Materiał opracowany w ramach projektu dofinansowanego przez Unię Europejską z programu badań i innowacji Horyzont 2020 na podstawie umowy o dotację nr 101036854.

CIRCULAR FOAM

Nowe spojrzenie na tworzywa sztuczne

Podręcznik o wyzwaniach zrównoważonego rozwoju, rozwiązaniach obiegu zamkniętego i analizie scenariuszowej

Wstęp

Niniejszy podręcznik został opracowany w ramach projektu badawczego „CIRCULAR FOAM – Systemic expansion of territorial CIRCULAR Ecosystems for end-of-life FOAM" (https://circular-foam.eu/), dofinansowanego ze środków Unii Europejskiej. Składa się z trzech modułów zaprojektowanych tak, aby wspierać proces nauki i szkoleń zarówno przedstawicieli środowiska akademickiego, wykładowców i studentów różnych dyscyplin, jak i praktyków z sektora przemysłowego. Moduły mogą być realizowane niezależnie lub w kolejności. Pierwszy z nich to ogólne wprowadzenie do tematyki zrównoważonego rozwoju. Stanowi bazę wiedzy i wprowadzenie do drugiego modułu, który przedstawia koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym oraz omawia strategie „R", takie jak reduse (redukcja), reuse (ponowne użycie) lub recycle (recykling). W ostatnim module omówiono pogłębioną analizę jakościową scenariuszy, wyjaśnienie metody i opis tego, jak i gdzie ją zastosować.

Szczegółowe informacje oraz praktyczne przykłady dotyczące poszczególnych zagadnień można znaleźć w raportach stanowiących rezultaty projektu CIRCULAR FOAM. Raport D1.5 zawiera jakościową analizę scenariuszy dotyczących zakresu projektu, analizuje przyszłość recyklingu tworzyw sztucznych i możliwych systemów cyrkularnych dla wysokowydajnych tworzyw sztucznych, lodówek i materiałów budowlanych.

Raporty D1.1-D1.6 zawierają przede wszystkim analizy regionalne i społeczno-ekonomiczne, natomiast w raportach D7.1-D7.8 zawarte są ilościowe analizy środowiskowe i ekonomiczne. Dodatkowo, inne raporty zgłębiają takie zagadnienia, jak recykling chemiczny, projektowanie i logistyka albo ekonomiczne wykorzystanie wyników.

Zawartość modułów została opracowana, a następnie wykorzystana podczas seminarium „Future Skills" na Uniwersytecie Ruhry w Bochum w Niemczech w semestrze letnim 2025 r. (szczegóły dostępne w raporcie D8.5)[1].

W całym skoroszycie można znaleźć trzy rodzaje pól, które dostarczają dodatkowych informacji:

To pole zawiera definicje, istotne szczegóły oraz dodatkowe informacje i uwagi na dany temat.

To pole ilustruje temat i metody, a także proponuje ćwiczenia, które można wykonać indywidualnie lub w grupach w celu pogłębienia zrozumienia.

To pole proponuje dodatkową literaturę z uwzględnieniem badań naukowych i bieżących dyskusji na dany temat.

[1] Dostęp przez https://circular-foam.eu/

Niniejszy materiał powstał w ramach projektu „CIRCULAR FOAM – Systemic expansion of regional CIRCULAR Ecosystems of End-of-Life FOAM”., który otrzymał dofinansowanie z programu badań i innowacji Unii Europejskiej Horyzont 2020 na podstawie umowy o dotację nr 101036854.

Treść niniejszego dokumentu odzwierciedla jedynie poglądy autorów, a Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek wykorzystanie zawartych w nim informacji.

Informacje bibliograficzne:

Data publikacji: 31 sierpnia 2025 r.

Główni autorzy: Julia Uhlig, Dr.-Ing. David Piorunek, Jana Wegener, Dr. Jan-Hendrik Kamlage

Uniwersytet Ruhr w Bochum (RUB), Bochum, Niemcy

Tłumaczenie i opracowanie w języku polskim: dr hab. Agnieszka Jagoda prof. UEW, dr hab. Jakub Marcinkowski UEW, dr Tomasz Kołakowski UEW, prof. dr hab. inż. Małgorzata Krzywonos UEW, Jakub Pluta, Agnieszka Zięcina, Kamila Okoń

Online: https://circular-foam.eu/

Wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem gospodarowania tworzywami sztucznymi

Tworzywa sztuczne, znane w języku technicznym jako polimery syntetyczne, to klasa materiałów, która zrewolucjonizowała sposób projektowania, produkcji i użytkowania produktów od czasu ich nowoczesnego rozwoju przemysłowego na początku XX wieku (Rasmussen, 2018). Obecnie ich produkcja stanowi istotny aspekt przemysłu chemicznego i technologii we współczesnym społeczeństwie (ibid.), a tym samym w znacznym stopniu przyczynia się do rozwoju społeczno-gospodarczego krajów na całym świecie.

Ze względu na zróżnicowane i regulowane właściwości mechaniczne i funkcjonalne, a także korzystny stosunek wydajności do kosztów, tworzywa sztuczne znajdują zastosowanie niemal we wszystkich sektorach rynku konsumenckiego oraz przemysłowego. Wykorzystuje się je m.in. w opakowaniach, tekstyliach, sprzęcie AGD i produktach codziennego użytku, a także w maszynach przemysłowych, urządzeniach elektrycznych i elektronicznych, transporcie oraz budownictwie (Stegmann i in., 2022). Pomimo technicznych i ekonomicznych zalet gospodarki opartej na tworzywach sztucznych, istnieje kilka wyzwań środowiskowych związanych z ich cyklem życia. Co roku miliony ton plastiku w postaci makro-, mikro- i nanocząstek trafiają do oceanów i wód śródlądowych, a także do ekosystemów lądowych, organizmów żywych i sieci pokarmowych (Bank i Hansson, 2022; Ellen MacArthur Foundation i in., 2016). Ponadto gospodarka tworzywami sztucznymi w istotnym stopniu przyczynia się do globalnej emisji gazów cieplarnianych (GHG), napędzających zmiany klimatyczne. Wynika to z faktu, że większość tworzyw wciąż produkowana jest z ograniczonych zasobów kopalnych, takich jak gaz ziemny i ropa naftowa, a po zakończeniu cyklu życia (EoL) często trafia do spalarni (Bachmann i in., 2023). Niestety, jedynie 5–20% tworzyw sztucznych poddaje się recyklingowi, przy czym wskaźnik ten znacząco różni się w zależności od regionu, a odzysk często prowadzi do uzyskania materiałów i zastosowań o niższej wartości (Amadei i in., 2025; Sheldon i Norton, 2020).

Kolejnym czynnikiem, który pogłębia wyzwania związane z kwestią zrównoważonego rozwoju środowiska, jest przewidywany przyszły rozwój i wzrost produkcji tworzyw sztucznych, ich wykorzystania oraz wytwarzania odpadów. W skali globalnej Stegmann i in. (2022) szacują, że do 2050 r. roczna produkcja tworzyw sztucznych wzrośnie ponad dwukrotnie, a wraz z nią wzrośnie również ilość wytwarzanych odpadów. Na podstawie prawdopodobnych scenariuszy pokazują oni również, że większość wykorzystywanych tworzyw sztucznych będzie powstawać w sektorze budowlanym, gdzie wśród innych tworzyw konstrukcyjnych do izolacji stosowana jest sztywna pianka poliuretanowa (PUR). Dokl i in. (2024) prognozują, że do 2050 r. Unia Europejska może ustabilizować roczne zużycie tworzyw sztucznych na poziomie około 70–80 megaton (Mt), pod warunkiem znaczącej poprawy w zakresie infrastruktury i technologii recyklingu oraz wzrostu wskaźników odzysku.

1.„Zrównoważony rozwój to rozwój, który zaspokaja potrzeby obecnego pokolenia bez ograniczania możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń. Obejmuje on dwie kluczowe koncepcje:

- koncepcję „potrzeb", w szczególności podstawowych potrzeb ubogich na świecie, którym należy nadać najwyższy priorytet; oraz
- koncepcję ograniczeń nakładanych przez stan technologii i organizacji społecznej na zdolność środowiska do zaspokojenia obecnych i przyszłych potrzeb.

