

Przewodnik aLIFEca

Wirtualny otwarty kurs oceny cyklu życia
pojazdu



**Dofinansowane przez
Unię Europejską**

Sfinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.

1. WPROWADZENIE

1.	1	
1.1	CO TO JEST OCENA CYKLU ŻYCIA?	4
1.2	DLA KOGO JEST MOOC aLIFEca?	5
1.3	CO NALEŻY WIEDZIEĆ PRZED ROZPOCZĘCIEM KORZYSTANIA Z SYSTEMU MOOC ALIFECA?	5
1.4	CZEGO SIĘ UCZYSZ I CO PRZYNOŚI CI MOOC ALIFECA?	6
1.5	RAMY OCENY I CERTYFIKACJI	9

Transport odpowiada za jedną trzecią całkowitego końcowego zużycia energii w krajach członkowskich Europejskiej Agencji Środowiska i za ponad jedną piątą emisji gazów cieplarnianych (GHG)¹. Transport jest również odpowiedzialny za dużą część zanieczyszczeń powietrza w miastach. Jest on główną przyczyną negatywnego wpływu na zdrowie ludzi i wiąże się z globalnym ociepleniem. Ważnym czynnikiem ograniczającym emisję GHG jest rodzaj paliwa stosowanego w transporcie². W literaturze przedmiotu wymienia się poszczególne metody stosowane do oceny aspektów środowiskowych, które można zastosować również w przemyśle motoryzacyjnym. LCA (Life Cycle Assessment - ocena cyklu życia) uwzględnia wpływ na środowisko w całym cyklu życia pojazdu, począwszy od fazy produkcji pojazdu (w tym produkcja materiałów do produkcji pojazdu, montaż pojazdu i produkcja paliwa), poprzez fazę eksploatacji (w tym fazę spalania paliwa i serwisowanie pojazdu), aż do końca cyklu życia (zagospodarowanie odpadów, w tym recykling i złomowanie)³, .⁴

1.1 CO TO JEST OCENA CYKLU ŻYCIA?

LCA to najbardziej dojrzała technika uwzględniająca środowiskowy wymiar produktów i technologii. Jest to w istocie metodologia stosowana do identyfikacji, charakterystyki i oceny wpływu na środowisko w całym cyklu życia produktu, od wydobycia surowców ("kołyska") do ostatecznej utylizacji ("grób"). LCA umożliwia porównanie aspektów środowiskowych różnych produktów i rozwiązań technologicznych oraz wybór produktów lub rozwiązań mających najmniejszy wpływ na środowisko w całym cyklu życia.

Rządy na całym świecie stoją przed koniecznością przejścia na zrównoważoną mobilność i energię odnawialną. Przejście na zieloną mobilność powoduje bezprecedensową transformację przemysłu motoryzacyjnego i ogólną restrukturyzację ekosystemu. Powstają nowe miejsca pracy, które zastępują te utracone w przemyśle paliw kopalnych. Dla tych nowych miejsc pracy potrzebny będzie wykwalifikowany personel.

¹ Rievaj V, Synák F. Does electric car produce emissions? Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2017; 94: 187-197

² Transport White Paper, 2011. Roadmap to a Single European Transport Area e towards a Competitive and Resource Efficient Transport System. European Commission Brussels, 28.3.2011, Brussels, Belgium. COM(2011) 144 final.

³ Burchart-Korol D., Jursova S., Fołga P., Korol J., Pustejovska P., Blaut A. Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic, Journal of Cleaner Production 2018, 202, s. 476-487

⁴ Moro A., Helmens E., A new hybrid method for reducing the gap between WTW and LCA in the carbon footprint assessment of electric vehicles, The International Journal of Life Cycle Assessment. 2017, vol. 22, issue 1, pp 4

Umiejętności analityczne i świadomość ekologiczna staną się koniecznością, aby wyróżnić się jako pracownik lub kandydat do pracy na wszystkich kwalifikowanych stanowiskach w przemyśle motoryzacyjnym i wszelkiego rodzaju pokrewnych branżach i usługach. Ocena cyklu życia (LCA) jest rozumiana jako dokładny sposób pomiaru wpływu sektora motoryzacyjnego na środowisko. Zrównoważony rozwój jest jednym z głównych priorytetów łańcucha dostaw w branży motoryzacyjnej.

1.2 DLA KOGO JEST MOOC ALIFECA?

Kurs przeznaczony jest dla wszystkich zainteresowanych LCA, motoryzacją i jej transferem do zielonych technologii niekopalnych. Szczególnie jest skierowany dla studentów szkół wyższych lub uczniów szkół średnich, którzy prezentują przyszłych proekologicznych pracowników w motoryzacji. Poza tym MOOC aLIFEca będzie przydatny dla menedżerów i inżynierów zajmujących się tematyką zrównoważonego rozwoju i rozwojem produktów. Nie można też zapomnieć o przedsiębiorcach zainteresowanych innowacjami zrównoważonymi środowiskowo i wreszcie o wykładowcach, trenerach, nauczycielach, którzy mogą wykorzystać kurs aLIFEca MOOC stworzony w ramach projektu do swoich szkoleń, wykładów i lekcji.

MOOC aLIFEca odzwierciedla potrzeby dzisiejszej szybko rozwijającej się branży motoryzacyjnej, a także potrzeby grupy docelowej dzięki krajowym warsztatom MOOC zorganizowanym w każdym kraju partnerskim. Informacje zwrotne uzyskane od pilotażowej grupy docelowej zostały wprowadzone do szkolenia. Moderacja kursu podczas krajowych warsztatów MOOC przyczyniła się do dostosowania kursu dla zrozumienia przez studentów.

Możesz być pewien, że MOOC aLIFEca jest dostosowany do Twoich potrzeb zgodnie z aktualnymi trendami rynku pracy w branży motoryzacyjnej. Kurs oparty jest na badaniu dzisiejszego sektora motoryzacyjnego (patrz Rezultat projektu PR 1.1).

1.3 CO NALEŻY WIEDZIEĆ PRZED ROZPOCZĘCIEM KORZYSTANIA Z SYSTEMU MOOC ALIFECA?

Należy posiadać podstawową wiedzę z zakresu ochrony środowiska oraz podstawowe pojęcia z zakresu motoryzacji. Nie jest konieczna ogólna wiedza na temat pojazdów spalinowych, pojazdów elektrycznych czy pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi, ponieważ teoria na ten temat jest również zawarta w MOOC aLIFEca i

aLIFEca Guide. W kursie wyjaśnione są wszystkie elementy dotyczące oceny cyklu życia i jej zastosowania w sektorze motoryzacyjnym.

Kurs został zaprojektowany jako masowy otwarty kurs online - Massive Online Open Course (MOOC), który jest dostępny bezpłatnie z podejściem online. MOOCs reprezentują innowacyjne nauczanie i uczenie się w ich własnym charakterze, są prowadzone online, ukierunkowane na nieograniczone uczestnictwo na całym świecie i otwarty dostęp poprzez Internet. Kursy MOOCs dostarczają w środowisku online, darmowe i otwarte zajęcia dla każdego, kto się rejestruje, niezależnie od koloru skóry, religii, wieku, płci, stanu zdrowia, a nawet wcześniejszego wykształcenia lub kwalifikacji. Kurs MOOC aLIFEca jest otwarty dla każdego, niezależnie od tego, czy wcześniej studiował, czy nie. Możesz po prostu śledzić kurs we własnym tempie, poświęcając tyle czasu, ile potrzebujesz.

1.4 CZEGO SIĘ UCZYSZ I CO PRZYNOŚI CI MOOC ALIFECA?

Po ukończeniu kursu będziesz miał wiedzę na temat oceny cyklu życia - Life Cycle Assessment. Dowiesz się co obejmuje ta analiza i jak ją zastosować w sektorze motoryzacyjnym. Poznasz wpływ na środowisko konwencjonalnych i ekologicznych technologii mobilności. A co najważniejsze, wykorzystując z LCA będziesz wiedział jak porównywać produkty, technologie i usługi pod kątem ich wpływu na środowisko. W przyszłości zyskasz przewagę w poszukiwaniu pracy.

Kurs jest skonstruowany i dostosowany do potrzeb przyszłej kariery w zielonej motoryzacji. Kurs został przygotowany w oparciu o wymagania rynku pracy w branży motoryzacyjnej zmieniającego się w kierunku zielonej mobilności i w pełni odzwierciedla wymagania tej branży wobec pracowników. Kurs wynika z wymagań dzisiejszego przemysłu motoryzacyjnego w zakresie ról zawodowych związanych ze zrównoważonym rozwojem, podsumowanych w Rezultacie Projektu PR 1.1. Na podstawie tego badania, cały kurs jest przygotowany tak, aby był aktualny zgodnie z najnowszymi trendami i technologiami w motoryzacji. Kurs MOOC aLIFEca podzielony jest na 5 rozdziałów - rozdział 1 Wprowadzenie, które właśnie czytasz, zawierający ogólne informacje o kursie, warunki wstępne do zapisania się na niego oraz 4 rozdziały teoretyczne. Każdy rozdział składa się z podstaw teoretycznych wprowadzających do tematu, po których następują materiały dodatkowe, takie jak studia przypadków, filmy, artykuły itp.

ROZDZIAŁ 2: WPROWADZENIE DO ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU I LCA

Poznasz główne filary zrównoważonego rozwoju oraz metodologię LCA. W rozdziale tym wyjaśnione są tematy z perspektywy teoretycznej. Dowiesz się jak definiować granice systemu i jakie podejścia są do tego stosowane. Zapoznasz się z takimi pojęciami jak aspekt środowiskowy, wpływ na środowisko, kategorie wpływu LCA oraz ślad środowiskowy. Przedstawione zostaną cztery główne etapy LCA i nauczysz się jak je realizować. Teoria zostanie poparta praktycznymi przykładami, które pomogą studentom poznać podejście praktyczne. Rozdział gwarantuje zdobycie tych umiejętności technicznych, które pomogą w przyszłej karierze zawodowej związanej z LCA, a w szczególności w przemyśle motoryzacyjnym.

Rozdział został przygotowany przez SPIN 360, SRL - włoską zaawansowaną i innowacyjną firmę konsultingową, której misją jest wspieranie strategii innowacji i rozwoju przedsiębiorstw i całych sektorów przemysłowych w zakresie zatrudnienia, szkoleń, zrównoważonego rozwoju i społecznej odpowiedzialności biznesu, EcoDesign procesów i produktów oraz zarządzania łańcuchem dostaw.

ROZDZIAŁ 3: LCA W MOTORYZACJI: POJAZDY NA PALIWA KONWENCJONALNE

Zapoznasz się z teoretyczną wiedzą o silnikach spalinowych poprzez opis ich rozwoju i wyjaśnienie zasad ich działania. Przedstawiono aktualnie dopuszczalne limity emisji spalin w świetle obowiązujących obecnie w Europie przepisów dotyczących emisji spalin dla samochodów osobowych, lekkich samochodów dostawczych, samochodów ciężarowych i autobusów. W rozdziale przedstawiono różne metody pomiaru zużycia paliwa w oparciu o cykle jazdy. Rozdział zawiera studium przypadku dotyczące oceny cyklu życia pojazdów zasilanych paliwem konwencjonalnym, w którym przedstawiono analizę porównawczą pojazdów na paliwa konwencjonalne: diesel i benzynę. Na koniec rozdziału wiedza teoretyczna poparta jest przykładami wyników konkretnych pomiarów zużycia i emisji gazów cieplarnianych samochodu osobowego, autobusu i pociągu w rzeczywistej eksploatacji. Rozdział gwarantuje nabycie umiejętności technicznych pozwalających lepiej ocenić zalety lub wady korzystania z określonego środka transportu (pojazdu) na podstawie jego właściwości technicznych i rodzaju paliwa. Rozdział kształtuje umiejętności i wiedzę jak chronić środowisko naturalne w zakresie zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych.

Rozdział został przygotowany przez Uniwersytet w Żylinie - jedną z najbardziej znaczących instytucji edukacyjnych na Słowacji. Posiada on długą tradycję w zakresie studiów technicznych i transportowych. Uniwersytet podzielony jest na 7 wydziałów, w

tym Wydział Eksploatacji i Ekonomiki Transportu. Głównym celem jego działalności jest transport i technologie operacyjne wszystkich rodzajów transportu. Wydział intensywnie działa w zakresie inżynierii, technologii, biznesu i handlu.

ROZDZIAŁ 4: LCA W MOTORYZACJI: POJAZDY NA PALIWA ALTERNATYWNE

Rozdział dotyczy zastosowania paliw alternatywnych w motoryzacji. Na początku przedstawiono podstawy teoretyczne dotyczące pojazdów elektrycznych, pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi oraz ich LCA. Przedstawiono szczegóły dotyczące obliczeniowego modelu śladów środowiskowych. Ponadto rozdział zawiera studia przypadków LCA tych pojazdów. Analiza LCA jest przedstawiona w rozdziale w formie studiów przypadków z rzeczywistymi danymi operacyjnymi. Przedstawiono wyniki w zależności od różnych miksów energetycznych. Studia przypadków przedstawiono dla kilku typów pojazdów napędzanych paliwami alternatywnymi, takich jak pojazdy elektryczne z akumulatorem i pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi. LCA pojazdów elektrycznych z akumulatorami przedstawiono na przykładzie Polski i jej miksu energetycznego. Następnie przedstawiono LCA ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych dla każdego kraju Unii Europejskiej. W przypadku pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi przedstawiono analizę zastosowania wodoru z gazu koksowniczego, gazu powstającego w przemyśle metalurgicznym, bogatego w wodór. Została wykonana analiza porównawcza wodoru z gazu koksowniczego z wodorem pochodzącym z innych źródeł. Końcowe studium przypadku podsumowuje porównawczą analizę cyklu życia pojazdów na paliwa konwencjonalne – benzyna i diesel oraz pojazdów na paliwa alternatywne. Zdobędziesz wiedzę na temat zastosowania oceny cyklu życia LCA w motoryzacji, szczególnie LCA paliw alternatywnych.

Rozdział został przygotowany przez Politechnikę Śląską (SUT), która jest najstarszą uczelnią techniczną na Górnym Śląsku, jedną z największych w Polsce i jedyną na Śląsku, Politechnika Śląska jako jedyna uczelnia na Śląsku znalazła się w prestiżowym gronie 10 polskich szkół wyższych, laureatów konkursu "Inicjatywa doskonałości - uczelnia badawcza" Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. SUT posiada 13 wydziałów i 2 instytuty, w tym Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, którego celem jest prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych w zakresie rozwoju paliw alternatywnych oraz metod oceny środowiskowej cyklu życia i rozwoju modeli zrównoważonego transportu.

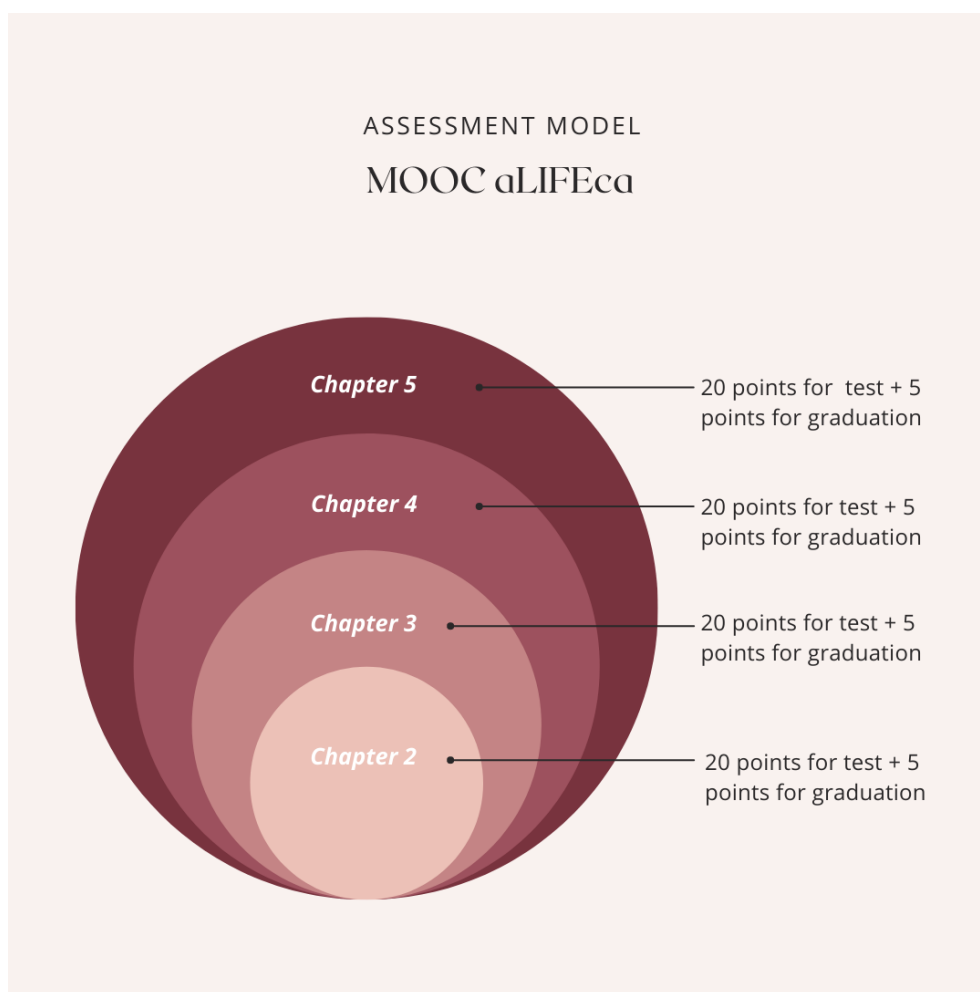
ROZDZIAŁ 5: NARZĘDZIA DLA LCA I OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO

Zdobędziesz wiedzę na temat różnych baz danych LCI (Life Cycle Inventory) oraz kilku narzędzi programowych LCA, które mogą być wykorzystane do analizy LCA. Przedstawiono przegląd dostępnych narzędzi i programów do LCA, a następnie rozdział przedstawia najbardziej popularne, takie jak SimaPro, Gabi, Umberto, a także wspomina o najczęściej używanym darmowym OpenLCA.

Rozdział został przygotowany przez SCOVECO - doświadczone małe przedsiębiorstwo, które pomaga przekazywać wiedzę i know-how bezpośrednio do ludzi w przemyśle i budować innowacyjne rozwiązania. Po 10 latach doświadczeń, firma opracowała wiele udanych projektów i stworzyła silną sieć. SCOVECO koncentruje się na konsultacjach, szkoleniach i coachingu dla firm z branży motoryzacyjnej, a także wspiera je w rozwoju rozwiązań IT i własnych narzędzi.

1.5 RAMY OCENY I CERTYFIKACJI

Po pomyślnym ukończeniu MOOC aLIFEca oferowany jest certyfikat lub cyfrowa odznaka jako uznanie osiągnięcia poziomu umiejętności. Poniższy schemat pokazuje ogólnie ocenianie MOOC aLIFEca. Możesz uzyskać łącznie 100 punktów wykonując stopniowane działania w różnych rozdziałach. Rozdział 1 nie zawiera żadnych zadań, rozdziały 2-5 zawierają 80 punktów. Pozostałe 20% możesz zdobyć kończąc wszystkie rozdziały i wypełniając wszystkie zadania. Po pomyślnym ukończeniu kursu otrzymasz certyfikat potwierdzający pomyślne ukończenie MOOC aLIFEca. Ocena w celu zaliczenia MOOC aLIFEca wynosi 60%. Dla osób które zakończyły MOOC aLIFEca może być certyfikat lub cyfrowa odznaka (Rysunek 1).



Rysunek 1: Model oceny ram certyfikacji w celu zdobycia certyfikatu lub odznaki cyfrowej

CERTYFIKAT

Otrzymasz certyfikat po pomyślnym ukończeniu MOOC aLIFeCa, jeśli zaliczysz kurs na minimum 60%. Certyfikat będzie wskazywał, że ukończyłeś kurs z sukcesem, ale nie będzie zawierał konkretnej oceny. Certyfikat zostanie wydany pod nazwą konsorcjum projektu aLIFeCa, z oznaczeniem instytucji, z której pochodzi kurs.

ODZNAKA CYFROWA

Cyfrowa odznaka zostanie wydana po zakończeniu kursu wszystkim zarejestrowanym i zweryfikowanym uczestnikom, którzy osiągnęli co najmniej 60% całkowitej oceny. Ten rodzaj certyfikatu będzie zawierał ocenę, którą uzyskałeś na koniec MOOC aLIFeCa. Cyfrową odznakę będzie można pobrać z Twojego konta studenckiego. Sprawdź, czy na Twoim koncie jest poprawnie napisane Twoje nazwisko, ponieważ pojawi się ono na certyfikacie końcowym. Ponownie, będzie on wystawiony pod nazwą konsorcjum projektu aLIFeCa.

2. WPROWADZENIE DO ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU I LCA

2. WPROWADZENIE DO ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU I LCA	9
2.1 RAMY ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU	13
2.2 ŚRODOWISKO, GOSPODARKA I SPOŁECZEŃSTWO: W KIERUNKU PODEJŚCIA HOLISTYCZNEGO	14
2.3 WYKORZYSTANIE LCA JAKO METODYKI OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO	20
2.4 ŚLADY ŚRODOWISKOWE	23
2.5 GRANICE SYSTEMU	26
OD KOŁYSKI DO GROBU	28
OD KOŁYSKI DO BRAMY	29
OD KOŁYSKI DO KOŁYSKI	30
OD BRAMY DO BRAMY	31
WELL TO WHEEL	32
2.6 FAZY LCA	32
CEL I ZAKRES	33
INWENTARYZACJA CYKLU ŻYCIA (LCI – LIFE CYCLE INVENTORY)	34
OCENA WPŁYWU CYKLU ŻYCIA (LCIA)	35
INTERPRETACJA	38
2.7 ODNIESIENIA DO ROZDZIAŁU	40



Czas na naukę 120 minut



Cele

JAKĄ WIEDZĘ ZDOBĘDĄ UCZNIOWIE:

Po tych zajęciach studenci będą potrafili:

- Zdobyć lepszej wiedzy na temat zrównoważonego rozwoju i trwałego rozwoju
- Lepsze ujęcie różnych wymiarów zrównoważonego rozwoju i ich zastosowania
- Zrozumienie, czym jest ocena cyklu życia (LCA) i z czego się składa, a także głównych standardów odniesienia LCA.

JAK ROZDZIAŁ POMOŻE IM W ZROZUMIENIU TEMATU:

Studenci poznają główne filary zrównoważonego rozwoju oraz metodologię LCA dzięki zapewnieniu solidnego zaplecza w zakresie tych tematów z perspektywy teoretycznej. Jednocześnie, teoria będzie wspierana przez praktyczne przykłady, aby pomóc studentom zrozumieć teorię z praktycznej perspektywy.

JAKIE UMIEJĘTNOŚCI ROZWINIE ROZDZIAŁ

Rozdział gwarantuje nabycie tych umiejętności technicznych, które pomogą studentom w przyszłej karierze zawodowej związanej z LCA, a w szczególności w przemyśle motoryzacyjnym.

GDZIE STUDENCI MOGĄ WYKORZYSTAĆ WIEDZĘ

Studenci mogą wykorzystać wiedzę w swojej przyszłej pracy związanej z ochroną środowiska i oceną wpływu na środowisko w branży motoryzacyjnej.



Teoria

2.1 RAMY ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Słowo "zrównoważony rozwój" jest jednym z najczęściej używanych słów naszych czasów. Koncepcja ta stopniowo zyskała ogromną uwagę na świecie w XXI wieku, ale dyskurs wokół zrównoważonego rozwoju przenosi nas z powrotem do końca XX wieku wraz z definicją "zrównoważonego rozwoju". 20 marca 1987 roku Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju opublikowała Raport Brundtland (znany również jako Nasza Wspólna Przyszłość). Nazwę nadała mu koordynatorka Gro Harlem Brundtland, która w tym roku była przewodniczącą Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju. W dokumencie tym po raz pierwszy ujęto w ramy koncepcję zrównoważonego rozwoju jako:

"Rozwój, który zaspokaja potrzeby teraźniejszości bez uszczerbku dla możliwości zaspokojenia własnych potrzeb przez przyszłe pokolenia"⁵

Do takiej definicji możemy również dodać bardziej ogólne znaczenie zrównoważonego rozwoju jako "zdolnego do utrzymania się w istnieniu bez przerwy lub zmniejszenia". Jest to oczywiście szerokie pojęcie, jeśli chodzi o obszary zastosowania: zrównoważony rozwój jest rozumiany jako zobowiązanie do zaspokajania podstawowych potrzeb wszystkich ludzi i rozszerzania na wszystkich możliwości zaspokojenia ich aspiracji do lepszego życia. Nie chodzi przy tym wyłącznie o wymiar ekologiczny, ale raczej o zasadę etyczną, która *obejmuje* również środowisko naturalne. Dlatego w ramach koncepcji zrównoważonego rozwoju i trwałego rozwoju można uwzględnić kilka wymiarów.

Już z powyższej prostej definicji wynika, że zrównoważony rozwój jest **zjawiskiem z natury złożonym**. Zrozumienie, czym jest zrównoważony rozwój i w jaki sposób możemy go osiągnąć, oznacza zintegrowanie różnych sfer działania, ale jednocześnie zachowanie ostrożności co do sposobu, w jaki te sfery (lub wymiary) są brane pod uwagę.

Od 1987 r. do chwili obecnej społeczność międzynarodowa przyjęła szereg zobowiązań, których celem jest wyznaczenie standardów środowiskowych, wytycznych i

⁵ Organizacja Narodów Zjednoczonych, Raport Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju: Our Common Future, 1987.

celów w dążeniu do zrównoważonego rozwoju. Jednym z najnowszych i najbardziej znanych jest Agenda 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju oraz 17 Celów Zrównoważonego Rozwoju (Sustainable Development Goals - SDGs) przyjętych przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w 2015 roku. Z wizją nie pozostawienia nikogo w tyle, Agenda 2030 stanowi globalną strategię rozwoju podejmującą działania na rzecz ludzi, planety, dobrobytu, pokoju i partnerstwa. Agenda 2030 jeszcze mocniej podkreśla potrzebę integracji różnych sfer zrównoważonego rozwoju. Tradycyjnie definiuje się je jako środowiskowe, społeczne i ekonomiczne, ale wzajemne powiązania między nimi tworzą jeszcze więcej podwymiarów, które należy wziąć pod uwagę. Jednak "jak" zintegrować tę wielowymiarowość nie jest jeszcze do końca jasne; i to właśnie ta trudność często prowadzi do nieuniknionych kompromisów, gdzie jeden wymiar musi zostać poświęcony na rzecz drugiego.

Stąd, jeśli chcemy lepiej ująć w ramy koncepcję zrównoważonego rozwoju, należy rozważyć następujące stwierdzenia:

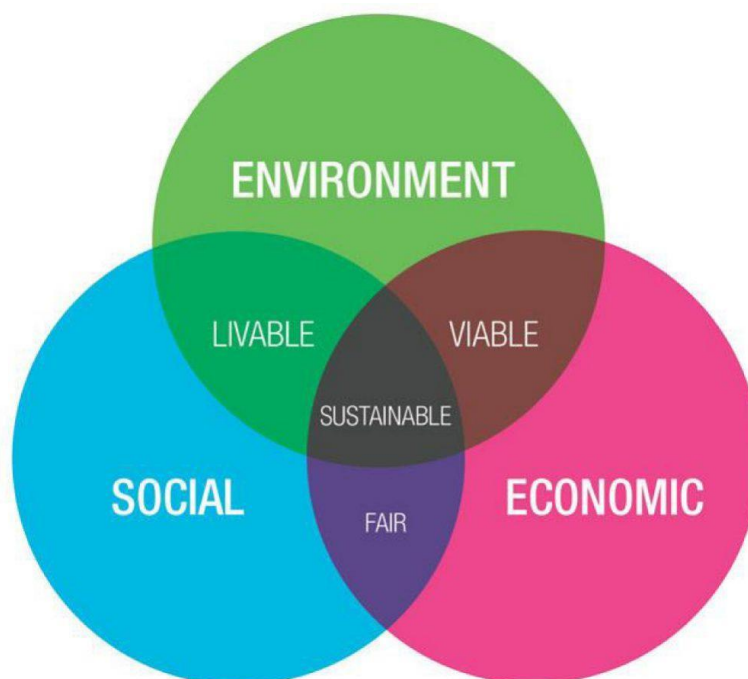
1. Zrównoważony rozwój to najważniejsza kwestia, którą człowiek powinien się zająć
2. Zrównoważony rozwój jest złożony
3. Zrównoważony rozwój jest opisywany przez kilka różnych parametrów i wskaźników
4. Zrównoważony rozwój jest oparty na nauce
5. Zrównoważony rozwój można zmierzyć
6. Zrównoważony rozwój nie ma nic wspólnego z narzędziami komunikacji i marketingu
7. Zrównoważony rozwój nie jest dobrze rozumiany przez większość konsumentów
8. Trwałość jest nieodłącznym elementem systemu lub działania i nie może być dodana później.

2.2 ŚRODOWISKO, GOSPODARKA I SPOŁECZEŃSTWO: W KIERUNKU PODEJŚCIA HOLISTYCZNEGO

Jak wcześniej wykazano, Agenda 2030 zobowiązuje społeczność globalną do "osiągnięcia zrównoważonego rozwoju w jego trzech wymiarach - ekonomicznym,

społecznym i środowiskowym - w sposób zrównoważony i zintegrowany" ⁶. Jednak koncepcje te były już częścią międzynarodowej debaty, o czym świadczy Światowy Szczyt w 2005 roku ⁷, co umożliwiło wprowadzenie tych wymiarów do wielu późniejszych krajowych norm i systemów certyfikacji.

W rzeczywistości nie jest możliwe osiągnięcie określonego poziomu zrównoważenia środowiskowego, społecznego czy gospodarczego bez uwzględnienia przynajmniej podstawowego poziomu wszystkich trzech form jednocześnie, innymi słowy holistycznej wizji zrównoważonego rozwoju (Rysunek 2)



Rysunek 2: Trzy wymiary zrównoważonego rozwoju

GOSPODARKA

Miarą wielkości i kondycji gospodarki danego kraju jest powszechnie określany Produkt Krajowy Brutto (PKB). PKB to wartość pieniężna dóbr i usług finalnych wytworzonych w danym kraju w określonym czasie (zwykle w ciągu roku). Daje on gospodarczy obraz kraju, wykorzystywany do szacowania wielkości gospodarki i tempa wzrostu. PKB traktuje wszystkie transakcje jako pozytywne, więc stają się jego częścią również szkody spowodowane przez zanieczyszczenia, klęski żywiołowe itp. (na przykład:

⁶ Departament Spraw Gospodarczych i Społecznych ONZ (2015), Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development <https://sdgs.un.org/2030agenda>, ostatni dostęp luty 2022 r.

⁷ <https://www.who.int/hiv/universalaccess2010/worldsummit.pdf>

jeśli kupujesz samochód, PKB rośnie, jeśli masz wypadek, PKB również rośnie). W ten sposób PKB nie dokonuje rozróżnienia pomiędzy działaniami, które zawierają dobrobyt i tymi, które mogą go utrudniać.

Na przestrzeni lat wprowadzono wiele wskaźników alternatywnych do PKB. Przykładem może być Genuine Progress Indicator (GPI), będący krajowym miernikiem wzrostu gospodarczego i dobrobytu. GPI ma na celu zmierzenie wzrostu jakości życia (co czasami stoi w sprzeczności ze wzrostem gospodarczym, który zamiast tego jest mierzony przez PKB) poprzez rozróżnienie pozytywnych wydatków (które zwiększają dobrobyt, takich jak wydatki na towary i usługi) i negatywnych (takich jak koszty przestępczości, zanieczyszczenia, wypadków drogowych). GPI integruje zatem aspekty środowiskowe, z perspektywy zielonej lub społecznej ekonomii.

Podobnie, zielony produkt krajowy brutto (zielony PKB) jest wskaźnikiem wzrostu gospodarczego, który uwzględnia środowiskowe konsekwencje tego wzrostu. Zielony PKB monetyzuje utratę różnorodności biologicznej, a także uwzględnia koszty spowodowane zmianami klimatycznymi.

Ekonomiczny wymiar zrównoważonego rozwoju uwzględnia zatem zdolność do stworzenia odpowiedzialnego systemu gospodarczego, który gwarantuje na przykład optymalne wykorzystanie energii, a także stwarza zachęty dla przedsiębiorstw i innych organizacji do przestrzegania wytycznych dotyczących zrównoważonego rozwoju.

SPOLECZEŃSTWO

Społeczny wymiar zrównoważonego rozwoju uwzględnia wartości promujące sprawiedliwość i poszanowanie praw jednostki, przy zachowaniu równowagi między potrzebami jednostek a potrzebami grupy. Oprócz bardziej tradycyjnych tematów zrównoważonego rozwoju społecznego (takich jak ubóstwo i zatrudnienie) społeczność włączyła również nowe: sprawiedliwość społeczną, różnorodność, społeczną jakość życia i zintegrowane zarządzanie, w tym społeczną odpowiedzialność biznesu (Corporate Social Responsibility – CSR) i hybrydowe modele biznesowe⁸. Chociaż CSR może być bardziej znanym terminem, pogląd, że społeczna odpowiedzialność dotyczy wszystkich organizacji, pojawił się niedawno, ponieważ różne rodzaje podmiotów uznały, że one również mają obowiązki przyczyniania się do zrównoważonego rozwoju i trwałości⁹.

⁸ Talan, A., Tyagi, R.D., Surampalli, Rao Y. (2020), "Social Dimensions of Sustainability", DOI: 10.1002/9781119434016.ch9

⁹ https://iso26000.info/wp-content/uploads/2016/03/ISO_Sustainability_brochure.pdf

Chodzi oczywiście o dobrobyt, jakość życia i zrównoważony rozwój człowieka i obejmuje zdrowie i ochronę człowieka, sprawiedliwość środowiskową, dostęp do edukacji, równe szanse.

Parametrem, który można wziąć pod uwagę w celu bardziej holistycznego myślenia o trzech wymiarach zrównoważonego rozwoju jest norma ISO26000:2010 "Wytyczne dotyczące społecznej odpowiedzialności". ISO 26000 ma na celu pomoc organizacjom niezależnie od wielkości i lokalizacji w przyczynianiu się do zrównoważonego rozwoju⁹. Mimo, że opiera się na koncepcji odpowiedzialności społecznej, ISO 26000 jest coraz częściej postrzegana jako sposób oceny zaangażowania organizacji w zrównoważony rozwój i jej ogólnych wyników, ponieważ obejmuje podstawowe przedmioty i wymagania cząstkowe, jak wyjaśniono na Rysunku 3.



Rysunek 3: Obszary podstawowe ISO 26000

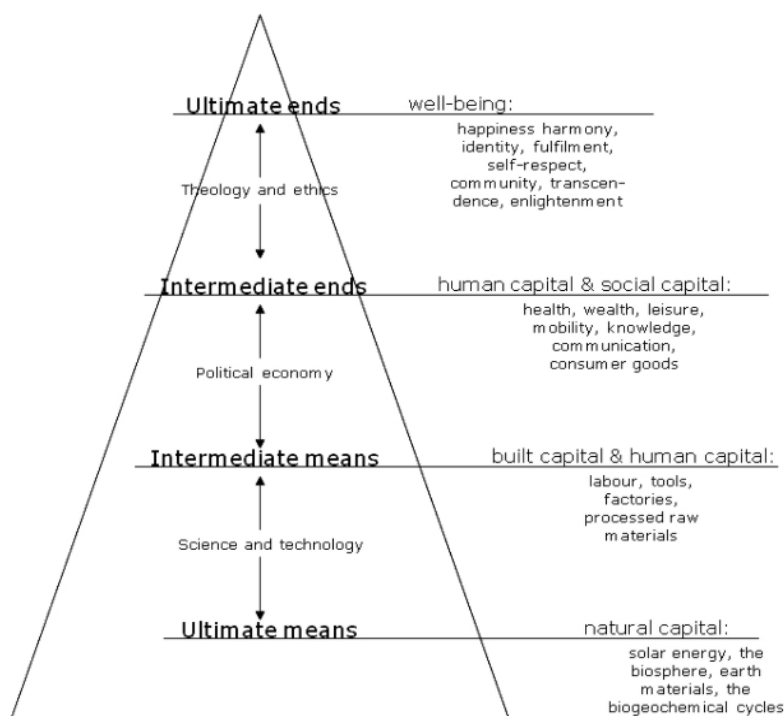
ŚRODOWISKO

Środowisko jest trzecim filarem, ale oczywiście podstawowym problemem przyszłości ludzkości. Zarówno gospodarka, jak i społeczeństwo są ograniczone limitami ziemskich ekosystemów. Jak wspomniano wcześniej, kwestie środowiskowe mają przeważającą rolę w Agendzie 2030, a większość celów SDGs zawiera konkretne odniesienia do powiązania środowiska z innymi priorytetami rozwojowymi.

Mówiąc bardziej ogólnie, od 2000 r. najpilniejsze kwestie, którymi należy się zająć w ramach wymiarów środowiskowych, to oczywiście zmiany klimatyczne, utrata różnorodności biologicznej i zanieczyszczenie, zwłaszcza zanieczyszczenie tworzywami sztucznymi; oraz wpływ człowieka na atmosferę, grunty i zasoby wodne, dążenie do możliwości korzystania z zasobów naturalnych bez naruszania równowagi i integralności ekosystemów.

Środowisko naturalne ma zatem bezpośredni wpływ na gospodarcze i społeczne aspekty zrównoważonego rozwoju i odwrotnie. Dlatego jeszcze bardziej kluczowa jest potrzeba holistycznego myślenia, które podkreśla wzajemne powiązania między tymi trzema wymiarami.

Jak podkreśla UNESCAP (2015)¹⁰, jednym z podejść może być myślenie w kategoriach *wielu kapitałów*. W tym modelu zdefiniowano pięć form kapitału: kapitał wytworzony, naturalny, finansowy, ludzki i społeczny. Zrównoważony rozwój poprzez uznanie różnych form bogactwa narodowego leży u podstaw zrównoważonego rozwoju. W szczególności trójkąt Daly'ego odnosi się do różnych form kapitału i uznaje, że każda forma przyczynia się do dobrobytu człowieka w unikalny sposób (Rysunek 4).



Rysunek 4: Trójkąt Daly, z 1973 r. w Meadows 1998 r.

¹⁰Organizacja Narodów Zjednoczonych ESCAP (2015), "Integracja trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju: ramy i narzędzia".
<https://www.unescap.org/sites/default/files/Integrating%20the%20three%20dimensions%20of%20sustainable%20development%20A%20framework.pdf>

W tym sensie kapitał naturalny stanowi ostateczny środek rozwoju. Bez tych zasobów i usług nie ma na czym budować ludzkich społeczeństw i ludzkiego dobrobytu. Trójkąt Daly'ego może zatem pomóc w lepszym wyjaśnieniu integracji i powiązań między środowiskiem, gospodarką i społeczeństwem.

Dla celów niniejszego opracowania, dyskusja na temat zrównoważonego rozwoju skupia się na sektorze motoryzacyjnym, a w szczególności na wyjaśnieniu oceny cyklu życia (LCA) jako dokładnego sposobu pomiaru wpływu sektora motoryzacyjnego na *środowisko*. Zrównoważony rozwój jest jednym z głównych priorytetów łańcucha dostaw w branży motoryzacyjnej. Mając na uwadze cele związane z redukcją emisji w sektorze, budowaniem spójnych strategii innowacyjnych i globalną wydajnością w łańcuchu wartości, trwają prace nad nowymi rozwiązaniami: kilkoma przykładami są nowe technologie układów napędowych, lekka waga oraz wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu i bioproduktów¹¹.

Jednakże celem jest oczywiście bardziej zintegrowane podejście do zrównoważonego rozwoju (tj. możliwość łącznej oceny aspektów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych). Dlatego też, jeśli wymiar środowiskowy jest objęty i dobrze ugruntowany przez LCA, należy wzmocnić metody i narzędzia do pomiaru wymiaru gospodarczego i społecznego.

W kilku opracowaniach badana jest koncepcja zrównoważonej oceny cyklu życia (LCSA – Life Cycle Sustainability Assessment)¹², która oznacza połączenie LCA, rachunku kosztów cyklu życia (LCC – Life Cycle Costing) i społecznej oceny cyklu życia (SLCA – Social Life Cycle Assessment), a którą można zsyntetyzować w formule:

$$LCSA = LCA + LCC + SLCA$$

LCSA integruje kryteria zrównoważonego rozwoju: LCA dla aspektów środowiskowych, LCC dla aspektów ekonomicznych i SLCA dla aspektów społecznych. Tylko kompleksowa ocena tych trzech komponentów umożliwia realizację zasad zrównoważonego rozwoju.

¹¹ CLEPA (2021), "Dostawcy samochodów pracują na rzecz mobilności neutralnej pod względem emisji dwutlenku węgla, stawiając na pierwszym miejscu zarówno zdrowie ludzi, jak i środowisko", <https://clepa.eu/mediaroom/clepa-pr-materials-regulations-event-2021/>, ostatni dostęp: luty 2022 r.

¹² Burchart-Korol, D., (2011) "Application of Life Cycle Sustainability Assessment and Socio-Eco-Efficiency Analysis in Comprehensive Evaluation of Sustainable Development", Journal of Ecology and Health.

2.3 WYKORZYSTANIE LCA JAKO METODYKI OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO

W poprzednim akapicie przekonaliśmy się, że zachowanie środowiska naturalnego jest warunkiem koniecznym dla dobrze funkcjonującej gospodarki i społeczeństwa.

Podążając za terminologią normy ISO 14001¹³, możemy zdefiniować:

- **Środowisko:** otoczenie, w którym działa organizacja i obejmuje powietrze, wodę, ziemię, zasoby naturalne, faunę, florę, ludzi i ich wzajemne powiązania.
- **Aspekt środowiskowy:** element działań, wyrobów lub usług organizacji, który może wchodzić w interakcję ze środowiskiem.
- **Wpływ na środowisko:** to niekorzystna lub korzystna zmiana w środowisku wynikająca z aspektów środowiskowych organizacji.

Wpływ na środowisko jest więc wynikiem aspektu środowiskowego. Przykłady aspektów i oddziaływań przedstawiono w Tabeli 1:

Tabela 1: Przykłady aspektów środowiskowych i wpływów na środowisko

Aspekt	Impact
Emisja dwutlenku węgla	Zmiany klimatyczne (poprzez globalne ocieplenie)
Zużycie oleju (pojazdy)	Wyczerpanie zasobów naturalnych
Zrzuty do wody	Zanieczyszczenie wody
Emisje do powietrza	Zanieczyszczenie powietrza

Zgodnie z normą ISO 14001, każda organizacja jest zobowiązana do systematycznego podejścia do określenia aspektów i wpływów: Ocena cyklu życia (LCA) może wspierać w osiągnięciu takich celów z perspektywy środowiskowej.

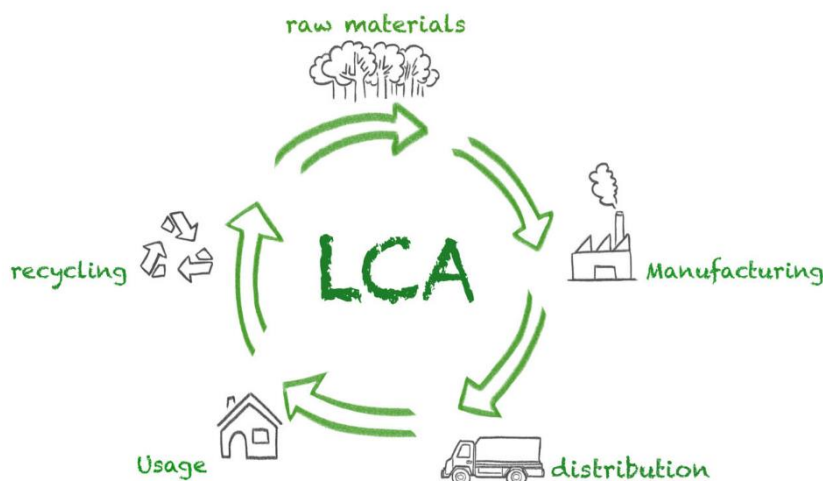
LCA jest zatem najbardziej dojrzałą techniką i uwzględnia wymiar środowiskowy. Jest to w istocie metodologia stosowana do identyfikacji, charakterystyki i oceny wpływu

¹³ ISO 14000 określa serię norm technicznych odnoszących się do zarządzania środowiskowego organizacji, ustanowionych przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO).

na środowisko w całym cyklu życia produktu od wydobycia surowców ("kołyska") do ostatecznego usunięcia ("grób"). LCA umożliwi porównanie aspektów środowiskowych różnych produktów, jak również rozwiązań technologicznych oraz wybór produktów lub rozwiązań mających najmniejszy wpływ na środowisko w całym cyklu życia.

W ogólnym ujęciu, cykl życia produktu składa się z pięciu głównych faz (Rysunek 5):

1. Wydobycie surowców (tj. wykorzystanych zasobów)
2. Produkcja i przetwarzanie (w tym montaż i magazynowanie)
3. Transport
4. Użytkowanie i sprzedaż detaliczna
5. Koniec życia: ponowne użycie i recykling



Rysunek 5: Cykl LCA

Przyjmując perspektywę systemową, główne rodzaje oddziaływań to na ogół te związane z *wejściami*, *wyjściami* i *procesami*. Przykłady nakładów mogą obejmować (ale nie tylko): surowce, wodę, energię cieplną, energię elektryczną, chemikalia, transport. Przykłady wyjść mogą obejmować: produkty gotowe, produkty uboczne, emisje ścieków do wody, odpady poddane recyklingowi, odpady unieszkodliwione. Wreszcie, przykłady procesów mogą obejmować magazynowanie, czyszczenie, montaż, pakowanie.

W celu identyfikacji problemów środowiskowych typowych dla wielu gałęzi przemysłu, w tym sektora transportowego, stosuje się metodę LCA do oceny potencjalnego

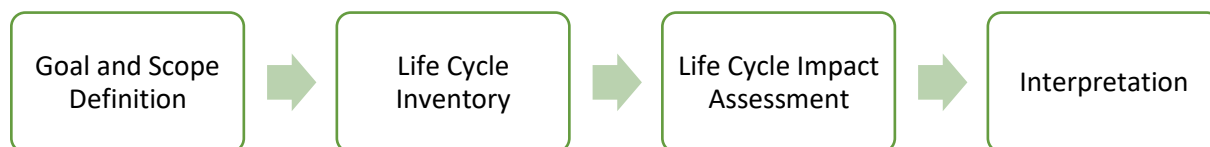
wpływu technologii i produktów na środowisko w ramach różnych *kategorii* szkód, w tym emisji gazów cieplarnianych i wpływu na zdrowie człowieka. LCA jest techniką, która - oprócz innych funkcji - umożliwia ocenę wpływu na środowisko w różnych kategoriach oddziaływania na podstawie danych z badań, w tym emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych¹⁴

Kategoria wpływu jest "klasą reprezentującą zagadnienia środowiskowe, do których można przypisać wyniki analizy cyklu życia". Przykładowe kategorie wpływu to: emisja gazów cieplarnianych, zakwaszenie ziemi, eutrofizacja wód, ekotoksyczność, wyczerpywanie się paliw kopalnych i minerałów.

Do przeprowadzania analiz cyklu życia wykorzystuje się wiele metod oceny cyklu życia, w tym:

- Metoda ILCD Midpoint zalecana przez Komisję Europejską jako reprezentatywna dla warunków europejskich
- Metoda IPCC opracowana przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu i stosowana do oceny wpływu na emisję gazów cieplarnianych,
- Metoda skumulowanego zapotrzebowania na energię, która umożliwia wyznaczenie skumulowanego zapotrzebowania na energię,
- Metoda IMPACT2002+ umożliwia zestawienie wykazów danych i ich ocenę w ramach kilkunastu kategorii pośrednich przypisanych do czterech podstawowych kategorii szkód,
- Metoda ReCiPe 2008 reprezentująca jeden z najbardziej kompleksowych modeli oceny¹⁵.

LCA jest przedmiotem międzynarodowych norm *ISO 14040:2006* i *ISO 14044: 2006 /Amd 2: 2020*, które określają cztery główne etapy LCA (Rysunek 6 oraz Rysunek 13)



Rysunek 6: Fazy oceny cyklu życia

¹⁴ Burchart-Korol D., (2010): Ocena cyklu życia - nowa technika zarządzania środowiskowego, Wdrażanie nowoczesnych systemów i narzędzi zarządzania procesami technologicznymi. Praca zbiorowa. Pod red. Remigiusza Sosnowskiego, Gliwice: Wydaw. Politechniki Śląskiej, Monografia. nr 267, s. 231-242

¹⁵ Burchart-Korol D., Korol J., Czaplicka-Kolarz K.(2016) "Life cycle assessment of heat production from underground coal gasification", International Journal for Life Cycle Assessment, Vol. 21, Iss. 10, p. 1391-1403.

Stosowanie LCA do pomiaru wpływu na środowisko przynosi wiele korzyści. LCA obejmuje cały cykl życia produktu, począwszy od wydobycia i pozyskania surowców, poprzez produkcję energii i materiałów, wytwarzanie i eksploatację, aż po przetwarzanie lub usuwanie na koniec życia. LCA jest stosowana jako narzędzie do kompleksowej oceny procesów, wariantów materiałowych i ich wpływu na emisję gazów cieplarnianych w cyklu życia, jak również innych kategorii wpływu i szkód¹⁶. Korzyści obejmują między innymi:

- Kwantyfikacja kluczowych wpływów na środowisko
- Identyfikacja możliwości poprawy aspektów środowiskowych produktów w całym ich cyklu życia
- Wspieranie podejmowania decyzji w organizacji - ponieważ decyzje można podejmować tylko na podstawie elementów, które zostały wcześniej zmierzone
- Marketing (np. zaspokojenie popytu konsumentów na produkty ekologiczne i ich możliwości dowiedzenia się, jak bardzo produkt jest zrównoważony)
- Posiadanie lepszej wiedzy o swoich dostawcach

Rozważając zastosowanie LCA w przemyśle motoryzacyjnym, widzimy, że oferuje ona jedno z najbardziej wszechstronnych narzędzi do oceny transformacji przemysłu motoryzacyjnego i jego przejścia z konwencjonalnych paliw kopalnych, takich jak olej napędowy i benzyna, na paliwa alternatywne, takie jak CNG, LPG, energia elektryczna i wodór. Pozwala na włączenie myślenia o cyklu życia do procesu podejmowania decyzji, w celu osiągnięcia zrównoważonej alternatywy.

2.4 ŚLADY ŚRODOWISKOWE

Dla celów oceny oddziaływania na środowisko wiele branż odwołuje się do **śladów środowiskowych**. Ślady środowiskowe wywodzą się z techniki LCA. Ślad środowiskowy jest wskaźnikiem opartym na wielu kryteriach, wykorzystywanym do pomiaru efektywności środowiskowej produktów i usług w całym ich cyklu życia.

W 2013 roku Komisja Europejska (KE) opublikowała zalecenia dotyczące stosowania wspólnych metod pomiaru efektów działalności środowiskowej w cyklu życia produktów

¹⁶ Burchart-Korol D., Jursova S., Folęga P., Pustejovska P., (2020) "Life cycle impact assessment of electric vehicle battery charging in European Union countries", Journal of Cleaner Production, Vol. 257.

i organizacji, czego konsekwencją było przygotowanie przez poszczególne sektory branżowych wytycznych dotyczących metodologii pomiaru efektów działalności środowiskowej produktów i organizacji, oficjalnie określanych jako *Product Environmental Footprint Category Rules*, a także *Organization Environmental Footprint Sector Rules*. Obecnie Komisja Europejska opracowuje nowe zasady obliczania śladu środowiskowego i znakowania produktów. *Zalecenie Komisji Europejskiej z dnia 9 kwietnia 2013 r. w sprawie stosowania wspólnych metod pomiaru i informowania o efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji (2013/179/UE)* określa europejską metodologię proponowaną do pomiaru efektywności środowiskowej produktów i przedsiębiorstw. Zalecenia KE zachęcają do stosowania metody pomiaru śladu środowiskowego w strategiach i programach przewidzianych do pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów lub przedsiębiorstw. Zgodnie z zaleceniem Komisji Europejskiej, metoda śladu środowiskowego produktu (*Product Environmental Footprint* - PEF) służy do pomiaru potencjalnego wpływu produktu na środowisko w jego cyklu życia, natomiast metoda **śladu środowiskowego organizacji** (*Organization Environmental Footprint* - OEF) służy do pomiaru potencjalnego wpływu przedsiębiorstwa na środowisko w jego cyklu życia.

Ocena śladu środowiskowego składa się z kilku etapów: określenia celu i zakresu analizy, identyfikacji zasobów i emisji, oceny wpływu na środowisko, interpretacji wyników oraz przygotowania raportu. Ocena śladu środowiskowego produktów i przedsiębiorstw powinna być przeprowadzona zgodnie z zasadami istotności, kompletności, spójności, dokładności i przejrzystości.

W odniesieniu do ram śladów środowiskowych głównym celem Unii Europejskiej i jej państw członkowskich jest efektywne wykorzystanie ograniczonych zasobów naturalnych oraz eliminacja produktów i technologii wywierających znaczący negatywny wpływ na środowisko. Metodyka oceny śladu środowiskowego może stać się elementem obowiązującego prawa ochrony środowiska, systemów zarządzania środowiskowego, systemów zielonych zamówień publicznych, a także wielu działań i inicjatyw przyczyniających się do rozwoju zielonej gospodarki, jak to się potocznie określa, ale także może stać się ważnym elementem procesu podejmowania decyzji w sferze ochrony środowiska.

Najważniejszymi śladami środowiskowymi są:

- Ślad węglowy (CF – carbon footprint)
- Ślad wodny (WF – water footprint)

- Ślad ekologiczny (EF – ecological footprint)

Ślad węglowy definiuje się jako wielkość emisji ekwiwalentu CO₂ spowodowaną bezpośrednio i pośrednio przez emisje gazów cieplarnianych lub jako całkowitą ilość gazów cieplarnianych uwolnionych w całym cyklu życia procesu lub produktu¹⁷. CF wyraża się jako ekwiwalent masy ditlenku węgla na jednostkę funkcjonalną (functional unit - FU) produktu lub usługi (kg CO₂ eq/FU). CF jest również definiowany jako suma emisji gazów cieplarnianych wytwarzanych w cyklu życia produktu bezpośrednio lub pośrednio przez osobę, przedsiębiorstwo, produkt lub usługę.

Ślad wodny (WF) to objętość wody słodkiej zużytej do wytworzenia produktu, mierzona w całym procesie produkcyjnym. Jest to wielowymiarowy wskaźnik pokazujący ilość zużytej wody z danego źródła oraz ilość wody zanieczyszczonej według rodzaju zanieczyszczenia. WF jest wskaźnikiem zużycia czystej wody i obejmuje nie tylko bezpośrednie zużycie wody, ale również pośrednie zużycie wody. Można wyróżnić niebieski komponent (zużycie wód powierzchniowych i gruntowych), zielony komponent (zużycie wód opadowych) oraz szary komponent śladu (woda potrzebna do asymilacji zanieczyszczeń). Niebieski ślad odpowiada objętości zużytej wody powierzchniowej i gruntowej. Termin zielony ślad odnosi się do zużycia wody deszczowej, o ile nie jest ona odprowadzana np. do kanalizacji. Zwiększenie ilości wody deszczowej wykorzystywanej do produkcji lub konsumpcji zmniejsza niebieski ślad. W przypadku odprowadzenia do kanalizacji, woda deszczowa może zostać zanieczyszczona przez ścieki, co generuje szary ślad. Również woda deszczowa spływająca z gruntów ornych, zanieczyszczona pestycydami lub nawozami, może pozostawić szary ślad. Szary ślad określa wielkość ładunku zanieczyszczeń wody, który można wyrazić jako objętość wody potrzebną do rozcieńczenia zawartych w niej zanieczyszczeń do takiego poziomu, że ich stężenie staje się akceptowalne dla środowiska. Czysta woda stała się jednym z najrzadszych i najbardziej pożądanых zasobów naturalnych, dlatego należy zacząć od ilościowej oceny zużycia wody, aby móc analizować procesy lub ich poszczególne etapy, w których zużycie wody można zminimalizować.

Ecological footprint (EF) określa wpływ człowieka na środowisko naturalne. Wskaźnik ten pokazuje wielkość obszaru bioprodukcyjnego (łądy, morza i oceany) niezbędnego do pozyskania zasobów i wytworzenia dóbr konsumowanych przez jego

¹⁷ Burmistrz P., Chmielniak T., Czepirski L., Gazda-Grzywacz M.: Carbon footprint of the hydrogen production process utilizing subbituminous coal and lignite gasification. Journal of Cleaner Production Vol. 139, 2016, s. 858-865.

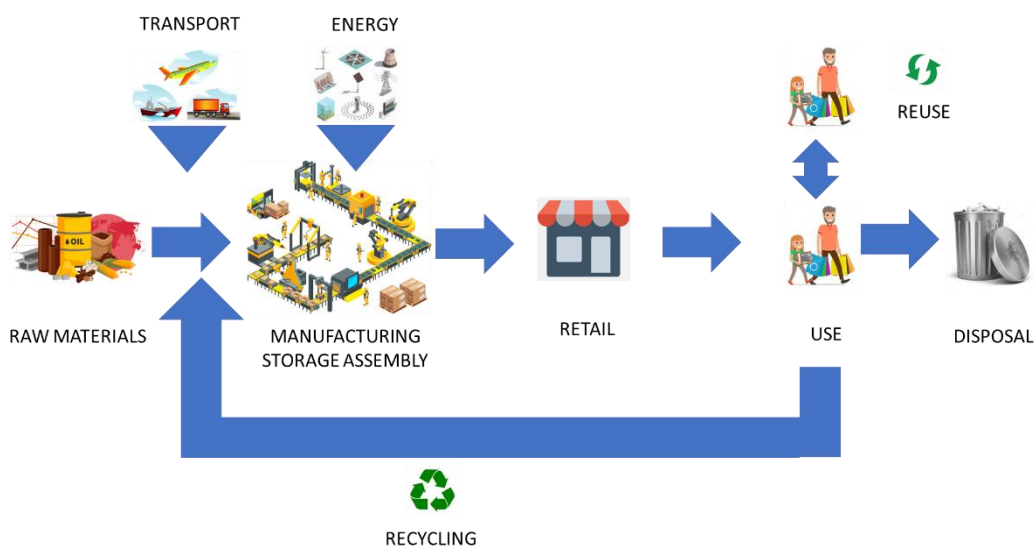
mieszkańców. EF jest miarą stosowaną do oceny, zarówno lokalnie jak i globalnie, potencjału regeneracyjnego biosfery, wykorzystywanego bezpośrednio lub pośrednio przez ludzi, w odniesieniu do wielkości dostępnego potencjału biologicznego. EF odnosi się do bezpośredniego i pośredniego wykorzystania ziemi jako zasobu.

