



TRANSITION
TECHNOLOGIES



Wrocław University
of Science and Technology



ITT
Instytut Transferu
Technologii

Raport:

Zrównoważona produkcja

Trendy, wyzwania i perspektywy

_Spis treści

_Wstęp	3
_Informacje ogólne	3
_Europejski Zielony Ład	5
_Transport i przemysł motoryzacyjny	9
_Koncepcja zrównoważonego rozwoju i jej elementy	11
_Status wdrożenia koncepcji i regulacji	18
_Gospodarka o obiegu zamkniętym i jej elementy	20
_Wdrożenie na poziomie organizacji	22
_Ocena możliwości wykorzystania istniejących baz danych	25
Sektory przemysłu gotowe na Green PLM na przykładzie przemysłu motoryzacyjnego (samochody, części i usługi)	25
_Identyfikacja i analiza wskaźników	37
_Autorzy	41
_Referencje	42

Wstęp

W ciągu ostatniego dwóch i pół roku światową gospodarkę dotknęły kolejne niespodziewane kryzysy. Pandemia COVID-19 na nowo zdefiniowała nasze życie i nawyki, a przerwane łańcuchy dostaw wpłynęły na warunki i decyzje biznesowe. Skutki wojny w Europie Wschodniej ograniczyły z kolei dostęp do kluczowych zasobów naturalnych. Zmiany klimatyczne również dotknęły Europę na wiele sposobów, w zależności od regionu - zaczynając od utraty różnorodności biologicznej, pożarów lasów, nieurodzaju, wzrostu temperatur, a kończąc na ludzkim zdrowiu. Dostęp do czystej wody i urządzeń sanitarnych staje się globalnym problemem. Aby sprostać tym wyzwaniom, świat potrzebuje strategii, dzięki której gospodarka stanie się bardziej nowoczesna, zasobooszczędna i opłacalna.

Informacje ogólne

W ostatnich latach walka ze zmianami klimatycznymi stała się priorytetem dla Parlamentu Europejskiego. Na przestrzeni lat Unia Europejska opracowała obszerny zbiór aktów prawnych związanych z energią i zmianami klimatu. Niektóre z nich dotyczą raportowania i monitorowania, a inne określają kluczowe obszary i/lub narzędzia potrzebne do osiągnięcia założonych celów [1].

Istnieją dowody na to, że średnia temperatura na Ziemi wzrosła o 0,95 do 1,2 °C od końca XIX wieku. Ostatnia dekada (2011-2020) była najcieplejszą w historii. Badania wykazały, że jest to spowodowane wzrostem emisji gazów cieplarnianych (GHG) będącym wynikiem działalności człowieka [2].

Według Europejskiej Agencji Środowiska (EEA), Unia Europejska w 2015 roku była trzecim największym na świecie emitentem gazów cieplarnianych (po Chinach i USA). Kraje UE o najwyższych wskaźnikach emisji w 2019 roku to: Niemcy, Francja, Włochy, Polska i Hiszpania. Sektor energetyczny odpowiadał za 77% emisji gazów cieplarnianych. Kolejne było rolnictwo (10,5%), przemysł (9,1%) i sektor odpadów (3,3%) [3].

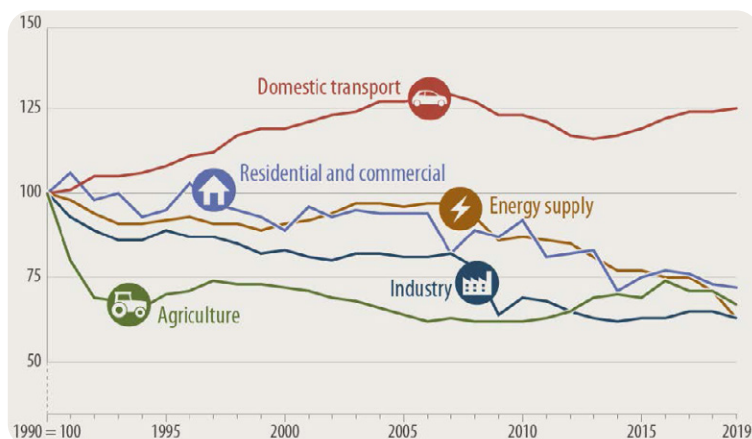
Celem Europejskiego Zielonego Ładu (European Green Deal, EGD) jest przekształcenie UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę, zapewniając:

- brak emisji netto gazów cieplarnianych do 2050 r.,
- wzrost gospodarczy niezależny od wykorzystania zasobów,
- włączenie w zmianę każdej osoby i każdej lokalizacji [4].

Europejski Zielony Ład to zestaw środków, które mają pomóc Unii Europejskiej w zmianie gospodarki na bardziej ekologiczną i osiągnięciu neutralności klimatycznej. Komisja ma na celu współpracę z UE oraz państwami członkowskimi, aby uruchomić inicjatywy i skutecznie wdrożyć przepisy. Propozycje, które zostały uwzględnione w ramach Europejskiego Zielonego Ładu to między innymi: Europejski Pakt Klimatyczny, Nowy Plan Działań na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ, dalej w tekście gospodarka o obiegu zamkniętym nazywana jest także gospodarką cyrkularną) w tym strategia na rzecz zrównoważonego budownictwa, en. Sustainable Built Environment, 8. Program Działań na rzecz Środowiska, Nowe Rozporządzenie w sprawie baterii, Europejskie Prawo Klimatyczne, Poziom(y) - Europejskie Ramy dla Zrównoważonych

Budynków, Plan Celów Klimatycznych 2030, Strategia UE na rzecz Integracji Systemów Energetycznych, Zmiana Dyrektywy w sprawie Odnawialnych Źródeł Energii, Zmiana Dyrektywy w sprawie Efektywności Energetycznej, Nowa Europejska Inicjatywa Bauhaus, Plan inwestycyjny Europejskiego Zielonego Ładu (plan inwestycyjny na rzecz zrównoważonej Europy), strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności, rozporządzenie ustanawiające normy emisji CO₂ dla nowych samochodów osobowych i nowych lekkich samochodów dostawczych, przegląd unijnego systemu monitorowania, raportowania i weryfikacji emisji CO₂ ze statków, Fuel EU Maritime, ReFuel EU Aviation, Renovation Wave Strategy [5].

W 2008 roku Unia Europejska postawiła sobie za cel zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% do 2020 roku w porównaniu z poziomem z 1990 roku. Dokonano w tym zakresie znacznego postępu: w 2015 roku nastąpił spadek o 22% w porównaniu z poziomem z 1990 r. Transport jest jedynym sektorem, w którym emisje są nadal wyższe niż w 1990 roku [3].



Rysunek 1. Zmiana poziomu emisji według sektorów w UE od 1990 roku (w ekwiwalencie CO₂), z wyłączeniem Wielkiej Brytanii. Źródło: [6]

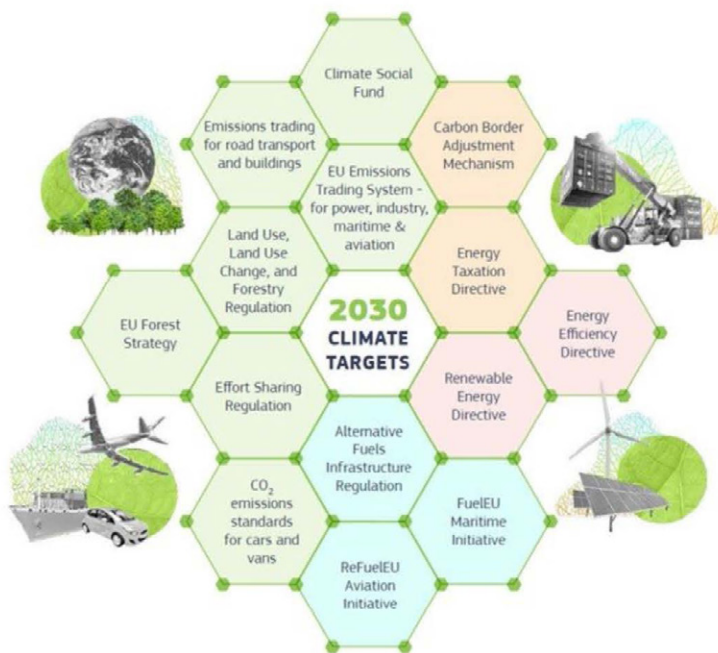
W grudniu 2020 roku Unia Europejska ogłosiła, że do 2030 roku ograniczy emisję dwutlenku węgla o co najmniej 55% w porównaniu z poprzednim celem wynoszącym 40%. Cel jest ambitny i niektórzy eksperci klimatyczni wyrażają wątpliwości co do jego realności. Aby go osiągnąć, konieczna będzie transformacja na dużą skalę wielu gałęzi przemysłu, w tym przemysłu motoryzacyjnego [7].

Zgodnie z celami klimatycznymi określonymi w Porozumieniu Paryskim, Unia Europejska dąży do tego, aby do 2050 roku Europa stała się kontynentem neutralnym klimatycznie. 12 grudnia 2019 roku Rada Europejska wraz z Komisją Europejską ustanowiła Europejski Zielony Ład (EGD), czyli podstawową strategię UE w zakresie walki ze zmianami klimatu i osiągnięcia neutralności klimatycznej. Pierwszy krok zaproponowany przez Komisję obejmuje wstępne określenie celów, które mają zostać osiągnięte do 2030 roku [10]. **Europejski Zielony Ład „ma na celu napędzanie fundamentalnej transformacji przedsiębiorstw i łańcucha wartości, niezbędnych do rozwiązania problemu zagrożenia klimatycznego poprzez ramy regulacji, zachęt [...]. Wpłynie on na działy zamówień, zarządzania łańcuchem dostaw, produkcji, finansów, ESG i zasobów ludzkich. Zespoły te muszą współpracować, aby wypracować spójne podejście. Aby jak najlepiej wykorzystać dostępne zachęty do transformacji niskoemisyjnej i złagodzić wpływ opłat za EGD, kluczowe znaczenie dla firm ma przyjęcie kompleksowego, adaptacyjnego, długoterminowego, transformacyjnego sposobu myślenia”. [11]**

_Europejski Zielony Ład

Cele
klimatyczne
na rok 2030

#EUGreenDeal



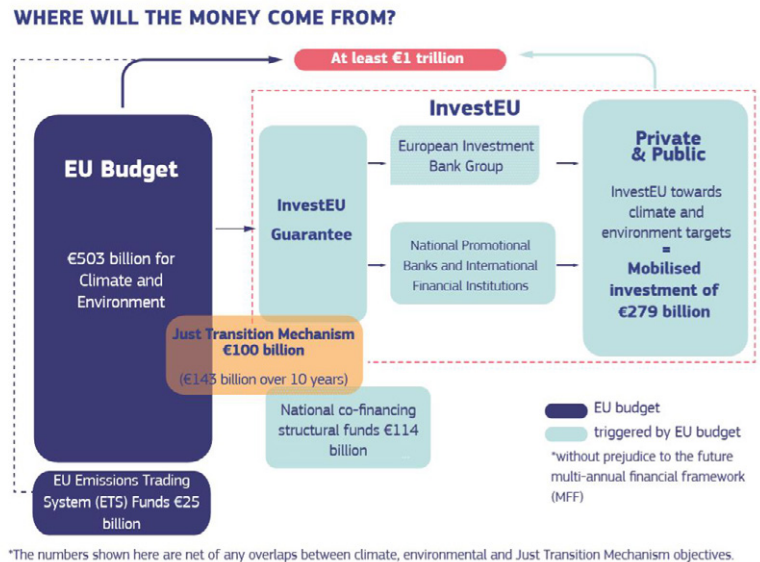
Rysunek 2. Działania na rzecz klimatu w 2030 r. Źródło: [12]

Istnieje osiem kluczowych obszarów, które składają się na Europejski Zielony Ład:

1. Zwiększenie ambicji klimatycznych UE na lata 2030 i 2050.
2. Dostarczanie czystej, niedrogiej i bezpiecznej energii.
3. Mobilizacja przemysłu na rzecz czystej i gospodarki o obiegu zamkniętym.
4. Budowanie i remontowanie w sposób energooszczędny i efektywny pod względem wykorzystania zasobów.
5. Zerowe zanieczyszczenie i środowisko wolne od toksyn.
6. Ochrona i odbudowa ekosystemów i różnorodności biologicznej.
7. Farm to Fork: sprawiedliwy, zdrowy i przyjazny dla środowiska system żywnościowy.
8. Przyspieszenie przejścia na zrównoważoną i inteligentną mobilność. [13]

Komisja Europejska szacuje, że do 2030 r. potrzebny będzie co najmniej 1 miliard EUR na zrównoważone inwestycje obejmujące zarówno środki publiczne, jak i prywatne. Kluczowe obszary inwestycyjne to: zrównoważona infrastruktura; badania, innowacje i cyfryzacja; małe oraz średnie przedsiębiorstwa; inwestycje i kompetencje społeczne [13]. Plan inwestycyjny został przedstawiony na poniższym rysunku.

14 lipca 2021 roku Komisja Europejska przyjęła Fit for 55- propozycję przepisów przygotowujących wdrożenie unijnego Zielonego Ładu [12]. O ile Europejski Zielony Ład (European Green Deal, EGD) jest generalnym planem działania na rzecz walki ze zmianami klimatu, o tyle Fit for 55 określa kroki do realizacji celów EGD. Fit for 55 skupia się na konkretnych tematach, które wymagają uwagi [10].

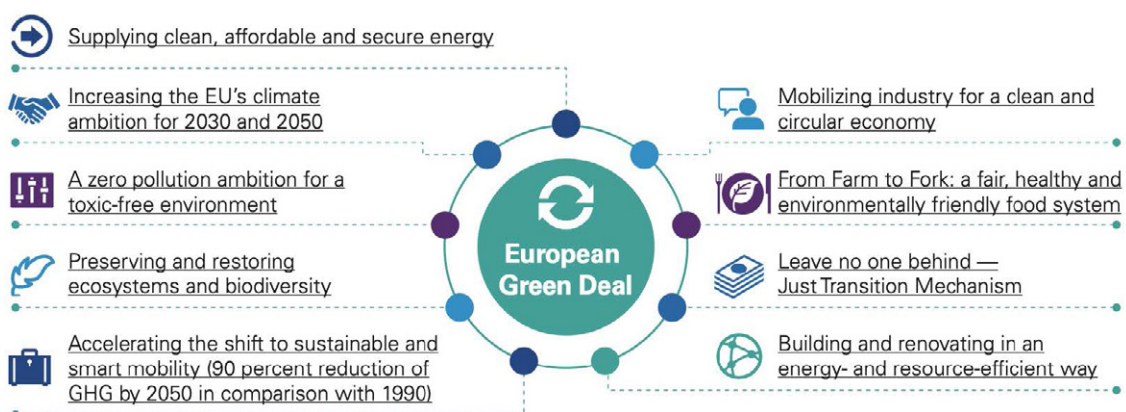


Rysunek 3. Europejski plan inwestycyjny EGD. Źródło: [13]

Pakiet przyjęty przez Komisję Europejską jest zbiorem propozycji mających na celu dostosowanie polityki klimatycznej, energetycznej, transportowej i podatkowej UE do redukcji emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% do 2030 roku, w porównaniu z poziomem z 1990 roku [4].

Aby osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 roku, konieczne będzie wykorzystanie potencjału światowych rynków technologii niskoemisyjnych, zrównoważonych produktów i usług. Osiągnięcie neutralnej klimatycznie gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga z kolei pełnej mobilizacji przemysłu. Wszystkie produkcyjne łańcuchy wartości, w tym sektory energochłonne, będą miały do odegrania kluczową rolę [14].

Nowa strategia przemysłowa Europy sprawi, że zielona i cyfrowa transformacja staną się globalnie bardziej opłacalne. Pomoże zmniejszyć ślad węglowy poprzez zapewnienie przystępnych cenowo, czystych rozwiązań technologicznych oraz opracowanie nowych modeli biznesowych. Dzięki zaktualizowanej strategii opartej na wnioskach wyciągniętych z pandemii COVID-19, UE chce zagwarantować, że przemysł europejski stanie się liderem przemian ekologicznych i cyfrowych.



Rysunek 4. Obszary regulacji w planie działania EGD. Źródło: [10]

Unijny system handlu emisjami (Emission Trading Scheme, ETS) został wprowadzony i uruchomiony w 2005 roku w celu zmniejszenia przemysłowej emisji dwutlenku węgla. System handlu emisjami zobowiązuje elektrownie i fabryki do zdobycia pozwolenia na każdą tonę emitowanego przez nie CO₂. Stanowi to finansową zachętę do zmniejszania zanieczyszczeń, ponieważ mniejsze zanieczyszczenie oznacza niższe opłaty. Firmy muszą kupować wspomniane pozwolenia na aukcjach, gdzie ceny kształtuje prawo popytu i podaży [15].

