykorzystanie tego typu MW w otworach zawodnionych. Nie jest on przeznaczony do załadunku otworów metodą mechaniczną czy pneumatyczną ze względu na wysoką wrażliwość na bodźce mechaniczne, zwłaszcza uderzenie. Te plastyczne mieszaniny wybuchowe uczulane są najczęściej mieszaniną nitrogliceryny i nitroglikolu w ilości powyżej 10%. Zasadniczo zawierają tę samą grupę komponentów co opisany metanit specjalny (i inne MW amonowosaletrane uczulane nitroestrami) oraz inne komponenty modyfikujące właściwości detonacyjne i fizykochemiczne. W tej grupie również wprowadzane są na rynek odmiany typowane jako ekologiczne na podstawie braku w wyrobie kancerogennych składników tj. dinitrotoluen, trinitrotoluen. Na rys. 4 przedstawiono diagram procesu otrzymywania dynamitu, a w tabeli 4 sumaryczne efekty energetyczne procesów jednostkowych dla jednostki funkcyjnej określonej jako wyprodukowanie 1 tony dynamitu.



Rys. 4. Diagram przepływu dla technologii wytwarzania dynamitu

Tab. 4. Bilans energetyczny elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania dynamitu

Opis	Energia [kWh]	Materiał pomocniczy	Surowiec (półprodukt)
<b>WEJŚCIA</b>			
Przygotowanie mączki drzewnej:			Trociny zakupione
1. Podajnik taśmowy	2		
2. Przesiewacz	2		
3. Podajnik ślimakowy	4		
4. Dmuchawa wysokoobrotowa	4		
5. Suszarnia – napęd I wanny	5		
6. Suszarnia – napęd I wanny	5		
7. Suszarnia – napęd II wanny	5		
8. Suszarnia	20		
9. Młyn	40		
10. Cyklon – pneumatyczny	8		
11. Podajnik ślimakowy mączki do suszarni mączki	3		
12. Suszarnia	20		
13. Suszarnia	20		
14. Przesiewacz wibracyjny	3		
15. Trzęsak	1		