2.5 GRANICE SYSTEMU

Granica systemu w LCA jest częścią fazy celu i zakresu opisanej w *ISO 14040:2006*.

Granica systemu określa, które procesy zostaną włączone do systemu lub z niego wyłączone, a także wyznacza, które procesy powinny zostać uwzględnione w analizie systemu produktu, w tym czy system wytwarza jakiegokolwiek produkty uboczne, które muszą zostać uwzględnione w ramach rozszerzenia systemu lub alokacji¹⁸.

Definiowanie granic systemu jest częściowo oparte na subiektywnym wyborze, dokonywanym w fazie zakresu, kiedy granice są wstępnie ustalane. Rysunek 7 przedstawia schematycznie granicę systemu.



Rysunek 7: Schemat granic systemu LCA

Można rozważyć następujące granice¹⁹:

Granice między systemem technologicznym a przyrodą. Cykl życia rozpoczyna się zwykle w punkcie wydobycia surowców i nośników energii z natury. Końcowe etapy obejmują zwykle wytwarzanie odpadów i/lub produkcję ciepła

¹⁸ Szczegółowy opis faz LCA znajduje się w rozdziale 2.6 LCA PHASES

¹⁹ LCA as a Decision Support Tool for the Eco Production of Olive Oil, strona internetowa projektu, dostępna pod adresem <http://www.ecoil.tuc.gr>, ostatni dostęp luty 2022.

Obszar geograficzny. Geografia odgrywa kluczową rolę w większości badań LCA, np. infrastruktura, taka jak produkcja energii elektrycznej, gospodarka odpadami i systemy transportowe, różni się w zależności od regionu. Ponadto, wrażliwość ekosystemów na wpływy środowiskowe również różni się regionalnie.

Horyzont czasowy. Granice muszą być wyznaczone nie tylko w przestrzeni, ale również w czasie. Zasadniczo LCA przeprowadza się w celu oceny obecnych wpływów i przewidywania przyszłych scenariuszy. Ograniczenia granic czasowych wynikają z zastosowanych technologii, czasu życia zanieczyszczeń itp.

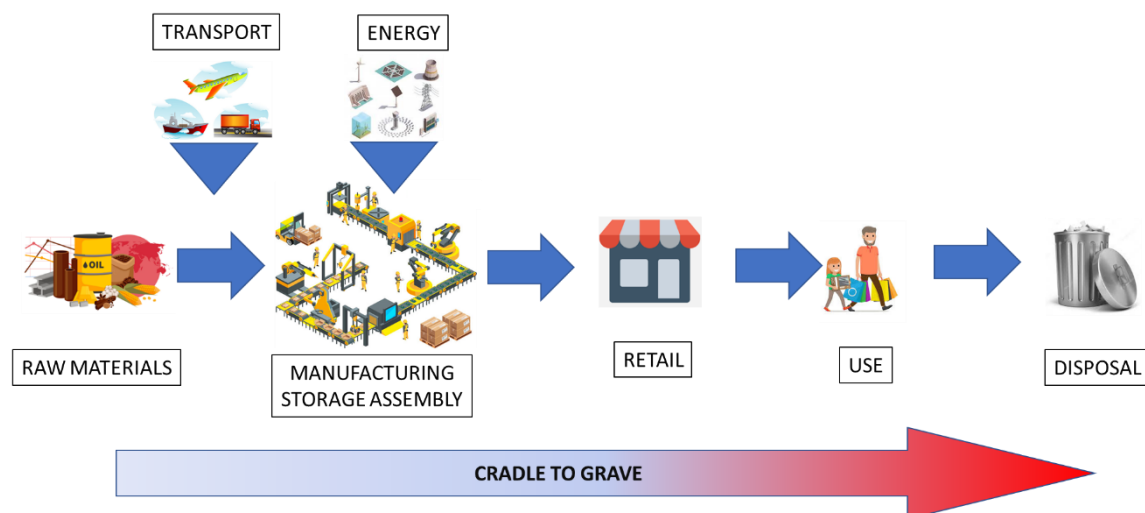
Granice między bieżącym cyklem życia a powiązаныmi cyklami życia innych systemów technicznych. Większość działań jest ze sobą powiązana i dlatego do dalszych badań należy je od siebie oddzielić. Na przykład w przypadku produkcji dóbr inwestycyjnych, ekonomiczna wykonalność nowych i bardziej przyjaznych dla środowiska procesów może być oceniana w porównaniu z obecnie stosowaną technologią. Wzajemne powiązania systemów produktów mają tendencję do bycia powiązаныmi w bardzo złożony sposób. W idealnym przypadku wymagane są również cykle życia produktów wykorzystywanych do produkcji badanych materiałów i produktów. Prowadziłoby to jednak do niekończącej się i złożonej listy wpływów i wypływów. W konsekwencji należy ustalić limity, granice dla wyłączenia pewnych części, co jednak może zmienić ostateczny wynik badania. Im mniejszy system, tym ostrzejsza jest jego granica; duże systemy mogą mieć wiele granic, ponieważ łączą się z wieloma systemami.

Schemat systemu jest bardzo pomocny w identyfikacji granic, podobnie jak niektóre wybory, takie jak produkcja i utylizacja dóbr kapitałowych, czy granice przyrodnicze.

Istnieją **cztery** główne opcje definiowania granic systemu wykorzystywane w badaniu LCA oraz **specyficzne** podejście "od kołyski do grobu" dla przemysłu motoryzacyjnego (Well to Wheel):

- Od kołyski do grobu
- Od kołyski do bramy
- Od kołyski do kołyski
- Brama do bramy
- Od studni do koła

OD KOŁYSKI DO GROBU



Rysunek 8: Schemat Cradle to Grave – od kołyski do grobu

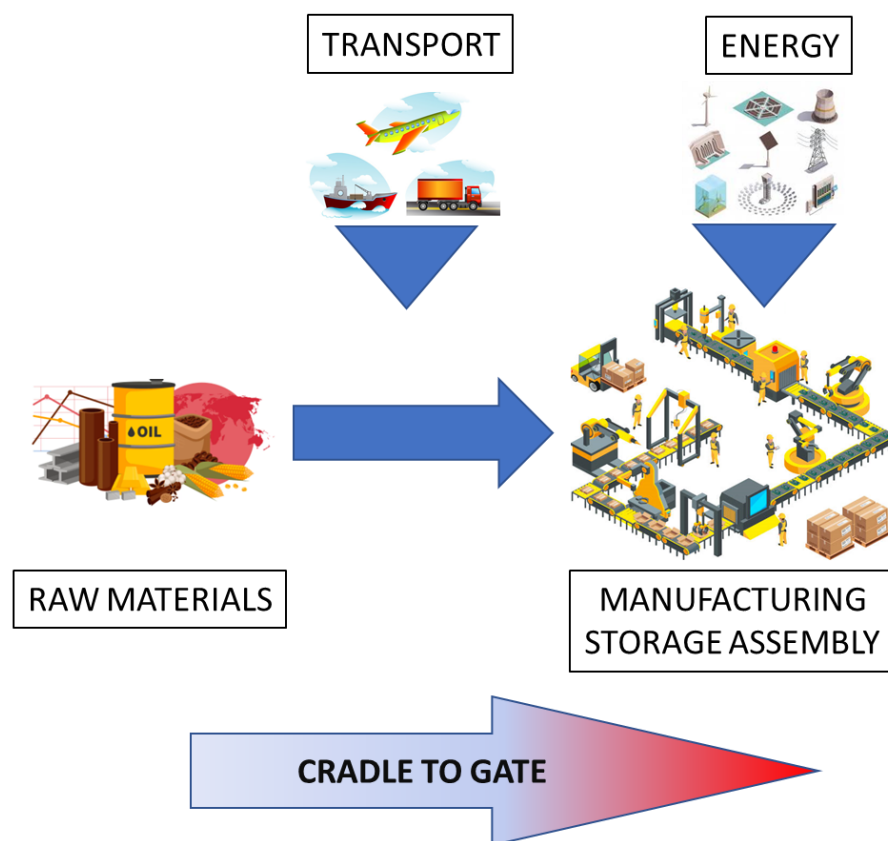
Granica ta obejmuje łańcuch produkcji materiałów i energii oraz wszystkie procesy od wydobycia surowców, poprzez fazę produkcji, transportu i użytkowania, aż po przetwarzanie produktu po zakończeniu jego życia.

Cradle to Grave to "konwencjonalne podejście jednorazowe", które nie jest już zrównoważone w świetle celów rozwojowych wyznaczonych przez Europę na rok 2030²⁰. Duża część emisji gazów cieplarnianych wynika bowiem właśnie z tego podejścia produkcyjnego, opartego na paliwach kopalnych. Aby wypełnić postanowienia Porozumienia Paryskiego²¹, konieczna jest zatem radykalna zmiana modeli produkcji.

²⁰ Cele Zrównoważonego Rozwoju, https://ec.europa.eu/international-partnerships/sustainable-development-goals_en, marzec 2022 r.

²¹ Porozumienie paryskie jest prawnie wiążącym międzynarodowym traktatem dotyczącym zmian klimatu. Zostało przyjęte przez 196 stron podczas COP 21 w Paryżu, 12 grudnia 2015 roku i weszło w życie 4 listopada 2016 roku.

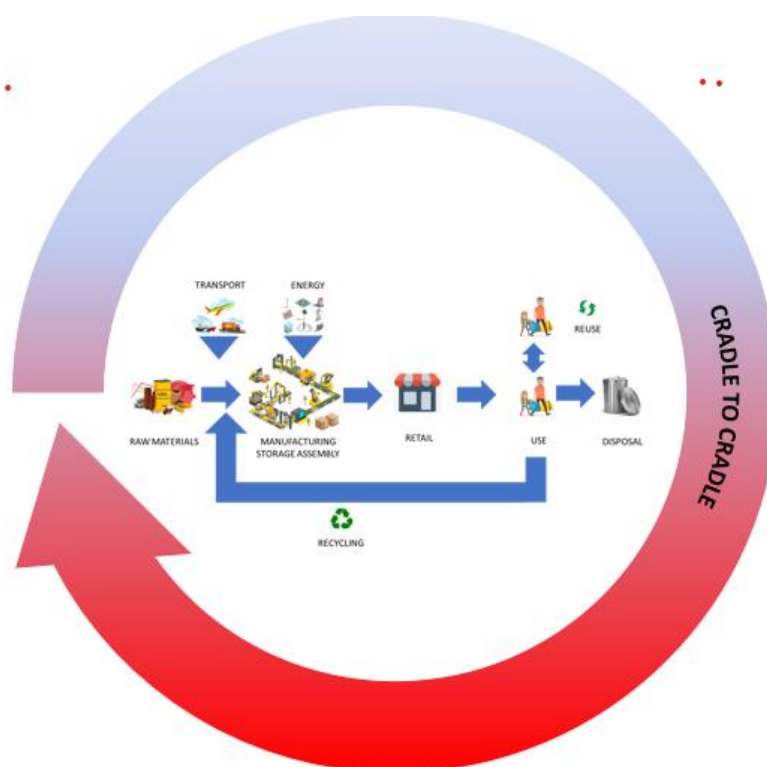
OD KOŁYSKI DO BRAMY



Rysunek 9: schemat Cradle to Gate – od kołyski do bramy

Granica ta obejmuje wszystkie procesy od wydobycia surowców poprzez fazę produkcji (brama zakładu); służy do określenia wpływu produkcji wyrobu na środowisko, a więc z wyłączeniem fazy użytkowania i utylizacji tegoż. Jest to analiza cząstkowa, przydatna w procesie LCA dużych systemów.

OD KOŁYSKI DO KOŁYSKI



Rysunek 10: Schemat Cradle to Cradle – Od kołyski do kołyski

Jest to szczególny przypadek poprzedniego systemu granicznego "od kołyski do grobu", w którym etapem przetwarzania pod koniec życia jest proces recyklingu; stosowany w celu zminimalizowania wpływu produktów na środowisko poprzez zastosowanie zrównoważonych praktyk produkcji, eksploatacji i utylizacji oraz ma na celu włączenie odpowiedzialności społecznej do rozwoju produktu.

Podejście Cradle to Cradle jest podstawowym narzędziem gospodarki cyrkularnej, które pozwala na przekształcenie procesów produkcyjnych poprzez redukcję odpadów do minimalnego poziomu oraz pozwala na stworzenie pozytywnego śladu. Twórcami podejścia Cradle to Cradle są Michael Braungart i William McDonough ²², a granicę procesu badają oni poprzez trzy podstawowe elementy:

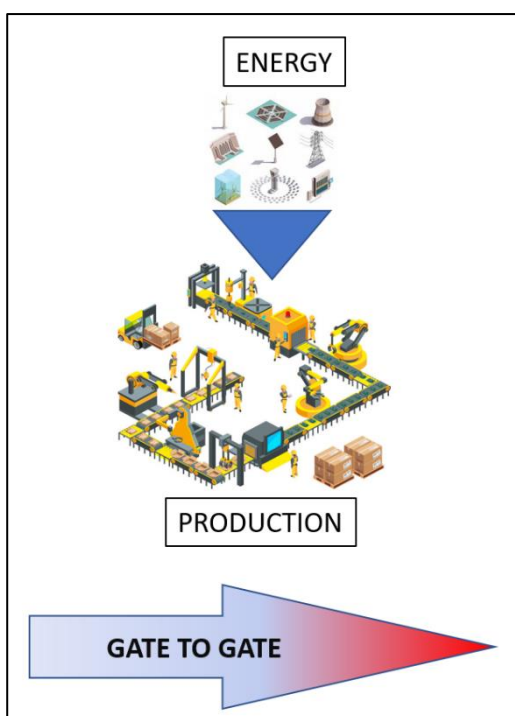
- Wszystko jest zasobem dla czegoś innego: w przyrodzie odpady z jednego systemu stają się pożywieniem dla innego. Wszystko może być zaprojektowane tak, aby następnie zostało rozłożone i zwrócone do

²² "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things", Michael Braungart i William McDonough, 2002 r.

środowiska w postaci składników odżywczych, lub może być ponownie wykorzystane jako surowiec do tworzenia nowych produktów.

- Korzystaj z czystej i odnawialnej energii: istoty żywe rozwijają się dzięki energii słonecznej. Podobnie produkty mogą być wytwarzane z wykorzystaniem różnych form energii odnawialnej, dla ochrony środowiska i zdrowia.
- Celebryj różnorodność: na całym świecie geologia, hydrologia, fotosynteza i cykl składników odżywczych, dostosowane do miejsca, wytwarzają zaskakującą różnorodność życia naturalnego i kulturowego.

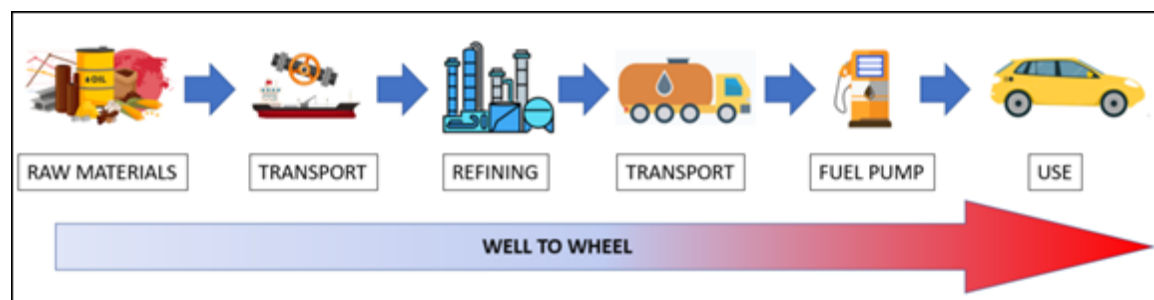
OD BRAMY DO BRAMY



Rysunek 11: Schemat Gate to Gate – od bramy do bramy

Granica ta obejmuje procesy tylko z fazy produkcji; stosowana do określenia wpływu na środowisko pojedynczego etapu produkcji lub procesu.

WELL TO WHEEL



Rysunek 12: Schemat od studni do koła

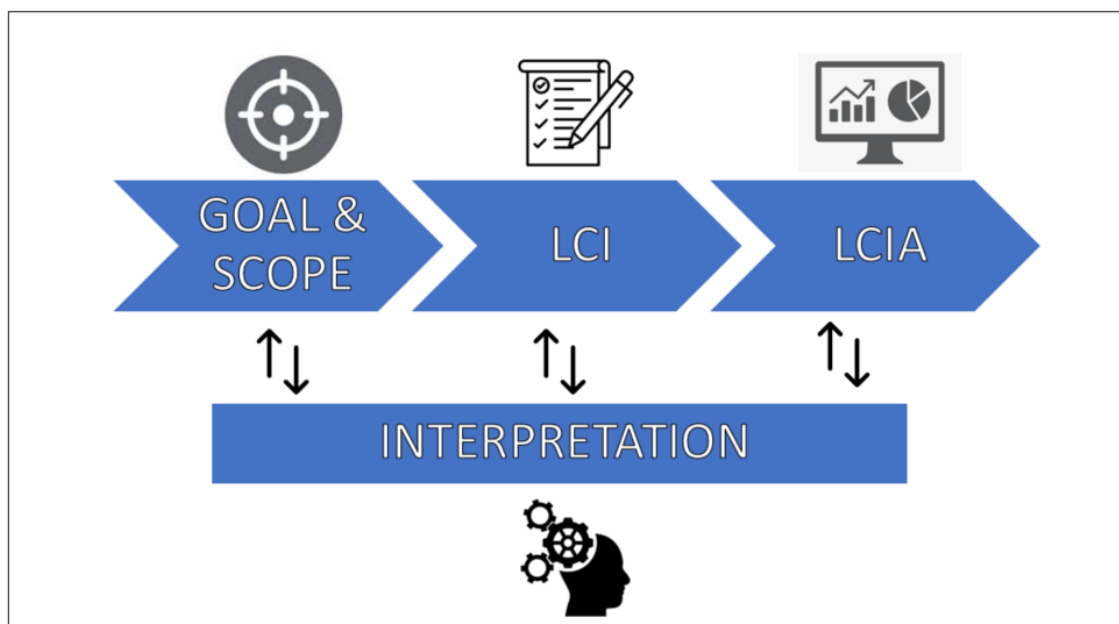
Jest to szczególna granica systemowa stosowana do oceny całkowitego zużycia energii (lub sprawności przemiany energii i wpływu na emisje) przez statki morskie, samoloty i pojazdy silnikowe, w tym ich śladu węglowego (zob. Rysunek 12), oraz paliw stosowanych w każdym z tych rodzajów transportu, przydatnych do oceny skutków zużycia paliwa przy zastosowaniu oceny "od studni do koła", podczas gdy tradycyjne podejście "od kołyski do grobu".

2.6 FAZY LCA

Life Cycle Assessment to metodologia, która pozwala ocenić wpływ na środowisko związany z systemem (produktem, procesem, usługą), poprzez analizę energii i zużytych materiałów, odpadów, logistyki i transportu, a także emisji uwalnianych do środowiska, w całym cyklu życia.

Badanie LCA musi być zorganizowane zgodnie z czterema konsekwentnymi fazami²³, jak wskazano na Rysunku 13: Cel i zakres, Inwentaryzacja cyklu życia (LCI); Ocena wpływu cyklu życia (LCIA) i Interpretacja.

²³ Zgodnie z postanowieniami normy ISO 14040



Rysunek 13: LCA - 4 główne etapy

CEL I ZAKRES

Określenie celów i zakresów jest fundamentalne, ponieważ dzięki temu etapowi można **zaprojektować ramy** badania, określić **powód, dla którego** jest ono wykonywane i opisać wszystkie jego **cechy**. W tej fazie obowiązkowo należy zdefiniować:

- **cel badania:** zastosowanie, do którego jest przeznaczone, oraz powody jego przeprowadzenia. Różne podejście opiera się na (i) porównywaniu produktów/usług ze sobą, (ii) porównywaniu przedmiotu badania ze standardem odniesienia, (iii) planowaniu usprawnień dla istniejącego produktu/usługi lub (iv) projektowaniu nowego produktu/usługi;
- **jednostka funkcjonalna:** która musi być zgodna z celem i obszarem zastosowania. Jest to produkt, usługa lub funkcja, na której należy oprzeć analizę i porównanie z możliwymi alternatywami ([kg] produktu, [t] przetworzonych odpadów, [kWh] dostarczonej energii, ...). Jednostka funkcjonalna wskazuje obiekt referencyjny badania LCA, do którego zostaną znormalizowane wszystkie dane wejściowe i wyjściowe. Zgodnie z normą ISO 14040, głównym celem jednostki funkcjonalnej jest zapewnienie odniesienia, do którego można powiązać przepływy wychodzące i przychodzące, i jest to niezbędne odniesienie umożliwiające porównywalność wyników LCA.

- **granice systemu** ²⁴, niezbędne do określenia, które procesy będą włączone do Systemu lub z niego wyłączone oraz wyznacza, które procesy powinny być objęte analizą;
- **kategorie danych** do zebrania i analizy: co określa możliwość ich zebrania w terenie, zmierzenia, obliczenia, oszacowania, pozyskania z istniejących baz danych. Zwykle można posegregować zebrane dane według 3 kategorii: (i) dane *pierwotne* (z bezpośrednich badań), (ii) *dane wtórne* (zaczepnięte z literatury) oraz (iii) dane *trzeciorzędne* (z szacunków i wartości średnich);
- wymagania dotyczące **jakości danych**: ze spójnością w zakresie czasowym, geograficznym i technologicznym, prawidłową reprezentatywnością i powtarzalnością oraz oczywiście z wiarygodnym źródłem.

INWENTARYZACJA CYKLU ŻYCIA (LCI – LIFE CYCLE INVENTORY)

Analiza LCI jest najbardziej wymagającą fazą badania LCA. Tutaj definiuje się i kwantyfikuje przepływy wejściowe i wyjściowe w cyklu życia systemu poprzez model, który reprezentuje je w najbardziej wiarygodny sposób.

Aby przystąpić do realizacji LCI, warto przyjąć reprezentację w postaci diagramu przepływu procesów ²⁵, za pomocą którego można pokazać elementy systemu, który składa się z sekwencji procesów (pudełek) połączonych przepływami materiałów (strzałkami).

Najbardziej reprezentatywny schemat, obowiązujący dla większości systemów przemysłowych, ma na celu identyfikację głównych procesów środowiskowych oraz interwencji i można go podzielić na siedem sekwencji:

1. **Produkcja główna**: ta sekwencja podkreśla priorytetowy proces wytwarzania produktu; w tej fazie są wyróżnione główne etapy procesu i główne przepływy materiałowe.
2. **Produkcja wtórna lub produkt równoległy**: sekwencja ta odnosi się do procesu wytwarzania produktu, który jest przeprowadzany podczas produkcji produktu głównego.

²⁴ Patrz rozdział 2.5 SYSTEM BOUNDARIES

²⁵ Diagram przepływu to rodzaj diagramu, który przedstawia przepływ pracy lub proces, <https://en.wikipedia.org/wiki/Flowchart>, marzec 2022.

3. **Produkcja materiałów pomocniczych:** faza ta ma na celu rozszerzenie schematu procesu o procesy, które pojawiają się przed, w trakcie i po wytworzeniu produktu; faza ta pozwoli na analizę wydobycia, produkcji i składników surowców, z drugiej strony pokaże wykorzystanie produktu, konsumpcję, recykling lub ponowne wykorzystanie oraz procesy zarządzania odpadami.
4. **Produkcja energii:** ta sekwencja dotyczy możliwości odzyskania energii w postaci ciepła lub energii elektrycznej.
5. **Zużycie energii:** ta sekwencja uwzględnia zużycie energii w wyniku różnych procesów.
6. **Transport:** sekwencja ta dotyczy transportu wykorzystywanego do przemieszczania produktu lub produktu podobnego i dotyczy ilości produktu transportowanego na kilometr.
7. **Przetwarzanie odpadów:** uwzględnia zabiegi, które stosuje się przy przetwarzaniu odpadów i materiałów pomocniczych.

Kiedy proces został nakreślony, można przystąpić do efektywnego zbierania danych. Będą one dwójakiego rodzaju: te odnoszące się do przepływów wejściowych ²⁶ (**input**) oraz te odpowiadające wyjściom ²⁷ (**outputs**). Zebrane dane muszą być ocenione na podstawie takich parametrów jak wiek danych, technologia referencyjna, proces, którego dane dotyczą, metody obliczeniowe stosowane do uzyskania wartości średnich.

Po zebraniu, wszystkie dane muszą zostać skategoryzowane (surowce, energia, transport, ...) i złożone w **tabeli inwentaryzacyjnej**, stanowiącej podstawową podstawę dla kolejnego etapu oceny oddziaływania (LCIA).

OCENA WPLYWU CYKLU ŻYCIA (LCIA)

Etap ten pozwala na określenie potencjalnego wpływu analizowanego systemu na środowisko poprzez powiązanie danych inwentaryzacyjnych z określonymi **kategoriami oddziaływań**, wskazanymi w Tabeli 2.

²⁶ Materiały, transport i energia

²⁷ Produkty i gazy uwalniane do powietrza, wody i gleby

Tabela 2: Główne kategorie wpływu na środowisko

WPLYW NA EKOSYSTEMY	WPLYWY LUDZKIE	WYCZERPANIE ZASOBÓW
Kwaśny deszcz	Czynniki rakotwórcze	Paliwo kopalne
Zmiana klimatu	Zubożenie warstwy ozonowej	Las
Eutrofizacja	Cząstki stałe	Słodka woda
Zmiana sposobu użytkowania gruntów	Smog	Tereny trawiaste
Odpady stałe	Toksyczność	Minerały
Toksyczność		Gleba

Te kategorie wpływu na środowisko można przypisać do trzech głównych obszarów ochrony środowiska, powiązanych z trzema obszarami ochrony:

- Oddziaływanie na ekosystemy
- Oddziaływanie na człowieka
- Wyczerpanie zasobów

A co za tym idzie, można odnieść się do następujących kwestii środowiskowych:

- Potencjalne wyczerpanie surowców.
- Potencjalne wyczerpanie źródeł energii.
- Potencjał globalnego ocieplenia (efekt cieplarniany). (GWP: Global Warming Potential).
- Potencjalne uszczuplenie warstwy ozonowej. (ODP: Ozone Depletion Potential).
- Ekotoksyczność wody i gleby.
- Potencjał zakwaszenia. (AP: Acidification Potential).
- Toksyczność dla ludzi.
- Eutrofizacja. (NP: Nutrifcation Potential).

Oddziaływania mogą utrzymywać się w skali lokalnej, regionalnej lub globalnej i dotyczyć różnych sektorów środowiska, a nie skutków dla zdrowia ludzkiego, poprzez określenie wkładu systemu w energię pierwotną, w efekt cieplarniany, w zmniejszenie

warstwy ozonowej, w zakwaszenie, w eutrofizację, w smog fotochemiczny, w odpady stałe:

ENERGIA PIERWOTNA

Wskaźnik ten uwzględnia zapotrzebowanie na energię pierwotną w całym cyklu życia danego produktu, biorąc pod uwagę np. przemianę materiałów palnych w energię elektryczną. Materiały palne wnoszą zatem do tego wskaźnika swoją zawartość energii pierwotnej. Czynnikiem charakteryzującym jest w tym przypadku wartość opałowa rozważanego materiału.

EFEKT CIEPLARNIANY

Wskaźnik efektu cieplarnianego oblicza się uwzględniając, spośród substancji emitowanych do powietrza, te, które przyczyniają się do zwiększenia potencjału globalnego ocieplenia planety Ziemia.

Masową ilość każdej substancji, obliczoną w całym cyklu życia produktu, mnoży się przez współczynnik wagowy, zwany potencjałem globalnego ocieplenia (GWP). Następnie, dodając wkład poszczególnych substancji, otrzymuje się zagregowaną wartość wskaźnika. Substancje, które przyczyniają się do efektu cieplarnianego to przede wszystkim: CO₂, CH₄, N₂O, CFC, HCFC i HFC. CO₂ jest substancją referencyjną dla tego wskaźnika, tzn. jego współczynnik wagowy jest równy 1, a wartości wskaźnika wyrażone są w kg równoważnika CO₂ [kg CO₂].

ZMNIEJSZENIE WARSTWY OZONOWEJ

Zmniejszenie warstwy ozonowej w stratosferze oblicza się tak jak poprzedni wskaźnik, ale odnosząc się do różnych substancji (CFC, HCFC) i z innym współczynnikiem wagowym, zwanym potencjałem niszczenia ozonu (ODP, Ozone Depletion Potential). Substancją przyjętą jako odniesienie jest w tym przypadku chlor - fluor - karbid [CFC - 11].

ZAKWASZENIE

Wskaźnik zakwaszenia związany jest z emisją do powietrza poszczególnych substancji zakwaszających, takich jak tlenki azotu [NO_x] i tlenki siarki [SO_x]. Substancją

odniesienia jest SO_2 , a współczynnik wagowy nazywany jest potencjałem zakwaszenia [AP, Acidification potential].

EUTROFIZACJA

Wskaźnik ten ocenia efekt eutrofizacji²⁸. Substancjami, które przyczyniają się do zjawiska eutrofizacji są związki oparte na fosforze [P] i azocie [N]. Substancją odniesienia jest fosforan (PO_4), a współczynnik wagowy nosi nazwę Potencjał Odżywiania [NP].

SMOG FOTOCHEMICZNY

Wszystkie te lotne substancje organiczne, które prowadzą do fotochemicznego tworzenia (w obecności promieniowania słonecznego) ozonu troposferycznego, zgrupowane są pod nazwą *smogu letniego*²⁹. Czynnikiem charakteryzującym nazywa się Photochemical Ozone Creation Potential (POCP), a substancją odniesienia jest etylen.

ODPADY STAŁE

Omawiany wskaźnik grupuje wszystkie odpady stałe, które powstają w dowolnej działalności w cyklu życia produktu, np. podczas wytwarzania energii elektrycznej niezbędnej do danego procesu lub podczas produkcji. Dla tego wskaźnika nie ma współczynników charakteryzujących, a każda substancja jest dodawana do pozostałych po prostu poprzez uwzględnienie ilości.

INTERPRETACJA

Dzięki fazie interpretacji możliwe jest zrozumienie wyniku badania, jego kontekstualizacja oraz możliwość wskazania **usprawnienia** systemu poprzez wskazanie komponentów, w których można dokonać zmian w celu zmniejszenia oddziaływania na środowisko całego systemu;

Należy podkreślić, że nawet jeśli faza interpretacji jest związana z (ostatecznym) wynikiem badania, jak wskazano na Rysunku 13, interpretacja danych jest konieczna na każdym etapie metodyki LCA.

²⁸ tj. wzrost stężenia składników odżywczych w środowiskach wodnych

²⁹ Smog jest często klasyfikowany jako smog letni lub smog zimowy. Smog letni związany jest przede wszystkim z fotochemicznym tworzeniem się ozonu. W miesiącach zimowych, kiedy temperatury są chłodniejsze, a inwersje atmosferyczne są powszechne, następuje wzrost zużycia węgla i innych paliw kopalnych do ogrzewania domów i budynków. <https://en.wikipedia.org/wiki/Smog>, marzec 2022

Podczas etapu LCIA konieczne jest połączenie wyników techniczno-środowiskowych dostarczonych przez LCA ze wszystkimi innymi informacjami dotyczącymi badanego produktu; informacjami ekonomiczno-finansowymi i polityczno-społecznymi o produkcji oraz informacjami o zadowoleniu konsumentów i opinii publicznej, w celu znalezienia produktu ekologicznego lub, innymi słowy, w celu podjęcia prawidłowej decyzji o polityce produktowej firmy i programach środowiskowych, które firma zamierza rozwijać w przyszłości.

Należy podkreślić, że LCA, podobnie jak wszystkie metodyki oparte na porównywaniu, nie proponuje rozwiązania absolutnego, ale identyfikuje zbiór alternatyw, spośród których decydenci wybiorą najlepszą ich zdaniem.

Cele tego etapu są następujące:

- Dyskusja i interpretacja wyników.
- Weryfikacja osiągnięcia celów badania (iteracja), jakości danych i ograniczeń systemowych (analiza wrażliwości)
- Porównanie możliwych opcji.

Wyniki muszą być interpretowane i przedstawiane w taki sposób, aby ich percepcja była łatwa do wykorzystania, starając się również przedstawiać scenariusze inne niż rozważany.

2.7 ODNIESIENIA DO ROZDZIAŁU



Podsumowanie

Pod koniec tego rozdziału studenci będą rozumieli następujące pojęcia:

- Zrównoważony rozwój
- Ocena cyklu życia (LCA)
- Aspekt środowiskowy
- Wpływ na środowisko
- Wejścia, wyjścia i procesy
- Kategorie wpływu LCA
- Ślady środowiskowe
- Granice systemu: od kołyski do grobu, od kołyski do bramy, od kołyski do kołyski, od bramy do bramy, od studni do koła
- Fazy LCA: cel i zakres, inwentaryzacja cyklu życia (LCI), ocena wpływu cyklu życia (LCIA), interpretacja



Pytania

- Co oznacza zrównoważony rozwój i trwały rozwój?
- Jakie są różne wymiary zrównoważonego rozwoju i jak można je opisać?
- Zgodnie z terminologią normy ISO 14001, jakie jest znaczenie słów "środowisko"; "aspekt środowiskowy" i "wpływ na środowisko"?
- Jak zdefiniowałbyś "kategorię wpływu"?
- Jakie są główne korzyści z zastosowania LCA?
- Granice systemu: proszę krótko opisać każdą z nich
- Fazy LCA: proszę krótko opisać każdą z nich

Skróty

AP - Potencjał zakwaszenia

CF- Ślad węglowy

CSR - Społeczna Odpowiedzialność Biznesu

EF - ślad ekologiczny

FU - jednostka funkcjonalna

PKB - produkt krajowy brutto

GHG emissions - emisja gazów cieplarnianych

GPI - rzeczywisty wskaźnik postępu

GWP - Global Warming Potential (potencjał tworzenia efektu cieplarnianego)

LCA - ocena cyklu życia

LCC - rachunek kosztów cyklu życia

LCI - inwentaryzacja cyklu życia

LCIA - ocena wpływu cyklu życia

LCSA - zrównoważona ocena cyklu życia

NP - Potencjał odżywczy

ODP - potencjał niszczenia ozonu

OEF - Ślad środowiskowy organizacji

PEF- Ślad środowiskowy produktu

SDGs - Cele Zrównoważonego Rozwoju

SLCA - Społeczna ocena cyklu życia

WCED - Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju

WF - ślad wodny

POCP - Potencjał fotochemicznego tworzenia ozonu

3. LCA W MOTORYZACJI: POJAZDY NA PALIWO KONWENCJONALNE

3. LCA W MOTORYZACJI: POJAZDY NA PALIWO KONWENCJONALNE	40
3.1 Silniki spalinowe	43
Rozwój - Silniki spalinowe	44
3.2 Europejskie normy emisji dla pojazdów drogowych	49
Przepisy dotyczące emisji dla samochodów osobowych i lekkich pojazdów użytkowych	50
Przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń przez samochody ciężarowe i autobusy	52
3.3 Metody pomiaru zużycia paliwa	55
3.4 Ocena cyklu życia pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi - studium przypadku	62
Wyniki oceny śladu węglowego pojazdów napędzanych paliwem konwencjonalnym	65
Wyniki oceny śladu wodnego pojazdów napędzanych paliwem konwencjonalnym	67
Wyniki oceny śladu zasobowego pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi	68
3.5 Porównanie indywidualnego i publicznego transportu pasażerskiego	69
3.6 Odniesienia do rozdziału	79



Czas na naukę 120 minut



Cele

JAKĄ WIEDZĘ ZDOBEDĄ STUDENCI:

Po tych zajęciach studenci będą potrafili:

- Zdobyć lepszej wiedzy na temat rozwoju silników spalinowych oraz oceny cyklu życia pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi
- Poznanie różnych zasad działania silników spalinowych benzynowych, wysokoprężnych i alternatywnych, metod pomiaru zużycia paliwa, determinantów oceny różnych śladów pojazdów z silnikami spalinowymi, a także wyników rzeczywistych pomiarów zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych w indywidualnym i publicznym transporcie pasażerskim
- Zrozumienie europejskich norm emisji dla pojazdów drogowych

JAK ROZDZIAŁ POMOŻE W ZROZUMIENIU TEMATU:

W pierwszej kolejności studenci zapoznają się z teoretycznymi informacjami dotyczącymi silników spalinowych poprzez opis ich rozwoju oraz wyjaśnienie zasad ich działania. Przedstawione zostaną aktualnie dopuszczalne limity emisji spalin, które wskazują na negatywne skutki pracy silników spalinowych, w aktualnie obowiązujących europejskich przepisach dotyczących emisji spalin dla samochodów osobowych, lekkich samochodów dostawczych, samochodów ciężarowych i autobusów. Studenci zdobędą również wiedzę na temat różnych metod pomiaru zużycia paliwa dzięki teoretycznemu opisowi każdej z metod uzupełnionemu o graficzne przedstawienie cykli jezdnych. Ogólne informacje na temat oceny cyklu życia są następnie zastosowane do zagadnienia pojazdów

zasilanych paliwem konwencjonalnym, co da studentom wiedzę na temat praktycznego wykorzystania oceny cyklu życia. Na koniec wiedza teoretyczna poparta jest przykładami wyników konkretnych pomiarów zużycia i emisji gazów cieplarnianych samochodu osobowego, autobusu i pociągu w rzeczywistej eksploatacji.

JAKIE UMIEJĘTNOŚCI ROZWINIE ROZDZIAŁ

Rozdział gwarantuje nabycie umiejętności technicznych pozwalających lepiej ocenić zalety lub wady korzystania z określonego środka transportu (pojazdu) na podstawie jego właściwości technicznych i rodzaju paliwa. Rozdział kształtuje umiejętności i wiedzę jak chronić środowisko naturalne w zakresie zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych.

GDZIE STUDENCI MOGĄ WYKORZYSTAĆ WIEDZĘ

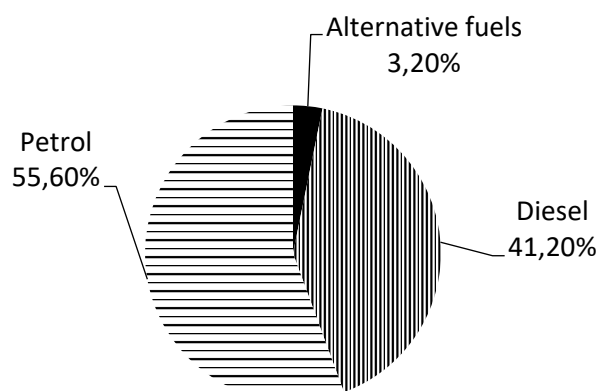
Student potrafi wykorzystać wiedzę w procesach decyzyjnych przy ocenie wyboru odpowiedniego środka transportu i paliwa, z uwzględnieniem ochrony środowiska i zachowania zrównoważonej mobilności.



Teoria

3.1 SILNIKI SPALINOWE

Według Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Samochodów ponad połowa wszystkich europejskich samochodów osobowych (55,6%) napędzana jest benzyną³⁰. Rysunek 14 przedstawia podział samochodów osobowych użytkowanych w Unii Europejskiej ze względu na rodzaje paliwa. Samochody osobowe z małymi silnikami benzynowymi są bardziej powszechne niż ze średnimi i dużymi silnikami w większości państw członkowskich.

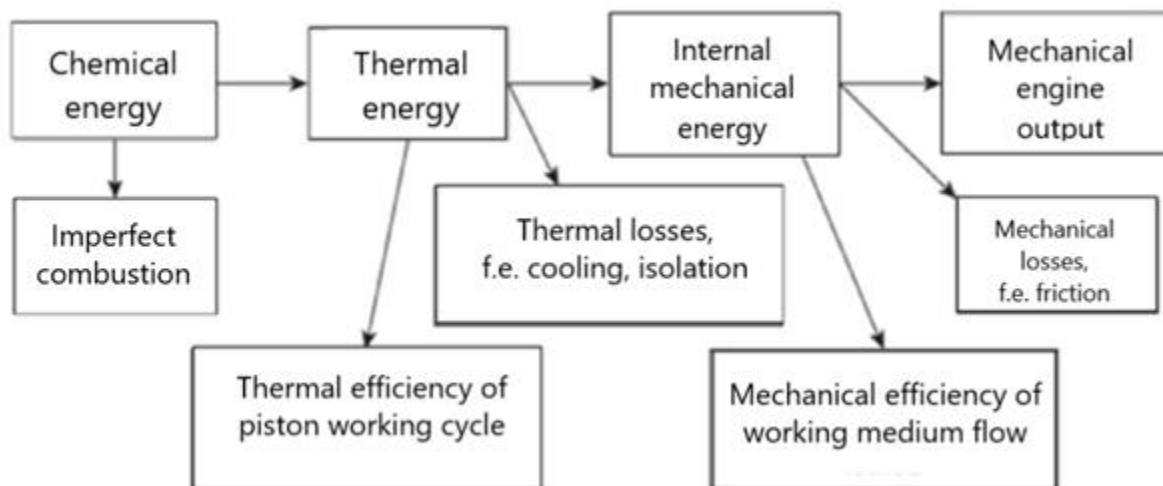


Rysunek 14: Samochody osobowe użytkowane w Unii Europejskiej według rodzaju paliwa ³⁰

Podczas spalania paliwa energia chemiczna zamieniana jest na pracę mechaniczną. Podczas spalania w silniku zachodzi reakcja chemiczna, w wyniku której powstaje energia cieplna, która dzięki zastosowaniu odpowiedniego czynnika gazowego zamienia wspomnianą energię chemiczną na pracę mechaniczną. Czynniki gazowe wykorzystują energię na dwa sposoby - 1. energia potencjalna tłokowych silników spalinowych (ciśnienie), 2. energia kinetyczna turbin spalinowych (aktualna prędkość przepływu) ³¹.

³⁰Europejskie Stowarzyszenie Producentów Samochodów (ACEA). Dostępne pod adresem <https://www.acea.be>. Ostatni dostęp luty 2022.

³¹Hromádka J., Höning V., Miler P. Spalovací motory, Praha, Grada, 2011, 296 s.



Rysunek 15 Schemat silnika spalinowego i konwersji wytworzonej energii

Rysunek 15 przedstawia schemat kolejno powstających energii w silnikach spalinowych, które wchodzi w skład paliwa. Energia chemiczna zamieniana jest przez silnik spalinowy na pracę mechaniczną.

ROZWÓJ SILNIKÓW SPALINOWYCH

Silniki spalinowe zaczęły się rozwijać po odkryciu pierwszych środków transportu, kiedy ludzkość zdała sobie sprawę, że pojazdy te ułatwiają im życie i pracę. Rozwój silników spalinowych wiąże się również z negatywnym wpływem na przyrodę, takim jak zużycie surowców mineralnych, zanieczyszczenie środowiska, efekt cieplarniany, kwaśne deszcze i niszczenie warstwy ozonowej.

SILNIK BENZYNOWY

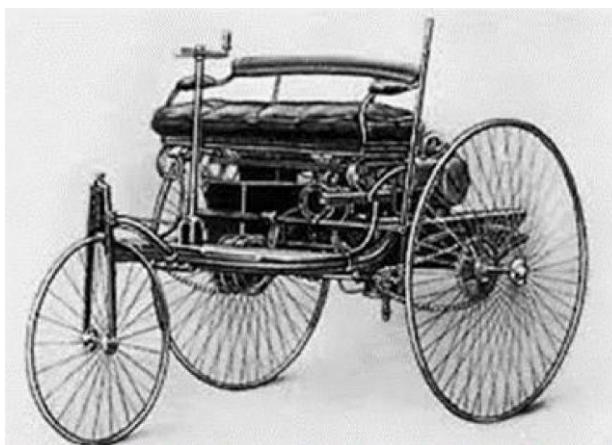
W 1786 roku francuski wynalazca Phillipe Lebon złożył wniosek o patent na silnik napędzany gazem. Do dziś nie jest znana budowa takiego silnika. W 1807 roku wynalazca Issac de Rival uzyskał patent na pojazd napędzany gazowym silnikiem spalinowym, który działa na zasadzie mieszania wybuchowej mieszanki gazów z powietrzem zapalonym pod tłokiem przez iskrę elektryczną. Później twórca J.J. Etienne Lenoir opatentował pierwszy użytkowy silnik gazowy, w 1860 roku stworzył silnik dwusuwowy uruchamiany iskrą elektryczną. Również w latach 1860 - 1863 wynalazca ten jako pierwszy stworzył silnik zasilany paliwem płynnym - benzyną. K. Benz w 1879 roku otrzymał również patent na

dwusuwowy gazowy silnik spalinowy, dzięki któremu powstały pojazdy z silnikiem gazowym własnej konstrukcji³².

Rysunek 16 przedstawia pojazd trójkołowy napędzany czterosuwowym silnikiem benzynowym, który działa podobnie jak czterosuwowy silnik wysokopięny, a główna różnica polega na tym, że do cylindrów zasysane jest czyste powietrze, a po jego podgrzaniu i sprężeniu do cylindrów wtryskiwany jest olej napędowy.

Zasada działania silnika czterosuwowego³³:

1. Tłok przesuwa się w dół, zwiększając przestrzeń nad tłokiem i otwierając zawory ssące. W wyniku tego ciśnienie atmosferyczne jest wyższe od ciśnienia nad tłokiem, który oprócz powietrza dostarcza do cylindrów również paliwo. Paliwo + powietrze = mieszanka palna
2. Tłok porusza się do góry i spręża mieszankę, która jest podgrzewana, a efektem tego jest wzrost ciśnienia. Wysokie ciśnienie i temperatura sprzyjają odparowaniu paliwa z wymieszaniem powietrzem, przez co mieszanka staje się bardziej wybuchowa.
3. W kolejnej fazie następuje proces spalania, w którym iskra na świecy zapłonowej przeskakuje, a następnie zapala sprężoną mieszankę. Po zapłonie mieszanka rozszerza się, a tłok porusza się w dół.
4. Zawory wydechowe otwierają się, aby pomóc wydostać się spalinom z cylindra.



Rysunek 16 K. Benz - pierwszy pojazd trójkołowy napędzany silnikiem czterosuwowym³⁴

³²Rauscher J. Zoznam použitých pojmov zo spaľovacích motorov. Bratislava 2005
<<http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Spalovaci%20motory%202005.pdf>>.

³³<https://autoride.sk/zazihovy-motor-jeho-funkcia-v-skratke>

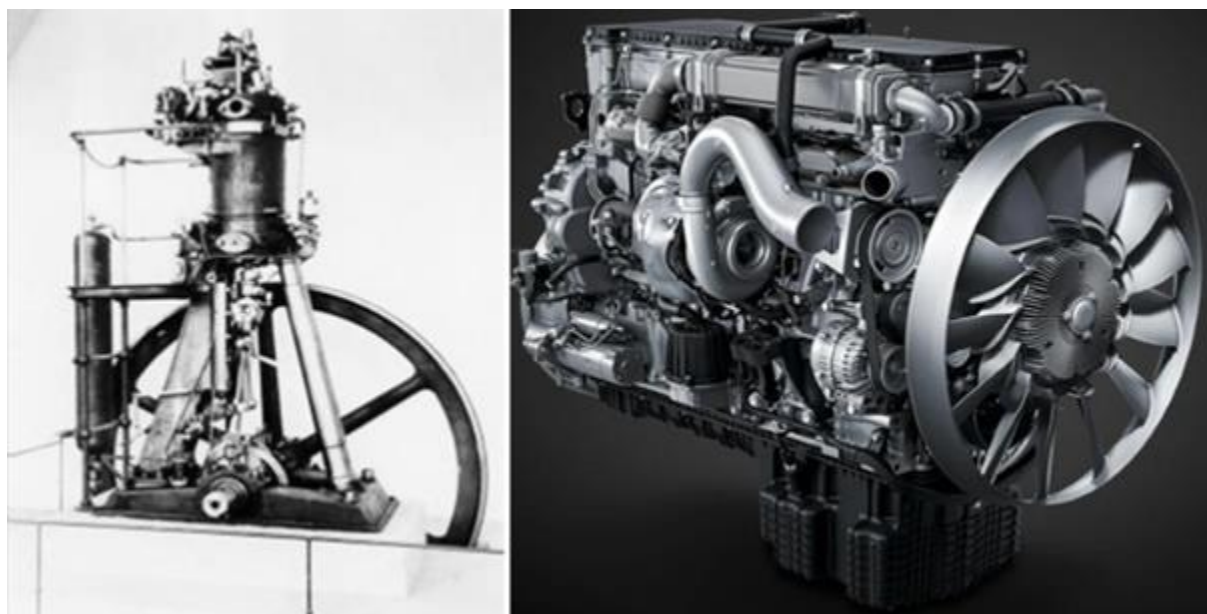
³⁴<https://www.superstock.com/asset/transport-transportation-car-vehicle-variants-benz-first-three-wheeled-motor/4430-4122>

Zalety silników benzynowych:

1. prostsza i tańsza konstrukcja
2. silniki benzynowe mają większą moc
3. bardziej odpowiednie dla krótszych tras, ponieważ czas uzyskania temperatury roboczej jest znacznie niższy.

SILNIK DIESLA

W 1892 roku Rudolf Diesel uzyskał patent na silnik Diesla. Stworzył prototyp czterosuwowego silnika wykorzystującego MAN zasilany rozpylonym paliwem naftowym do cylindra za pomocą sprężonego powietrza. Był to silnik o zapłonie samoczynnym. Silniki Diesla były w przeszłości uważane za silniki ekonomiczne. Dziś silniki te są ekonomiczne i mocne ³².



Rysunek 17. Historyczne i obecne silniki Diesla ³⁵

Zasada działania ³⁶ :

1. Wał korbowy obraca się od 0° do 180°, jest to faza, w której powietrze dostaje się do cylindra przez otwarty zawór.

35

https://www.reddit.com/r/MechanicalEngineering/comments/ojnpcp/rudolf_diesel_who_invented_the_diesel_engine/

³⁶<https://www.autodoc.sk/info/dieselovy-motor-zaklady>

2. Wał korbowy obraca się od 180° do 360° , jest to faza, w której tłok powoduje 16 - 25 krotne sprężenie powietrza w komorze i osiągnięcie temperatury $700 - 900^\circ\text{C}$.
3. Wał korbowy obraca się od 360° do 540° i wtryskuje paliwo, które następnie zostaje zapalone. W wyniku spalania powstają substancje, które umożliwiają ruch tłoka w dół.
4. Wał korbowy obraca się o 540° do 720° od pozycji . Tłok przesuwa się do góry, spalone gazy są odprowadzane.

Zalety silników Diesla ³⁶:

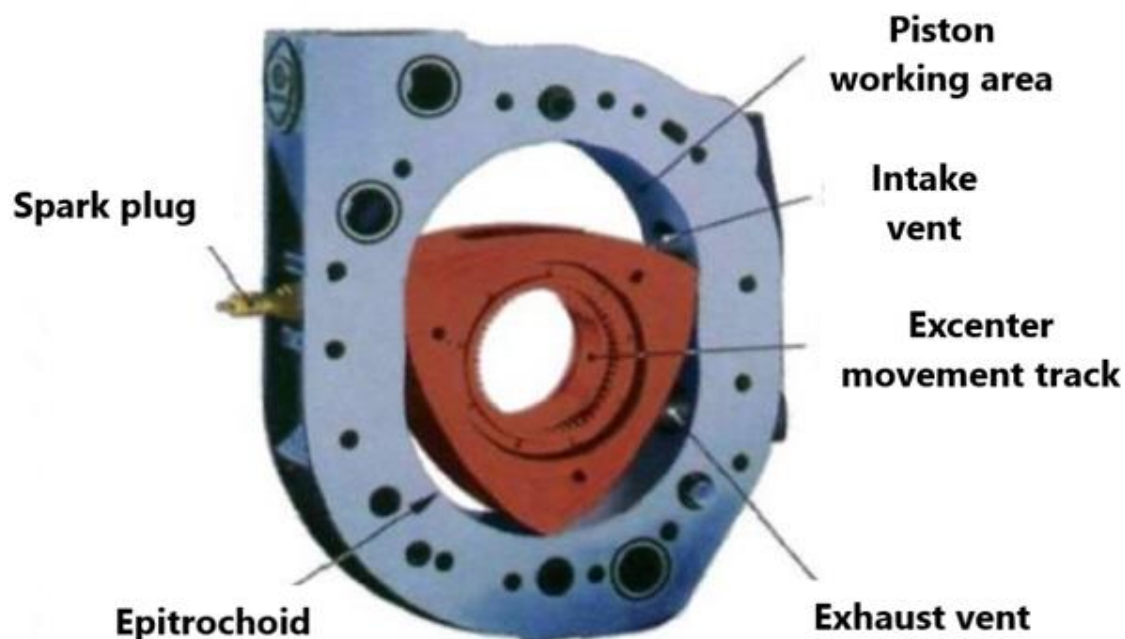
1. żywotność silnika wysokoprężnego jest dwukrotnie większa niż silnika benzynowego,
2. spalają średnio o 30 % mniej paliwa w porównaniu do silnika benzynowego,
3. Silnik Diesla spala paliwo natychmiast po uruchomieniu, co gwarantuje wysoki moment obrotowy przy niższych prędkościach obrotowych.

ALTERNATYWNE SILNIKI SPALINOWE

Pomimo sprawdzonych konwencjonalnych tłokowych silników spalinowych powstały również alternatywne silniki spalinowe, które jednak nie okazały się w przyszłości ekologicznymi i ekonomicznymi silnikami, kończąc tym samym ich rozwój³².

Silniki z tłokiem obrotowym

Silnik z tłokiem obrotowym, zwany również silnikiem Wankla, jako jedyny wszedł do produkcji seryjnej z jednym typem silnika. Silnik ten został po raz pierwszy zastosowany w samochodzie NSU Prinz, a następnie wykorzystany w produkcji samochodu sportowego Mazda RX-8 [³²].



Rysunek 18:Silnik Wankla [37]

Rysunek 18 wymienia poszczególne części silnika Wankla. Silnik składa się ze świecy zapłonowej, która służy do zapłonu za pomocą iskry. Składa się również z powierzchni roboczej szafki, kanału ssącego, orbity mimośrodowej, kanału wydechowego i epitrochoidy.

Silnik Stirlinga

Robert Stirling stworzył w 1816 r. tłokowy silnik cieplny, w którym energię dla cyklu pracy pozyskuje z zewnętrznego źródła. Silniki Stirlinga nie należały do najkorzystniejszych pod względem ceny i konstrukcji, jednak ich zaletą w stosunku do innych silników był niski poziom hałasu i niska emisja w spalinach. Jest to silnik o spalaniu zewnętrznym ³¹.

Turbina spalinowa

Turbina spalinowa znalazła zastosowanie głównie w samolotach wojskowych i transportowych, ale także w śmigłowcach, lokomotywach czy transporcie morskim. Wszystkie obecnie wymienione środki są napędzane przez turbinę spalinową. W transporcie drogowym turbina spalinowa nie miała większego zastosowania. Jediną marką samochodów osobowych, w których zastosowano turbinę spalinową był ROVER. Obecnie koncerny samochodowe starają się zbadać możliwość zmniejszenia zużycia paliwa

³⁷<http://www.autorubik.sk/clanky/wankelov-motor/>

poprzez podniesienie temperatury spalin przed turbiną. Temperatura ta powinna wzrosnąć do 1 500 °C, co jest możliwe tylko przy zastosowaniu materiałów ceramicznych, np. na łopatkach wirnika turbiny³¹.

Zaletą silników spalinowych jest szybkie uruchomienie, możliwość zaprojektowania ich do spalania różnych paliw w różnych wielkościach i do różnych celów, silniki na paliwa płynne osiągają niskie zużycie paliwa, a tłokowe silniki spalinowe mają wysoką konwersję energii. Do wad silników spalinowych zalicza się przede wszystkim niekorzystny wpływ na środowisko naturalne, zdrowie ludzi i innych organizmów, wymagają one obcego źródła do uruchomienia, a także silniki te mają ograniczoną żywotność. Silniki spalinowe są również poważnym źródłem emisji hałasu³⁴.

3.2 EUROPEJSKIE NORMY EMISJI DLA POJAZDÓW DROGOWYCH

Unia Europejska stworzyła dyrektywy WE/EWG, które obowiązują wszystkie europejskie państwa członkowskie. Później dyrektywy zostały zmienione na rozporządzenia unijne.

Dzielią się one na dwie podstawowe grupy:

1. Przepisy dotyczące emisji dla samochodów osobowych i lekkich samochodów dostawczych (EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4, EURO 5, EURO 6),
2. Przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń przez samochody ciężarowe i autobusy (EURO I, EURO II, EURO III, EURO IV, EURO V, EURO VI).

