

Maciej KURZYDŁO

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. J.H. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa
e-mail: mkurzydlo@fluid.is.pcz.pl

Możliwość zastosowania techniki LCA do oceny wpływu na środowisko odpadów przemysłowych i energetycznych

W artykule zaprezentowano możliwość zastosowania ekologicznej oceny cyklu życia (LCA) jako wiodącej metody do oceny wpływu na środowisko odpadów przemysłowych i energetycznych. Z tego względu przeprowadzono analizę dostępnych danych, związanych z powstawaniem odpadów przemysłowych na terenie Polski. Stwierdzono, iż stanowią one 91,1% ze 135,2 mln ton ogólnie wytworzonych odpadów w 2012 roku. Zwrócono również uwagę na problem zagospodarowania odpadów energetycznych i przemysłowych oraz na zagrożenia płynące z ich składowania jako dominującej metody unieszkodliwiania. Przedstawiono ekologiczną ocenę cyklu życia produktu jako narzędzie możliwe do zastosowania w celu oceny wpływu na środowisko ubocznych produktów spalania (UPS) oraz przemysłowych osadów ściekowych. Na podstawie analizy danych stwierdzono, że LCA stanowi adekwatne narzędzie do przedstawionej tematyki zarządzania odpadami przemysłowymi w Polsce.

Słowa kluczowe: odpady przemysłowe, odpady energetyczne, popioły lotne, przemysłowe osady ściekowe, ekologiczna ocena cyklu życia produktu (LCA)

Wprowadzenie

W związku z ciągłym rozwojem cywilizacji wzrasta ingerencja człowieka w środowisko naturalne. Niemniej jednak rośnie również świadomość ekologiczna ludzi. Aktualnie jednym z priorytetów państw świata jest zrównoważony rozwój w kierunku zwiększania ochrony środowiska naturalnego. Z tego względu poszukuje się coraz bardziej doskonałych narzędzi, pozwalających oszacować szkodliwą działalność człowieka na środowisko. Daje to możliwość zastosowania odpowiednich działań mających na celu ochronę zasobów naturalnych i pozostałych elementów przyrody, przy jednoczesnym wzroście gospodarczego wykorzystania odpadów. Aktualnie najbardziej popularnym narzędziem zarządzania środowiskowego jest ekologiczna ocena cyklu życia (LCA - Life Cycle Assessment).

Głównym zadaniem LCA jest określenie potencjalnego wpływu badanego wyrobu (np. towar, usługa) na środowisko poprzez zebranie danych związanych z procesami produkcji, użytkowania oraz utylizacji produktu. Wszystkie etapy LCA są ze sobą ściśle powiązane, tworząc jedną, spójną strukturę. Szerokie spektrum badań czyni technikę LCA potężnym narzędziem w zarządzaniu środowisko-

wym, umożliwiając całościowe ujęcie analizowanego systemu wyrobu, jak również jego poszczególnych etapów. Dodatkowo precyzyjnie określa powstawanie danych zagrożeń dla środowiska w wybranych procesach. Dlatego wyniki LCA służą do podejmowania odpowiednich decyzji, których konsekwencją jest ograniczenie negatywnego wpływu analizowanego obiektu na środowisko w oparciu o rzeczywiste dane lub założenia teoretyczne.

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną zwiększa się ilość i rodzaje generowanych ubocznych produktów spalania węgla. Wśród nich szczególną rolę odgrywa popiół lotny, gdyż jest on produkowany w Polsce w ilościach ok. 10,8 mln ton rocznie (popioły lotne z węgla, mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z odsiarczania spalin, żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów) [1]. Cenne składniki chemiczne obecne w popiołach lotnych z powodzeniem mogą zostać zagospodarowane w wielu sektorach gospodarczych. Jednakże, wciąż od 40 do 80% wyprodukowanych popiołów lotnych jest deponowane na składowiskach, stanowiąc problem ekologiczny oraz ekonomiczny.

Podobnie jest w przypadku zagospodarowania przemysłowych osadów ściekowych, dla których (jeszcze do niedawna) podstawową metodą unieszkodliwiania było składowanie. Doprowadziło to do zalegania na terenie kraju ponad 6,3 mln ton suchej masy osadów, wobec jedynie 3,4 tys. ton wykorzystanych np. do rekultywacji terenów lub w rolnictwie [1]. Tak niska ilość osadów wykorzystanych gospodarczo (wg GUS) prawdopodobnie jest spowodowana brakiem szczegółowych danych ze wszystkich regionów kraju, ponieważ w 2011 roku ilość wykorzystanych osadów wyniosła aż 47,4 tysięcy ton. Nie zmienia to jednak faktu, iż w porównaniu do ilości składowanych odpadów jest to niewielka wartość. Pod wpływem zmian ustawowych [2] od 1 stycznia 2013 roku tylko osady ściekowe spełniające rygorystyczne wymagania mogą być deponowane na składowiskach. W związku z tym konieczne jest poszukiwanie innych metod utylizacji tego typu odpadu.

Zastosowanie LCA do oceny wpływu na środowisko ubocznych produktów spalania (UPS) oraz przemysłowych osadów ściekowych pozwoli nie tylko efektywnie nimi gospodarować, jednocześnie ograniczając wykorzystanie surowców pierwotnych, ale również określić ich oddziaływanie na środowisko w całym cyklu życia.

1. Charakterystyka wytwarzanych odpadów przemysłowych w Polsce

Głównym surowcem w polskim sektorze energetycznym jest węgiel kamienny i brunatny, ponieważ około 96% wytworzonej energii elektrycznej i ciepła systemowego pochodzi z jego konwersji. Przyczyną takiego stanu jest systematyczny wzrost zapotrzebowania na energię, bardzo bogate rodzime zasoby naturalne, dostępność technologii oraz ekonomia procesu. Dlatego węgiel w naszym kraju pełni rolę surowca strategicznego i od lat poziom jego wykorzystania jest niezmiennie wysoki z tendencją wzrostową po 2030 roku. Z tego względu oczywiste jest zwiększanie się ilości i rodzajów ubocznych produktów spalania (UPS), takich jak:

- popioły lotne,
- żużle,
- mieszaniny popiołowo-żużłowe,
- mikrosfery,
- popioły z kotłów fluidalnych,
- odpady z odsiarczania spalin metodami mokrymi, półsuchymi i suchymi [3].

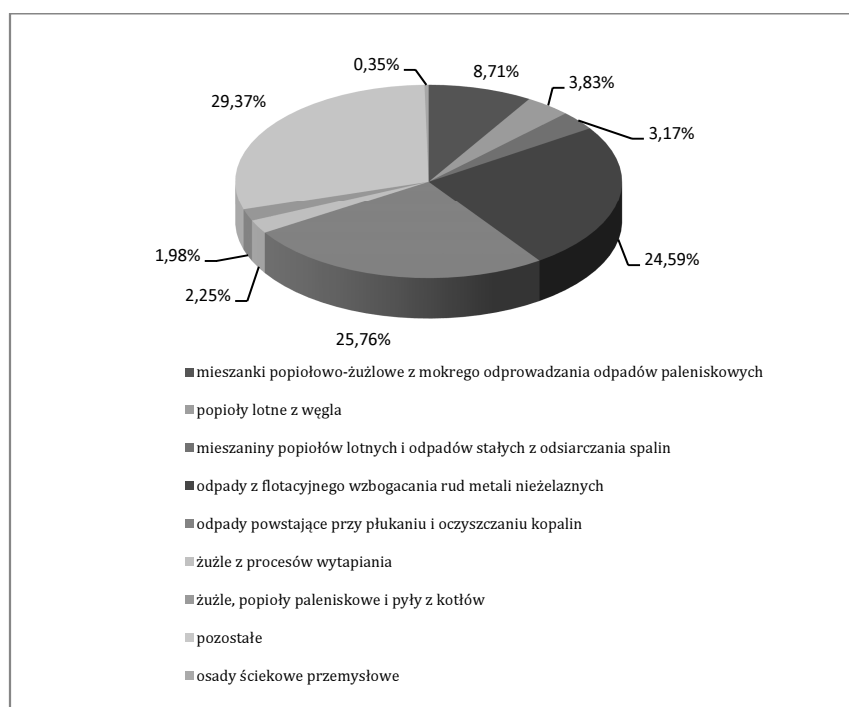
Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, sumaryczna ilość różnego typu odpadów przemysłowych wyprodukowanych w 2012 roku przekroczyła wartość 121 mln ton (tab. 1).

