



Analiza Cyklu Życia

Dr Aleksandra Ziemińska-Stolarska

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Dr inż. Joanna Bojarska

Wydział Chemiczny

Dr inż. Konrad Witczak

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

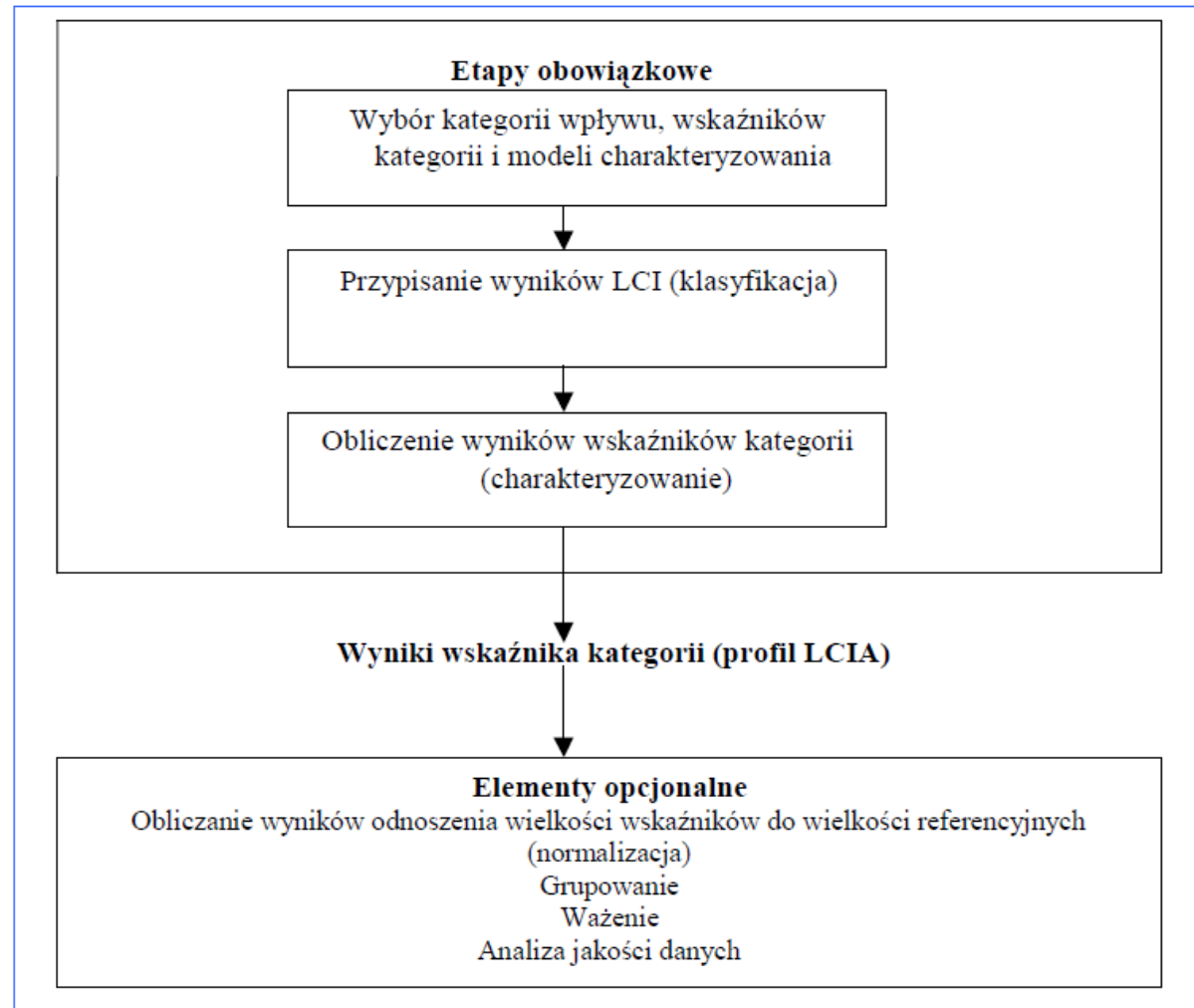
TYDZIEŃ 5

Metody badania wpływu na środowisko - Life Cycle Impact Assessment – LCIA
Kategoria wpływu – punktów pośrednich
Midpoint approach, Kategoria szkód – punktów końcowych
Endpoint approach.