Pojazdy są podzielone według wagi, jeśli waga wynosi do 2 610 kg, to jest to pierwsza grupa. Waga powyżej 2 610 kg, to jest druga grupa pojazdów. Europejskie limity emisji są ustalone dla silników wysokoprężnych (diesel), ale także dla silników benzynowych (LPG, benzyna, gaz ziemny itp.). Normy emisji CO dla silników Diesla są surowsze, wartości NO_x są wyższe. W fazie EURO 4 silniki z zapłonem iskrowym nie muszą być poddawane pomiarom cząstek stałych. W fazach EURO 5, 6 wprowadzona jest masa emisji cząstek stałych. Przepisy dotyczące emisji regulują maksymalną ilość substancji szkodliwych w spalinach odprowadzanych z silników.

Do emisji regulowanych należą:

1. Pył zawieszony (PM) - powstaje tylko na silnikach Diesla, jest to węgiel, popiół, sadza, pozostałości po niespalonym oleju lub paliwie,

2. Tlenki azotu (NO_x) - powstaje w wyniku utleniania azotu dodanego do komory spalania wraz z tlenem przeznaczonym do utleniania paliwa lub tlenem zawartym z paliw,
3. Węglowodory (HC) - powstają z paliwa w złych warunkach utleniania, mierzone również jako THC lub NMHC,
4. Tlenek węgla (CO) - powstaje w wyniku niedoskonałego spalania, gdy w mieszance palnej brakuje tlenu.

PRZEPISY DOTYCZĄCE EMISJI DLA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH I LEKKICH POJAZDÓW DOSTAWCZYCH

Tabela 3: Wartości graniczne emisji Euro 5

		Waga referencyjna (RW) (kg)	Wartości graniczne					
			Masa tlenu węgla (CO)		Masa wszystkich węglowodorów (THC)		Masa węglowodorów niemietanowych (NMHC)	
			L1 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)		L2 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)		L3 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)	
Kategoria	Klasa		PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	-	Wszystkie	1000	500	100	-	68	-
N1	I	$\text{RM}\leq 1305$	1000	500	100	-	68	-
	II	$1305<\text{RM}\leq 1760$	1810	630	130	-	90	-
	III	$1760<\text{RM}$	2270	740	160	-	108	-
N2			2270	740	160	-	108	-
		Waga referencyjna (RW) (kg)	Masa tlenu azotu (NO_x)		Suma wszystkich wag (THC+ NO_x)		Masa cząstek stałych (PM)	
			L4 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)		L2+L4 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)		L5 ($\text{mg}\cdot\text{km}^{-1}$)	
			PI	CI	PI	CI	PI (2)	CI
M	-	Wszystkie	60	180	-	230	5	5
N1	I	$\text{RM}\leq 1305$	60	180	-	230	5	5
	II	$1305<\text{RM}\leq 1760$	75	235	-	295	5	5
	III	$1760<\text{RM}$	82	280	-	350	5	5
N2			82	280	-	350	5	5

Źródło ³⁸ (2) Normy masy cząstek stałych dla silników z zapłonem iskrowym dotyczą tylko pojazdów wyposażonych w silniki z bezpośrednim wtryskiem.

PI = zapłon iskrowy, CI = zapłon wysokoprężny

Limity emisji zostały po raz pierwszy uregulowane dyrektywą 70/220/EWG z 2004 r., zastąpioną następnie Rozporządzeniem WE 715/2007 z 2007 r. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/631 z dnia 17 kwietnia 2019 r. dotyczy

nowych samochodów osobowych i nowych pojazdów użytkowych, nowych norm emisji i tym samym zastępuje Rozporządzenia (WE) nr 443/2009 i (UE) nr 510/2011 (PARLAMENT EUROPEJSKI I RADA UNII EUROPEJSKIEJ, 2019).

Rozporządzenie (UE) 2019/631 ma na celu wypełnienie postanowień Porozumienia Paryskiego na lata 2021 - 2030, zapewniając bardziej ekologiczny transport drogowy, ograniczając wysoką emisję, a tym samym zmniejszając emisję gazów cieplarnianych. Porozumienie Paryskie określa limity emisji CO₂ dla nowych samochodów osobowych i nowych lekkich samochodów dostawczych. Porozumienie Paryskie ma na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 30 % do 2030 roku w porównaniu z rokiem 2005 [³⁸].

- EURO 1 (1993) - wprowadzone dyrektywą 91/441/EWG, dalej zmienioną 93/59/EWG,
- EURO 2 (1996) - wprowadzone dyrektywą 94/12/WE, dodatkowo zmieniona dyrektywą 96/69/WE,
- EURO 3/4 (2000/2005) - wprowadzone dyrektywą 98/69/WE, dodatkowo zmienione dyrektywą 2002/80/WE,
- EURO 5/6 (2009/2014) - wprowadzone rozporządzeniem WE 715/2007 oraz rozporządzeniem wykonawczym WE 692/2008.

Norma Euro 5 wprowadziła jako pierwszy standard filtry cząstek stałych (DPF/FAP) dla wszystkich nowych pojazdów z silnikiem Diesla. DPF/FAP to filtr montowany w układzie wydechowym i uzupełniany przez katalizator, którego zadaniem jest wychwytywanie cząstek stałych do 99 %.

Aby spełnić nowe normy emisji Euro 6, niektórzy producenci wprowadzili selektywną redukcję katalityczną, w której AdBlue jest wtryskiwany do spalin silnika Diesla.

³⁸EUR - Lex, oficjalna strona internetowa Unii Europejskiej. Dostępne pod adresem <https://eur-lex.europa.eu>, ostatni dostęp luty 2022.

Tabela 4: Wartości graniczne emisji Euro 6

		Waga referencyjna (RW) (kg)	Wartości graniczne					
			Masa tlenu węgla (CO)		Masa wszystkich węglowodorów		Masa węglowodorów niemetanowych (NMHC)	
			L1 (mg·km ⁻¹)		L2 (mg·km ⁻¹)		L3 (mg·km ⁻¹)	
Kategoria	Klasa		PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	-	Wszystkie	1 000	500	100	-	68	-
N1	I		1 000	500	100	-	68	-
	II		1 810	630	130	-	90	-
	III		2 270	740	160	-	108	-
N2			2 270	740	160	-	108	-
		Waga referencyjna (RW) (kg)	Masa tlenu azotu (NO _x)		Suma wszystkich wag (THC+NO _x)		Masa cząstek stałych (PM)	
			L4 (mg·km ⁻¹)		L2+L4 (mg·km ⁻¹)		L5 (mg·km ⁻¹)	
			Kategoria	Klasa		PI	CI	PI
M	-	Wszystkie	60	80	-	170	5	5
N1	I		60	80	-	170	5	5
	II		75	105	-	195	5	5
	III		82	125	-	215	5	5
N2			82	125	-	215	5	5

Źródło³⁸, (4) Normy masy cząstek stałych dla silników z zapłonem iskrowym dotyczą tylko pojazdów wyposażonych w silniki z bezpośrednim wtryskiem.

PI = zapłon iskrowy, CI = zapłon wysokoprężny

PRZEPISY DOTYCZĄCE EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ PRZEZ CIĘŻARÓWKI I AUTOBUSY

Przepisy dotyczące emisji określają, że pojazdy muszą spełniać limity emisji w całym okresie eksploatacji pojazdu, w zależności od kategorii pojazdu.

Tabela 5. Normy EURO 0, I, II, III, IV, V, EEV

Klasa	Rok produkcji / Data pierwszej rejestracji
EURO 0, I, II	1992, <85kW
	1992, >85kW
	1996.10
	1998.10
EURO III	1999.10 EEV
	2000.10
EURO IV, V, EEV	2005.10
	2008.10
	2013.01

Źródło ³⁹

Norma EURO V określa tzw. ulepszony pojazd, który powinien być bardziej przyjazny dla środowiska oznaczany jako EEV. Klasa emisji EURO 0 przeznaczona jest dla klasy emisji, której nie możemy określić na podstawie tabeli.

Jeżeli nie jest możliwe określenie klasy emisji pojazdu na podstawie świadectwa technicznego lub dowodu rejestracyjnego itp., klasa emisji jest określana zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej na podstawie oznaczonego parametru w świadectwie technicznym lub dowodzie rejestracyjnym pojazdu. "Emisja ES/EHK" ³⁹.

Tabela 6: Okres eksploatacji pojazdu

Kategoria pojazdu	Scena	
	Euro IV-V	Euro VI
M ₁ N ₁ M ₂	100 000 km / 5 lat	160 000 km / 5 lat
N ₂ N ₃ ≤16 t M ₃ klasa I, klasa II, klasa A i klasa B ≤7,5 t	200 000 km / 6 lat	300 000 km / 6 lat
N ₃ >16 t M ₃ klasa III i klasa B >7,5 t	500 000 km / 7 lat	700 000 km / 7 lat

³⁹Określenie klasy emisji. Dostępne na stronie https://www.emyto.sk/files/2017-03/SVOP_03_Emisna_trieda_v4.0_svk.pdf. Ostatni dostęp: luty 2022 r.

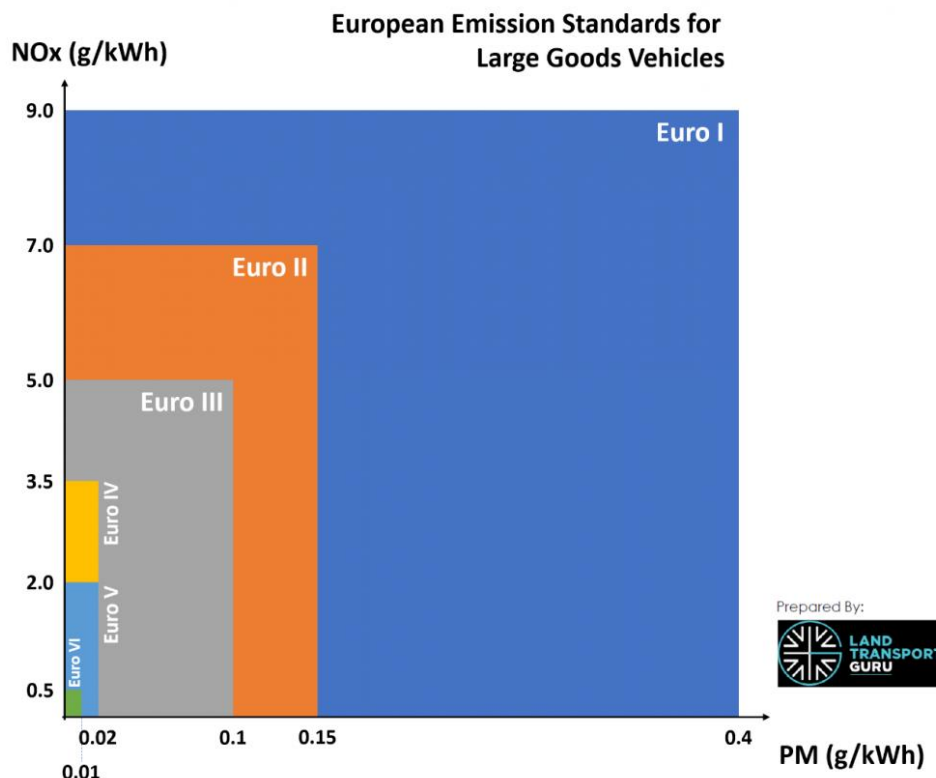
Kategoria pojazdu	Scena	
	Euro IV-V	Euro VI
M ₁ N ₁ M ₂	100 000 km / 5 lat	160 000 km / 5 lat
N ₂ N ₃ ≤16 t M ₃ klasa I, klasa II, klasa A i klasa B ≤7,5 t	200 000 km / 6 lat	300 000 km / 6 lat
Wyjaśnienia: klasa I - autobus miejski (>22 miejsca) klasa II - autobus regionalny (>22 miejsca) klasa III - autokar (>22 miejsca) klasa A – autobus miejski (≤22 miejsca) klasa B – autokar (≤22 miejsca)		

Table 6 przedstawia okres eksploatacji każdego z pojazdów dla prawidłowej emisji.

Ograniczenie emisji spalin jest uregulowane w najbardziej szczegółowej regulacji emisji spalin EURO VI. Reguluje je zwłaszcza:

- Wprowadzenie limitu emisji amoniaku,
- Wdrożenie limitu dla pyłu zawieszonego, co doprowadzi do zmniejszenia jego ilości nawet o 95 %,
- Wprowadzenie norm emisji dla Europy, Ameryki Północnej i Japonii,
- Rozszerzenie wymogów dotyczących emisji w odniesieniu do okresu użytkowania do 700 000 km lub 7 lat dla najcięższych pojazdów i tym podobnych.

Rysunek 19 przedstawia porównanie regulacji emisji EURO I-VI oraz zmniejszenie limitów emisji. EURO VI to znaczna redukcja tlenków azotu i cząstek stałych, a te zanieczyszczenia są nieproporcjonalnie współzależne. Oznacza to, że im mniej cząstek stałych, tym więcej tlenków azotu.

Rysunek 19: Recepta EURO I - VI⁴⁰

3.3 METODY POMIARU ZUŻYCIA PALIWA

Przy określaniu zużycia paliwa należy kierować się metodyką, która określa procedurę i warunki pomiaru. Powinna ona być jak najdokładniejsza i wyrażać zużycie paliwa przez pojazd w sposób jak najbardziej obiektywny. Starając się zapewnić wymagane wyniki pomiarów, stworzono kilka typów, które można podzielić:

1. w zależności od miejsca wykonania:
 - a) zewnętrzne - testy na prawo jazdy,
 - b) wewnątrz - badania dynamometryczne;
2. w zależności od trybu pracy pojazdu:
 - a) zdefiniowane tryby pracy,
 - b) normalne działanie pojazdu;

⁴⁰ Microsoft Bing, Images, dostępne pod adresem

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=fNYZb54n&id=B6F69E329823B1846872ED149E1FB1B4B5E655A&thid=OIP.fNYZb54n7xhA1zplKJxAAHaGA&mediaurl=https%3A%2F%2Flantransportguru.net%2Fweb%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F02%2FNOx-PM-Graph-for-Euro-I-to-VI-1024x830.png&cdnurl=https%3A%2F%2Fth.bing.com%2Fth%2Fid%2FR.7cd6196f9e27ef1840d73a6528927100%3Frik%3DWMVeSxv74UnR7Q%26pid%3DImgRaw%26r%3D0&exph=830&expw=1024&q=reduction+of+NOx+by+HGV+emission+standards&simid=608027649944589771&form=IRPRST&ck=DE5E86C463D10ECE80DC16DF16AB62CD&selectedindex=0&ajaxhist=0&ajaxserp=0&vt=0&sim=11>

Ostatni dostęp w lipcu 2022.

3. zgodnie z metodą określania ilości zużytego paliwa:
 - a) wolumetryczne (możliwe do wykonania w laboratoriach i na zewnątrz),
 - b) wagowo (w większości przypadków podlega warunkom laboratoryjnym).

POMIARY ZEWNĘTRZNE I WEWNĘTRZNE

Egzaminy na prawo jazdy

Ten rodzaj testu wykonywany jest na drodze lub torze testowym. Jest to badanie, w którym symulowane są warunki eksploatacji. Opory działające na pojazd mają charakter rzeczywisty, dlatego konieczne jest dobranie odpowiedniej procedury pomiarowej, tak aby jak najbardziej zbliżyć się do wymaganych warunków pracy.

Badania na dynamometrze

Testy na dynamometrze są substytutem testów jezdnych i są wykonywane w przypadku braku odpowiedniego toru testowego lub w przypadku konieczności wykonania dużej ilości pomiarów. Dlatego też jest on wykorzystywany przez współczesnych producentów samochodów. Podczas tego pomiaru pojazd jest umieszczany na cylindrach oporowych, które są ustawione tak, aby symulować obliczony wcześniej teoretyczny opór jazdy pojazdu. Następnie pomiar wykonywany jest z udziałem pojazdu, który musi pokonać siłę oporu siłowników i tym samym zużywa zmierzoną ilość paliwa. Są to mniej dokładne wyniki pomiarów niż te, które uzyskuje się w wyniku pomiarów w testach jezdnych.

POMIAR ZUŻYCIA TRYBU PRACY

Tryby pracy pomiaru zużycia są przeprowadzane według z góry ustalonych warunków, tak aby na podstawie wyników można było określić ilościowo zużycie i indywidualny wpływ na nie. Są to najczęściej pewne tryby pracy, które stanowią "punkty", na których można oprzeć porównania. Najczęściej jest to pomiar zużycia przy różnych prędkościach. Dla samochodów ciężarowych może to być na przykład prędkość $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ i tym podobne. Należy jednak określić takie warunki, jak nachylenie drogi, na której dokonywany jest pomiar oraz rzeczywista masa pojazdu i ładunku. Muszą one być przestrzegane podczas każdego pomiaru, aby uzyskać porównywalne wyniki.

CYKLE JEZDNE W EUROPIE

Cykle jezdne określają zależność prędkości pojazdu od czasu. Są one tworzone przez różne kraje i organizacje w celu dostosowania do ruchu miejskiego lub pozamiejskiego.

Cykle jazdy można podzielić z kilku punktów widzenia:

- w zależności od przepisów:
 - legislacyjne cykle jezdne
 - cykle napędowe badań i rozwoju,
- w zakresie kształtu - zależności prędkości od czasu:
 - o rzeczywistych cyklach jazdy,
 - wielokątny.

Istnieje szereg różnic pomiędzy cyklami jazdy, które wpływają na ilość wytwarzanych zanieczyszczeń i zużycie paliwa. Cykle jezdne opracowane w Europie są wielokątne, co oznacza, że składają się z ciągłych przyspieszeń, opóźnień i prędkości.

Cykle jazdy w Europie:

- ECE 15,
- EUDC,
- EUDCL,
- NEDC,
- WLTP.

Dyrektywa 70/220/WE określa procedurę, według której przeprowadza się badania emisji zanieczyszczeń przez silniki pojazdów o zapłonie samoczynnym. Niniejsza dyrektywa jest zgodna z Regulaminem 83 EKG ONZ - Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w zakresie emisji zanieczyszczeń w zależności od zapotrzebowania silnika na paliwo.

EKG 15

Jeżdżący cykl miejski składający się z czterech identycznych odcinków. Każdy odcinek ma długość 1,013 km, a pojazd pokonuje go w czasie 195 s. Całkowity dystans pokonany podczas cyklu wynosi 4,052 km w czasie 780 s. Pojazd przyspiesza ze stanu spoczynku do stałej prędkości 15, 32 i 50 km·h⁻¹, przy czym średnia prędkość wynosi 19 km·h⁻¹.

EUDC

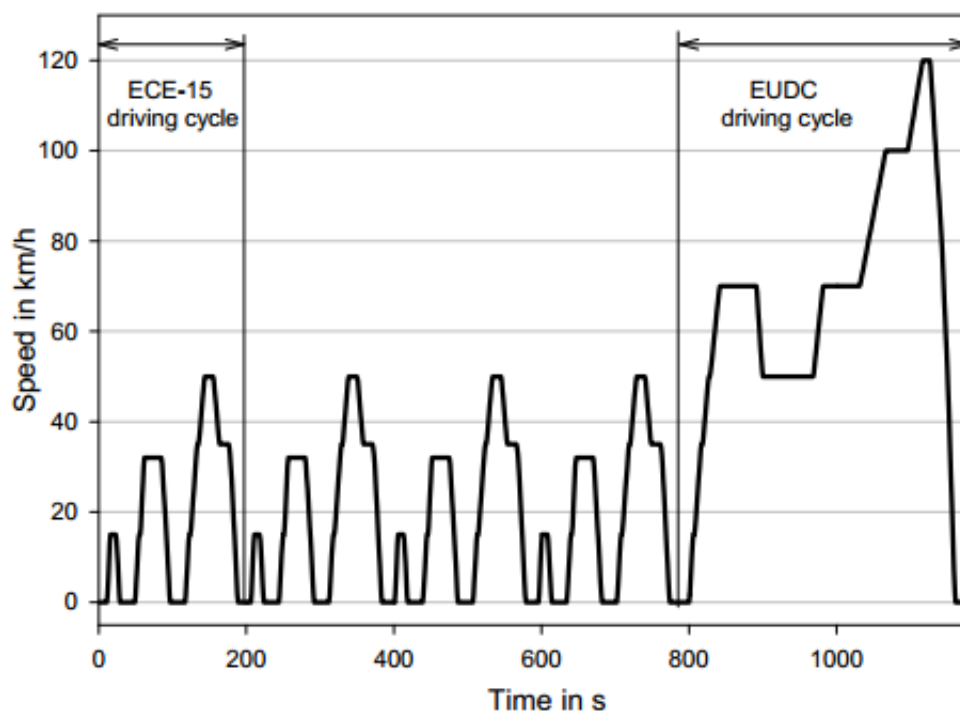
Cykl ten jest cyklem pozamiejskim trwającym 400 s, podczas którego pojazd pokonuje 6,955 km, osiągając średnią prędkość $62,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Prędkość maksymalna w tym cyklu wynosi $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Podczas tego cyklu pojazd przyspiesza do $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, następnie zwalnia do $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i ponownie przyspiesza do 70, 100 i $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

EUDCL

Jest to cykl podobny do EUDC, z tym że dotyczy pojazdów silnikowych o mniejszej mocy silnika. Maksymalna prędkość osiągnięta w tym cyklu jazdy wynosi $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, a średnia prędkość $59,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

NEDC

Ten cykl jazdy składa się z czterech części cyklu miejskiego ECE 15 i jednej części pozamiejskiej cyklu EUDC. Całkowity czas trwania tego cyklu wynosi 1 180 s. W tym czasie pojazd pokona 11,007 km. Średnia prędkość pojazdu podczas cyklu jazdy wynosi $33,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pojazd startuje z silnikiem o temperaturze $20 \text{ }^\circ\text{C}$ - $30 \text{ }^\circ\text{C}$, a pojazd musi mieć przejechane co najmniej 3.000 km, ale nie więcej niż 15.000 km. Badania wykonuje się na pojeździe z kierowcą ważącym 75 kg i ładunkiem ważącym 100 kg.



Rysunek 20 Cykl jazdy NEDC

Wszystkie wymienione cykle są modelowe, ponieważ nie reprezentują rzeczywistej eksploatacji pojazdu w ruchu drogowym.

WLTP

Od września 2017 roku weszła w życie nowa metodologia określania zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń WLTP. Ten cykl jazdy bardziej realistycznie odpowiada rzeczywistej eksploatacji pojazdów w ruchu drogowym. Cykl ten podzielony jest na trzy klasy, które wyrażają stosunek mocy do masy pojazdu.

Klasa 1

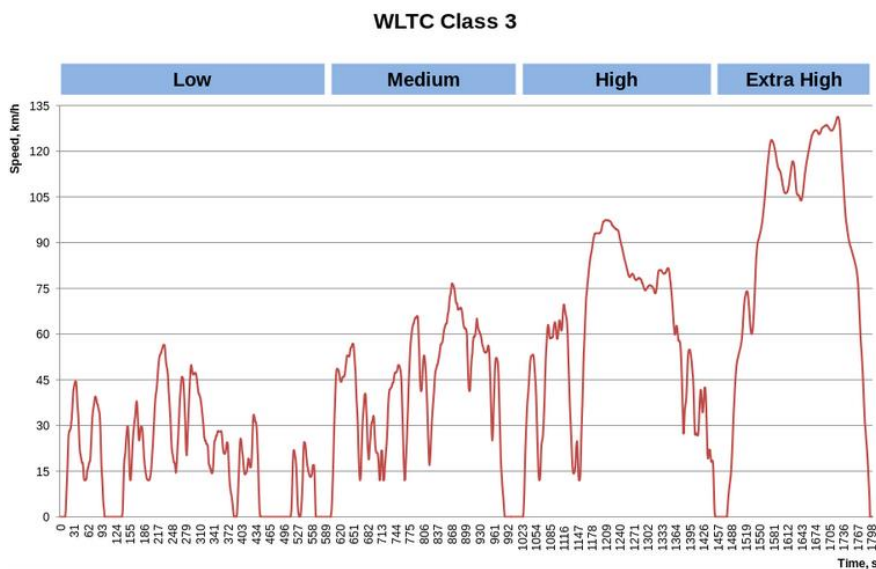
Cykl składa się z niskich i średnich prędkości. Całkowity czas trwania wynosi 1 022 s, całkowity pokonany dystans to 8,091 km przy średniej prędkości 28,5 km·h⁻¹.

Klasa 2

Cykl obejmuje niskie, średnie i stosunkowo wysokie prędkości pojazdów. Całkowity czas trwania wynosi 1 477 s, dystans 14,66 km, a średnia prędkość 35,7 km·h⁻¹.

Klasa 3

Ten cykl jazdy składa się z czterech części o różnych rodzajach ruchu: ruch miejski, ruch pozamiejski, stosunkowo duże prędkości, strefa autostrady. Droga przebyta podczas cyklu wynosi 23,262 km, czas trwania 1 800 s, a średnia prędkość 46,5 km·h⁻¹.



Rysunek 21 Cykl jazdy WLTP - klasa 3

Normalne działanie pojazdu

Wyniki takiego pomiaru mają największą wartość informacyjną z punktu widzenia użytkownika pojazdu, ponieważ dostarczają wyników odpowiadających rzeczywistemu zużyciu paliwa przez pojazd podczas jego rzeczywistej eksploatacji. Pomiaru takie mogą być dokonywane poprzez imitację rzeczywistego ruchu drogowego, w szczególności trasy, masy ładunku, profilu prędkości i czasu pracy, lub poprzez dokonywanie pomiarów podczas rzeczywistej eksploatacji pojazdu. W przypadku takich metod pomiarowych zaleca się, aby kierowca nie był świadomy faktu, że pomiar jest wykonywany, aby uniknąć wpływu na wyniki pomiaru.

METODY OKREŚLANIA ZUŻYCIA PALIWA

Metoda masowa (grawimetryczna)

Ilość energii w paliwie zależy od jego masy, dlatego zużyta masa paliwa bezpośrednio określa energochłonność. Zasada jest najczęściej taka, że paliwo w zbiorniku jest ważone przed i po pomiarze, a różnica masy stanowi masę zużytego paliwa. Masa może być również monitorowana w pewnych określonych odstępach czasu lub w sposób ciągły podczas pomiaru. Częściej stosuje się ją do określania zużycia silnika lub całkowitego zużycia pojazdu przy określaniu zużycia w stanie ustalonym. Eliminuje różnicę ciężaru właściwego paliwa w gałęziach wchodzących i wychodzących, spowodowaną podgrzewaniem paliwa. Z tego względu jest stosowany głównie do celów naukowo-badawczych i jest najczęściej związany z warunkami laboratoryjnymi.

Metoda wolumetryczna

Metoda ta, jak sama nazwa wskazuje, polega na pomiarze objętości zużytego paliwa. Ilość paliwa wyrażana jest w jednostkach objętości. Zużycie paliwa przez drogowe pojazdy mechaniczne najczęściej wyrażane jest w $l \cdot 100km^{-1}$, w przypadku pojazdów specjalnych litrach na godzinę pracy silnika. Metoda ta jest bardziej elastyczna ze względu na procedurę pomiaru i zastosowany przyrząd. Dlatego też jest ona stosowana w badaniach jezdnych poza laboratoriami.

Ze względu na zmieniającą się gęstość paliwa pod wpływem temperatury otoczenia i ciśnienia atmosferycznego, konieczne jest przeliczenie objętości zużytego paliwa na objętość przy wartościach znormalizowanych.

Objętość zużytego paliwa możemy zmierzyć za pomocą urządzeń pomiarowych, tzw. przepływomierzy. Działają one na zasadzie mechanicznego pomiaru objętości przepływającego paliwa. Ten ruch części mechanicznych jest zamieniany na impulsy elektryczne o określonej częstotliwości (im wyższa, tym dokładniejsza i lepsza), które są przetwarzane przez elektronikę oceniającą i w ten sposób podają dane wyjściowe w postaci jednostek zużycia. Ze względu na złożoność przepływomierzy i elektroniki oceniającej, dane wyjściowe mogą reprezentować całkowite zużycie paliwa na pomiar, chwilowe zużycie w litrach na godzinę lub jeśli współpracują z czujnikiem prędkości pojazdu w $l \cdot 100km^{-1}$. Przepływomierz jest podłączony bezpośrednio do układu paliwowego pojazdu, dzięki czemu całe paliwo płynące do wtryskiwaczy przepływa przez nie, ale także z powrotem (gałąź przelewowa). W wysokociśnieniowych układach wtryskowych przepływomierze podłącza się do części niskociśnieniowej. Konkretnie przed pompą zasilającą, jeśli jest to pompa próżniowa. Jeśli jest to pompa ciśnieniowa, to podłącza się do niej. Prostsze przepływomierze jednokierunkowe mogą być stosowane z pompami zasilającymi z wewnętrzną pętlą powrotu paliwa. W tych układach dokładna dawka wtrysku paliwa jest regulowana bezpośrednio w pompie zasilającej, więc do wtryskiwaczy trafia tylko jedna gałąź z jednym kierunkiem przepływu paliwa. Przepływomierze jednokierunkowe mierzą objętość przepływu paliwa tylko w jednym kierunku. W systemach z regulacją wtrysku paliwa we wtryskiwaczu (np. system Common Rail) występują dwa odgałęzienia przewodu paliwowego i dlatego konieczne jest stosowanie przepływomierzy dwukierunkowych. Mierzą one objętość paliwa przepływającego ze zbiornika do wtryskiwacza, a także objętość nieskonsumowanego paliwa powracającego w gałęzi powrotnej z wtryskiwaczy. Różnica pomiędzy tymi dwoma zmierzonymi objętościami stanowi rzeczywiste zużycie paliwa przez pojazd. Przepływomierze dokonują pomiaru z dokładnością do około 0,5 %.

Monitorowanie zużycia paliwa

Oprócz monitorowania pojazdów, aplikacje telematyczne służą również do monitorowania paliw. Podstawą tego monitoringu jest zapobieganie kradzieży paliw i pozyskiwanie obiektywnych danych o ich zużyciu. Taka analiza wpływa na obniżenie kosztów przewoźników i zużycia paliwa średnio o 5,5 %. Rozwiązania pomiaru zużycia paliwa mogą być realizowane poprzez zbieranie danych z jednostki sterującej pojazdu za pomocą magistrali CAN/FMS, sondy poziomej lub przepływomierza. Uzyskany w ten sposób przebieg zużycia paliwa w funkcji czasu i przebytej drogi jest wyświetlany na

pulpicie dyspozytora w postaci wykresu. Analiza powinna skupiać się na gwałtownych spadkach paliwa w zbiorniku. Chodzi tu o kontrolę i zabezpieczenie przed ich kradzieżą.

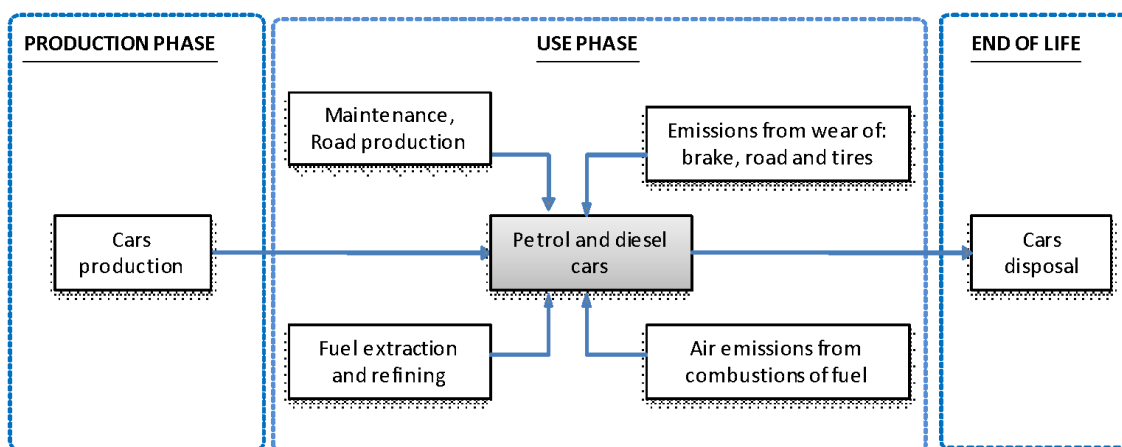
3.4 OCENA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW Z PALIWAMI KONWENCJONALNYMI - STUDIUM PRZYPADKU

Przedstawiamy studium przypadku, które może pomóc studentom w zrozumieniu praktycznego studium przypadku oceny cyklu życia (LCA) pojazdów. Przeprowadziliśmy LCA dla pojazdów z silnikami spalinowymi (ICEV - internal combustion engine vehicle), do których zaliczamy: samochody osobowe zasilane benzyną i olejem napędowym.

Przeanalizowano ślad węglowy, ślad wodny i ślad zasobowy tych pojazdów. LCA przeprowadziliśmy zgodnie z wytycznymi ISO 14040:2006 przy użyciu oprogramowania SimaPro v. 9 z bazą danych Ecoinvent v.3 (więcej szczegółów na temat narzędzi LCA w "ROZDZIALE 5"). Ocenę środowiskową samochodów osobowych z silnikami benzynowymi i wysokoprężnymi przeprowadzono zgodnie z czterema fazami LCA:

- Określenie celu i zakresu
- Definiowanie wykazu cyklu życia
- Ocena wpływu cyklu życia
- Interpretacja.

Do analiz LCA przyjęliśmy jednostkę funkcjonalną (FU) równą 100 km. Przeprowadziliśmy analizę porównawczą wpływu na środowisko pojazdów ICEV zasilanych benzyną i pojazdów ICEV zasilanych olejem napędowym. Granice systemu dla analizowanego cyklu życia samochodu osobowego przedstawiono na Rysunku 22.

Rysunek 22: Granice systemu analizowanego cyklu życia samochodu osobowego ⁴¹

Granice systemu obejmują zakres od kołyski do grobu: produkcja samochodów osobowych, produkcja paliw (oleju napędowego i benzyny), faza eksploatacji samochodów (w tym utrzymanie samochodów), emisje związane z eksploatacją samochodów, budowa dróg, utylizacja samochodów oraz utrzymanie (Rysunek 22). LCA przeprowadziliśmy dla transportu małymi samochodami osobowymi z silnikami spalinowymi, zarówno zasilanymi benzyną, jak i olejem napędowym. Do analizy wybraliśmy małe samochody, ponieważ małe silniki są bardziej rozpowszechnione niż średnie i duże w krajach Unii Europejskiej. Średnia masa małych samochodów została oszacowana na poziomie 1200 kg. Przyjęta wielkość silnika wynosiła do 1,4 l. Analiza obejmuje małe samochody osobowe klasy Euro 5.

W drugim etapie LCA - definiowaniu inwentaryzacji cyklu życia - przeanalizowaliśmy dane wejściowe i wyjściowe dla cyklu życia samochodu. Dane te obejmowały budowę, eksploatację, utrzymanie i utylizację samochodów. Do analizy LCA potrzebne były wszystkie bezpośrednie emisje spowodowane spalaniem paliwa oraz emisje inne, takie jak te generowane przez zużycie opon i hamulców oraz nawierzchni dróg.

Dane do LCA pochodzą z programu Simapro. Główne dane wejściowe dla pojazdów elektrycznych obejmują: akumulator li-ion, produkcję elektrycznego samochodu osobowego, konserwację, produkcję energii elektrycznej. Główne dane wyjściowe obejmują: emisję zużycia hamulców, emisję zużycia dróg i emisję zużycia opon.

⁴¹ Burchart-Korol D.; Fołga P.: Porównawcza ocena wpływu cyklu życia wybranych samochodów osobowych z silnikami spalinowymi, *Problemy Transportu* 2019 vol. 14 iss. 2 s. 69-76

Główne nakłady na pojazdy z silnikami spalinowymi napędzane benzyną i olejem napędowym obejmują: utrzymanie samochodów osobowych, produkcję samochodów osobowych, produkcję paliw. Główne wyniki dla pojazdów z silnikami spalinowymi napędzanych benzyną i olejem napędowym obejmują: emisję do powietrza ditlenku węgla, tlenku węgla, niemetanowych lotnych związków organicznych, tlenków azotu, cząstek stałych i dwutlenku siarki, emisję związaną ze zużyciem hamulców, emisję związaną ze zużyciem dróg i emisję związaną ze zużyciem opon.

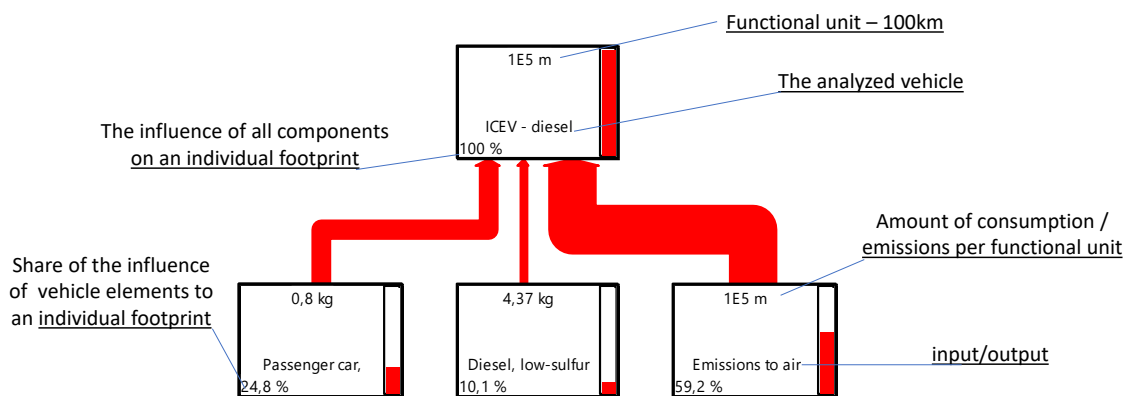
Kolejny etap, czyli ocena wpływu cyklu życia (LCIA), umożliwił obliczenie wartości kategorii wpływu na środowisko według wybranych metod oceny w oprogramowaniu Simapro. Wybrano metody LCIA, które umożliwiły wykonanie oceny poszczególnych śladów środowiskowych: śladu węglowego, śladu wodnego i śladu zasobowego samochodów osobowych zasilanych benzyną i olejem napędowym.

Ślad węglowy umożliwia analizę emisji gazów cieplarnianych z uwzględnieniem bezpośredniego i pośredniego wpływu na działalność człowieka, wyrażoną w jednostce referencyjnej kg CO₂. Ślad węglowy oblicza się na podstawie potencjału globalnego ocieplenia (GWP).

Ślad wodny umożliwia analizę zużycia wody w cyklu życia produktu. Wskaźnik ten jest stosowany do objętości zużytej wody i ocenia tylko wodę zużytą. Całkowita ilość śladu wodnego wyrażona jest w jednostce referencyjnej m³.

Z perspektywy gospodarki cyrkularnej istotny jest również **ślad zasobowy**, który obejmuje wyczerpywanie się paliw kopalnych, metali i minerałów. Całkowita ilość śladu zasobowego wyrażona jest w jednostce referencyjnej MJ.

Przeprowadzona przez nas analiza LCA pozwoliła na zidentyfikowanie głównych negatywnych czynników, które wpływają na poszczególne ślady środowiskowe. Główne czynniki negatywne nazwaliśmy **determinantami** - są to główne elementy w całym cyklu życia pojazdu, które mają najbardziej negatywny wpływ na dany ślad środowiskowy. Wyniki LCA dla poszczególnych śladów przedstawiliśmy w formie diagramów. Poniżej przedstawiono opis diagramu dla wszystkich analiz LCA.



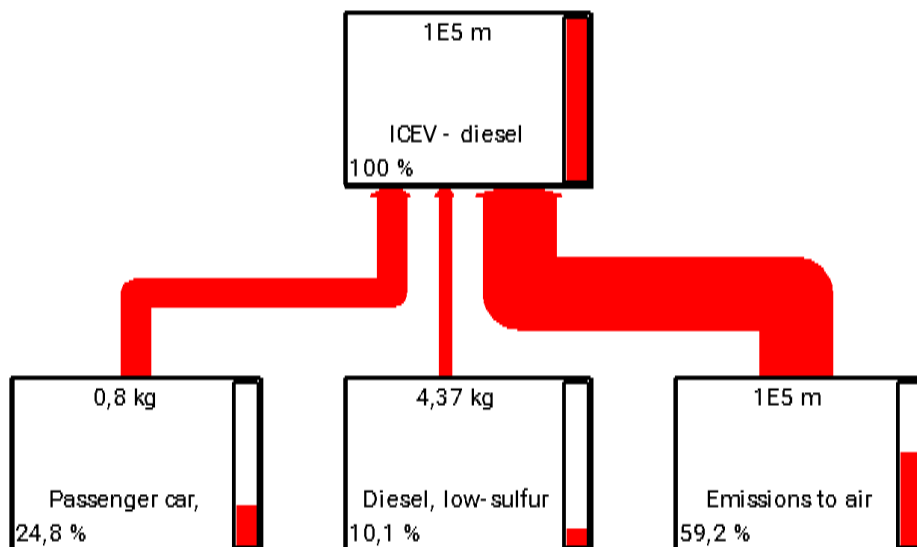
Rysunek 23: opis schematu dla analizy LCA

Czerwony kolor strzałki oznacza negatywny wpływ na środowisko. Strzałki skierowane są od wejścia/wyjścia do analizowanego pojazdu. Grubość strzałki wskazuje na wielkość negatywnego wpływu na środowisko, w tym przypadku na wielkość poszczególnych śladów środowiskowych. Im grubsza czerwona strzałka, tym większy negatywny wpływ. Głównym wyznacznikiem wpływu na środowisko jest element, z którego wychodzi najgrubsza strzałka. Jednostką funkcjonalną jest 100 km. Ilość zużycia wszystkich czynników produkcji przeliczana jest na jednostkę funkcjonalną - np. dla diesla ICEV - 4,37 kg oznacza zużycie oleju napędowego na 100 km w przypadku samochodu osobowego. Ilość 10,1% oznacza, że produkcja oleju napędowego stanowi 10,1% całej emisji GHG w cyklu życia ICEV.

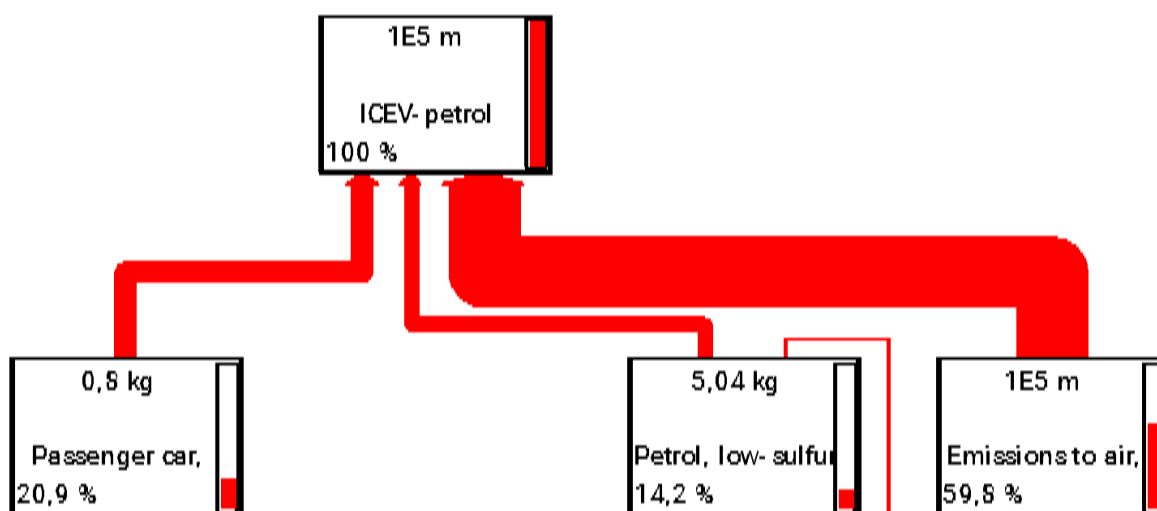
WYNIKI OCENY ŚLADU WĘGLOWEGO POJAZDÓW NAPĘDZANYCH PALIWEM KONWENCJONALNYM

Określiliśmy determinanty śladu węglowego dla pojazdów zasilanych benzyną oraz pojazdów zasilanych olejem napędowym. Wyniki oceny śladu węglowego zostały przedstawione na Rysunku 24 i Rysunku 25.

Głównymi determinantami śladu węglowego dla ICEV (olej napędowy i benzyna) są emisje do powietrza, stanowiące odpowiednio 59,2% i 59,8% śladu (Rysunek 24 i Rysunek 25). Duża część śladu węglowego związana jest również z produkcją pojazdów (determinant wyrażony jako samochód osobowy) oraz paliw (determinant wyrażony jako benzyna niskosiarkowa).



Rysunek 24: Determinanty śladu węglowego pojazdów z silnikiem Diesla (ICEV z silnikiem Diesla)



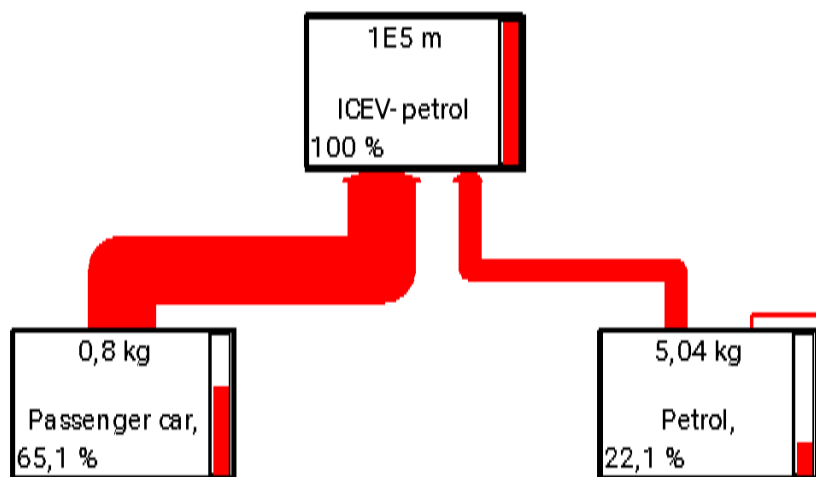
Rysunek 25: Determinanty śladu węglowego pojazdów napędzanych benzyną (benzynowe ICEV)

Nasze analizy porównawcze cyklu życia pojazdów napędzanych benzyną i pojazdów napędzanych olejem napędowym wykazały, że ślad węglowy przypisywany samochodom osobowym napędzonym olejem napędowym jest niższy niż samochodów osobowych napędzanych benzyną, na co wpływ ma przede wszystkim wyższy ślad węglowy spowodowany produkcją benzyny, a także bezpośrednia emisja CO₂ związana z eksploatacją samochodów napędzanych benzyną. Głównym determinantem śladu węglowego dla tych pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi jest bezpośrednia emisja ditlenku węgla do atmosfery związana z eksploatacją samochodów. Ślad węglowy samochodów osobowych napędzanych benzyną i olejem napędowym

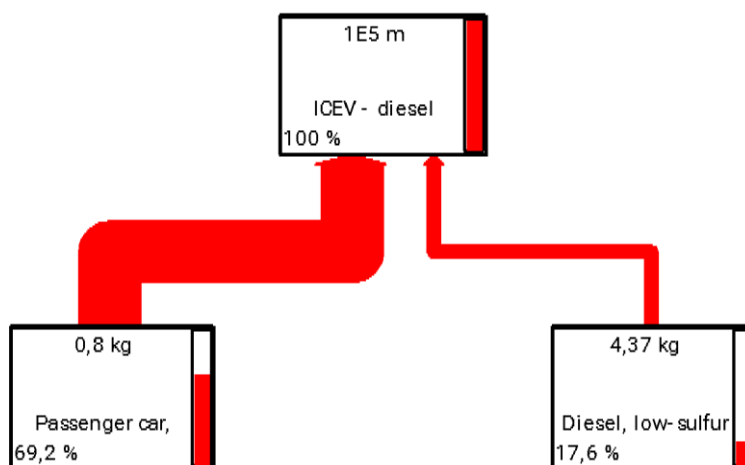
wynika przede wszystkim z eksploatacji tych pojazdów. Dlatego, aby zmniejszyć ich wpływ na środowisko, należy podjąć konkretne działania zmierzające do zwiększenia udziału paliw alternatywnych zasilających samochody osobowe.

WYNIKI OCENY ŚLADU WODNEGO POJAZDÓW ZASILANYCH PALIWEM KONWENCJONALNYM

Ustaliliśmy determinanty śladu wodnego dla pojazdów zasilanych benzyną i pojazdów zasilanych olejem napędowym. Poniżej przedstawiono wyniki oceny śladu wodnego.



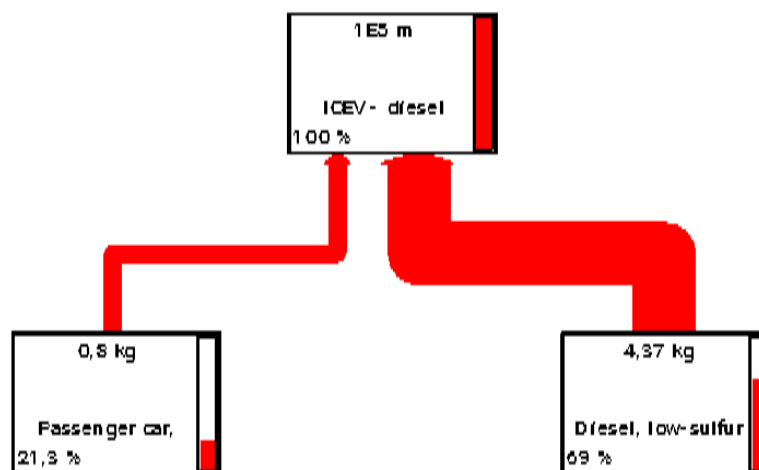
Rysunek 26. Determinanty śladu wodnego pojazdów ICEV na benzynę



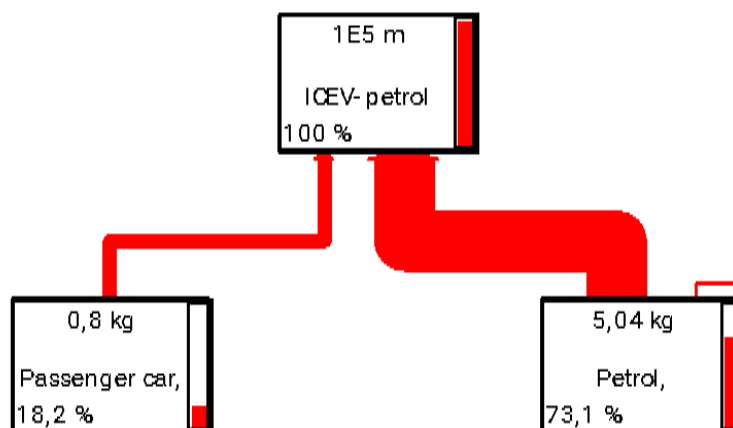
Jak wynika z wcześniejszej analizy, głównym czynnikiem determinującym ślad wodny pojazdów ICEV jest produkcja pojazdów. Duży wpływ na ślad wodny ma również produkcja paliwa.

WYNIKI OCENY ŚŁADU ZASOBOWEGO POJAZDÓW NAPĘDZANYCH PALIWEM KONWENCJONALNYM

Ustaliliśmy determinanty śladu zasobowego dla pojazdów zasilanych benzyną i pojazdów zasilanych olejem napędowym. Wyniki oceny śladu zasobowego przedstawiono na Rysunku 28 Rysunku 29.



Rysunek 28 Determinanty śladu zasobowego pojazdów z silnikiem Diesla



Rysunek 29 Determinanty śladu zasobowego pojazdów napędzanych benzyną

W przypadku pojazdów z silnikiem spalinowym etap produkcji paliwa jest głównym czynnikiem determinującym ślad zasobów.

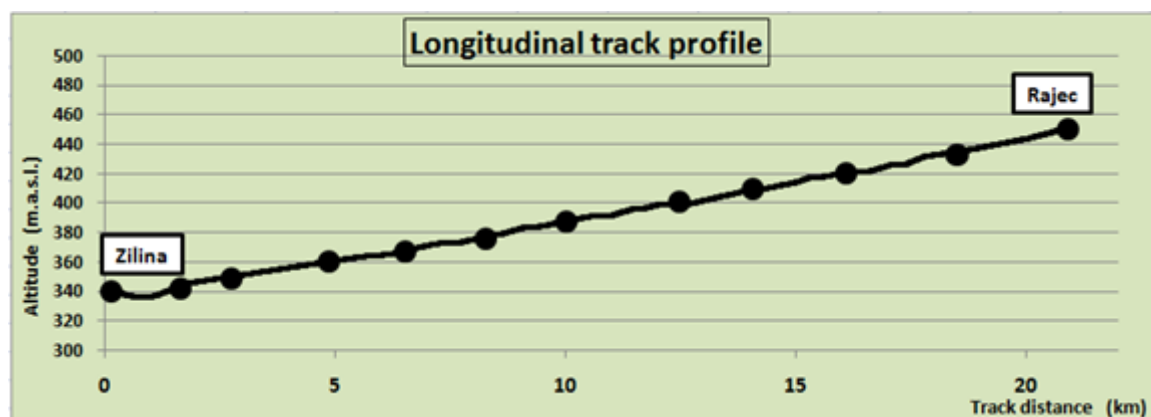
3.5 PORÓWNANIE INDYWIDUALNEGO I PUBLICZNEGO TRANSPORTU PASAŻERSKIEGO

Przedstawiono wyniki praktycznych pomiarów zużycia energii w rzeczywistej eksploatacji na pojeździe konsumpcyjnym, pociągu osobowym, autobusie i samochodzie osobowym. Monitorowano wskaźniki takie jak zużycie energii i produkcja gazów cieplarnianych, z uwzględnieniem zasady W-t-W.

Zużycie obliczono na trasie Żyliny - Rajec i z powrotem w Republice Słowackiej, porównując kolejowy transport pasażerski, autobusowy i indywidualny.

Linia kolejowa między Żyliną a Rajem na Słowacji jest niezelektryfikowana. Obecnie kursują na niej pociągi regionalne o trakcji niezależnej w cyklach jedno- lub dwugodzinnych. Linia kolejowa jak i droga biegną wzdłuż rzeki Rajčanki. Długość torów wynosi 21,3 km.

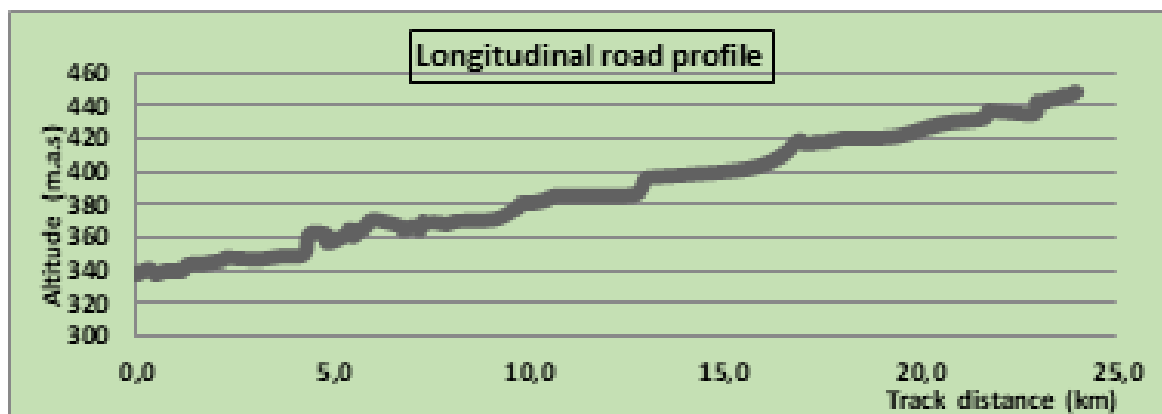
Różnica wysokości pomiędzy Žilina (340) a Rajem (450) powoduje, że wzniesienie linii osiąga najwyższą wartość 13 ‰, z wyjątkiem krótkiego wzniesienia za stacją kolejową w Žiline, gdzie wzniesienie osiąga na krótko 17 ‰. Średnie wzniesienie pomiędzy terminalami wynosi 5 ‰. (Rysunek 30)⁴².



Rysunek 30: Profil podłużny linii kolejowej z przystankami

⁴²Skrúcaný T., Ponický J., Kendra M., Grenčík J. Zużycie energii i produkcja GHG na wybranych torach kolejowych w regionalnych przewozach pasażerskich. 22 międzynarodowa konferencja: Aktualne problemy w pojazdach szynowych, VOL II, Žilina, 2015 r.

Na linii znajduje się 12 przystanków i stacji kolejowych, z których Žilina jest pierwszą na początku, a Rajec ostatnią na końcu linii. Maksymalna prędkość linii wynosi $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ale na niektórych odcinkach linii prędkość jest ograniczona tylko do 50 lub $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Czas podróży pomiędzy terminalami wynosi około 37 minut. Średnia liczba pasażerów przewożonych w 2014 r. na jeden pociąg wynosiła ok. 32 osoby.



Rysunek 31: Profil podłużny drogi

Do pomiaru zużycia pociągu wykorzystano zespół silnikowy serii 813-913, który został wyprodukowany w ŽOS Zvolen (Słowacja) poprzez przebudowę starych wagonów serii 810.

Do pomiaru zużycia autobusu wykorzystano autobus Karosa C954 wyprodukowany przez firmę Karosa Vysoké Mýto (Czechy) w okresie od 2001 do 2006 roku.

Bardziej szczegółowe parametry techniczne pojazdów podano w Tabeli 7.