Tabela 1. Odpady przemysłowe wytworzone w Polsce w 2012 r. [1]

Table 1. Industrial wastes produced in Poland in 2012 [1]

Województwo	Mieszanki popiołowo- żużłowe z mokrego odpro- wadzenia odpadów paleni- skowych	Popioły lotne z węgla	Mieszanki popiołów lot- nych i odpadów stałych z odsiarczania spalin	Odpady z flotacyjnego wzbogacania rud me- tali nieżelaznych	Odpady powstające przy plukaniu i oczyszczaniu kopalni	Żużle z procesów wytopia- nia	Żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	Pozostałe	Osady ściekowe przemysłowe
	tys. ton								
Dolnośląskie	59,7	77,5	2253,0	28 404,0	169,2	–	135,8	3055,7	73,8
Kujawsko- pomorskie	182,0	289,1	34,1	–	–	–	71,2	1691,6	30,3
Lubelskie	129,2	95,2	–	–	4754,8	–	61,9	1231,3	20,0
Lubuskie	36,0	0,4	–	–	–	–	11,9	876,6	3,7
Łódzkie	6577,1	502,3	10,4	–	132,7	–	78,9	806,5	13,0
Małopolskie	161,4	238,6	110,1	1423,1	1715,5	541,8	106,6	2152,6	40,2
Mazowieckie	637,2	859,9	175,8	–	–	87,5	110,5	4100,8	30,0
Opolskie	106,1	95,6	–	–	1,3	0,7	228,4	518,7	8,0
Podkarpackie	154,0	5,0	–	–	–	41,4	63,4	1175,3	3,0
Podlaskie	44,2	15,4	–	–	–	–	32,3	1375,6	4,9
Pomorskie	61,4	174,2	5,5	–	–	–	42,0	2626,0	28,2
Śląskie	202,8	1405,9	1248,2	–	24 466,4	1874,8	838,5	5880,5	48,3
Świętokrzyskie	53,2	–	3,9	–	0,9	178,3	487,4	1178,6	6,7
Warmińsko- mazurskie	12,3	41,9	–	–	–	–	44,3	716,8	4,8
Wielkopolskie	1855,0	825,2	–	–	–	–	73,9	3263,4	17,6
Zachodnio- pomorskie	297,7	15,0	–	–	–	–	11,3	4977,9	86,0
OGÓLEM	10 569,3	4641,2	3841,0	29 827,1	31 240,8	2724,5	2398,3	35 627,9	418,6
SUMA	121 288,7								

Podział odpadów przemysłowych na poszczególne rodzaje wraz z ich udziałem procentowym przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Ilość wytworzonych odpadów przemysłowych w 2012 r. [1]

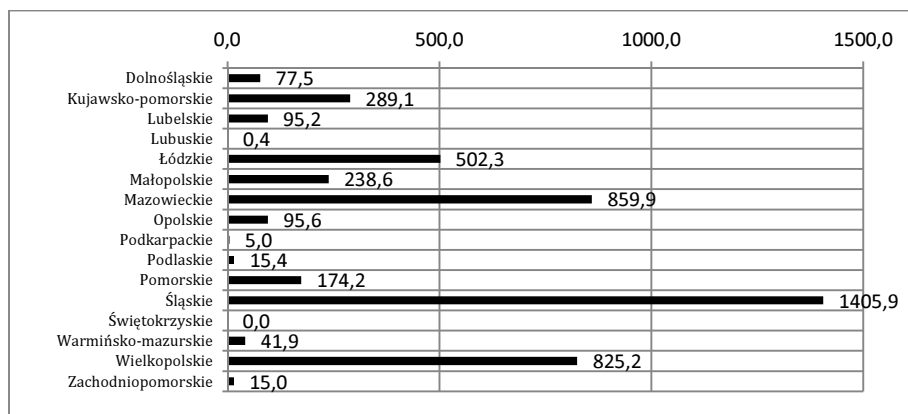
Fig. 1. The amount of industrial wastes generated in 2012 [1]

Popioły lotne stanowią mieszaninę różnych substancji mineralnych (niepalnych), które powstają podczas utleniania paliwa w paleniskach konwencjonalnych - kotły pyłowe i rusztowe. Mają one postać drobnego, miążkiego pyłu mineralnego o jasno- lub ciemnoszarym zabarwieniu [4, 5]. W 2012 roku poziom produkcji popiołów lotnych powstałych ze spalania węgla osiągnął wartość ponad 4,6 mln ton.

Dane przedstawione na rysunku 2 jednoznacznie wskazują, że przemysł zlokalizowany na terenie województwa śląskiego jest głównym producentem popiołu lotnego w Polsce. Znaczna ilość popiołu wytwarzana jest również w województwach mazowieckim i wielkopolskim, natomiast najmniej tego typu odpadów powstaje w województwach podlaskim, podkarpackim, warmińsko-mazurskim i dolnośląskim.

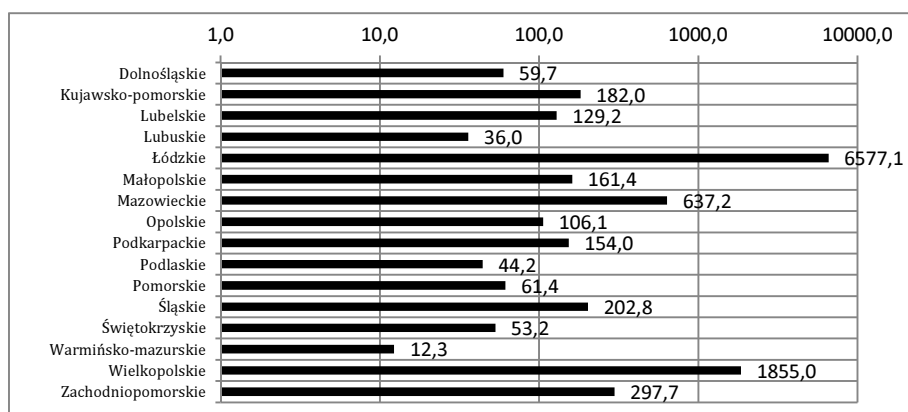
Polska na tle innych krajów świata wyróżnia się wysokim stopniem gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla, gdzie w 2012 roku osiągnął on poziom 84,4% [1]. Należy pamiętać, że jeszcze w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku stopień zagospodarowania popiołów w polskiej gospodarce kształtował się na poziomie 30% [6]. Ujemnie na poziom przemysłowego wykorzystania popiołów wpływa fakt, iż w dużej ilości elektrowni i elektrociepłowni

opalanym węglem odpady paleniskowe odprowadzane są w postaci mieszanki popiołowo-żużlowej metodą hydrotransportu. Ilość tak wytworzonych odpadów paleniskowych w 2012 roku osiągnęła wartość ponad 10,5 mln ton.