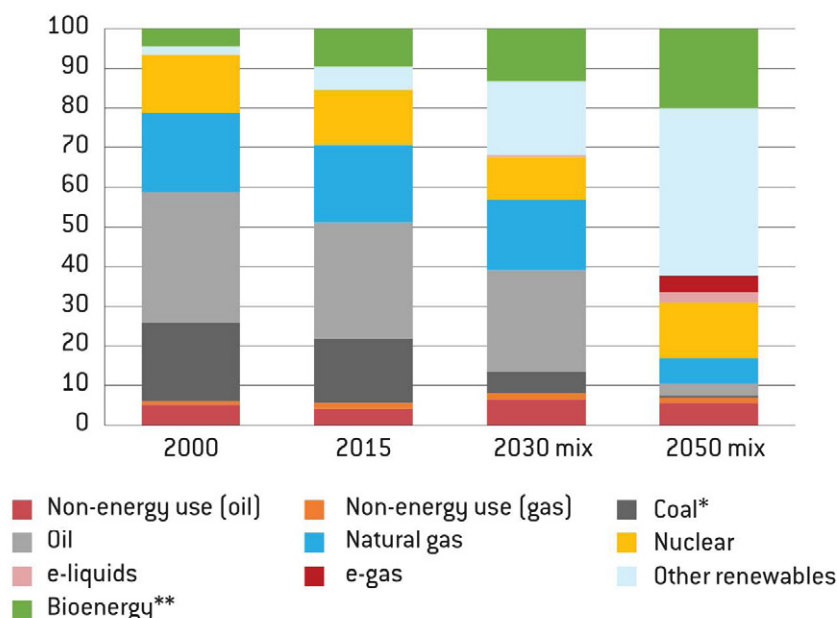
Pakiet Fit for 55 obejmuje zmiany w systemie handlu uprawnieniami do emisji (ETS) i zakłada włączenie do tego systemu transportu drogowego. Obecnie cały sektor odpowiada za około 28,2% emisji gazów cieplarnianych w UE, z czego aż 20,4% przypada na transport drogowy (uwzględniając ruch samochodowy), 4,0% na transport morski, a 3,8% na transport lotniczy. Dlatego zakłada się, że Fit for 55 będzie rewolucją dla transportu drogowego. Pakiet legislacyjny przedstawiony przez Komisję Europejską mocno wpłynie na tę branżę poprzez włączenie firm transportowych do systemu handlu emisjami, a także dużą presję położoną na szybki rozwój floty pojazdów zeroemisyjnych. **Najważniejsze regulacje,** które będą dotyczyć tego sektora można streścić w trzech punktach:

- **zmiana dyrektywy o paliwach alternatywnych,** która określi cele państw członkowskich w zakresie rozwoju infrastruktury ładowania pojazdów zeroemisyjnych. Chodzi o inwestycje w punkty ładowania pojazdów elektrycznych i napędzanych wodorem (zarówno osobowych, jak i dostawczych),
- **bardziej rygorystyczne normy emisji dla nowych samochodów spalinowych.** Zakładają one, że w 2035 r. wszystkie pojazdy osobowe sprzedawane w UE będą zeroemisyjne. W przypadku nowych samochodów dostawczych cele pośrednie mają wynosić: 15 proc. redukcji emisji do 2025 r. i 50 proc. redukcji do 2030 r.,
- **transport drogowy ma być objęty systemem handlu emisjami (ETS) od 2026 roku.** Firmy transportowe będą więc musiały kupować na aukcjach prawa do emisji CO₂, które mają skłonić przedsiębiorstwa do szybszej wymiany floty na pojazdy nisko- i zeroemisyjne [16].

Ważną częścią pakietu Fit for 55 jest węglowy graniczny mechanizm dostosowawczy (**Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM**) przyjęty przez Komisję tego samego dnia - 14 lipca 2021 roku. Nakłada on koszt emisji na import wybranych produktów, tak aby ambitne działania na rzecz klimatu w Europie nie prowadziły do „przecieków”. Dokument gwarantuje też, że europejskie redukcje przyczynią się do globalnego spadku emisji, a nie doprowadzą jedynie do wyprowadzenia wysokoemisyjnej produkcji poza Europę. Ma on również zachęcić przemysł spoza UE oraz naszych międzynarodowych partnerów do podjęcia podobnych kroków.

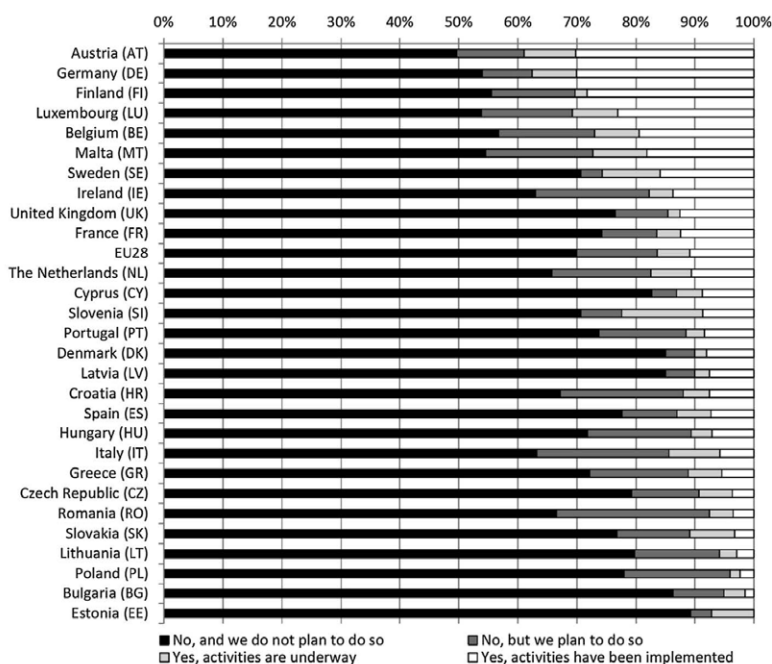
Komisja planuje, że CBAM osiągnie pełną skuteczność w 2026 r. [17]. Ze względu na penalizację importu produktów wysokoemisyjnych, dokument będzie miał wpływ na wybory dokonywane w łańcuchu dostaw. Jeśli opłaty importowe zostaną ustalone na wysokim poziomie, może to zachęcić europejskie przedsiębiorstwa do zaopatrywania się w środki produkcji na obszarze UE [11].

Sposób produkcji i konsumpcji energii w UE wymaga gruntownych zmian, ponieważ odpowiada za ponad 75% emisji gazów cieplarnianych w UE. Obecnie w miksie energetycznym UE dominuje ropa naftowa (34,8%), następnie gaz ziemny (23,8%) i węgiel (13,6%). Udział odnawialnych źródeł energii rośnie, ale wciąż jest niewielki (13,9%), podobnie jak energii jądrowej (12,6%). Jeśli do 2050 r. uda się zrealizować Europejski Zielony Ład [18], obecne proporcje zmienią się całkowicie. Prognozy Komisji Europejskiej w tym zakresie zostały przedstawione na poniższym rysunku.



Rysunek 5. Ewolucja miksu energetycznego w UE. Źródło: [18]

Badania dotyczące wykorzystania energii odnawialnej w UE zostały przeprowadzone przez Bassi i Dias w 2019 roku [19]. Wyniki zostały przedstawione na poniższym rysunku.

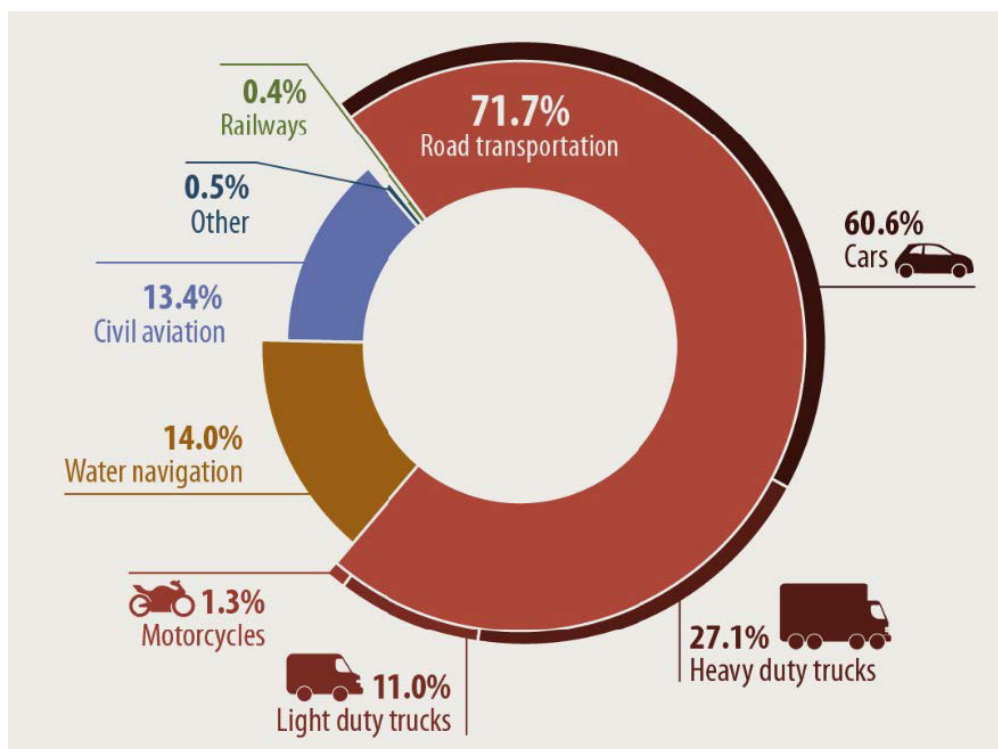


Rysunek 6. Wykorzystanie energii odnawialnej w krajach UE w latach 2016-2019. Źródło: [19]

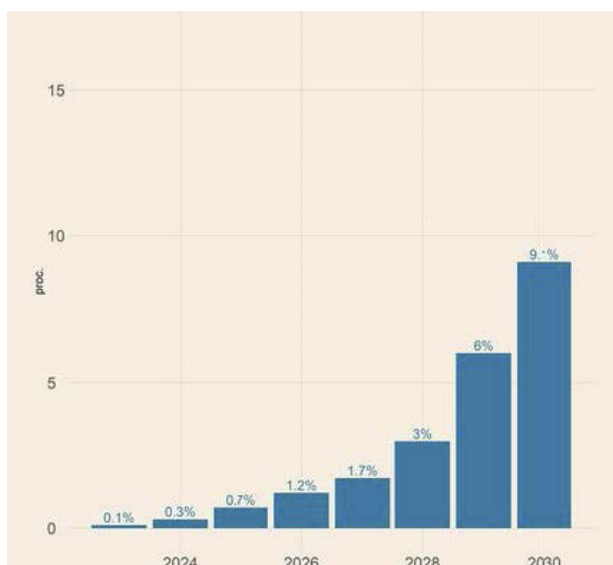
Transport i przemysł motoryzacyjny

Przemysł motoryzacyjny jest uważany za jedną z głównych działalności przyczyniających się do globalnego kryzysu ekologicznego. Wykazano, że obecne praktyki w sektorze motoryzacyjnym mają negatywny wpływ na wymiar społeczny i środowiskowy. Z drugiej strony, przemysł motoryzacyjny ma kluczowe znaczenie dla rozwoju gospodarczego. Dlatego też wymaga radykalnej zmiany w sposobie prowadzenia działalności gospodarczej [20].

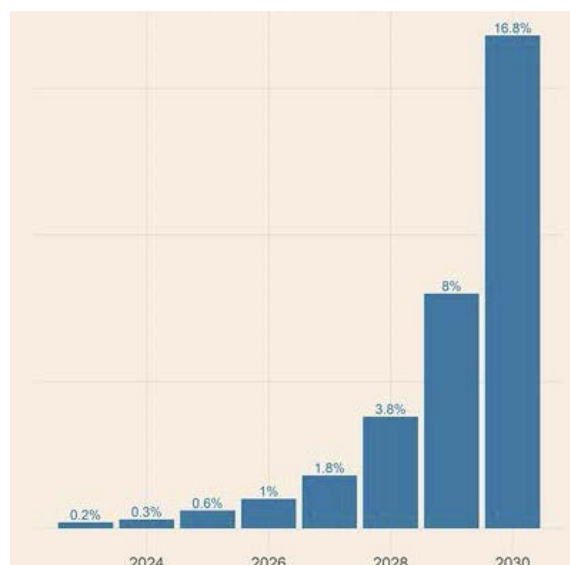
Transport jest odpowiedzialny za niemal 30% całkowitej emisji CO₂ w UE, z czego 72% pochodzi z transportu drogowego - wynika z raportu Europejskiej Agencji Środowiska. Emisja CO₂ z transportu pasażerskiego różni się znacznie w zależności od rodzaju transportu. Głównym trucicielem są samochody osobowe, które odpowiadają za 61% całkowitej emisji CO₂ z transportu drogowego w UE [6].



Rysunek 7. Podział emisji gazów cieplarnianych na poszczególne rodzaje transportu w UE w 2019 r. Źródło: [6]



Rysunek 8. Udział ciężkich samochodów dostawczych z napędem elektrycznym. Źródło: [16]



Rysunek 9. Udział ciężkich pojazdów użytkowych z napędem hybrydowym. Źródło: [16]

Fit for 55 otwiera rynek dla producentów pojazdów elektrycznych lub wodorowych.

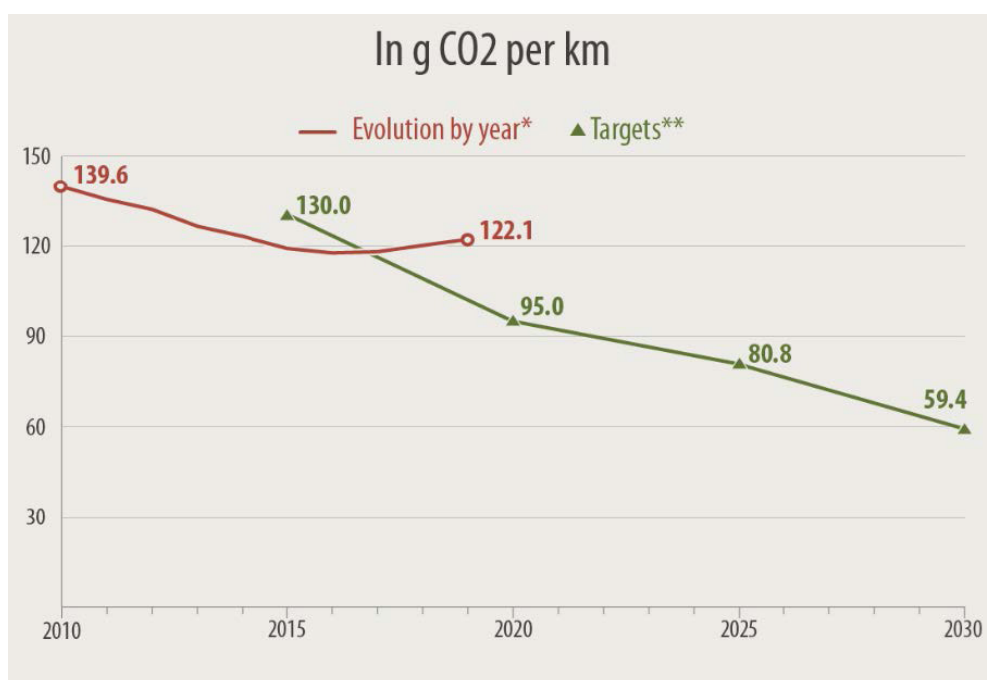
Oznacza to, że firmy, które nie będą w stanie przedstawić takiej oferty, mogą zniknąć z rynku. W wyścigu tym bierze udział coraz więcej koncernów motoryzacyjnych. Elektryczne samochody dostawcze oferuje już m.in. Citroën (modele E-Berlingo i E-Expert), Peugeot (e-partner), Opel (Combo-E, Vivaro E), Renault (Kangoo), FIAT (E-Ducato), Ford (E-Transit) i Volvo (FE Electric). Rozpoczęcie produkcji takich pojazdów zapowiedział niedawno także Mercedes-Benz Group. Oferta ciężarówek wciąż jest jednak ograniczona. Obecnie produkuje je jedynie Volvo (FH Electric), Iveco (Nikola Tre) i DAF (CF Electric). Samochodowe coraz częściej inwestują ponad 11 mld USD od 2015 r.) w firmy zajmujące się pojazdami autonomicznymi i współdzielonymi, takie jak Lyft, oraz wyznaczają ambitne cele w zakresie pojazdów elektrycznych i autonomicznych. Jednym z przykładów jest General Motors, który pracuje nad „All Electric-future”, a także dąży do rozwinięcia w pełni samojezdnej usługi ridesharing [22]. **Konsekwencje pakietu Fit for 55 dla branży motoryzacyjnej będą dotkliwe i mogą znacząco osłabić pozycję firm, które nie dostosują się do procesu szybkiego ograniczania emisji gazów cieplarnianych.**

Silniki elektryczne, związane z nimi optymalizacje, ograniczenie zużycia zasobów i redukcja emisji CO₂ to ważne kwestie, ale nie jedyne. Dokonując analizy pod kątem usprawnień, należy przyjrzeć się także wnętrzu samochodu, gdyż jest to część auta najczęściej oglądana przez kierowcę. Dziś musi być ono nie tylko praktyczne i estetyczne, ale także przyjazne środowisku. Zastosowanie włókien naturalnych we wnętrzu odgrywa ważną rolę i jest kolejnym krokiem w stronę zrównoważonego rozwoju. Zużycie takich włókien w Europie wzrosło z 30.000 ton w 2005 roku do 50.000 ton w 2015 roku [23].

Koncepcja zrównoważonego rozwoju i jej elementy

W dzisiejszych czasach zrównoważony rozwój ma coraz większe znaczenie dla menedżerów we wszystkich branżach.

Pomiary **zrównoważonego rozwoju**, zwłaszcza te dotyczące środowiska, stały się szczególnie **istotne dla przemysłu motoryzacyjnego**. Dynamiczne zmiany, które obserwujemy w tej branży, wskazują na to, że do 2030 roku ponad 30% nowych samochodów dostępnych w sprzedaży będzie zeroemisyjna lub hybrydowa (typu plug-in) , co tworzy potencjalny rynek o wartości 1 miliarda dolarów [22]. Samochody elektryczne już teraz zyskują na popularności - w 2020 roku stanowiły 11% wszystkich nowo rejestrowanych pojazdów osobowych. Sprzedaż pojazdów elektrycznych - z akumulatorem lub hybrydowych (typu plug-in) gwałtownie wzrosła w 2017 r., a następnie potroiła się w 2020 r., gdy wprowadzono cele dotyczące emisji CO₂. W 2020 roku pojazdy elektryczne stanowiły 2,3% udziału w rynku nowych zarejestrowanych samochodów dostawczych [6].