[...]

3. Rozwój wiąże się z postępującą transformacją gospodarki oraz społeczeństwa. Ścieżka rozwoju, która jest zrównoważona w sensie fizycznym, mogłaby teoretycznie być realizowana nawet w sztywnych warunkach społecznych i politycznych. Jednakże zrównoważony rozwój fizyczny nie może być zapewniony, jeśli polityka rozwojowa nie uwzględnia takich kwestii, jak zmiany w dostępie do zasobów oraz w podziale kosztów i korzyści. Nawet wąskie pojęcie zrównoważonego rozwoju fizycznego implikuje troskę o sprawiedliwość społeczną między pokoleniami, która logicznie rzecz biorąc, musi zostać rozszerzona na sprawiedliwość wewnątrz każdego pokolenia. (WCED, 1987, s. 41)

Krótki przegląd kompromisu między korzyściami techniczno-ekonomicznymi a wyzwaniami środowiskowymi związanymi z gospodarką tworzywami sztucznymi pokazuje, że oparty głównie na paliwach kopalnych model biznesowy gospodarki tworzywami sztucznymi jest wysoce niezrównoważony ekologicznie. W związku z tym, coraz częściej naukowcy, decydenci polityczni, organizacje pozarządowe oraz inicjatywy przemysłowe apelują o wprowadzenie głębszych i bardziej systemowych zmian. Przykładem takich zmian jest agenda przemysłowa „Nowa gospodarka tworzywami sztucznymi – przemyślenie przyszłości tworzyw sztucznych", która już w 2016 r. wzywała do tego i domagała się „nowego podejścia".

„Aby wyjść poza niewielkie i stopniowe ulepszenia i osiągnąć systemową zmianę w kierunku nowej gospodarki opartej na tworzywach sztucznych, istniejące inicjatywy na rzecz poprawy sytuacji, musiałyby zostać uzupełnione i poprowadzone przez wspólną, globalną inicjatywę współpracy, która odpowiadałaby skali wyzwania i możliwości. Taka inicjatywa obecnie nie istnieje, dlatego należałoby ją stworzyć, kierując się niezależnym organem koordynującym". (Fundacja Ellen MacArthur i in., 2016, s. 23)

Najważniejsze pytanie pozostaje nadal aktualne, jak niedawno wyraźnie sformułowało to Europejskie Wspólne Centrum Badawcze (JCR, 2025): „Czy sektor tworzyw sztucznych może stać się bardziej zrównoważony?". Amadei i in. (2025) przeanalizowali przepływy materiałów w całym łańcuchu wartości tworzyw sztucznych w 27 państwach członkowskich

UE w 2022 r. i wykazali, że „spalanie i składowanie odpadów nadal stanowią dominujące metody gospodarowania odpadami w UE-27”. W związku z tym JCR zaleca realizację kluczowych strategii na rzecz obiegu zamkniętego w łańcuchu wartości tworzyw sztucznych:

„Usprawnienie zbiórki i sortowania odpadów z tworzyw sztucznych ograniczyłoby straty tworzyw sztucznych w środowisku, usprawniłoby recykling i ostatecznie promowałoby bardziej zamkniętą pętlę łańcucha wartości.

W badaniu podkreślono, że połączenie mechanicznego i chemicznego recyklingu może okazać się fundamentalne.

Recykling chemiczny, który obecnie stanowi znikomy udział w tym sektorze, może w rzeczywistości umożliwić zarządzanie materiałami, których nie można poddać recyklingowi przy użyciu innych metod”. (Wspólne Centrum Badawcze, 2025 r.)

Podsumowując, programy przemysłowe i plany działania, takie jak „Nowa gospodarka tworzywami sztucznymi” (Fundacja Ellen MacArthur i in., 2016) lub „Transformacja tworzyw sztucznych” z ambitnymi celami, takimi jak „zerowa emisja netto do 2050 r.” (Plastics Europe, 2024), zgodnie z najnowszymi badaniami naukowymi, pokazują, że wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem gospodarki tworzywami sztucznymi wymagają bardziej wspólnych, transformacyjnych oraz systemowych zmian, aby zmniejszyć obecny wpływ na środowisko i zapobiec jego przewidywanemu wzrostowi do 2050 r.

Środowisko akademickie i nauczanie

Jakie podejścia badawcze są najbardziej istotne dla rozwoju Twojej dyscypliny w zakresie opracowywania zrównoważonych alternatyw lub strategii dotyczących cyklu życia i wpływu tworzyw sztucznych na środowisko?

Z akademickiej perspektywy, jakie najważniejsze bariery systemowe utrudniają osiągnięcie bardziej przyjaznej dla środowiska gospodarki tworzywami sztucznymi?

W jaki sposób Twoje badania lub inicjatywy dydaktyczne mogą wspierać niezbędne zmiany oparte na współpracy i transformacji – zarówno w Twojej dziedzinie, jak i w innych obszarach, aby skutecznie pokonać te bariery?

Przemysł

W jaki sposób Twoja firma może wykorzystać zalety techniczne tworzyw sztucznych, wprowadzając jednocześnie innowacje w zakresie projektowania produktów, doboru materiałów lub procesów produkcyjnych, aby znacznie zmniejszyć zależność od ograniczonych zasobów kopalnych?

Jeśli Twoja firma działa w branży tworzyw sztucznych, np. w sektorach charakteryzujących się dużą skalą produkcji i długim cyklem życia produktów, jakie konkretne wyzwania inżynieryjne i możliwości stwarzają powyższe kwestie związane ze zrównoważonym rozwojem?

W jaki sposób dział B+R lub zespół techniczny mogą aktywnie przyczynić się do bardziej systemowej zmiany w kierunku zrównoważonego rozwoju, np. w ramach strategii, działalności, sieci łańcucha dostaw lub rozwoju produktów Twojej firmy?

Jakie konkretne rozwiązania inżynieryjne lub optymalizacje procesów może wdrożyć Twoja firma, aby zmniejszyć swój ślad węglowy i inne oddziaływania na środowisko związane z produkcją, wykorzystaniem lub zarządzaniem końcem cyklu życia tworzyw sztucznych?

Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej na temat systemowych podejść do poprawy zrównoważenia środowiskowego, zapoznaj się z poniższymi koncepcjami i odpowiednimi badaniami:

- Cele zrównoważonego rozwoju (SDG) (Departament Spraw Gospodarczych i Społecznych ONZ, 2025)
- Granice planetarne i zdrowie (Światowe Forum Ekonomiczne i in., 2025)
- Ślad ekologiczny i dzień przekroczenia (Global Footprint Network, 2025)

Gospodarka obiegu zamkniętego i strategie „R”

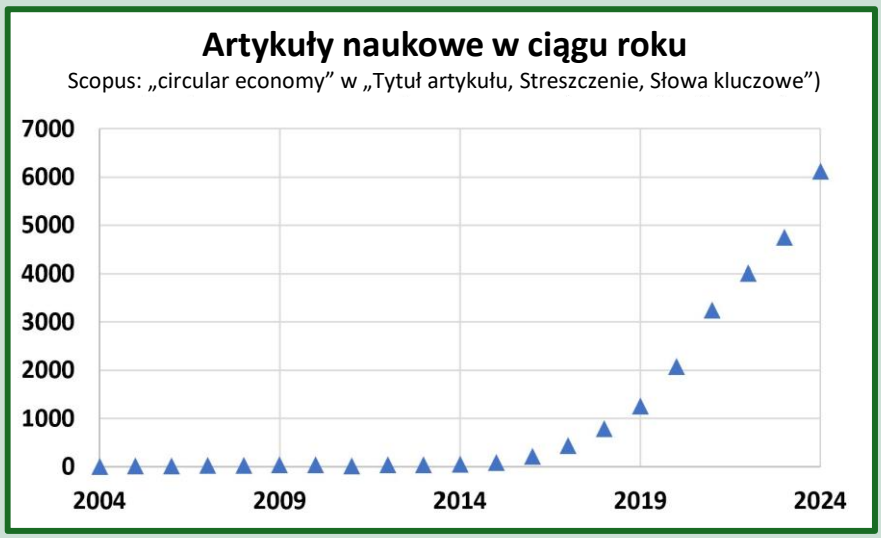
Gospodarka obiegu zamkniętego

Wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem środowiska odgrywają kluczową rolę w podejściach opartych na gospodarce obiegu zamkniętego (GOZ), których celem jest zmniejszenie wykorzystania zasobów naturalnych, minimalizowanie ilości odpadów i emisji oraz wspieranie recyklingu materii i odzyskiwania energii. Systemowe rozwiązania cyrkularne obejmują nie tylko recykling i odzysk, ale koncentrują się też na bardziej racjonalnym wytwarzaniu i użytkowaniu produktów, wydłużaniu żywotności produktów oraz ich części, a także na tworzeniu użytecznych zastosowań materiałów (Potting i in., 2017).