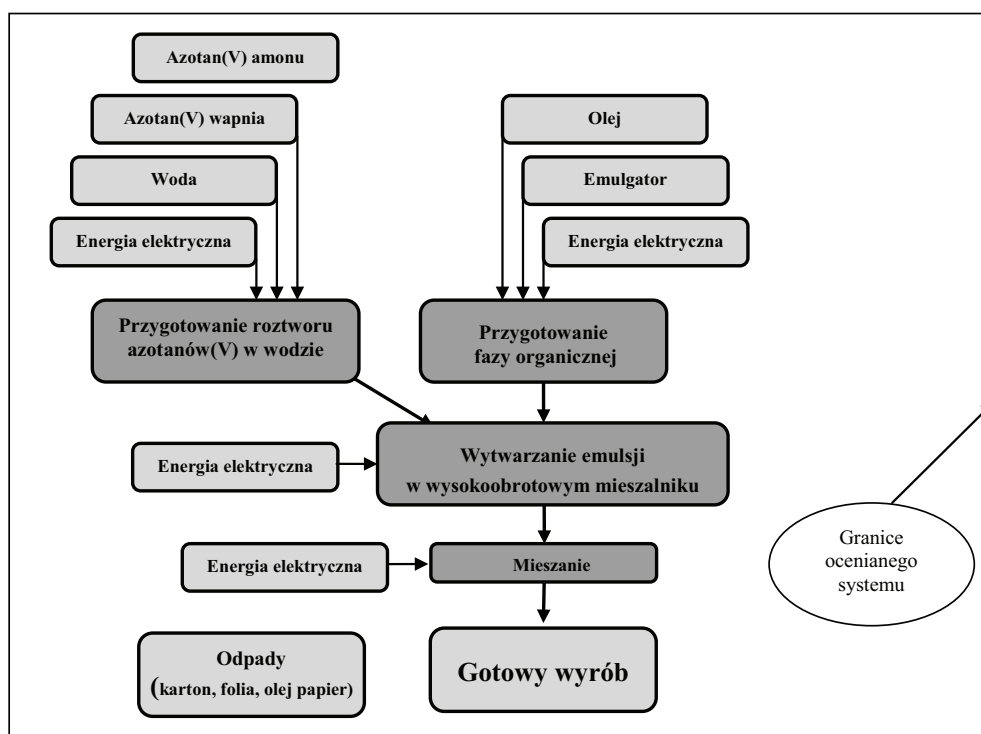


Przygotowanie saletry amonowej (SA): 1. Podnośnik widłowy 2. Transporter ślimakowy pomocniczy do 3. Młyn 4. Młyn 5. Transporter zmielonego surowca (9 kWh)	0,1 1,14 5,20 3,25 1,46		Saletra amonowa zakupiona w Big-Bag 1 Mg z PE
Nitrogliceryna/nitroglikol			
Przygotowanie innych dodatków (guar gum, centralitu, aminy III rzędowej, nitrocelulozy, mączki żytniej) nie wymaga żadnej obróbki energetycznej. Ładowanie ręcznie.	0		Zakup z zewnątrz
Transport zakładowy surowców ciągnikiem akumulatorowym w przeliczeniu na 1Mg dynamitu.	3,96		
Przygotowanie mieszaniny homogenicznej MW o wydajności 300 l (3 szarże / 1h): 1. Przecierak hydrauliczny surowców sypkich na mieszalnikach 2. Wywrotnica 3. Mieszalnik hydrauliczny 4. Pompa do zassania nitrogliceryny z cysterny	2,4 1,2 25,6 0,7		Nitrogliceryna Nitroglikol
Nabojarka do nabojowania MW w papier: 1. Podajnik ślimakowy materiału luzem (2,5 h/Mg MW) 2. Wywrotnica (6 min / MgMW) 3. Gilziarka 4. Grzanie parafiny 5. Nabojarka (2,5 h / MgMW) 6. Transporter pionowy naboi (2,5 h / MgMW) 7. Transporter pionowy naboi (2,5 h / MgMW) 8. Transporter poziomy naboi (2,5 h / MgMW) 9. Transporter poziomy naboi (2,5 h / 1 tonę MW) 10. Zaklejarka 11. Obrotnica 12. Transporter kartonów (ręczny samotok) 13. Naklejarka (0,6 h / MgMW) 14. Transporter kartonów (0,6 h / MgMW) Otrzymanie 1 Mg dynamitu w nabojach 125 g Ø 32 = 40 kartonów	7,5 0,3 1,5 1,5 5,5 0,25 0,25 0,25 0,25 0,1 0,08 0 0,1 0,1		papier do nabojarki 28 kg, parafina do impregnacji papieru 12 kg, worki PE, pudła kartonowe z tektury 5 warstwowej 40 kg,
Przygotowanie metanitu do transportu krajowego: 1. Paletownica POLPAK (1 paleta 600 kg / 2 min) 2. Transport lokomotywą spalinową – odległość 8 km	0,04 0,5		Paleta drewniana 20 kgx2, PE stretch
<b>WYJŚCIA</b>			
Średnio roczna ilość odpadów w przeliczeniu na 1 Mg dynamitu 1. Korowina – biodegradowalna 100% - sprzedaż 2. Saletra amonowa zanieczyszczona – sprzedaż okolicznym rolnikom 3. Makulatura 4. Tworzywa sztuczne 5. Drewno odpadowe (palety) 6. Żłom stalowy 7. Saletra odpadowa 8. Odpadowa mieszanina surowców sypkich 9. Opakowania zakupionych materiałów - zwrot 10. Opakowania do detonacji gdy zanieczyszczenia MW przekraczają 5% 11. Opakowania do spalania gdy zanieczyszczenia MW nie przekraczają 5% (otoczki PE, papier gilzowy, zanieczyszczone czyściwo, zmiotki NC) 12. Ścieki (socjalne) 13. Zużycie wody - woda w pompie krąży w obiegu zamkniętym Razem odpadów	0 0 1,967 kg 1,477 kg 0,921 kg 0,902 kg 0,506 kg 0,442 kg 0 0,001 kg 0,002 kg 0 0 6,218 kg		

Technologia otrzymywania powyższych klasycznych MW w głównej mierze polega na wymieszaniu dokładnym składników, w trakcie którego nie zachodzą przemiany fizyczne. Parametrem decydującym o jakości otrzymanego MW jest intensywność mieszania. Zwrócić uwagę należy na energochłonność procesów przygotowania poszczególnych składników, które muszą być odpowiednio rozdrobnione, przesiane i wysuszone. Zupełnie odmiennym procesem technologicznym jest proces otrzymywania MW emulsyjnych (MWE).