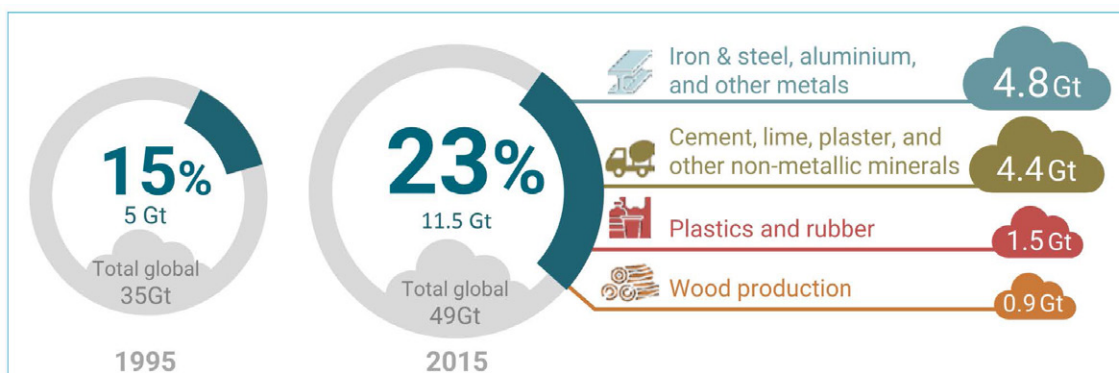
Rysunek 10. Ewolucja emisji CO₂ nowych samochodów osobowych. Źródło: [6]

W lipcu 2021 roku Komisja Europejska zmieniła normy emisji CO₂ dla nowych samochodów osobowych i lekkich samochodów dostawczych. W czerwcu 2022 roku postanowiono, że od 2025 r. limit emisji zostanie zmniejszony o kolejne 15%, a do 2030 roku nastąpi kolejna redukcja o 55% dla samochodów osobowych i 50% dla dostawczych. Ostatecznym celem jest osiągnięcie zerowej emisji do 2035 roku [29, 30].

W roku 2020 powstała społeczność The PLM Green Global Alliance, której celem jest „wspieranie międzynarodowej społeczności specjalistów ds. zarządzania cyklem życia produktu (PLM), którzy współpracują nad wykorzystaniem technologii PLM do wspierania zrównoważonego rozwoju, walki ze zmianami klimatycznymi i dekarbonizacji energii [...]”. System PLM **pozwała producentom, marketerom i menedżerom łańcucha dostaw monitorować wagę, koszty produkcji, wartości i ilości komponentów, aby sprostać wymaganiom określonym w przepisach i osiągnąć cele środowiskowe. Korzystając z podstawowych możliwości zarządzania danymi produktu w ramach PLM, inżynier powinien przeprowadzić symulację emisji dwutlenku węgla przez nowy produkt, a następnie obliczyć i udokumentować rzeczywisty ślad węglowy powstały w procesie produkcji.** Skoro decyzje podjęte na wczesnym etapie pomagają określić ostateczny koszt produkcji, możliwe jest również ustalenie wymiaru emisji gazów cieplarnianych. System PLM jest podstawowym narzędziem umożliwiającym obliczenie całkowitego śladu węglowego dla różnych wariantów projektowych, dostawców, procesów produkcyjnych, sposobów użytkowania przez klientów oraz metod recyklingu” [31]. Jednym z głównych celów utworzenia sojuszu było badanie „zielonych” technologii, które mogą przyczynić się do przejścia do zrównoważonej, niskoemisyjnej gospodarki o zamkniętym obiegu. Należą do nich rozwiązania umożliwiające obliczanie, zarządzanie i śledzenie emisji dwutlenku węgla w produktach, procesach i usługach.

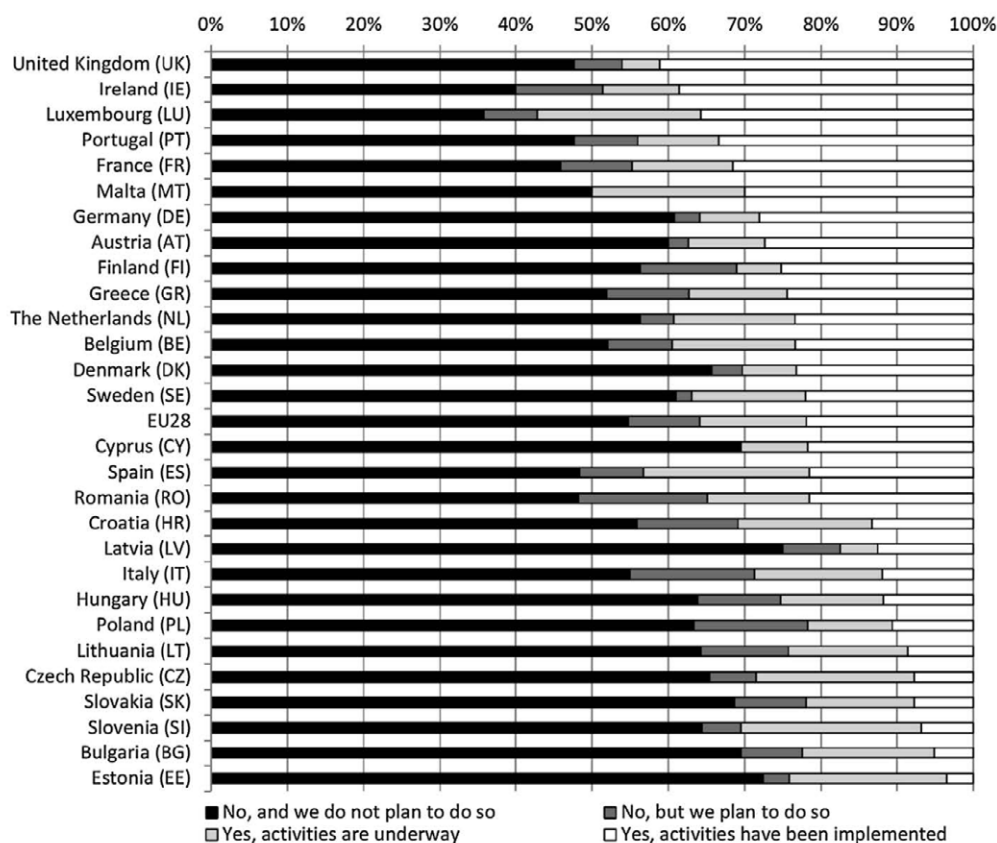
Według Goldman Sachs, najskuteczniejszym sposobem na osiągnięcie celów Fit for 55, czyli redukcji emisji CO₂ o 55% do 2030 roku, jest powszechne wdrażanie elektryfikacji w skali, która doprowadzi do wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną o 50%. Bank ocenia, że realizacja Fit for 55 powinna odbywać się poprzez zwiększenie zużycia energii elektrycznej przez samochody osobowe, pompy ciepła, elektrolizery i instalacje przemysłowe. W efekcie udział energii elektrycznej w zużyciu energii pierwotnej powinien wzrosnąć z dzisiejszych około 20% do 50% [32].

Zwiększenie efektywności materiałowej to kolejna szansa na zbliżenie się do osiągnięcia celów wyznaczonych w Porozumieniu paryskim. Produkcja materiałów jest kluczowa dla gospodarek, ale stanowi też istotne źródło gazów cieplarnianych - ich emisja związana z produkcją wzrosła z 5 GT ekwiwalentu CO₂ w 1995 r. do 11 GT w 2015 r., a ich udział w globalnej emisji wzrósł z 15% do 23%. Większość emisji związanej z materiałami jest wynikiem produkcji materiałów sypkich: żelaza i stali (32%), cementu, wapna i gipsu (25%) oraz tworzyw sztucznych i gumy (13%) [33].



Rysunek 11. Emisje przy produkcji materiałów jako udział w całkowitej emisji globalnej 1995 vs 2015. Źródło: [33]

W 2019 roku Bassi i Dias przeprowadzili badania dotyczące projektowania produktów oraz usług pod kątem minimalizowania zużycia zasobów lub wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu [19]. Wyniki badań zostały przedstawione na poniższym rysunku.



Rysunek 12. Wykorzystanie energii odnawialnej w krajach UE w latach 2016-2019. Źródło: [19]

Koncepcja zrównoważonego rozwoju, od kiedy pojawiła się w 1992 roku, zyskała popularność i wpłynęła na zarządzanie łańcuchem dostaw. Bywa on również określany jako „ostateczny system wartości, który nadaje kierunek w procesie podejmowania decyzji i działania w różnych sytuacjach; [...] pomaga firmom i ich zarządom przekształcić odpowiedzialność za działania środowiskowe, ekonomiczne i społeczne w praktyki biznesowe zgodnie z oczekiwaniami społeczeństwa” [34].

Zielone Zarządzanie Łańcuchem Dostaw (Green Supply Chain Management) zostało zdefiniowane jako „włączenie myślenia o ekologii w proces zarządzania łańcuchem dostaw, projektowania produktu, pozyskiwania i selekcji materiałów, produkcji, dystrybucji do konsumentów oraz zarządzania produktem po zakończeniu jego okresu użytkowania” [38, 39]. W związku z tym Zielone Zarządzanie Łańcuchem Dostaw może być traktowany jako narzędzie zwiększające wydajność organizacji.

Zasadniczo, eko-innowacje, eko-efektywność oraz praktyki odpowiedzialności społecznej biznesu stanowią kluczowe elementy obecnych programów zrównoważonego rozwoju przemysłowego i wpływają na sposób, w jaki organizacje wytwarzają i dostarczają wartość. Zrównoważone modele biznesowe są istotną częścią operacji będących obszarem zainteresowania interesariuszy i społeczeństwa w związku z redukcją zużycia energii, zasobów oraz emisji i odpadów na jednostkę produkcji. **Modele biznesowe realizujące założenia zrównoważonego rozwoju zostały zdefiniowane jako „innowacje, które wywierają pozytywny i/lub znacząco redukują negatywny wpływ na środowisko i/lub społeczeństwo poprzez zmiany w sposobie, w jaki organizacja kreuje i dostarcza wartość (tj. ekonomiczną) lub zmienia swoją propozycję wartości” [40].**

Ważnym obszarem działań jest inwestowanie zrównoważone. Termin ten odnosi się do zaangażowania kapitałowego, które uwzględnia czynniki środowiskowe, społeczne oraz korporacyjne (ESG) przy tworzeniu i zarządzaniu portfelem inwestycyjnym. Istnieje siedem strategii zrównoważonego lub odpowiedzialnego lokowania kapitału, które zostały przedstawione w poniższej tabeli [41].

ESG integration	The systematic and explicit inclusion by investment managers of environmental, social and governance factors into financial analysis.
Corporate engagement & shareholder action	Employing shareholder power to influence corporate behaviour, including through direct corporate engagement (i.e., communicating with senior management and/or boards of companies), filing or co-filing shareholder proposals, and proxy voting that is guided by comprehensive ESG guidelines.
Norms-based screening	Screening of investments against minimum standards of business or issuer practice based on international norms such as those issued by the UN, ILO, OECD and NGOs (e.g. Transparency International).
Negative/exclusionary screening	The exclusion from a fund or portfolio of certain sectors, companies, countries or other issuers based on activities considered not investable. Exclusion criteria (based on norms and values) can refer, for example, to product categories (e.g., weapons, tobacco), company practices (e.g., animal testing, violation of human rights, corruption) or controversies.
Best-in-class/positive screening	Investment in sectors, companies or projects selected for positive ESG performance relative to industry peers, and that achieve a rating above a defined threshold.
Sustainability themed/thematic investing	Investing in themes or assets specifically contributing to sustainable solutions - environmental and social - (e.g., sustainable agriculture, green buildings, lower carbon tilted portfolio, gender equity, diversity).
Impact investing and community investing	Impact investing Investing to achieve positive, social and environmental impacts - requires measuring and reporting against these impacts, demonstrating the intentionality of investor and underlying asset/investee, and demonstrating the investor contribution. Community investing Where capital is specifically directed to traditionally underserved individuals or communities, as well as financing that is provided to businesses with a clear social or environmental purpose. Some community investing is impact investing, but community investing is broader and considers other forms of investing and targeted lending activities.

Tabela 1. Strategie zrównoważonego lub odpowiedzialnego inwestowania. Źródło: [41]

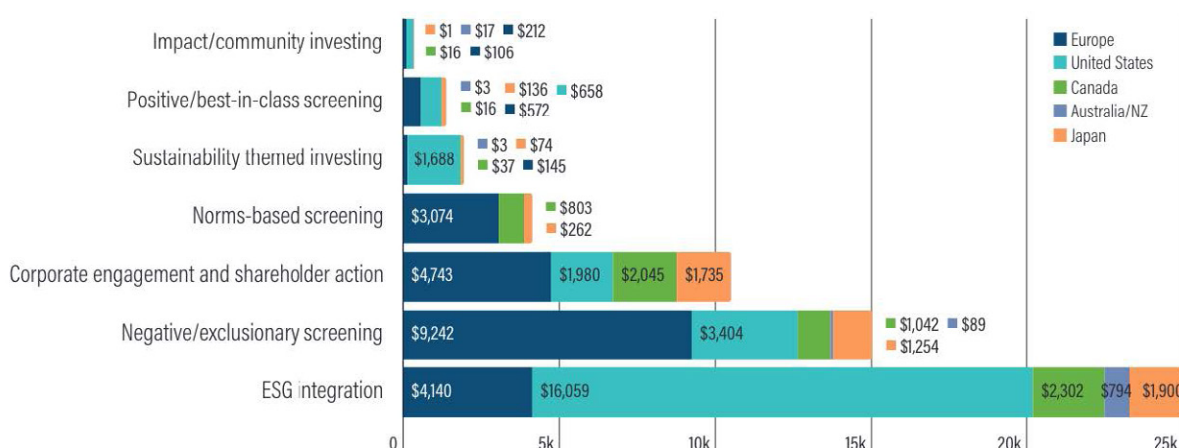
Według badań przeprowadzonych przez The Global Sustainable Investment Alliance (2020), obejmujących Europę, Stany Zjednoczone, Japonię, Kanadę, Australię i Nową Zelandię, inwestycje zrównoważone na tych rynkach osiągnęły poziom 35,3 miliarda dolarów w aktywach pod zarządzaniem, osiągając wzrost o 15% w ciągu dwóch lat (2018-2020).

Zrównoważone aktywa inwestycyjne w 2020 roku stanowiły 35,9% wszystkich zarządzanych aktywów, w porównaniu do 33,4% w 2018 roku. Kanada odnotowała w tym okresie największy wzrost w wartościach bezwzględnych wynoszący 48%. Europa z kolei zarejestrowała spadek wzrostu zrównoważonych aktywów inwestycyjnych w latach 2018-2020 wynoszący 13%. Jest to jednak głównie wynik zmiany metodyki pomiaru. Dane zostały przedstawione na rysunku poniżej.

REGION	2016	2018	2020
Europe*	12,040	14,075	12,017
United States	8,723	11,995	17,081
Canada	1,086	1,699	2,423
Australasia*	516	734	906
Japan	474	2,180	2,874
Total (USD billions)	22,839	30,683	35,301

Rysunek 13. Globalne aktywa w ramach zrównoważonego inwestowania w kolejnych latach w mld USD. Źródło: [41]

Najczęściej stosowaną strategią zrównoważonego inwestowania jest łączenie aspektów środowiskowych, społecznych i korporacyjnych, a następnie ocena, jaki negatywny wpływ na środowisko może nieść inwestycja; ważne jest, zaangażowanie korporacji i aktywne podejście akcjonariuszy, a także uwzględnienie norm i inwestycji związanych ze zrównoważonym rozwojem [41]. Szczegóły dotyczące aktywów zrównoważonych inwestycji w podziale na strategie i regiony w 2020 roku zostały przedstawione na poniższym rysunku.



Rysunek 14. Aktywa w ramach zrównoważonego inwestowania według strategii i regionów 2020 r. Źródło: [41]

Cele Zrównoważonego Rozwoju (Sustainable Development Goals, SDG). ONZ są wezwaniem do podjęcia działań przez wszystkie kraje w celu promowania dobrobytu przy równoczesnej ochronie planety. Uznają one, że wyeliminowanie ubóstwa musi iść w parze ze strategiami wspierającymi wzrost gospodarczy oraz różnorodne potrzeby społeczne, takie jak edukacja, zdrowie, ochrona socjalna i możliwości zatrudnienia, przy jednoczesnej koncentracji na wyzwaniach związanych ze zmianami klimatycznymi i ochroną środowiska [42]. Na poniższym rysunku przedstawiono 17 celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ.