W odniesieniu do terminu „gospodarka obiegu zamkniętego" istnieją kluczowe koncepcje i podejścia, które zostały zaproponowane i zbadane zarówno przez środowisko akademickie, jak i przemysł. Z perspektywy systemowej, GOZ można rozumieć jako wizję systemu gospodarczego, który dąży do zmiany paradygmatu – zastąpienia liniowej koncepcji końca życia (od kołyski do odpadu) systemem cyrkularnym, który zachowuje wartość materiałów i produktów tak długo i tak efektywnie, jak to możliwe w całym łańcuchu wartości. Co więcej, zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju, rozwiązania GOZ powinny tworzyć sprawiedliwą równowagę pomiędzy interesami gospodarki, ochrony środowiska i sprawiedliwości społecznej (Bachmann i in., 2023; Kirchherr i in., 2023).

Holistycznym przykładem koncepcji GOZ, podkreślającym systemową współzależność procesów, jest idea "od kołyski do kołyski" (Cradle to Cradle – C2C) autorstwa McDonough i Braungart (2002), zwizualizowana na Rys. 2 (Müller, 2022).

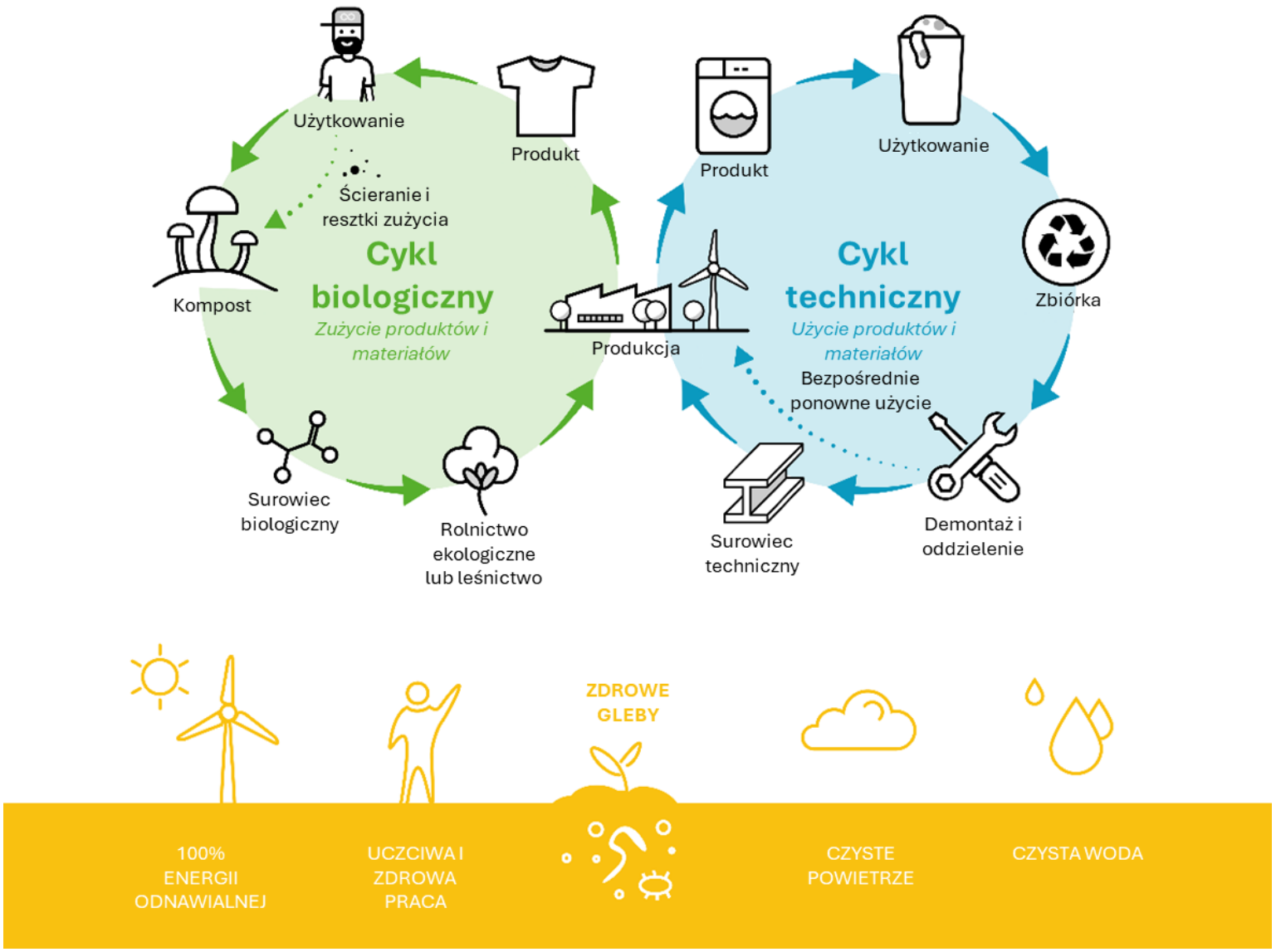
W środowisku akademickim zainteresowanie GOZ znacznie wzrosło, zwłaszcza w latach 2014-2024, co widać na poniższym wykresie:



Rys. 1. Artykuły naukowe na temat gospodarki obiegu zamkniętego w latach 2004-2024.

Zgodnie z koncepcją C2C, celem projektowania materiałów, produktów i systemów jest stworzenie w pełni zamkniętych, przyjaznych dla środowiska, pętli materiałowych. W cyklu biologicznym, pokazanym po lewej stronie, procesy regeneracyjne i proekologiczne pomagają w zamykaniu obiegu. Oznacza to, że produkty po okresie użytkowania, stają się ponownie organicznymi składnikami odżywczymi. Cykl techniczny po prawej stronie wymaga bardziej skoordynowanych działań do zamknięcia obiegu – takich jak demontaż i rozdzielenie komponentów – po to, by części produktu mogły zostać wykorzystane ponownie, a surowce techniczne poddane recyklingowi. Główną motywacją obydwu cykli jest maksymalne wydłużenie żywotności materiałów i produktów oraz minimalizowanie strat systemowych i negatywnego wpływu na środowisko, w tym emisji gazów cieplarnianych czy obecności substancji toksycznych i niebezpiecznych.

Co więcej, rola „konsumenta" lub „użytkownika" różni się istotnie w zależności od przyjętego modelu - regeneracyjnego lub technicznego. W cyklu biologicznym konsumenci w idealnym przypadku nie muszą martwić się o utylizację swoich ekologicznych produktów, ponieważ zostały one zaprojektowane jako biodegradowalne składniki odżywcze lub do wykorzystania w procesach biochemicznych, bez uwalniania szkodliwych substancji do środowiska (Braungart i in., 2007). Natomiast w cyklu technicznym kluczowa jest aktywna rola użytkowników w zbieraniu i sortowaniu produktów lub ich części, co pozwala zamknąć cenne pętle materiałowe i wdrożyć odpowiednie rozwiązania gospodarki o obiegu zamkniętym. Dla projektantów i inżynierów oznacza to konieczność ponownego przemyślenia projektowania materiałów, systemów i produktów poprzez „zmianę sposobu, w jaki tworzymy rzeczy" (ibid.) – tak, aby były one korzystne i pozytywne, nie tylko dla gospodarki, ale także dla środowiska i społeczeństwa.