Rys. 2. Poziom produkcji popiołów lotnych w Polsce w 2012 r. wg województw - dane w tys. ton [1]

Fig. 2. The production level of fly ash in Poland in 2012 - by provinces – data in thousand tonnes [1]



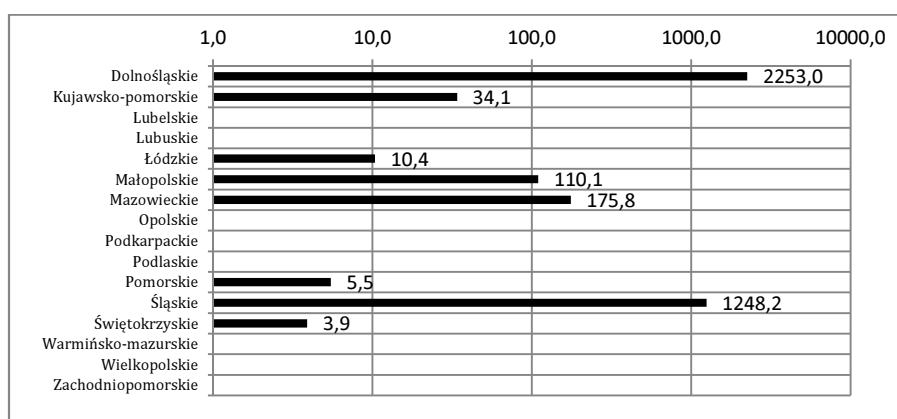
Rys. 3. Poziom produkcji mieszanki popiołowo-żużlowej w Polsce w 2012 r. wg województw - dane w tys. ton [1]

Fig. 3. The production level of dust-slag compounds in Poland in 2012 - by provinces – data in thousand tonnes [1]

Na podstawie danych zamieszczonych na rysunku 3 województwa łódzkie, wielkopolskie, mazowieckie i zachodniopomorskie klasyfikują się jako największe źródła produkcji mieszanki popiołowo-żużlowej odprowadzanej metodami mokrymi.

Pewną odmianą popiołów lotnych są popioły fluidalne, powstające w instalacjach, w których zastosowano kotły z cyrkulacyjną warstwą fluidalną. Cechą cha-

rakterystyczną takich kotłów jest możliwość spalania paliwa o niskiej wartości opałowej (powyżej 4000 kJ/kg) i wysokiej zawartości części mineralnych (poniżej 60%). Specyficzna budowa kotłów fluidalnych powoduje, że proces spalania paliw przebiega w warstwie cząstek stałych zawieszonych w strumieniu powietrza w temperaturach od 800 do 900°C. Takie rozwiązanie pozwala ograniczyć emisje tlenków azotu o 50÷80% w stosunku do palenisk tradycyjnych oraz stworzyć odpowiednie warunki do usuwania ditlenku siarki podczas stosowania suchych metod odsiarczania spalin. Z racji tego popioły fluidalne to w rzeczywistości mieszanina popiołu z produktami odsiarczania spalin oraz niezużyty sorbentem [7]. W 2012 roku ubocznych produktów spalania fluidalnego w Polsce powstało około 3,8 mln ton - dokładna charakterystyka z podziałem na województwa została zaprezentowana na rysunku 4.



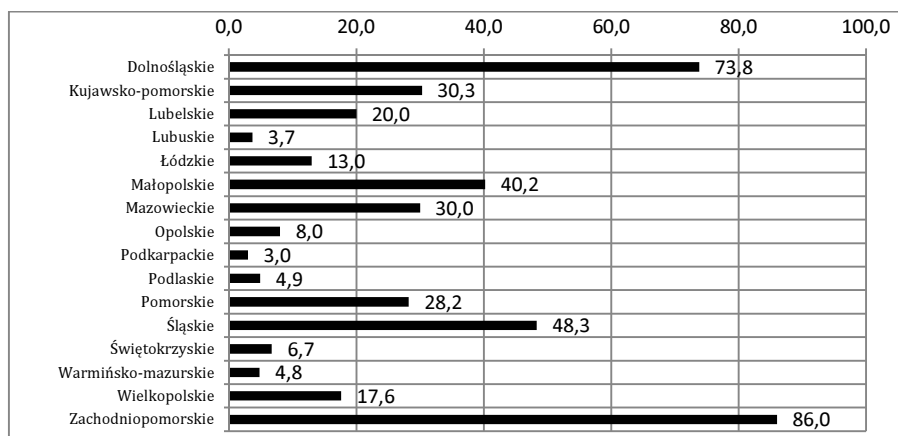
Rys. 4. Poziom produkcji popiołów fluidalnych w 2012 r. wg województw - dane w tys. ton [1]

Fig. 4. The production level of fluidized bed ashes in Poland in 2012 - by provinces – data in thousand tonnes [1]

Z danych Głównego Urzędu Statystycznego (rys. 4) wynika, że w 2012 roku w województwach lubelskim, lubuskim, opolskim, podkarpackim, podlaskim, warmińsko-mazurskim, wielkopolskim oraz zachodniopomorskim nie powstały żadne odpady przemysłowe w postaci popiołów fluidalnych. Dodatkowo proces modernizacji przemysłu energetycznego, który jest ściśle związany z planowanymi zakończeniami eksploatacji wielu kotłów, może wpłynąć na wzrost ilości generowanych popiołów z kotłów fluidalnych.

Innym rodzajem odpadów generowanych przez krajową gospodarkę są przemysłowe osady ściekowe. Powstają one podczas oczyszczania ścieków przemysłowych, którymi, zgodnie z ustawą Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. [8], są „ścieki niebędące ściekami bytowymi albo wodami opadowymi lub roztopowymi, powstałe w związku z prowadzoną przez zakład działalnością handlową, przemysłową, składową, transportową lub usługową, a także będące ich mieszaniną ze ściekami innego podmiotu, odprowadzane urządzeniami kanalizacyjnymi tego zakładu”. Ich skład chemiczny uzależniony jest od rodzaju przedsiębiorstwa, wykorzystywanych technologii produkcji, a także metod oczyszczania ścieków.

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego, ilość wytworzonych osadów przemysłowych w 2012 roku wyniosła około 418,6 tys. ton s.m. (rys. 5).



Rys. 5. Poziom produkcji przemysłowych osadów ściekowych w Polsce w 2012 r. wg województw - dane w tys. ton [1]

Fig. 5. The production level of industrial sewage sludge in Poland in 2012 - by provinces – data in thousand tonnes [1]

Poziom produkcji przemysłowych osadów ściekowych jest zróżnicowany w poszczególnych województwach (rys. 5), ponieważ największymi producentami osadów są województwa zachodniopomorskie i dolnośląskie, a najmniejszymi lubuskie, podkarpackie, podlaskie, warmińsko-mazurskie, opolskie oraz świętokrzyskie.

Oprócz rozwoju polskiej gospodarki jedną z głównych przyczyn systematycznego wzrostu produkcji osadów jest wprowadzona w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku dyrektywa unijna 91/271/EWG. Wymusiła ona modernizację istniejących oraz budowę nowych oczyszczalni ścieków poprzez zaostrzenie wymagań dotyczących jakości ścieków emitowanych do środowiska [9].

2. Wpływ odpadów przemysłowych na środowisko

Produkty uboczne z energetyki oraz osady ściekowe przez lata traktowane były jako odpad, bez ich dalszego użycia, przez co w większości przypadków trafiały na składowiska. O ile stopień zagospodarowania popiołów lotnych od kilkudziesięciu lat stale rośnie i aktualnie znajduje się na wysokim poziomie, o tyle przemysłowe osady ściekowe w większości przypadków były przyrodniczo wykorzystywane lub kierowane na składowiska. Jednakże sposoby te są coraz częściej ograniczane z punktu widzenia możliwości terytorialnych oraz uwarunkowań prawnych. Na przykład, od 1 stycznia 2013 roku zgodnie z rozporządzeniem ministra gospodarki z dnia 12 czerwca 2007 r. osady ściekowe, których wartość opałowa jest większa od 6 MJ/kg s.m., strata przy prażeniu (LOI) wynosi 8% s.m., a ogólny węgiel orga-

niczny (TOC) osiąga wartość 5% s.m. nie mogą być składowane [2]. Następstwem tego będzie ciągły wzrost ilości osadów ściekowych poddawanych termicznym metodom utylizacji. Według Krajowego planu gospodarki odpadami w 2015 r. będzie to 40% wytworzonych osadów [10]. Należy również pamiętać, że nie wszystkie odpady nadają się do gospodarczego wykorzystania, np. popioły występujące w postaci mieszanki popiołowo-żużlowej z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych nie znajdują szerokiego zastosowania, ponieważ w takiej postaci tracą swoje cenne właściwości pucolanowe. W tym przypadku jest to dość istotne, gdyż większość podmiotów związanych z sektorem energetycznym stosuje taką metodę utylizacji UPS-ów. Efektem takiego lub podobnego postępowania jest zaleganie na dzień dzisiejszy 1,65 mld ton odpadów przemysłowych, które zajmują obszar około 8660 ha, doprowadzając do degradacji terenu oraz zniszczenia krajobrazu [1]. Zdeponowane odpady wpływają również negatywnie na środowisko gruntowo-wodne, np. poprzez ługowanie metali ciężkich, jak również na atmosferę, organizmy żywe - człowieka.