Life Cycle Impact Assessment – LCIA (Ocena wpływu cyklu życia)

- Celem LCIA jest przeliczenie zinwentaryzowanych w fazie drugiej strumieni i ich wielkości na przyjęte wskaźniki wpływu na środowisko czynników i szkód środowiskowych (and. Life Cycle Impact Assessment, LCIA).
- Zgodnie z normą ISO 14044 faza trzecia LCA czyli LCIA składa się z czterech etapów: do obowiązkowych należy **wybór kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania oraz klasyfikacja i charakteryzowanie**. Do elementów opcjonalnych zaliczane są obecnie: normalizacja, grupowanie i ważenie.

Life Cycle Impact Assessment – LCIA



Klasyfikacja - przypisanie danych z etapu inwentaryzacji do odpowiednich kategorii oddziaływania

Normalizacja i ważenie w ocenie cyklu życia

- Wg normy ISO 14044 **Normalizacja to przeliczenie wartości wskaźnika dla danej kategorii wpływu w stosunku do wartości uznanej wielkość odniesienia (wartość referencyjna).**
- Celem normalizacji jest ułatwienie porównania szkodliwości poszczególnych kategorii oddziaływania środowiskowego.
 - Jako wynik charakteryzacji każda z obliczanych kategorii oddziaływania wyrażona jest we właściwej dla siebie jednostce np. emisja gazów cieplarnianych zazwyczaj w ekwiwalencie emisji dwutlenku węgla (kg eq CO₂).
- Dopiero obliczone wielkości dla różnych kategorii oddziaływania odniesione do pewnych, ustalonych norm (wartości referencyjnych) **mówią o wadze tych wielkości** w swojej kategorii.
- W zależności od kategorii oddziaływania, wartości referencyjne ustalane są dla zdefiniowanych obszarów odniesienia, np. świat, region, kraj i dla określonych przedziałów czasu, np. 2010 r. – świat, lub np. w odniesieniu do jednego obywatela danego obszaru (np. Europy) w danym roku. Wartości referencyjne ustalane są osobno dla pośrednich (ang. midpoint methods) i końcowych (ang. endpoints) efektów oddziaływania.

Normalizacja i ważenie w ocenie cyklu życia

- Poniżej przedstawiono przykłady wartości referencyjnych stosowane w normalizacji dla pośrednich (ang. midpoint methods) efektów oddziaływania wg metody ReCiPe 2016 – podejście hierarchiczne.

Global Warming	kg CO₂ eq. per person in 2010	7,99E+03
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq. per person in 2010	6,00E-02
Ionizing Radiation	kBq Co-60 emitted to air eq. per person in 2010	4,80E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq. per person in 2010	2,56E+01
Photochemical ozone formation	kg NOx eq. per person in 2010	2,06E+01

Normalizacja i ważenie w ocenie cyklu życia

Ważenie jest przypisywaniem poszczególnym kategoriom wpływu ważności – współczynników wagowych.

Procedura określania współczynników wagowych nie jest znormalizowana. Wyraża ona subiektywną ocenę na temat poszczególnych kategorii wpływu.

Najczęściej bazuje na opinii ekspertów różnych dziedzin, może również wynikać z badań ankietowych społeczeństwa lub łączeniu opinii pochodzących z różnych źródeł.