Rysunek 15. 17 celów zrównoważonego rozwoju ONZ. Źródło: [42]

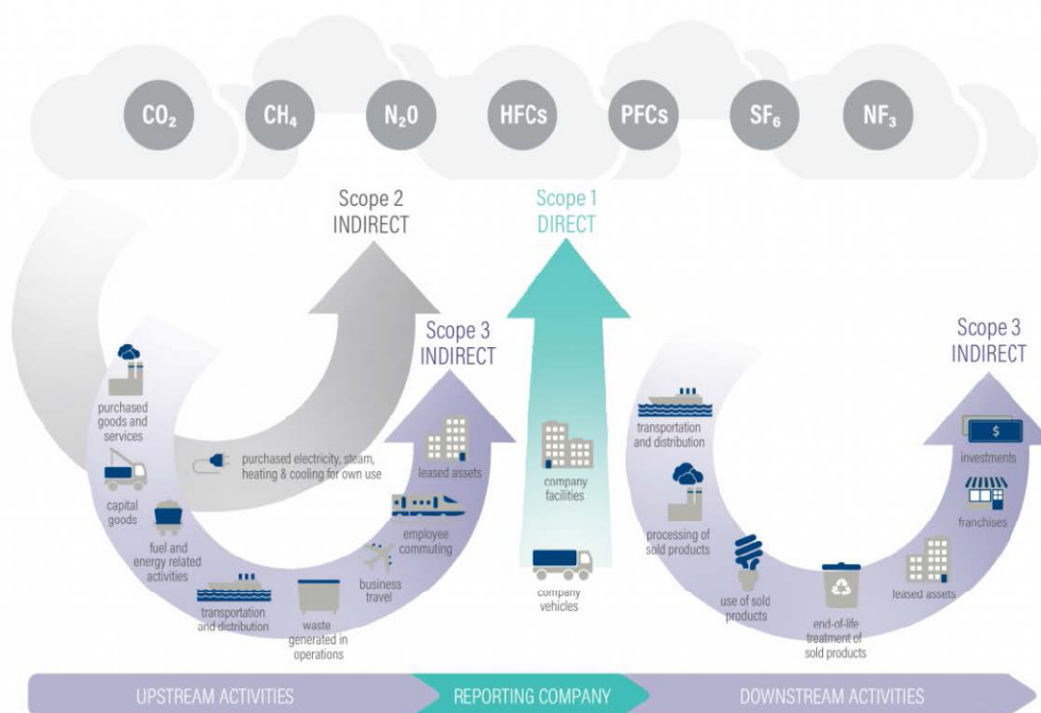
Raport dotyczący Celów Zrównoważonego Rozwoju jest jedynym oficjalnym raportem Organizacji Narodów Zjednoczonych, który monitoruje globalne postępy w realizacji Agendy 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju. Najnowsza edycja raportu została opublikowana w 2022 roku i zwraca uwagę na współistnienie różnych kryzysów, takich jak pandemia COVID-19, zmiany klimatyczne i konflikty, które mają wpływ na żywność, zdrowie, edukację, środowisko, pokój i bezpieczeństwo. Te kryzysy wpływają na wszystkie Cele Zrównoważonego Rozwoju. Raport szczegółowo opisuje cofnięcie się długotrwałych postępów w eliminacji ubóstwa i głodu, poprawie zdrowia i edukacji oraz zapewnieniu dostępu do podstawowych usług. Wskazuje również obszary, które wymagają natychmiastowych działań, aby zabezpieczyć osiągnięcie Celów Zrównoważonego Rozwoju i zapewnić postęp dla ludzi i planety do 2030 roku [43].

Aby pomóc państwom i firmom w rozliczaniu, raportowaniu i ograniczaniu emisji, opracowano Protokół GHG (Greenhouse Gas Protocol). Powstał on na bazie raportu, w którym określono agendę działań na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu, łącznie ze standaryzacją pomiaru emisji gazów cieplarnianych [44]. Standard ten dzieli emisje na trzy zakresy:

- **Zakres 1**, dotyczy emisji ze źródeł mających bezpośredniego właściciela i zarządcę. W tym wypadku szkodliwe substancje są uwalniane do atmosfery jako bezpośredni rezultat działań firmy i można je podzielić na cztery typy:
 - spalanie stacjonarne (np. paliwa, źródła ciepła) - wszystkie paliwa, które powodują emisję gazów cieplarnianych (GHG),
 - mobilne spalanie - wszystkie pojazdy będące własnością firmy lub przez nią użytkowane, spalające paliwo (np. samochody osobowe, dostawcze, ciężarowe),
 - emisje lotne - wycieki z gazów cieplarnianych (np. z urządzeń chłodniczych, klimatyzacyjnych - gazy chłodnicze są tysiąc razy bardziej niebezpieczne niż emisje CO₂ i zachęca się firmy do raportowania także tych emisji),
 - emisje procesowe - uwalniane w trakcie procesów przemysłowych (np. w postaci dymów fabrycznych) oraz na miejscu produkcji (np. cementu, chemikaliów) [45].

- **Zakres 2**, dotyczy energii zakupionej, w tym energii elektrycznej, pary wodnej, ogrzewania i chłodzenia (całej energii, którą firma musi nabyć, aby prowadzić działalność i utrzymywać swoje obiekty).
- **Zakres 3**, odnosi się do emisji pośrednich (np. związanych z pozyskiwaniem materiałów, dystrybucją, użytkowaniem i przetwarzaniem pod koniec cyklu życia produktu) [31]. W skrócie, emisje z tego zakresu to wszystkie emisje pośrednie nieuwzględnione w zakresie 2, które występują w procesie wytwórczym przedsiębiorstwa. Zgodnie z Protokołem GHG, emisje zakresu 3 są podzielone na 15 kategorii (przykładami są: dojazdy pracowników, wytwarzanie odpadów, transport i dystrybucja, wykorzystanie sprzedanych produktów) [45].

Firmy raportujące swoje emisje według Protokołu GHG są zobowiązane do zgłaszania emisji z zakresu 1 i 2. Zakres 3 jest natomiast dobrowolny i jednocześnie najtrudniejszy do monitorowania. Zakłada się, że firmy, którym udaje się raportować wszystkie trzy zakresy, uzyskują trwałą przewagę konkurencyjną [45]. Mimo że raportowanie emisji z zakresu 3 jest dobrowolne, często ma ona największy udział w całkowitej emisji - szacuje się, że nawet pięciokrotnie wyższy niż łączne emisje z zakresu 1 i 2. Wdrożenie strategii zapewniającej dostarczanie dokładnych i weryfikowalnych danych związanych ze śladem węglowym będzie wymagało przejścia z raportowania szacunkowej emisji na poziomie przedsiębiorstwa do rzeczywistych danych na poziomie produktu i jego komponentów [31].

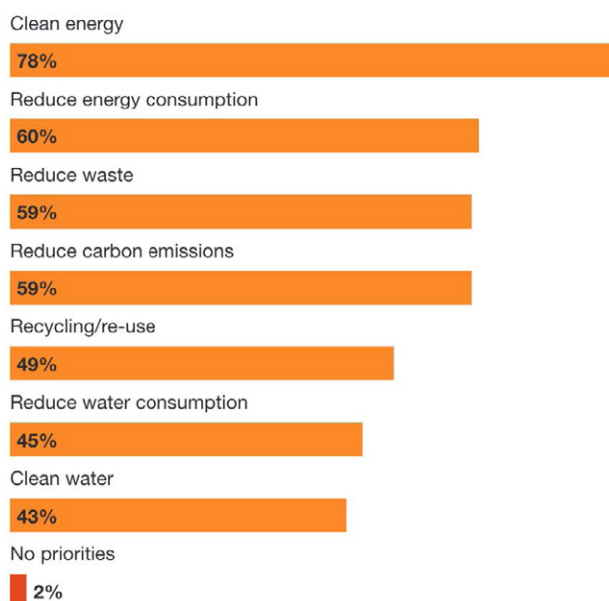


Rysunek 16. Przegląd zakresów Protokołu GHG i emisji w całym procesie wytwórczym. Źródło: [44]

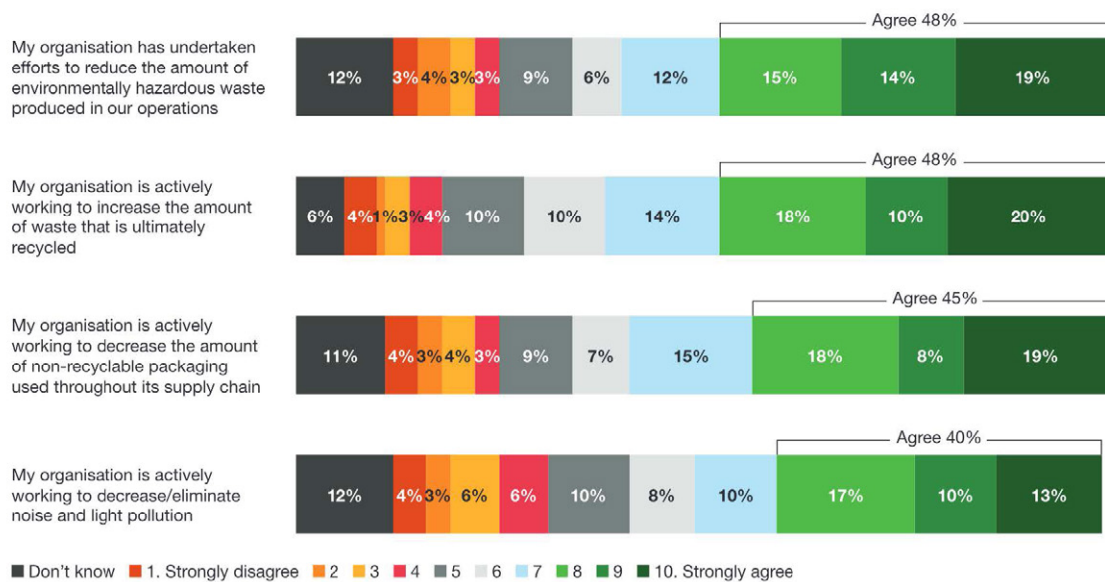
Status wdrożenia koncepcji i regulacji

Badanie Europejskiego Zielonego Ładu [11] przeprowadzone w marcu 2022 przez PwC, uwzględniające 300 przedsiębiorstw w 13 krajach europejskich, wykazało, że **49% firm jest przygotowanych na Europejski Zielony Ład, 66% już przeznaczyło kapitał na zrównoważony rozwój, a 51% zamierza w najbliższym czasie wprowadzić zmiany w swoim łańcuchu dostaw. Niestety, tylko mniej niż połowa badanych organizacji jest zaznajomiona z koncepcją Europejskiego Zielonego Ładu.** Stwierdzono, że inicjatywy w zakresie zrównoważonego rozwoju są podejmowane raczej doraźnie i nie są częścią zintegrowanego planu. Priorytetem dla firm jest zwiększenie zużycia czystej energii (78%), ogólne zmniejszenie zużycia energii (60%), ograniczenie ilości odpadów i tworzyw sztucznych (59%) oraz zmniejszenie emisji dwutlenku węgla (59%). W przypadku badanych firm produkcja (44%), dystrybucja (27%) i zaopatrzenie (18%) są źródłem największej emisji, co sprawia, że ich transformacja jest kluczowa w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Badanie PwC wykazało, że 70% organizacji zbadało już możliwości ponownego wykorzystania produktów o ograniczonym okresie użytkowania; 28% realizuje to w znacznym stopniu, a 42% w pewnym stopniu. Najprawdopodobniej są to organizacje, które znają Europejski Zielony Ład i/lub są przygotowane do jego wdrożenia. Ponadto 50% respondentów wskazało, że stara się zmniejszyć ilość niebezpiecznych odpadów generowanych w procesie produkcyjnym oraz zwiększyć ilość odpadów poddawanych recyklingowi [11].



Rysunek 17. Priorytety wyznaczone przez wpływ podatków środowiskowych. PwC EU Green Deal Survey. Źródło: [11]



Wykres 18. Działania mające na celu zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów niebezpiecznych i/lub zwiększenie ilości odpadów poddawanych recyklingowi, PwC EU Green Deal Survey. Źródło: [11]

Gospodarka o obiegu zamkniętym i jej elementy

Przedsiębiorstwa motoryzacyjne, stosują podejście linearne. Oznacza to, że wraz z końcem eksploatacji danego pojazdu, wiele jego komponentów trafia na wysypiska śmieci. W 2021 roku Eurostat poinformował, że masa odpadów pochodzących z wycofanych pojazdów z samej Unii Europejskiej wyniosła 5,2 mln ton pod koniec 2015 r. i wzrosła do 6,9 mln w 2019 r. Ponad 260.000 ton części samochodowych zostało zutylizowanych i wysłanych na składowiska bez dalszego przetworzenia. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) szacuje, że przy takim podejściu do pozyskiwania i wykorzystywania metali, minerałów i energii, do 2060 roku będziemy potrzebowali dwukrotnie więcej zasobów, aby zaspokoić globalne zapotrzebowanie. Odpowiedzią na to wyzwanie jest gospodarka o obiegu zamkniętym, która stanowi szansę na rozwiązanie kryzysu ekologicznego [20].

W 2015 roku Komisja Europejska przyjęła plan działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, który składa się z konkretnych i ambitnych postanowień. Program zawiera środki obejmujące cały cykl życia produktu: od produkcji i konsumpcji do zarządzania odpadami i rynkiem surowców wtórnych, a także propozycje zmian legislacyjnych. Jego zadaniem jest rozpowszechnianie go w Europie, zwiększanie globalnej konkurencyjności, wspieranie zrównoważonego wzrostu gospodarczego i generowanie nowych miejsc pracy. W 2019 roku poinformowano, że wszystkie zaplanowane 54 działania zostały przyjęte lub wdrożone [48]. Choć początkowo gospodarka o obiegu zamkniętym była mało znaną koncepcją z końca XX wieku, została uznana przez Unię Europejską za „nieodwracalny i wiodący globalny trend” i dziś jest częścią Europejskiego Zielonego Ładu [49]. W latach 2016-2020 Komisja przeznaczyła na transformację ponad 10 mld EUR środków publicznych, w tym:

- „1,4 mld euro z programu Horyzont 2020 (do 2018 r.), na projekty z zakresu gospodarki o obiegu zamkniętym, dotyczące takich obszarów jak: zrównoważony przemysł przetwórczy, gospodarka odpadami i zasobami, systemy produkcyjne lub biogospodarka, przy czym 350 mln euro przeznaczono specjalnie na umożliwienie cyrkulacji tworzyw sztucznych,

- co najmniej 7,1 mld EUR z Polityki spójności, z czego 1,8 mld EUR na wdrażanie eko-innowacyjnych technologii wśród małych i średnich przedsiębiorstw oraz 5,3 mld EUR na wdrażanie przepisów UE dotyczących odpadów, przy czym dodatkowe wsparcie zostanie udostępnione za pośrednictwem tzw. strategii inteligentnej specjalizacji regionów UE i państw członkowskich na rzecz innowacji rynkowych i wdrożeń,
- 2,1 mld EUR poprzez instrumenty finansowania takie jak Europejski Fundusz na rzecz Inwestycji Strategicznych i InnovFin,
- co najmniej 100 mln EUR poprzez LIFE w ponad 80 projektach przyczyniających się do gospodarki o obiegu zamkniętym” [50].

Niektóre z przedsiębiorstw motoryzacyjnych podjęły w ostatnim czasie szereg działań mających na celu przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Zostały one przedstawione w poniższej tabeli.

Renault	Twórca „Refractory”, pierwszej europejskiej fabryki realizującej założenia ekonomii o obiegu zamkniętym. Plan osiągnięcia neutralności emisyjnej w Europie do 2040.
Volkswagen	Cele związane z osiągnięciem zamkniętego obiegu materiałów. Neutralność emisyjna do 2050. Pilotażowy projekt recyklingu baterii. Rozwój zrównoważonego zarządzania odpadami. Gospodarka o obiegu zamkniętym jako KPI w trakcie planowania.
Jaguar Land Rover	Zeroemisyjność w całym łańcuchu dostaw, produkcji i operacjach do 2039. Użycie materiałów alternatywnych, np. roślinnych tekstyliów i plastiku z recyklingu. Odzyskiwanie wysokiej jakości aluminium z pojazdów, by ograniczyć zużycie nowo pozyskanego aluminium.
Daimler	Aby wspierać Hierarchię Gospodarowania Odpadami, ograniczają odpady poprzez ponowne wykorzystywanie (szczególnie baterii HV), recykling i odtwarzanie materiałów.
Volvo	Cel realizowania ekonomii o obiegu zamkniętym i tworzenia produktów cyrkulujących do 2040 oraz wzrost użycia odzyskiwanych części.
BMW	Efektywne wykorzystanie surowców, ich ponowne użycie oraz recykling. Użycie pilotażowych narzędzi cyfrowych, które pozwolą monitorować kluczowe surowce, aby poprawić globalny przepływ dóbr.

Tabela 2. Marki samochodowe, które w ostatnim czasie podjęły działania na rzecz przejścia na ekonomię o obiegu zamkniętym. Źródło: opracowanie własne na podstawie [20]

GOZ jest uważana za jeden z najskuteczniejszych sposobów na to, by przemysł motoryzacyjny stał się bardziej zrównoważony i objął kluczowe obszary zrównoważonego rozwoju, od łańcucha dostaw po recykling, zaopatrzenie i obsługę posprzedażową. W analizie uwzględniono nie tylko producentów samochodów, ale również dostawców. Przykładowo, Michelin ponownie wykorzystuje 85% starych opon poprzez powtórne bieżnikowanie w swojej brytyjskiej fabryce, co pozwala zaoszczędzić 60 kg emisji dwutlenku węgla na oponę [51].