Różnorodne właściwości fizykochemiczne produkowanych popiołów lotnych zależą od rodzaju spalanego paliwa oraz stosowanej metody spalania. Podobnie jest w przypadku osadów ściekowych, gdzie o własnościach decydują charakter dopływających ścieków oraz procesy technologiczne wykorzystane w oczyszczalniach. Z tego względu odpady energetyczne i osady doprowadzają do zanieczyszczenia struktur przyrody w wyniku ingerencji substancji zawartych w odpadach np. na drodze wymywania, pylenia lub emitowania pierwiastków promieniotwórczych.

Proces **wymywania** następuje w wyniku usuwania ze struktury popiołów soli, pierwiastków śladowych poprzez wprowadzanie ich do wód powierzchniowych lub podziemnych. Głównymi substancjami wymywanymi z popiołów są wodorotlenki, siarczany(VI), a także węglany i chlorki (wapnia, magnezu, potasu, sodu). Wymienione substancje stanowią około 98% z ogółu składników podatnych na proces ługowania [6]. Natomiast z metali ciężkich na ogół wypłukiwaniu ulegają ołów, żelazo, miedź, kadm, kobalt, chrom, cynk [11]. W przypadku osadów ściekowych podstawowymi składnikami podatnymi na rozpuszczanie są sole potasowe i wapń w postaci CaO. Niemniej jednak w osadach przemysłowych mogą również znajdować się metale ciężkie (cynk, miedź, ołów, rtęć, kadm, nikiel i chrom), pochodzące ze ścieków z przemysłu maszynowego, metalurgicznego i chemicznego, jak również związki organiczne (dioksyny, furany, polichlorowane bifenyle, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, chlorowcopochodne związki absorbowane) [12, 13].

Pylenie popiołów w głównej mierze spowodowane jest działaniem czynników atmosferycznych. Pod ich wpływem drobne frakcje cząstek stałych popiołów, tzw. mikrosfery, mogą być suszone, unoszone i wywiewane na znaczne odległości, doprowadzając do zanieczyszczenia atmosfery. Na uwagę zasługuje fakt, iż proces pylenia występuje bardzo często, pomimo transportowania popiołów na miejsce składowania metodami mokrymi. Jedynym sposobem wyeliminowania pylenia jest składowanie popiołów odznaczających się wilgotnością na poziomie 18÷25% [14].

Z kolei osady ściekowe z natury charakteryzują się dużym uwodnieniem, co związane jest z tym, że woda w osadach występuje pod wieloma postaciami (woda wolna, kapilarna oraz woda fizycznie, chemicznie oraz biologicznie związana). Dlatego w przypadku osadów surowych jej ilość może wynieść nawet 99%, a po osuszeniu mechanicznym od 80 do 55%. Taka duża zawartość wody w osadach ściekowych eliminuje problem pylenia [13].

Promieniotwórczość, w większości przypadków, zawiera się na niskim poziomie, dlatego istnieje możliwość gospodarczego wykorzystania popiołów oraz powierzchniowego składowania ich nadmiaru. Niemniej jednak istnieją też popioły lotne, które charakteryzują się wyższym niż dopuszczają przepisy poziomem radu, który jest pierwiastkiem silnie promieniotwórczym, a jego izotopy są niestabilne.

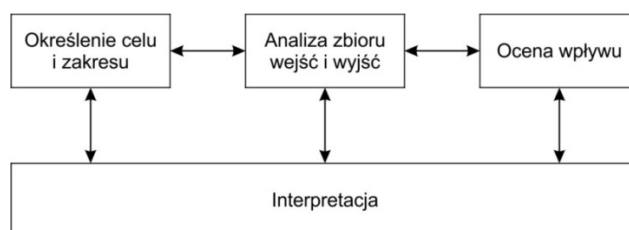
Rozległe oraz negatywne oddziaływanie ww. odpadów powoduje, że istnieje konieczność określania ich wpływu na środowisko naturalne. Zastosowanie techniki LCA w celu określenia wpływu produktów ubocznych spalania oraz przemysłowych osadów ściekowych na poszczególne elementy środowiska stanowi nowatorskie podejście do omawianej tematyki. Natomiast znajomość ilości odpadów wygenerowanych w poszczególnych obszarach kraju pozwala na ocenę potencjału możliwości ich gospodarczego wykorzystania.

3. LCA – narzędzie

Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA - Life Cycle Assessment) jest techniką umożliwiającą określenie potencjalnych zagrożeń dla środowiska poprzez identyfikację i kwantyfikację danych wejściowych (materiały, energia) i wyjściowych (emisje, odpady) w okresie całego życia wyrobu, począwszy od pozyskania niezbędnych surowców, a skończywszy na ostatecznej likwidacji [15]. LCA obejmuje:

- definiowanie celu i zakresu badania,
- inwentaryzację cyklu życia (LCI - Life Cycle Inventory),
- ocenę wpływu cyklu życia (LCIA - Life Cycle Impact Assessment),
- interpretację wyników.

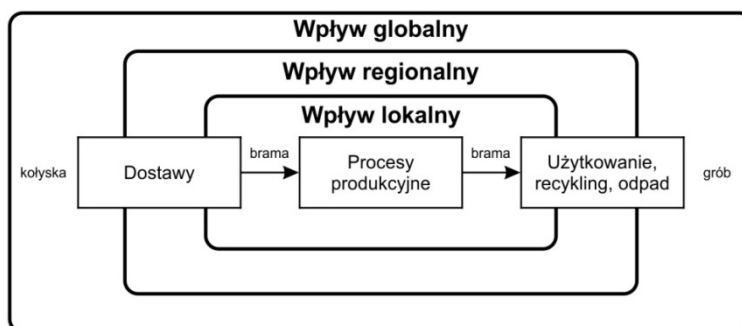
Wymienione elementy są ze sobą ściśle powiązane, tworząc spójną całość, w ramach których dokonuje się szeregu obliczeń ustalających negatywne oddziaływanie badanego systemu wyrobu na środowisko. Ich wzajemną korelację przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Struktura LCA [15]

Fig. 6. The structure of LCA [15]

Charakter studium ekologicznej oceny cyklu życia (tj. analiza „od kołyski do grobu”) sprawia, że podczas oceny wpływu na środowisko techniką LCA brane są pod uwagę takie procesy, jak: wydobywanie, przetwórstwo surowców mineralnych, dostawa energii, produkcja wyrobu, dystrybucja, stosowanie, wtórne wykorzystanie, utrzymanie, recykling, przetwarzanie odpadów, końcowe zagospodarowanie, transport itp. Na wszystkich uprzednio wymienionych etapach następuje wprowadzanie obciążeń do środowiska w postaci odpadów (stałych i płynnych), emisji (pyłów, gazów), które mogą być przypisane pewnym kategoriom wpływu, takim jak: jakość ekosystemu, zdrowie ludzkie, zużyte zasoby [16]. Tak szeroka analiza oceny oddziaływania na środowisko powoduje, że LCA jest strukturą bardzo złożoną, korzystającą z wielu dziedzin nauki (interdyscyplinarność), dzięki czemu może być ona wykorzystana do wielu celów, między innymi do planowania strategicznego, jak również ograniczania wpływu produktu na środowisko. Należy pamiętać, iż LCA jest modelem opierającym się na pewnych założeniach (uproszczeniach), dlatego ważne jest, aby jak najwierniej odzwierciedlał rzeczywistość i w miarę możliwości bazował na realnych (zmierzonych) wartościach wejściowych i wyjściowych procesów [17]. Równocześnie należy zaznaczyć, iż badanie LCA swoim zakresem może dotyczyć aspektów środowiskowych w skali lokalnej, regionalnej lub globalnej (rys. 7).