Obok przedstawiono współczynniki wagowe dla metody **EU PEF** (European Union Product Environmental Footprint)

	Aggregated weighting set	Robustness factors	Intermediate Coefficients	Final weighting factors (incl. robustness)
	(A)	(B)	C=A*B	C scaled to 100
Climate change	12.90	0.87	11.18	21.06
Ozone depletion	5.58	0.60	3.35	6.31
Human toxicity, cancer effects	6.80	0.17	1.13	2.13
Human toxicity, non-cancer effects	5.88	0.17	0.98	1.84
Particulate matter	5.49	0.87	4.76	8.96
Ionizing radiation, human health	5.70	0.47	2.66	5.01
Photochemical ozone formation, human health	4.76	0.53	2.54	4.78
Acidification	4.94	0.67	3.29	6.20
Eutrophication, terrestrial	2.95	0.67	1.97	3.71
Eutrophication, freshwater	3.19	0.47	1.49	2.80
Eutrophication, marine	2.94	0.53	1.57	2.96
Ecotoxicity freshwater	6.12	0.17	1.02	1.92
Land use	9.04	0.47	4.22	7.94
Water use	9.69	0.47	4.52	8.51
Resource use, minerals and metals	6.68	0.60	4.01	7.55
Resource use, fossils	7.37	0.60	4.42	8.32

Metody badania wpływu na środowisko - Midpoint approach/endpoint approach

Wskaźniki punktu pośredniego koncentrują się na pojedynczych problemach środowiskowych, na przykład zmianie klimatu lub zakwaszeniu. Poniżej charakterystyka najczęściej stosowanych w interpretacji kategorii wpływu:

- **Potencjał globalnego ocieplenia** (ang. Global warming potential, GWP)

Kategoria oddziaływania na środowisko („efekt cieplarniany”).

Globalnym ociepleniem nazywamy zmiany klimatu związane z emisją gazów cieplarnianych (pary wodnej, dwutlenku węgla i innych gazów) do atmosfery. Ze względu na zmniejszanie się warstwy ozonu w stratosferze większe ilości promieniowania ultrafioletowego osiągają powierzchnię Ziemi, powodując wzrost średniej temperatury. Zmiany te mają negatywny wpływ na jakość ekosystemu, zdrowie ludzi, zwierząt, ekosystemy lądowe i wodne, cykle biochemiczne i materiały.

Wskaźnik potencjału tworzenia efektu cieplarnianego GWP porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do emisji 1 kg dwutlenku węgla, w przeliczeniu na 100 lat.

Metody badania wpływu na środowisko - Midpoint approach/endpoint approach

- **Potencjał wytwarzania ozonu fotochemicznego** (ang. Photochemical ozone creation potential, POCP)

Kategoria oddziaływania na środowisko (“smog fotochemiczny”).

Wskaźnik stosowany do oceny wpływu emisji gazów na stężenie ozonu troposferycznego, powstającego w wyniku reakcji tych gazów w obecności silnego światła słonecznego.

Wskaźnik ten jest obliczany jako wpływ emisji danego gazu na tworzenie ozonu w odniesieniu do emisji 1 kg etylenu, który jest substancją odniesienia.

- **Współczynnik zubożenia abiotycznego** (ang. *Abiotic depletion potential, ADP*)

Kategoria oddziaływania na środowisko, która określa nadmierne zużycie surowców naturalnych, takich jak minerały, metale i ropa naftowa.

Metody badania wpływu na środowisko - Midpoint approach

- **Potencjał wytwarzania ozonu fotochemicznego** (ang. Photochemical ozone creation potential, POCP)

Kategoria oddziaływania na środowisko (“smog fotochemiczny”).

Wskaźnik stosowany do oceny wpływu emisji gazów na stężenie ozonu troposferycznego, powstającego w wyniku reakcji tych gazów w obecności silnego światła słonecznego. Wskaźnik ten jest obliczany jako wpływ emisji danego gazu na tworzenie ozonu w odniesieniu do emisji 1 kg etylenu, który jest substancją odniesienia.