Rys. 2. „Cradle to cradle", wizualizacja diagramu systemów gospodarki obiegu zamkniętego (Müller, 2022, na podstawie: Braungart & McDonough).

Strategie „R”

Strategie „R”, takie jak redukcja (reduction), ponowne użycie (reuse) lub recykling (recycling), stały się uznanymi podejściami gospodarki o obiegu zamkniętym. Mogą one wspierać środowiska akademickie, konsumentów, firmy oraz decydentów w mierzeniu się z wyzwaniami zrównoważonego rozwoju oraz inspirować ich do poszukiwania rozwiązań cyrkularnych. Logika strategii „R” zapewnia proste wejście w koncepcje GOZ – zachęca np. do ponownego przemyślenia liniowych modeli biznesowych poprzez promowanie udostępniania lub wypożyczania produktów zamiast ich kupowania. Może również pomóc w zbadaniu konkretnych pomysłów na rozwiązania cyrkularne odpowiadające na wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem – takie jak ograniczenie spalania odpadów z tworzyw sztucznych poprzez nowe procesy recyklingu. Rozwój naukowy i/lub przemysłowy, a także wdrażanie i ewaluacja potencjalnych rozwiązań cyrkularnych mogą następnie pogłębiać wiedzę i wspierać skuteczniejsze działania na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Jeśli chcesz zagłębić się w akademicką dyskusję na temat koncepcji GOZ i uzyskać dobry przegląd literatury naukowej, możesz zapoznać się z badaniem "Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions", Kirchherr et al. (2023), z którego pochodzi poniższy cytat:

„Coraz większa zgodność panuje co do podstawowych zasad gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ), 70 do 80 procent artykułów uznaje „ponowne użycie” i „recykling" za jej kluczowe filary, podobnie jak w analizie z 2017 r. Istotne jest jednak to, że coraz więcej definicji podkreśla również, że konieczne jest wprowadzenie fundamentalnych zmian systemu, które mają wspierać transformację w kierunku GOZ. W związku z tym wydaje się, że GOZ nie da się wdrożyć wyłącznie poprzez stopniowe zmiany". (Kirchherr i in., 2023, s. 9).

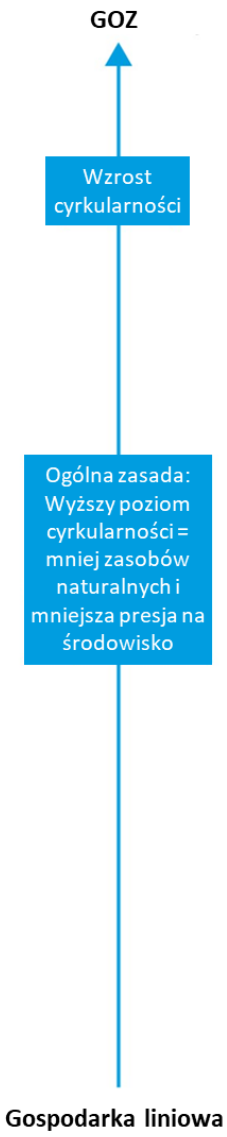
Pytaniem przewodnim może być:

Która z strategii „R” najlepiej odpowiada na Twoje wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem – poprzez inteligentniejsze wykorzystanie produktów i procesów produkcyjnych, wydłużenie żywotności produktów i ich części i/lub stworzenie użytecznych zastosowań dla materiałów? (por. Potting i in., 2017).

Dobrym punktem wyjścia do lepszego zrozumienia i wyboru strategii „R” może być raport polityki „Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain” (Potting i in. (2017). Jego autorzy opracowali ramy koncepcyjne do oceny roli innowacji w transformacji GOZ i zastosowali je do różnych przypadków, zarówno hipotetycznych, jak i praktycznych, obejmujących m.in. opakowania z tworzyw sztucznych oraz sprzęt elektryczny i elektroniczny. Kluczowym wynikiem raportu jest lista 10 strategii „R”, uporządkowanych priorytetowo, od działań o najwyższym stopniu cyrkularności (niski numer R) po strategie o niskiej cyrkularności (wysoki

numer R). Układ ten przypomina tzw. „Drabinę Lansinka” stosowaną w gospodarce odpadami (WasteOnline, 2022). Podstawowym założeniem przyjętych ram jest hipoteza, że wyższy poziom cyrkularności generalnie przekłada się na większe korzyści dla środowiska.

Strategie „R” zostały pogrupowane w trzy kategorie. Pierwsza grupa „inteligentniejsze użytkowanie i wytwarzanie produktów” o najwyższym priorytecie obiegu zamkniętego obejmuje odmowę (R0), przemyślenie (R1) i ograniczenie (R2). Środkowa kategoria składa się ze strategii, które „wydłużają żywotność produktów i ich części” poprzez ponowne użycie (R3), naprawę (R4), odnowienie (R5), produkcję wtórną (R6) i zmianę przeznaczenia (R7). „Użyteczne zastosowanie materiałów” obejmuje recykling (R8) i odzyskiwanie (R9), które należą do dobrze ugruntowanych rozwiązań przemysłowych w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym, służących zamykaniu pętli materiałowych i odzyskiwaniu energii cieplnej (Kirchherr i in., 2023). Fragment ilustracji ramowej strategii „R” autorstwa Pottinga i in. (2023, s. 5), przedstawiono na Rys. 3, wraz z definicjami poszczególnych strategii.



Strategie		
Inteligentne użytkowanie i wytwarzanie produktów	R0 Odmowa (Refuse)	Uczynienie produktu zbędnym przez porzucenie jego funkcji lub oferowanie tej samej funkcji z radykalnie innym produktem
	R1 Przemyślenie (Rethink)	Zwiększenie intensywności użytkowania produktów (np. przez dzielenie się produktami lub wprowadzanie na rynek produktów wielofunkcyjnych)
	R2 Redukcja (Reduce)	Zwiększenie wydajności produkcji lub użytkowania produktu poprzez zużycie mniejszej ilości zasobów naturalnych i materiałów
Wydłużenie żywotności produktu i jego części	R3 Ponowne użycie (Re-use)	Ponowne użycie przez innego konsumenta wyrzuconego produktu, który jest nadal w dobrym stanie i spełnia swoją pierwotną funkcję
	R4 Naprawa (Repair)	Naprawa i konserwacja wadliwego produktu, tak aby mógł być używany zgodnie ze swoją pierwotną funkcją
	R5 Odnowienie (Refurbish)	Przywracanie starego produktu i unowocześnienie go
	R6 Produkcja wtórna (Remanufacture)	Wykorzystanie części zbędnego produktu w nowym produkcie o tej samej funkcji
	R7 Zmiana przeznaczenia (Repurpose)	Wykorzystanie niepotrzebnego produktu lub jego części w nowym produkcie o innej funkcji
Użyteczne zastosowanie materiałów	R8 Recykling (Recycle)	Przetwarzanie materiałów w celu uzyskania tej samej (wysokiej) lub niższej (niskiej) jakości
	R9 Odzysk (Recover)	Spalanie materiałów z odzyskiem energii

Rys. 3. Strategie obiegu zamkniętego w łańcuchu produkcyjnym, w kolejności priorytetów (Potting i in., 2017, s. 5).

Zapraszamy do zapoznania się z założeniami strategii „R” opracowanymi przez Pottinga i in. (2017). Na przykładzie studiów przypadku dotyczących „opakowań z tworzyw sztucznych” oraz „sprzętu elektrycznego i elektronicznego” (Potting i in., 2017, s. 23-28) można zobaczyć praktyczne zastosowanie tych strategii i dowiedzieć się m.in. jak konsumenci mogą odmówić lub ponownie wykorzystać plastikowe butelki, a także kiedy warto zastosować regenerację lodówek i zamrażarek.