Rys. 7. Zasięg LCA [18]

Fig. 7. The range of LCA [18]

Ekologiczna ocena cyklu życia jest dokładnie opisana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną w postaci norm ISO, dotyczących zarządzania środowiskowego. Obecnie są to normy:

- PN-EN ISO 14040:2009, Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura; oraz
- PN-EN ISO 14044:2009, Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne.

Dodatkowo w licznych dokumentach Unii Europejskiej zarządzanie środowiskiem w głównej mierze bazuje na ekologicznej ocenie cyklu życia, dlatego LCA jest świetnym narzędziem do porównywania poszczególnych wyrobów, co z kolei mocno wpływa na standardy, które w czasach globalizacji będą miały największy

wpływ na ekologiczność wytwarzanych towarów w skali międzynarodowej [15-19].

Określenie celu i zakresu jest pierwszym etapem ekologicznej oceny cyklu życia, w którym istnieje konieczność zdefiniowania celu i zakresu badania. Zarówno ustalony cel, jak i źródło pochodzenia danych wykorzystanych do oszacowania potencjalnego wpływu na środowisko rozpatrywanego systemu wyrobu mają istotne znaczenie dla dokładności wyników oraz stopnia szczegółowości analizy [16]. Na złożoność ekologicznej oceny cyklu życia mają również istotny wpływ adresaci wyników badań, decydując o jakości i ilości zebranych danych oraz czasie i kosztach wykonania takiego opracowania:

- koncepcyjny,
- uproszczony,
- szczegółowy.

Zastosowanie konkretnej odmiany zależy przede wszystkim od przyjętego celu, sposobu wykorzystania wyników, jak również danego przypadku (tab. 2) [16, 20].

Tabela 2. **Proponowany poziom dokładności LCA [21]**

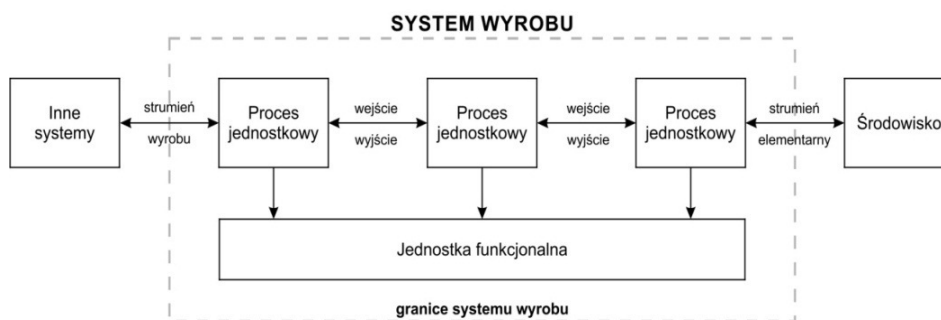
Table 2. **The proposed level of accuracy in LCA [21]**

Podejmowane decyzje	Poziom LCA		
	Koncepcyjny	Uproszczony	Szczegółowy
Projektowanie	+	+	
Opracowanie/rozwój produktu	+	+	+
Udoskonalenie produktu		+	
Wybór pomiędzy systemami pakowania	+		+
Etykietowanie	+		
Planowanie strategii rozwoju	+	+	
Działania marketingowe		+	+
+ oznacza najczęściej wykorzystywany poziom zaawansowania w prezentowanych przypadkach			

Z celem LCA związany jest zakres badania. Dlatego norma ISO 14044:2009 dokładnie wskazuje elementy, które należy wziąć pod uwagę i jasno opisać w trakcie dokonywania oceny wpływu produktu na środowisko naturalne. Są to między innymi:

- system wyrobu, jego funkcje i granice,
- jednostka funkcjonalna [22].

System wyrobu stanowi zbiór procesów jednostkowych, które są ze sobą połączone strumieniami wyrobów pośrednich i/lub odpadów w przypadku, gdy znajdują się w ramach granic tego samego opracowania. Procesy jednostkowe pochodzące z różnych systemów wyrobu są związane ze sobą za pomocą strumieni wyrobu, natomiast ze środowiskiem poprzez strumienie elementarne (rys. 8) [15].

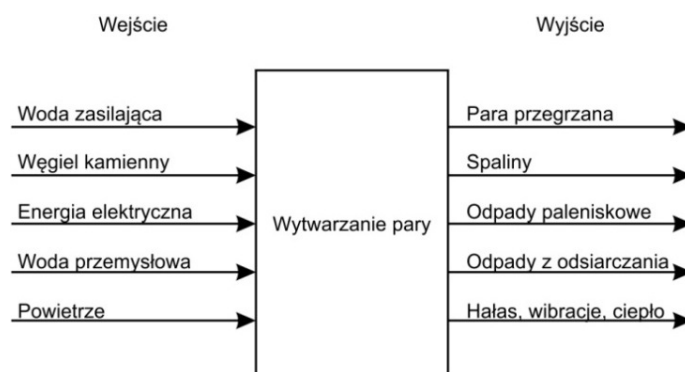


Rys. 8. Struktura systemu wyrobu LCA [15, 23]

Fig. 8. The structure of product system in LCA [15, 23]

Podział systemu wyrobu na poszczególne procesy jednostkowe ułatwia identyfikację ich strumieni wejściowych i wyjściowych. Często zdarza się, że wejście do następnego etapu wytwarzania jest zarazem wyjściem z etapu poprzedniego, co stanowi swego rodzaju łańcuch uszeregowanych i zależnych od siebie czynności. Przykładowy proces cząstkowy - wytwarzanie pary przegrzanej w procesie produkcji energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni opalanej węglem kamiennym - przedstawia rysunek 9.

Iteracyjny charakter ekologicznej oceny cyklu życia powoduje, że elementy związane z zakresem badania ulegają modyfikacjom. Na przykład podczas gromadzenia danych może zaistnieć konieczność dodania lub usunięcia pewnych procesów jednostkowych z systemu wyrobu. Dlatego ważne jest odpowiednie zdefiniowanie dwóch kwestii dotyczących systemu produktu: jego początkowych granic oraz jednostki funkcjonalnej [23].



Rys. 9. Strumienie wejścia/wyjścia w procesie wytwarzania pary przegrzanej w produkcji energii elektrycznej [24]

Fig. 9. The inputs/outputs in process of generating superheated steam for electricity production [24]

Granice systemu wyrobu określają, które procesy jednostkowe zostaną włączone do LCA, stanowiąc zarazem obszar przylegający ze środowiskiem naturalnym

lub innymi systemami wyrobów. W praktyce określenie systemu i jego granic powoduje ustalenie, skąd pochodzą i w co są przetwarzane materiały i energia stosowane w kolejnych fazach procesu. Zdefiniowanie granicy systemu wyrobu wymusza podjęcie decyzji, które procesy jednostkowe zostaną włączone do badania, wpływając tym samym na rodzaj oraz poziom dokładności danych opisujących procesy [22]. Z tego względu, ustalając granice systemu w badaniu LCA, należy m.in. wziąć pod uwagę takie etapy cyklu życia, procesy jednostkowe i strumienie jak:

- pozyskiwanie surowców,
- dystrybucję i transport,
- strumienie wejścia/wyjścia procesów wytwarzania/przetwarzania,
- produkcję oraz wykorzystanie paliw i energii,
- użytkowanie i konserwację towarów,
- usunięcie odpadów i produktów powstających w procesie,
- ponowne zastosowanie, recykling lub odzysk energii z odpadów i zużytych wyrobów.