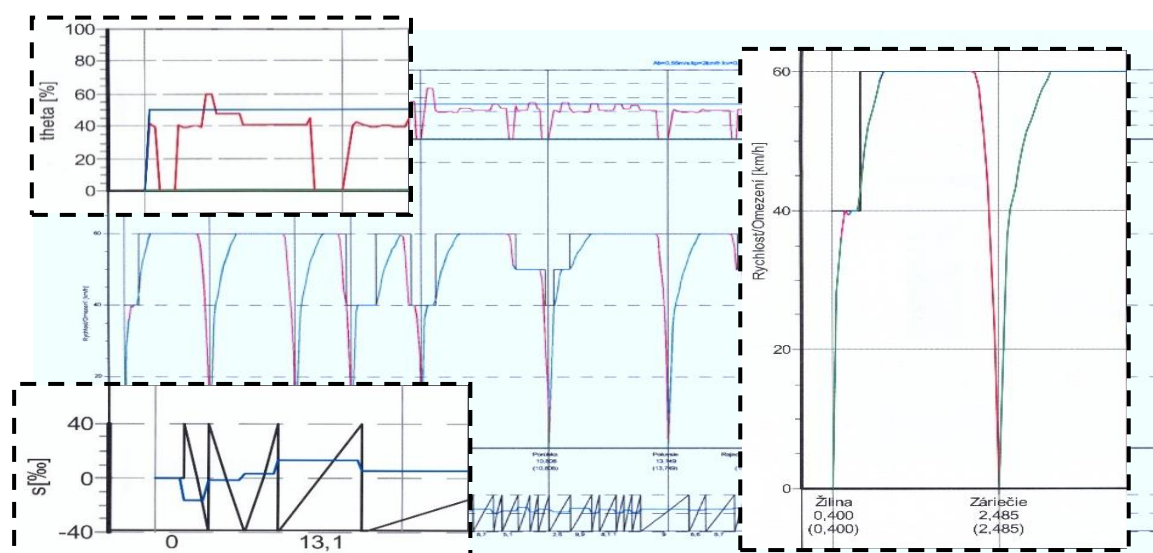
Rysunek 32: porównywane pojazdy (po lewej: pociąg motorowy Unita 813-913, po prawej: autobus Karosa C 954)

Do obliczenia zużycia energii przez pociąg wykorzystano oprogramowanie symulacyjne Railway Dynamics (Rysunek 33). Zużycie energii przez pociąg zostało obliczone na podstawie wcześniej wybranych i zdefiniowanych parametrów na określonej trasie. Oprogramowanie pracuje z zaimportowanym kierunkiem toru i prowadzeniem

wysokościowym. Na podstawie zdefiniowanych parametrów (seria jednostek silnikowych, masa pociągu, długość pociągu, nacisk osi, liczba i lokalizacja przystanków) obliczono zużycie energii w kWh. Oprogramowanie to może być wykorzystywane do obliczania zużycia energii i czasu przejazdu dowolnego pociągu na dowolnej linii kolejowej. Do obliczeń konieczne jest jedynie zaimportowanie podstawowych parametrów pociągu i danych o torze.

Tabela 7: podstawowe parametry techniczne autobusu i pociągu

Pojazd	Jednostka napędowa 813-913	autobus Karosa C 954
Układ napędowy	1 'A' + 1 '1'	-
Źródło energii	Diesel	Diesel
Przekazanie mocy	hydromechaniczny	mechaniczny
Maks. prędkość	90 km·h ⁻¹	105 km·h ⁻¹
Silnik spalinowy	MAN D 2876 LUE 21	Iveco Cursor F2 B
Moc silnika	257 kW	228 kW
Masa pustego pojazdu	39 t	10.8 t
Masa pojazdu obciążonego	53 t	18 t
Długość pojazdu	28 820 mm	11 990 mm
Liczba miejsc	78 + 5	49
Maksymalna liczba pasażerów stojących	120	39



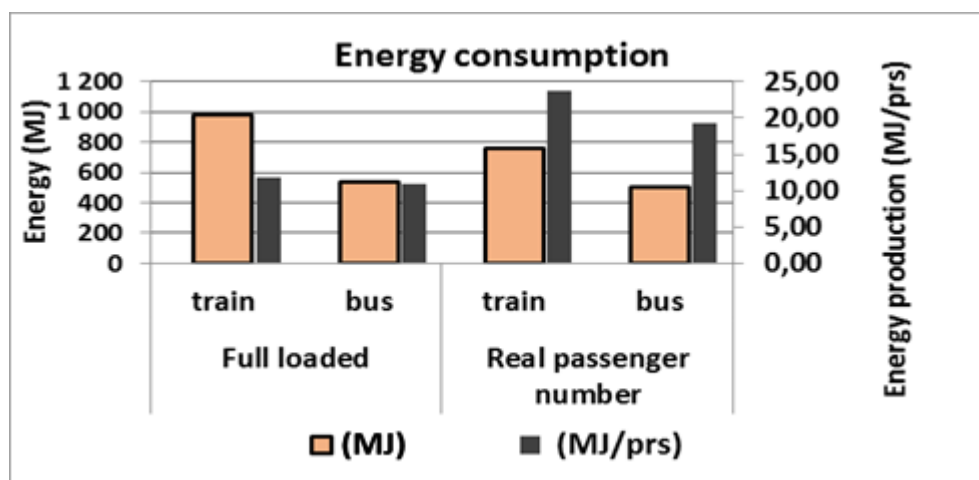
Rysunek 33: Dane wyjściowe z oprogramowania Railway Dynamics (Źródło: oprogramowanie Railway dynamics)

Obliczenia w tym studium przypadku zostały wykonane dla jazdy w obu kierunkach, tj. jednym do wznoszenia się, a drugim do zjeżdżania. Wyniki zużycia dla obu kierunków

zostały uwzględnione w ocenie końcowej (Tabela 8). Tabela 8 wskazuje na przewagę transportu autobusowego. Polega ona na tym, że pomimo parametrycznie bardzo podobnych silników (moc, zużycie paliwa) pociągu i autobusu, a także mniejszej trudności linii kolejowej, pojazd kolejowy osiąga na monitorowanej linii większe zużycie paliwa niż autobus. Wynika to z masy własnej pojazdu kolejowego wynoszącej 39 t, która jest o 28 t większa od masy autobusu (cca 11 t).

Tabela 8: Wyniki obliczeń pociąg - autobus

Obciążenie pojazdu	Pojazd	Zużycie paliwa [L]	Całkowite zużycie energii [MJ]	Całkowita produkcja CO _{2e} [kg]	Liczba pasażerów	Zużycie energii na pasażera [MJ·person ⁻¹]	Produkcja CO _{2e} [kg·person ⁻¹]
Pełne obciążenie	Pociąg	22.98	981.2	74.4	83	11.82	0.90
	Autobus	12.48	532.9	40.4	49	10.88	0.83
Rzeczywista liczba pasażerów	Pociąg	19.23	821.3	62.3	32	25.66	1.95
	Autobus	11.76	502.2	38.1	26	19.31	1.47

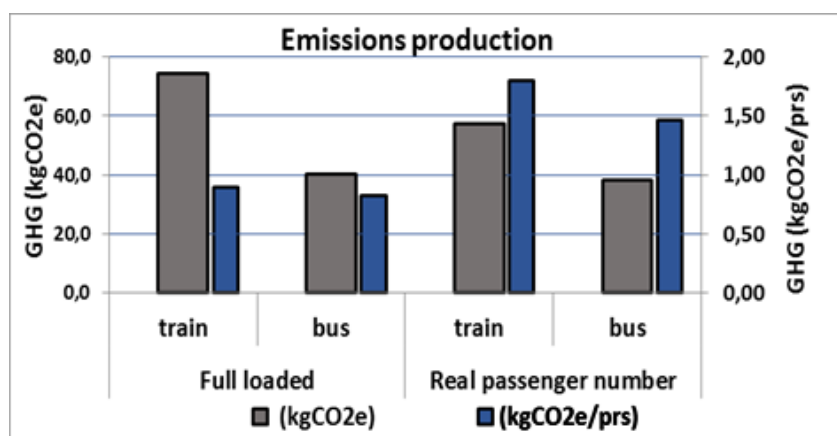


Rysunek 34: Porównanie zużycia energii przez pociąg i autobus

Wynik symulacji zużycia paliwa przez pociąg motorowy został porównany z rzeczywistym zużyciem tej jednostki na przedmiotowej linii. Wynik symulacji został potwierdzony, gdyż różnica w stosunku do rzeczywistego zużycia wyniosła jedynie - 8,5 %. W związku z tym wszystkie wyniki zużycia zostały powiększone o 8,5 %, aby przybliżyć je do rzeczywistości.

Chociaż pociąg motorowy osiąga wyższe wartości rzeczywistej liczby pasażerów, nie osiąga wyższej sprawności niż autobus. Jak wspomniano wcześniej, wynika to z

większej masy własnej pociągu. Przy obliczaniu całkowitego zużycia energii podczas rzeczywistego użytkowania pojazdów, zużycie energii przez autobus stanowi jedynie 54 do 66 % zużycia przez pociąg. Przy obliczaniu zużycia energii na jednego pasażera ($\text{MJ} \cdot \text{person}^{-1}$), różnica jest znacznie niższa (75 do 92 %) ze względu na większą pojemność pociągu. Niezależnie od tego, efektywność transportu autobusowego jest większa pod względem zużycia energii, ale przy maksymalnym wykorzystaniu pojemności pociągu, lub wykorzystaniu miejsc parkingowych, transport kolejowy byłby bliższy efektywności drogowej, w niektórych przypadkach mógłby być bardziej efektywny pod względem liczby przewożonych osób.



Rysunek 35: Porównanie emisji gazów cieplarnianych w podziale na eksploatację pociągów i autobusów

Podobnie jak w przypadku zużycia energii, możliwe jest również obliczenie emisji gazów cieplarnianych. Wskaźnik emisji gazów cieplarnianych przez pojazdy jest podobny do zużycia energii, gdyż został obliczony zgodnie z normą PN-EN 16 258:2012, gdzie emisja gazów cieplarnianych jest iloczynem zużycia paliwa i wskaźnika emisji.

W kolejnym punkcie porównano zużycie paliwa przez pociąg osobowy z samochodem osobowym. Parametry techniczne samochodu podano w Tabeli 9.

Tabela . 9: Parametry techniczne pojazdu ⁴³

Škoda Fabia III	
Rok produkcji	2016
Silnik	1.2 TSI, DOHC
Paliwo	benzyna
Przepełnienie	turbosprężarka

⁴³Kendra M., Skrucány T., Synák F., Škorupa M., Grenčík J.: Energochłonność kolejowego i drogowego transportu pasażerskiego i jej punkt przełomowy w zależności od wykorzystania pojemności pojazdów. 7th Transport Research Arena TRA 2018, Wiedeń. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1421671>

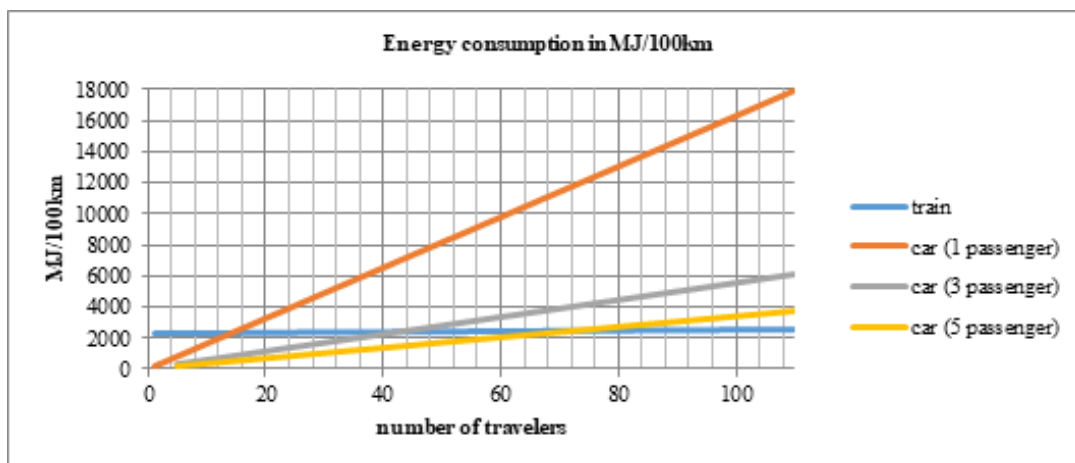
Kod silnika	5J
Transmisja	Mechaniczne (ręczne)
Liczba biegów	5
Siła prędkości	66 kW / 4 400 min ⁻¹
Moment obrotowy przy prędkości	160 Nm / 1 400 min ⁻¹
waga całkowita	1 564 kg
Waga w stanie czuwania	1 133 kg
Zużycie paliwa w mieście (dane producenta)	6 l100km ⁻¹
Zużycie paliwa w mieście (dane producenta)	4 l100km ⁻¹



Rysunek 36: Škoda Fabia III - samochód użyty do pomiarów

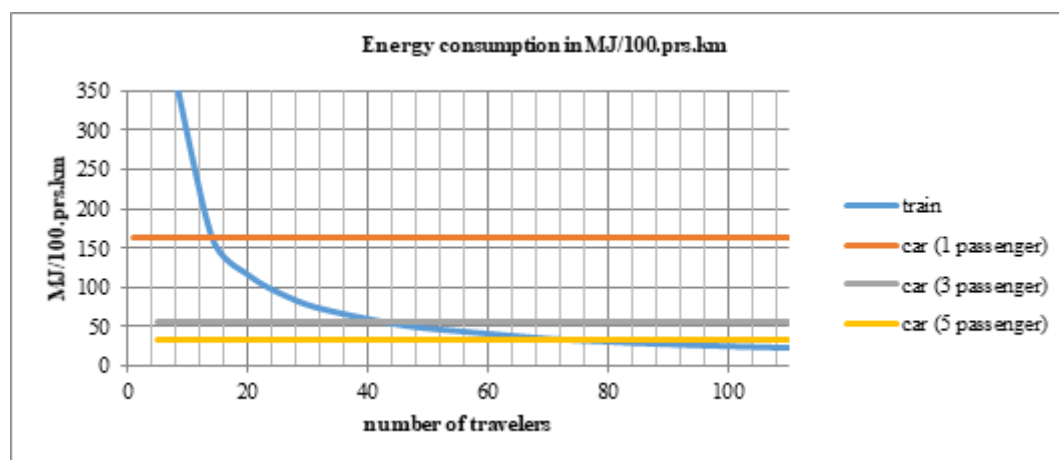
Wyniki pomiarów samochodów osobowych wykazały dużą rozbieżność pomiędzy deklarowanym przez producenta zużyciem paliwa, a tym faktycznie zmierzonym. Zmierzone przedstawia wyższe wartości w zakresie od 8 do 11,5 % w stosunku do deklarowanego zużycia paliwa przez samochód. W wartościach bezwzględnych zużycie paliwa na monitorowanej trasie wahało się od 4,33 do 4,56 l·100km⁻¹. Wszystkie odcinki były mierzone w trzech egzemplarzach.

Bardzo małe odchylenia pomiędzy pomiarami wynikały z możliwie zbliżonego stylu jazdy kierowcy. Pomiar wykonywany był we wczesnych godzinach porannych bez ruchu innych pojazdów, na bieżąco kontrolowano i korygowano średnią prędkość odcinkową samochodu oraz w miarę możliwości wykorzystywano tempomat samochodu. Dzięki takiemu postępowaniu uzyskano minimalne odchylenie wyników poszczególnych pomiarów, powtarzalność. Zmierzone różnice stanowią zatem efekt obciążenia samochodu.



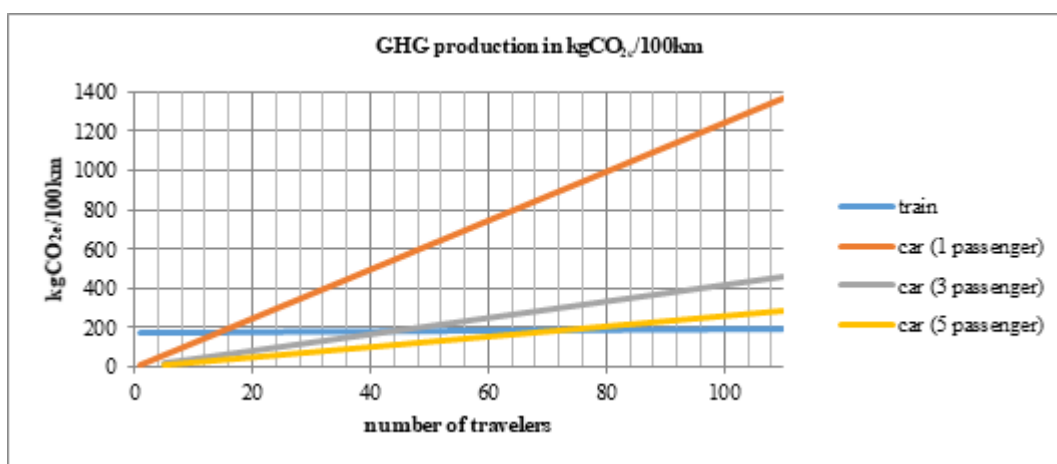
Rysunek 37: Porównanie zużycia energii przez pociąg i samochód

Rysunek 37 świadczy o zużyciu energii na 100 km przez poszczególne środki transportu (pociąg, samochód osobowy) z uwzględnieniem ich obłożenia, czyli wymaganej liczby przewożonych osób. Najgorszym przypadkiem pod względem efektywności energetycznej jest transport tylko jednej osoby w samochodzie (sam kierowca). Wymagana liczba używanych samochodów jest równa liczbie przewożonych osób, co przedstawia strome nachylenie linii (czerwonej). Wydajność wzrasta wielokrotnie wraz ze wzrostem liczby osób w samochodzie. Mimo, że zużycie paliwa przez samochód wzrasta w odniesieniu do masy chwilowej, a więc i liczby pasażerów, to biorąc pod uwagę trzy do pięciu razy mniejszą wymaganą liczbę pojazdów niż w pierwszym przypadku, jest to wzrost efektywności. Fakt ten można zaobserwować w wartościach bezwzględnych na Rysunku 37 i w wartościach względnych na Rysunku 38.



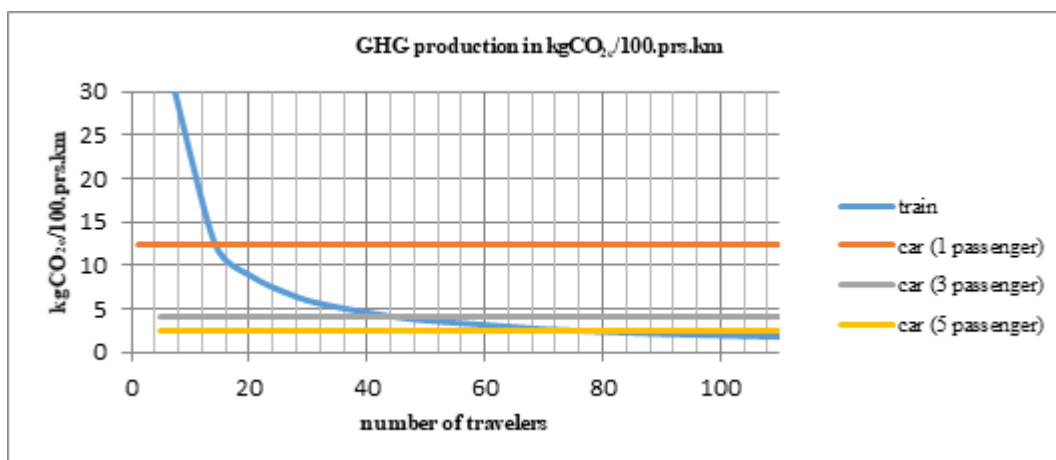
Rysunek 38: Względne porównanie zużycia energii

Przecięcia krzywych na Rysunku 37 oznaczają graniczne wartości efektywności wykorzystania pociągu i samochodu w zależności od liczby przewożonych osób. Gdyby standardem był pociąg, to przy przewozie ponad 14 pasażerów byłby on bardziej efektywny niż samochód. W praktyce oznacza to, że na ocenianej trasie przewozowej samochód z kierowcą jest bardziej efektywny niż pociąg zajęty przez mniej niż 14 osób. Przy wykorzystaniu samochodu na pełną liczbę miejsc, tj. 5 osób, pociąg staje się bardziej efektywny przy przewozie ok. 73 osób, co stanowi prawie 90% pojemności miejsc (83 miejsca).



Rysunek 39: Porównanie emisji gazów cieplarnianych z eksploatacji pociągu i samochodu

Wskaźnik emisji gazów cieplarnianych z tytułu eksploatacji pociągu i samochodu osobowego na mierzonym obszarze jest bezpośrednio związany ze zużyciem energii, czyli paliwa. Jest to również zauważalne na obu Rysunkach 39 oraz 40.



Rysunek 40: Względne porównanie emisji gazów cieplarnianych

Ilość emisji gazów cieplarnianych obliczono na podstawie normy. Uwzględnia ona współczynniki emisji gazów cieplarnianych (wskaźnik emisji) stałe w odniesieniu do ilości zużytego paliwa ($\text{kgCO}_2\text{e} \cdot \text{l}^{-1}$), ilości zużytego paliwa ($\text{kgCO}_2\text{e} \cdot \text{l}^{-1}$) lub ilości energii zawartej w paliwie ($\text{gCO}_2\text{e} \cdot \text{MJ}^{-1}$), w tym przypadku benzyny, lub oleju napędowego. Zatem ilość emisji gazów cieplarnianych jest wprost proporcjonalna do ilości spalnego paliwa.

Ze względu na wartość wskaźników emisji porównywanych paliw, benzyna ($75,2 \text{ gCO}_2\text{e} \cdot \text{MJ}^{-1}$) wypada nieznacznie niekorzystnie w porównaniu z olejem napędowym, który ma nieco niższą wartość wskaźnika emisji ($74,5 \text{ gCO}_2\text{e} \cdot \text{MJ}^{-1}$). Jednak przy uwzględnionych ilościach energii zużywanej w środkach transportu i zaokrąglonych do całości, nie wpływa to na zmianę wyników względnego wyrażenia emisji gazów cieplarnianych przez pojazdy w stosunku do względnego wyrażenia zużycia energii. Zatem, również pod względem emisji gazów cieplarnianych, pociąg jest bardziej efektywny, gdy zajmuje go więcej niż 14 osób w porównaniu z samochodem, w którym jest tylko kierowca. W stosunku do samochodu przewożącego 3 lub 5 osób, pociąg staje się bardziej wydajny dopiero przy zajętości 44, względnie 73 osób.

Wyniki tych praktycznych pomiarów nie miały na celu określenia, który środek transportu jest lepszy lub bardziej przyjazny dla środowiska. Nie można tego jednoznacznie stwierdzić, gdyż efektywność energetyczna i emisja gazów cieplarnianych zależy nie tylko od zużycia paliw i energii, ale także od wykorzystania potencjału środków transportu. Ważne jest zapewnienie jak największej użyteczności środków transportu przez pasażerów, np. odpowiedni dobór pojazdu do danego potoku ruchu. Wraz z malejącą realną użytecznością środków transportu spada również efektywność transportu ekologicznego. Dlatego też odpowiednie połączenie wielkości potoku ruchu i eksploatowanych pojazdów jest jednym z kroków do zapewnienia przyjaznego środowiska publicznego transportu pasażerskiego.

3.6 ODNIESIENIA DO ROZDZIAŁU



Podsumowanie

Pod koniec tego rozdziału studenci będą rozumieli następujące pojęcia:

- Silnik spalinowy
- Europejskie normy emisji
- Przepisy dotyczące emisji
- Limity emisji
- Pomiar zużycia paliwa
- Cykle jezdne
- Zużycie energii
- Emisja gazów cieplarnianych



Pytania

- Jakie paliwa są stosowane w konwencjonalnych silnikach spalinowych?
- Jakie są podstawowe fazy pracy silnika czterosuwowego?
- Jakie są zalety silnika benzynowego?
- Jakie są zalety silnika wysokoprężnego?
- Na jakie dwie podstawowe grupy podzielone są europejskie normy emisji spalin?
- Jakie emisje są regulowane przez europejskie normy emisji spalin?
- Jakie są różnice pomiędzy poszczególnymi europejskimi cyklami jazdy?
- Jakie są metody pomiaru zużycia paliwa?
- Jakie znasz ślady środowiskowe silników spalinowych?
- Jakie cechy techniczne pojazdów wpływają na jego efektywność eksploatacyjną w zakresie zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych?

Skróty

BSFC - Zużycie paliwa właściwe dla hamulców

CAN - Controller Area Network

CI - Zapłon do silników wysokoprężnych

CO - tlenek węgla

CO₂ - ditlenek węgla

DPF/FAP - filtr cząstek stałych do silników wysokoprężnych

WE - Wspólnota Europejska

ECE 15 - specyfikacja Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ dotycząca symulacji cyklu jazdy w mieście

EWG - Europejska Wspólnota Gospodarcza

EEV - pojazd bardziej przyjazny środowisku

EHK - Europejska Komisja Gospodarcza Organizacji Narodów Zjednoczonych

EN - norma europejska

ES - *Wspólnota* Europejska

UE - Unia Europejska

EUDC - Extra Urban Driving Cycle

EUDCL - Extra Urban Driving Cycle dotyczy pojazdów silnikowych o mniejszej mocy silnika

FMS - funkcjonalny ekran ruchowy

FO - jednostka funkcjonalna

GHG - gaz cieplarniany

GWP - Global Warming Potential (potencjał tworzenia efektu cieplarnianego)

HC - Węglowodory

ICEV - pojazd z silnikiem spalinowym

IPCC - Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu

ISO - sieć krajowych instytutów normalizacyjnych ze 148 krajów (pochodzi od greckiego słowa "isos" oznaczającego "równy")

LCA - ocena cyklu życia

LCIA - ocena wpływu cyklu życia

LPG - gaz płynny

NEDC - Nowy Europejski Cykl Jazdy

NMHC - węglowodory niemetanowe

NO_x - tlenki azotu

PI - Zapłon iskrowy

PM - cząstki stałe

RW - Waga referencyjna

THC - Tetrahydrokannabinol

UNECE - Europejska Komisja Gospodarcza Organizacji Narodów Zjednoczonych

WLTC - ogólnoświatowy zharmonizowany cykl badań pojazdów lekkich

WLTP - Światowa zharmonizowana procedura testowa dla pojazdów lekkich

W-t-W - Well-to-Wheel

ŽOS - Przedsiębiorstwo napraw i inżynierii kolejowej (Železnične opravovne a strojárne)

4. LCA W MOTORYZACJI : POJAZDY NA PALIWA ALTERNATYWNE

4. LCA W MOTORYZACJI: POJAZDY NAPĘDZANE PALIWAMI ALTERNATYWNYMI	82
4.1 Wprowadzenie do pojazdów elektrycznych	84
4.2 Ocena cyklu życia pojazdów elektrycznych na akumulatory (BEV)	86
Wyniki oceny śladu węglowego pojazdów elektrycznych	91
Wyniki oceny śladu wodnego pojazdów elektrycznych	92
Wyniki oceny śladu zasobowego pojazdów elektrycznych	93
4.3 LCA ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w krajach Unii Europejskiej - studium przypadku	94
Wyniki	95
4.4 Porównawcza analiza cyklu życia benzynowych ICEV, Diesel ICEV oraz BEV - studium przypadku	102
Założenia	102
4.5 Ocena cyklu życia pojazdów elektrycznych oraz pojazdów z ogniwami paliwowymi	106
Wodór jako najbardziej obiecująca opcja dekarbonizacji pojazdów	106
4.6 Ocena cyklu życia pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi - studium przypadku	109
4.7 Odniesienia do rozdziału	113



Czas na naukę 120 minut



Cele

JAKĄ WIEDZĘ ZDOBEDĄ STUDENCI

Studenci zdobędą wiedzę na temat zastosowania oceny cyklu życia LCA w motoryzacji, w szczególności LCA pojazdów napędzanych paliwami alternatywnymi, takich jak pojazdy elektryczne z akumulatorem (BEV) i pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi (FCEV).

JAK POMOŻE IM TO ZROZUMIEĆ TEMAT

Studenci poznają metodykę analizy LCA, różne ślady środowiskowe oraz istotę tych metod oceny środowiskowej dla przemysłu motoryzacyjnego

JAKIE UMIEJĘTNOŚCI ROZWINIE ROZDZIAŁ

Rozdział gwarantuje zdobycie niezbędnych umiejętności, które będą przydatne w przyszłej pracy zawodowej związanej z branżą motoryzacyjną. Studenci poznają determinanty oceny środowiskowej cyklu życia pojazdów oraz paliw alternatywnych.

GDZIE STUDENCI MOGĄ WYKORZYSTAĆ WIEDZĘ

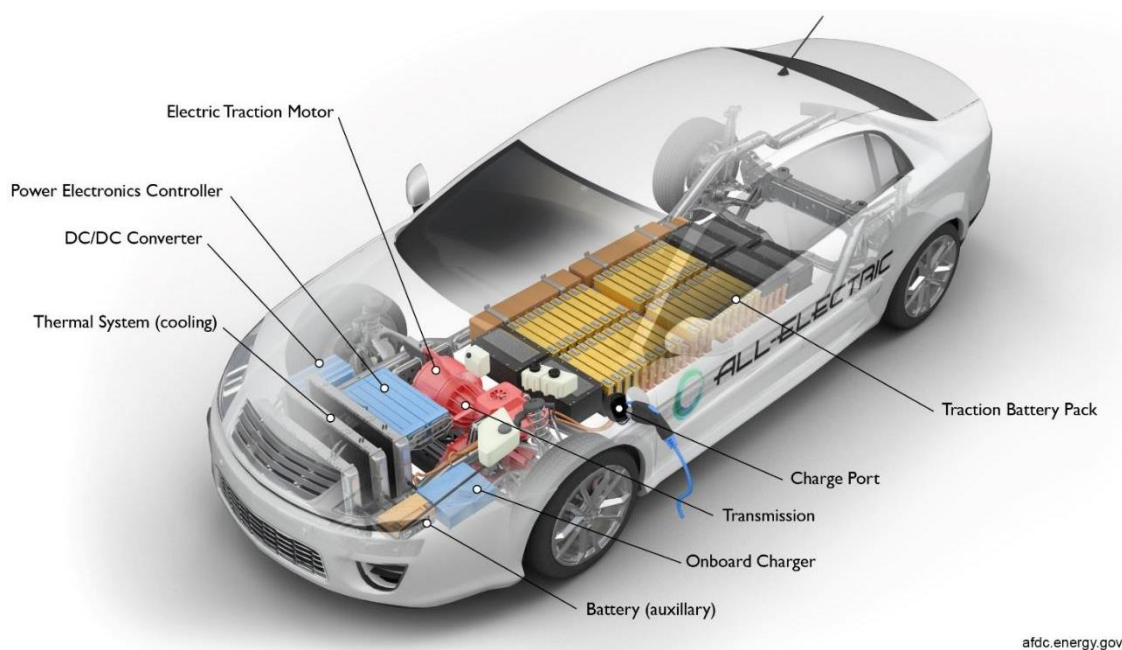
Studenci mogą wykorzystać wiedzę w swojej przyszłej pracy związanej z ochroną środowiska w przemyśle motoryzacyjnym, szczególnie w działach analizy emisji gazów cieplarnianych. Analizy LCA dostarczyły nowej wiedzy do wykorzystania w dalszych analizach dotyczących rozwoju paliw alternatywnych w Unii Europejskiej, jak również ich potencjalnego wpływu na środowisko.



Teoria

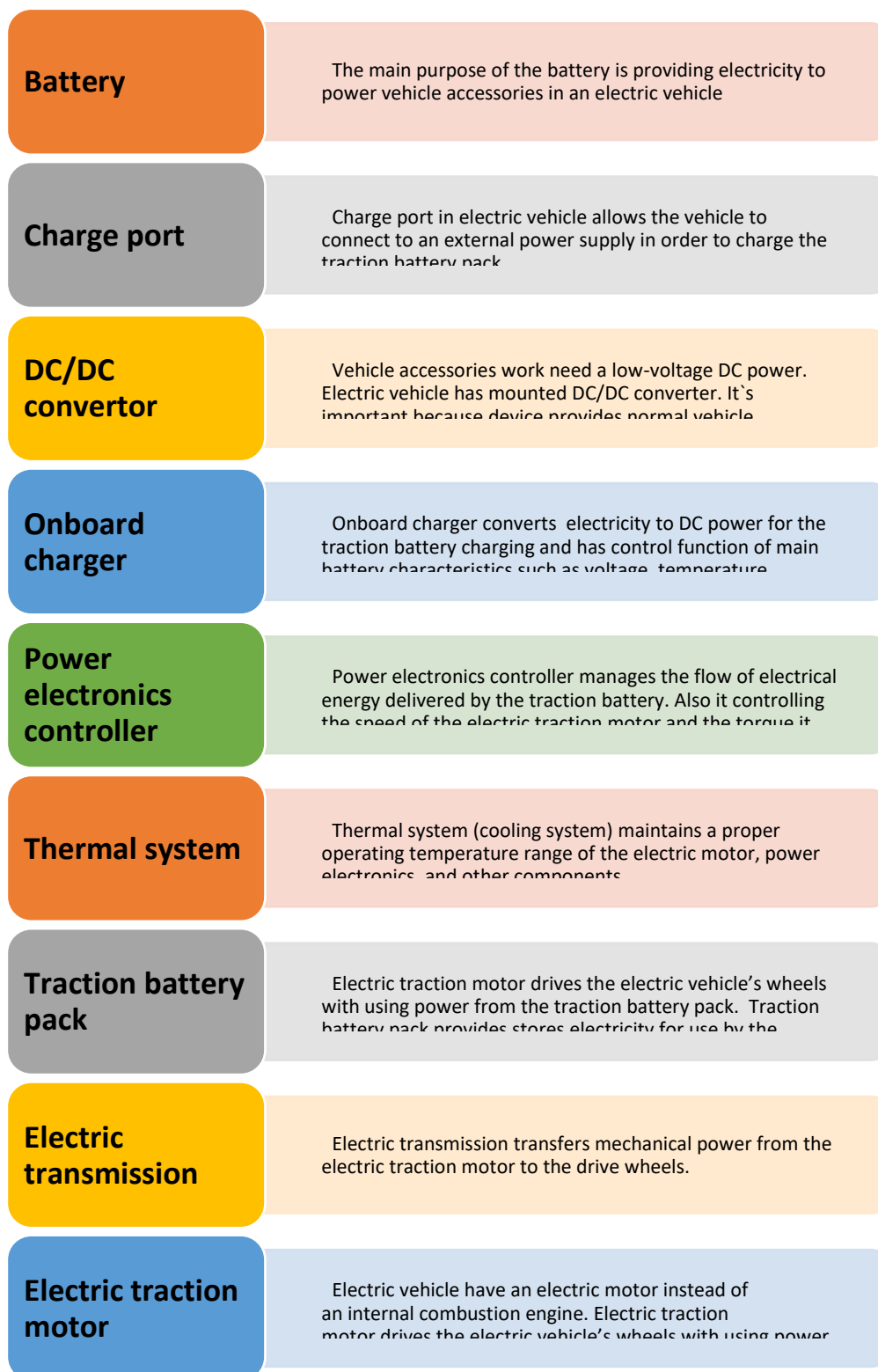
4.1 WPROWADZENIE DO POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Pojazd elektryczny z akumulatorem (BEV – battery electric vehicle), posiada silnik elektryczny zamiast silnika spalinowego. Pojazd wykorzystuje duży zestaw akumulatorów trakcyjnych do zasilania silnika elektrycznego i musi być podłączony do gniazdka ściennego lub sprzętu do ładowania, zwanego również sprzętem do zasilania pojazdów elektrycznych (Rysunek 41).



Rysunek 41: Budowa pojazdu elektrycznego

Pojazd elektryczny składa się z elementów, które przedstawiono na Rysunku 42:



Rysunek 42: Elementy pojazdu elektrycznego⁴⁴

⁴⁴ Analiza własna na podstawie <https://www.newkidscar.com/electric-car-construction/>

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska zalicza pojazdy elektryczne z akumulatorem do kategorii pojazdów o zerowej emisji, ponieważ nie wytwarzają one żadnych bezpośrednich emisji spalin ani spalin z rury wydechowej. W sprzedaży dostępne są zarówno ciężkie, jak i lekkie pojazdy całkowicie elektryczne. Pojazdy elektryczne z akumulatorem są droższe niż podobne pojazdy z silnikiem spalinowym. Pojazdy elektryczne z akumulatorem mają krótszy zasięg niż porównywalne pojazdy z silnikiem spalinowym. Wydajność i zasięg pojazdów elektrycznych z napędem akumulatorowym różni się znacznie w zależności od warunków jazdy. Pojazdy całkowicie elektryczne są bardziej wydajne w warunkach miejskich niż na autostradzie.

Transport drogowy odpowiada za blisko jedną czwartą emisji gazów cieplarnianych. W ostatnim czasie pojazdy elektryczne stały się ważnym elementem strategii rozwoju przemysłu motoryzacyjnego w Unii Europejskiej. Pojazdy elektryczne są przyszłością transportu drogowego i oferują znaczący potencjał w zakresie redukcji zanieczyszczeń powietrza i zwiększenia komfortu życia, zwłaszcza w zatłoczonych centrach miast. W krajach Unii Europejskiej działania rządowe, jak również pakiet regulacyjny, mają na celu zwiększenie wykorzystania paliw alternatywnych oraz wsparcie rozwoju elektromobilności. Pojazdy elektryczne na baterie ładowane energią elektryczną ze źródeł odnawialnych nie mają prawie żadnego wpływu na środowisko w Well-to-Wheel.

4.2 OCENA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z NAPĘDEM AKUMULATOROWYM (BEVS)

W rozdziale 3.4 przedstawiliśmy studium przypadku oceny cyklu życia pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi, tutaj prezentujemy studium przypadku oceny cyklu życia pojazdów napędzanych paliwami alternatywnymi.

Przeprowadziliśmy LCA dla pojazdów akumulatorowo-elektrycznych (BEV). W tym celu, podobnie jak w przypadku analizy LCA dla pojazdów na paliwa konwencjonalne, tutaj również przeprowadziliśmy analizy dla śladu węglowego, śladu wodnego i śladu zasobowego. W przypadku LCA pojazdów elektrycznych uwzględniliśmy opcje ładowania akumulatorów biorąc pod uwagę miks energetyczny w Polsce dostępny w latach 2020-2050. Przeprowadziliśmy ocenę cyklu życia zgodnie z Zarządzaniem środowiskowym -

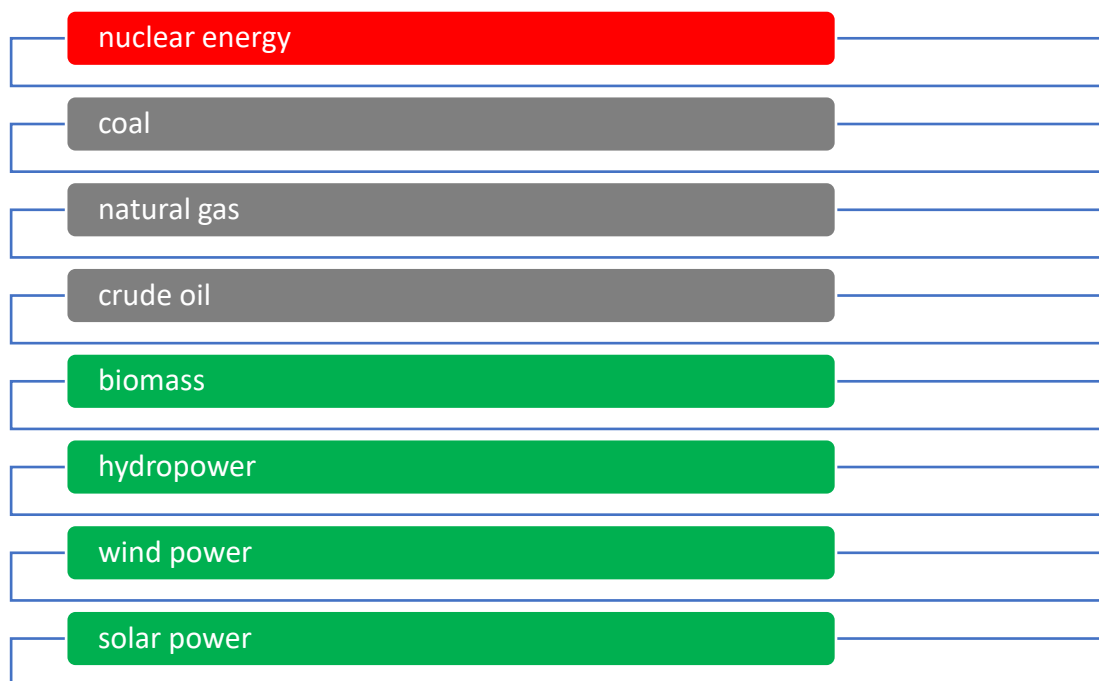
Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne - Poprawka 2 (ISO 14044: 2006 / Amd 2: 2020). Zdefiniowaliśmy jednostkę funkcjonalną, granice systemu i podstawowe założenia. Ocenę śladów środowiskowych przeprowadziliśmy przy użyciu oprogramowania SimaPro v. 9 z bazą danych Ecoinvent v.3. Podobnie jak w przypadku analizy LCA dla pojazdów zasilanych paliwem konwencjonalnym, również dla pojazdów elektrycznych zdefiniowaliśmy jednostkę funkcjonalną jako 100 km.

Granice systemu dla pojazdów elektrycznych z napędem akumulatorowym obejmowały cykl życia elektrycznego samochodu osobowego (w tym produkcję samochodu osobowego, produkcję akumulatorów, budowę dróg, użytkowanie samochodu, utrzymanie i utylizację) oraz ładowanie akumulatorów, z uwzględnieniem trendów w zakresie dostaw energii elektrycznej na potrzeby ładowania akumulatorów w latach 2015-2050.

Sama eksploatacja pojazdu elektrycznego nie powoduje emisji żadnych szkodliwych związków do atmosfery, to właśnie ładowanie akumulatorów wiąże się z jego rzeczywistym oddziaływaniem na środowisko. Ładowanie odbywa się z wykorzystaniem publicznej sieci energetycznej, a więc na wpływ EV na środowisko będzie miał bezpośredni wpływ sposób wytwarzania energii elektrycznej zużywanej do ładowania akumulatora.

W związku z tym, w celu przeprowadzenia analizy LCA dla pojazdów elektrycznych, opracowaliśmy model obliczeniowy LCA ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych, który ma pomóc w analizie wpływu pojazdów elektrycznych na środowisko.

Analizę przeprowadziliśmy dla poszczególnych źródeł energii elektrycznej. Przedstawiono osiem głównych źródeł energii wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej na Rysunku 43.



Rysunek 43: Główne źródła energii wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej

Obliczyliśmy ślady środowiskowe dla poszczególnych źródeł energii elektrycznej (Tabela 10). Przeprowadziliśmy przegląd literatury dotyczący prognoz rozwoju energetyki w Unii Europejskiej w najbliższych latach i stwierdziliśmy, że energia oparta na paliwach kopalnych będzie stopniowo zastępowana przez źródła odnawialne, głównie przez elektrownie wiatrowe. Związane z tym zmiany polegałyby na rozwoju elektrowni opartych na OZE, głównie wiatrowych, wraz z rozwojem energetyki jądrowej.

Opracowany przez nas model obliczeniowy LCA dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych wymaga następujących danych: procentowego udziału poszczególnych źródeł energii w całkowitym miksie w wybranym kraju oraz zużycia energii na 100 km dla wybranego pojazdu. Wartość śladu środowiskowego dla każdego źródła energii została przez nas obliczona i przedstawiona w Tabeli 10.

Tabela 10: Ślad węglowy, ślad wodny i ślad zasobowy

Lp.	Ślad środowiskowy	Ślad węglowy	Ślad wodny	Ślad zasobowy
	Skróty	CF	WF	RF
	Jednostka	g CO ₂ eq/ kWh	m ³ /kWh	MJ/ kWh
1	Biomasa	4.77E+01	1.96E-04	5.52E-01
2	Węgiel kamienny	1.19E+03	1.58E-02	1.43E+01
3	En wodna	4.15E+00	1.00E-04	3.69E-02
4	Węgiel brunatny	1.15E+03	5.90E-03	1.29E+01
5	Gaz ziemny	5.49E+02	1.70E-03	8.91E+00
6	En. jądrowa	1.19E+01	3.50E-03	1.37E-01
7	En. słoneczna	7.69E+01	8.00E-04	9.38E-01
8	Wiatr	1.58E+01	2.00E-04	1.93E-01

W celu obliczenia trzech śladów środowiskowych dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych opracowaliśmy następujący model obliczeniowy śladów środowiskowych (wzory 1 - 3):

$$CF_{EV} = (CF_{ES1-8} * S_{ES1-8}) * E_{EV} \quad (1)$$

gdzie:

CF_{EV} - ślad węglowy dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych [g CO₂ eq/100 km];

CF_{ES1-8} - ślad węglowy z produkcji 1 kWh energii dla poszczególnych źródeł energii [g CO₂ eq/kWh];

S_{ES1-8} - procentowy udział źródła energii (S - udział, ES - źródła energii) w miksie energetycznym danego kraju lub poszczególnych źródeł;

E_{EV} - zużycie energii przez pojazd [kWh/100 km];

1-8 - oznacza poszczególne źródła energii: biomasa, węgiel kamienny, wodny, węgiel brunatny, gaz ziemny, energia jądrowa, słoneczna i wiatrowa

$$WF_{EV} = (WF_{ES1-8} * S_{ES1-8}) * E_{EV} \quad (2)$$

gdzie:

WF_{EV} - ślad wodny dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych [$m^3 / 100 \text{ km}$];

$WFES_{1-8}$ - ślad wodny z produkcji 1 kWh energii dla poszczególnych źródeł energii [m^3 / kWh];

SES_{1-8} - procentowy udział źródła energii (S - udział, ES - źródła energii) w miksie energetycznym danego kraju lub poszczególnych źródeł;

E_{EV} - zużycie energii przez pojazd [$\text{kWh}/100 \text{ km}$];

1-8 - oznacza poszczególne źródła energii: biomasa, węgiel kamienny, wodny, węgiel brunatny, gaz ziemny, energia jądrowa, słoneczna i wiatrowa

$$RF_{EV} = (RF_{ES1-8} * S_{ES1-8}) * E_{EV} \quad (3)$$

gdzie:

RF_{EV} - ślad zasobowy dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych [$\text{MJ}/100 \text{ km}$];

RF_{ES1-8} - ślad zasobowy z produkcji 1 kWh energii dla poszczególnych źródeł energii [MJ/kWh];

SES_{1-8} - procentowy udział źródła energii (S - udział, ES - źródła energii) w miksie energetycznym danego kraju lub poszczególnych źródeł;

E_{EV} - zużycie energii przez pojazd [$\text{kWh}/100 \text{ km}$];

1-8 - oznacza poszczególne źródła energii: biomasa, węgiel kamienny, wodny, węgiel brunatny, gaz ziemny, energia jądrowa, słoneczna i wiatrowa

OCENA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH O NAPĘDZIE AKUMULATOROWYM - STUDIUM PRZYPADKU DLA POLSKI

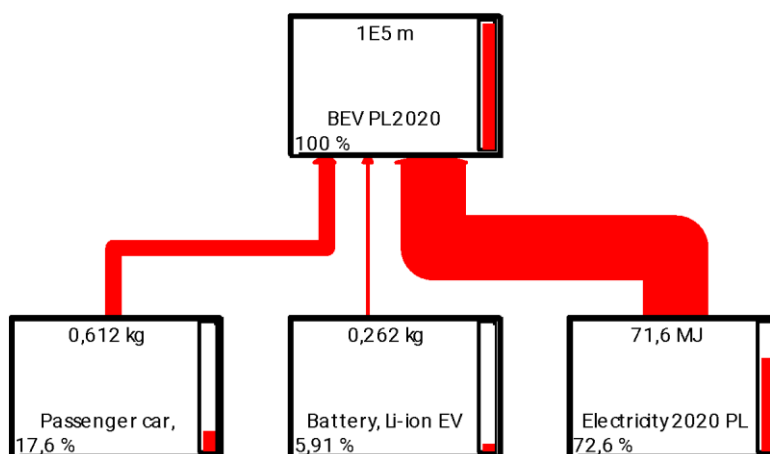
Przeprowadziliśmy tu ocenę cyklu życia dla akumulatorowych pojazdów elektrycznych w Polsce. W tym celu przeanalizowaliśmy strukturę polskiego mixu wytwarzania energii elektrycznej, zarówno obecnie, jak i w przyszłości. Ustaliliśmy, że energia elektryczna jest główną determinantą wpływu pojazdów elektrycznych na środowisko. Przeprowadziliśmy analizę śladu środowiskowego spowodowanego ładowaniem akumulatorów pojazdów elektrycznych dla Polski w oparciu o opracowany przez nas model obliczeniowy analizy cyklu życia.

W naszej analizie LCA uwzględniliśmy cykl życia samochodu elektrycznego - budowę, eksploatację, utrzymanie i utylizację samochodów. Do analizy wybraliśmy akumulator litowo-jonowy, ponieważ jest to najczęściej stosowany akumulator w samochodach BEV.

W analizie LCA uwzględniliśmy energię do ładowania akumulatorów pobieraną z obecnej i przyszłej sieci energetycznej w Polsce w latach 2020-2050.

Przeanalizowaliśmy trzy ślady środowiskowe: ślad węglowy, ślad wodny i ślad zasobowy dla pojazdów elektrycznych w Polsce. Opis tych śladów środowiskowych znajduje się w rozdziale 3.

WYNIKI OCENY ŚLADU WĘGLOWEGO POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH



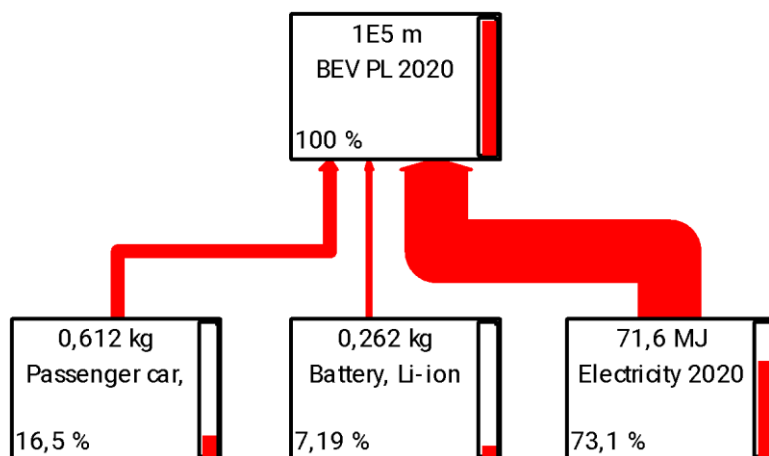
Rysunek 44: Determinanty śladu węglowego pojazdów elektrycznych w Polsce w 2020 r.

Wyniki LCA dla poszczególnych śladów przedstawiliśmy w formie wykresów. Ustaliliśmy determinanty śladu węglowego dla pojazdów elektrycznych użytkowanych w Polsce w 2020 roku. Wyniki oceny wybranego śladu ekologicznego zostały zilustrowane na Rysunku 44.

Na podstawie naszej analizy LCA stwierdziliśmy, że główną determinantą śladu węglowego dla pojazdów elektrycznych w Polsce jest energia elektryczna wykorzystywana do ładowania akumulatorów pojazdów (Rysunek 44). Energia elektryczna zużyta do ładowania akumulatorów stanowiła 71,6% śladu węglowego dla pojazdów w Polsce w 2020 roku. Duży udział śladu węglowego związany jest z produkcją samochodów osobowych (17,6%).

WYNIKI OCENY ŚLADU WODNEGO POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

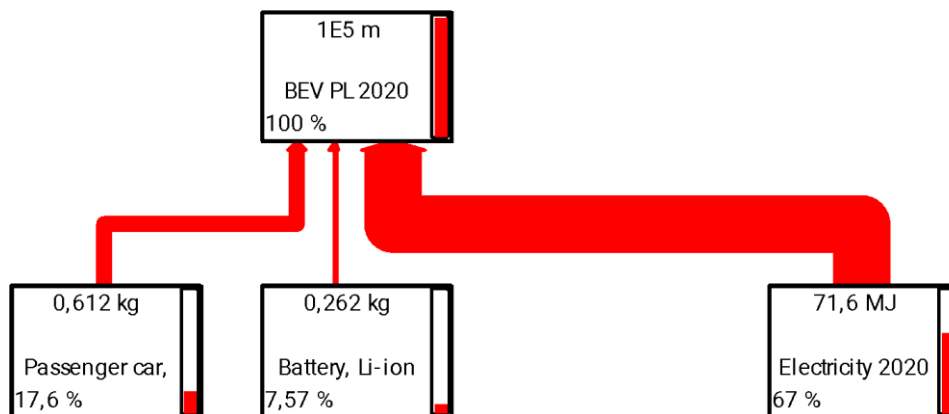
Ustaliliśmy determinanty śladu wodnego dla pojazdów elektrycznych użytkowanych w Polsce w 2020 roku. Wyniki oceny śladu wodnego przedstawiono na Rysunku 45. Główna determinanta śladu wodnego dla pojazdów BEV związana jest z energią elektryczną wykorzystywaną do ładowania akumulatorów pojazdów, a jej udział wyniósł 73,1% w 2020 r.



Rysunek 45: Determinanty śladu wodnego pojazdów elektrycznych w Polsce w 2020 roku

WYNIKI OCENY ŚLADU ZASOBOWEGO POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Ustaliliśmy determinanty śladu zasobowego pojazdów elektrycznych eksploatowanych w Polsce w 2020 roku. Wyniki oceny wybranych śladów środowiskowych zostały przedstawione na Rysunku 46.



Rysunek 46: Determinanty śladu zasobowego pojazdów elektrycznych w Polsce w 2020 r.

Przeprowadzono analizy porównawcze śladów środowiskowych zarówno obecnych, jak i przyszłych elektrycznych samochodów osobowych, uwzględniając zmiany źródeł energii elektrycznej tworzących polski mikś. Stwierdzono, że główną determinantą śladów środowiskowych dla pojazdów elektrycznych w Polsce jest energia elektryczna wykorzystywana do ładowania pojazdów. W przyszłości spodziewany jest wzrost produkcji energii elektrycznej ze źródeł alternatywnych, jak również z energii jądrowej, począwszy od 2035 roku, natomiast prognozowany jest spadek ilości energii elektrycznej produkowanej z paliw stałych, co wpływa na wyniki. Na przykładzie Polski i polskiego mikśu energetycznego można zastosować obliczenia determinantów śladów pojazdów elektrycznych w innych krajach. Analiza LCA źródeł energii elektrycznej wykorzystywanej do ładowania akumulatorów pojazdów wykazała, że główną determinantą negatywnego wpływu systemów energetycznych na środowisko w Polsce było zużycie paliw stałych, zarówno węgla kamiennego, jak i brunatnego.

4.3 LCA ŁADOWANIA BATERII POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH W KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ - STUDIUM PRZYPADKU

ZAŁOŻENIA

Niniejszy rozdział dotyczy analizy energii elektrycznej produkowanej w poszczególnych państwach członkowskich UE i wykorzystywanej do ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w krajach europejskich. Analizę LCA przeprowadziliśmy w kategoriach oddziaływania na środowisko związanych z emisją gazów cieplarnianych, skumulowanym zużyciem wody, a także wyczerpywaniem się zasobów. Nasze analizy obejmują rok 2015, a także uwzględniają prognozy produkcji energii we wszystkich krajach UE na lata 2020, 2030 i 2050.

Przeanalizowaliśmy strukturę mixu wytwarzania energii elektrycznej w Europie, zarówno obecnie, jak i w przyszłości. Produkcja energii w Europie jest bardzo zróżnicowana pod względem wykorzystywanych źródeł energii, co wiąże się ze zróżnicowanym wpływem na środowisko. **Funkcją systemu** była ilość energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej zużytej do naładowania akumulatora elektrycznego samochodu osobowego zakładając dystans 100 km. Dla porównania wszystkie analizy odnosiły się do tej samej jednostki funkcjonalnej (FU) wynoszącej 100 km. W swoich **granicach** system obejmował wszystkie technologie, w tym miks energetyczny wszystkich krajów. Granica systemu przebiega *od kołyski do bramy* (wyjaśnienie i szczegóły tego podejścia znajdują się w rozdziale 2.5). W celu przeprowadzenia analizy cyklu życia zdefiniowano granicę systemu oraz zidentyfikowano zbiory danych w odniesieniu do struktury wytwarzania energii elektrycznej dla poszczególnych krajów UE. Głównym **źródłem danych** do analiz dotyczących obecnej i prognozowanej struktury wytwarzania energii elektrycznej we wszystkich krajach Unii Europejskiej była dokumentacja wydana przez Komisję Europejską. Struktura produkcji energii elektrycznej w sieci energetycznej zastosowanej w akumulatorze jest jednym z najważniejszych parametrów branych pod uwagę przy analizie pojazdu elektrycznego.