Środowisko akademickie i nauczanie

Biorąc pod uwagę znaczny wzrost zainteresowania akademickiego tematyką GOZ w latach 2014-2024, czy pracowałeś już nad wyzwaniami związanymi z GOZ w projektach badawczych lub czy korzystałeś z koncepcji i literatury GOZ w nauczaniu? Które aspekty badania/nauczania GOZ stanowią największe wyzwanie? Dlaczego?

Co sądzisz o następującym twierdzeniu: „rozwiązania GOZ powinny tworzyć, zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, sprawiedliwą równowagę między interesami gospodarczymi, ochroną środowiska i aspektami sprawiedliwości społecznej”? Czy zgadzasz się z tym stwierdzeniem? Nie zgadzasz się? Przedyskutuj to z punktu widzenia swojej dyscypliny, czy sprawiedliwa równowaga jest możliwa do osiągnięcia i/lub przedyskutuj możliwe kompromisy ze swoim zespołem/studentami.

W jaki sposób koncepcja „od kołyski do kołyski” (C2C), która dąży do w pełni zamkniętych biologicznych lub technicznych pętli materiałowych, może zostać efektywnie wykorzystana w dydaktyce, aby zilustrować różne role konsumentów oraz specyficzne wymagania projektowe w obu cyklach?

Jakie rodzaje studiów przypadku lub ćwiczeń praktycznych z Twojej dyscypliny, podobne do przykładów „opakowań z tworzyw sztucznych” oraz „sprzętu elektrycznego i elektronicznego” u Pottinga i in. (2017), przychodzą Ci do głowy? Przygotuj i omów odpowiednie przykłady ze swoim zespołem badawczym/studentami, stosując pytanie przewodnie: „Która strategia „R” najlepiej pasuje do rozwiązania wyzwania związanego ze zrównoważonym rozwojem?”

W jaki sposób społeczność akademicka może przyczynić się do interdyscyplinarnego rozwoju naukowego, wdrażania i oceny potencjalnych rozwiązań cyrkularnych opartych na konkretnych strategiach „R”, szczególnie tych rzadziej stosowanych w przemyśle, takich jak „Odmowa” (R0), „Przemyślenie” (R1) i „Redukcja” (R2)?

Przemysł

W jaki sposób Twoja firma obecnie interpretuje i wdraża podejście GOZ, w szczególności dążąc do zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych, minimalizacji odpadów i emisji lub wspierania recyklingu materii i odzyskiwania energii?

W jaki sposób można dokonać ponownej oceny procesów projektowania i wytwarzania produktów w firmie przez pryzmat koncepcji „od kołyski do kołyski" (C2C), aby przejść do w pełni zamkniętych biologicznych lub technicznych pętli materiałowych? Czy ta idealistyczna koncepcja ma zastosowanie? Jeśli nie, to dlaczego? Z jakimi rodzajami wyzwań ekonomicznych, środowiskowych lub społecznych musiałbyś się zmierzyć, gdy ponownie przemyślisz swój model biznesowy lub materiały i produkty, których używasz / produkujesz?

W jaki sposób Twoja organizacja radzi sobie z wyzwaniem zaangażowania konsumentów i użytkowników produktów, aby zapewnić ich udział w zbieraniu i sortowaniu części w celu zamknięcia cennych pętli materiałowych? Czy czerpią oni korzyści z Twojego modelu biznesowego, może w sposób ekonomiczny, środowiskowy lub psychologiczny? Jeśli nie, to dlaczego i jak można go zmienić?

Jakie wyzwania lub możliwości dostrzegasz w przejściu od stopniowych zmian w wysiłkach na rzecz zrównoważonego rozwoju do przyjęcia bardziej fundamentalnych zmian systemowych wymaganych do kompleksowego zastosowania różnych strategii „R" w całym łańcuchu wartości?

Poza uznanymi rozwiązaniami przemysłowymi, takimi jak Recykling (R8) i Odzysk (R9), w jaki sposób Twoja firma aktywnie bada i wdraża strategie „R" o wyższym priorytecie, takie jak Odmowa (R0), Przemyślenie (R1) i Redukcja (R2), aby osiągnąć "inteligentniejsze użytkowanie i wytwarzanie produktów"?

Które strategie „R" z kategorii "wydłużenie żywotności produktów i ich części" – ponowne użycie (R3), naprawa (R4), odnowienie (R5), regeneracja (R6) lub zmiana przeznaczenia (R7) – oferują największy potencjał korzyści dla środowiska i wartości ekonomicznej w ramach obecnego portfolio produktów i jakie kroki są obiecujące i wykonalne, aby je zintegrować?

Jeśli produkujesz lub używasz materiałów o wysokiej wartości, złożonych i/lub inżynieryjnych – takich jak zaawansowane stopy, kompozyty lub wysokowydajne tworzywa sztuczne/polimery – która strategia „R" najlepiej pasuje do twojego systemu materiałowego i cyklu życia? Dlaczego? Jakie kompromisy i/lub synergie dostrzegasz przy stosowaniu konkretnej strategii „R" w odniesieniu do ekonomicznych, środowiskowych i społecznych celów zrównoważonego rozwoju Twojej firmy?

W jaki sposób Ty i Twoja firma zapewniacie, że materiały o wysokiej wartości są zbierane, oddzielane i przetwarzane w sposób, który maksymalizuje zachowanie ich wartości materiałowej i umożliwia recykling wysokiej jakości z powrotem do zastosowań o podobnej jakości, zamiast obniżania ich wartości do zastosowań o niższej wartości?

Jakościowa Analiza Scenariuszowa

Analiza scenariuszowa to metoda wykorzystywana w różnych kontekstach i dziedzinach – zarówno w interdyscyplinarnym obszarze studiów nad przyszłością w ujęciu naukowym, jak i jako narzędzie wspierające podejmowanie decyzji strategicznych w obszarach takich jak zarządzanie kryzysowe, polityka publiczna czy biznes. Można ją zatem zaklasyfikować do interdyscyplinarnych metod badania przyszłości, które zyskują coraz większą popularność i znaczenie ze względu na dynamiczną i szybko zmieniającą się sytuację globalną (Greeuw i in., 2000, s. 6; Bradfield i in., 2005, s. 796). Metoda scenariuszowa zajmuje się przewidywanym rozwojem strukturalnym w przyszłości oraz jego konsekwencjami. Istnieje wiele różnych podejść, definicji i technik, które prowadzą do dużej różnorodności możliwych sposobów adaptacji tej metody, dostosowanych do określonych zagadnień (Bishop i in., 2007; Bradfield i in., 2005, s. 795; Gausemeier i in., 1998; Kosow & Gaßner, 2008, s. 9, 18; van Notten i in., 2003, s. 424).

Scenariusz to wiarygodna, racjonalna i możliwa do przyjęcia wizja przyszłości. Scenariusze nie roszczą sobie prawa do bycia prognozami, samospełniającymi się przepowiedniami ani kompletnymi obrazami. Kluczowe znaczenie ma nie tylko samo prawdopodobne wyobrażenie przyszłości i systematyczna droga do jego osiągnięcia, lecz także przedstawienie kilku alternatywnych ścieżek i wizji, które należy jasno zarysować i uzasadnić. Scenariusze ukazują różne możliwości rozwoju i dostarczają reguł wspierających proces podejmowania decyzji.

Celem metody scenariuszowej jest zatem opisanie kilku możliwych kierunków rozwoju do określonego momentu w przyszłości (Geschka & Schwarz-Geschka, 2012, s. 3; Kosow & Gaßner, 2008, s. 9).