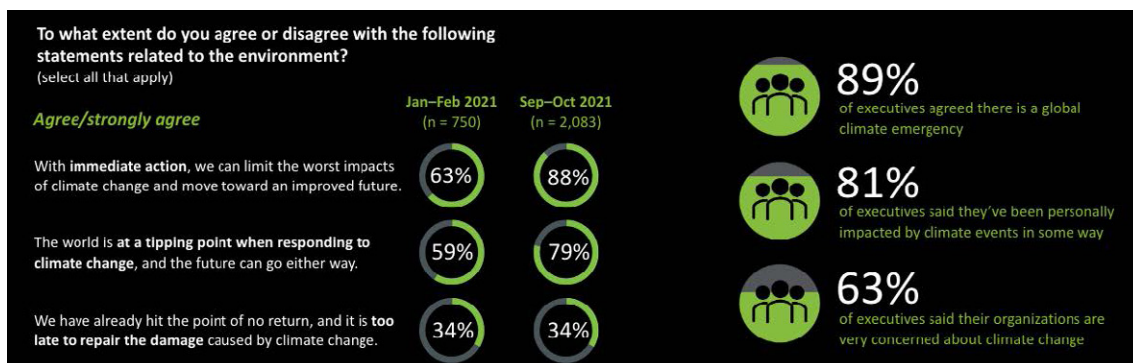
Wdrożenie na poziomie organizacji

Liderzy biznesu w znacznie większym stopniu niż pojedyncze osoby mogą przyczyniać się do zmian we własnych organizacjach w zakresie transformacji klimatycznej. Mogą m.in. zwiększać zaangażowanie pracowników, promować zewnętrzne działania na rzecz walki ze zmianami klimatu, a także współtworzyć i wprowadzać innowacje dotyczące zrównoważonego rozwoju w różnych branżach. Jak wynika z badań Deloitte, troska o zmiany klimatyczne wśród liderów biznesowych z roku na rok rośnie. Spośród **2 083 menedżerów najwyższego szczebla**, którzy wzięli udział w badaniu we wrześniu i październiku 2021 roku (ankietowani reprezentowali wszystkie główne sektory przemysłu i pochodzili z 21 krajów: 44% z Europy/Afryki Południowej, 31% - obu Ameryk, 24% - Azji i Pacyfiku), **79% uważa, że świat jest obecnie w punkcie krytycznym.** W podobnym badaniu przeprowadzonym przez Deloitte 8 miesięcy wcześniej liczba ta wynosiła 59%. **88% respondentów zgodziło się, że podjęcie natychmiastowych działań może powstrzymać najgorsze skutki zmian klimatycznych.** W poprzednim badaniu liczba ta wynosiła 63%. **Ponad 66% stwierdziło natomiast, że ich organizacje stosują bardziej zrównoważone materiały i rozsawniej wykorzystują energię. Ponad 50% firm stosuje też energooszczędne lub przyjazne dla klimatu maszyny, technologie i urządzenia. Większość celowo ogranicza podróże lotnicze.** 19% badanych liderów wdrożyło co najmniej 4 z 5 następujących działań:

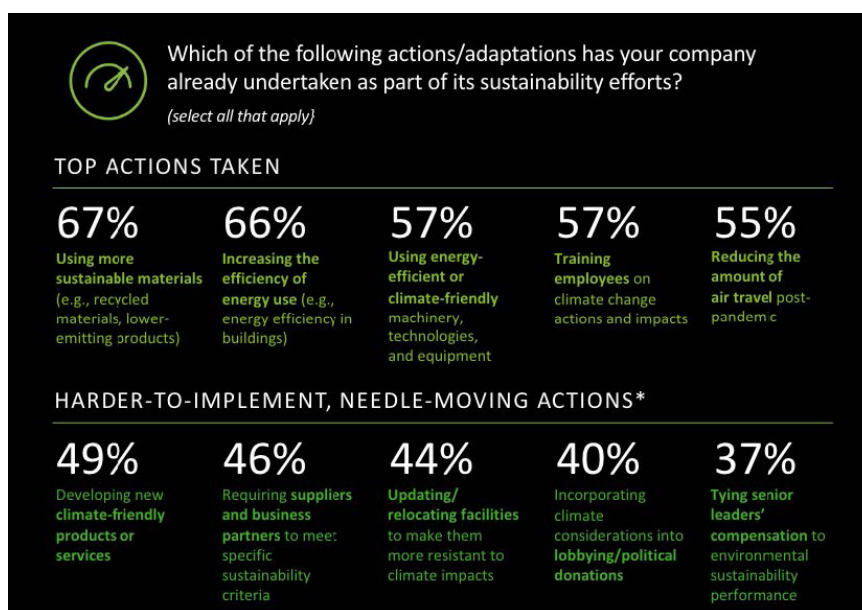
- opracowanie nowych, przyjaznych dla klimatu produktów i usług,
- wymaganie od dostawców i partnerów biznesowych spełnienia określonych kryteriów zrównoważonego rozwoju,
- unowocześnienie lub zmiana lokalizacji obiektów w celu uchronienia ich przed wpływem klimatu,
- uwzględnienie kwestii klimatycznych polityce,
- premiowanie liderów za wyniki w zakresie zrównoważonego rozwoju [53].

Liderzy wskazali też na przeszkody, które napotykają na drodze do zrównoważonego rozwoju. Należą do nich między innymi:

- trudności z pomiarem wpływu działań na środowisko (30%),
- ograniczona dostępność zrównoważonych lub niskoemisyjnych materiałów (27%),
- wysokie koszty (27%),
- koncentracja na bieżących kwestiach biznesowych/oczekiwaniach inwestorów/udziałowców (25%),
- przytłoczenie zakresem i ilością koniecznych zmian (24%) [53].



Rysunek 19. Źródło: [53]



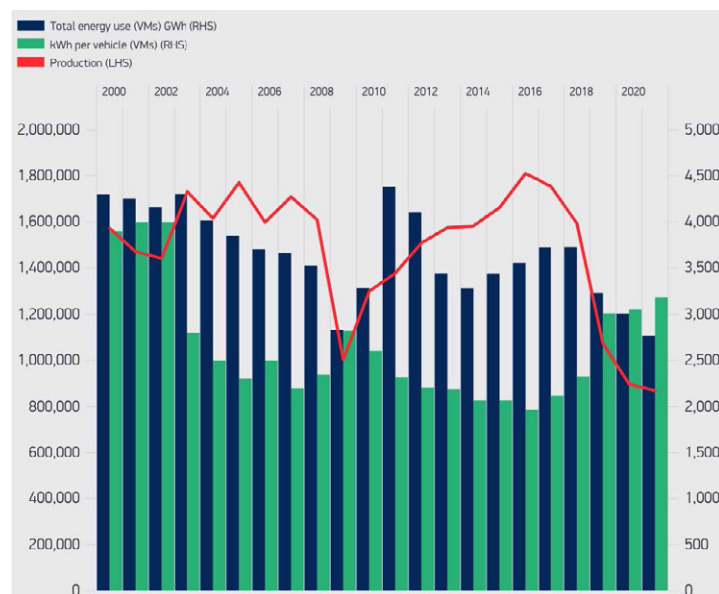
Rysunek 20. Źródło: [53]

W ostatnich latach przemysł motoryzacyjny dbał o zrównoważony rozwój, zmniejszając zużycie energii, rozważniej pozyskując zasoby i stosując recykling. Produkty stają się bardziej przyjazne środowisku. Jeśli chodzi o dekarbonizację produktów i produkcji, ochronę zasobów i poprawę jakości lokalnego powietrza, dokonano ogromnego postępu we wszystkich obszarach cyklu życia pojazdu. Całkowita energia (gaz, prąd i ropa) używana przez producentów pojazdów spadła w 2021 r. o 7,9% (do 2,8 GWh). Zmniejszenie liczby produkowanych pojazdów spowodowało jednak, że zużycie energii na jeden pojazd wzrosło o 4,5% (do 3.185 kWh). Rosnące koszty energii sprawiły, że stała się ona szczególnie istotnym zagadnieniem dla przemysłu motoryzacyjnego. Energia to zazwyczaj drugi co do wielkości koszt „wewnętrzny” produkcji (zaraz po kosztach pracy), a więc ma decydujące znaczenie dla opłacalności [54].

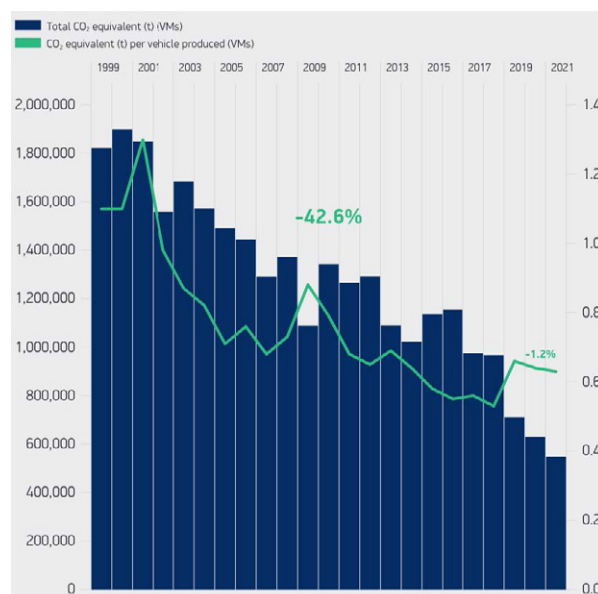
Wartość zużytej energii elektrycznej spada - w ostatnim roku aż o 39%. Nie pozostaje to bez wpływu na emisję CO₂, która jest obliczana na podstawie oficjalnych przeliczników dla każdego źródła energii wykorzystywanego przez producentów. Całkowita ilość CO₂ (w tonach) wyemitowanego podczas produkcji pojazdów i innych działań obniżyła się o 12,8%, a ilość CO₂ na pojazd o 1,2% (do 0,63 ton) dzięki postępującej dekarbonizacji procesu. W sumie poziom emisji CO₂ jest o 42,6% niższy niż w 1999 roku. Udział zielonej energii w całkowitej zużytej energii elektrycznej w 2021 roku wyniósł 44,6% [54].

Liderzy branży motoryzacyjnej przyznają, że chcą korzystać z coraz bardziej zrównoważonych zasobów, tworząc jednocześnie przyjazne środowisko dla przyszłych pokoleń. Działania mogą obejmować zarówno małe projekty lokalne (tj. inwestowanie czasu i środków w ochronę flory i fauny w swoim otoczeniu), jak i pracę o bardziej rozległym znaczeniu, która pomoże zachować, a nawet poprawić stan lokalnego ekosystemu [54].

Całkowite zużycie wody przez sygnatariuszy spadło w 2021 r. o 17,3% względem roku poprzedniego. Zużycie na pojazd zmalało natomiast o 6,3% mimo znacznie mniejszej ilości wyprodukowanych pojazdów. Było to możliwe dzięki zwiększonej efektywności. Ilość składowanych odpadów w przeliczeniu na jeden pojazd spadła o 2,6% (do 1,3 kg na jednostkę). W 2021 roku 83,1% odpadów zostało poddanych recyklingowi, a 15,2% zostało ponownie wykorzystane lub odzyskane [54].



Rysunek 21. Zużycie energii i produkcja. Źródło: [54]



Rysunek 22. Całkowita VM na jeden pojazd CO₂. Źródło: [54]

Ocena możliwości wykorzystania istniejących baz danych

Raport zawierający ocenę zidentyfikowanych wskaźników

Sektory przemysłu gotowe na Green PLM na przykładzie przemysłu motoryzacyjnego (samochody, części i usługi)

Zrównoważony rozwój przemysłu jest przedmiotem zainteresowania wszystkich krajów od lat 50. XX wieku [56]. Według Vaz i innych zrównoważone środki, w tym powiązane z nimi wskaźniki, wymagają inwestycji w badania i rozwój oraz czasu na ich przyjęcie jako nowego standardu produkcji [57]. Javaid i współautorzy podkreślają, że „zrównoważona produkcja dąży do włączenia do sektora przemysłowego podstawowych wartości zrównoważonego rozwoju. Przyczynia się do zwiększenia wydajności środowiskowej, społecznej i ekonomicznej. (...) Producenci na całym świecie działają pod presją ograniczania skutków wpływu swoich działań na środowisko. Przejawia się to poprzez analizowanie oczekiwań i potrzeb, identyfikację i stosowanie działań przyjaznych środowisku oraz dostosowywanie ich do potrzeb przemysłu”[58]. Ślad środowiskowy produktu (Product Environmental Footprint, PEF) ma znaczący wpływ na zrównoważony rozwój, jednak większość istniejących modeli PEF nie nadaje się do cyklu życia produktu [59]. W 2018 roku Komisja Europejska uruchomiła inicjatywę Single Market for Green Products, a w 2021 roku zaproponowała metody Product Environmental Footprint (PEF) i Organization Environmental Footprint (OEF) jako sposób pomiaru wpływu na środowisko [60]. PEF służy do określania wpływu materiałów, energii, emisji i odpadów wytwarzanych w procesie produkcji z perspektywy łańcucha dostaw (od wydobycia surowców, poprzez użytkowanie, aż po zarządzanie odpadami) [61]. OEF jest obliczany na podstawie zagregowanych danych prezentujących przepływy zasobów i odpadów, które przekraczają zdefiniowane wartości graniczne [62]. Ostateczny wskaźnik PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) oraz OEFSR (Environmental Footprint Sector Rules) mogą być wykorzystane do wyliczania śladu węglowego dla produktów i organizacji. Podsumowując, Komisja Europejska w kwestii wpływu na środowisko (Environmental Footprint) wybrała następujące wskaźniki:

- **Zmiana klimatu**
 - zmniejszenie warstwy ozonowej [56],
 - toksyczność - skutki rakotwórcze,
 - toksyczność - skutki nierakotwórcze.

- **Cząstki zawieszone**

- promieniowanie jonizujące HH,
- powstawanie ozonu fotochemicznego.

- **Zakwaszenie**

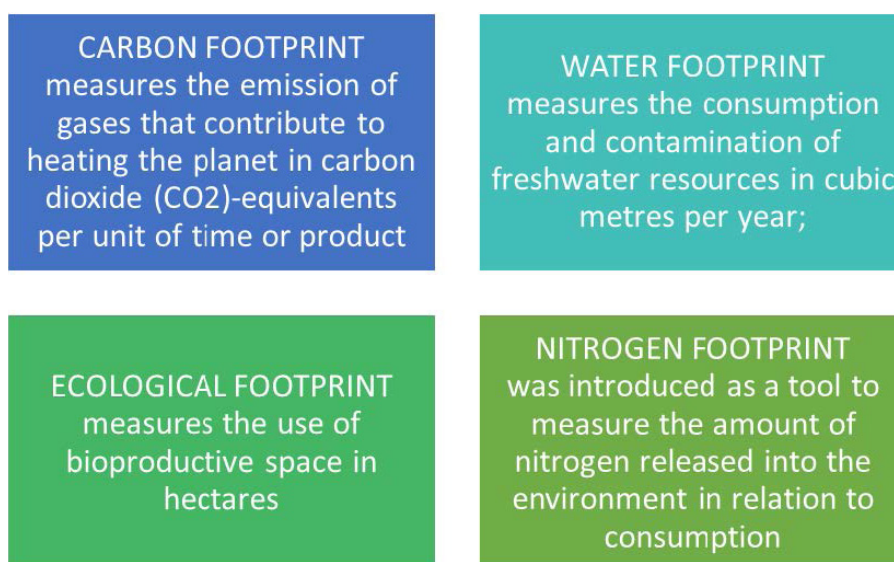
- eutrofizacja lądów,
- eutrofizacja wód słodkich,
- eutrofizacja mórz,
- ekotoksyczność - wody słodkie,
- użytkowanie gruntów,
- niedobór wody,
- wykorzystanie zasobów mineralnych,
- wykorzystanie zasobów energetycznych.

Ocena cyklu życia PEF powinna obejmować przynajmniej następujące etapy:

1. Pozyskiwanie i wstępne przetwarzanie surowców (dotyczy także produkcji części i komponentów).
2. Produkcję (wytworzenie docelowego produktu).
3. Dystrybucję i magazynowanie.
4. Użytkowanie.
5. Okres po zakończeniu użytkowania (w tym odzyskiwanie surowców lub recykling).

Marcon i in. wskazują, że ze wszystkich produktów realizujących założenia zrównoważonego rozwoju - obok żywności, odzieży i mieszkań - najczęściej badane są **samochody** [63]. Analiza różnych sektorów wskazuje, że przemysł motoryzacyjny jest kluczowy z punktu widzenia ochrony środowiska. Zgodnie z publikacją Programu Środowiskowego Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) odnoszącą się do raportu „Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future” wynika, że: „bardziej efektywne produkowanie i wykorzystywanie materiałów do budowy samochodów osobowych i domów mieszkalnych mogłoby zmniejszyć emisję CO₂ w latach 2016-2060 nawet o 25 gigaton w C7” [64]. Według autorów „Holistic eco-design tool within automotive field” [65] transport drogowy ma duży wpływ na środowisko, ponieważ odpowiada za około 20% emisji gazów cieplarnianych. Komisja Europejska w strategii „zrównoważonej i inteligentnej” mobilności oczekuje, że do 2030 roku po europejskich drogach będzie jeździć co najmniej 30 milionów samochodów o zerowej emisji [66]. Hannon i inni zwracają uwagę na to, że choć elektryfikacja sprzyja tym prognozom, to w rzeczywistości największy udział w emisji CO₂ w przemyśle motoryzacyjnym będzie pochodził z produkcji materiałów do budowy pojazdów - co najmniej 30% do 2030 roku [66]. Analiza przemysłu motoryzacyjnego pokazuje, że zmiany w zakresie produkcji i wykorzystania materiałów mogą znacznie zredukować emisję gazów cieplarnianych w pojazdach lekkich - według badań przedstawionych w dokumencie SimaPro [67] emisje pochodzące z produkcji materiałów do budowy samochodów mogłyby zostać zredukowane w zakresie od 30% do 70% w 2050 roku. Dlatego też, kluczowe dla przemysłu motoryzacyjnego,

a w szczególności dla producentów oryginalnego wyposażenia (Original Equipment Manufacturers, OEM), jest radykalne przeprojektowanie produktów i procesów. Producenci samochodów w obliczu presji regulacyjnej związanej ze zrównoważonym rozwojem będą musieli zmniejszyć zużycie zasobów w procesie produkcji, poprawić możliwości recyklingu materiałów oraz obniżyć emisję spalin [65]. Dlatego w pierwszej kolejności oczekuje się transparentności: **„producenci muszą zapewnić transparentność swoich działań w kontekście emisji”** [66]. Ponadto, firmy motoryzacyjne będą musiały przestawić się na projektowanie przyjazne środowisku, inwestowanie w czyste technologie oraz wspieranie lokalnych i globalnych społeczności [65].