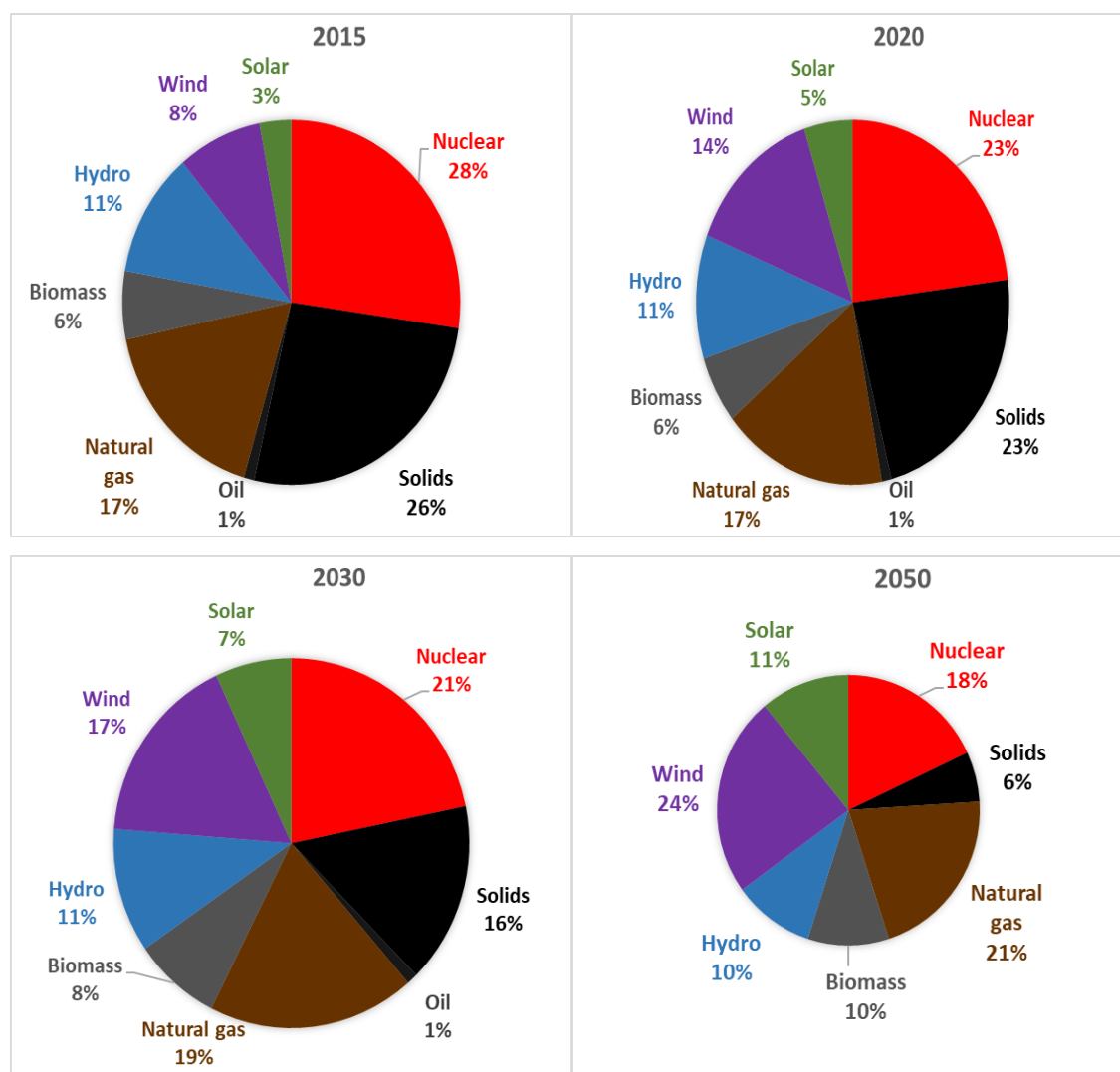
Założyliśmy, że podstawową zmienną określającą wpływ pojazdów elektrycznych na środowisko w krajach Unii Europejskiej będzie struktura wytwarzania energii elektrycznej na potrzeby ładowania akumulatorów samochodów elektrycznych. Z tego względu wykonano analizy środowiskowe prognozowanych zmian źródeł energii we

wszystkich krajach Unii Europejskiej. Analizy obejmują lata 2015-2050 i dotyczą podstawowych założeń związanych ze zmianą źródeł energii, prognozowanych dla poszczególnych krajów. Analizy dotyczyły rodzajów produkcji energii prognozowanych w analizowanych krajach na lata 2015-2050.

Analizy wpływu na środowisko przeprowadziliśmy uwzględniając ocenę emisji gazów cieplarnianych wytwarzania energii elektrycznej, biorąc pod uwagę strukturę źródeł energii we wszystkich krajach UE. Przeanalizowaliśmy inne kategorie uznawane za istotne z punktu widzenia wpływu pojazdów elektrycznych na środowisko, w tym skumulowane zużycie wody i wyczerpywanie zasobów.

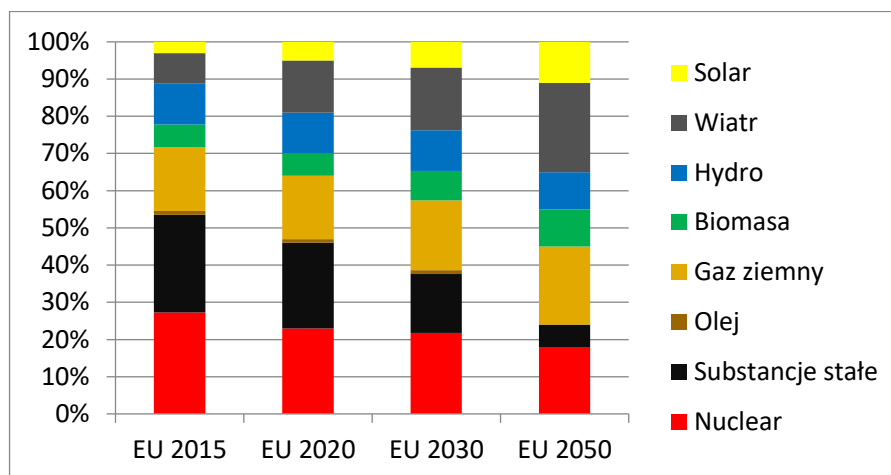
WYNIKI

Analiza źródeł wytwarzania energii w krajach UE

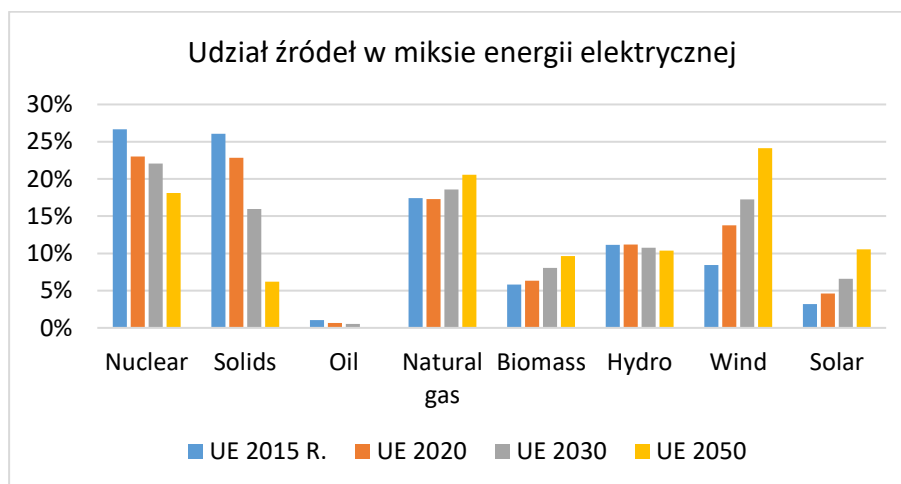


Rysunek 47 a: Udział poszczególnych źródeł energii elektrycznej w Unii Europejskiej

W pierwszej kolejności przeanalizowano źródła energii elektrycznej w UE. Udział poszczególnych źródeł energii elektrycznej w Unii Europejskiej przedstawiono na Rysunku 47. Zmiany w udziale poszczególnych źródeł energii wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej w latach 2015-2050 przedstawiono na Rysunku 48.



Rysunek 47 b: Udział poszczególnych źródeł energii elektrycznej w Unii Europejskiej



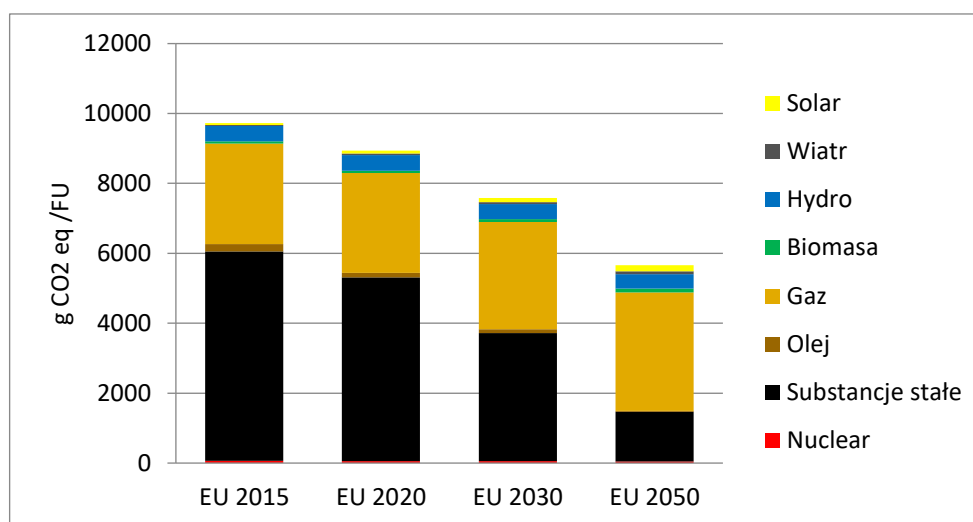
Rysunek 48: Zmiany udziału poszczególnych źródeł energii wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej w latach 2015-2050

Stwierdziliśmy, że w krajach UE w 2015 r. skumulowany udział energetyki jądrowej, paliw stałych i gazu ziemnego stanowił 70% (gdzie indywidualny udział tych źródeł wyniósł odpowiednio 27%, 26% i 17%), podczas gdy udział odnawialnych źródeł energii (OZE) stanowił jedynie aż 29%. W kolejnych latach prognozuje się spadek udziału paliw stałych do 6% w 2050 roku, a energii jądrowej do 18%, natomiast udział OZE ma wzrosnąć

do 55%, przy czym największy udział przypada na energię wiatrową (24%). W Unii Europejskiej spodziewany jest również niewielki wzrost udziału zużycia gazu ziemnego na potrzeby produkcji energii elektrycznej. Szczegółowy przegląd polityki energetycznej poszczególnych krajów UE został przedstawiony w publikacji (Energy Policies of IEA Countries - www.iea.org).

Ocena cyklu życia ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w Unii Europejskiej

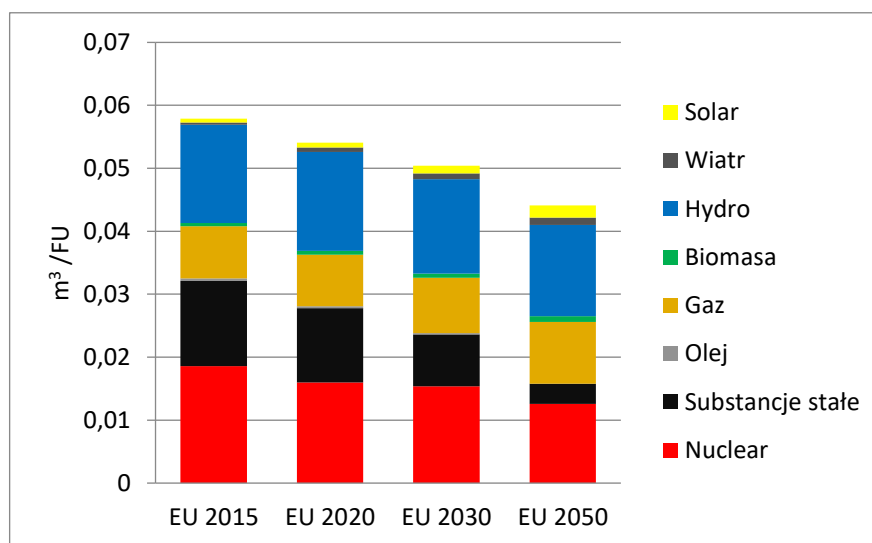
Na podstawie analizy ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w stosunku do zużycia energii elektrycznej z sieci energetycznej w Unii Europejskiej, obliczyliśmy wskaźniki emisji gazów cieplarnianych (Rysunek 49), skumulowanego zużycia wody (Rysunek 50) oraz wyczerpania zasobów (Rysunek 51), uwzględniając 100 km przejechanych przez elektryczny samochód osobowy, przyjętych jako funkcjonalna jednostka. Wskaźniki te zostały obliczone dla poszczególnych krajów Unii Europejskiej.



Rysunek 49: Wpływ ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych na emisję gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej

Na podstawie analizy emisji gazów cieplarnianych (GHG) ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych ustaliliśmy, że emisja GHG spada i wynosi: 9 727,67 g CO₂ eq. na 100 km w 2015 r., 8 934,34 g CO₂ eq. na 100 km w 2020 r., 7 579,62 g CO₂ eq. na 100 km w 2030 r. oraz 5 661,96 g CO₂ eq. na 100 km w roku 2050. Jak wynika z Rysunku 49 z tego wynika, największy wpływ na emisję GHG ma wykorzystanie węgla i gazu ziemnego w produkcji energii elektrycznej. Stwierdzono również, że pomimo wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii, nie mają one wpływu na emisję GHG (wpływ OZE na emisję GHG jest pomijalny). Również pomimo dużego udziału energii jądrowej w

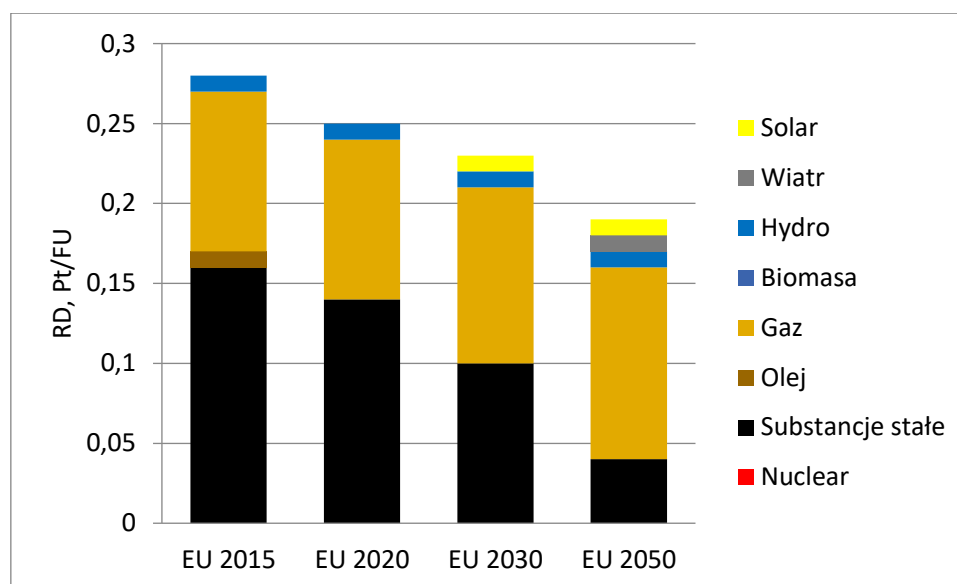
miksie energetycznym w Unii Europejskiej, nie ma ona wpływu na emisję gazów cieplarnianych.



Rysunek 50: Skumulowane zużycie wody podczas ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w Unii Europejskiej

Na podstawie analizy skumulowanego zużycia wody dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w stosunku do zużycia energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej, obliczyliśmy skumulowane zużycie wody dla 100 km przejechanych przez elektryczny samochód osobowy. Wykazaliśmy, że wskaźnik skumulowanego zużycia wody zmniejszy się z $0,0579 \text{ m}^3 / 100 \text{ km}$ w 2015 roku, $0,0541 \text{ m}^3 / 100 \text{ km}$ w 2020 roku i $0,0505 \text{ m}^3 / 100 \text{ km}$ w 2030 roku, do $0,0442 \text{ m}^3 / 100 \text{ km}$ w 2050 roku. Jak Rysunek 50 ilustruje, największy wpływ na współczynnik CWU ma zużycie energii wodnej, jądrowej, gazu ziemnego i paliw stałych do produkcji energii elektrycznej.

Stwierdzono, że wzrost udziału gazu ziemnego w strukturze produkcji energii elektrycznej powoduje wzrost zużycia wody, a ponadto, że pomimo wzrostu udziału innych odnawialnych źródeł energii (wiatr, słońce i biomasa), nadal nie mają one wpływu na analizowany wskaźnik. Wysokie zużycie wody przypadające na produkcję energii elektrycznej w oparciu o energię jądrową, węgiel i gaz ziemny związane jest z bardzo dużym zużyciem wody na procesy chłodzenia w tych technologiach.



Rysunek 51: Wpływ ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych w Unii Europejskiej na uszczuplenie zasobów

Na podstawie analizy wyczerpywania się zasobów na potrzeby ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych wykazaliśmy, że wskaźnik ten maleje z 0,29 Pt/100 km w 2015 r., 0,27 Pt/100 km w 2020 r. i 0,24 Pt/100 km w 2030 r. do 0,19 Pt/100 km w 2050 r. Figure 51 wskazuje, że największy wpływ na zużycie zasobów ma zużycie paliw stałych i gazu ziemnego w produkcji energii elektrycznej. Zużycie paliw stałych maleje, powodując spadek tego wskaźnika, natomiast zużycie gazu ziemnego rośnie, co powoduje wzrost wskaźnika wyczerpania zasobów.

W odniesieniu do analiz wszystkich wskaźników środowiskowych dotyczących produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej w Unii Europejskiej do ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych ustaliliśmy, że wszystkie te wskaźniki maleją. Wynika to głównie ze zmniejszenia udziału paliw stałych w produkcji energii elektrycznej. Natomiast jeśli chodzi o wzrost udziału gazu ziemnego, to ma to wpływ na wzrost wskaźników efektywności środowiskowej, a w szczególności na wyczerpywanie się zasobów (surowców, czyli paliw kopalnych i minerałów) oraz emisję gazów cieplarnianych.

Analiza wpływu wykorzystania odnawialnych źródeł energii do wytwarzania energii elektrycznej wykazała, że najbardziej ekologicznym źródłem energii jest energia wiatru. Natomiast analiza energetyki wodnej wykazała jej negatywny wpływ na skumulowane zużycie wody. W porównaniu do energii elektrycznej pochodzącej z wiatru, wskaźniki ekologiczne ustalone dla produkcji energii elektrycznej w oparciu o energię słoneczną są również wyższe.

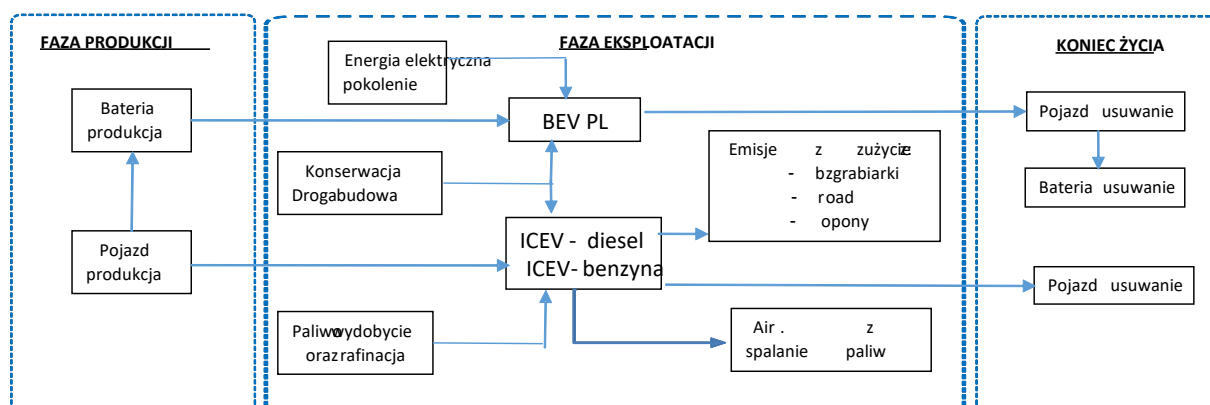
Na podstawie przeprowadzonej analizy LCA cyklu życia wytwarzania energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej na potrzeby ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych, doszliśmy do następujących wniosków:

- W większości krajów Unii Europejskiej stwierdzono, że w kolejnych latach analiz (od 2015 do 2050 roku) analizowane wskaźniki środowiskowe będą się zmniejszać.
- Determinantami emisji GHG z produkcji energii elektrycznej są zużycie paliw stałych i gazu ziemnego. Pozostałe źródła energii wykorzystywane w krajach UE mają niewielki wpływ na emisję GHG.
- Wykazano, że największy wpływ na wskaźnik CWU ze względu na produkcję energii elektrycznej ma zużycie energii wodnej, jądrowej, gazu ziemnego i paliw stałych. Wysoki wskaźnik zużycia wody przypisywany produkcji energii elektrycznej w oparciu o technologie jądrowe, węglowe i gazowe związany jest z dużym zużyciem wody na procesy chłodzenia wymagane przez te technologie.
- Największy wpływ na uszczuplenie zasobów ma zużycie paliw stałych i gazu ziemnego w produkcji energii elektrycznej. Zmniejszenie zużycia węgla w strukturze produkcji energii elektrycznej wpływa pozytywnie na uszczuplenie zasobów, natomiast wzrost zużycia gazu ziemnego w kolejnych latach w niektórych krajach UE negatywnie wpływa na środowisko, wywołując wzrost wskaźnika uszczuplenia zasobów.
- Analiza wpływu na środowisko wykorzystania odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej wykazała, że najbardziej ekologicznym źródłem energii jest energia wiatru.
- Emisja gazów cieplarnianych oraz ślad wodny są mniejsze w przypadku ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych z wykorzystaniem energii odnawialnej w porównaniu z innymi źródłami. Stąd wniosek, że kraje Unii Europejskiej powinny zdecydowanie postawić na odnawialne źródła energii dla celów ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych.

4.4 ANALIZA PORÓWNAWCZA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW NA PALIWA KONWENCJONALNE ICEVS, I POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH BEVS - STUDIUM PRZYPADKU

ZAŁOŻENIA

Porównaliśmy wpływ na środowisko pojazdów z silnikiem spalinowym (ICEV) w porównaniu z pojazdami elektrycznymi na baterie (BEV), biorąc pod uwagę cykl życia tych samochodów. W tym celu przeanalizowaliśmy ślad węglowy, ślad wodny i ślad zasobowy tych pojazdów. Granice systemu dla cyklu życia BEV i ICEV (napędzanych olejem napędowym i benzyną) przedstawiono na Rysunku 52. LCA przeprowadziliśmy na przykładzie polskiego miks energetycznego.



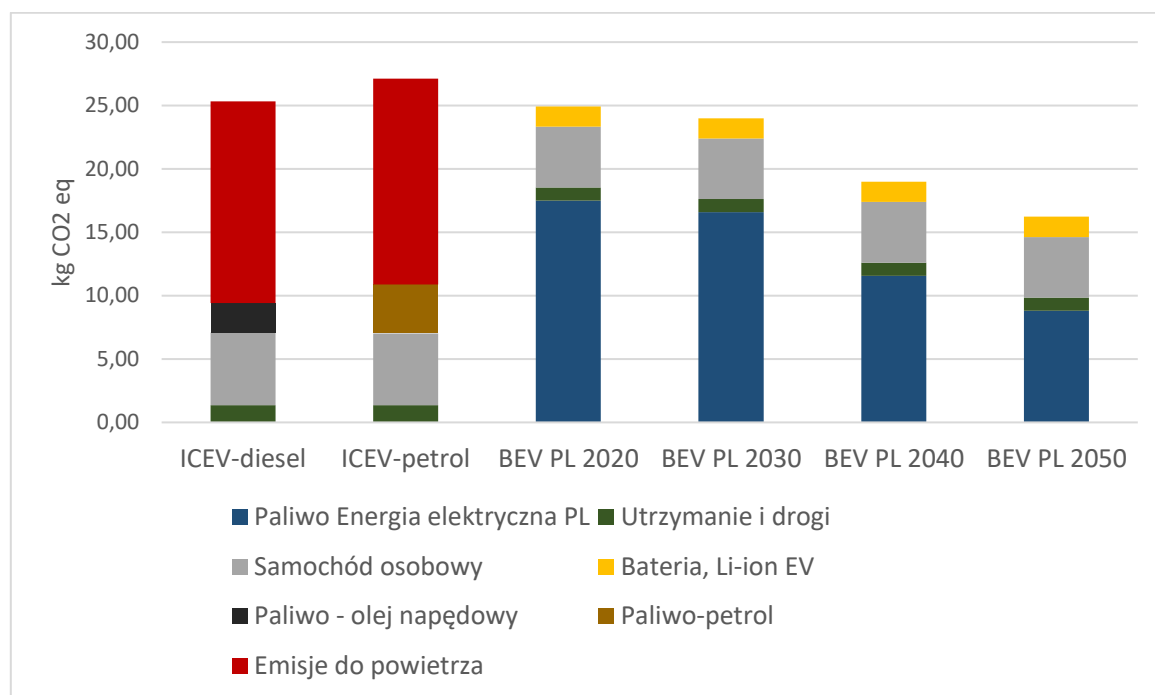
Rysunek 52: Granice systemu w cyklu życia pojazdów BEV i ICEV (napędzanych olejem napędowym i

PORÓWNAWCZE LCA POJAZDÓW - WYNIKI

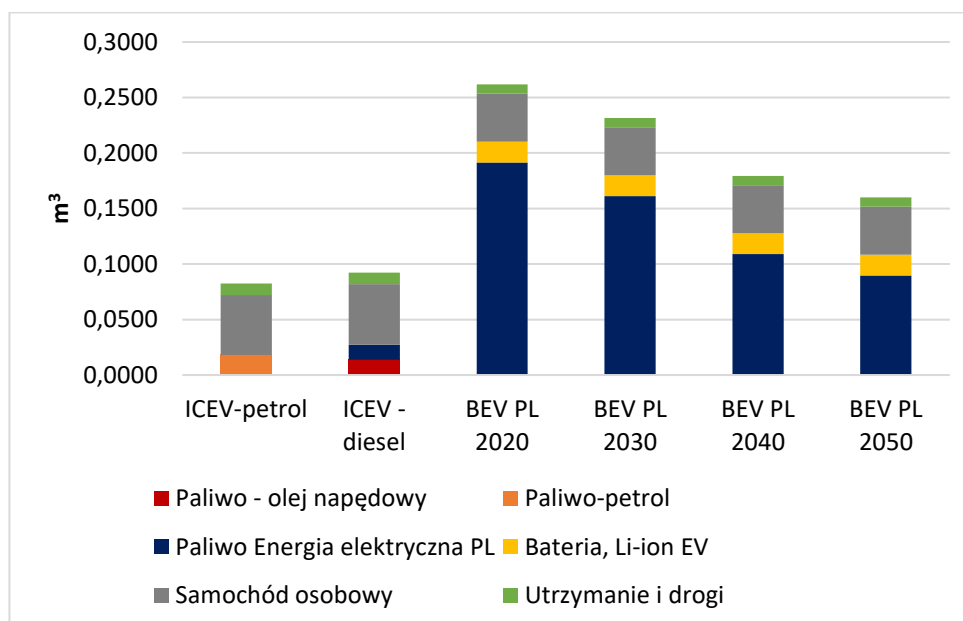
Rysunek 53 ilustruje poszczególne czynniki wpływające na ślad węglowy analizowanych pojazdów spalinowych ICEV, benzynowych ICEV oraz BEV, przy uwzględnieniu ładowania akumulatorów z wykorzystaniem miks energetycznego dostępnego w latach 2020-2050.

Stwierdziliśmy, że obecne i przyszłe wskaźniki śladu węglowego pojazdów BEV w Polsce są niższe niż w przypadku pojazdów o napędzie konwencjonalnym ICEV. W przypadku pojazdów ICEV główną determinantą śladu węglowego jest bezpośrednia

emisja do powietrza na etapie użytkowania pojazdu, natomiast w przypadku pojazdów BEV analogiczną determinantą jest produkcja energii elektrycznej.



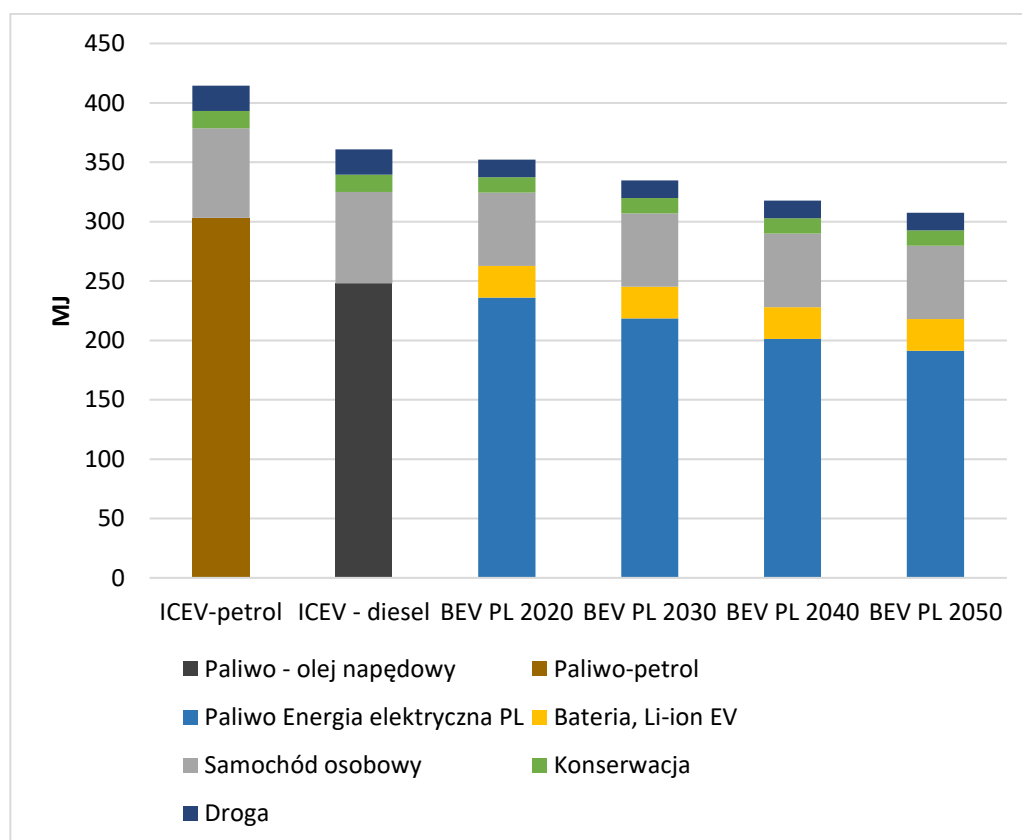
Rysunek 53: Analiza śladu węglowego pojazdów na paliwa konwencjonalne i pojazdów elektrycznych typu BEV



Rysunek 54: Analiza śladu wodnego pojazdów ICEV napędzanych benzyną, pojazdów ICEV napędzanych olejem napędowym oraz pojazdów BEV

Rysunek 54 przedstawia czynniki wpływające na ślad wodny pojazdów spalinowych ICEV, oraz BEV, jeśli proces ładowania akumulatorów oparty jest na krajowym mieszkaniu energetycznym dostępnym w latach 2020-2050.

Stwierdziliśmy, że zarówno obecny, jak i przyszły ślad wodny pojazdów BEV w Polsce jest wyższy niż pojazdów ICEV (Rysunek 54). W przypadku ICEV etap produkcji samochodu jest główną determinantą śladu wodnego, natomiast w przypadku BEV tą determinantą jest energia elektryczna.



Rysunek 55: Analiza śladu węglowego pojazdów spalinowych na benzynę, pojazdów spalinowych na olej napędowy i pojazdów BEV

Rysunek 5 ilustruje poszczególne czynniki wpływające na ślad zasobowy analizowanych pojazdów ICEV i BEV, przy uwzględnieniu ładowania akumulatorów z wykorzystaniem mixu energetycznego dostępnego w latach 2020-2050.

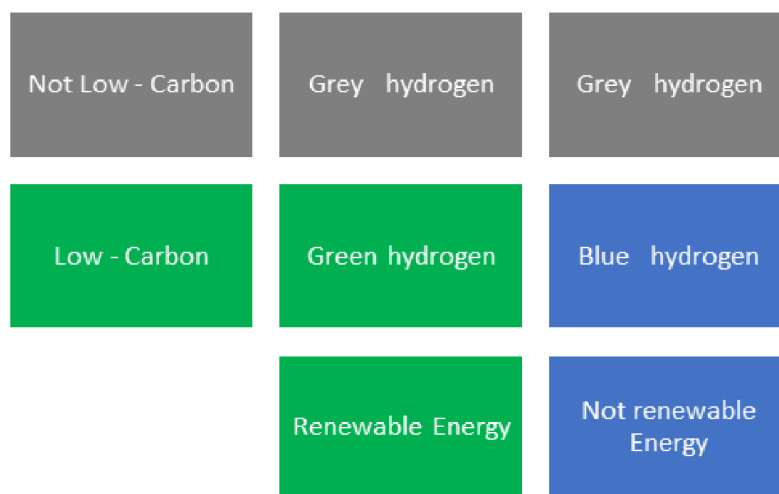
Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdziliśmy, że zaproponowane ślady środowiskowe są odpowiednimi i użytecznymi narzędziami, które mogą służyć do podejmowania decyzji w zakresie oceny zrównoważonego rozwoju transportu według podejścia opartego na cyklu życia. Konieczne są jednak dalsze badania w celu

udoskonalenia tych metod. Uzyskane w ten sposób metryki środowiskowe mogą być wykorzystane do wspierania procesu decyzyjnego w gospodarce cyrkularnej.

4.5 OCENA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z OGNIWAMI PALIWOWYMI

WODÓR JAKO NAJBARDZIEJ OBIECUJĄCA OPCJA DEKARBONIZACJI POJAZDÓW

Zmiany klimatyczne i wyczerpywanie się paliw kopalnych to główne przyczyny prowadzące do rozwoju metod technologii wodorowej. Istnieje wiele procesów produkcji wodoru z zasobów konwencjonalnych i alternatywnych, takich jak gaz ziemny, węgiel, energia jądrowa, biomasa, energia słoneczna i wiatrowa. Wodór może być pozyskiwany z różnych źródeł. Może mieć kolor zielony, niebieski lub szary (Rysunek 56).

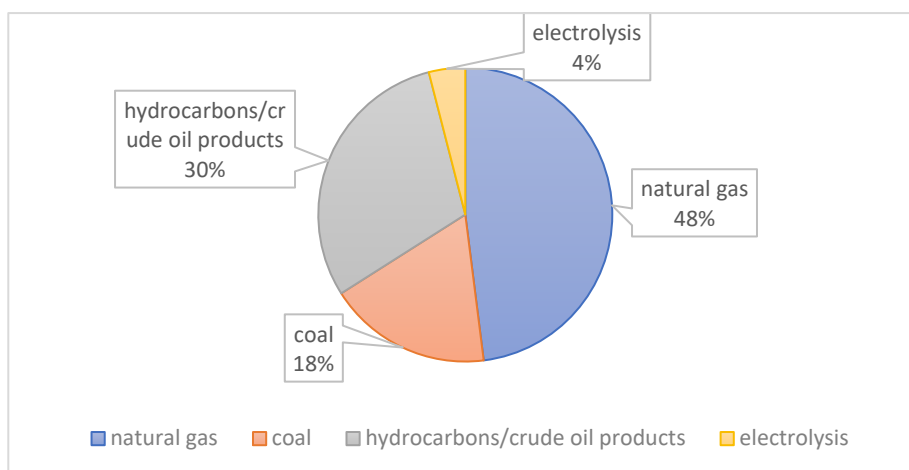


Rysunek 56: Orientacyjne kolory dla produkcji wodoru ze źródeł nieodnawialnych i odnawialnych

Wodór może być produkowany z odnawialnych źródeł, takich jak wiatr i energia słoneczna, ale równie dobrze może być produkowany z paliw kopalnych, w tym gazu i węgla. Kolory, w tym przypadku, pełnią rolę znaczników użytkowych pokazujących, w jaki sposób wodór został uzyskany, umożliwiając rządowi, przedsiębiorstwom i społecznościom ocenę ich wad w stosunku do zalet czystych, bezemisyjnych produktów:

- Zielony wodór pochodzi w 100% z bezemisyjnych źródeł odnawialnych, takich jak wiatr i słońce;

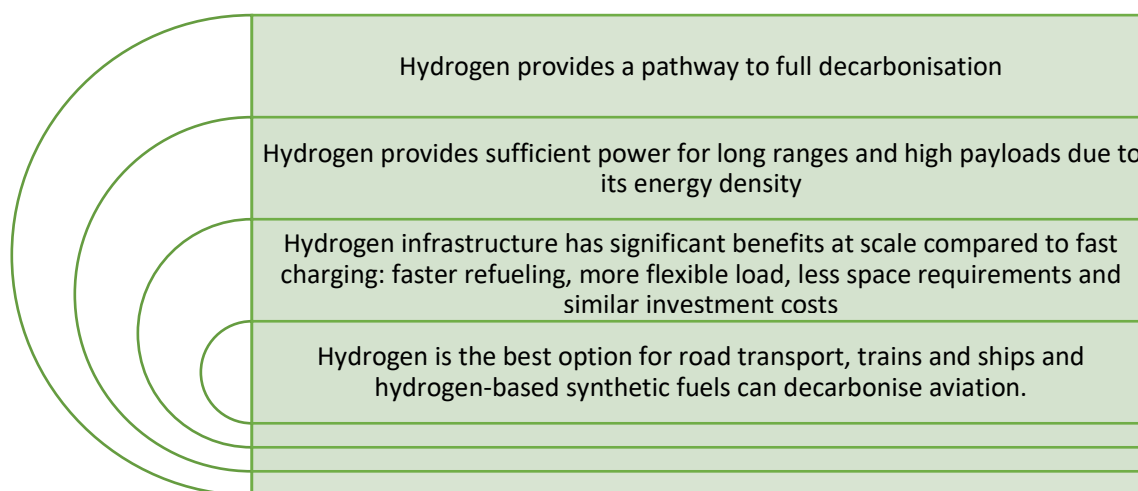
- Wodór jest niebieski, gdy w procesie produkcji nie powstaje żadna dodatkowa emisja (np. przy wykorzystaniu energii jądrowej), co ma miejsce w przypadku procesów wykorzystujących specyficzne technologie (np. Sekwestracji ditlenku węgla CCS) w celu osiągnięcia zerowej emisji netto;
- Wodór szary jest produkowany z dodatkową emisją (zazwyczaj z gazu ziemnego lub węgla brunatnego). Niestety, ta kategoria stanowi ok. 95% wszystkich produkowanych obecnie na świecie wodorów.



Rysunek 57: Źródła wykorzystywane do produkcji wodoru

Najpopularniejsze metody produkcji wodoru to konwersja gazu ziemnego i lekkich węglowodorów, zgazowanie węgla i biomasy, odzysk gazu koksowniczego oraz elektroliza wody, fotoelektroliza procesy fotobiologiczne.

W dniu 8 lipca 2020 r., w ramach realizacji Europejskiego Zielonego Ładu, Komisja Europejska ogłosiła strategię wodorową, której głównym celem jest wspieranie rozwoju produkcji wodoru w oparciu o OZE, czyli zielonego wodoru uzyskiwanego w procesie elektrolizy z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Wodór jest zdecydowanie najbardziej obiecującą opcją dekarbonizacji dla pojazdów ciężarowych, autobusów, statków, pociągów, dużych samochodów i pojazdów użytkowych z czterech powodów (Rysunek 58).



Rysunek 58: Powody, dla których wodór jest najbardziej obiecującą opcją dekarbonizacji dla różnych pojazdów

Według raportu z 2020 roku zatytułowanego *"Fuelling the Future of Mobility: Hydrogen and Fuel Cell Solutions for Transportation"*, opracowanego przez *Deloitte China i Ballard Power Systems*, z punktu widzenia emisji w cyklu życia przyszłością transportu są pojazdy napędzane wodorowymi ogniwami paliwowymi.

Wzrost zainteresowania i zapotrzebowania na wodór, powszechnie nazywany *paliwem przyszłości*, wywołany jest jego rosnącym zużyciem w transporcie. Wodór stosowany w transporcie postrzegany jest jako paliwo niskoemisyjne, alternatywne dla produktów ropopochodnych i gazowych. Pojazdy FCEV mogłyby zmniejszyć zanieczyszczenie powietrza, ponieważ nie powodują bezpośredniej emisji spalin, podobnie jak pojazdy BEV.

Wodór zaliczany jest do paliw niskoemisyjnych. Jedynym związkiem uwalnianym z rury wydechowej pojazdu napędzanego tym gazem jest para wodna. Jednak rzeczywista emisja związana z produkcją wodoru zależy od sposobu jego pozyskania. Wodór jest jednym z najważniejszych źródeł czystej energii wspieranych przez Unię Europejską, jednak aby w ramach polityki unijnej wodór został uznany za ekologiczny, powinien być produkowany wyłącznie z wykorzystaniem energii odnawialnej. Tymczasem w Europie i w Polsce głównym tematem dyskusji jest produkcja na skalę przemysłową wodoru z paliw kopalnych, czyli inaczej mówiąc - szarego wodoru. Jednak dotychczasowa produkcja wodoru realizowana w Polsce w znacznym stopniu wykorzystywała technologie oparte na węglu, dlatego konieczne jest rozwijanie technologii opartych na OZE, aby uzyskiwany w ten sposób wodór był ekologiczny.

4.6 OCENA CYKLU ŻYCIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z OGNIWAMI PALIWOWYMI - STUDIUM PRZYPADKU

Przeprowadziliśmy analizę emisji gazów cieplarnianych przez pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi (FCEV) zasilane wodorem produkowanym z węgla. W tym celu wykonaliśmy analizy LCA dla produkcji wodoru oraz wykorzystaliśmy wyniki analiz GHG produkcji i eksploatacji pojazdów FCEV z literatury.

Z literatury uzyskano następujące wyniki analiz emisji gazów cieplarnianych zarówno dla produkcji jak i eksploatacji pojazdów FCEV ^{45, 46} :

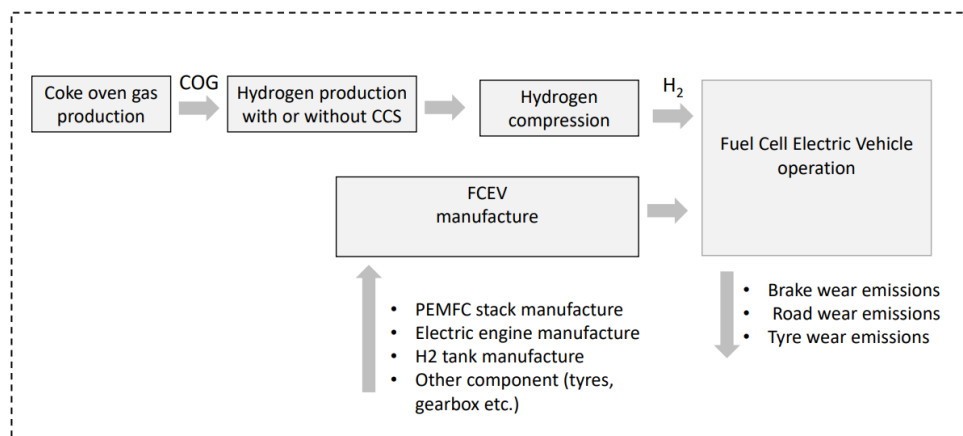
- PEMFC - 5 g CO₂ eq/km,
- Infrastruktura pojazdu (bez PEMFC) - 40 g CO₂ eq/km, oraz
- Eksploatacja pojazdu (bez wodoru) - 10 g CO₂ eq/km.

Przeprowadziliśmy analizę porównawczą emisji GHG dla pojazdów FCEV zasilanych wodorem produkowanym z gazu koksowniczego (COG) oraz dla pojazdów FCEV zasilanych wodorem produkowanym ze zgazowania węgla. Analiza emisji GHG w przypadku produkcji wodoru w procesie zgazowania obejmowała procesy wydobywania węgla, obróbki mechanicznej, transportu węgla do zakładu zgazowania, samego zgazowania, wychwytywania CO₂ i składowania węgla. Przedstawiono wyniki analizy emisji GHG produkcji wodoru ze zgazowania węgla z CCS i bez CCS w warunkach polskich [¹⁷]. Rozszerzyliśmy granicę systemu na FCEV i zastosowaliśmy uzyskany wodór do FCEV. W naszym studium przypadku jednostką funkcjonalną był 1 km, a granica systemu została rozszerzona. Analiza emisji GHG przez FCEV wykazała, że emisja GHG przy produkcji wodoru z COG była niższa niż przy produkcji wodoru ze zgazowania węgla. Ponadto pojazdy FCEV zasilane wodorem uzyskanym ze zgazowania węgla (bez technologii CCS) charakteryzowały się najwyższym wskaźnikiem emisji GHG, natomiast technologia zgazowania biomasy wykorzystana do produkcji wodoru wykazała najniższy wskaźnik emisji GHG - jest to zatem najlepsza alternatywa produkcji wodoru.

⁴⁵ Evtimov I. & Ivanov R. & Stanchev H. & Kadikyanov G. & Staneva G. Life cycle assessment of fuel cells electric vehicles. *Problemy Transportu*. 2020. Vol. 15, No. 3, P. 153-166

⁴⁶ Valente, A. & Iribarren, D. & Candelaresi, D. & Spazzafumo, G. & Dufour, J. Using harmonised life-cycle indicators to explore the role of hydrogen in the environmental performance of fuel cell electric vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020. Vol. 45. P.25758-25765

Granica systemu w cyklu życia FCEV zasilanego wodorem produkowanym z gazu koksowniczego przedstawiona jest na Rysunku 59.



Rysunek 59: Granica systemu w cyklu życia FCEV

Nasze wyniki zostały porównane z cyklem życia FCEV zakładającym tak różne źródła wodoru jak gaz ziemny, biomasa i elektroliza (Table 11).^{47,48,49,50,51}

Tabela 11: Analiza porównawcza wyników badań oryginalnych

System produkcji wodoru	Emisje GHG w cyklu życia FCEV [g CO ₂ eq/km]	Źródła
Wodór z gazu koksowniczego bez CCS	156	52, 17
Wodór z gazu koksowniczego z CCS	97	
Wodór ze zgazowania węgla bez CCS	215	
Wodór ze zgazowania węgla z CCS	121	45
Wodór z parowego reformingu metanu	140	
Wodór z gazyfikacji biomasy	60	53
Wodór z elektrolizy - energia wiatru	70	

⁴⁷ Heo E., Kim J., Cho S.: Selecting hydrogen production methods using fuzzy analytic hierarchy process with opportunities, costs, and risks. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 37, 2012, s. 17655-17662.

⁴⁸ Chang P.L., Hsu C.W., Chang P.C.: Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, 2011, s. 14172-14179.

⁴⁹ Kügemann M., Polatidis, H.: Multi-Criteria Decision Analysis of Road Transportation Fuels and Vehicles: A Systematic Review and Classification of the Literature. *Energies*, Vol.13, Issue1, 2020

⁵⁰ Nikolaidis P., Poullikkas A.: A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 67, 2017, s. 597-611

⁵¹ Staffell I., Scamman D., Abad W.A., Balcombe P., Dodds P. E., Ekins P., Ward K. R.: The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, Vol. 12, 2019, s. 463-491.

⁵² Piotr Fołgga, Dorota Burchart, Paweł Marzec, Simona Jursova, Pavlina Pustejovska: Potencjalne oddziaływanie na środowisko w cyklu życia pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi, zasilanych wodorem produkowanym z polskiego gazu koksowniczego, *Problemy Transportu*, issue 1, vol 17, 2022

⁵³ Evtimov I. & Ivanov R. & Stanchev H. & Kadikyanov G. & Staneva G. Life cycle assessment of fuel cells electric vehicles. *Problemy Transportu*. 2020. Vol. 15, No. 3, P. 153-166

Emisja GHG została oceniona dla pojazdów BEV, których akumulatory były ładowane energią elektryczną dostarczaną z sieci elektroenergetycznej, czyli polskiego miksu elektroenergetycznego⁵⁴,⁵⁵. W przypadku BEV w Polsce emisja GHG wynosiła 41,4 kg CO₂ eq/150 000 km (w 2015 r.). Do 2050 roku emisja ta ma się zmniejszyć do 25,8 kg CO₂ eq/150 000 km. W latach 2015-2050 emisje GHG przypisywane pojazdom BEV wynoszą od 172 do 276 gCO₂ eq/km, w zależności od źródła energii elektrycznej.

Emisja gazów cieplarnianych przez pojazdy FCEV wynosi od 60 do 215 g CO₂ eq/km, co oznacza, że stosowanie wodoru, nawet jeśli jest on produkowany przy użyciu paliw kopalnych, jest lepszym rozwiązaniem dla transportu niż pojazdy elektryczne. Wyjątkiem jest wodór pochodzący ze zgazowania węgla bez technologii CCS.⁵⁶

FCEV nie generują lokalnych emisji związków takich jak NO_x, ani nie emitują żadnego CO₂. Na etapie tankowania do koła (TTW) jedynie pojazdy FCEV i BEV są całkowicie neutralne pod względem emisji ditlenku węgla, natomiast inne warianty dekarbonizacji - takie jak pojazdy napędzane biopaliwami, gazem ziemnym i hybrydy - nie są. W porównaniu z pojazdami typu ICEV napędzanymi olejem napędowym i benzyną, emisje należy rozpatrywać w taki sam sposób jak emisje z produkcji paliwa na etapie tank-to wheel (TTW) i well-to-tank (WTT). Emisje WTT dla ICEV obejmują emisje z wydobycia ropy naftowej, transportu, rafinacji i przetwarzania oraz dystrybucji do stacji paliw. W przypadku pojazdów BEV emisje WTT zależą od miksu energetycznego kraju, w którym pojazd jest zazwyczaj ładowany. Zaletą pojazdów FCEV w porównaniu z BEV jest to, że ogniwa paliwowe są mniej energochłonne niż akumulatory. Wpływ pojazdów FCEV na środowisko na etapie WTT zależy od sposobu produkcji wodoru.

Przeanalizowaliśmy ślad węglowy łańcuchów dostaw wodoru dla pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi. Co istotne, pojazdy FCEV nie tylko zmniejszają emisję gazów cieplarnianych w porównaniu z pojazdami napędzanymi benzyną, ale pojazdy te nie emitują prawie żadnych zanieczyszczeń podczas eksploatacji, co może poprawić jakość powietrza, szczególnie na obszarach miejskich.

⁵⁴ Zhang, B., Chen, Y., Kang, B., Qian, J., Chuai, X., Peng, R., Zhang, J., Hydrogen production via steam reforming of coke oven gas enhanced by steel slag-derived CaO *International Journal of Hydrogen Energy* 2020. Vol. 45. P.13231-13244

⁵⁵ Valente, A. & Iribarren, D & Dufour, J. Harmonizacja wyborów metodologicznych w ocenie cyklu życia wodoru: A focus on acidification and renewable hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019. Vol. 44. P.19426-19433

⁵⁶ Fueling the Future of Mobility Rozwiązania w zakresie wodoru i ogniwo paliwowych w transporcie. Vol. 1, Deloitte China 2020.

Paliwa kopalne zużywane do produkcji wodoru (tj. ścieżki produkcji wodoru oparte na gazie ziemnym, węglu i energii z sieci), które mają być paliwem przyszłości, nie mogą być traktowane jako zielona alternatywa. Jedynie pojazdy z ogniwami paliwowymi zasilane wodorem produkowanym technikami opartymi na OZE - w szczególności energią wiatrową i wodną - mogą ograniczyć emisję gazów cieplarnianych. LCA jest użytecznym narzędziem do oceny wpływu na środowisko pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi wykorzystującymi różne paliwa. Analiza cyklu życia wodoru wykazała, że wodór jest obiecującym rozwiązaniem w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednak w przypadku pojazdów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi rozwiązanie to może powodować nawet wyższe emisje gazów cieplarnianych niż te, które można przypisać pojazdom napędzanym paliwami konwencjonalnymi, jeżeli wodór jest produkowany przy użyciu paliw kopalnych. Pojazdy napędzane wodorem stanowią jedną z trzech głównych opcji transportu niskoemisyjnego, obok pojazdów napędzanych biopaliwami i pojazdów elektrycznych. W przeciwieństwie do biopaliw, wodór nie ma wpływu na użytkowanie gruntów ani na jakość powietrza; ponadto wodór oferuje większy zasięg działania i krótszy czas ładowania niż pojazdy BEV. Samochody elektryczne są jednak bardziej zaawansowane niż samochody napędzane wodorem ze względu na niższe koszty i łatwo dostępną infrastrukturę^{57, 58}.

⁵⁷ Chen, Y.& Ding, Z.& Wang, W.& Liu, J. Ocena cyklu życia i symulacja scenariusza czterech schematów produkcji wodoru dla pojazdów z wodorowymi ogniwami paliwowymi. *China Journal of Highway and Transport* 2019. Vol. 32. No.5. P.172-180

⁵⁸ Burchart D. Zastosowanie zaawansowanych metod środowiskowej oceny cyklu życia do ścieżek alternatywnych paliw transportowych. Monografia. Politechnika Śląska, Gliwice 2021, 170 s.

4.7 ODNIESIENIA DO ROZDZIAŁU



Podsumowanie

Pod koniec tego rozdziału studenci będą rozumieli następujące pojęcia:

- Znaczenie LCA w sektorze motoryzacyjnym
- LCA pojazdów akumulatorowo-elektrycznych (BEV)
- LCA pojazdów elektrycznych napędzanych ogniwami paliwowymi (FCEV)
- Ocena śladu środowiskowego
- LCA dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych
- Ślad węglowy, ślad wodny i ślad zasobowy źródeł energii
- Obliczeniowy model śladu środowiskowego dla ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych
- Porównanie LCA pojazdów ICEV na benzynę, ICEV na olej napędowy i BEV
- Wodór jako najbardziej obiecująca opcja dekarbonizacji pojazdów



Pytania

- Jakie jest znaczenie LCA dla sektora motoryzacyjnego?
- Jak cykl życia pojazdów BEV wpływa na ślad węglowy?
- Jak cykl życia pojazdów BEV wpływa na ślad wodny?
- Jakie są źródła produkcji wodoru?
- Co to jest ślad ekologiczny?
- Jak poszczególne źródła energii wpływają na ślad ekologiczny?
- Jakie są wyniki LCA pojazdów ICEV na benzynę, ICEV na olej napędowy i BEV?
- Dlaczego wodór jest najbardziej obiecującą opcją dekarbonizacji pojazdów?

Skróty

BEV - pojazdy elektryczne na baterie

CCS - wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla

CF - ślad węglowy

CWU - skumulowane zużycie wody

DALY - lata życia skorygowane niepełnosprawnością

EF - ślad ekologiczny

FCEV - pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi

FU - jednostka funkcjonalna

GHG emissions - emisja gazów cieplarnianych

GWP - Global Warming Potential (potencjał tworzenia efektu cieplarnianego)

ICEV - pojazdy z silnikiem spalinowym

LCA - ocena cyklu życia

LCI - inwentaryzacja cyklu życia

LCIA - ocena wpływu cyklu życia

OZE - Odnawialne źródła energii

RF - ślad zasobowy

TTW - tank-to-wheel

WF - ślad wodny

WTT - well-to-tank

5. NARZĘDZIA DLA LCA I OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO

5. NARZĘDZIA DLA LCA I OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO	115
5.1 Wprowadzenie do narzędzi LCA	116
Co należy wziąć pod uwagę przy wyborze oprogramowania LCA	117
5.2 Bazy danych WKP	118
Ecoinvent	119
Federalne LCA Commons	121
Baza danych Carbon Minds	122
Gabi	123
Inne bazy danych	125
5.3 Narzędzia programowe LCA	128
SimaPro	129
SimaPro Collect	131
SimaPro Share	131
Gabi	132
OpenLCA	133
Umberto	135
5.4 Odniesienia do rozdziału	137



Czas na naukę 120 minut



Cele

JAKĄ WIEDZĘ ZDOBEDĄ STUDENCI

Studenci zdobędą wiedzę na temat różnych baz danych LCI oraz kilku narzędzi programowych LCA, które mogą być wykorzystane do analizy LCA

JAK POMOŻE IM TO ZROZUMIEĆ TEMAT

Student może uzyskać przegląd kilku dostępnych narzędzi LCA i powiązanych baz danych LCI wykorzystywanych do oceny cyklu życia.

JAKIE UMIEJĘTNOŚCI ROZWINIE ROZDZIAŁ

Rozdział ten pomoże studentom w zdobyciu umiejętności i wiedzy na temat narzędzi LCA, które mogą być przydatne w przyszłej pracy zawodowej.

GDZIE STUDENCI MOGĄ WYKORZYSTAĆ WIEDZĘ

Studenci mogą wykorzystać wiedzę w swojej przyszłej pracy związanej z analizą LCA i wykorzystaniem narzędzi LCA oraz różnych baz danych LCI.



Teoria

5.1 WPROWADZENIE DO NARZĘDZI LCA

Aby wspomóc analizę LCA na rynku dostępnych jest kilka narzędzi LCA, które można kupić lub są darmowe. Narzędzia te różnią się znacznie pod względem łatwości obsługi, zasad modelowania oraz dołączonych baz danych, z których można korzystać.

CO NALEŻY WZIĄĆ POD UWAGĘ PRZY WYBORZE OPROGRAMOWANIA LCA

Przy wyborze oprogramowania LCA do wykorzystania w projekcie istnieje kilka kryteriów, które należy rozważyć, aby wybrać najlepszą opcję dla swoich potrzeb.

Przede wszystkim należy określić, jakie potrzeby ma spełniać narzędzie. Czy chcemy obliczyć LCA nowo powstałego produktu, czy też oceniamy i ulepszymy już istniejący?

Po drugie, należy zastanowić się, czy dostarczone wyniki mają zastosowanie do Twoich warunków:

- Jakie środowisko programowe masz do dyspozycji?
- Czy narzędzie będzie obsługiwane przez jedną osobę, czy też wiele osób będzie udostępniać dane?
- Jaki typ danych jest dostępny w oprogramowaniu?
- Czy narzędzie będzie wykorzystywane tylko przez Twoją firmę, czy też podzielisz się źródłem i wynikami z innymi?
- Jak narzędzie współpracuje z innymi możliwymi narzędziami i systemami, których używasz w swojej firmie?
- Jak długo potrwają obliczenia?
- Czy będziesz w stanie wykorzystać dane i wyniki bezpośrednio do prezentacji i dalszej oceny?
- Czy narzędzie wspiera pożądaną certyfikację?

Warto też wziąć pod uwagę stronę finansową:

- Czy firma posiada już narzędzie LCA czy będzie kupowane nowe narzędzie?
- Jakim budżetem dysponujesz?
- Ile osobogodzin zajmie nauka narzędzia?
- Istnieje możliwość opłacenia kursu, który pomoże w nauce tego narzędzia?
- Czy jest wystarczająco dużo przykładów i odpowiednia dokumentacja na temat narzędzia?