Podejścia: jakościowe, ilościowe i mieszane

Istnieją różne podejścia, które można wykorzystać do opracowywania scenariuszy, co powoduje brak jednego, uniwersalnego i powszechnie stosowanego postępowania. Podstawowe rozróżnienie dotyczy podejść systematyczno-sformalizowanych oraz kreatywno-narracyjnych. W pierwszym z nich kluczowe czynniki, które mają wpływ na przyszłość danego zjawiska zostają jednoznacznie zdefiniowane, a następnie są wariantowane i łączone w celu otwarcia tzw. lejka scenariuszowego i opracowania poszczególnych scenariuszy. Identyfikowane są wszystkie czynniki wpływu związane z danym zagadnieniem (zjawiskiem), aby możliwe było ich porównanie i analiza wzajemnych interakcji. W ten sposób dla każdej pary czynników określa się relacje wzajemne. Podejście to bywa określane mianem podejścia modelowego, ponieważ często wykorzystuje się w nim dodatkowe oprogramowanie teleinformatyczne.

Klasyczne techniki tego podejścia to analiza wpływu, analiza spójności oraz analiza oddziaływań krzyżowych (Kosow & Gaßner, 2008, s. 38; van Notten i in., 2003, s. 427).

Z kolei podejścia kreatywno-narracyjne opierają się na logice intuicyjnej i ujmują rozwój scenariuszy jako proces w dużej mierze napędzany kreatywnością oraz wiedzą uczestników. Kreatywność i wykorzystanie technik twórczego myślenia jak np. burza mózgów stanowią bowiem cenne i istotne elementy poważnej refleksji nad przyszłością (Pillkahn, 2008, s. 190).

Jednocześnie w podejściu tym stosuje się również lejek scenariuszowy w odniesieniu do sformalizowanych charakterystyk czynników kluczowych. W tym kontekście świadomie wykorzystuje się techniki twórczego myślenia i wiedzę ukrytą. Proces projektowany jest jako podejście partycypacyjne, przy czym opiera się na tych samych podstawowych zasadach, co podejście systematyczno-sformalizowane. Do typowych technik należą tu logika intuicyjna oraz scenariusze normatywno-narracyjne.

W praktyce projektowania procesu scenariuszowego należy jednak pamiętać, że granice między tymi dwoma podejściami są płynne. Konkretne ujęcie poszczególnych analiz rzadko ma charakter typowy (idealny) – techniki jednego podejścia mogą zostać bardziej sformalizowane, a techniki drugiego rozwinięte w sposób bardziej kreatywny, co prowadzi do powstania podejścia mieszanego.

Istnieje szeroka gama podejść i technik, które można zastosować w analizie scenariuszowej. Wynika to z faktu, że proces tworzenia scenariusza musi być za każdym razem dostosowany do danej sytuacji i do pytania badawczego, na które ma dać odpowiedź. Z tego powodu nie istnieje jedno podejście uniwersalne ani powszechnie obowiązujące.

Wybór metodyki opiera się na trzech parametrach, które mają kluczowe znaczenie dla projektowania procesu: celu projektu, dostępnych zasobów oraz treści, które mają zostać wypracowane (Bradfield i in., 2005; Kosow & Gaßner, 2008, s. 61).

Przegląd możliwych technik i narzędzi stosowanych w bardziej jakościowych lub ilościowych ujęciach można znaleźć w opracowaniu: Kosow, H., Gaßner, R., 2008. Methods of Future Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria. https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf.

Cele metody scenariuszowej

Analiza scenariuszowa w sposób systematyczny bada możliwe konsekwencje dla teraźniejszości. Jej celem jest wyjaśnianie procesów transformacyjnych oraz wspieranie postrzegania i rozumienia zmian. Ponadto umożliwia eksplorację potencjału zmian poprzez określone działania, a także identyfikację szans wpływania na pojawiające się trendy.

Podstawą analizy scenariuszowej jest zestaw różnych czynników wpływu, które stanowią punkt wyjścia do nakreślenia możliwych scenariuszy przyszłości w zależności od przyjętych założeń. Scenariusze te uwzględniają zarówno przewidywane kierunki rozwoju, jak i niepewne zmiany oraz nowe czynniki, które mogą wejść w grę. W efekcie analiza nie daje

pełnego obrazu przyszłości, lecz dostarcza wglądu w określone, szczególnie istotne jej aspekty.

Analiza scenariuszowa może służyć różnym celom. Ważne jest, aby przed jej przeprowadzeniem uwzględnić możliwe alternatywy, co pozwala skonkretyzować proces i nadać projektowi badawczemu odpowiedni kształt (van Notten i in., 2003, s. 426).

Można wyróżnić cztery główne funkcje tworzenia scenariuszy (Kosow & Gaßner, 2009, s. 18):

- funkcja eksploracyjna i/lub naukowa,
- funkcja komunikacyjna,
- funkcja konkretyzacji i formułowania celów,
- funkcja wspierania decyzji i kształtowania strategii.

Po pierwsze, analiza scenariuszowa może wspierać koncepcję i rozumienie badanego zagadnienia, gdyż pozwala identyfikować granice wiedzy (takie jak niepewności, luki i złożoność) oraz wyjaśniać procesy zmian. Może też badać możliwości ingerencji i zapobiegania potencjalnym katastrofalnym skutkom działania czynników wpływu. W ten sposób pogłębia wiedzę i jednocześnie ujawnia jej ograniczenia.

Po drugie, scenariusze mogą być tworzone jako element procesu komunikacji oraz pełnić funkcję narzędzia wspierającego zrozumienie danego tematu lub problemu w zróżnicowanej grupie odbiorców. Mogą również wspomagać komunikację i przekaz informacji, a tym samym poszerzać zakres rozumowania.

Trzecią funkcją analizy scenariuszowej jest wspieranie rozwoju i konkretyzacji celów, które powinny być osiągane lub przynajmniej brane pod uwagę. Scenariusze mogą służyć jako narzędzie do opracowywania normatywnych, idealnych wizji przyszłości lub do refleksji nad pożądanym kierunkiem przyszłych zmian.

Ostatnia z funkcji ukazuje, że analiza scenariuszowa stanowi narzędzie, które można włączyć do procesów decyzyjnych i planowania strategicznego, gdyż pomaga ona identyfikować granice wiedzy oraz ograniczać niepewność i złożoność. Tworzy tym samym przejrzyste alternatywy dla działań i pozwala wskazać możliwe ryzyka oraz szanse.

Identyfikacja tematu badawczego i refleksja nad celem oraz ograniczeniami jakościowej analizy scenariuszowej

Krok 1: Wybór tematu badawczego

Wybierz konkretny temat badawczy, który może być analizowany z wykorzystaniem jakościowej analizy scenariuszowej (np. zmiany klimatyczne, cyfryzacja, opieka zdrowotna).

Krok 2: Określenie celu

Zapisz trzy cele, które chcesz osiągnąć dzięki analizie scenariuszowej (np. identyfikacja luk badawczych, eksploracja możliwości interwencji).

Krok 3: Refleksja nad ograniczeniami

Zastanów się, jakie decyzje subiektywne będziesz musiał(a) podjąć i w jaki sposób możesz uczynić je przejrzystymi. Krótko omów, w jaki sposób włączenie interesariuszy może zwiększyć wiarygodność i odporność opracowanych scenariuszy.

Krok 4: Praktyczna implementacja

Opracuj przykład pokazujący jak można wykorzystać wyniki analizy do uniknięcia negatywnych skutków. Stwórz krótką listę możliwych działań interwencyjnych.

Jakościowa analiza scenariuszowa ma często charakter interdyscyplinarny i angażuje w proces istotnych interesariuszy. Wzbogaca to analizę i zwiększa odporność tworzonych scenariuszy.

Ograniczeniem jakościowej analizy scenariuszowej jest to, że z reguły nie prowadzi ona do tworzenia prognoz ani predykcji, ponieważ jej celem jest kreowanie i opisywanie alternatywnych wizji przyszłości w wyobrażalnej przestrzeni rozciągającej się od teraźniejszości do określonego momentu w przyszłości. Niezależnie od wybranego podejścia, analiza scenariuszowa zawsze w pewnym stopniu zawiera elementy decyzji subiektywnych.

Lejek wiarygodnych scenariuszy

Metoda scenariuszowa uwzględnia analizę lejka scenariuszowego w określonym punkcie czasowym. Różne charakterystyki lub czynniki wpływu do tego momentu są wybierane, łączone i kondensowane w scenariusze. Wybór czynników oraz ich charakterystyk zależy od zainteresowania badawczego wiedzą w danym projekcie.