- **Współczynnik zubożenia abiotycznego** (ang. *Abiotic depletion potential, ADP*)

Kategoria oddziaływania na środowisko, która określa nadmierne zużycie surowców naturalnych, takich jak minerały, metale i ropa naftowa.

Metody badania wpływu na środowisko - Midpoint approach

- **Potencjał eutrofizacji** (ang. Eutrophication potential, EP)

Kategoria oddziaływania na środowisko (żywność wód); uwzględnia wzrost zawartości fosforu, azotu, tlenków azotu i amoniaku pochodzących z transportu, produkcji energii, rolnictwa (nawożenie) i ścieków (detergenty) prowadzący do wzbogacania zbiorników wodnych w pierwiastki biofilne, skutkujący wzrostem żywności wód. Powoduje to wyczerpanie zasobów tlenu i stanowi zagrożenie dla organizmów wodnych (roślin i zwierząt).

- **Współczynnik zakwaszenia** (ang. *Acidification potential, AP*)

Kategoria oddziaływania na środowisko, która uwzględnia emisje zanieczyszczeń gazowych (tlenki siarki, azotu) pochodzące z transportu, produkcji energii, procesów spalania i rolnictwa, które powodują zjawisko "kwaśnych deszczy".

Metody badania wpływu na środowisko - Endpoint approach

- **Wskaźniki punktów końcowych** pokazują wpływ na środowisko na trzech poziomach agregacji, tj.

- 1) Wpływ na zdrowie ludzi (z ang. **Human Health**) - ilość i czas trwania chorób oraz stracone lata życia spowodowane przedwczesną śmiercią z powodu zanieczyszczenia środowiska.

Jednostką oceny szkodliwości dla zdrowia jest DALY (z ang. **Disability Adjusted Life Years**), która wskazuje strumień substancji szkodliwych w tonach w ciągu roku. Skala szacowania niepełnosprawności mieści się w zakresie $0 \div 1$. Zero oznacza całkowitą sprawność organizmu, a jeden - zgon. Analiza szkodliwości obejmuje m.in. połączenie wpływu na zdrowie ludzkie z końcową wartością wskaźnika DALY oraz uwzględnia liczbę lat przeżytych w upośledzeniu YLD (z ang. **Years Lived Disabled**) i liczbę lat utraconych YLL (z ang. **Years of Life Lost**).