Jednostka funkcjonalna przez normę ISO 14050:2010E definiowana jest jako „ilościowy efekt systemu wyrobu” i główny jej cel to „ustalenie wielkości odniesienia do normalizowania danych wejściowych i wyjściowych (w ujęciu matematycznym)” [22, 25]. Dotyczy ona całego systemu produktu, w związku z tym ważne jest, aby była spójna z celem i zakresem badania oraz odzwierciedlała charakterystyczne dla wyrobu właściwości użytkowe (jakościowe i ilościowe). Do opisanego tychże własności najczęściej wykorzystywane są jednostki fizyczne (podstawowe lub pochodne) z Międzynarodowego Układu Jednostek i Miar (SI). Jednostka funkcjonalna w LCA powinna być powiązana z rolą, jaką pełni w analizowanym systemie wyrobu, reprezentując urządzenie lub jedną z jej funkcji [26].

Drugą fazą badania LCA jest **inwentaryzacja cyklu życia** (LCI), która w szczególności polega na utworzeniu zbioru wejść i wyjść wszystkim procesom jednostkowym wg wcześniej ustalonych (w fazie celu i zakresu) kryteriów wykluczania - masa, energia, znaczenie dla środowiska. Następnie zgromadzone dane niezależnie od ich pochodzenia, tj. dane zmierzone, obliczone czy oszacowane, zostają użyte w procedurach obliczeniowych związanych z bilansem masy i energii [23], który w gruncie rzeczy polega na uporządkowaniu zebranych informacji o stosowanych materiałach i oddziaływaniach środowiskowych. W odniesieniu do ekologicznej oceny cyklu życia taki bilans wykracza poza produkcyjne aspekty (np. dystrybucja, utylizacja, recykling). Z tego powodu w bilansie należy wziąć pod uwagę presję wywieraną na środowisko związaną z wytworzeniem surowca czy energii nawet w przypadku, gdy owe wpływy są odczuwalne w znacznym odaleniu od miejsca powstawania wyrobu [27].

Opisanie wszystkich procesów jednostkowych w fazie LCI może objawiać się dziesiątkami lub nawet setkami danych dotyczących materiałów, odpadów i emisji. Dlatego wszelkie informacje związane z pojedynczymi procesami umieszcza się w tabelach inwentarzowych (tab. 3), dodatkowo grupując je według różnych kryteriów [15], np.:

- wejścia energii, surowców, materiałów pomocniczych itp.,
- wyrobów, współwyrobów i odpadów,
- emisji do powietrza, wody i gleby,
- innych aspektów środowiskowych.

Tabela 3. Przykładowy arkusz danych procesu jednostkowego [22]

Table 3. The example of data sheet for unit process [22]

Sporządził:		Data sporządzenia:		
Identyfikacja procesu jednostkowego:		Miejsce zbierania danych:		
Okres: rok		Miesiąc początkowy:		Miesiąc końcowy:
Opis procesu jednostkowego: (dołączyć arkusz dodatkowy w razie potrzeby)				
Wejścia materiałów	Jednostki	Ilość	Opis procedur pobierania próbek	Pochodzenie
Zużycie wody ^a	Jednostki	Ilość		
Wejścia energii ^b	Jednostki	Ilość	Opis procedur pobierania próbek	Pochodzenie
Wyjścia materiałów (w tym wyroby)	Jednostki	Ilość	Opis procedur pobierania próbek	Przeznaczenie
UWAGA: Dane zawarte w tym arkuszu zbierania danych dotyczą wszystkich wejść i wyjść podczas ustalonego okresu przed dokonaniem alokacji.				
^a Na przykład: wody powierzchniowe, woda do picia.				
^b Na przykład: ciężkie, średnie, lekkie oleje opałowe, nafta, benzyna, gaz naturalny, propan, węgiel, biomasa, sieć energetyczna.				

Ocena wpływu cyklu życia (LCIA) jest trzecim i zarazem najważniejszym elementem LCA. Na tym etapie następuje ocena wpływu na środowisko naturalne wszystkich strumieni wejścia/wyjścia, które zostały zidentyfikowane w poprzedniej fazie (LCI) i znalazły się w ramach granic badanego systemu wyrobu. Jednocześnie można dokonać przeglądu celu i zakresu LCA, aby stwierdzić zdolność do zrealizowania pierwotnie założonego celu badania. W przeciwnym przypadku należy zmodyfikować cel i zakres, jeśli ocena wskazuje, że nie mogą one zostać osiągnięte [15].

Sposób oceny i ustalania potencjalnego wpływu na środowisko przebiega bardzo subiektywnie, ponieważ jest on zależny od zastosowanego modelu naukowego, będącego podstawą do wyznaczania jednostki ogólnej opisującej wszystkie typy emisji i łączące je z daną kategorią wpływu. Wartości różnych rodzajów emisji oraz ich połączenia z odpowiednią kategorią wpływu bazują na liczbach uśrednionych dla warunków europejskich. Z tego też względu wyniki LCA nie biorą pod

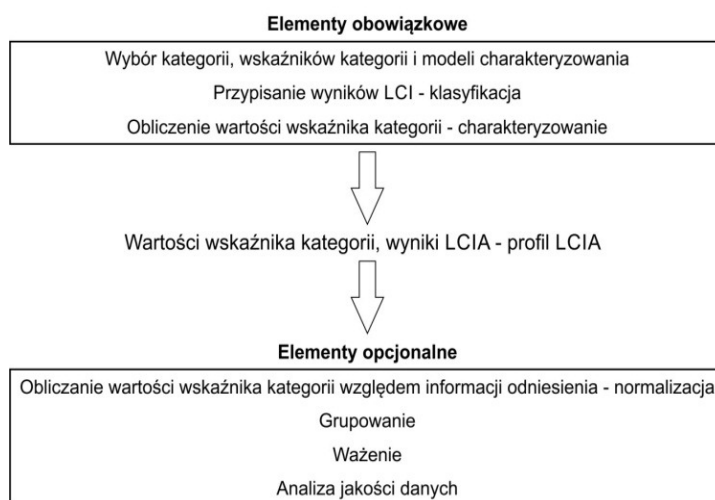
uwagę specyficznych uwarunkowań i efektów lokalnych, ale odnajdują potencjalne wpływy środowiskowe, które można odnieść do wyznaczonego strumienia, procesu jednostkowego lub systemu wyrobu [28].

W następnej kolejności otrzymane informacje mogą być wykorzystane do przeprowadzenia np.:

- rozpoznania możliwości udoskonalenia systemu produktu,
- procesu charakteryzowania,
- oceny porównawczej zastosowanych procesów w LCA,
- porównania ze sobą systemów wyrobu względem konkretnych wskaźników kategorii.

Ocena wpływu cyklu życia podzielona jest na dwie sekcje. Pierwsza z nich obejmuje elementy obowiązkowe, których głównym zadaniem jest przekształcenie wyników LCI na wyniki określające potencjalny wpływ na środowisko, wyrażony przez wskaźniki kategorii wpływu. Natomiast część opcjonalna pozwala na przeprowadzenie dodatkowych działań, jakimi są: normalizacja, grupowanie, ważenie oraz analiza jakości danych (rys. 10) [23].