Wreszcie, należy również rozważyć funkcje, które zapewnia oprogramowanie LCA. Należy rozważyć te pięć kategorii:

- Baza danych - baza danych wykorzystywana do obliczeń oraz metodologia jest głównym elementem narzędzia, który należy rozważyć. Istnieje wiele baz danych,

które są dostępne dla jednego lub więcej narzędzi oprogramowania LCA. Więcej o bazach danych LCI zostanie opisane później.

- Analiza niepewności - ponieważ zmienność za pomocą statystycznych metod modelowania może powodować potencjalne zniekształcenia, analiza niepewności i zmienności powinna być włączona do narzędzi oprogramowania LCA.
- Analiza wrażliwości - oprogramowanie LCA powinno zawierać analizę wrażliwości w celu zbadania solidności wyników i ich wrażliwości na niepewne czynniki. Ten krok jest istotną częścią ostatecznej interpretacji, ponieważ parametry wejściowe dla LCA są często niepewne.
- Metody oceny wpływu - narzędzia LCA powinny zawierać metody stosowane do oceny potencjalnych wpływów na środowisko. Dwie rozpowszechnione i uznane na świecie metody LCA to metoda CML 2001⁵⁹ oraz Eco-Indicator 99⁶⁰
- Prezentacja - przyjazny dla użytkownika styl prezentacji jest koniecznością w dobrym oprogramowaniu LCA. Wyniki powinny być prezentowane w uporządkowanej hierarchii i pozwalać na interaktywność z prezentowanymi wynikami.

5.2 BAZY DANYCH LCI

Baza danych Life Cycle Inventory (LCI) wspiera różne rodzaje oceny zrównoważonego rozwoju. Istnieje wiele komercyjnych i bezpłatnych baz danych LCI, które zawierają informacje i zbiory danych dotyczące jednego lub wielu sektorów i które mogą być importowane i wykorzystywane przez opisane wcześniej narzędzia. W poniższym tekście skupimy się tylko na kilku z tych baz danych.

Przy wyborze bazy danych należy zwrócić uwagę na to, czy jest ona dobrze zdefiniowana i regularnie aktualizowana, ponieważ postęp technologiczny powoduje przedwczesne starzenie się ważności istniejących danych. Z punktu widzenia pomiaru oddziaływania na środowisko, dwa parametry są krytyczne:

⁵⁹ Guinée, J., Heijungs, R., Huppes, G., Koning, A.D., Oers, L., Sleeswijk, A.W., Haes, U.D., Duin, R.V. & Lindeijer, E. 2001. Life cycle assessment-An operational guide to the ISO Standards Ministry of Housing, Planowania Przestrzennego i Środowiska (VROM) oraz Centrum Nauki o Środowisku, Uniwersytet w Lejdzie (CML), Holandia.

⁶⁰ Goedkoop, M., Effting, S. & Collignon, M. 2000. Eco-Indicator 99: Podręcznik dla projektantów: Zorientowana na szkody metoda oceny wpływu cyklu życia. Amersfoort: PRé Consultants.

- Ilość, jakość, dokładność i trafność danych dostępnych dla użytkownika w oprogramowaniu,
- Przyjazność pakietu oprogramowania dla użytkownika.

ECOINVENT

Baza danych Ecoinvent⁶¹ zawiera około 18 000 zestawów danych dotyczących wykazu cyklu życia, obejmujących szereg sektorów na poziomie globalnym i regionalnym:

- Usługi noclegowe - baza zawiera dane obejmujące budowę i eksploatację turystycznych obiektów noclegowych, a także związane z nimi dobra konsumpcyjne.
- Rolnictwo, rybołówstwo i hodowla zwierząt - baza składa się ze zbiorów danych obejmujących uprawy, produkcję oleju z upraw, działalność wspomagającą rolnictwo, transport, produkcję pasz dla zwierząt, hodowlę zwierząt oraz końcową fazę życia różnych produktów ubocznych.
- Budownictwo - baza obejmuje wydobycie, przetwarzanie, transport i produkcję minerałów i materiałów budowlanych oraz przetwarzanie materiałów budowlanych po zakończeniu eksploatacji.
- Chemia i tworzywa sztuczne - baza składa się z ponad 1900 zbiorów danych obejmujących spektrum tablicowe substancji, które są następnie wykorzystywane w innych sektorach. W bazie możemy znaleźć zbiory danych dotyczące nawozów, pestycydów, tuszy i farb, tworzyw sztucznych i gumy oraz wiele innych.
- Energia - baza zawiera dane o energii elektrycznej i ciepłej, które wspomagają wiele różnych działań, są wykorzystywane i zużywane na potrzeby funkcjonowania gospodarstw domowych, biur i obiektów, do produkcji, transportu i obsługi maszyn.
- Leśnictwo i drewno - baza obejmuje uprawę lasów, produkcję drewna, transport i obróbkę drewna oraz działalność wspomagającą i końcową fazę życia różnych produktów ubocznych.
- Paliwa - baza zawiera dane dotyczące technologii wydobycia i przerobu, transportu paliw surowych lub rafinowanych, produkcji i dystrybucji najbardziej popularnych

⁶¹ Ecoinvent Database, dostępne na stronie. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>. Ostatni dostęp luty 2022.

rodzajów paliw - kopalnych takich jak węgiel kamienny, brunatny, ropa naftowa, produkty rafinacji ropy naftowej i gaz ziemny - paliw odnawialnych takich jak biogaz, biometan, bioetanol, biodiesel i różne biopaliwa stałe z biomasy.

- Infrastruktura - baza obejmuje zbiór danych o infrastrukturze nieruchomej dla budownictwa, transportu, rolnictwa, produkcji, wytwarzania i transportu energii, górnictwa, utylizacji odpadów oraz sektora hotelarskiego.
- Metale - baza danych opisuje działania związane z produkcją półfabrykatów metalowych, takich jak kęsy, wlewki i pręty, a także działania, które produkują gotowe wyroby metalowe. Baza danych obejmuje produkcję 35 różnych metali.
- Masa papiernicza i papier - baza danych zawiera około 160 zestawów danych obejmujących łańcuch dostaw od początkowej gospodarki leśnej do produkcji różnych produktów z papieru i tektury, a także przetwarzanie odpadów papierowych i tekturowych po zakończeniu eksploatacji.
- Tekstylnia - baza zawiera około 150 zbiorów danych obejmujących uprawę surowców, ich przetwarzanie oraz transport różnych produktów ubocznych.
- Transport - baza zawiera około 600 zbiorów danych obejmujących produkcję, utrzymanie i eksploatację środków transportu, infrastrukturę oraz przetwarzanie po zakończeniu eksploatacji.
- Gospodarka odpadami i recykling - baza zawiera ponad 1600 zbiorów danych związanych z gromadzeniem, sortowaniem, unieszkodliwianiem i odzyskiem odpadów z różnych sektorów.
- zaopatrzenie w wodę - baza obejmuje ponad 150 baz danych, które dotyczą wydobycia, uzdatniania i dystrybucji wody wodociągowej, wody przetworzonej i wody do nawadniania.

Każdy zbiór danych jest przypisany do lokalizacji geograficznej - stanu, kraju lub kontynentu. Zasięg geograficzny zależy od jakości i dostępności danych. Dla prawie każdego zbioru danych istnieje również lokalizacja geograficzna globalna lub lokalizacja Rest-of-the-World, reprezentująca średnią produkcję globalną. Lokalizacja globalna i lokalizacja Rest-of-the-World mogą być używane w przypadkach, gdy nie ma pożądanej reprezentacji lokalnej. Globalny zbiór danych jest tworzony w celu odzwierciedlenia średnich warunków globalnych na podstawie danych międzynarodowych. Jeżeli takie dane nie istnieją, wówczas globalna lokalizacja jest tworzona jako średnia ważona dostępnych lokalnych zestawów danych.

FEDERALNE LCA COMMONS

Federal LCA Commons ⁶² jest bazą danych dostarczającą reprezentatywne dla USA dane LCA. Baza danych zawiera zbiory danych opracowane w różnych amerykańskich agencjach rządowych, takich jak United States Department of Agriculture (USDA), Department of Energy oraz Environmental Protection Agency (EPA). Ponadto inne agencje, takie jak National Renewable Energy Laboratory (NREL), National Agriculture Laboratory (NAL), US Forest Service oraz National Institute of Standards and Technology (NIST), uczestniczą we wspieraniu i tworzeniu różnych zbiorów danych.

Celem Federal LCA Commons, jak podano na ich stronie internetowej [⁶³], jest:

1. Wspieranie federalnych danych, badań i systemów informacyjnych dotyczących LCA poprzez wykorzystanie zasobów i wiedzy wielu agencji,
2. Zwiększenie spójności metod LCA opracowanych przez każdą agencję w celu opracowania wyników LCA na potrzeby podejmowania decyzji i publicznego ujawniania informacji, oraz
3. Zwiększenie dostępu społeczeństwa i agencji do federalnych danych LCA w znormalizowanym formacie umożliwiającym wyszukiwanie, pochodzących ze wspólnego repozytorium.

Federalna baza danych LCA Commons może być dostępna i pobrana ze strony LCA commons ⁶⁴ lub jest dostępna dla OpenLCA,

⁶²Federal LCA Commons, dostępny pod adresem. <https://www.lcacommons.gov/>, ostatni dostęp luty 2022.

⁶³Federal LCA Commons, dostępne pod adresem. <https://www.lcacommons.gov/about-us-0>. Ostatni dostęp: luty 2022.

⁶⁴Federal LCA Commons, dostępne pod adresem. <https://www.lcacommons.gov/lca-collaboration/>. Ostatni dostęp: luty 2022.

coal extraction and processing - Central Appalachia, BIT, Processing
 21: Mining, Quarrying, and Oil and Gas Extraction / 2121: Coal Mining

The cradle-to-gate inventory for production of coal aggregated to basin, mine type, and coal type groups. For coal extraction there are two major processes that form the basis of the coal life cycle model - underground and surface coal mining. These are connected to auxiliary processes that provide inventories from things like coal mine methane emissions, water use, water emissions, etc. All processes use parameters that allow some differentiation based on region or coal type. Details on the coal modelling can be found in the NETL Coal Baseline report to be published in the near future: netl.doe.gov/LCA This process was created with ElectricityLCI (<https://github.com/USEPA/ElectricityLCI>) version 1.0.1 using the ELCI_1 configuration.

Inputs/Outputs Documentation Allocation factors

Reference product
 1.0000e+0 sh tn coal, processed, at mine

By-products
 0.0000e+0 kg methane, captured

Produced waste
 0.0000e+0 kg 2,4-DINITROTOLUENE
 0.0000e+0 kg 2-BUTANONE, PEROXIDE (R,T) (OR) METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE (R,T)
 0.0000e+0 kg 2-PROPANONE (I) (OR) ACETONE (I)
 0.0000e+0 kg ACETALDEHYDE, TRICHLORO- (OR) CHLORAL
 0.0000e+0 kg ACIDIC AQUEOUS WST
 0.0000e+0 kg AQUEOUS W/O CYANIDES
 0.0000e+0 kg AQUEOUS/CYANIDES
 0.0000e+0 kg ARSENIC
 0.0000e+0 kg ASH
 0.0000e+0 kg BARIUM
 Show 78 more

Switch to table view

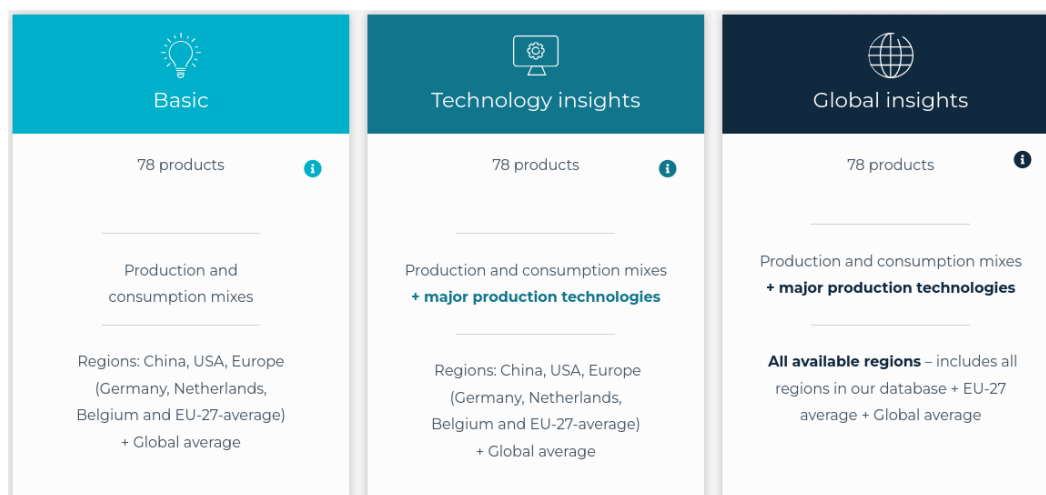
Rysunek SEQ Figure * ARABIC 60: Przykładowy zbiór danych w

BAZA DANYCH CARBON MINDS

Baza danych Cm.chemicals firmy Carbon Minds⁶⁵ to obszerny zbiór danych do oceny środowiskowej substancji chemicznych i tworzyw sztucznych. Wspierana przez spójną metodologię i coroczne aktualizacje, cm.chemicals jest kompleksowym źródłem danych dla badań oceny cyklu życia chemikaliów i tworzyw sztucznych zgodnych z ISO 14040/14044:2006/AMD 2:2020. Baza danych obejmuje ponad 1000 produktów w aż 190 regionach geograficznych.

Baza danych Carbon Minds może być zakupiona w formie standardowych pakietów danych - Basic, Technology insights, Global insights, które obejmują 78 popularnych substancji chemicznych lub jako Data-on-Demand.

⁶⁵Umysły węglowe, dostępne pod adresem. <https://www.carbon-minds.com/>. Ostatni dostęp Februarz 2022.



Rysunek SEQ Figure * ARABIC 61: Baza Carbon Minds dostępne opcje

GABI

Bazy danych GaBi LCA⁶⁶ oferuje około 17000 procesów i modeli planów, opartych na danych zebranych przez GaBi podczas współpracy z firmami, stowarzyszeniami i instytucjami publicznymi. GaBi oferuje kilka baz danych:

- Półprodukty organiczne - baza zawiera 184 procesy obejmujące podstawowe produkty syntezy przemysłowej (np. metanol, formaldehyd), produkty utleniania etylenu (np. tlenek etylenu), alkohole, komponenty do poliamidów (np. kwas adypinowy, kaprolaktam, heksametylenodiamina), produkty konwersji propenu (np. akrylonitryl, aceton, epichlorohydryna, bisfenol A), substancje aromatyczne i produkty przemiany benzenu (np. BTX, etylobenzen, styren, kumen, cykloheksan, MSA), produkty utleniania ksyleny (np. bezwodnik ftalowy, tereftalan dimetylu).
- Półprodukty nieorganiczne - zawiera 126 procesów obejmujących wodór, kwas azotowy, kwas cyjanowodorowy, amoniak i wiele innych.
- Energia - 1460 procesów obejmujących gaz ziemny, energię elektryczną, węgiel kamienny, ropę naftową, mieszanki węgla brunatnego z różnych krajów, energię ciepłą z pary wodnej, ropę naftową, gaz ziemny z kilku krajów i wiele innych.
- Stal - 33 procesy obróbki obejmujące często stosowane stopy stali.
- Aluminium - 86 procesów obejmujących wlewki pierwotne i wtórne, profile do wyciskania, blachy aluminiowe i inne.

⁶⁶Sphera Solutions GmbH, dostępne na <https://gabi.sphera.com/databases/gabi-databases/>, ostatni dostęp luty 2022.

- Metale nieżelazne - 13 procesów obejmujących tytan, kadm, nikiel, miedź, mangan, żelazochrom wysoko- i niskowęglowy i inne.
- Metale szlachetne - 28 procesów obejmujących srebro, silver mix, złoto, rod, platynę, pallad i inne.
- Tworzywa sztuczne - baza zawiera 107 procesów obejmujących tworzywa masowe (np. PE o różnej gęstości, PP, PS), polimery winylowe (np. PVC, PVAL), tworzywa techniczne (np. ABS, PMMA, PTFE), poliamidy (np. PA 6, PA 6.6, PA 6.12), tworzywa specjalne (np. PPS, PEEK, SMA).
- Powłoki - zawiera 80 procesów obejmujących różne powłoki rozpuszczalnikowe, proszkowe i wodne, slurry clear coat, plany modelowania powłok samochodowych i przemysłowych.
- End of Life - baza danych zawiera 520 procesów obejmujących granulatory, składowiska, spalanie, dynamiczne modele procesów.
- Procesy produkcyjne - 68 procesów obejmujących obróbkę skrawaniem, nitowanie, głębokie tłoczenie, szlifowanie, formowanie, cięcie laserowe, galwanizację.
- Elektronika - baza zawiera 251 procesów obejmujących linie montażowe, cewki, diody, układy scalone, PWB, pasty lutownicze, kondensatory, tranzystory, LED SMD, rezystory, cewki z rdzeniem pierścieniowym, podłoża FR4, termistory i inne.
- Surowce odnawialne - 157 procesów obejmujących nawozy i pestycydy, ciągniki i przepustki, sprzęt rolniczy, półprodukty przemysłowe, różne uprawy, takie jak kukurydza, pszenica, konopie, len, rzepak, soja i wiele innych.
- Materiały budowlane - baza zawiera 2640 procesów obejmujących dodatki, klej, beton, zaprawę, tynk, farby, betony z lekkim kruszywem, cegłę, zaprawę piankową, cegłę wapienno-piaskową, płyty budowlane, drewno, materiały izolacyjne, systemy wiązań termoizolacyjnych, metale, tworzywa sztuczne, okna, oświetlenie i hydraulikę, ogrzewanie i wentylację, windy i wiele innych.
- Wykończenie tekstyliów - 147 procesów obejmujących obróbkę wstępną (procesy suche, jak np. spiekanie, lub procesy mokre, jak odbarwianie, bielenie i szorowanie), barwienie i/lub drukowanie (np. kwasy, barwniki kationowe, bezpośrednio, dyspersyjne i reaktywne), wykończenie, tkaniny.
- Pokrowce na siedzenia - 46 procesów obejmujących skórę, tkaninę PET, cięcie i szycie, skórę syntetyczną, włókninę.
- Bioplastiki - 128 procesów obejmujących bioplastiki z różnych źródeł, np. z trzciny cukrowej, kukurydzy, pszenicy itp.

- Żywność i pasza - baza danych obejmuje 434 procesy reprezentujące najczęściej wykorzystywane produkty żywnościowe i paszowe w różnych regionach geograficznych: uprawy i zwierzęta, np. kukurydza, tapioka, rzepak, wołowina, owce, wytwarzanie produktów żywnościowych (w tym nabiału, skrobi i produktów przemiału zbóż, cukru, mięsa, czekolady, paszy dla zwierząt, olejów roślinnych i zwierzęcych itp.) oraz produktów ubocznych.
- Kompozyty węglowe - baza danych zawiera 137 procesów dla najczęściej stosowanych technologii wytwarzania i przetwarzania w różnych regionach geograficznych: zestawy danych dla produkcji włókien węglowych (CF) w różnych technologicznych warunkach brzegowych (proces standardowy, zoptymalizowany energetycznie, energie odnawialne) i regionalnych warunkach brzegowych (miksy produkcyjne Globalny, EU28, DE, US, JP, CN, TW, HU, KR, FR, GB, ES, BR, CA), zestawy danych dla produkcji komponentów z tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem węglowym (CFRP) z osnową termoutwardzalną lub termoplastyczną przy zastosowaniu najbardziej powszechnych technologii przetwarzania, procesy przetwarzania (procesy jednostkowe) tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem węglowym dla modelowania konkretnych łańcuchów procesów produkcyjnych.

INNE BAZY DANYCH

Istnieje wiele innych baz danych, które mogą być wykorzystane jako źródła do analizy LCA. Wiele z tych baz danych jest obsługiwanych przez jedno lub wiele narzędzi LCA.

BAZA DANYCH WEEE LCI

Baza WEEE LCI⁶⁷ to francuska baza danych poświęcona wycofaniu z eksploatacji sprzętu elektrycznego i elektronicznego, która zawiera ponad 900 procesów systemowych łączących 86 materiałów.

⁶⁷Ecosystem LCI Database, dostępne na stronie. <https://weee-lci.ecosystem.eco/>, ostatni dostęp luty 2022.

Baza danych EXIOBASE

Baza EXIOBASE⁶⁸ - globalna, szczegółowa, wieloregionalna baza danych o podaży i wykorzystaniu środowiska (Environmentally Extended Supply and Use / Input Output Database). Baza zawiera dane sektorów, produktów, emisji i zasobów dla 43 krajów i ponad 200 kategorii produktów.

Baza danych śladu środowiskowego

Baza danych śladu środowiskowego⁶⁹ - zaprojektowana w celu wsparcia stosowania zasad kategorii śladu środowiskowego produktu (PEFCR) i zasad sektora śladu środowiskowego organizacji (OEFSR). Zawiera ona wtórne, zgodne z EF zestawy danych dotyczących inwentaryzacji cyklu życia oraz zgodną z EF metodę oceny wpływu. Baza danych śladu środowiskowego jest częścią inicjatywy Komisji Europejskiej dotyczącej jednolitego rynku produktów ekologicznych⁷⁰.

Baza danych ESU world food LCA

ESU world food LCA database⁷¹ - zawiera około 1900 zestawów danych obejmujących globalne oddziaływanie obszarów zainteresowania związanych z żywnością, takich jak usługi produkcji rolnej, produkcja warzyw, owoce, produkty zwierzęce, ryby, produkty mleczne, alternatywy mięsne, żywność podstawowa, napoje, słodocze, posiłki, urządzenia gospodarstwa domowego, konsumpcja żywności i karma dla zwierząt domowych.

Pakiet DATASMART LCI

Pakiet DATASMART LCI⁷² - składa się z szerokiego zakresu materiałów i procesów obejmujących amerykańską mieszankę gazu ziemnego, geotermalną produkcję energii elektrycznej, procesy produkcji tekstyliów, procesy przetwarzania odpadów sprzętu AGD i elektroniki, opakowania, biomateriały i nabiał; dla wszystkich 50 stanów USA, 13 kanadyjskich prowincji i terytoriów oraz 10 amerykańskich mieszanek energii elektrycznej eGRID.

⁶⁸Konsorcjum Exiobase, dostępne pod adresem. <https://www.exiobase.eu/>, ostatni dostęp luty 2022.

⁶⁹European Platform on Life Cycle Assessment, dostępne pod adresem. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/contactListEF.xhtml>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷⁰Komisja Europejska, Środowisko. Available at. <https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷¹ESU-services Ltd. Dostępne na. <http://esu-services.ch/data/fooddata/>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷²Zrównoważony rozwój długiego szlaku, dostępny na stronie. <https://ltsexperts.com/services/software/datasmart-life-cycle-inventory>, ostatni dostęp luty 2022.r./.

IDEA Japońska baza danych inwentaryzacyjnych

IDEA Japońska Baza Inwentarzowa ⁷³- Baza Inwentarzowa do Analiz Środowiskowych jest hybrydową bazą inwentarzową, która zawiera zarówno dane statystyczne, jak i procesowe. Wszelkoniernie obejmuje prawie wszystkie aktywności gospodarcze w Japonii i zawiera około 3800 procesów, które są klasyfikowane głównie w oparciu o Japan Standard Commodity Classification. Obejmuje wiele sektorów takich jak: rolnictwo, leśnictwo i żywność, chemia, gumy i tworzywa sztuczne, stal i metale kolorowe, tekstylia, elektronika i maszyny, sprzęt transportowy, energia, woda, utylizacja odpadów, inżynieria lądowa, usługi detaliczne i hurtowe.

Baza danych hotspotów społecznych

Baza danych Social Hotspots ⁷⁴ - zapewnia doskonały wgląd w społeczne punkty zapalne w łańcuchach dostaw produktów, obejmując 140 krajów i regionów oraz 57 sektorów gospodarki. Baza danych zawiera obszerną listę wskaźników dotyczących praw pracowniczych, zdrowia i bezpieczeństwa, praw człowieka, zarządzania i infrastruktury społeczności.

Baza danych pigmentów Evah

Evah Pigments Database ⁷⁵ - baza danych wprowadza inwentaryzację dla 51 pigmentów z różnych regionów, w tym 16 różnych barwnych pigmentów nieorganicznych i 10 różnych barwnych pigmentów organicznych. Połowa wszystkich nieorganicznych pigmentów jest stosowana w druku, jedna czwarta w farbach architektonicznych, a reszta do barwienia tekstyliów, tworzyw sztucznych, ceramiki, emalii, papieru, cementu, żywności, kosmetyków, produktów farmaceutycznych i samochodowych.

Baza danych NEEDS LCI

Baza danych NEEDS LCI - zawiera międzynarodowe dane z zakresu inwentaryzacji cyklu życia w przemyśle dotyczące przyszłych systemów zaopatrzenia w energię elektryczną (zaawansowane paliwa kopalne, wodór, ogniwa paliwowe, morska energia wiatrowa, fotowoltaika, słoneczna energia cieplna, biomasa, zaawansowana energia jądrowa, energia fal), przyszłych dostaw materiałów, przyszłych usług transportowych. Zestawy danych LCI dostępne w tej bazie są przeznaczone do wykorzystania w

⁷³IDEA Inventory Database for Environmental Analysis, dostępne pod adresem. <http://idea-lca.com/?lang=en>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷⁴Social Hotspots Database, dostępny na stronie. <http://www.socialhotspot.org/>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷⁵Institut Evah, dostępny na stronie. <http://www.evah.com.au>, ostatni dostęp luty 2022.r./.

długoterminowej ocenie technologii środowiskowych. Zestawy danych zawierają informacje opisowe o technologii.

ProBas

ProBas ⁷⁶ - niemiecka biblioteka zbiorów danych udostępniona pierwotnie przez niemiecką Federalną Agencję Środowiska (Umweltbundesamt). Zawiera procesy jednostkowe jak i zagregowane, dla następujących tematów: Energia, Materiały i produkty, Usługi transportowe oraz Odpady.

Worldsteel

Worldsteel Association ⁷⁷ - organizacja non-profit i stowarzyszenie branżowe, posiadające członków w każdym głównym kraju produkującym stal. Worldsteel reprezentuje producentów stali, krajowe i regionalne stowarzyszenia przemysłu stalowego oraz instytuty badawcze zajmujące się stalą. Członkowie reprezentują około 85% światowej produkcji stali. Baza danych zawiera globalne i regionalne dane LCI dla 16 produktów stalowych, od walcowanych na gorąco kręgów po blachy, pręty zbrojeniowe, kształtowniki i stale powlekane.

5.3 NARZĘDZIA PROGRAMOWE LCA

Na rynku istnieje wiele narzędzi oprogramowania LCA, które mogą być stosowane i są bardziej odpowiednie niż inne - wiele z nich jest wielofunkcyjnych, niektóre są przeznaczone dla konkretnych branż.

Na potrzeby tego kursu wybraliśmy kilka narzędzi LCA, które zostaną przedstawione w bardziej szczegółowy sposób. Lista narzędzi LCA nie jest wyczerpująca i brak konkretnego narzędzia nie powinien być traktowany jako negatywna rekomendacja.

Przyjrzymy się bliżej tym kolejnym narzędziom:

- SimaPro
- GaBi
- OpenLCA
- Umberto

⁷⁶ProBas Proyessororientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, dostępne na stronie. <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>, ostatni dostęp luty 2022.

⁷⁷World Steel Association, dostępne na stronie. <https://worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-thinking/>, ostatni dostęp luty 2022.

SIMAPRO

SimaPro⁷⁸ jest jednym z wiodących narzędzi oprogramowania LCA, które było i jest szeroko stosowane w przemyśle i środowisku akademickim od ponad 25 lat. Został on opracowany przez PRé Consultants.

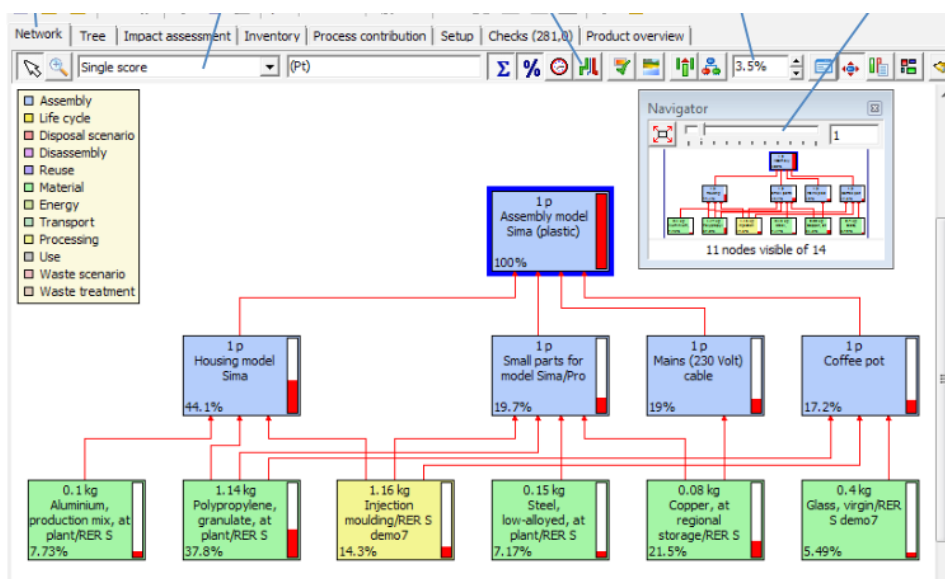
Oprogramowanie może być wykorzystywane do różnych zastosowań: raportowania zrównoważonego rozwoju, wyznaczania śladu węglowego i wodnego, projektowania produktów, generowania deklaracji środowiskowych produktów i określania kluczowych wskaźników wydajności.

SimaPro może być użyta do:

- Łatwego modelowania i analizowania złożonych cykli życia w sposób systematyczny i przejrzysty.
- Pomiaru wpływu produktów i usług na środowisko na wszystkich etapach cyklu życia.
- Zidentyfikowania punktów zapalnych w każdym ogniwie łańcucha dostaw, od wydobycia surowców do produkcji, dystrybucji, użytkowania i utylizacji.

Pakiet narzędzi SimaPro obejmuje klasyczne oprogramowanie desktopowe oraz dostępne za pośrednictwem platformy online moduły SimaPro Collect i SimaPro Share w chmurze.

⁷⁸PRé Sustainability, dostępny na stronie. <https://simapro.com/>, ostatni dostęp luty 2022.



Rysunek 62: Przykład SimaPro [75]

SimaPro zawiera szereg metod oceny wpływu⁷⁹ wykorzystywanych do obliczania wyników oceny wpływu:

- Metody europejskie - CML-IA, Ceny Środowiska, Niedobór Ekologiczny 2013, Metody EF 3.0, Metody EN 15804 + A2, EPD (2018), EPS 2015d i EPS 2015dx
- Metody globalne - IMPACT World+, LC-IMPACT, ReCiPe 2016
- Ameryka Północna - BEES, TRACI 2.1
- Single Issue - Cumulative Energy Demand, Cumulative Exericy Demand, Freshwater Eutrophication, IPCC 2021, Selected LCI results, USEtox 2
- Water Footprint - AWARE, WAVE, Water Scarcity^{80, 81, 82, 83}

⁷⁹Pré Sustainability, dostępne na stronie. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/12/DatabaseManualMethods930.pdf>, ostatni dostęp luty 2022.

⁸⁰ Berger, Markus & Van der Ent, Ruud & Eisner, Stephanie & Bach, Vanessa & Finkbeiner, Matthias. (2014). Water Accounting and Vulnerability Evaluation (WAVE): Considering Atmospheric Evaporation Recycling and the Risk of Freshwater Depletion in Water Footprinting. Environmental science & technology. 48. 10.1021/es404994t.

⁸¹ Boulay, Anne-Marie & Bulle, Cécile & Bayart, Jean-Baptiste & Deschênes, Louise & Margni, Manuele. (2011). Regional Characterization of Freshwater Use in LCA: Modeling Direct Impacts on Human Health. Environmental science & technology. 45. 8948-57. 10.1021/es1030883.

⁸² Hoekstra, Arjen & Mekonnen, Mesfin & Chapagain, Ashok & Mathews, Ruth & Richter, Brian. (2012). Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PloS one. 7. e32688. 10.1371/journal.pone.0032688.

⁸³ Motoshita, Masaharu & Itsubo, Norihiro & Inaba, Atsushi. (2011). Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. The International Journal of Life Cycle Assessment. 16. 65-73. 10.1007/s11367-010-0236-8.

SimaPro zawiera ⁸⁴ (domyślnie lub na życzenie) wiele baz danych LCI, takich jak Ecoinvent, Carbon minds, baza WEEE LCI, baza Environmental Footprint, baza Social hotspots, pakiet Datasmart LCI i wiele innych.

SimaPro oferuje licencje biznesowe (Business User, Expert User i Power User) oraz edukacyjne (SimaPro Phd, SimaPro Classroom, SimaPro Faculty). Licencje różnią się długością umowy serwisowej i dostępnością funkcji.

SIMAPRO COLLECT

SimaPro Collect to internetowe narzędzie do zbierania danych LCA. Zostało zaprojektowane do zbierania danych od dostawców i innych interesariuszy poprzez dostosowywane szablony ankiet.

SimaPro Collect jest dostępny za pośrednictwem platformy internetowej SimaPro. Wysyłanie ankiet jest zawarte w pakietach Power user, Expert user i PhD na czas trwania umowy serwisowej. Wypełnianie ankiet może być wykonywane przez osoby posiadające dostęp użytkownika biznesowego do platformy SimaPro online.

SIMAPRO SHARE

SimaPro Share jest internetowym narzędziem dla ekspertów ds. oceny cyklu życia do tworzenia scenariuszy produktów i dzielenia się nimi z interesariuszami biznesowymi. Eksperti niebędący ekspertami LCA mogą następnie przeglądać i porównywać te scenariusze "co by było gdyby" i doświadczać wpływu swoich decyzji z pierwszej ręki dzięki dostępnym, namacalnym wynikom. SimaPro Share wspiera podejmowanie decyzji w oparciu o fakty i zrównoważony rozwój produktu poprzez łatwe umożliwienie dzielenia się wynikami LCA.

SimaPro Share jest zawarty w pakietach licencyjnych SimaPro Power user, Expert user i PhD i jest dostępny przez czas trwania umowy serwisowej. Interesariusze biznesowi, którzy będą przeglądać, dostosowywać i porównywać scenariusze, muszą mieć licencję użytkownika biznesowego.

⁸⁴Pré Sustainability, dostępne na stronie <https://simapro.com/databases>, ostatni dostęp luty 2022.

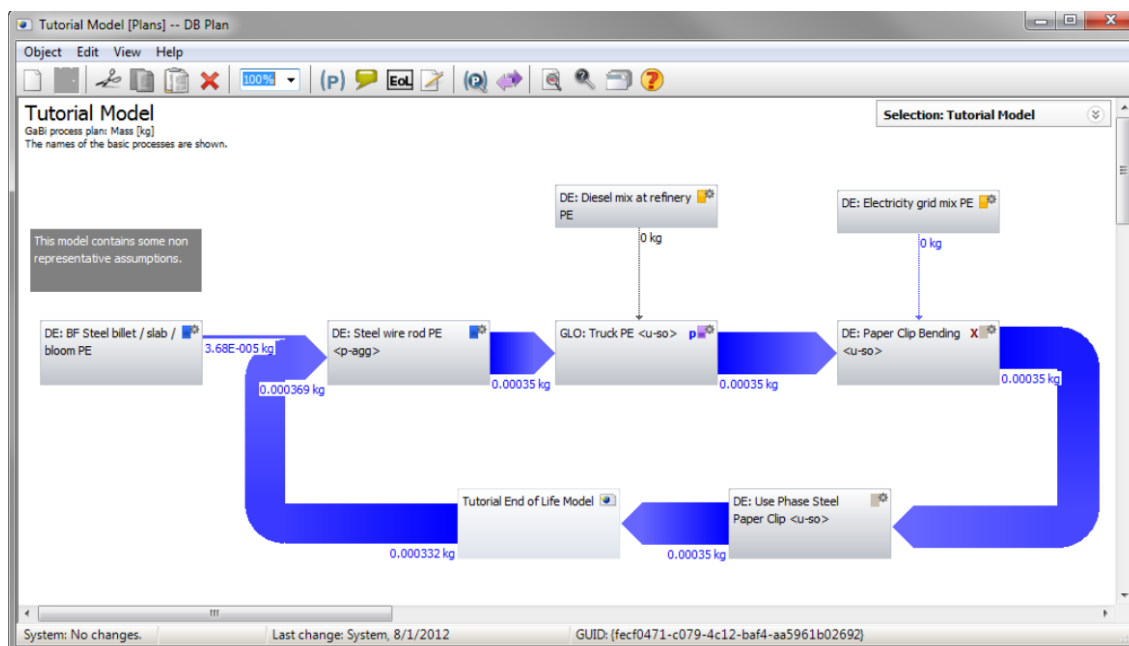
GABI

GaBi⁸⁵ Solutions ma ponad 25-letnią historię w dostarczaniu narzędzi i konsultacji w zakresie LCA. GaBi oferuje licencje komercyjne i edukacyjne. GaBi Software Suite oferuje kilka narzędzi programowych:

- GaBi ts - jest rozwiązaniem dla zrównoważonego rozwoju, które oferuje plany produktów budowlanych dla całego cyklu życia i obliczenie wyników, które reprezentują wpływ na środowisko zgodnie z wybranymi zestawami danych LCI i odpowiednimi metodami LCIA. GaBi ts oferuje również porównanie scenariuszy projektowych i przeprowadzanie analiz typu "what-if" w celu określenia najbardziej zrównoważonego i efektywnego kosztowo projektu.
- GaBi Envision - to intuicyjna aplikacja internetowa, która umożliwia użytkownikowi porównanie różnych scenariuszy projektu produktu stworzonego w GaBi Products Sustainability Software poprzez prostą zmianę parametrów modelu.
- GaBi Server - wspiera współpracę pomiędzy praktykami LCA, zapewniając centralne zarządzanie bazą danych, przepływy pracy związane z zapewnieniem jakości oraz zarządzanie prawami użytkowników. Użytkownicy pracują z tą samą bazą danych i dlatego mogą pracować równolegle na tym samym modelu.
- GaBi DfX - to oprogramowanie do zgodności i zrównoważonego rozwoju produktu z myślą o fazie końca kłamstwa. GaBi DfX oferuje analizę złożonych produktów, takich jak z sektora motoryzacyjnego, lotniczego i elektronicznego. Oprogramowanie posiada następujące funkcjonalności: import BOM (Bill of materials) jako podstawa do analizy, diagram połączeń dla wizualizacji kolejności demontażu, raport z demontażu, analiza kosztów recyklingu dla scenariusza końca życia oraz model recyklingu dla modelowania scenariuszy demontażu i recyklingu.

Pakiet GaBi Software wykorzystuje kilka z wcześniej wymienionych baz danych LCI, takich jak GaBi database, Ecoinvent lub Environmental Footprints. GaBi oferuje również podejście "Dane na żądanie", gdzie GaBi skompiluje niestandardową bazę danych z żądanymi zestawami danych.

⁸⁵Sphera Solutions GmbH, dostępne na stronie <https://gabi.sphera.com/international/index/>, ostatni dostęp luty 2022.



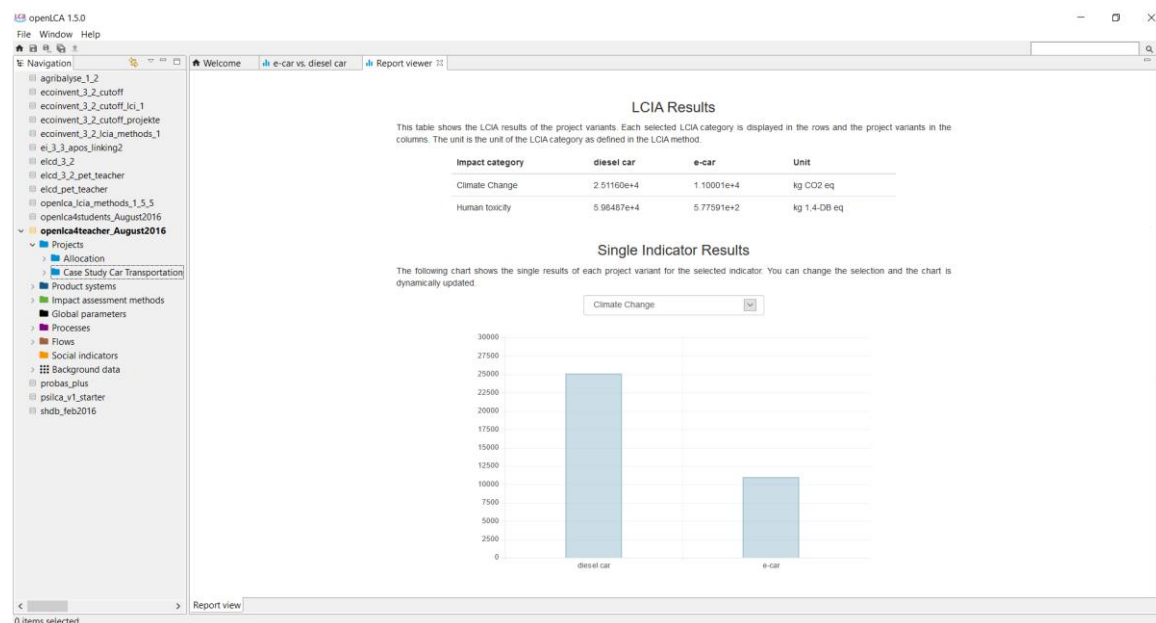
Rysunek SEQ Figure * ARABIC 63: Przykład interfejsu użytkownika GaBi

OPENLCA

OpenLCA to open source'owe i darmowe oprogramowanie do oceny zrównoważonego rozwoju i cyklu życia, które oferuje kilka funkcji, takich jak:

- Modelowanie badań LCA zgodnych z międzynarodowymi normami takimi jak ISO 14040 i ISO 14044:2006/AMD 2:2020.
- System jakości danych zdefiniowany przez użytkownika lub istniejący może być wykorzystany do wizualizacji jakości danych w wynikach inwentaryzacji, wynikach LCIA, analizie wpływu i diagramie Saneya. Co więcej, wartości niepewne mogą być również obliczane z maczyi jakości danych.
- Automatyczne i graficzne tworzenie systemów produktowych.
- Symulacja niepewności z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo - w symulacji uwzględniane są wszystkie rozkłady niepewności, które są zdefiniowane w przepływach, parametrach i czynnikach charakteryzujących.
- Drzewo dostarcza całkowitych wyników LCI lub LCIA dla każdego poziomu w systemie produktu, rozbijając wyniki na całkowity wkład procesów dostarczających w ramach każdego łańcucha dostaw.
- Parametry mogą być używane do definiowania wartości w openLCA. Parametry mogą być konkretnymi wartościami, wartościami formuły lub złożonymi regułami obliczeniowymi.

- Dla wykwalifikowanych użytkowników dostępne są narzędzia programistyczne do uruchamiania programów w języku Python i JavaScript oraz zapytań SQL.
- Można obliczyć ślad środowiskowy produktu.
- Ocena oddziaływania regionalnego - w nowszej wersji openLCA możliwa jest obsługa danych GIS, co pozwala na uwzględnienie tego typu danych w lokalizacjach procesu, a także na zdefiniowanie w metodzie czynników oddziaływania specyficznych dla danego miejsca (z wykorzystaniem parametryzacji), a tym samym umożliwiającą ocenę oddziaływania regionalnego.
- Life Cycle Costing to oparte na przepływach podejście do obliczania kosztów cyklu życia i wartości dodanej, przy czym wartość dodana jest traktowana jako "koszt ujemny".



Rysunek SEQ Figure * ARABIC 64: Przykład interfejsu użytkownika openLCA - raport

Dostępnych jest wiele darmowych i komercyjnych baz danych LCA, które są dostarczane przez różne instytucje. Więcej informacji i dostęp do nich można uzyskać poprzez openLCA Nexus⁸⁶ - na przykład Ecoinvent, Federal LCA Commons, Carbon Minds cm.chemicals i wiele innych.

⁸⁶OpenLCA Nexus, dostępny na stronie <https://nexus.openlca.org/databases>, dostęp luty 2022.

Pakiet metod OpenLCA zawiera ponad 40 metod takich jak AWARE (flow-based), BEES+, CML, Crustal Scarcity Indicator, Cumulative Energy Demand, eco-indicator 99, Ecological Scarcity 2013, Ecosystem Damage Potential, Environmental Footprint method v3.0, EN 15804 +A2, ILCD Midpoint +, IPCC 2021 AR6, ReCiPe, TRACI, USETox.

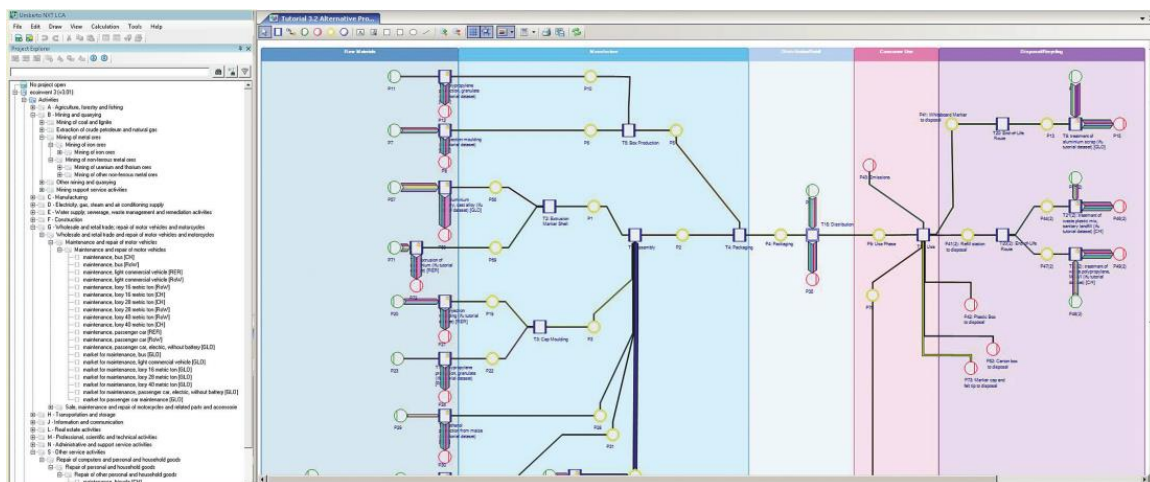
OpenLCA oferuje klientów na wiele platform - MS Windows, Mac i Linux. openLCA oferuje również LCA Collaboration Server jest aplikacją serwerową, która uzupełnia openLCA (aplikację desktopową LCA). Ułatwia on wymianę i synchronizację danych LCA (np. przepływów, procesów, systemów produktów lub całych modeli LCA) pomiędzy użytkownikami pracującymi z różnych komputerów, umożliwiając rozproszone, wspólne modelowanie LCA. Collaboration Server wprowadza do świata LCA znane w branży koncepcje z zakresu tworzenia oprogramowania, m.in. śledzenie zmian na żądanie, a także porównywanie baz danych i opcjonalne łączenie danych. Jak dotąd jest to rozwiązanie unikalne. Collaboration Server jest dostępny za darmo.

UMBERTO

Umberto ⁸⁷ opracowany przez ifu Hamburg (obecnie iPoint) jest pakietem oprogramowania LCA z ponad 25-letnią historią. Umberto oferuje kilka narzędzi oprogramowania LCA.

Umberto LCA+ to oprogramowanie desktopowe do analizy LCA, które oferuje przejrzystą ilustrację łańcuchów procesowych poprzez czytelne elementy graficzne, modelowanie hierarchiczne poprzez podsieci. Umberto LCA+ oferuje integrację kilku baz danych LCA -Ecoinvent, cm.chemical i innych.

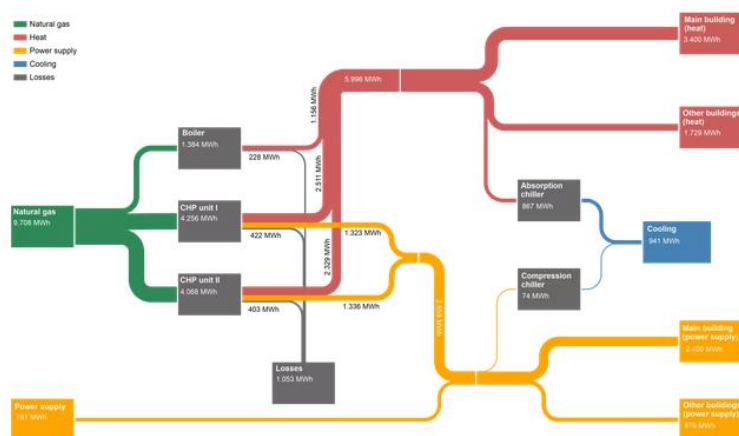
⁸⁷iPoint, available at <https://www.ifu.com/umberto>, ostatni dostęp luty 2022.



Rysunek 65: Przykładowy interfejs użytkownika Umberto

Umberto Efficiency+ to narzędzie programowe skoncentrowane na efektywności wykorzystania zasobów i optymalizacji procesów. Za pomocą Efficiency+ można cyfrowo mapować wszystkie przepływy energii i materiałów. Diagramy Sankey'a służą do wizualizacji przepływów materiałowych w procesach produkcyjnych.

e!Sankey to narzędzie do wizualizacji danych, które pomaga w wielu różnych obszarach zastosowań, takich jak audyty energetyczne i zarządzanie energią, przepływy energii (bilans energetyczny, efektywność energetyczna), przepływy materiałów, transfer ciepła i straty ciepła procesy techniczne, inżynieria chemiczna, ścieki i utylizacja odpadów, logistyka, transport towarów, łańcuch dostaw, wizualizacja przepływów kosztów & strumieni wartości.



Rysunek SEQ Figure * ARABIC 66: Przykład wyjścia Umberto e!Sankey

5.4 ODNIESIENIA DO ROZDZIAŁU

Podsumowanie

Pod koniec tego rozdziału studenci będą rozumieli następujące pojęcia:

- Czym jest baza danych LCA
- Czym jest narzędzie LCA
- W jakim środowisku używać jakiej bazy danych LCA
- Podstawowa wiedza na temat wykorzystania narzędzi LCA



Pytania

- Co to jest baza danych LCA?
- Dlaczego warto korzystać z bazy danych LCA?
- Jakie różne bazy danych LCA są dostępne do wykorzystania?
- Czym jest narzędzie LCA?
- Jak narzędzie LCA może pomóc w analizie LCA?

Skróty

ABS - akrylonitrylowy styren butadienowy

AWARE - Available Water Remaining (dostępna woda pozostała)

BEES - Building for Environmental and Economic Sustainability (Budowanie dla zrównoważonego środowiska i gospodarki)

BOM - zestawienie materiałów

BR - Brazylia

BTX - Benzen, tulen, ksylen

CA - Kanada

CF - włókno węglowe

CFRP - tworzywa sztuczne wzmocnione włóknami węglowymi

CN - Chiny

DE - Niemcy

EF - współczynnik emisji

EPA - Agencja Ochrony Środowiska

ES - Hiszpania

FR - Francja

FR4 - trudnopalny

GB - Wielka Brytania

HU - Węgry

Układy scalone - układy scalone

ILC - Infinite Life Cycle

IPCC - Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu

JP - Japonia

KR - Republika Korei

LCA - ocena cyklu życia

LCI - inwentaryzacja cyklu życia

LED - dioda emitująca światło

MSA - kwas metanosulfonowy

NAL Krajowe Laboratorium Rolnicze

NIST - Narodowy Instytut Norm i Technologii

NREL - Krajowe Laboratorium Energii Odnawialnej

OEFSR - zasady sektorowe dotyczące śladu środowiskowego

ReCIPE - przepis

PA - Poliamid

PEFCR - zasady kategorii śladu środowiskowego produktu

PEEK - polieteroeteroketon

PET - politereftalan etylenu

PMMA - polimetakrylan metylu

PTFE - politetrafluoroetylen

PS - Polistyren

PP - Polipropylen

PPS - siarczek polifenylenu

PVAL - alkohol poliwinylowy

PVC - Polichlorek winylu

PWB - płytki drukowane (Printed Wiring Boards)

SMA - bezwodnik maleinowy styrenu

SMD - urządzenia do montażu powierzchniowego

TRACI - Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (narzędzie do redukcji i oceny wpływu substancji chemicznych i innych czynników na środowisko)

TW - Tajwan

US - Stany Zjednoczone

USDA - Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych

WAVE - Rachunkowość wody i ocena podatności na zagrożenia



Sfinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.

aLIFEca

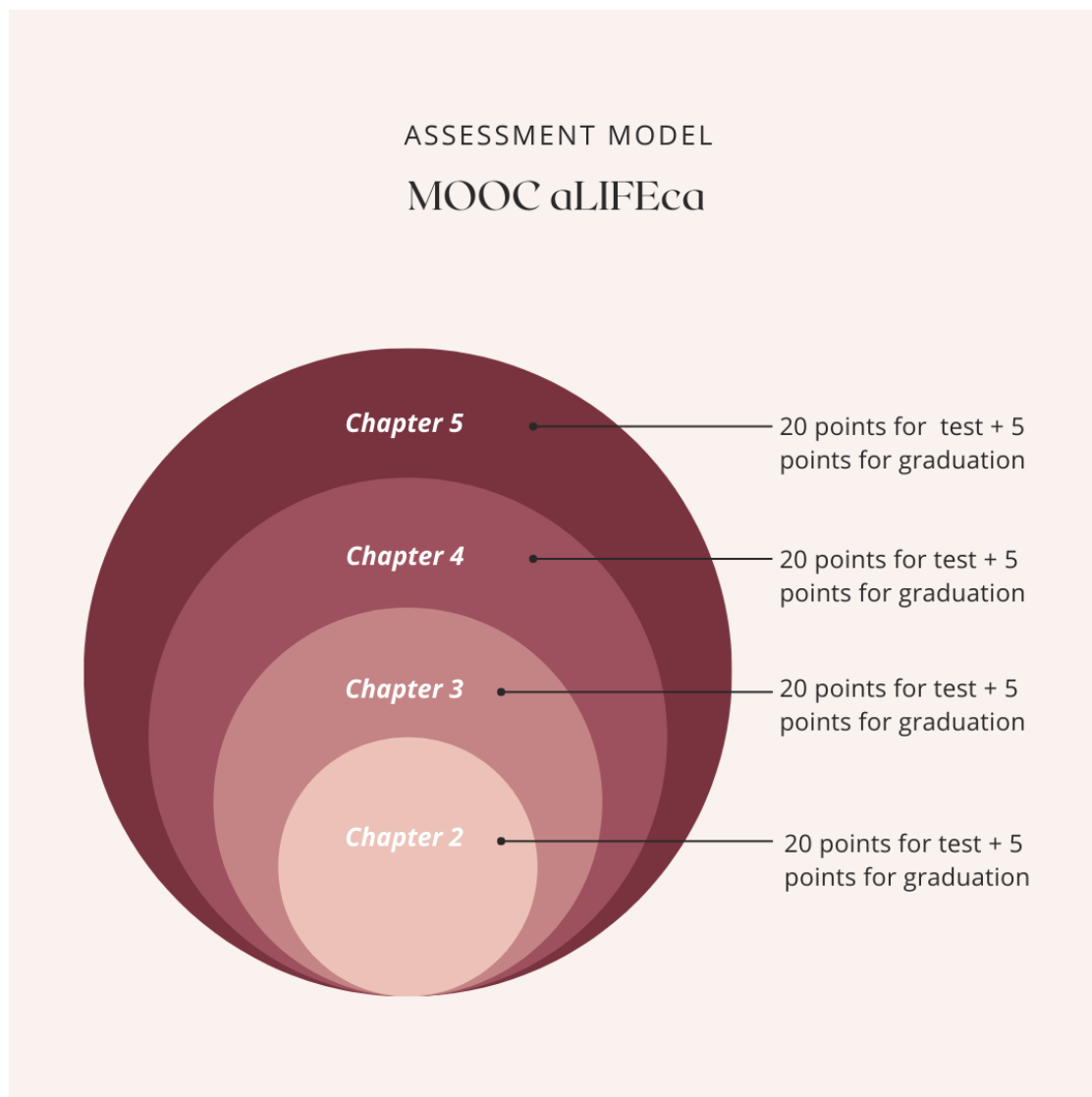
Co-funded by the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

aLIFEca

Współfinansowane przez Unię Europejską

Wsparcie Komisji Europejskiej dla wydania niniejszej publikacji nie stanowi wsparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów i Komisja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.