Rysunek 23. Definicje śladów związanych z ochroną środowiska. Źródło: [66]

Aby zapewnić transparentność w kwestii emisji gazów cieplarnianych, opracowano szereg metodologii. Możemy podzielić je na dwie główne grupy (wszystkie wymienione normy opierają się na zasadach ISO 14040 i ISO 14044) [68]:

- Metodologie skoncentrowane na jednym zagadnieniu, obejmujące wyłącznie emisje i wpływy związane ze zmianami klimatycznymi:
 - norma ISO 14067 - międzynarodowy standard dotyczący przeprowadzania oceny śladu węglowego (Product Carbon Footprint, PCF),
 - krajowe normy (np. PAS 2050) opracowane przez British Standard Institute - uznawane za pierwszy standard dotyczący śladu węglowego stosowany na skalę międzynarodową,
 - standard Protokołu GHG dla produktów.
- Metodologie o szerszym zakresie obejmujące kwestie środowiskowe wykraczające poza zmiany klimatyczne:
 - ślad środowiskowy produktu (PEF) - zalecana przez UE metoda do przeprowadzania oceny cyklu życia (LCA),
 - krajowe normy (np. BP X30-323-0),
 - EN 15804 - europejski standard wyznaczający podstawowe zasady dla kategorii wyrobów i usług budowlanych.

Pojęcie „śladu wodnego” początkowo wprowadził Hoekstra. Wyróżniamy jego trzy rodzaje [67]:

- **niebieski ślad wodny** - „objętość wód powierzchniowych i gruntowych zużytych (lub wyparowanych) w wyniku produkcji danego dobra”,
- **zielony ślad wodny** - „zużyta woda deszczowa”,
- **szary ślad wodny** - „objętość wody słodkiej potrzebna do asymilacji substancji zanieczyszczających na podstawie obowiązujących norm jakości wód”.

Hirz i Brunner zwracają uwagę, że **eko-design** w **przemśle motoryzacyjnym** wymaga kompleksowego uwzględnienia wielu czynników [68]. Według Javaida i innych wdrożenie nowych technologii wytwarzania (np. przyrostowego) umożliwiającą produkcję części zdolnych do zastąpienia skomplikowanych zespołów, pozwala na oszczędność materiału [58] i sprawia, że pojazdy stają się lżejsze. Wpływa to na bardziej ekonomiczne zużycie paliwa. W ten sposób procesy produkcyjne stają się mniej skomplikowane niż np. tłoczenie i spawanie. W podobny sposób zastępuje się stal innymi lekkimi materiałami, np. aluminium. [68]. W efekcie producenci stają się bardziej ekologiczni dzięki wykorzystaniu mniejszej ilości zasobów [58]. Z punktu widzenia PLM istnieje też pilna potrzeba zdefiniowania wskaźników, które będą mierzyć, śledzić, monitorować i oceniać te zmiany, aby przestrzegać wytycznych związanych ze zrównoważoną produkcją. Jednym z kluczowych aspektów ograniczania energii w przemyśle motoryzacyjnym jest zmniejszenie masy samochodu [70]. Oprócz redukcji wagi, najczęstszymi podejściami stosowanymi przez OME są [65]:

- optymalizacja procesów i technologii produkcyjnych,
- zmiana projektów zespołów lub części pojazdu,
- bardziej efektywne wykorzystanie materiałów.

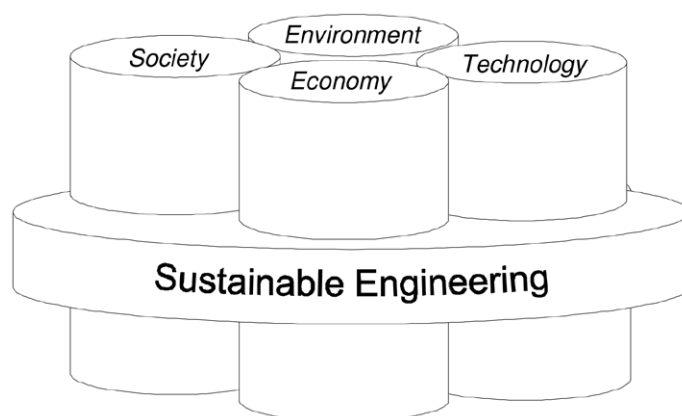
Wyniki badań przeprowadzonych przez Vaz i współautorów wskazują, że przemysł motoryzacyjny, kierując się zamiarem zmniejszenia wpływu produkcji na środowisko, skupił się na [57]:

- outsourcingu materiałów odnawialnych i pochodzących z recyklingu,
- wdrażaniu czystych technologii i systemów zarządzania środowiskiem w poszczególnych zakładach produkcyjnych i w całym łańcuchu dostaw,
- zmniejszeniu zużycia materiałów,
- zmianie procesów produkcyjnych tak, by możliwe było ponowne wykorzystanie produktów ubocznych oraz alternatywnych, mniej toksycznych materiałów,
- poszukiwaniu technologicznych alternatyw dla silnika spalinowego (Internal Combustion Engine, ICE).

Analizy przedstawione we wspomnianym raporcie „Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future” również wskazują, że aby zmniejszyć negatywny wpływ przemysłu motoryzacyjnego na środowisko, należy wdrożyć następujące usprawnienia [67]:

- zwiększyć wydajność produkcji i zmienić przeznaczenie odpadów produkcyjnych,
- zmniejszyć masę pojazdów poprzez przejście ze stali na aluminium,
- wydłużyć okres eksploatacji, zwiększyć ponowne wykorzystanie części i upowszechnić recykling materiałów z pojazdów wycofanych z użycia.

Według Ciceri’ego i innych powyższe cele można osiągnąć poprzez wprowadzenie koncepcji Inżynierii Zrównoważonej, która rozumiana jest jako **„zbiór zorientowanych inżyniersko podejść, metod i narzędzi integrujących cztery filary: Społeczeństwo, Gospodarkę, Środowisko i Technologię, aby osiągnąć cele zrównoważonego rozwoju”**. W praktyce oznacza to wykorzystanie nauki do projektowania i wdrażania produktów, materiałów, technologii i procesów z uwzględnieniem specyfiki każdego z tych czterech filarów zrównoważonego rozwoju. Efektem ma być stworzenie rozwiązań służących projektowaniu oraz wdrażaniu produktów na podstawie wspomnianych filarów i działaniom projektowym, operacyjnym i organizacyjnym związanych z produkcją, procesami, usługami i kulturą w sektorze produkcyjnym [71].



Rysunek 24. Filary zrównoważonego rozwoju. Źródło: [71]

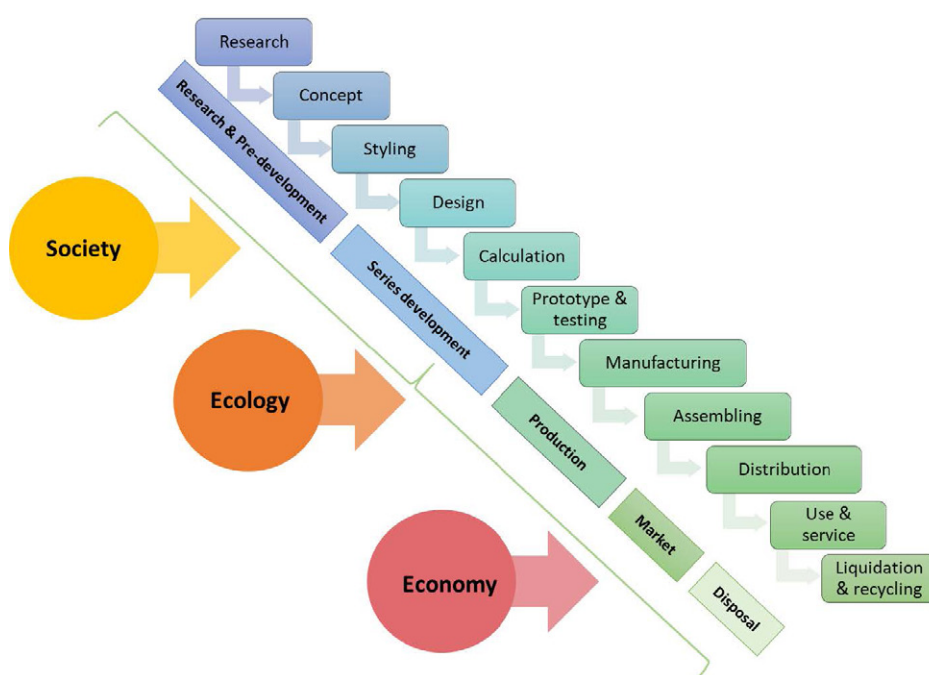
Nie ma wątpliwości co do tego, że w dzisiejszych czasach **zrównoważony rozwój zaczyna odgrywać decydującą rolę w przemyśle motoryzacyjnym**. Z punktu widzenia klientów i regulacji, oprócz kwestii ekonomicznych, liczą się także aspekty ekologiczne i społeczne, które producenci samochodów muszą uwzględniać w swojej działalności [70].

- Czynniki ekologiczne koncentrują się na:
 - zużyciu energii,
 - zużyciu zasobów,
 - wpływu produkowanych substancji na środowisko.
- Czynniki społeczne uwzględniają:
 - zaangażowanie pracowników,
 - ogólny wpływ na społeczeństwo.

Wyżej wymienione czynniki należy brać pod uwagę w całym cyklu życia samochodu [70], tj. w fazie:

- koncepcyjnej,
- rozwoju,
- inżynierii produkcji,
- produkcji,
- użytkowania,
- recyklingu i utylizacji.

Na rysunku poniżej przedstawiono kluczowe etapy cyklu życia samochodu z wyróżnionymi kluczowymi fazami. Na grafice umieszczono też wpływy ze strony społeczeństwa, ekologii i gospodarki [70].



Rysunek 25. Cykl życia samochodu i czynniki na niego wpływające. Źródło: [70]

Szczególne znaczenie mają pierwsze fazy, podczas których odbywa się projektowanie nowych pojazdów oraz związanych z nimi procesów produkcyjnych i organizacyjnych. Decyzje podejmowane na tym etapie wpływają na wszystkie wyżej wymienione fazy. **Zrównoważone projektowanie** oznacza projektowanie wyrobów i procesów, które spełniają następujące wymagania [72]:

- pozyskany surowiec spełnia kryteria środowiskowe i społeczne,
- w łańcuchu dostaw wszystkie zaangażowane strony dbają o to, aby odległości były jak najmniejsze, a transport absolutnie niezbędny,
- produkty są zaprojektowane tak, aby miały maksymalną żywotność,
- produkty są zaprojektowane tak, aby były łatwe w naprawie (odnawialne) i możliwe do ponownego wykorzystania na rynku wtórnym,
- produkty można poddawać regeneracji i modernizować, na przykład poprzez wymianę podzespołów.

Rozwój **nowych cyfrowych fabryk** oraz presja ze strony ustawodawców wymagają **zmian w istniejących systemach PLM**. Muszą one realizować współpracę i przepływ informacji w przedsiębiorstwie tak, by wspierały zrównoważony rozwój. Według Belkadi i in., **główne wyzwanie** stanowi nie tylko **zdefiniowanie przepływu informacji u wszystkich podmiotów zaangażowanych w proces zrównoważonego rozwoju**, ale także **mapowanie informacji pomiędzy różnymi fazami cyklu życia produktu** [73]. Opracowano szereg definicji, które mają na celu bardziej precyzyjne określenie kluczowych obszarów, w tym takich, jak:

- produkty zrównoważone [74],
- zarządzanie cyklem życia produktu w obiegu zamkniętym (CL2M) [75],
- zielone systemy informacyjne [75],
- zrównoważony PLM [75],
- inteligentne produkty [75].

Poniższy rysunek przedstawia wyżej wymienione pojęcia wraz z odpowiadającymi im definicjami:

TERM	DEFINITION
Sustainable products	products with positive social and/or environmental attributes
Closed Loop Lifecycle Management (CL2M)	attempts to extend PLM also to the usage, refurbishing, disposal and other lifecycle phases that product instances go through.
Green Information Systems	studies how to reduce the production of CO2 and other greenhouse gases through new combinations of people, processes, and technologies that enable the processing of digitized information
Sustainable PLM	a type of Closed Loop Lifecycle Management (CL2M) for the purpose of improving environmental sustainability during all phases of the lifecycle
Intelligent products	provide a model for how an information system can integrate supply and demand data to increase energy efficiency; Intelligent Products and messaging interfaces are the technological basis for introducing instance based architectures for Sustainable PLM

Rysunek 26. Definicje związane z Green PLM. Źródło: [74, 75]

W odniesieniu do zrównoważonych produktów istnieje szereg wskaźników, które mogą pomóc dostarczyć klientom informacji o zrównoważonym działaniu, na przykład [74]:

- Etykiety zrównoważonego rozwoju:
 - organiczne,
 - sprawiedliwy handel (Fairtrade),
 - non-GMO.
- Hasła i wygląd fizyczny:
 - opakowania biodegradowalne,
 - mniejsze opakowanie.

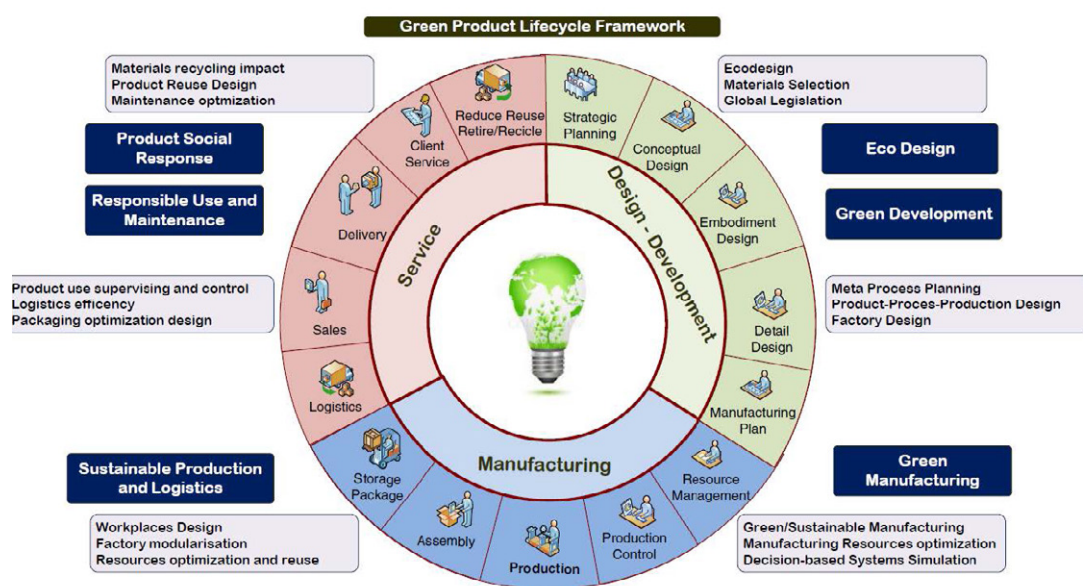
Według Främlinga i in. **zrównoważony PLM** można zdefiniować jako **rodzaj zarządzania cyklem życia produktu w obiegu zamkniętym (Closed Loop Lifecycle Management, CL2M)**. Kluczowa jest możliwość integracji inteligentnych produktów zarówno ze sobą, jak i innymi systemami. Systemy, które nazywane są **Zielonymi Systemami Informacyjnymi (Green IS)** mają na celu zmniejszenie wpływu na środowisko [75], a konkretnie zmniejszenie „produkcji CO₂ i innych gazów cieplarnianych dzięki nowej synergii ludzi, procesów i technologii, które umożliwiają przetwarzanie cyfrowych informacji” [75]. Främling i współautorzy podkreślają, że głównym celem CL2M jest ciągłe doskonalenie projektowania, wytwarzania, użytkowania produktów i postępowania z nimi po zakończeniu ich eksploatacji, aby uzyskać „lepszą jakość, mniejszą liczbę awarii, mniejsze zapotrzebowanie na części zamienne oraz utrzymywanie operacji na możliwie energooszczędnym i zasobooszczędnym poziomie” [75]. Według Främlinga i in., zrównoważony PLM należy rozumieć jako CL2M, którego celem jest poprawa zrównoważonego rozwoju we wszystkich fazach cyklu życia produktu. Kluczowym zagadnieniem w zakresie zrównoważonego PLM jest pomiar zrównoważonego rozwoju oraz sposoby na jego poprawę, dlatego też istotne jest mierzenie, gromadzenie i analizowanie danych oraz odpowiadających im wskaźników, które mogą stanowić solidną podstawę i bodziec do tego, by firmy zamieniły produkcję na bardziej ekologiczną. Pomocnym podejściem w tym procesie jest LCA, czyli **Life Cycle Assessment** lub **Life Cycle Analysis** - metoda do szacowania i oceny wpływu cyklu życia na środowisko [75]. Według Främlinga i in. trudno jest rozszerzyć i/lub dostosować istniejące systemy ERP do wymagań zrównoważonego PLM. Främling i in. stwierdzają, że „prawdopodobnie łatwiejszym, bezpieczniejszym i bardziej skalowalnym podejściem jest oddzielne opracowanie i rozpowszechnienie systemów opartych na Inteligentnych Produktach i komunikowanie się z systemami informatycznymi zawierającymi informacje o stanach magazynowych za pomocą ich własnych interfejsów zewnętrznych. Mnogość organizacji i producentów, a także wymagania związane ze zrównoważonym cyklem życia produktu można połączyć tylko poprzez skalowanie działań, gdy interoperacyjność między urządzeniami oraz innymi informacjami systemowymi jest technicznie i ekonomicznie zrozumiała oraz wykonalna. Ignorowanie tych powiązań i zależności (interoperacyjności) może opóźnić ewolucję i adopcję Green PLM (systemu PLM spełniającego wymagania zrównoważonej produkcji – przyp. red.)”.