#### 2.4. Materiał wybuchowy emulsyjny

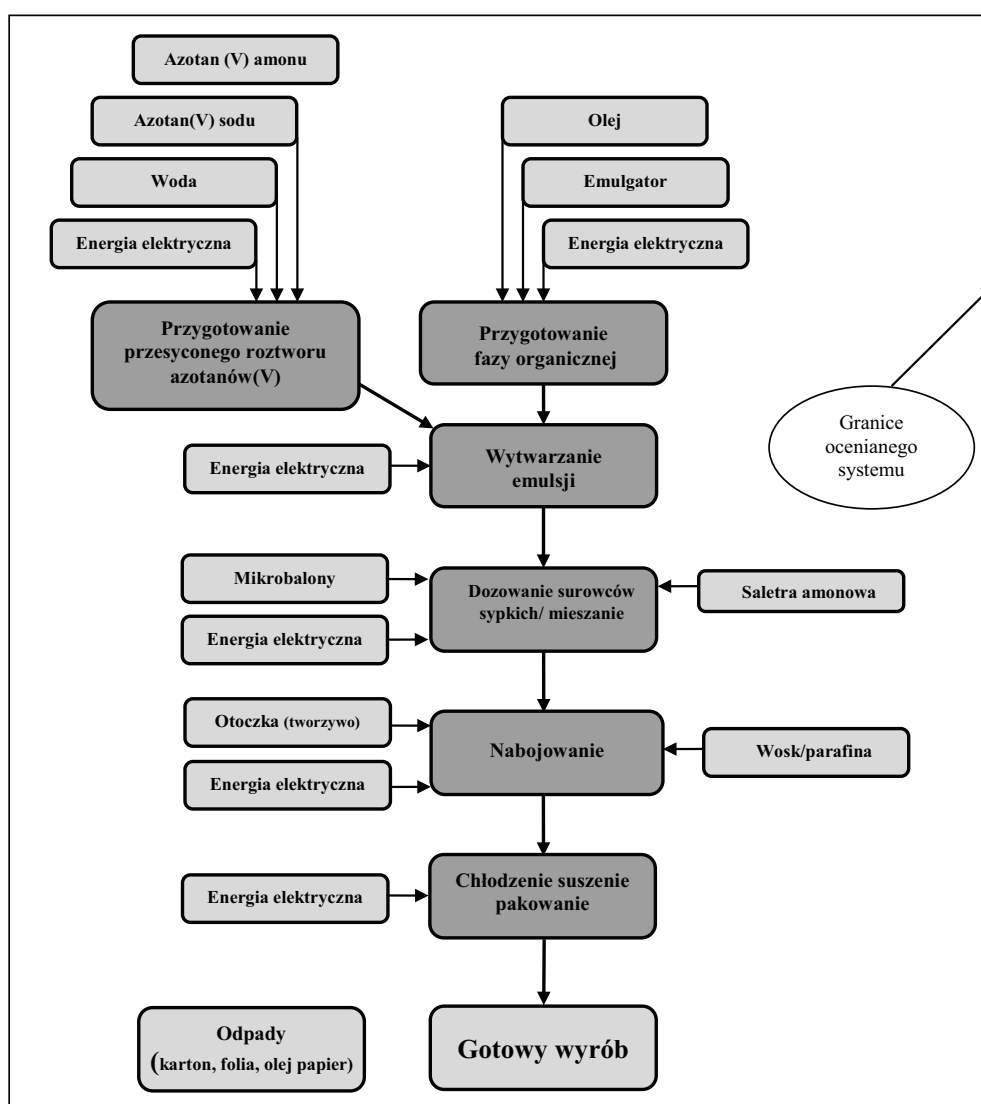
MWE są obecnie numerem jeden pod względem ilości produkcji i użycia w zakładach górniczych niewęglowych. Jest wiele odmian tego MW. W Polsce produkowane są MWE nabożowane stosowane głównie w zakładach górniczych podziemnych i MWE luzem stosowane w zakładach odkrywkowych, a także podziemnych. W skład MWE wchodzi utleniacze, paliwa, woda, emulgatory, środki uczulające i modyfikujące. Najczęściej stosowanym utleniaczem jest azotan(V) amonu w mieszaninie z azotanem(V) sodu lub azotanem(V) wapnia. Zawartość utleniaczy przekracza 90%. Paliwem są organiczne ciecze tworzące lub nietworzące, z podstawowym składnikiem MWE wodą, roztworów. MWE ze względu na brak w strukturze kancerogenów są umownie określane dla całej grupy jako ekologiczne. Proces technologiczny otrzymywanie MWE składa się z kilku podstawowych operacji tj. przygotowanie surowców (emulgatora, fazy organicznej, roztworu azotanów(V)), wytworzenia emulsji, dozowania surowców stałych, wymieszania, uczulenia, nabożowania, chłodzenia i pakowania w przypadku nabożowanych. Dla MWE luzem po procesie mieszania następuje proces chłodzenia i załadunku do pojemników. Rys. 5 i 6 ilustrują odpowiednio diagramy procesu otrzymywania MWE luzem (matryca nieuczulona) i nabożowanego. Natomiast w tabelach 5 i 6 zestawiono bilanse energetyczne elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania odpowiednio matrycy MWE i MWE naborowanego.