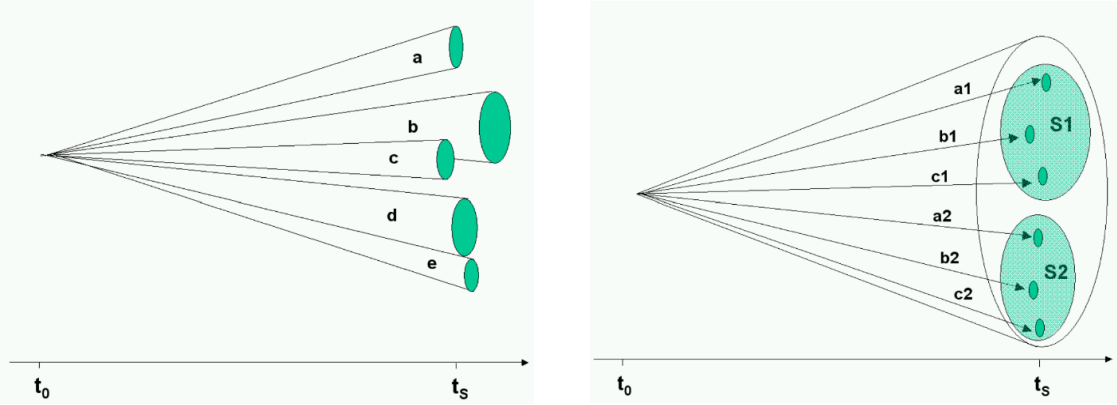
Lejek scenariuszowy, który ukazuje zakres możliwego przyszłego rozwoju, rozciąga się pomiędzy scenariuszami skrajnymi – optymistycznym (desirable) oraz pesymistycznym (undesirable) – które wyznaczają granicę możliwej przyszłości (Rys. 4, grafika po prawej). Ogólnie rzecz biorąc, w ramach analizy scenariuszowej można stworzyć niemal nieskończoną liczbę obrazów przyszłości. Zazwyczaj jednak liczba scenariuszy jest ograniczana, aby analiza pozostała możliwa do przeprowadzenia. W literaturze informacja o pożądanej liczbie scenariuszy jest zróżnicowana, jednak najczęściej zaleca się, aby wynosiła od czterech do maksymalnie dziesięciu – chyba że sam temat badawczy wymaga większej liczby (np. gdy cechuje się wysoką złożonością i dużą niepewnością albo gdy celem jest stworzenie szerokiego spektrum zróżnicowanych scenariuszy dla określonego zastosowania). Liczba scenariuszy nie powinna być mniejsza niż cztery, ponieważ przy trzech scenariuszach istnieje ryzyko orientacji na scenariusz środkowy. Dwa scenariusze tworzą dwa ekstrema: optymistyczny i pesymistyczny, co pozostawia niewielką przestrzeń dla

Dodatkowe wprowadzenie do koncepcji przyszłości i scenariuszy można znaleźć tutaj:

"How to navigate our uncertain future" by April Rinne at TEDxFrankfurt (06.01.2020): https://www.youtube.com/watch?v=mlzyH8kodCs

"Coping With Uncertainty" by MindToolsVideos (28.10.2019): https://www.youtube.com/watch?v=S3CU2kOBt3s

"Futurist Peter Schwartz on planning for the unthinkable" by INSEAD (27.04.2012): https://www.youtube.com/watch?v=hzEVNeIH_Z4



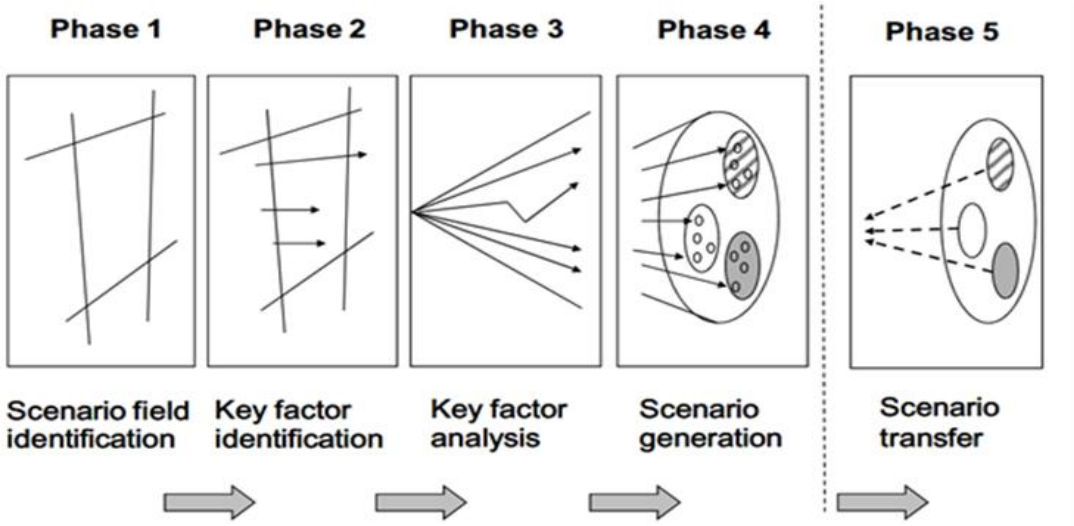
Rys. 4. Lejek czynnikowy i lejek scenariuszowy. (Kosow & Gaßner, 2008, s. 15).

kreatywności i otwartej dyskusji nad badanym zagadnieniem. Stworzenie tylko jednego scenariusza sprawia natomiast, że zaczyna on być odbierany jako scenariusz najbardziej prawdopodobny (Pillkahn, 2008, s. 200).

Etapy analizy scenariuszowej

Ogólnie rzecz biorąc, proces scenariuszowy można podzielić na pięć etapów (faz), które projektuje się przy użyciu różnych technik w zależności od przyjętego podejścia (Rys. 5; Gausemeier i in., 1998, s. 115; Kosow & Gaßner, 2008, s. 24).

W **pierwszej fazie** definiuje się **„pole scenariuszowe”** poprzez określenie przedmiotu badań i wyznaczenie granic analizy. Ten etap wskazuje, co mają wyjaśniać tworzone scenariusze, a także określa obiekt badań oraz ramy tematyczne scenariuszy, jak również ograniczenia samej analizy scenariuszowej. Ponadto ustalany jest zakres analizy scenariuszowej, który konkretyzuje projekt. Wyznacza się również perspektywę badania: w przypadku zamkniętego pola projektowego, takiego jak organizacja, zasadnicze znaczenie mają czynniki wewnętrzne. Perspektywa środowiskowa koncentruje się przede wszystkim na czynnikach zewnętrznych, takich jak oddziaływania otoczenia, natomiast tzw. scenariusze systemowe



Rys. 5. Pięć etapów analizy scenariuszowej (Kosow & Gaßner, 2008, p. 25).

badają wzajemne powiązania między obydwoma typami czynników.

Kluczowe jest wybranie tematu konkretnego i jednoznacznego, z jasną definicją, co podkreśla potrzebę precyzyjnego opisania tego, co scenariusze mają wyjaśnić.

PRZYKŁAD Przykładowe tematy w kontekście tego podręcznika ćwiczeniowego mogą obejmować:

- przyszłość recyklingu tworzyw sztucznych – zrównoważony system GOZ dla tworzyw wysokowydajnych,
- przyszłość gospodarowania odpadami z tworzyw sztucznych na obszarach miejskich,
- cyrkularne modele biznesowe w branży modowej,
- ograniczanie marnotrawstwa żywności w gospodarstwach domowych.

Faza druga: identyfikacja kluczowych czynników wpływu. Na tym etapie identyfikowane są czynniki kluczowe, które opisują pole scenariuszowe i mają na nie wpływ, bądź z którymi samo pole oddziałuje na otoczenie. Stanowią one centralny punkt odniesienia w całym procesie i mogą obejmować trendy, zmienne, parametry, procesy rozwojowe, a nawet pojedyncze zdarzenia. Można je identyfikować poprzez pogłębione badania literaturowe (desk research) lub w sposób partycypacyjny, na przykład za pomocą wywiadów eksperckich, które mogą służyć również do zewnętrznej weryfikacji ustaleń wynikających z analizy literaturowej. Istnieje także wiele innych technik, których zastosowanie może być adekwatne w zależności od przedmiotu analizy scenariuszowej.