Według Vila i in., **strategia Green PLM** powinna składać się z Misji, Wizji i Celu, co przedstawia poniższy rysunek:



Rysunek 27. Rysunek Zielona strategia PLM. Źródło: [56]

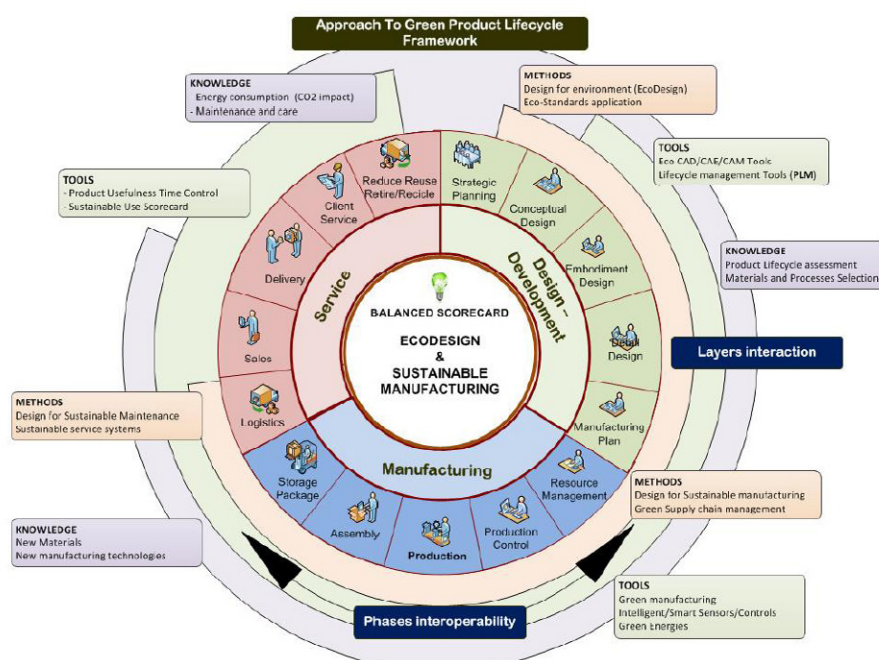
Na poniższych grafikach (rysunek 28) przedstawiono podejścia do cyklu życia produktu z uwzględnieniem zielonych kompetencji [56], (rysunek 29) Green Product Lifecycle Framework [56], oraz (rysunek 30) atrybuty zielonego produktu podzielone na fazy cyklu życia produktu [63].



Rysunek 28. Podejście do cyklu życia produktu z uwzględnieniem zielonych kompetencji zaproponowane przez Vila i in. Źródło: [56]

Według Vila i in., **Green Product Lifecycle Framework** powinien składać się z 3 głównych faz [56]:

1. **Fazy projektowania i rozwoju** ukierunkowanej na cele zrównoważonego rozwoju składającej się z:
 - planowania strategicznego,
 - projektu koncepcyjnego,
 - projektu wykonawczego,
 - projektu szczegółowego,
 - planu produkcji.
2. **Fazy produkcyjnej**, ukierunkowanej na ekologiczną i zrównoważoną produkcję, składającej się z:
 - pakietu magazynowego,
 - montażu,
 - produkcji,
 - kontroli produkcji,
 - zarządzania zasobami.
3. **Faza usługowa**, koncentrująca się na zrównoważonej logistyce, specjalnym reagowaniu na produkty oraz odpowiedzialnym użytkowaniu i konserwacji, na którą składają się:
 - logistyka,
 - sprzedaż,
 - dostawa,
 - obsługa klienta,
 - zasada 4R (Reduce / Reuse / Retire / Recycle).



Rysunek 29. Podejście do Green Product Lifecycle Framework zaproponowane przez Vila i in. Źródło: [56]

Dla każdej z 3 wyżej wymienionych faz Vila i in. proponują podejście oparte na dedykowanych metodach, narzędziach i wiedzy, jak poniżej [56]:

1. Faza projektowania i rozwoju

- **Metody:**
 - projektowanie dla środowiska (Eco Design),
 - zastosowanie norm ekologicznych.
- **Narzędzia:**
 - narzędzia Eco CAD / CAE / CAM,
 - narzędzia do zarządzania cyklem życia produktu (PLM).
- **Wiedza:**
 - ocena cyklu życia produktu,
 - wybór materiałów i procesu.

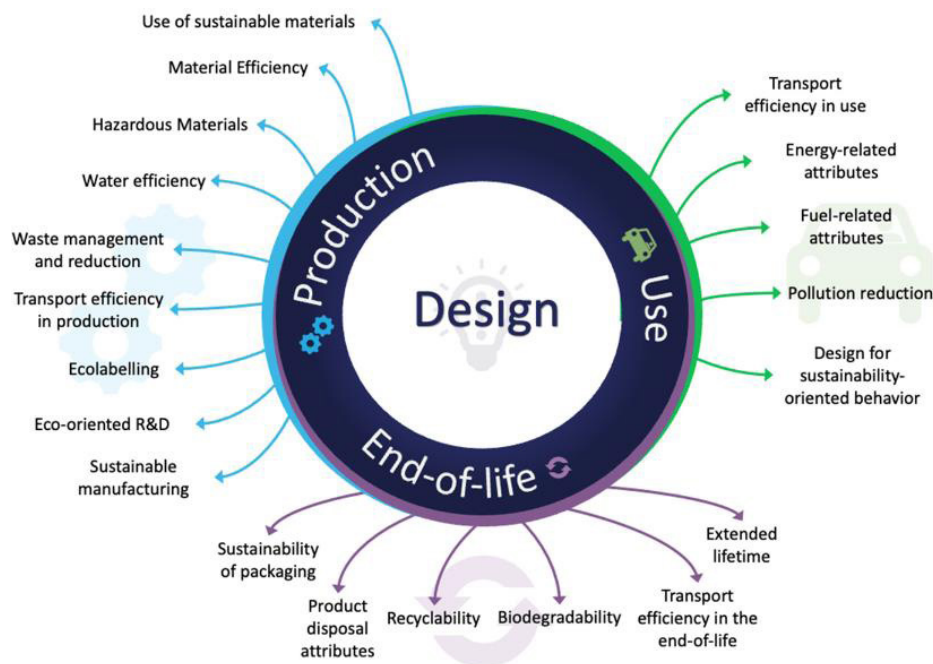
2. Faza produkcji

- **Metody:**
 - projektowanie dla zrównoważonej produkcji,
 - zarządzanie zielonym łańcuchem dostaw.
- **Narzędzia:**
 - ekologiczna produkcja,
 - inteligentne czujniki i sterowniki,
 - zielone energie.
- **Wiedza:**
 - nowe materiały,
 - nowe technologie produkcji.

3. Faza usługowa

- **Metody:**
 - projektowanie dla zrównoważonej konserwacji,
 - zrównoważony system usług.
- **Narzędzia:**
 - kontrola czasu użyteczności produktu,
 - karta wyników zrównoważonego użytkowania.
- **Wiedza:**
 - zużycie energii (wpływ CO₂),
 - konserwacja i utrzymanie.

Marcon i in. proponują kolejną ramę dla zielonego produktu (rysunek poniżej). Podzielili oni atrybuty produktów ekologicznych na 3 główne fazy cyklu życia produktu, tj. (1) Produkcję, (2) Użytkowanie i (3) Wycofanie z eksploatacji [63].



Rysunek 30. Atrybuty produktów ekologicznych w podziale na fazy cyklu życia produktu zaproponowane przez Marcon i in. Źródło: [63]

Importance of intrinsic and extrinsic attributes for the purchase decision of cars and furniture.

	Importance level frequency					Avg.
	1	2	3	4	5	
Car attributes						
Economy	0	3	13	28	56	4.37
Design	2	1	16	50	31	4.07
Engine	1	1	19	38	41	4.17
New technologies for reducing emissions	3	8	22	27	40	3.93
Materials used for finishing	5	11	17	38	39	3.75

Respondents' preferences for green product attributes included in the experiment.

		Frequency
Car attributes		
Engine	Flexible-fuel	63%
	Hybrid	37%
New technologies	Emission reduction	61%
	Use of biomass for fuel	39%
Finishing materials	Natural fibers	43%
	Recycled materials	57%

Tabela 3. Znaczenie atrybutów intrinsic i extrinsic dla decyzji zakupu samochodów i mebli. Źródło: [72]

Identyfikacja i analiza wskaźników

Literatura wskazuje na to, że w wielu badaniach zdefiniowano wskaźniki i koncepcje zrównoważonego rozwoju w pięciu aspektach: ekonomicznym, ekologicznym, społecznym, technologicznym i zarządzania wydajnością. Wiele organizacji podejmuje działania w tym zakresie. Efektem prac prowadzonych przez Program Środowiskowy ONZ (UNEP) i amerykańską organizację pozarządową jest Global Reporting Initiative (GRI), która zdefiniowała ponad 100 wskaźników i skupiła się na trzech pierwszych aspektach. Innym działaniem, podjętym przez Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii (National Institute of Standards and Technology, NIST), jest stworzenie Repozytorium Wskaźników Zrównoważonej Produkcji (SMIR), które zdefiniowało szeroko dostępne zestawy wskaźników i skupiło się na wszystkich pięciu aspektach.

Również środowiska akademickie i ośrodki badawcze prowadziły i nadal prowadzą liczne badania. Na podstawie analizy wyników wyżej wymienionych działań można określić ogólny podział wskaźników związanych z trwałością produktu [77].

Dimensions	Sustainability indicators	Dimensions	Sustainability indicators
Economy	Investment	Society	Labor Practices
	Economic performance		Human Rights
	Product Presence in the market		Social influence
	Green Process Design		Product Responsibility
	Green Manufacturing		Eco-design Responsibility
Ecology	Energy emissions	Technology	Innovative new materials care
	Carbon Foot Print		Life Cycle Assessment
	Waste Reduction		Design for Environment tools
	Water Usage		Zero Emissions & Waste
	Compliance		

Tabela 4.c. Skuteczne wskaźniki zrównoważonego rozwoju. Źródło: [77]

Jeśli chodzi o ekologię, w 2012 roku Komisja Europejska zaproponowała uniwersalny wskaźnik, nazwany śladem środowiskowym produktu (PEF), do pomiaru efektywności środowiskowej produktu w całym cyklu życia [78]. System oceny PEF zawiera 16 rodzajów oddziaływania: zmiana klimatu ogółem, zubożenie warstwy ozonowej, ekotoksyczność dla wody słodkiej, działanie

toksyczne dla ludzi (czynniki rakotwórcze i nierakotwórcze), wdychane substancje nieorganiczne (cząstki stałe), promieniowanie jonizujące, fotochemiczne powstawanie ozonu, zakwaszenie, eutrofizacja lądowa, eutrofizacja wód (słodkich i morskich), zużycie wody, wykorzystanie zasobów – minerałów, metali i surowców kopalnych, a także użytkowanie gruntów. He i in. opracowali metodę oceny tych oddziaływań na cykl życia produktu, która może być zastosowana w rozwoju produktu w różnych gałęziach przemysłu [59].

Khan i in. zaproponowali system indeksowania cyklu życia - LInX, który ułatwia zastosowanie LCA w ocenie procesów i produktów oraz podejmowaniu decyzji [79]. Obejmuje on cztery główne grupy wskaźników: środowisko, zdrowie i bezpieczeństwo (EHS), koszty, wykonalność techniczną oraz czynniki społeczno-polityczne. Zostały one podzielone bardziej szczegółowo w następujący sposób:

1. Środowisko, zdrowie i bezpieczeństwo:

- wyczerpywanie zasobów,
- efekt cieplarniany,
- zubożenie warstwy ozonowej,
- potencjał zakwaszenia,
- potencjał utleniania,
- masa uwolnionych zanieczyszczeń powietrza,
- masa uwolnionego zanieczyszczenia wody,
- masa usuwanych odpadów stałych,
- zagrożenie dla zdrowia człowieka,
- ryzyko ekologiczne,
- zagrożenie bezpieczeństwa.

2. Technologia:

- wykonalność techniczna,
- warunki przeprowadzania procesów,
- efektywność energetyczna,
- interakcja człowiek-maszyna.

3. Koszty:

- koszty stałe,
- koszty eksploatacji i konserwacji,
- koszty zdrowia, bezpieczeństwa i środowiska.

4. Aspekty społeczno-polityczne:

- akceptacja społeczno-polityczna,
- podatność obszaru na zagrożenia,
- oddziaływania społeczne.

Hirz i Brunner wyróżniają cztery główne grupy czynników wpływających na wyniki związane z cyklem życia samochodu [70]:

1. Dane techniczne:

- a. typ, wielkość i masa pojazdu,
- b. technologia napędu,
- c. technologia pojazdu,
- d. materiały.

2. Dostarczanie zasobów i energii:

- a. rodzaj i ilość energii użytej do produkcji i użytkowania,
- b. materiały o wysokim/niskim wpływie na środowisko.

3. Surowce:

- a. technologia produkcji i recyklingu,
- b. efektywne procesy produkcyjne, dostawcze i logistyczne,
- c. projektowanie z myślą o recyklingu,
- d. technologie recyklingu.

4. Faza użytkowania:

- a. wymagania dotyczące transportu,
- b. charakterystyka i zachowanie użytkowników podczas jazdy,
- c. zużycie paliwa i energii,
- d. nakłady na konserwację i serwis.

Poniższa tabela zawiera środki dla Eko Design podzielone na fazy zaproponowane przez Staniszewską i in. [80].

Obszar	Wskaźnik	Stan obecny	Potencjalne usprawnienie	Wpływ na środowisko
Projektowanie / konstruowanie	Waga produktu i jego części	Stały wzrost masy produktu	Lżejsze produkty oznaczają zużycie mniejszej ilości materiałów	Średni
	Zużycie paliwa	Produkty zużywające paliwo i gaz; produkcja coraz większych silników	Korzystanie z samochodów hybrydowych, elektrycznych o lekkich konstrukcjach oraz biopaliw	Wysoki
	Ilość komponentów	Skomplikowane projekty z wieloma elementami	Uproszczenie projektów	Średni
Surowce	Wykorzystane zasoby	Wykorzystywanie elektrowni węglowych i jądrowych	Zwiększone wykorzystanie energii odnawialnej	Wysoki
	Materiały niebezpieczne	Stosowanie toksycznych farb	Stosowanie ekologicznych i naturalnych farb	Wysoki
	Wykorzystanie materiałów z recyklingu	Wykorzystanie nowo wyprodukowanych materiałów	Ponowne wykorzystanie materiałów ze starych samochodów (aluminium, plastik itd.)	Średni
Produkcja i dystrybucja	Zużycie mediów (woda, energia)	Wykorzystywanie elektrowni węglowych i jądrowych oraz świeżej wody	Wzrost zużycia energii odnawialnej i korzystania ze stacji uzdatniania wody	Wysoki
	Ilość odpadów	Duża ilość odpadów z produkcji, dokumentacji, pakowania	Wykorzystanie produktów wielofunkcyjnych, komunikacji elektronicznej i podejścia „lean manufacturing”	Średni
	Wykorzystanie niebezpiecznych materiałów	Stosowanie ostrych i toksycznych substancji	Stosowanie ekologicznych i naturalnych materiałów	Wysoki
	Zanieczyszczenie	Zanieczyszczenia pochodzące z energii elektrycznej i paliw	Stosowanie filtrów i nowoczesnych, bardziej ekologicznych maszyn	Wysoki
	Rodzaj opakowania	Jednorazowe opakowania i wielopaki	Pojedyncze opakowania nadające się do recyklingu	Średni
	Sposób transportowania	Ciężarówki	Transport kolejowy i multimodalny	Wysoki
	Rozmiar i waga	Produkty są ciężkie	Produkcja lżejszych pojazdów	Niski
	Dokumentacja	Dokumentacja papierowa	Dokumentacja elektroniczna	Niski
	Zapas	Duże zapasy materiałów i produktów	Lean management	Niski
	Natężenie	Dostawa kilku pojazdów jednocześnie, zależnie od rodzaju transportu i zamówienia klienta	Rzadsze, większe dostawy	Średni
Koniec cyklu życia produktu	Ponowne wykorzystanie części	Składowanie części z powodu trudnego przetwarzania	Wykorzystanie nowych technologii, ułatwiających ponowne przetwarzanie	Wysoki
	Niebezpieczne odpady	Niewłaściwa obsługa spowodowana wysokimi kosztami	Podnoszenie wiedzy o postępowaniu z odpadami i jego konsekwencjach	Wysoki

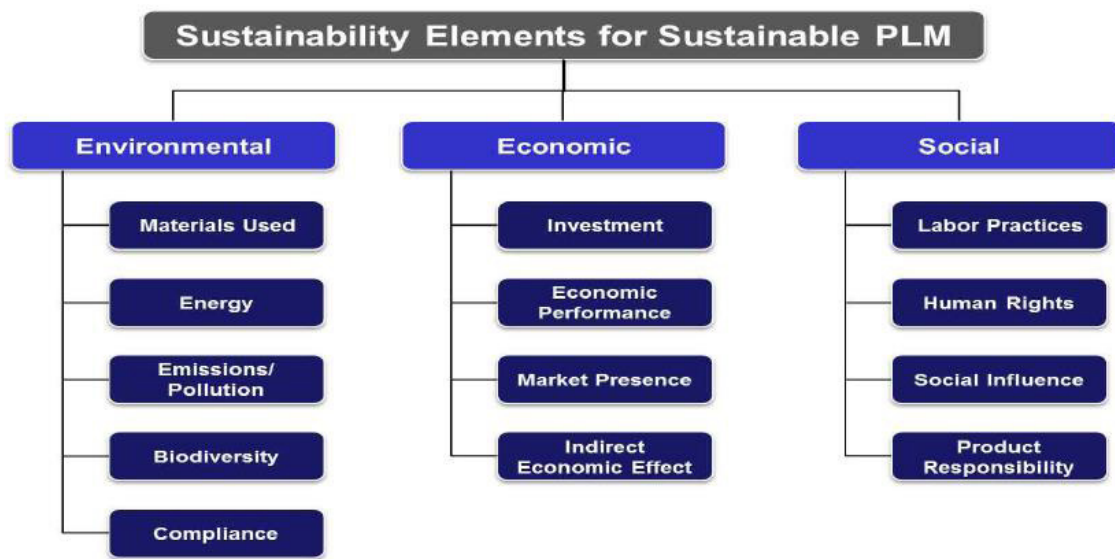
Rysunek 31. Działania na rzecz ekoprojektowania podzielone na fazy zaproponowane przez Staniszewską i in.
Źródło: opracowanie własne na podstawie [80]

Zhao i in. skupili się na następujących wskaźnikach związanych ze zrównoważonym rozwojem [81]:

- **„Wskaźnik zrównoważonego rozwoju GRI** (Global Reporting Initiative) - w 1997 roku Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) wraz z organizacją pozarządową ze Stanów Zjednoczonych, Coalition for Environmentally Responsible Economics (CERES), stworzyli GRI w celu „podniesienia jakości, rygoru i użyteczności raportowania zrównoważonego rozwoju”[82]. Raportowanie jest więc głównym punktem wytycznych. GRI stosuje hierarchię w trzech obszarach tematycznych: społecznym, ekonomicznym i środowiskowym. Składa się ona z kategorii, aspektów i wskaźników. Wytyczne zawierają ponad 100 wskaźników, jednak nie wszystkie są łatwe do interpretacji, a nie istnieją żadne dodatkowe wskazówki co do ich doboru [83]. Wytyczne wskazują jednak, co należy brać pod uwagę na niższym poziomie, tj. operacyjnym lub projektowym w przedsiębiorstwie, zwłaszcza jeśli firma stosuje zasady GRI w raportowaniu o zrównoważonym rozwoju” [84].