Rys. 5. Diagram przepływu dla technologii wytwarzania MWE luzem

**Tab. 5.** Bilans energetyczny elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania matrycy MWE

Opis	Energia [kWh]	Materiał pomocniczy	Surowiec (półprodukt)
<b>WEJŚCIA</b>			
Zespół przygotowania mieszanin olejowych:			
1. Mieszalnik mieszanin olejowych	1,1	Ciepła woda 90 °C	
2. Ogrzewanie mieszalnika	80		
3. Pompa pneumatyczna oleju	0		
4. Pompa mieszanin olejowych	2,2		
5. Zbiornik podręczny mieszaniny oleju z emulgatorem	1,1		
6. Ogrzewanie zbiornika	2,5		
7. Pompa dozująca mieszaninę oleju z emulgatorem	2,2		
8. Zbiornik podręczny mieszaniny oleju z parafiną i woskiem	1,1		
9. Ogrzewanie zbiornika	2,5		
10. Pompa dozująca mieszaniny oleju z woskiem i parafiną	2,2		
Zespół przygotowania roztworu utleniaczy:			
1. Pompowanie stopu saletry z autocysterny (rozładunek)	3	Ciepła woda 90 °C, para t = 132 °C, p = 0,3 MPa	
2. Podręczne magazynowanie stopu saletry w zbiorniku ogrzewanym do temp. (95 ÷ 130) °C	2,5		
3. Mieszanie stopu saletry	3		
4. Pompa	2,2		
5. Podręczne magazynowanie roztworu utleniaczy	2,5		
6. Mieszalnik	3,2		
7. Pompa zanurzeniowa	2,2		
8. Pompa dozująca roztwór utleniaczy ogrzewana ciepłą wodą	3		
9. Pompa roztworu utleniaczy	2,2		
10. Mieszalnik roztworu utleniaczy	4		
Zespół mieszalnika matrycy:			
1. Mieszalnik matrycy	15	Woda grzewcza 110/90 °C	
2. Dozowanie wosku i parafiny (ręcznie)	0		
3. Woda grzewcza	2,8		
4. Transporter	0,37		
<b>WYJŚCIA</b>			
Średnia ilość odpadów w przeliczeniu na tonę MWE (matrycy):			
1. Materiały zanieczyszczone MW	0,43 kg		
2. Big-Bag z tworzywa po saletrze amonowej i wapniowej	1,06 kg		
3. Popioły po spaleniu odpadów	0,07 kg		
4. Makulatura	0,03 kg		
5. Złom stalowy	0,05 kg		



Rys. 6. Diagram przepływu dla technologii wytwarzania MWE nabojanego

Tab. 6. Bilans energetyczny elementów wejściowych/wyjściowych poszczególnych etapów ocenianego procesu wytwarzania matrycy MWE

Opis	Energia [kWh]	Materiał pomocniczy	Surowiec (półprodukt)
<b>WEJŚCIA</b>			
Zespół przygotowania mieszanin olejowych:			
1. Mieszalnik mieszanin olejowych	1,1		
2. Ogrzewanie mieszalnika	80		
3. Pompa pneumatyczna oleju	2		
4. Pompa mieszanin olejowych	2,2		
5. Zbiornik podręczny mieszaniny oleju z emulgatorem	1,1	Ciepła woda 90 °C	
6. Ogrzewanie zbiornika	2,5		
7. Pompa dozująca mieszaninę oleju z emulgatorem	2,2		
8. Zbiornik podręczny mieszaniny oleju z parafiną i woskiem	1,1		
9. Ogrzewanie zbiornika	2,5		
10. Pompa dozująca mieszaniny oleju z woskiem i parafiną	2,2		