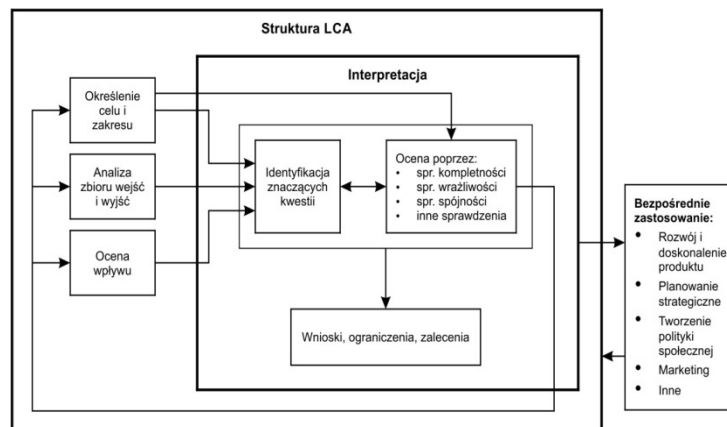
OCENA WPŁYWU CYKLU ŻYCIA



Rys. 10. Struktura fazy LCIA [15]

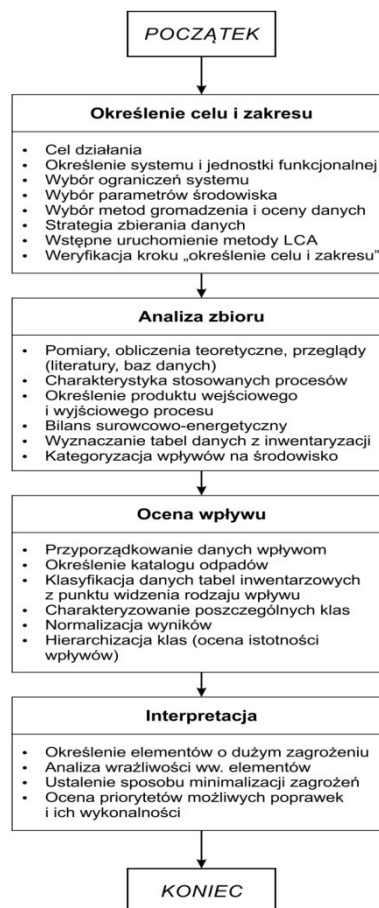
Fig. 10. The structure of LCIA [15]

Interpretacja cyklu życia jest ostatnią fazą ekologicznej oceny cyklu życia wyrobu, w toku której poddaje się estymacji wyniki pochodzące z inwentaryzacji cyklu życia (LCI) oraz oceny wpływu cyklu życia (LCIA) w nawiązaniu do ustalonego celu i zakresu [15]. Z tego względu ważne jest, aby wyniki przedstawione na tym etapie były kompletne i spójne oraz charakteryzowały się łatwą do zrozumienia formą. Całą złożoną strukturę interpretacji razem z jej elementami składowymi prezentuje rysunek 11.



Rys. 11. Powiązania interpretacji z innymi fazami LCA [22]

Fig. 11. The relationship of interpretation with other LCA phases [22]



Rys. 12. Szczegółowy opis kolejnych etapów LCA [29]

Fig. 12. The detailed description of LCA stages [29]

Głównym zadaniem interpretacji wyników jest sformułowanie ostatecznych wniosków w postaci zaleceń, które mają doprowadzić do zmniejszenia oddziaływania na środowisko zbadanego systemu wyrobu, a także poprawić jakość produktu poprzez wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań technologicznych [16].

Mimo że interpretacja wymieniana jest jako ostatni element struktury LCA, jest również obecna w poprzednich fazach analizy i powinna być prowadzona zgodnie z ustalonym celem. Wynika to z iteracyjnego charakteru ekologicznej oceny cyklu życia, pod wpływem którego dokonuje się komentarza wyników uzyskanych na każdym etapie, sprawdzając czy założenia wstępne (cel i zakres) zostaną osiągnięte [30].

4. Przykład wykorzystania LCA do oceny wpływu odpadów przemysłowych na środowisko

Podstawowym celem każdego badania danego systemu techniką LCA jest określenie skali jego negatywnego oddziaływania na środowisko. Multidyscyplinarny charakter ekologicznej oceny cyklu życia powoduje, że może być ona zastosowana dla dowolnego wyrobu i obiektu (towar, usługa lub system np. gospodarki odpadami), będąc idealnym narzędziem wspomagającym w zarządzaniu środowiskowym. Dlatego LCA może z powodzeniem zostać użyte w branży energetycznej np. do ustalenia wpływu wytwarzania energii elektrycznej na środowisko naturalne w elektrowni cieplnej opalanej węglem kamiennym. Taki właśnie przypadek pokazuje rysunek 13, na którym umieszczono tylko podstawowe czynniki wykorzystywane w produkcji energii elektrycznej, tj. węgiel i wodę.

Na tym schemacie, zgodnie z zasadami LCA, wyodrębniono trzy etapy cyklu istnienia produktu, są to: pozyskiwanie surowców, produkcja oraz użytkowanie. W innych systemach wyrobu po fazie użycia występuje poużytkowe przetwarzanie wyrobu, w ramach którego przeprowadza się procesy recyklingu i/lub ponownego zastosowania.

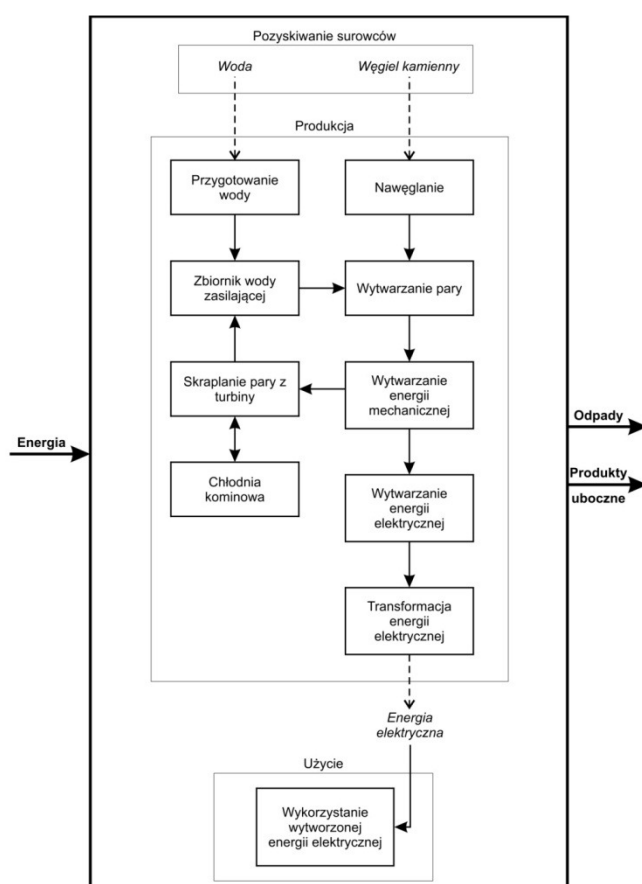
Jak łatwo zauważyć, etap produkcji to zbiór pojedynczych procesów, w ramach których wykonywane są rozmaite czynności. Na przykład nawęglanie obejmuje:

- dostarczanie węgla do elektrowni,
- rozładunek, składowanie oraz transport wewnętrzny,
- mielenie i magazynowanie pyłu w zasobnikach trzykotłowych,
- dostarczanie paliwa do kotła.

Każdy taki proces może być indywidualnie rozpatrywany, należy dla niego ustalić wszystkie wejścia i wyjścia oraz wielkości niezbędne do określenia oddziaływania tych procesów na środowisko. Kolejność wykonywania następnych procesów jednostkowych prowadzi do wytworzenia produktu końcowego, w tym przypadku energii elektrycznej oraz odpadów i produktów ubocznych.

Na rysunku 13 zaprezentowano uproszczony schemat cyklu życia energii elektrycznej, w którym jednostką funkcjonalną jest wytworzona energia elektryczna. Nowatorskie podejście zastosowania LCA w zarządzaniu odpadami może polegać

na wykonaniu podobnej analizy, gdzie jednostkę funkcjonalną będzie stanowić tona popiołu lotnego lub osadu ściekowego.