- „**Institution of Chemical Engineers** (IChemE) w 2002 r. opublikował zestaw wskaźników zrównoważonego rozwoju w celu pomiaru operacji przemysłowych. IChemE sformułował ustandaryzowane formularze sprawozdawcze i tabele przeliczeniowe [85]. Te wytyczne są mniej złożone i skupione na wpływie, jednak zdecydowanie wspierają kwestie środowiskowe oraz mierzalne wskaźniki, które mogą być trudne do zastosowania we wszystkich operacjach, np. we wczesnych fazach cyklu życia projektu [86]”.

Zhao i wsp. oparli czynniki związane ze zrównoważonym rozwojem na raportach GRI oraz raportach IChemE [87]. Zgodnie z poniższym rysunkiem, elementy zrównoważonego rozwoju dla PLM zostały podzielone na **wskaźniki środowiskowe, ekonomiczne i społeczne**.



Rysunek 32. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju dla zrównoważonego PLM. Źródło: [81]

Autorzy

- dr inż. Mariusz Cholewa, dr inż. Joanna Helman
- dr inż. Mateusz Molasy, dr inż. Maria Rosienkiewicz
- Wrocław University of Science and Technology
- Faculty of Mechanical Engineering
- Center for Advanced Manufacturing Technologies

Referencje

- Schlacke, S., Wentzien, H., Thierjung, E.-M., Köster, M.: Implementing the EU Climate Law via the 'Fit for 55' package. Oxf. Open Energy. 1, oiab002 (2022). <https://doi.org/10.1093/oenergy/oiab002>.
- EU responses to climate change | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07129/eu-responses-to-climate-change>, last accessed 2022/09/02.
- Climate change in Europe: facts and figures | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07123/climate-change-in-europe-facts-and-figures>, last accessed 2022/09/12.
- A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, last accessed 2022/09/02.
- New research study on Green Deal, <https://frontex.europa.eu/future-of-border-control/eu-research/news-and-events/new-research-study-on-green-deal-Y3EKx6>, last accessed 2022/09/02.
- CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics) | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>, last accessed 2022/09/12.
- McKinsey & Company: This surprising change can help the auto industry tackle emissions goals, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/sustainabilityblog/this-surprising-change-can-help-the-auto-industry-tackle-emissions-goals>, last accessed 2022/08/30.
- The automotive industry and climate change Framework and dynamics of the CO2 (r)evolution (PWC), <https://www.pwc.com/th/en/automotive/assets/co2.pdf?fbclid=IwAR22KpDBJ4y0kAOEmLQKNFYogN5UfY9dOibavAsTb-Eqbl8ONZDzqm55aA>.
- Paris Agreement, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en, last accessed 2022/09/06.
- The European Green Deal & Fit for 55 - KPMG Global, <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2021/11/the-european-green-deal-and-fit-for-55.html>, last accessed 2022/09/06.
- PricewaterhouseCoopers: EU Green Deal Survey, <https://www.pwc.com/gx/en/services/tax/publications/are-europes-businesses-ready-for-the-eu-green-deal.html>, last accessed 2022/09/07.
- Fit for 55: A major step towards a decarbonized EU by 2050. | EIRIE, <https://ses.jrc.ec.europa.eu/eirie/en/news-and-events/news/fit-55-major-step-towards-decarbonized-eu-2050>, last accessed 2022/09/07.
- Fetting, C.: The European Green Deal. ESDN Report, December 2020, ESDN Office, Vienna. 22.
- Industry and the Green Deal, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/industry-and-green-deal_en, last accessed 2022/09/06.
- The EU Emissions Trading Scheme (ETS) and its reform in brief | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20170213STO62208/the-eu-emissions-trading-scheme-ets-and-its-reform-in-brief>, last accessed 2022/09/12.
- Fit for 55 będzie rewolucją dla transportu drogowego (Puls Biznesu), <http://pb.pl/fit-for-55-bedzie-rewolucja-dla-transportu-drogowego-1129041>, last accessed 2022/09/06.
- Carbon Border Adjustment Mechanism, https://taxation-customs.ec.europa.eu/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en, last accessed 2022/09/07.
- European Council on Foreign Relations, Leonard, M., Pisani-Ferry, J., Bruegel European Think Tank, Peterson Institute, European University, Shapiro, J., European Council on Foreign Relations, Tagliapietra, S., Bruegel European Think Tank, Wolf, G., Bruegel European Think Tank: The geopolitics of the European Green Deal. Int. Organ. Res. J. 16, 204–235 (2021). <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2021-02-10>.
- Bassi, F., Dias, J.G.: The use of circular economy practices in SMEs across the EU. Resour. Conserv. Recycl. 146, 523–533 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.019>.
- Hernandez, M.D.A., Bakthavatchalam, V.: Circular economy as a strategy in European automotive industries to achieve Sustainable Development: A qualitative study. 5 (2022).
- PIE: Fit for 55 wpłynie na redukcję emisji z transportu pasażerskiego w Polsce nawet o 70 proc. (Puls Biznesu), <http://pb.pl/pie-fit-for-55-wplynie-na-redukcje-emisji-z-transportu-pasazerskiego-w-polsce-nawet-o-70-proc-1162767>, last accessed 2022/09/06.
- Global Car Industry Must Shift to Low Carbon to Survive - CDP | UNFCCC, <https://unfccc.int/news/global-car-industry-must-shift-to-low-carbon-to-survive-cdp>, last accessed 2022/09/07.
- Wellbrock, W., Ludin, D., Röhrle, L., Gerstlberger, W.: Sustainability in the automotive industry, importance of and impact on automobile interior – insights from an empirical survey. Int. J. Corp. Soc. Responsib. 5, 10 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40991-020-00057-z>.
- Salvado, M., Azevedo, S., Matias, J., Ferreira, L.: Proposal of a Sustainability Index for the Automotive Industry. Sustainability. 7, 2113–2144 (2015). <https://doi.org/10.3390/su7022113>.
- Meuer, J., Koelbel, J., Hoffmann, V.H.: On the Nature of Corporate Sustainability. Organ. Environ. 33, 319–341 (2020). <https://doi.org/10.1177/1086026619850180>.
- Upward, A., Jones, P.: An Ontology for Strongly Sustainable Business Models: Defining an Enterprise Framework Compatible With Natural and Social Science. Organ. Environ. 29, 97–123 (2016). <https://doi.org/10.1177/1086026615592933>.
- Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D.: Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. Sustain. Sci. 14, 681–695 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>.
- Winter, M., Knemeyer, A.M.: Exploring the integration of sustainability and supply chain management: Current state and opportunities for future inquiry. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 43, 18–38 (2013). <https://doi.org/10.1108/09600031311293237>.
- Fit for 55: MEPs back objective of zero emissions for cars and vans in 2035 | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220603IPR32129/fit-for-55-meps-back-objective-of-zero-emissions-for-cars-and-vans-in-2035>, last accessed 2022/09/12.
- Reducing car emissions: new CO2 targets for cars and vans explained, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180920STO14027/reducing-car-emissions-new-co2-targets-for-cars-and-vans-explained>, last accessed 2022/09/02.
- PLM Plays Part Tracking Carbon Footprint in DE, <https://plmgreenalliance.com/plm-green-examples/plm-plays-part-tracking-carbon-footprint-in-de/>, last accessed 2022/09/13.

32. Goldman Sachs: najlepsza droga do Fit for 55 to masowa elektryfikacja (Puls Biznesu), <http://pb.pl/goldman-sachs-najlepsza-droga-do-fit-for-55-to-masowa-elektryfikacja-1139688>, last accessed 2022/09/06.
33. Hertwich, Edgar, Lifset, Reid, Pauliuk, Stefan, Heeren, Niko, Ali, Saleem, Tu, Qingshi, Ardente, Fulvio, Berrill, Peter, Fishman, Tomer, Kanaoka, Koichi, Kulczycka, Joanna, Makov, Tamar, Masanet, Eric, Wolfram, Paul: Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Zenodo (2019). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3542680>.
34. Koplin, J., Seuring, S., Mesterharm, M.: Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry – the case of the Volkswagen AG. *J. Clean. Prod.* 15, 1053–1062 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.024>.
35. Jasiński, D., Meredith, J., Kirwan, K.: Sustainable development model for measuring and managing sustainability in the automotive sector. *Sustain. Dev.* 29, 1123–1137 (2021). <https://doi.org/10.1002/sd.2207>.
36. Sharma, M.: The Role of Employees' Engagement in the Adoption of Green Supply Chain Practices as Moderated by Environment Attitude: An Empirical Study of the Indian Automobile Industry. *Glob. Bus. Rev.* 15, 25–38 (2014). <https://doi.org/10.1177/0972150914550545>.
37. Toth Arpad, Suta Alex: Global Sustainability Reporting in the Automotive Industry via the eXtensible Business Reporting Language. *Chem. Eng. Trans.* 88, 1087–1092 (2021). <https://doi.org/10.3303/CET2188181>.
38. Srivastava, S.K.: Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *Int. J. Manag. Rev.* 9, 53–80 (2007). <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>.
39. El Baz, J., Iddik, S.: Green supply chain management and organizational culture: a bibliometric analysis based on Scopus data (2001–2020). *Int. J. Organ. Anal.* 30, 156–179 (2022). <https://doi.org/10.1108/IJOA-07-2020-2307>.
40. Bocken, N.M.P., Short, S.W., Rana, P., Evans, S.: A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *J. Clean. Prod.* 65, 42–56 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>.
41. Global Sustainable Investment Review 2020, <http://www.gsi-alliance.org/>, last accessed 2022/09/02.
42. United Nations Sustainable Development Goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>, last accessed 2022/09/13.
43. The Sustainable Development Goals Report 2022, <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>, last accessed 2022/09/13.
44. Greenhouse Gas Protocol, <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>, last accessed 2022/09/13.
45. What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions?, <https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions>, last accessed 2022/09/13.
46. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.* 127, 221–232 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
47. Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., Hekkert, M.: Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecol. Econ.* 150, 264–272 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>.
48. First circular economy action plan, https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en, last accessed 2022/09/06.
49. Calisto Friant, M., Vermeulen, W.J.V., Salomone, R.: Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 337–353 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.001>.
50. Circular Economy Action Plan I, <https://www.switchtogreen.eu/circular-economy-strategy/>, last accessed 2022/09/06.
51. The Automotive Industry in the Era of Sustainability report, <https://www.capgemini.com/news/press-releases/the-automotive-industry-in-the-era-of-sustainability-report/>, last accessed 2022/09/02.
52. Shannon, M.A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J.G., Marinas, B.J., Mayes, A.M.: Science and technology for water purification in the coming decades. *10* (2008).
53. 2022 Deloitte CxO Sustainability Report, <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/operations/articles/deloitte-cxo-sustainability-report.html>, last accessed 2022/09/02.
54. Automotive Sustainability Report 2022, <https://www.smmmt.co.uk/industry-topics/sustainability/>, last accessed 2022/09/02.
55. #GetOutInFront. Global Research Report, December 2020 (Deloitte), <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Risk/gx-get-out-infront-final.pdf>.
56. Vila, C., Abellán-Nebot, J.V., Albiñana, J.C., Hernández, G.: An Approach to Sustainable Product Lifecycle Management (Green PLM). *Procedia Engineering*. 132, 585–592 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.608>.
57. Vaz, C.R., Rauen, T.R.S., Lezana, Á.G.R.: Sustainability and Innovation in the Automotive Sector: A Structured Content Analysis. *Sustainability*. 9, 880 (2017). <https://doi.org/10.3390/su9060880>.
58. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R., Gonzalez, E.S.: Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*. 3, 203–217 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>.
59. He, B., Shao, Y., Wang, S., Gu, Z., Bai, K.: Product environmental footprints assessment for product life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 233, 446–460 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.078>.
60. European Commission: Recommendation on the use of Environmental Footprint methods, https://environment.ec.europa.eu/publications/recommendation-use-environmental-footprint-methods_en, last accessed 2022/08/26.
61. Product Environmental Footprint Guide.
62. Organisation Environmental Footprint Guide.
63. Marcon, A., Ribeiro, J.L.D., Dangelico, R.M., de Medeiros, J.F., Marcon, É.: Exploring green product attributes and their effect on consumer behaviour: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*. 32, 76–91 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.012>.
64. Materials used to build cars and homes key to tackling global warming, <http://www.unep.org/news-and-stories/press-release/materials-used-build-cars-and-homes-key-tackling-global-warming>, last accessed 2022/08/09.
65. Antonacci, A., Del Pero, F., Baldanzini, N., Delogu, M.: Holistic eco-design tool within automotive field. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1214, 012045 (2022). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1214/1/012045>.
66. Erwin, A.E., Hoekstra, A.Y.: Carbon and water footprints: concepts,

- methodologies and policy responses\$Elektronische Ressource. UNESCO, Paris (2012).
67. SimaPro database manual, <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf>, last accessed 2022/10/07.
68. Product Carbon Footprint standards: which one to choose?, <https://pre-sustainability.com/articles/product-carbon-footprint-standards-which-standard-to-choose/>, last accessed 2022/10/07.
69. Mekonnen, M., Hoekstra, A.: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 15, (2011). <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.
70. Hirz, M., Brunner, H.: ECO-Design in the Automotive Industry – Potentials and Challenges. (2015).
71. Ciceri, N.D., Garetti, M., Terzi, S.: Product Lifecycle Management Approach for Sustainability. 8.
72. The Circular Economy as a Model for the Future.
73. Belkadi, F., Bernard, A., Laroche, F.: Knowledge Based and PLM Facilities for Sustainability Perspective in Manufacturing: A Global Approach. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.065>.
74. Bangsa, A.B., Schlegelmilch, B.B.: Linking sustainable product attributes and consumer decision-making: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*. 245, 118902 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118902>.
75. Främling, K., Holmström, J., Loukkola, J., Nyman, J., Kaustell, A.: Sustainable PLM through Intelligent Products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 26, 789–799 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.08.012>.
76. de Medeiros, J.F., Ribeiro, J.L.D., Cortimiglia, M.N.: Influence of perceived value on purchasing decisions of green products in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 110, 158–169 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.100>.
77. Zhang, H., Ouzrout, Y., Bouras, A., Savino, M.M.: Sustainability consideration within product lifecycle management through maturity models analysis. *IJSOM*. 19, 151 (2014). <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2014.065330>.
78. Lehmann, A., Bach, V., Finkbeiner, M.: EU Product Environmental Footprint—Mid-Term Review of the Pilot Phase. *Sustainability*. 8, 92 (2016). <https://doi.org/10.3390/su8010092>.
79. Khan, F.I., Sadiq, R., Veitch, B.: Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. *Journal of Cleaner Production*. 12, 59–76 (2004). [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00194-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00194-4).
80. Staniszevska, E., Klimecka-Tatar, D., Obrecht, M.: Eco-design processes in the automotive industry. *Production Engineering Archives*. 26, 131–137 (2020). <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.25>.
81. Zhao, W.-B., Park, Y.H., Lee, H.Y., Jun, C.M., Do Noh, S.: Design and Implementation of a PLM System for Sustainable Manufacturing. In: Rivest, L., Bouras, A., and Louhichi, B. (eds.) *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises*. pp. 202–212. Springer, Berlin, Heidelberg (2012). https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_18.
82. GRI - Home, <https://www.globalreporting.org/>, last accessed 2022/08/05.
83. Veleva, V., Ellenbecker, M.: A Proposal for Measuring Business Sustainability: Addressing Shortcomings in Existing Frameworks. *Greener Management International*. 101–120 (2000).
84. Labuschagne, C., Brent, A.C., van Erck, R.P.G.: Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*. 13, 373–385 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007>.
85. Institution of Chemical Engineers - IChemE, <https://www.icheme.org/>, last accessed 2022/08/05.
86. Labuschagne, C.: Sustainable project life cycle management: Criteria for the South African process industry, (2003).
87. Zhao, W.B.: A study on concept design of a PLM system for sustainable engineering. In: *Annual Conference of CAD/CAM*, PyeongChang (2012).

Wybierz drogę do zrównoważonej produkcji

**Skontaktuj
się z nami!**

Transition
Technologies PSC

kontakt@tppsc.pl
www.tppsc.pl



TRANSITION
TECHNOLOGIES