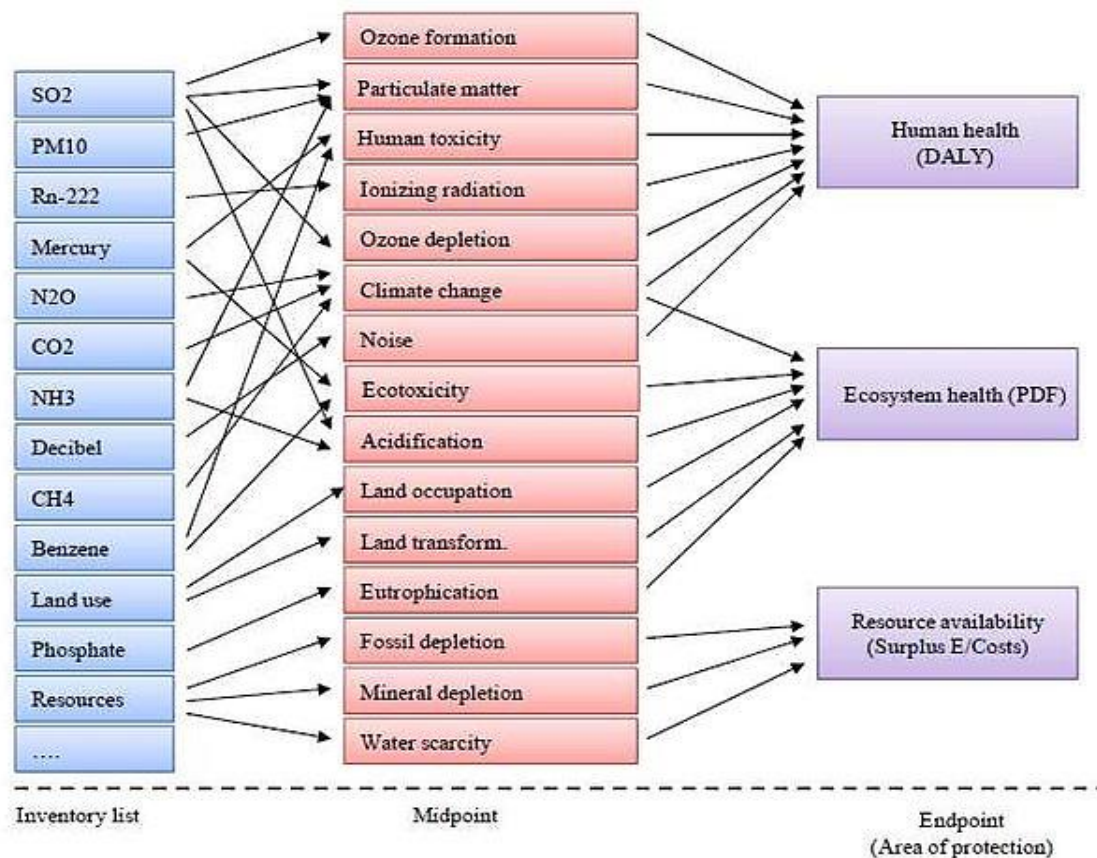
- 2) Bioróżnorodność/jakość ekosystemu (z ang. **Ecosystem quality**) wskaźnik ten odnosi się do zaniku organizmów, które uznane jako strategiczne dla ekosystemu powinny w nim występować w określonej ilości.

Prezentuje oddziaływanie w jednostce czasu oraz na powierzchni 1m^2 , które może spowodować prawdopodobne zagrożenie danych gatunków (PAF* m^2 *rok – z ang. **Potentially Affected Fraction**) bądź ich całkowite wyginięcie(PDF* m^2 *rok – z ang. **Potentially Disappeared Fraction**) ;

- 3) Zubożenie zasobów (z ang. **Resources**) wyrażone w jednostce nadwyżki MJ. W ramach tej kategorii ujmowana jest dodatkowa energia, która będzie potrzebna w przyszłości, by wydobyć niższej jakości minerały i surowce kopalne, w gorszych warunkach geologicznych. Szkodę stanowi oczekiwany wzrost zużycia energii odniesiony do 1 kg surowca.

Metody badania wpływu na środowisko - Midpoint approach/endpoint approach

Poniższy rysunek przedstawia zależność między parametrami LCI (po lewej), wskaźnikiem punktu pośredniego (środek) i wskaźnikiem punktu końcowego (po prawej) w metodzie ReCiPe 2016.



Metody Oceny wpływu

- W celu przeliczenia wyników analizy zbioru na wartości wskaźników kategorii wpływu wykorzystuje się predefiniowane algorytmy obliczeniowe w formie **metod oceny wpływu**.
- Metody stosowane do oceny wpływu produktu/procesu na środowisko różnią się m.in. zakresem analizy, procedurami obliczeniowymi, zestawem kategorii wpływu cyklu życia, dlatego też, analizując dany proces uzyskuje się czasem znacznie rozbieżne wyniki. Różnice te powodowane są najczęściej wyborem innego mechanizmu środowiskowego.