Rys. 13. Schemat cyklu życia energii elektrycznej [24]

Fig. 13. The life cycle scheme of electricity [24]

Podsumowanie

Systematycznie rozwijająca się globalna gospodarka oraz powstające nowe gałęzie przemysłu wykazują zapotrzebowanie na coraz większą ilość surowców naturalnych, powodując wytwarzanie znacznych ilości zanieczyszczeń gazowych oraz odpadów stałych. Dlatego idea strategii zrównoważonego rozwoju zakłada utrzymanie ciągłego wzrostu gospodarczego i społecznego bez wyrządzania szkód w środowisku naturalnym. Dodatkowo podejmuje się również próby zmiany gospodarowania surowcami zmierzające do zamknięcia przepływu materiałów i energii poprzez maksymalne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i odpadów - surowców wtórnych. Z powyższych względów odpowiednim narzędziem w zarzą-

dzaniu środowiskowym wydaje się być ekologiczna ocena cyklu życia. Podstawowym atutem LCA jest jej szerokie spektrum badań, począwszy od wydobycia niezbędnych surowców, a kończąc na procesach użytkowej likwidacji produktu. Możliwa jest również indywidualna analiza każdego procesu cząstkowego należącego do danego systemu wyrobu lub porównanie kilku podobnych systemów wyrobu w celu oszacowania potencjalnego ich wpływu na środowisko naturalne oraz wybranie najlepszego wariantu z punktu widzenia ilości i jakości obciążeń wprowadzanych do środowiska.

Innym sposobem na określenie wpływu odpadów przemysłowych na środowisko jest potraktowanie ich jako pełnoprawnego produktu. W takim przypadku jednostka funkcjonalna reprezentować będzie np. 1 tonę odpadów paleniskowych lub 1 tonę suchej masy osadów ściekowych. Natomiast zakres LCA obejmie różne warianty gospodarczego wykorzystania, jednocześnie określając ich wpływ na środowisko naturalne.

Niemniej jednak należy pamiętać, że każde studium LCA wykonywane jest w ramach ustalonych granic, wynikiem których jest występowanie pewnych ograniczeń. Dodatkowo niepewności danych związane w tym przypadku z emisjami odcieków oraz wskaźnikami charakteryzowania wprowadzają kolejne, potencjalne błędy przy obliczeniach wpływu [31]. Mimo tego wyniki ilościowe lub porównawcze wykonane w ramach ekologicznej oceny cyklu życia są odpowiednim krokiem w kierunku podejmowania świadomych i właściwych decyzji na rzecz bardziej zrównoważonych praktyk w gospodarowaniu odpadami oraz ich wykorzystaniu w różnych gałęziach przemysłu.

Podziękowanie

Autor otrzymał stypendium w ramach projektu „DoktoRIS - Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

- [1] Główny Urząd Statystyczny (GUS), <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2013,1,14.html>, dostęp online 28.06.2014.
- [2] Załącznik do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dn. 12 czerwca 2007 r. poz. 832.
- [3] Sambor A., Szymanek A., Investigation of the distribution of chemical components in selected landfill layers and fly ash fractions, *Chemical and Process Engineering* 2012, 33, 2, 221-229.
- [4] Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A., Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2005, 21, 1, 23-42.
- [5] Łączny J.M., Niekonwencjonalne metody wykorzystywania popiołów lotnych, GIG, Katowice 2002.
- [6] Broś B., Wpływ popiołów lotnych z węgla kamiennego na środowisko wodne, *Aura* 1992, 10, 13-16.

- [7] Jarema-Suchorowska S., Kuczak B., Właściwości popiołów z kotłów fluidalnych w energetyce w aspekcie warunków gospodarczego wykorzystania tych odpadów, *Energetyka* 2010, styczeń, 39-43.
- [8] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne art. 9 ust. 1 pkt. 17, *DzU* 2012, poz. 145 z późn. zm.
- [9] Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych - 91/271/EWG.
- [10] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2010 r.
- [11] Woźniak M., Klisik A., Wpływ na wody gruntowe odcieków ze składowisk popiołowych, *Krakowska Konferencja Młodych Uczonych*, Kraków 2007, 369-376.
- [12] Gawdzik J., Mobilność metali ciężkich w osadach ściekowych na przykładzie wybranej oczyszczalni ścieków, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2012, 15, 1, 5-15.
- [13] Wolski P., Zawieja I., Stańczyk-Mazanek E., Termiczna utylizacja i rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych w Polsce, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14, 4, 411-418.
- [14] Rosik-Dulewska C., Karwaczyńska U., Metody ługowania zanieczyszczeń z odpadów mineralnych w aspekcie możliwości ich zastosowania w budownictwie hydrotechnicznym, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2008, 10, 205-219.
- [15] PN-EN ISO 14040:2009: Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2009.
- [16] Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) nową techniką zarządzania środowiskowego, (pod red. J. Kulczyckiej), Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2001.
- [17] Goedkoop M., De Schryver A., Oele M., Durksz S., De Roest D., *Introduction to LCA with SimaPro 7*, Pré Consultants B.V., Amersfoort 2010.
- [18] Kowalski Z., Kulczycka J., Cleaner production as a basic element for the sustainable development strategy, *Polish Journal of Chemical Technology* 2004, 6, 4.
- [19] Polski Komitet Normalizacyjny, <http://www.pkn.pl>.
- [20] Kłos Z., Kurczewski P., Kasprzak J., Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń - podstawy ekologiczne, metody i przykłady, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
- [21] Jensen A.A. et al., Life cycle assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources, Report to the European Environment Agency, Copenhagen 1997.
- [22] PN-EN ISO 14044:2009: Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne, PKN, Warszawa 2009.
- [23] Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [24] Górzyński J., Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, WNT, Warszawa 2007.
- [25] PN-EN ISO 14050:2010E: Zarządzanie środowiskowe - Terminologia, PKN, Warszawa 2010.
- [26] Cooper J.S., Specifying functional units and reference flows comparable alternative, *The International Journal of LCA* 2003, 8, 6.
- [27] Zapobieganie stratom w przemyśle, Cz. 1, Zarządzanie środowiskowe w przedsiębiorstwie, pod red. A. Cieślaka, M. Cyglera, Wyd. Politechnika Białostocka przy Fundacji Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok 1999.
- [28] Lewandowska A., LCA, Środowiskowa ocena cyklu życia produktu na przykładzie wybranych typów pomp przemysłowych, Wydawnictwo AE, Poznań 2006.
- [29] Wach A.K., Metoda oceny cyklu życia (LCA), jako podstawa komputerowo wymaganej oceny wyrobu, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Ekologia w elektronice, Warszawa 2002.
- [30] Zastosowanie oceny cyklu życia w ekobilansie kopalni, pod red. K. Czaplickiej, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2002.

- [31] Chowdhury R., Apul D.S., A comparative environmental analysis of embankments constructed from conventional materials and industrial byproducts, 2007 TRB Annual Conference Proceedings, 2007.

Possibility of LCA Application to the Environmental Impact Assessment of Industrial and Energy Wastes

In the article there is presented possibility of Life Cycle Assessment (LCA) application, as currently the leading method to the environmental impact assessment of industrial and energy wastes. Therefore there are analysed the most recent data relating for the formation of industrial wastes on Polish territory. It is observed that they represent 91.1% of the 135.2 million tons of general wastes generated in 2012. It is also considered the problem of energy and industrial wastes management and the risks associated with their storage, as the principal treatment method. The Life Cycle Assessment is introduced as a tool to assess the environmental impact of combustion by-products and industrial sewage sludge. Based on the data analysis is concluded, that LCA is an appropriate tool to presented the subject of industrial waste management in Poland.

Keywords: industrial wastes, energy wastes, fly ash, industrial sewage sludge, Life Cycle Assessment (LCA)