Zespół przygotowania roztworu utleniaczy: 1. Pompowanie stopu saetry z autocysterny (rozładunek) 2. ręczne magazynowanie stopu saetry w zbiorniku ogrzewanym do temp. (95 ÷ 130) °C 3. Mieszanie stopu saetry 4. Pompa 5. Podręczne magazynowanie roztworu utleniaczy 6. Mieszalnik 7. Pompa zanurzeniowa 8. Pompa dozująca roztwór utleniaczy ogrzewana ciepłą wodą 9. Pompa roztworu utleniaczy 10. Mieszalnik roztworu utleniaczy	3 2,5 3 2,2 2,5 3,2 2,2 3 2,2 4	Ciepła woda 90 °C, para t = 132 °C, p = 0,3 MPa	
Zespół mieszalnika matrycy: 1. Mieszalnik matrycy 2. Dozowanie wosku i parafiny (ręcznie) 3. Woda grzewcza 4. Transporter	15 0 2,8 0,37	Woda grzewcza 110/90 °C	
Zespół dozowania mikrobalonów: 1. Ekspandowanie mikrobalonów (agregat) 2. Pompa membranowa 3. Dozownik mikrobalonów 4. Zasilacz ślimakowy mikrobalonów	24,5 2 0,75 0,37	sprężone powietrze p = 5 bar	
Zespół dozowania saetry: 1. Wciągnik elektryczny 2. Dozownik 3. Zasilacz ślimakowy	1,18 0,75 0,29		
Zespół dozowania surowców: 1. Zasilacz ślimakowy mikrobalonów 2. Zasilacz ślimakowy saetry 3. Mieszalnik MWE 4. Transporter	0,37 0,37 1,5 3		
Zespół nabojarok (praca non stop): 1. Nabojarka 2. Transporter taśmowy 3. Nabojarka 4. Dozownik 5. Transportery taśmowe (skośny i poziomy) 6. Silnik taśmy podajnika 7. Silnik ostatniej taśmy	3 1 5,1 22 2,4 2 2	Sprężone powietrze p = (5÷7) bar	
Zespół transportowo-chłodzący: 1. Wanna chłodząca z transporterem taśmowym 2. Wanna chłodząca z transporterem taśmowym 3. Agregat chłodniczy 4. Pompa membranowa 5. Silos (aeracja) 6. Silos (aeracja) 7. Pompa perystaltyczna 8. Wanna chłodząca z transporterem	2 2 150 2 1 1 5 2	Woda chłodnicza w obiegu zamkniętym, sprężone powietrze	
<b>WYJŚCIA</b>			
Średnia ilość odpadów w przeliczeniu na 1 Mg MWE nabojowanego 1. Materiały zanieczyszczone MW 2. Big-Bag z tworzywa po saetrze amonowej 3. Big-Bag z tworzywa po mikrobalonach 4. Worki z tworzywa po saetrze sodowej 5. Popioły po spaleniu odpadów 6. Makulatura 7. Złom stalowy Razem odpadów	0,23 kg 0,57 kg 1,02 kg 0,56 kg 0,04 kg 0,13 kg 0,03 kg 2,58 kg		

Technologia otrzymywania MWE jest opisywana w literaturze jako całkowicie bezpieczna i o małej ilości odpadów.

### 3. Wnioski

W artykule przedstawiono bilans materiałowy i energetyczny dla procesów produkcji czterech różnych MW. Zaprezentowane wyniki ilościowe nie są na tym etapie możliwe do porównania ze względu na brak możliwości agregacji danych. Stąd niezbędnym staje się wsparcie programami matematycznymi do oceny cyklu życia i określenia oddziaływania technologii wytwarzania wybranych materiałów wybuchowych na środowisko. Niewątpliwie etap LCI nie daje informacji na temat struktury i wielkości potencjalnego wpływu na środowisko, ale dokładność interpretacji danych bezpośrednio wpływa na jakość danych i niepewność wyników badania.

#### Podziękowanie

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010 ÷ 2013 jako projekt badawczy własny.

#### Literatura

- [1] Gruszka A., Niegowska E., *Zarządzanie środowiskowe. Komentarz do norm serii ISO 14000*, Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.
- [2] PN-EN ISO 14040, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura*, Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
- [3] PN-EN ISO 14044, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne*, Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
- [4] PKN-ISO/TR 14047, *Zarządzanie środowiskowe. Ocena wpływu cyklu życia. Przykłady stosowania ISO 14042*, Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.