Metody Oceny wpływu

- W praktyce wykształciły się **trzy rodzaje metod oceny wpływu cyklu życia**
 1. *tzw. metody punktów pośrednich (ang. midpoint methods)* np. **CMP-IA, ILCD 2011 Midpoint +, IPCC 2013, GHG Protocol, EDIP 2003** oraz
 2. *tzw. metody punktów końcowych (ang. endpoints methods)* np. **IMPACT 2002+, EPS 2015**, a także
 3. metody łączące oba te podejścia np. **ReCiPe**

Podjęcie decyzji o wykorzystaniu metody punktów **pośrednich** lub metody punktów **końcowych** jest kluczowe dla wyników analiz. Wykorzystując oprogramowanie Open LCA + dostępne darmowe bazy danych, mamy dostęp do obu metod (etap: *Calculation properties / Impact assessment method*), z tym, że metoda punktów końcowych jest dostępna w bardziej ograniczonym zakresie.

Metody Oceny wpływu

Dla warunków europejskich najczęściej stosuje się metody:

- **Eco-indicator 99**, W metodzie tej wyniki wskaźników kategorii szkody są normalizowane, ważone i grupowane w końcowy ekowskaźnik, czyli oceny oddziaływania na środowisko prowadzą do określenia oddziaływania w postaci jednej liczby wyrażającej ilość punktów ekowskaźnika. Jeden Ekopunkt reprezentuje tysięczną część rocznych szkód w środowisku, które powoduje jeden mieszkaniec Europy.
- **CML**, stosuje do obliczeń wskaźnika zubożenia surowców mineralnych i paliw stałych (wyrażony jako ekwiwalent Sb – antymonu – kg SB eq)
- **IMPACT 2002+**, Metoda ta powstała w wyniku połączenia metod: Eco-indicator99, CML, IPCC oraz IMPACT 2002+.
- **ReCiPe** kompleksowa metoda oceny wpływu na środowisko umożliwiająca ocenę wpływu w trzech kategoriach szkód. Wpływ na środowisko wyrażony jest w Pt/FU.
- **IPPC** (Intergovernmental Panel on Climate Change – carbon footprint – ślad węglowy) została opracowana przez Międzynarodowy Zespół do spraw Zmian Klimatu. Służy do przedstawienia wpływu produktów i technologii na emisję gazów cieplarnianych. Emisja gazów cieplarnianych wyrażona jest w kg CO₂ eq.

Metody Oceny wpływu

Metody ReCiPe i IMPACT 2002+ są połączeniem dwóch najbardziej znanych metod oceny wpływu cyklu życia: CML i Eco-Indicator99.

Różnicę pomiędzy nimi stanowi m.in. sposób podejścia do kategorii szkody „zużycie zasobów”. W metodzie IMPACT 2002+ jednostką jest wielkość energii pierwotnej w MJ, natomiast w metodzie ReCiPe wzrost kosztów wynikający z wydobywania zasobów (w dolarach). Różnią się one kategoriami wpływu, jak również parametrami charakteryzowania tych samych kategorii, dlatego też, analizując dany proces uzyskuje się często rozbieżne wyniki.

W przypadku każdej metody oceny interpretując wyniki należy uwzględnić fakt, że im wyższy poziom danego wskaźnika tym większy, potencjalnie negatywny wpływ na środowisko.

Metody Oceny wpływu

Poniższa Tabela przedstawia wybrane metody LCIA wraz z przypisanymi kategoriami wpływu, które są charakterystyczne dla każdej z nich.

METHODS	Acidification	Climate change	Resource depletion	Ecotoxicity	Energy Use	Eutrophication	Human toxicity	Ionising Radiation	Land use	Odour	Ozone layer depletion	Particulate matter/ Respiratory inorganics	Photochemical oxidation
CML (baseline)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓
CML (non baseline)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Cumulative Energy Demand	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
eco-indicator 99 (E)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
eco-indicator 99 (H)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
eco-indicator 99 (I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
Eco-Scarcity 2006	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ILCD 2011, endpoint	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ILCD 2011, midpoint	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Endpoint (E)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Endpoint (H)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Endpoint (I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Midpoint (E)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Midpoint (H)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
ReCiPe Midpoint (I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
TRACI 2.1	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
USEtox	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-

Table 1: Availability of impact categories per method. ✓ represents that the impact category is contained in the correspondent method and - that not.