ASSESSMENT MODEL

MOOC aLIFEca

Chapter 2

20 points for test + 5 points for graduation

Chapter 3

20 points for test + 5 points for graduation

Chapter 4

20 points for test + 5 points for graduation

Chapter 5

20 points for test + 5 points for graduation

MODEL OCENY

MOOC aLIFEca

Rozdział 2

20 punktów za TEST + 5 punktów za ukończenie

Rozdział 3

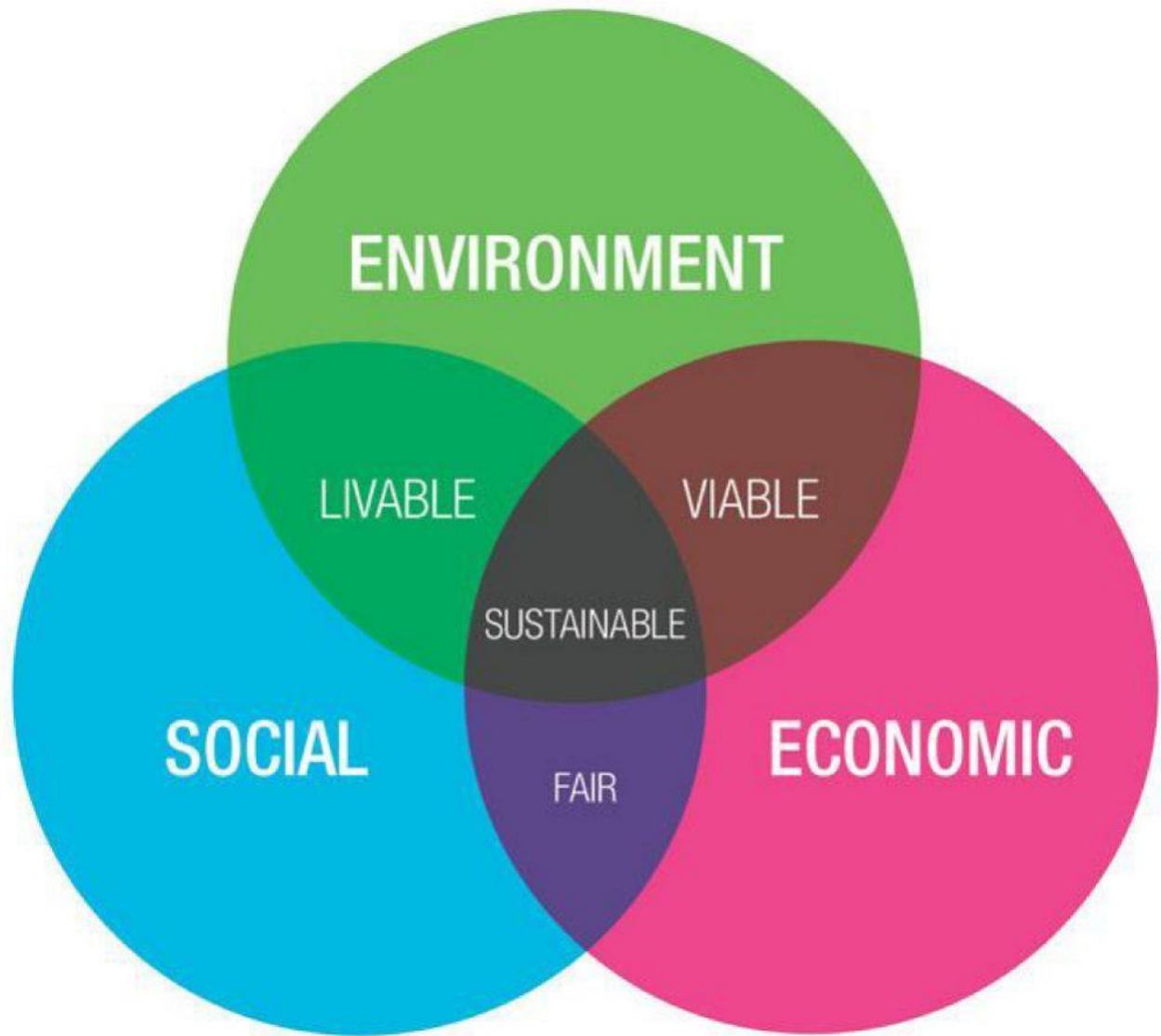
20 punktów za TEST + 5 punktów za ukończenie

Rozdział 4

20 punktów za TEST + 5 punktów za ukończenie

Rozdział 5

20 punktów za TEST + 5 punktów za ukończenie



ENVIRONMENT

LIVABLE

VIABLE

SUSTAINABLE

SOCIAL

FAIR

ECONOMIC

ŚRODOWISKO

ZBYWALNY

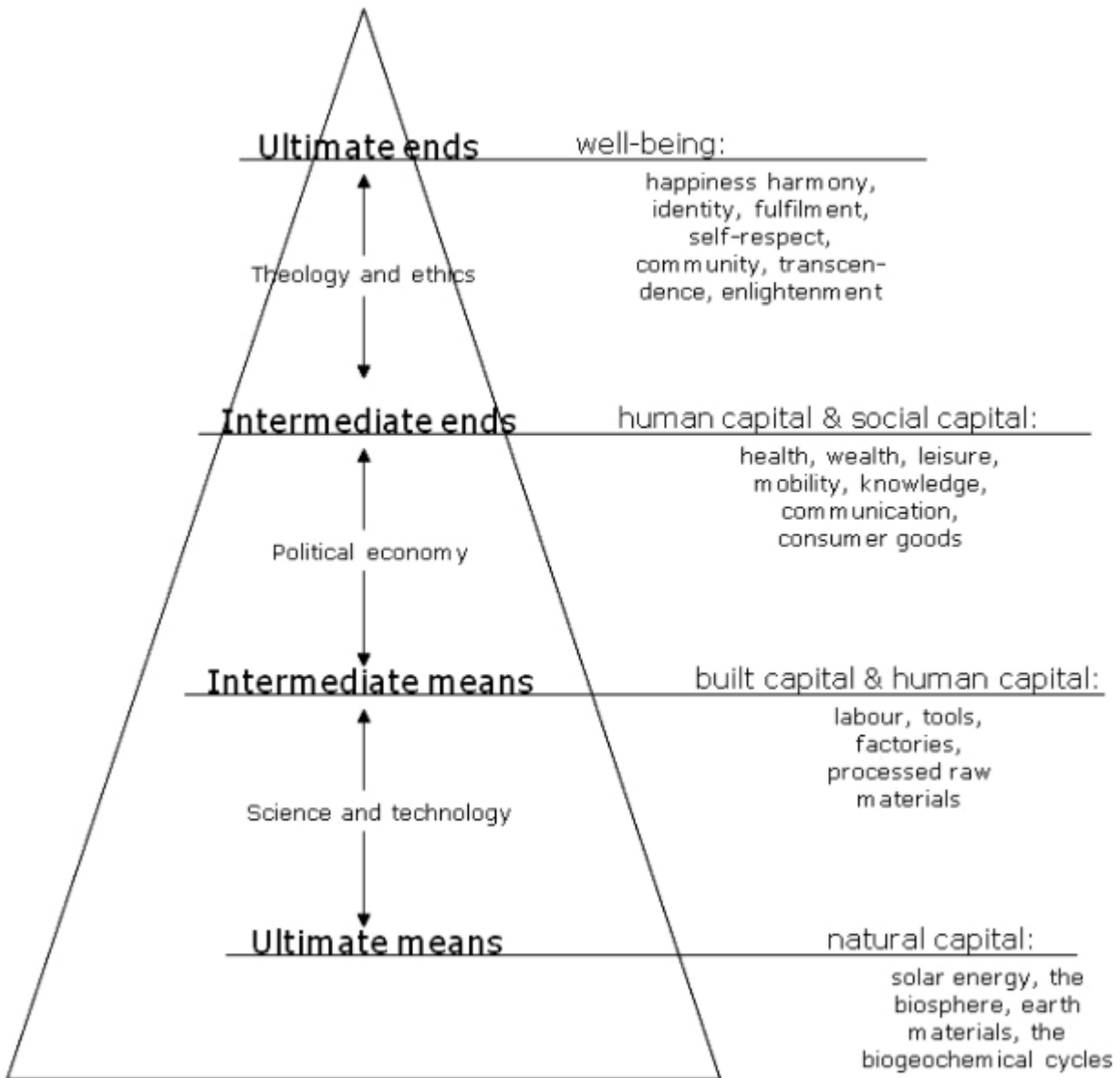
WYKONALNY

ZRÓWNOWAŻONY

SPOŁECZNY

SPRAWIEDLIWY

EKONOMICZNY



Ultimate ends

well-being:

happiness, harmony, identity, fulfillment, self-respect, community, transcendence, enlightenment

Theology and ethics

Intermediate ends

human capital & social capital

health, wealth, leisure, mobility, knowledge, communication, consumer goods

Political economy

Etap ostateczny

dobrze samopoczucie:

szczęście, harmonia, tożsamość, spełnienie, szacunek do siebie, wspólnota, transcendentja, oświecenie

Teologia i etyka

Etap pośredni

kapitał ludzki i kapitał społeczny

zdrowie, bogactwo, wypoczynek, mobilność, wiedza, komunikacja, dobra konsumpcyjne

Ekonomia polityczna

Intermediate means

built capital & human capital

labour, tools, factories, processed raw materials

Science and technology

Ultimate means

natural capital:

solar energy, the biosphere, earth materials, the biogeochemical cycles

Środki pośrednie

kapitał

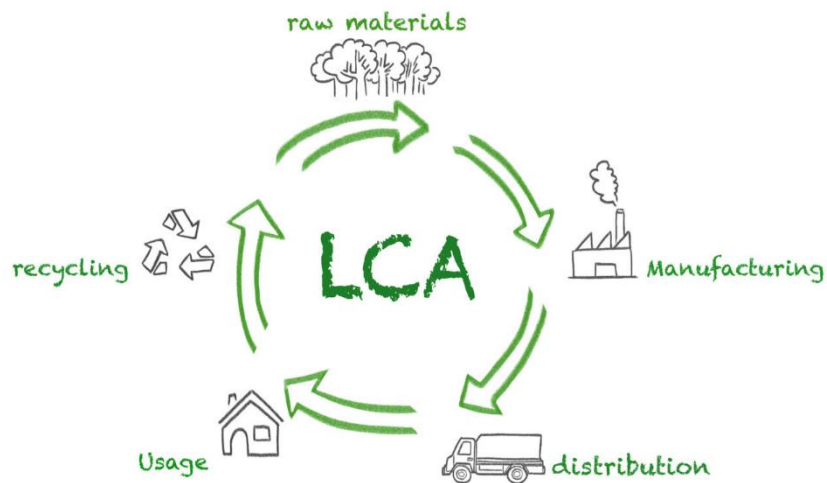
robocizna, narzędzia, fabryki, przetworzone surowce

Nauka i technologia

Środki ostateczne

kapitał naturalny:

energia słoneczna, biosfera, materiały ziemskie, cykle biogeochemiczne



raw materials

Manufacturing

distribution

Usage

recycling

LCA

surowy materiał

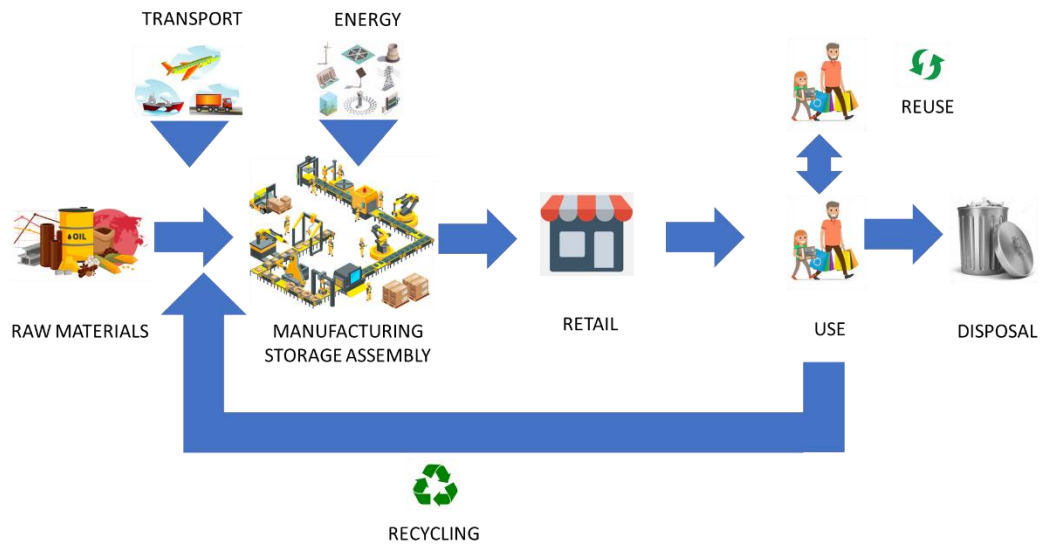
produkcja

dystrybucja

stosowanie

recykling

LCA



TRANSPORT

ENERGY

REUSE

RAW MATERIALS

MANUFACTURING STORAGE ASSEMBLY

RETAIL

USE

DISPOSAL

RECYCLING

TRANSPORT

ENERGIA

PONOWNE UŻYCIE

SUROWCE

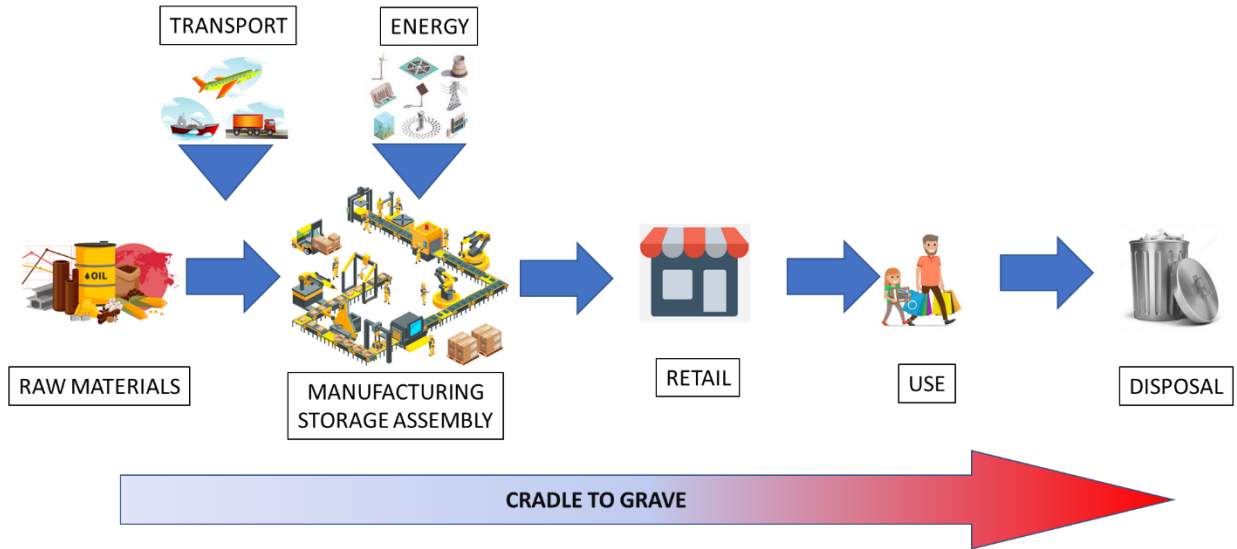
PRODUKCJA MAGAZYN MONTAŻ

SPRZEDAŻ

UŻYCIE

POZBYCIE

RECYKLING



TRANSPORT

ENERGY

RAW MATERIALS

MANUFACTURING STORAGE ASSEMBLY

RETAIL

USE

DISPOSAL

CRADLE TO GRAVE

TRANSPORT

ENERGIA

SUROWCE

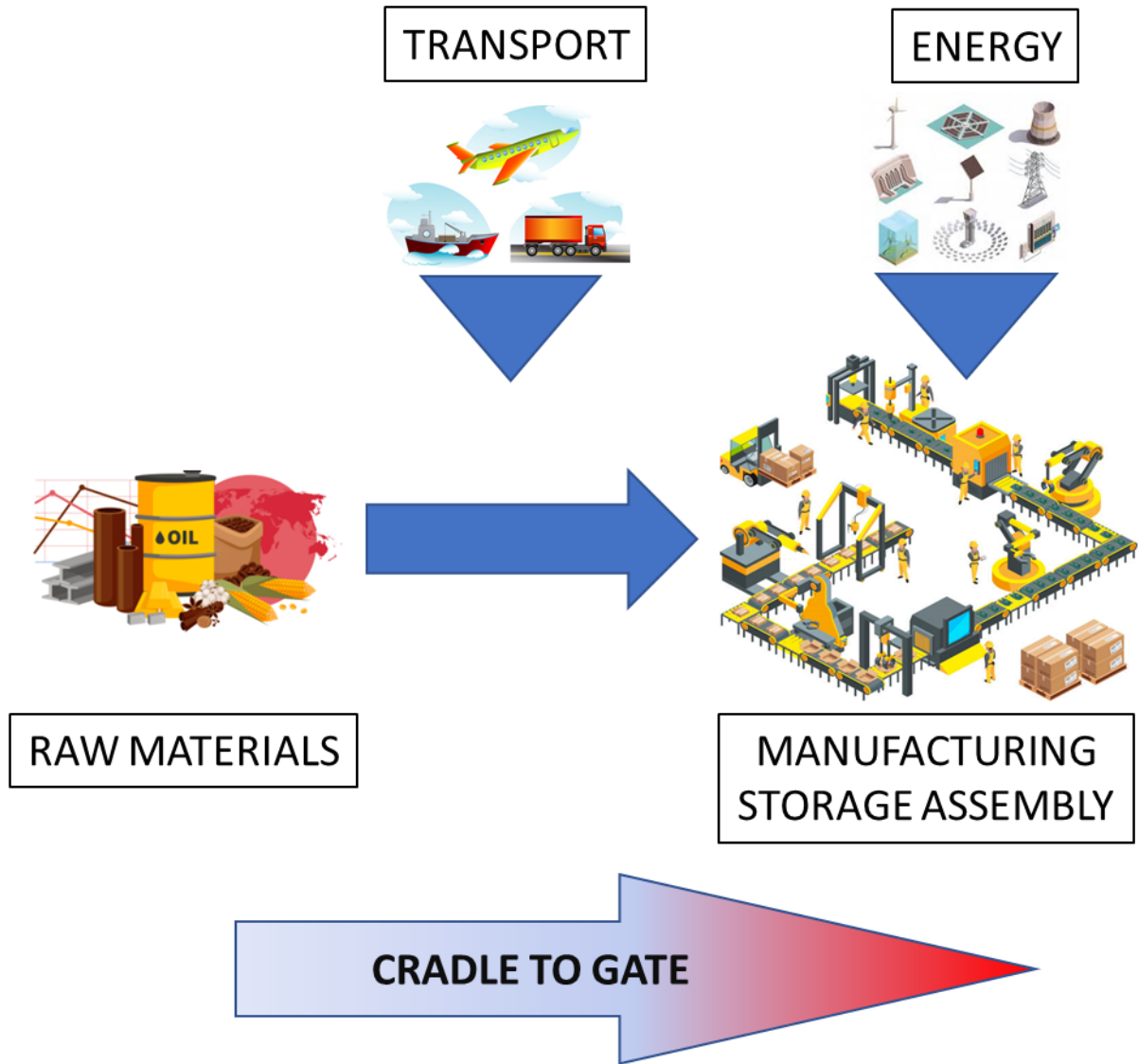
PRODUKCJA MAGAZYNOWANIE MONTAŻ

SPRZEDAŻ

UŻYCIE

POZBYCIE

OD KOŁYSKI PO GRÓB



TRANSPORT

ENERGY

RAW MATERIALS

MANUFACTURING STORAGE ASSEMBLY

CRADLE TO GATE

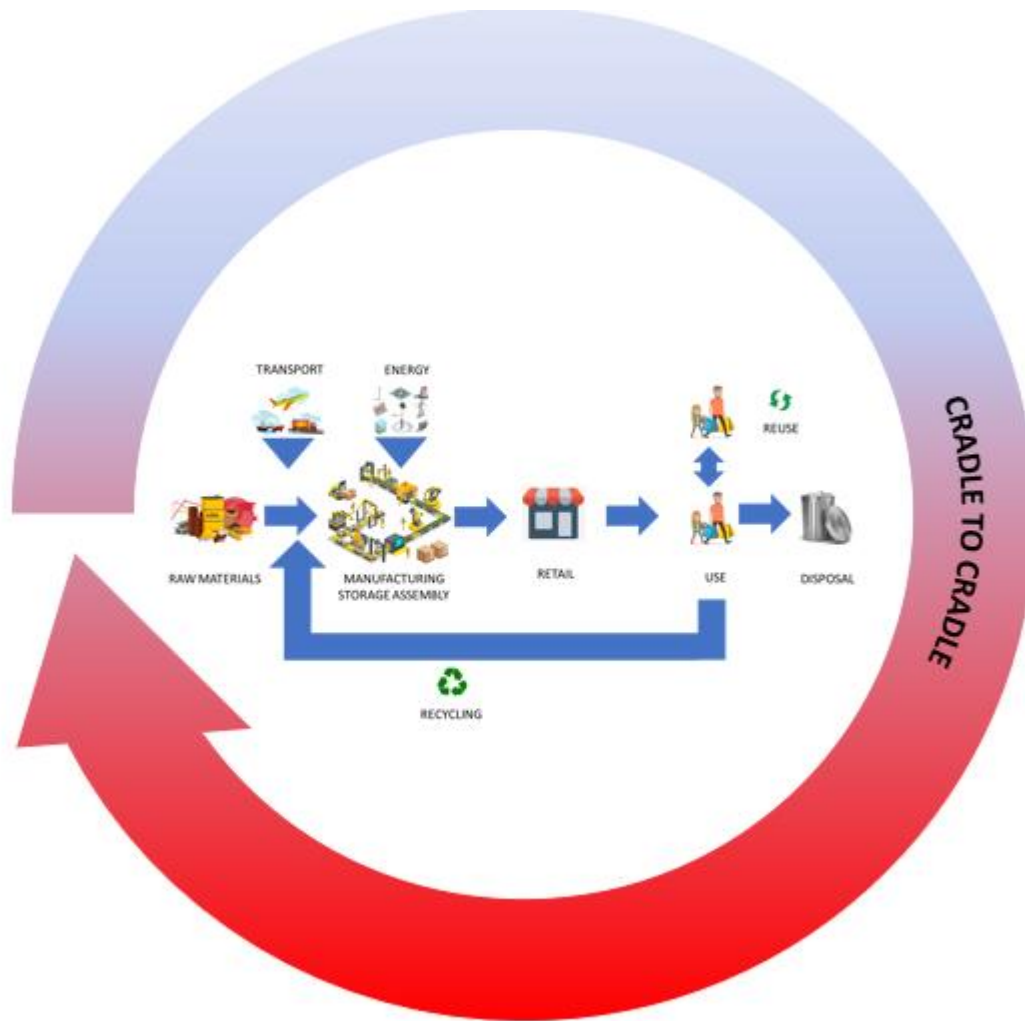
TRANSPORT

ENERGIA

SUROWCE

PRODUKCJA MAGAZYN MONTAŻ

OD KOŁYSKI DO BRAMY



TRANSPORT

ENERGY

RAW MATERIALS

MANUFACTURING STORAGE ASSEMBLY

RETAIL

USE

DISPOSAL

RECYCLING

CRADLE TO CRADLE

TRANSPORT

ENERGIA

SUROWCE

PRODUKCJA MAGAZYN MONTAŻ

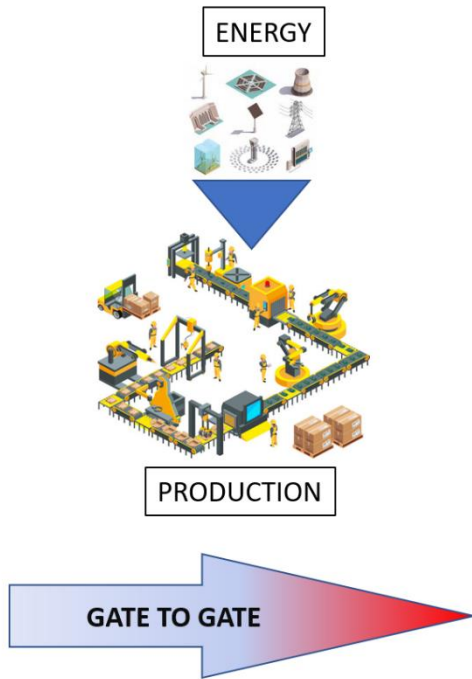
SPRZEDAŻ

UŻYCIE

POZBYCIE

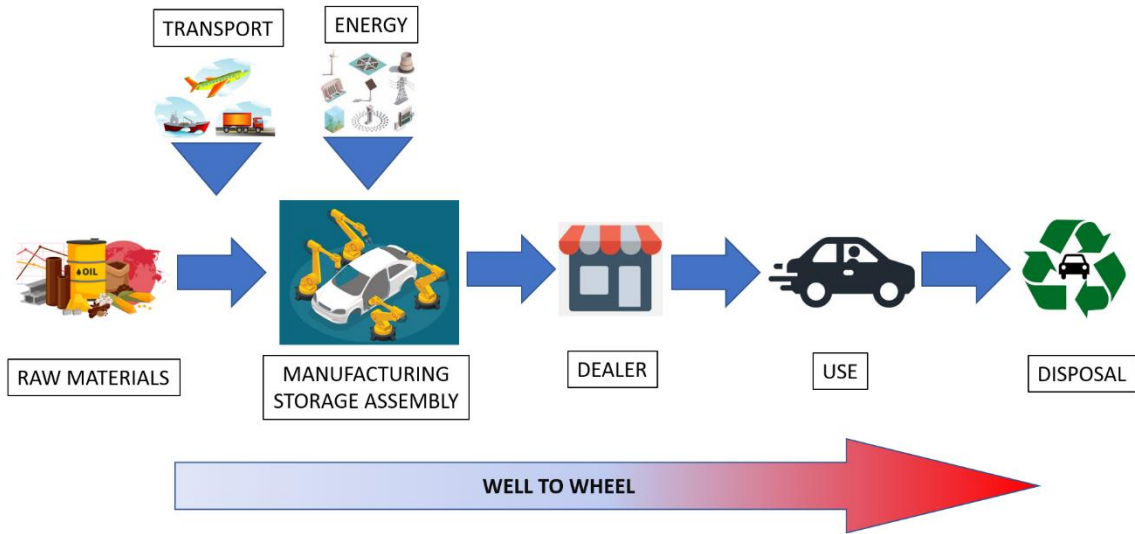
RECYKLING

OD KOŁYSKI DO KOŁYSKI



ENERGY
PRODUCTION
GATE TO GATE

ENERGIA
PRODUKCJA
OD BRAMY DO BRAMY



TRANSPORT

ENERGY

RAW MATERIALS

MANUFACTURING STORAGE ASSEMBLY

DEALER

USE

DISPOSAL

WELL TO WHEEL

TRANSPORT

ENERGIA

SUROWCE

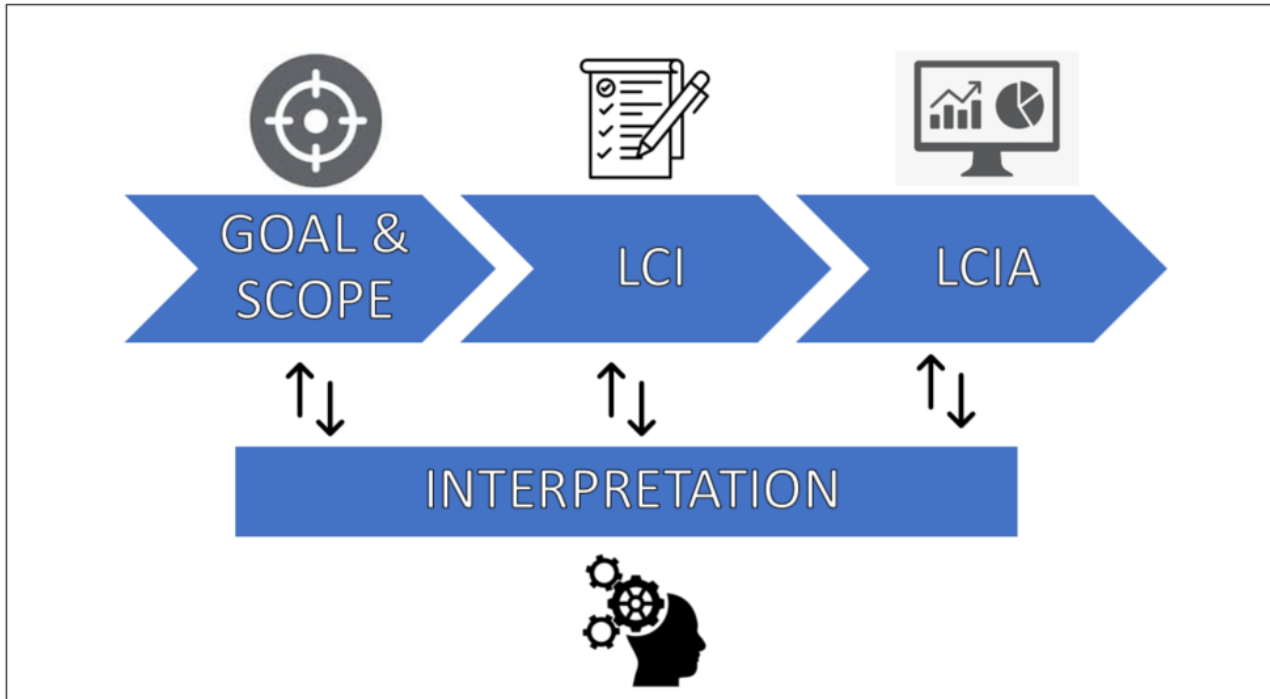
PRODUKCJA MAGAZYN MONTAŻ

SPRZEDAWA

UŻYCIE

POZBYCIE

OD SZYBU DO BAKU



GOAL& SCOPE

LCI

LCIA

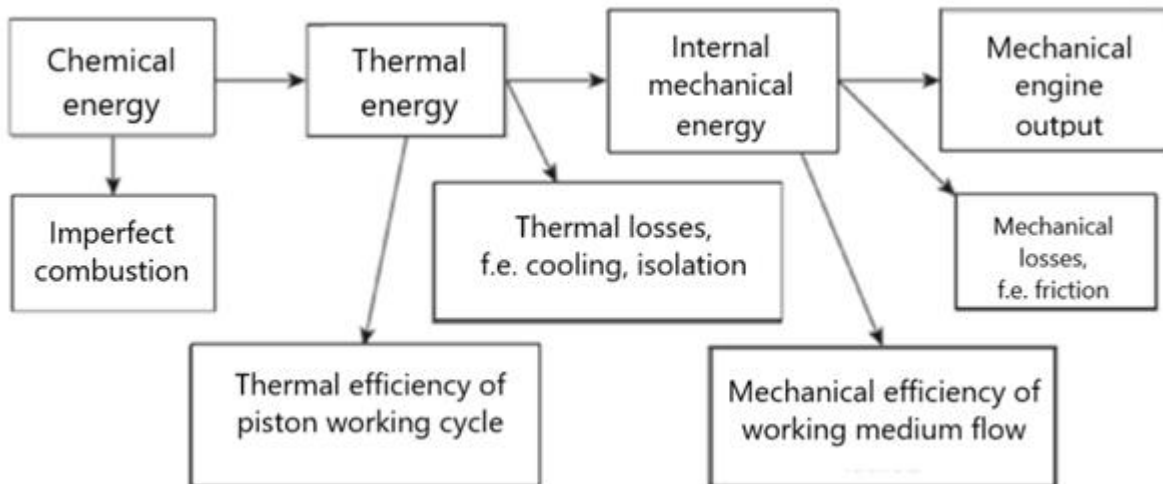
INTERPRETATION

CEL I ZAKRES

LCI

LCIA

INTERPRETACJA



Chemical energy

Energia chemiczna

Thermal energy

Energia cieplna

Internal mechanical energy

Wewnętrzna energia mechaniczna

Mechanical engine output

Moc silnika mechanicznego

Imperfect combustion

Niedoskonałe spalanie

Thermal losses, f.e. cooling, isolation

Straty cieplne, m.in. chłodzenie, izolacja

Mechanical losses, f.e. friction

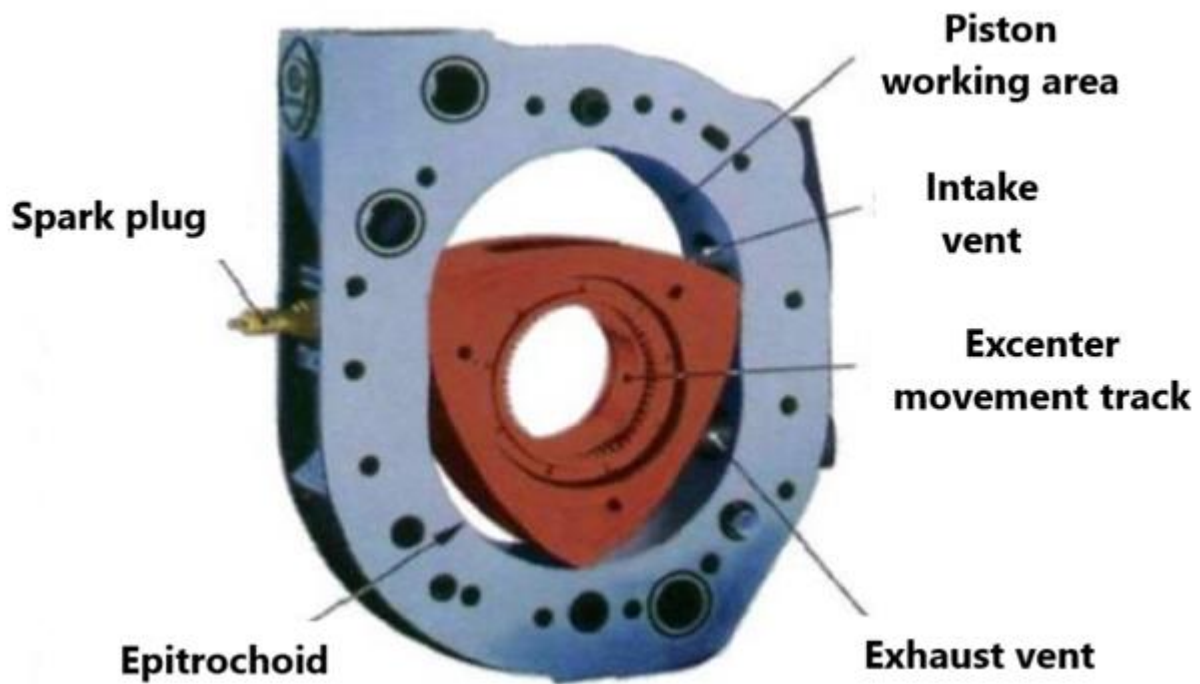
Straty mechaniczne, m.in. tarcie

Thermal efficiency of piston working cycle

Sprawność cieplna cyklu pracy tłoka

Mechanical efficiency of working medium flow

Sprawność mechaniczna przepływu czynnika



Spark plug

Piston working area

Intake vent

Excenter movement track

Epitrochoid

Exhaust vent

Świeca

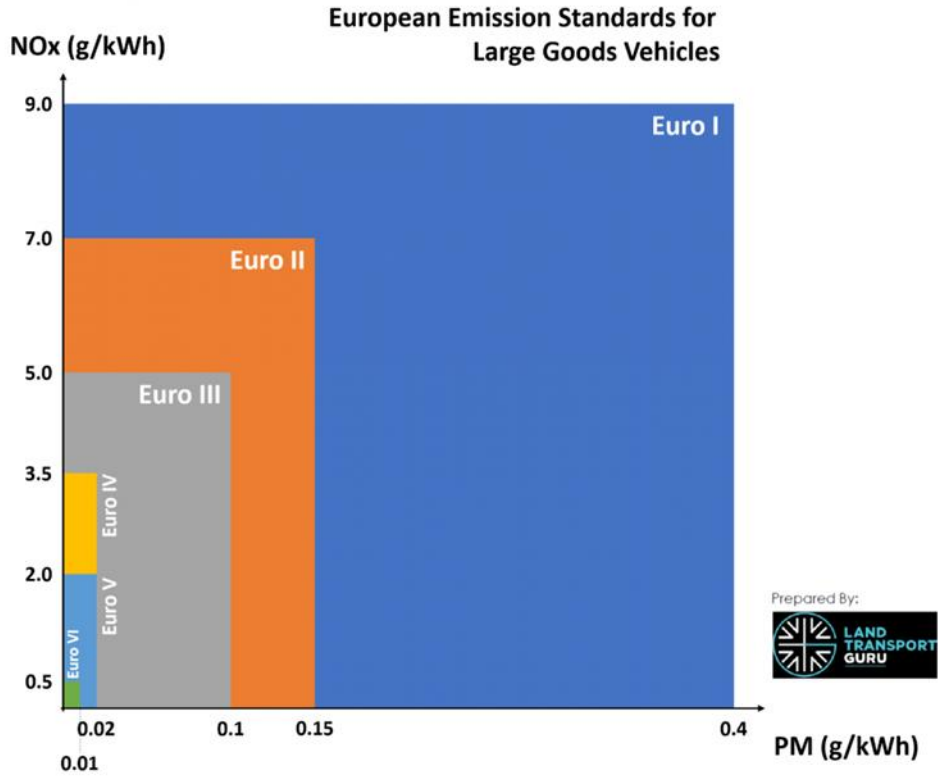
Obszar roboczy tłoka

Wlot powietrza

Ścieżka ruchu mimośrodowo

krzywa zakreślona

Odpowietrznik wydechowy



PM (g/kWh)

0,40

0,30

0,20

0,10

- 97 %

Euro 1

Euro 2

Euro 3

Euro 4

Euro 5

Euro 6

NOx (g/kWh)

- 95 %

PM (g/kWh)

0,40

0,30

0,20

0,10

-97%

Euro 1

Euro 2

Euro 3

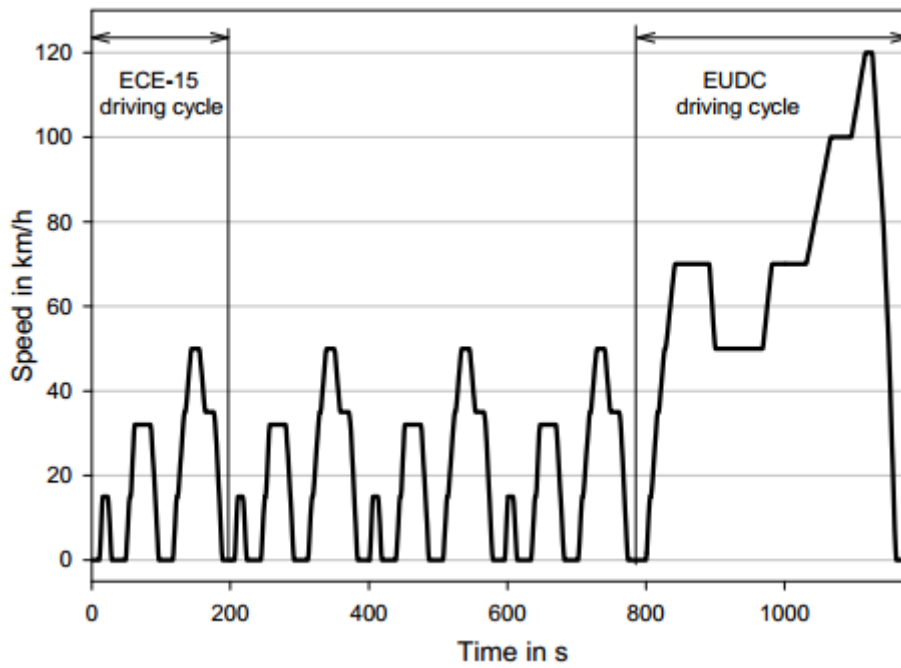
Euro 4

Euro 5

Euro 6

NOx (g/kWh)

-95%



ECE-15 driving cycle

Cykl jazdy ECE-15

EUDC driving cycle

Cykl jazdy EUDC

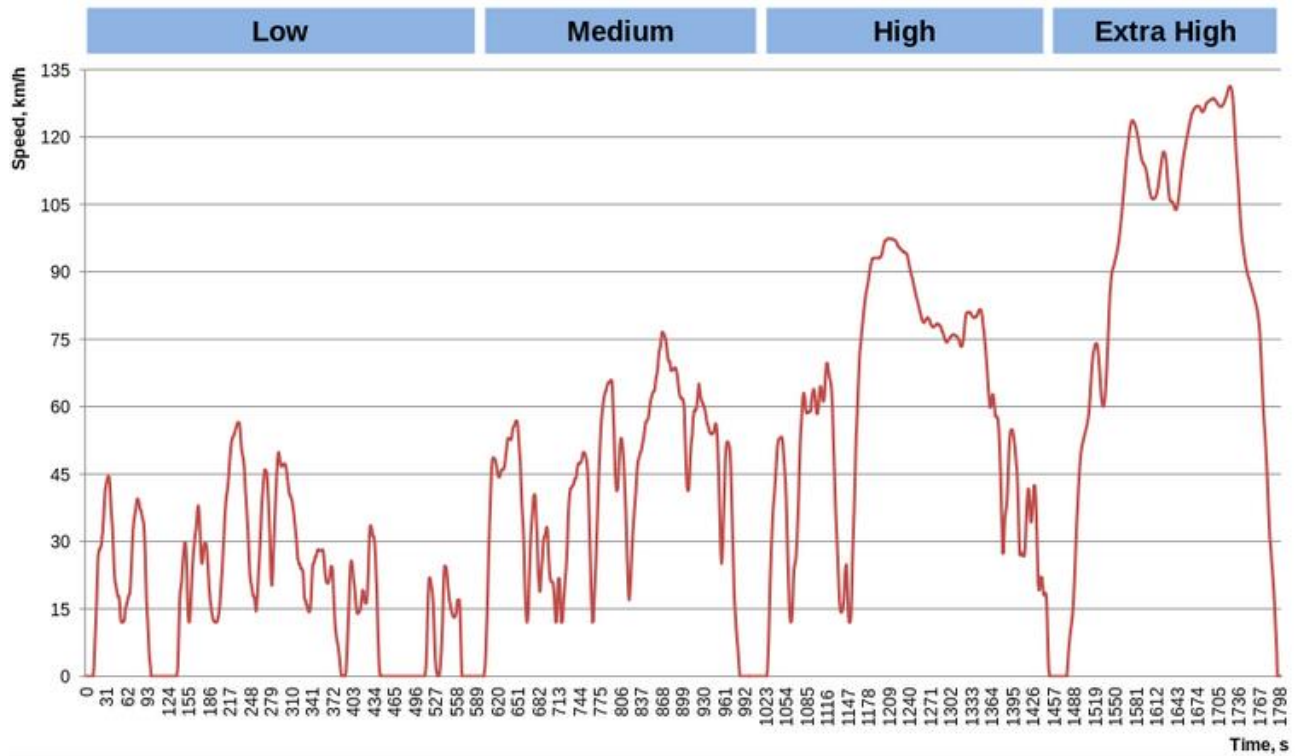
Speed in km/h

Prędkość w km/h

Time in s

Czas w s

WLTC Class 3



WLTC Class 3

WLTC Klasa 3

Low

Niski

Medium

Średni

High

Wysoki

Extra High

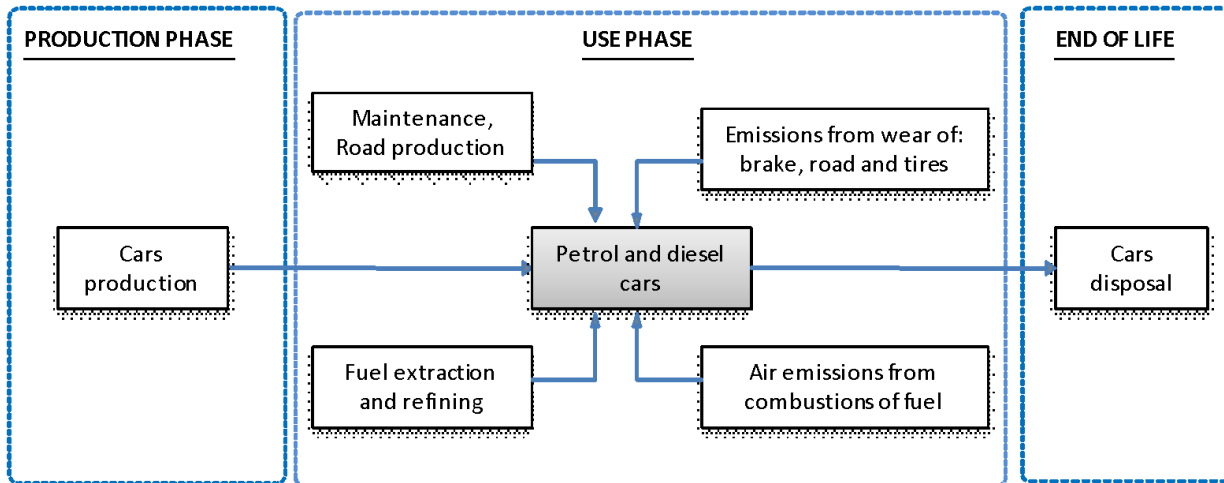
Bardzo wysoka

Speed, km/h

Prędkość, km/h

Time, s

Czas, s



PRODUCTION PHASE

Cars production

USE PHASE

Maintenance, Road production

Emissions from wear of: brake, road and tires

Petrol and diesel cars

Fuel extraction and refining

Air emissions from combustions of fuel

END OF LIFE

Cars disposal

FAZA PRODUKCJI

Produkcja samochodów

FAZA UŻYTKOWANIA

Utrzymanie ruchu, produkcja dróg

Emisje ze zużycia: hamulca, drogi i opon

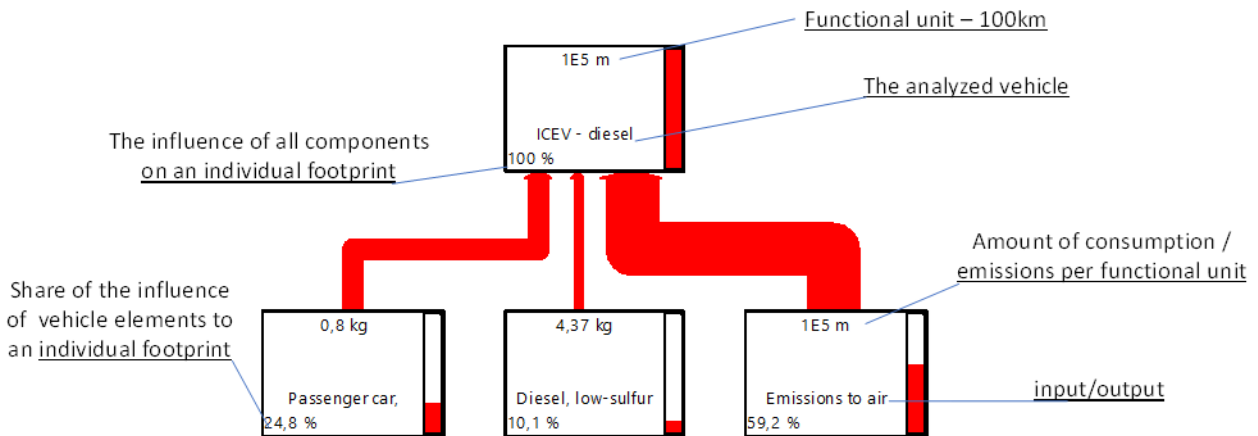
Samochody benzynowe i diesel

Wydobycie i rafinacja paliw

Emisje do powietrza ze spalania paliw

KONIEC ŻYCIA

Utylizacja samochodów



The influence of all components on an individual footprint

1E5 m

ICEV - diesel

100 %

Functional unit-100km

The analyzed vehicle

Share of the influence of vehicle elements to an individual footprint

0.8 kg

Passenger car,

24,8 %

4,37 kg

Diesel, low-sulfur

10,1 %

1E5 m

Emissions to air

59,2 %

Amount of consumption / emissions per functional unit

input/output

Wpływ wszystkich komponentów na indywidualny ślad

1E5 m

ICEV - diesel

100%

Jednostka funkcjonalna: 100 km

Analizowany pojazd

Udział wpływu elementów pojazdu na indywidualny ślad

0,8 kg

samochód osobowy

24,8%

4,37 kg

Olej napędowy, o niskiej zawartości siarki

10,1%

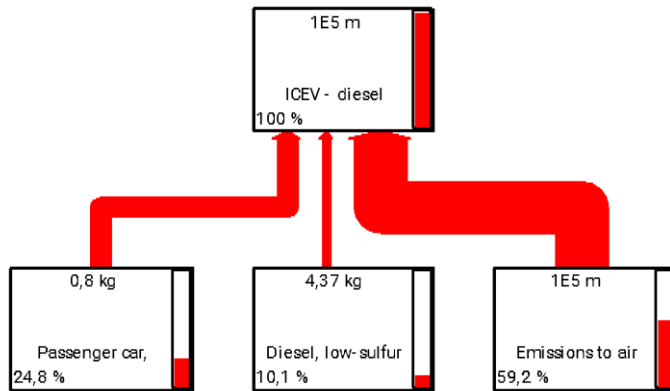
1E5 m

Emisje do powietrza

59,2%

Ilość zużycia / emisji na jednostkę funkcjonalną

wejście wyjście



1E5 m

ICEV - diesel

100 %

0,8 kg

Passenger car,

24,8 %

4,37 kg

Diesel, low-sulfur

10,1 %

1E5 m

Emissions to air

59,2 %

1E5 m

ICEV - diesel

100%

0,8 kg

Samochód osobowy

24,8%

4,37 kg

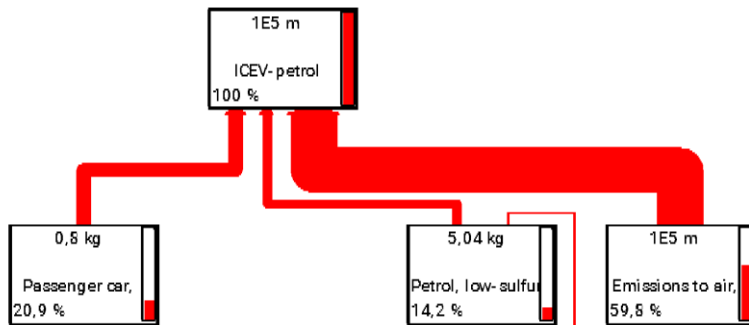
Olej napędowy, o niskiej zawartości siarki

10,1%

1E5 m

Emisje do powietrza

59,2%



1E5 m

0,8 kg

Passenger car,

20,9 %

5,04 kg

Petrol, low-sulfur

14,2 %

1E5 m

Emissions to air,

59,8 %

1E5 m

0,8 kg

Samochód osobowy,

20,9%

5,04 kg

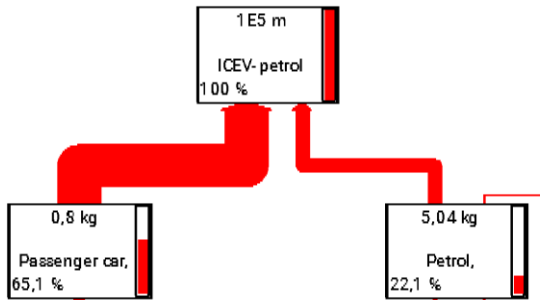
Benzyna, o niskiej zawartości siarki

14,2%

1E5 m

Emisje do powietrza,

59,8%



1E5 m

ICEV-petrol

100 %

0,8 kg

Passenger car,

65,1 %

5,04 kg

Petrol,

22,1 %

1E5 m

ICEV - benzyna

100%

0,8 kg

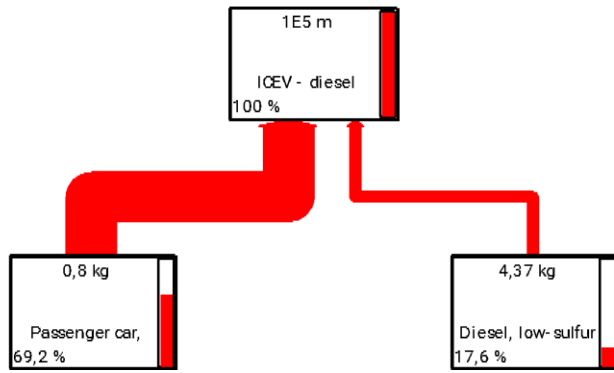
Samochód osobowy,

65,1%

5,04 kg

Benzyna,

22,1%



1E5 m

ICEV - diesel

100 %

0,8 kg

Passenger car,

69,2 %

4,37 kg

Diesel, low-sulfur

17,6 %

1E5 m

ICEV - diesel

100%

0,8 kg

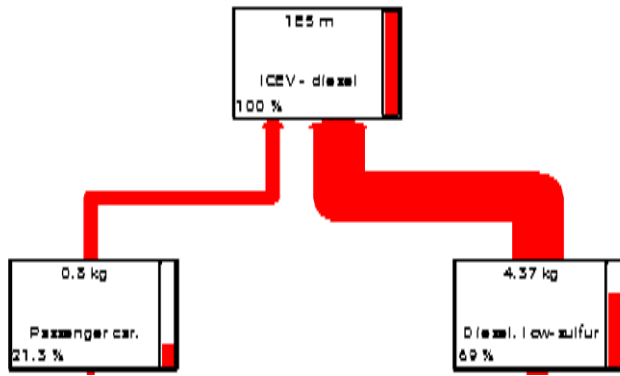
Samochód osobowy,

69,2%

4,37 kg

Olej napędowy, o niskiej zawartości siarki

17,6%



1E5 m

ICEV - diesel

100 %

0,8 kg

Passenger car,

21,3 %

4,37 kg

Diesel, low-sulfur

69 %

1E5 m

ICEV - diesel

100%

0,8 kg

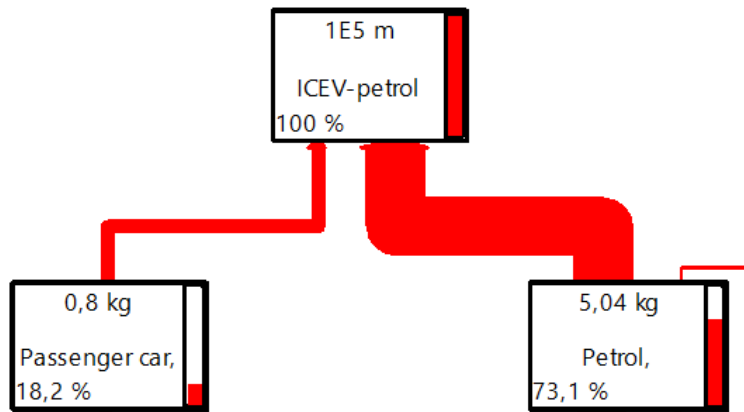
Samochód osobowy,

21,3%

4,37 kg

Olej napędowy, o niskiej zawartości siarki

69%



1E5 m

ICEV - petrol

100 %

0,8 kg

Passenger car,

18,2 %

5,04 kg

Petrol,

73,1 %

1E5 m

ICEV - benzyna

100%

0,8 kg

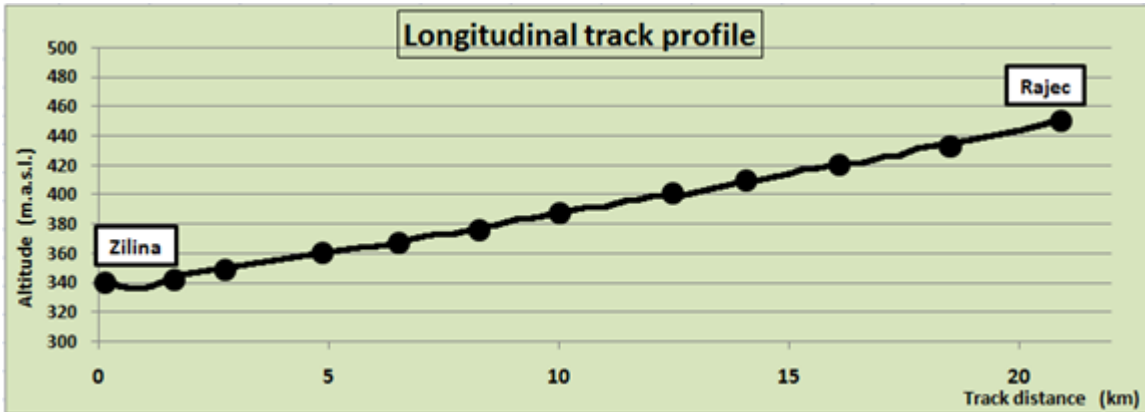
Samochód osobowy,

18,2%

5,04 kg

Benzyna

73,1%



Longitudinal track profile

Wzdłużny profil toru

Zilina

Žylina

Rajec

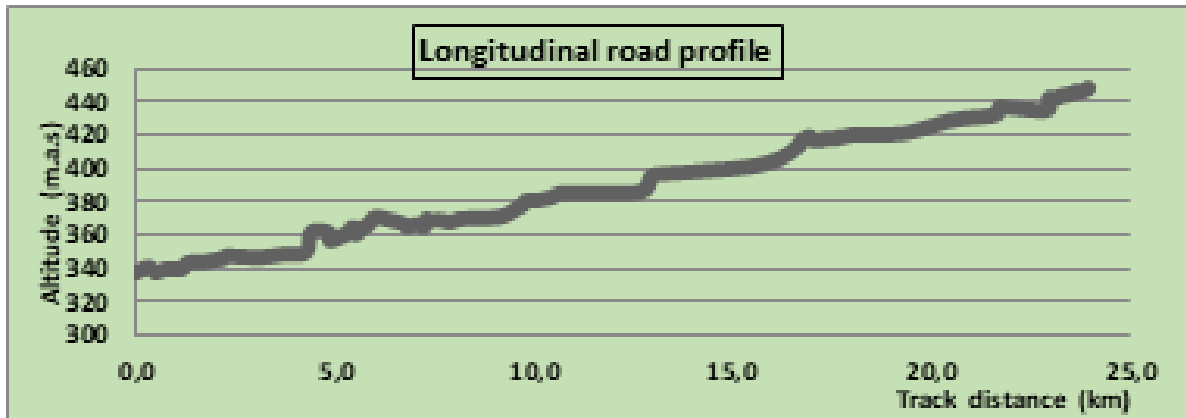
Rajec

Altitude (m.a.s.l.)

Wysokość (m n.p.m.)

Track distance (km)

Odległość toru (km)



Longitudinal road profile

Wzdłużny profil drogi

Altitude (m.a.s.)

Wysokość (m n.p.m.)

Track distance (km)

Długość toru (km)

0,0

0,0

5,0

5,0

10,0

10,0

15,0

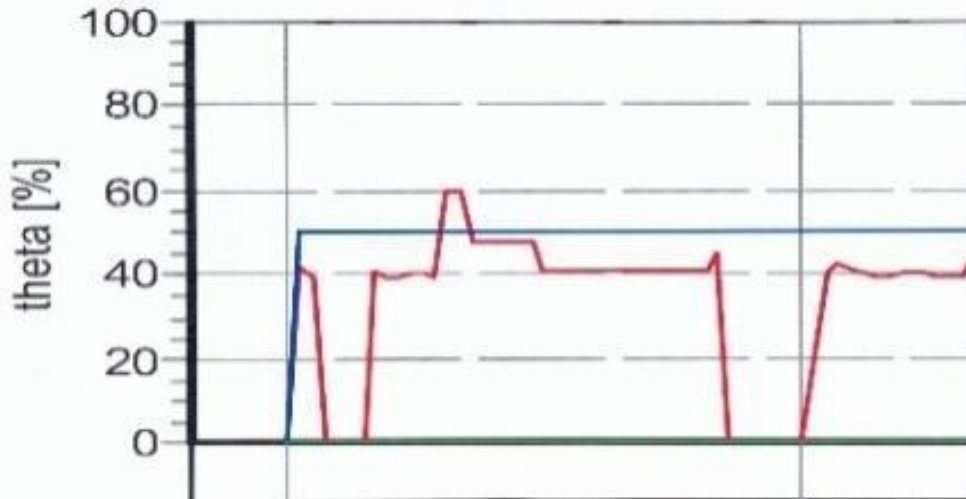
15,0

20,0

20,0

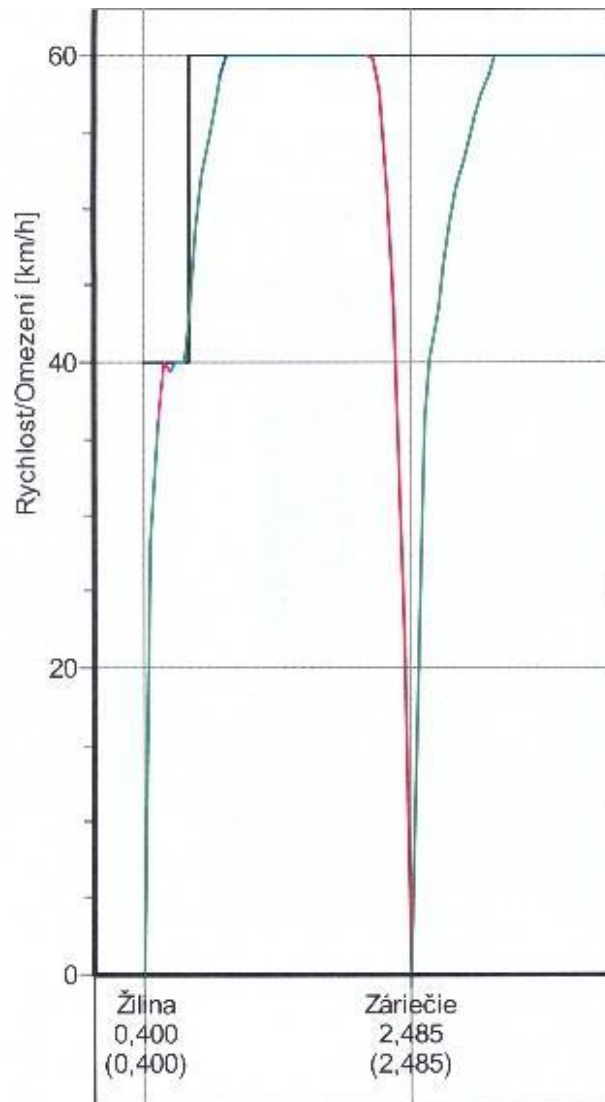
25,0

25,0



theta [%]

theta [%]



Rychlost/Omezeni [km/h]

Žilina

0,400

(0,400)

Záriečie

2,485

(2,485)

Rychlost/Omezeni [km/h]

Žylina

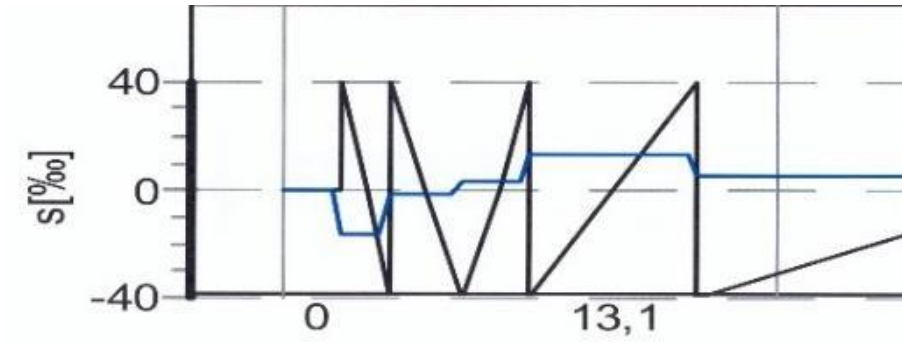
0,400

(0,400)

Záriečie

2,485

(2,485)

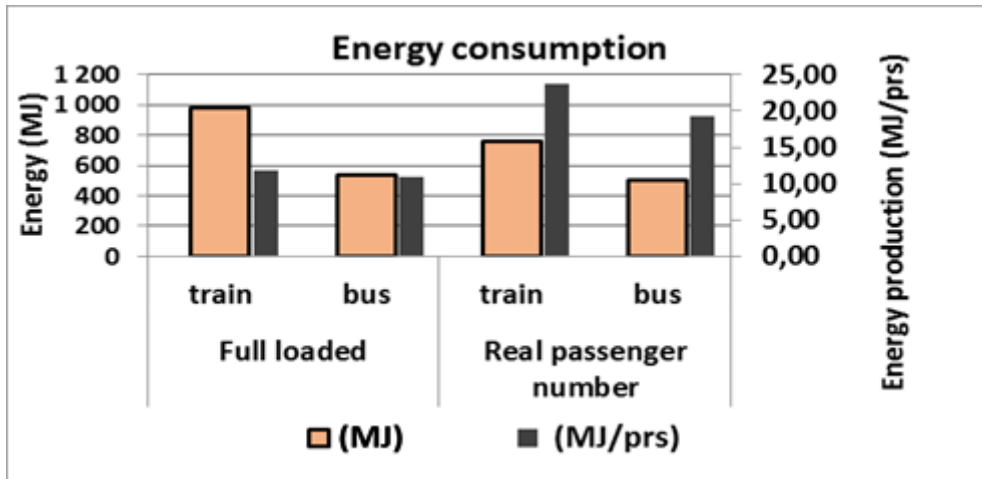


$s[‰]$

13,1

$s[‰]$

13,1



Energy consumption

Zużycie energii

Energy (MJ)

Energia (MJ)

25,00

25,00

20,00

20,00

15,00

15,00

10,00

10,00

5,00

5,00

0,00

0,00

Energy production (MJ/prs)

Produkcja energii (MJ/os)

train

pociąg

bus

autobus

Full loaded

W pełni załadowany

Real passenger number

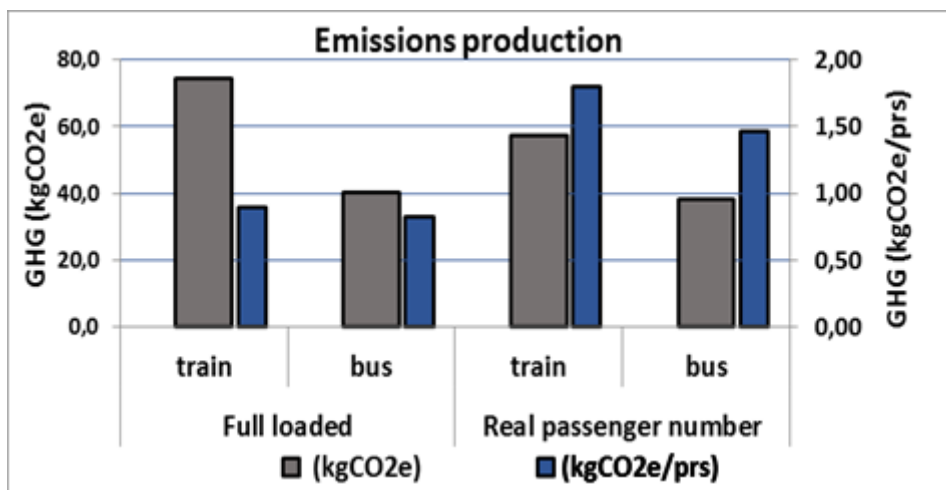
Rzeczywista liczba pasażerów

(MJ)

(MJ)

(MJ/prs)

(MJ/prs)



Emissions production

Emisja

GHG(kgCO₂e)

GHG (kgCO₂e)

80,0

80,0

60,0

60,0

40,0

40,0

20,0

20,0

0,0

0,0

GHG (kgCO₂e/prs)

GHG (kgCO₂e/prs)

2,00

2,00

1,50

1,50

1,00

1,00

0,50

0,50

0,00

0,00

train

treno

bus

autobus

Full loaded

W pełni załadowany

Real passenger number

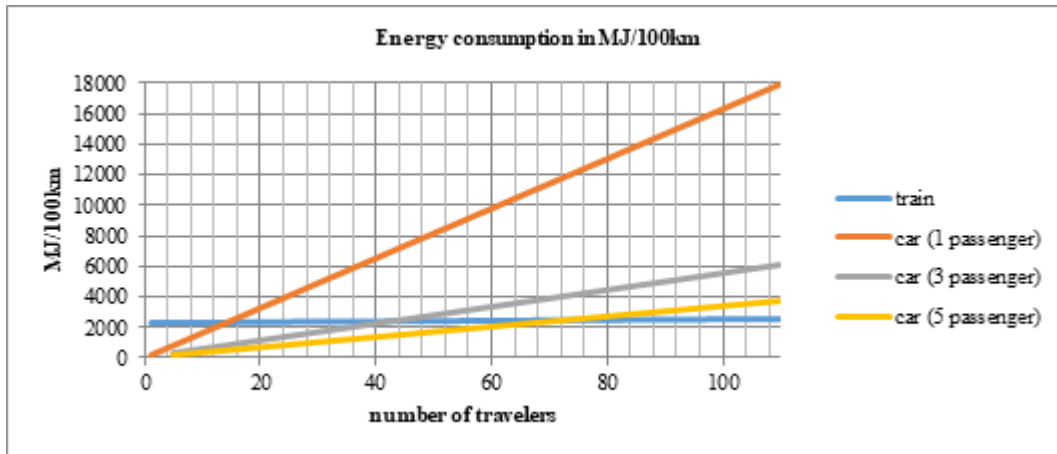
Rzeczywista liczba pasażerów

(kgCO₂e)

(kgCO₂e)

(kgCO₂e/prs)

(kgCO₂e/os)



Energy consumption in MJ 100km

Zużycie energii w MJ/100 km

MJ/100km

MJ/100km

number of travelers

liczba podróżnych

train

pociąg

car (1 passenger)

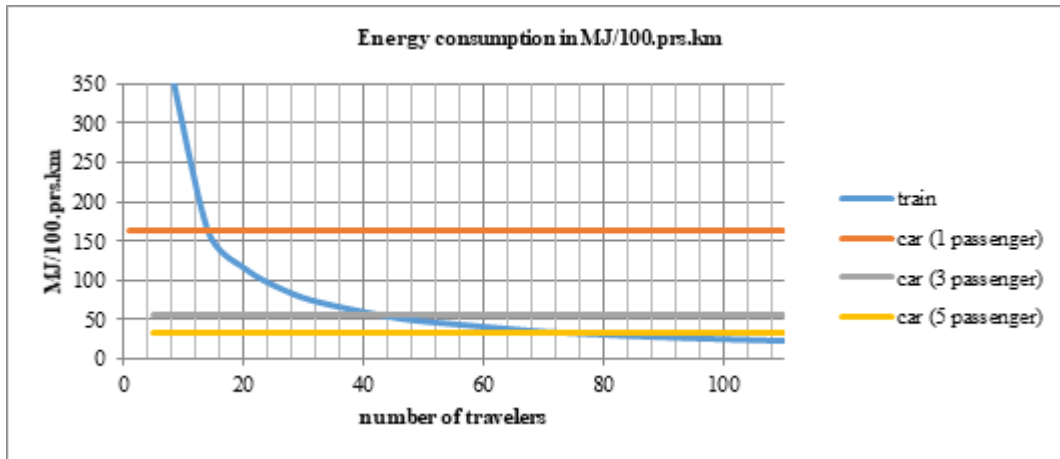
samochód (1 pasażer)

car (3 passenger)

samochód (3 osobowy)

car (5 passenger)

samochód (5 osobowy)



Energy consumption in MJ/100.prs.km

Zużycie energii w MJ/100.os.km

MJ/100.prs.km

MJ/100.os.km

number of travelers

liczba podróżnych

train

pociąg

car (1 passenger)

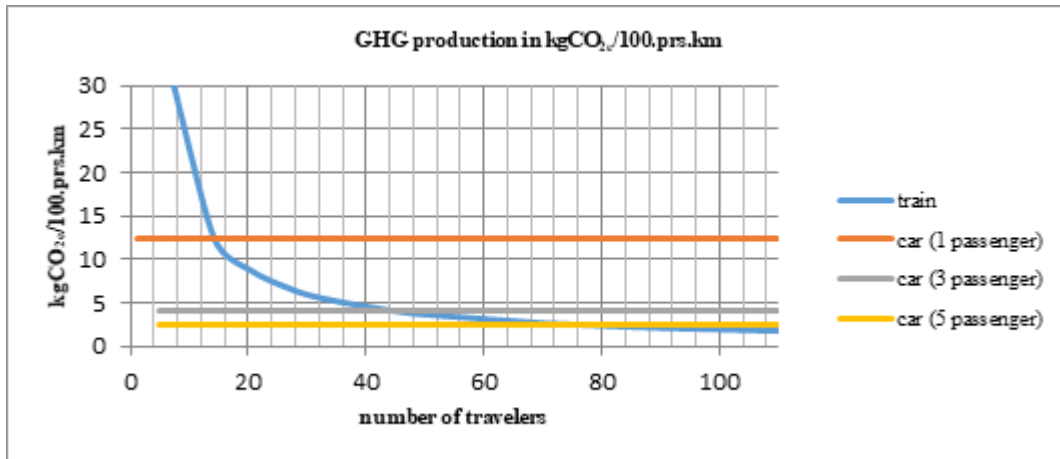
samochód (1 pasażer)

car (3 passenger)

samochód (3 osobowy)

car (5 passenger)

samochód (5 osobowy)



GHG production in kgCO₂/100km

Emisja gazów cieplarnianych w kgCO₂/100 km

kgCO₂/100km

kgCO₂/100 km

number of travelers

liczba podróżnych

train

pociąg

car (1 passenger)

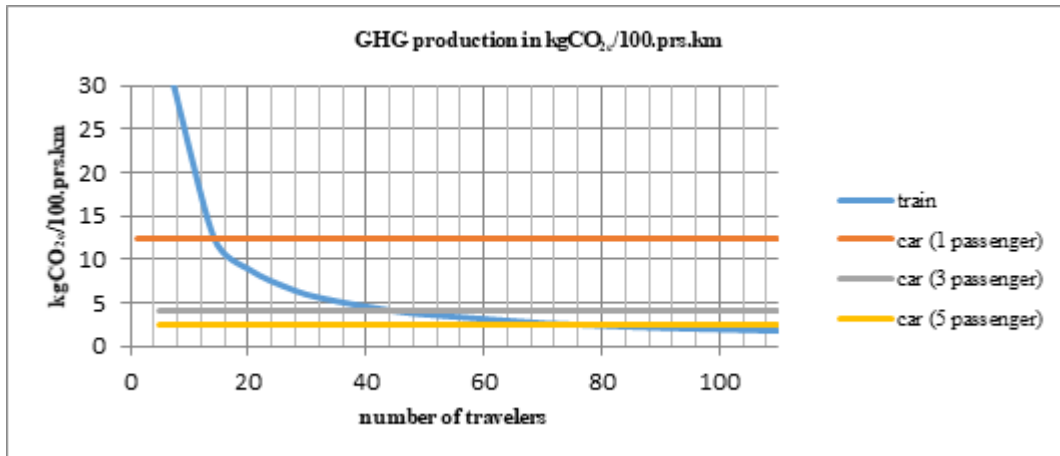
samochód (1 pasażer)

car (3 passenger)

samochód (3 osobowy)

car (5 passenger)

samochód (5 osobowy)



GHG production in kgCO₂/100.prs.km

Emisja gazów cieplarnianych w kgCO₂/100.prs.km

kgCO₂/100.prs.km

kgCO₂/100.prs.km

number of travelers

liczba podróżnych

train

pociąg

car (1 passenger)

samochód (1 pasażer)

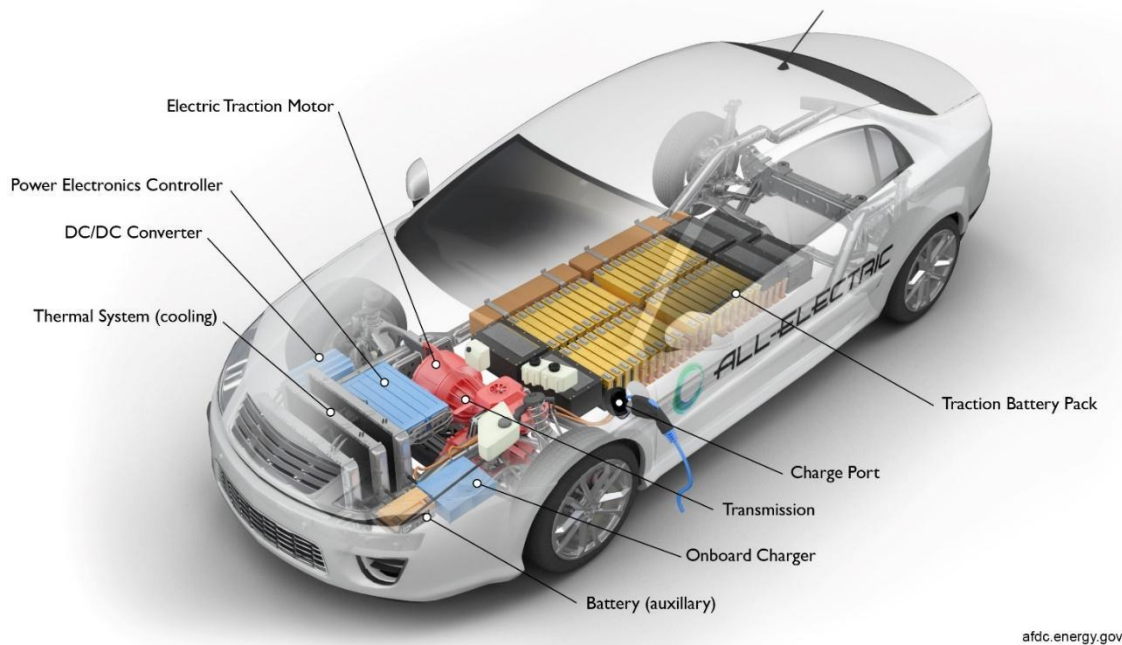
car (3 passenger)

samochód (3 osobowy)

car (5 passenger)

samochód (5 osobowy)

All-Electric Vehicle



All-Electric Vehicle

Electric Traction Motor

Power Electronics Controller

DC/DC Converter

Thermal System (cooling)

Traction Battery Pack

Charge Port

Transmission

Onboard Charge

Battery (auxiliary)

afdc.energy.gov

W pełni elektryczny pojazd

Elektryczny silnik trakcyjny

Sterownik elektroniki mocy

Przetwornica DC/DC

System termiczny (chłodzenie)

Akumulator trakcyjny

Port ładowania

Transmisja

Opłata na pokładzie

Bateria (pomocnicza)

afdc.energy.gov

$$CF_{EV} = (CF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$

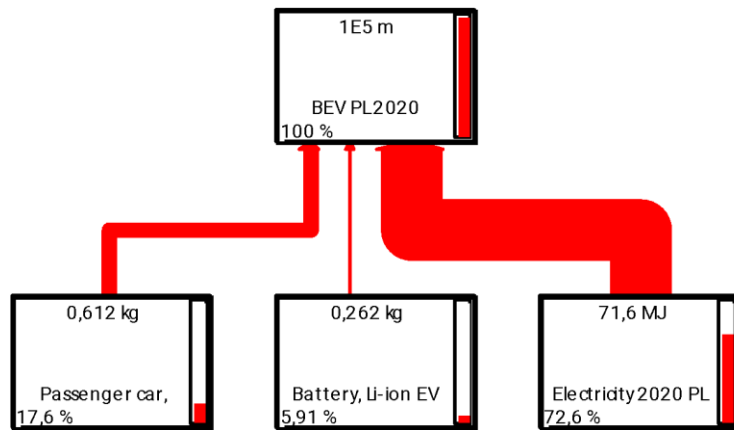
$$CF_{EV} = (CF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$

$$WF_{EV} = (WF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$

$$WF_{EV} = (WF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$

$$RF_{EV} = (RF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$

$$RF_{EV} = (RF_{ES\ 1-8} * S_{ES\ 1-8}) * E_{EV}$$



1E5 m

BEV PL 2020

100 %

0,612 kg

Passenger car,

17,6 %

0,262 kg

Battery, Li-ion EV

5,91 %

71,6 MJ

Electricity 2020 PL

72,6 %

1E5 m

BEV PL 2020

100%

0,612 kg

Samochód osobowy,

17,6%

0,262 kg

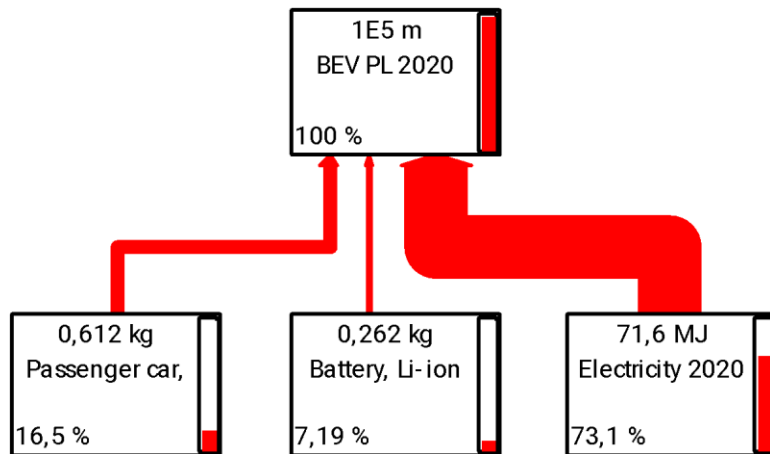
Akumulator, akumulator litowo-jonowy EV

5,91%

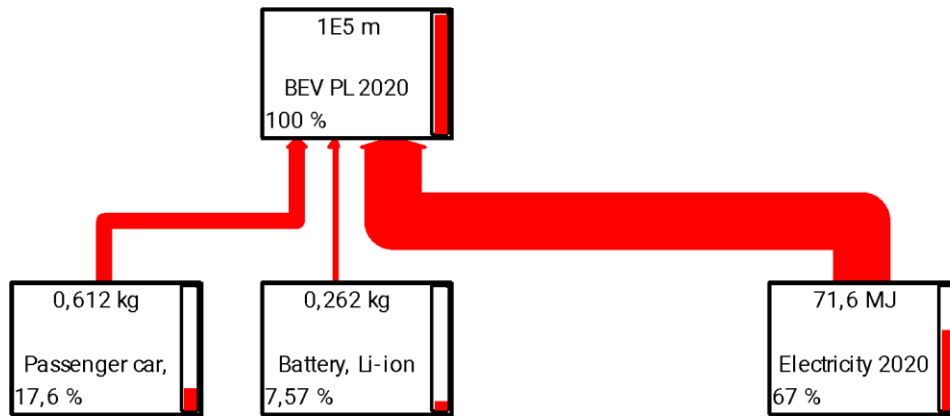
71,6 MJ

Elektryczność 2020 PL

72,6%

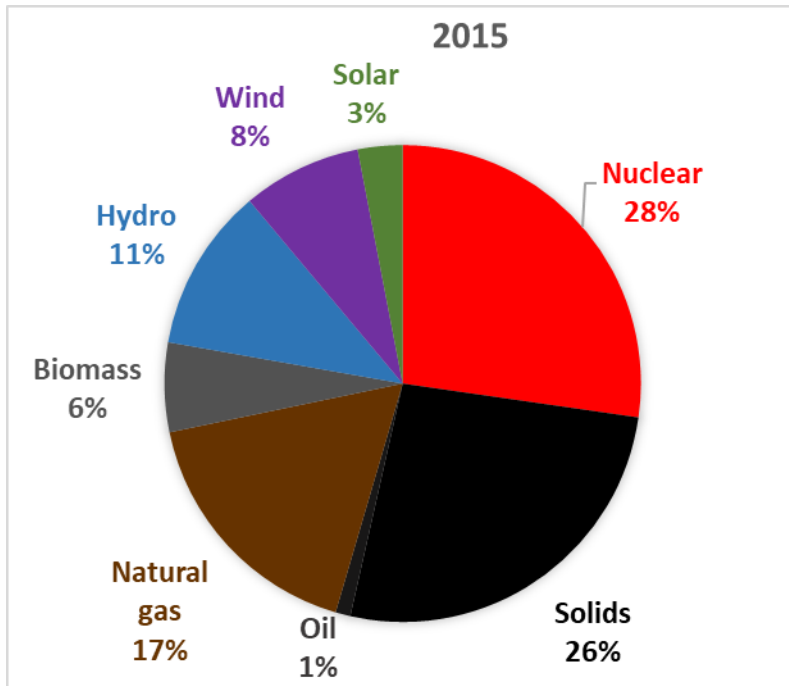


1E5 m	1E5 m
BEV PL 2020	BEV PL 2020
100 %	100%
0,612 kg	0,612 kg
Passenger car,	Samochód osobowy,
16,5 %	16,5%
0,262 kg	0,262 kg
Battery, Li-ion	Akumulator, akumulator litowo-jonowy EV
7,19 %	7,19%
71,6 MJ	71,6 MJ
Electricity 2020	Elektryczność 2020 PL
73,1 %	73,1%



1E5 m
BEV PL 2020
100 %
0,612 kg
Passenger car,
17,6 %
0,262 kg
Battery, Li-ion
7,57 %
71,6 MJ
Electricity 2020
67 %

1E5 m
BEV PL 2020
100%
0,612 kg
Samochód osobowy,
17,6%
0,262 kg
Akumulator, akumulator litowo-jonowy EV
7,57%
71,6 MJ
Elektryczność 2020 PL
67%



Solar 3%

Wind 8%

Hydro 11%

Biomass 6%

Natural gas 17%

Oil 1%

Solids 26%

Nuclear 28%

Energia słoneczna 3%

Energia wiatrowa 8%

Energia hydro 11%

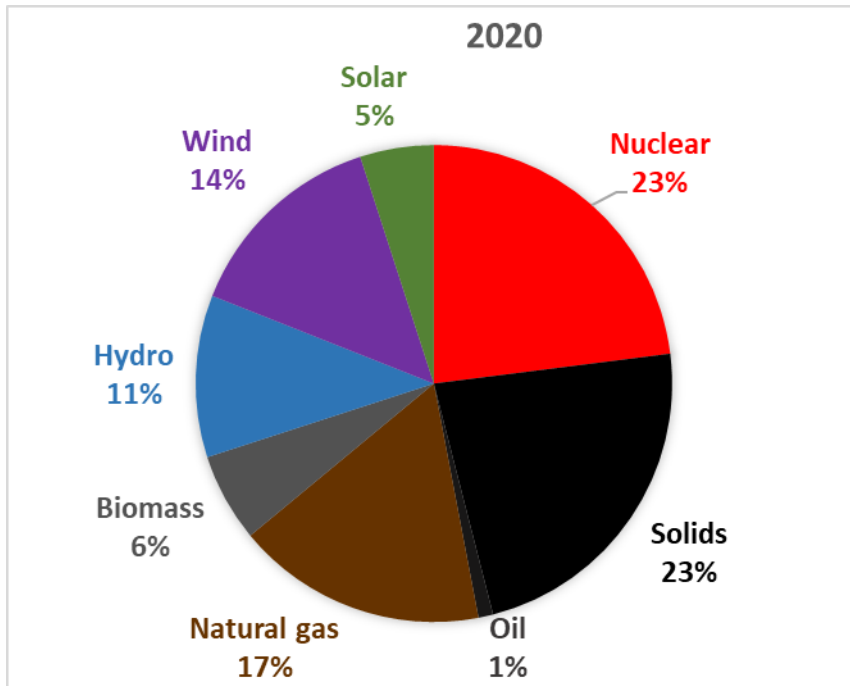
Biomasa 6%

Gaz ziemny 17%

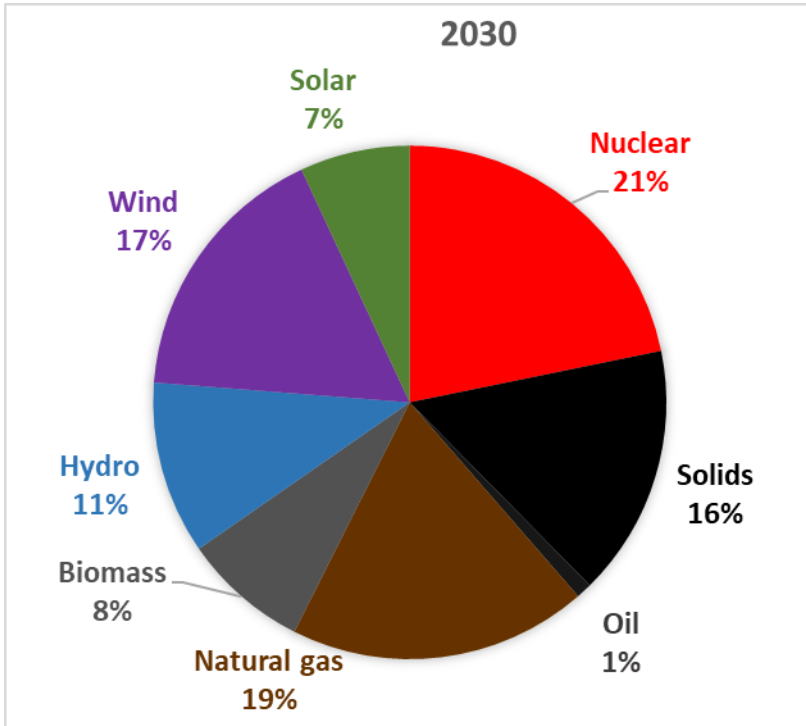
Olej 1%

Paliwa kopalne 26%

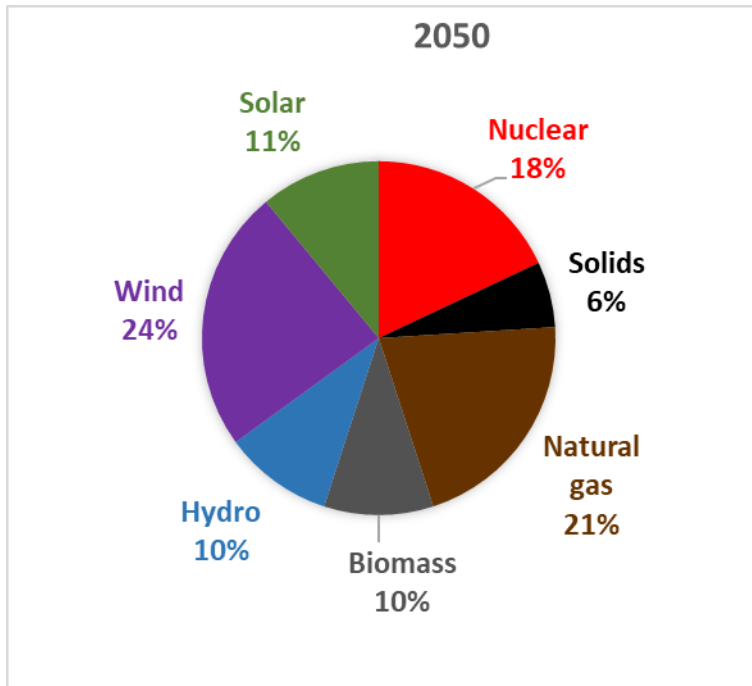
Energia jądrowa 28%



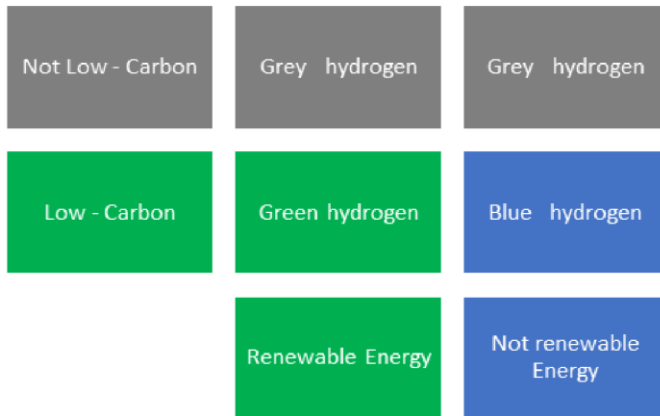
Solar 5%	Energia słoneczna 5%
Wind 14%	Energia wiatrowa 14%
Hydro 11%	Energia hydro 11%
Biomass 6%	Biomasa 6%
Natural gas 17%	Gaz ziemny 17%
Oil 1%	Olej 1%
Solids 23%	Paliwa kopalne 23%
Nuclear 23%	Energia jądrowa 23%



- | | |
|-----------------|----------------------|
| Solar 7% | Energia słoneczna 7% |
| Wind 17% | Energia wiatrowa 17% |
| Hydro 11% | Energia hydro 11% |
| Biomass 8% | Biomasa 8% |
| Natural gas 19% | Gaz ziemny 19% |
| Oil 1% | Olej 1% |
| Solids 16% | Paliwa kopalne 16% |
| Nuclear 21% | Energia jądrowa 21% |



Solar 11%	Energia słoneczna 11%
Wind 24%	Energia wiatrowa 24%
Hydro 10%	Energia hydro 10%
Biomass 10%	Biomasa 10%
Natural gas 21%	Gaz ziemny 21%
Solids 6%	Paliwa kopalne 6%
Nuclear 18%	Energia jądrowa 18%



Not Low - Carbon

Grey hydrogen

Low - Carbon

Green hydrogen

Blue hydrogen

Renewable Energy

Not renewable Energy

Nie niskowęglowe

Szary wodór

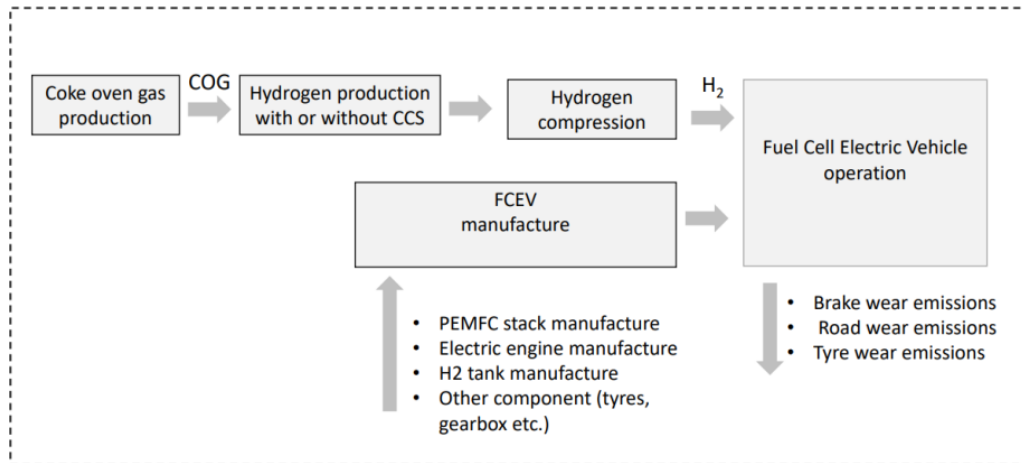
Niskowęglowe

Zielony wodór

Niebieski wodór

Energia odnawialna

Energia nieodnawialna



Coke oven gas production

Produkcja gazu koksowniczego

COG

COG - Produkcja gazu koksowniczego

Hydrogen production with or without CCS

Produkcja wodoru z CCS lub bez

Hydrogen compression

Sprężanie wodoru

H₂

H₂

Fuel Cell Electric Vehicle operation

Działanie pojazdu elektrycznego z ogniwami paliwowymi

FCEV manufacture

Produkcja FCEV

PEMFC stack manufacture

Produkcja PEMFC

Electric engine manufacture

Produkcja silników elektrycznych

H₂ tank manufacture

Produkcja zbiornika H₂

Other component (tyres, gearbox etc.)

Inny element (opony, skrzynia biegów itp.)

Brake wear emissions

Emisje związane ze zużyciem hamulców

Road wear emissions

Emisje wynikające ze zużycia dróg

Tyre wear emissions

Emisje związane ze zużyciem opon

coal extraction and processing - Central Appalachia, BIT, Processing

21: Mining, Quarrying, and Oil and Gas Extraction / 2121: Coal Mining



The cradle-to-gate inventory for production of coal aggregated to basin, mine type, and coal type groups. For coal extraction there are two major processes that form the basis of the coal life cycle model - underground and surface coal mining. These are connected to auxiliary processes that provide inventories from things like coal mine methane emissions, water use, water emissions, etc. All processes use parameters that allow some differentiation based on region or coal type. Details on the coal modeling can be found in the NETL Coal Baseline report to be published in the near future: netl.doe.gov/LCA This process was created with ElectricityLCI (<https://github.com/USEPA/ElectricityLCI>) version 1.0.1 using the ELCI_1 configuration.

Inputs/Outputs

Documentation

Allocation factors

[Switch to table view](#)

Reference product

☐→ 1.0000e+0 sh tn coal, processed, at mine

By-products

☐→ 0.0000e+0 kg methane, captured

Produced waste

☐→ 0.0000e+0 kg 2,4-DINITROTOLUENE
 ☐→ 0.0000e+0 kg 2-BUTANONE, PEROXIDE (R,T) (OR) METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE (R,T)
 ☐→ 0.0000e+0 kg 2-PROPANONE (I) (OR) ACETONE (I)
 ☐→ 0.0000e+0 kg ACETALDEHYDE, TRICHLORO- (OR) CHLORAL
 ☐→ 0.0000e+0 kg ACIDIC AQUEOUS WST
 ☐→ 0.0000e+0 kg AQUEOUS W/O CYANIDES
 ☐→ 0.0000e+0 kg AQUEOUS/CYANIDES
 ☐→ 0.0000e+0 kg ARSENIC
 ☐→ 0.0000e+0 kg ASH
 ☐→ 0.0000e+0 kg BARIUM
[Show 78 more](#)

coal extraction and processing - Central Appalachia, BIT, Processing

21: Mining, Quarrying, and Oil and Gas Extraction / 2121: Coal Mining

The cradle-to-gate inventory for production of coal aggregated to basin, mine type, and coal type groups.

For basis of the coal life cycle model - underground and surface coal mining.

These are connected to auxiliary methane emissions, water use, water emissions, etc.

All processes use parameters that allow some differential modeling can be found in the NETL Coal Baseline report to be published in the near future: netl.doe.gov/LCA (<https://github.com/USEPA/ElectricityLCI>) version 1.0.1 using the ELCI_1 configuration.

Inputs/Outputs

Documentation

Allocation factors

Reference product

wydobycie i przeróbka węgla - Centralne Appalacy, BIT, przeróbka

21: Górnictwo, kopalnictwo oraz wydobycie ropy i gazu / 2121: Wydobycie węgla

Zapasy cradle-to-gate do produkcji węgla zagregowane do grup typu zagłębie, typ kopalni i typ węgla.

Dla podstawy modelu cyklu życia węgla - górnictwo podziemne i odkrywkowe.

Są one związane z pomocniczymi emisjami metanu w procesie produkcyjnym, zużyciem wody, emisjami wody itp.

Wszystkie procesy używają parametrów, które pozwalają na pewne modelowanie różnicowe, można znaleźć w raporcie NETL Coal Baseline, który zostanie opublikowany w najbliższej przyszłości: netl.doe.gov/LCA (<https://github.com/USEPA/ElectricityLCI>) wersja 1.0.1 przy użyciu konfiguracji ELCI_1.

Wejścia wyjścia

Dokumentacja

Czynniki alokacji

Produkt referencyjny

1,0000e+0 sh tn coal, processed, at mine

By-products

0.0000e+0 kg methane, captured

Produced waste

0.0000e+0 kg 2,4-DINITROTOLUENE

0.0000e+0 kg 2-BUTANONE, PEROXIDE (R.T) (OR)
METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE (R,T)

0.0000e+0 kg 2-PROPANONE (I) (OR) ACETONE (I)

0.0000e+0 kg ACETALDEHYDE, TRICHLORO- (OR)
CHLORAL

0.0000e+0 kg ACIDIC AQUEOUS WST

0.0000e+0 kg AQUEOUS W/O CYANIDES

0.0000e+0 kg AQUEOUS/CYANIDES

1,0000e+0 sh tn węgla, przeróbka, w kopalni

Produkty uboczne

0,0000e + 0 kg metanu, wychwycony

Wytworzone odpady

0.0000e+0 kg 2,4-DINITROTOLUEN

0.0000e+0 kg 2-BUTANON, NADTLENEK (R.T) (LUB)
NADTLENEK KETONU METYLOETYLOWEGO (R,T)

0,0000e+0 kg 2-PROPANON (I) (LUB) ACETON (I)

0,0000e+0 kg DEHYD ACETALOWY, TRÓJCHLORO-
(LUB) CHLORALNY

0.0000e+0 kg KWAŚNY WODNY WST

0.0000e+0 kg WODNY BEZ CYJANÓW

0.0000e+0 kg WODNY/CYJANKI



Basic

78 products

Production and consumption mixes

Regions: China, USA, Europe (Germany, Netherlands, Belgium and EU-27-average) + Global average

Technology insights

78 products

Production and consumption mixes

+ major production technologies

Regions: China, USA, Europe (Germany, Netherlands, Belgium and EU-27-average) + Global average

Global insights

78 products

Production and consumption mixes

major production technologies

All available regions - includes all regions in our database + EU-27 average + Global average

Podstawowy

78 produktów

Mieszanki produkcyjne i konsumpcyjne

Regiony: Chiny, USA, Europa (Niemcy, Holandia, Belgia i UE-27-średnia) + Średnia globalna

Informacje o technologii

78 produktów

Mieszanki produkcyjne i konsumpcyjne

+ główne technologie produkcyjne

Regiony: Chiny, USA, Europa (Niemcy, Holandia, Belgia i UE-27-średnia) + Średnia globalna

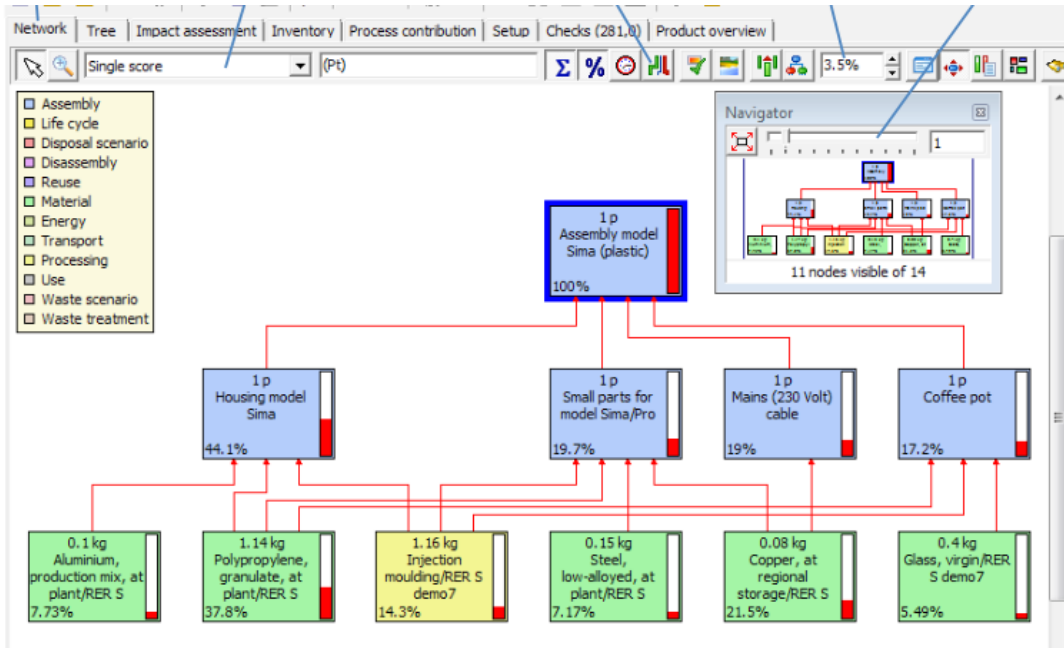
Globalne spostrzeżenia

78 produktów

Mieszanki produkcyjne i konsumpcyjne

główne technologie produkcyjne

Wszystkie dostępne regiony - obejmuje wszystkie regiony w naszej bazie danych + średnia UE-27 + średnia globalna



Network

Sieć

Tree

Drzewo

Impact assessment

Ocena wpływu

Inventory

Inwentaryzacja

Process contribution

Wkład w proces

Setup

Zorganizowanie

Checks (281,0)

Sprawdzenie (281,0)

Product overview

Przegląd produktów

Single score

Pojedynczy wynik

(pt)

(pt)

Σ

Σ

3,5 %

3,5 %

Assembly

Montaż

life cycle

Cykl życia

Disposal scenario

Scenariusz utylizacji

Disassembly

Demontaż

Reuse

Ponowne użycie

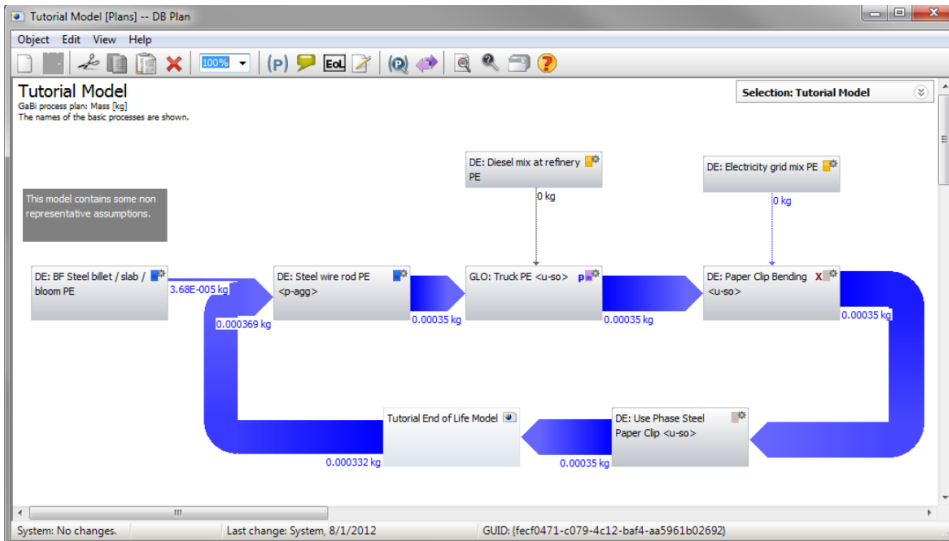
Material

Materiał

Energy

Energia

Transport	Transport
Processing	Przetwarzanie
Use	Użytkowanie
Waste scenario	Scenariusz odpadów
Waste treatment	Utylizacja odpadów
Navigator	Nawigator
11 nodes visible of 14	11 widocznych węzłów 14
Ip Assembly model Sima (plastic)	Model montażu Sima (plastik)
100 %	100 %
Ip Housing model Sima	Model obudowy Sima
44,1 %	44,1 %
Ip Small parts for mode Sima/Pro	Małe części dla trybu Sima/Pro
19.7 %	19.7 %
Ip Mains (230 Volt) cable	Kabel sieciowy (230 V)
19 %	19 %
Ip Coffee pot	Dzbanek do kawy
17.2 %	17.2 %
0.1kg Aluminum, production mix, at plant/RER S	0,1 kg aluminium, mieszanka produkcyjna, w zakładzie/RER S
7.73%	7.73%
1.14 kg Polypropylene, granulate, at plant/RER S	1,14 kg polipropylen, granulaty, w zakładzie/RER S
37.8%	37.8%
1,16 kg Injection moulding/RER S demo 7	1,16 kg Formowanie wtryskowe/RER S demo 7
14,3 %	14,3 %
0.15 kg Steel, low-alloyed, at plant/RER S	0,15 kg Stal niskostopowa, w zakładzie/RER S
7.17%	7.17%
0,08 kg Copper, at regional storage/RER S	0,08 kg Miedź, skład regionalny/RER S
21.5 %	21.5 %
0,4 kg Glass, virgin/RER S demo7	0,4 kg Szkło /RER S demo7
5.49 %	5.49 %



Tutorial Model [Plans] -- DB Plan

Object

Edit

View

Help

Tutorial Model

GaBi process plan: Mass [kg] The names of the base processes are shown.

Selection: Tutorial Model

This model contains some non representative assumptions.

DE: Diesel mix at refinery PE

0 kg

DE: Electricity grid mix PE

DE: BF Steel Met / slab / bloom PE

3.68E-005kg

DE: Steel wire rod PE <p-agg>

0.000369 kg

0.00035 kg

GLO: Trude PE <u-so>

DE: Paper Clip Bendng <u-so>

Model samouczka [Plany] -- DB Plan

Obiekt

Edytowanie

Podgląd

Pomoc

Model samouczka

Plan procesów GaBi: Masa [kg] Wyświetlane są nazwy procesów bazowych..

Wybór: Model samouczka

Model ten zawiera pewne niereprezentatywne założenia.

DE: MIX oleju napędowego w rafinerii PE

0 kg

DE: MIX sieci elektrycznej PE

DE: BF stal / płyta / bloom PE

3,68 E-005 kg

DE: Walcówka stalowa PE <p-agg>

0,000369 kg

0,00035 kg

GLO: Trude PE <u-so>

DE: Zginanie spinacza do papieru <u-so>

Tutorial End of Life Model

0.000332 kg

DE: Use Phase Steel Paper Clip <u-so>

System: No changes.

Last change: System, 8/1/2012

GUID:

Samouczek Model końca życia

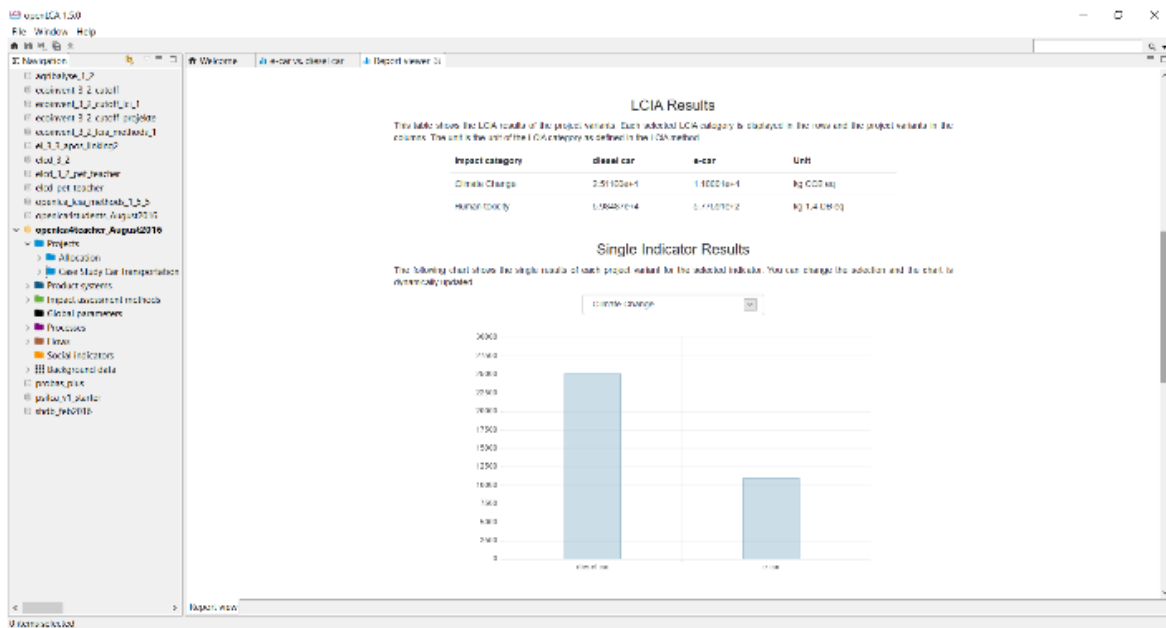
0,000332 kg

DE: Użyj spinacza do papieru Phase Steel <u-so>

System: bez zmian.

Ostatnia zmiana: System, 8.01.2012

GUID:



opanci 1.5.0	openLCA 1.5.0
File	Plik
Window	Okno
Help	Pomoc
Navigation	Nawigacja
Welcome	Powitanie
e-car vs. diesel car	e-samochód kontra samochód z silnikiem Diesla
Report viewer	Przeglądarka raportów
agribalyse_1_2	agribalyse_1_2
ecoinvent_3_2_cutoff	ecoinvent_3_2_cutoff
ecoinvent_3_2_cutoffJci_1	ecoinvent_3_2_cutoffJci_1
ecoinvent_3_2_cutoff_projekte	ecoinvent_3_2_cutoff_projekte
ecoinvent_3_2lcia_methods_1	ecoinvent_3_2lcia_methods_1
ei_3_3_apos_linking 2	ei_3_3_apos_linking 2
elcd_3_2	elcd_3_2
elcd_3_2_pet_teacher	elcd_3_2_pet_teacher
elcd_pet_teacher	elcd_pet_teacher
openlca_lcia_methods_1_5_5	openlca_lcia_methods_1_5_5
openlca4students_August2016	openlca4students_August2016

openlca4teacherAugust2016	openlca4teacherAugust2016
Projects	Projekty
Allocation	Przydział
Case Study Car Transportation	Studium przypadku Transport samochodowy
Product systems	Systemy produktów
Impact assessment methods	Metody oceny wpływu
Global parameters	Parametry globalne
Processes	Procesy
Flows	Przepływy
Social indicators	Wskaźniki społeczne
Background data	Dane w tle
probas_plus	probas_plus
psilca_v1_starter	psilca_v1_starter
shdb_feb2016	shdb_feb2016
0 items selected	Wybrano 0 pozycji
Report view	Widok raportu
LCIA Results	Wyniki LCIA
This table shows the LCIA results of the project variants.	Ta tabela przedstawia wyniki LCIA wariantów projektu.
Each selected LCIA category is displayed in the rows and the project variants in the columns The unit is the unit of the LCIA category as defined in the LCIA method	Każda wybrana kategoria LCIA jest wyświetlana w wierszach a warianty projektu w kolumnach Jednostka jest jednostką kategorii LCIA zdefiniowaną w metodzie LCIA
Impact category	Kategoria wpływu
diesel car	samochód z silnikiem diesla
e-car	Pojazd elektryczny
Unit	Jednostka
Climate Change	Zmiana klimatu
Human toxicity	Toksyczność dla człowieka
2.51160e+4	2,51160e+4
5.98487e+4	5,98487e+4
1.10001 e+4	1,10001 e+4
5.77591e+2	5,77591e+2

kg CO2 eq

kg 1.4-DB eq

Single Indicator Results

The following chart shows the single results of each project variant for the selected indicator.

You can change the selection and the chart is dynamically updated

Climate Change

diesel car

e-car

kg CO2 eq

kg 1,4 dB eq

Wyniki dla pojedynczego wskaźnika

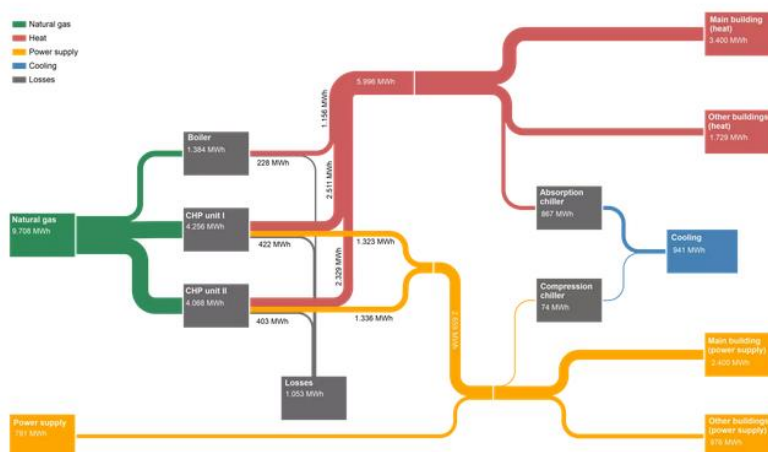
Poniższy wykres przedstawia pojedyncze wyniki każdego wariantu projektu dla wybranego wskaźnika.

Możesz zmienić wybór, a wykres jest dynamicznie aktualizowany

Zmiana klimatu

samochód z silnikiem diesla

Pojazd elektryczny



Natural gas

Gaz ziemny

Heat

Ciepło

Power supply

Zasilacz

Cooling

Chłodzenie

Losses

Straty

Natural gas 9.706 MWh

Gaz ziemny 9,706 MWh

Boiler 1.384 MWh

Kocioł 1,384 MWh

CHP unit I 4.256 MWh

Blok kogeneracyjny I 4,256 MWh

CHP unit II 4.058 MWh

Blok kogeneracyjny II 4,058 MWh

Power supply 791 MWh

Zasilanie 791 MWh

228 MWh

228 MWh

422 MWh

422 MWh

403 MWh

403 MWh

Losses 1.053 MWh

Straty 1,053 MWh

2.329 MWh

2,329 MWh

2.511 MWh

2,511 MWh

1.156 MWh

1.156 MWh

5.996 MWh

5,996 MWh

2.659 MWh

2,659 MWh

Main building (heat) 3.400 MWh

Budynek główny (ciepło) 3.400 MWh

Other building (heat) 1.729 MWh

Absorption chiller 857 MWh

Cooling 941 MWh

Compression chiller 74 MWh

Main building (power supply) 2.400 MWh

Other buildings (power supply) 796 MWh

Inny budynek (ciepło) 1,729 MWh

Chiller absorpcyjny 857 MWh

Chłodzenie 941 MWh

Agregat sprężarkowy 74 MWh

Budynek główny (zasilanie) 2.400 MWh

Pozostałe budynki (zasilanie) 796 MWh