Kluczowe znaczenie ma ograniczenie wszystkich możliwych czynników wpływu związanych z danym zagadnieniem do możliwej do opanowania liczby najważniejszych czynników, określanych mianem kluczowych czynników wpływu. Jedną z metod, która może temu służyć, jest macierz Wilsona, omówiona w kolejnym rozdziale. Czynnikami kluczowymi są te elementy, które mają największe znaczenie dla przyszłego rozwoju badanego zagadnienia (zjawiska) oraz które jednocześnie charakteryzują się największą nieprzewidywalnością w odniesieniu do możliwych kierunków przyszłego rozwoju (Pillkahn, 2008, s. 202).

Innym użytecznym narzędziem jest analiza **PESTEL**. Jest to analiza otoczenia, która identyfikuje czynniki wpływu w sześciu kategoriach, od których pochodzi jej nazwa: polityczne, ekonomiczne, społeczno-kulturowe, technologiczne, środowiskowo-geograficzne oraz prawne (European Commission, b.d.; Karadzhov & Patarchanova, 2025; Kaufmann, 2021, s. 19).

Analiza ta może wspierać proces gromadzenia i systematyzowania czynników w tej fazie (Wegener i in., 2025, s. 27).

PRZYKŁAD W kontekście przyszłości recyklingu tworzyw

Dogłębną analizę scenariuszową dotyczącą **„Przyszłości recyklingu tworzyw sztucznych – zrównoważonego systemu cyrkularnego dla tworzyw wysokowydajnych”**, obejmującą wszystkie niezbędne etapy realizacji analizy, można znaleźć w: Wegener i in., 2025.

sztucznych w Unii Europejskiej przykładowymi czynnikami kluczowymi mogą być: globalna odpowiedzialność i koordynacja (czynnik polityczny), rozwój usług cyfrowych i dostępność danych (czynnik ekonomiczny), świadomość gospodarki o obiegu zamkniętym (czynnik społeczno-kulturowy), projektowanie z myślą o cyrkularności (czynnik technologiczny), znaczenie transformacji ekologicznej dla przedsiębiorstw (czynnik środowiskowo-geograficzny) oraz systemy zachęt finansowych dla zbiórki (czynnik prawny).

Faza trzecia: analiza kluczowych czynników wpływu i określenie ich możliwych projekcji.

W trzeciej fazie czynniki kluczowe poddawane są pogłębionej analizie, a ich możliwe przyszłe charakterystyki zostają opisane i zestawione. Nacisk kładzie się tutaj na określenie i wyjaśnienie tychże charakterystyk. Etap ten realizowany jest w literaturze na różne sposoby i zawsze obejmuje elementy intuicyjne oraz kreatywne, wspierające wyobrażanie sobie różnych możliwości rozwoju przyszłości. Powszechnie stosuje się pogłębione badania literaturowe (desk research) oraz wywiady, ale możliwe są również podejścia twórczo-intuicyjne, takie jak techniki burzy mózgów. Wywiady eksperckie mogą dodatkowo służyć do weryfikacji uzyskanych wyników.

Celem tej fazy jest identyfikacja możliwych kierunków rozwoju każdego czynnika kluczowego, określanego jako charakterystyki, projekcje lub warianty. Oznacza to, że dla każdego czynnika wpływu buduje się kilka wariantów projekcji.

PRZYKŁAD

W kontekście przyszłości recyklingu tworzyw sztucznych znaczenie transformacji ekologicznej dla przedsiębiorstw może w przyszłości zostać uznane za priorytet niskiego rzędu, co skutkowałoby podejściem „działania zgodnie z procedurą", które można określić jako pierwszą projekcję. Alternatywnie, czynnik ten mógłby zostać uznany za priorytet wysoki, skłaniając przedsiębiorstwa do przyjęcia roli pionierów i agentów zmiany — projekcja druga.

Ogólna analiza morfologiczna (General Morphological Analysis, GMA) to metoda służąca do systematycznego strukturyzowania i analizowania całego zbioru powiązań zawartych w wielowymiarowych, niekwantyfikowalnych złożonych problemach."

W jej ramach identyfikowane i definiowane są parametry, którym przypisywany jest zakres odpowiednich wartości lub stanów. Tworzy się w ten sposób **pole morfologiczne** (*morphological field*), w którym parametry zestawiane są ze sobą w układzie tabelarycznym (Rys. 6).

W kontekście analizy scenariuszowej pole morfologiczne może obrazować czynniki kluczowe i ich projekcje oraz wspierać badanie wszystkich konfiguracji, które są wiarygodne, spójne i istotne (Ritchey, 2009, s. 1; Ritchey, 2001, s. 83).

Parameter A	Parameter B	Parameter C	Parameter D
Condition A1	Condition B1	Condition C1	Condition D1
Condition A2	Condition B2	Condition C2	Condition D2
Condition A3	Condition B3	Condition C3	
Condition A4		Condition C4	
		Condition C5	

Rys. 6. Pole morfologiczne (Ritchey, 2009, p. 3)

Faza czwarta: generowanie scenariuszy
Na tym etapie scenariusze są opracowywane i kondensowane. Uwzględnia się tutaj nie tylko zidentyfikowane kluczowe czynniki wpływu, lecz także ich projekcje, które są systematycznie zestawiane. Proces ten polega na tworzeniu spójnych pakietów poszczególnych projekcji czynników w możliwe do zaistnienia scenariusze. Celem jest opracowanie różnych scenariuszy, które są wewnętrznie spójne, a zarazem zróżnicowane względem siebie z uwagi na różne projekcje, ilustrując tym samym lejek analizy scenariuszowej.

Faza ta zamyka analizę scenariuszową w węższym znaczeniu i może być realizowana przy użyciu pola morfologicznego, które obrazuje przeprowadzoną analizę i zapewnia uporządkowany przegląd czynników kluczowych oraz ich projekcji.

Faza piąta: transfer scenariuszy (opcjonalna)

Piąta faza ma charakter opcjonalny i odnosi się do transferu scenariuszy. Nie stanowi ona bezpośrednio części procesu ich tworzenia, lecz dotyczy dalszego wykorzystania lub opracowania wygenerowanych scenariuszy. Transfer ten może wspierać realizację różnych funkcji, które powinna spełniać analiza scenariuszowa, a także pełnić rolę narzędzia komunikacyjnego służącego do dalszego przekazywania, wyjaśniania i upowszechniania opracowanych scenariuszy.

Możliwe formy transferu obejmują m.in. ilustracje, narracje lub materiały wideo. Jakościowy transfer scenariuszy ma zwykle charakter twórczy i kreatywny.

Przećwicz fazy jakościowej analizy scenariuszowej na niewielkim, dobrze definiowalnym temacie.

Krok 1: Określenie pola scenariuszowego

- Temat: wybierz możliwy do opanowania temat, mało złożone zjawisko, dla którego chcesz ustalić kilka scenariuszy rozwoju.
- Zakres: określ perspektywę (czynniki wewnętrzne, zewnętrzne lub systemowe) oraz horyzont czasowy analizy.

Krok 2: Identyfikacja kluczowych czynników kluczowych
Zidentyfikuj czynniki, które mają istotny wpływ na przyszłość opisywanego przez Ciebie tematu (zjawiska).

Krok 3: Analiza kluczowych czynników wpływu
Na podstawie badań i wywiadów opisz możliwe projekcje kluczowych czynników. Możesz także wykorzystać techniki burzy mózgów do wyobrażenia sobie różnych możliwych kierunków rozwoju oraz przeprowadzić wspólny warsztat ekspercki w celu weryfikacji i dopracowania wyników.

Krok 4: Generowanie scenariuszy
Zastosuj pole morfologiczne (morphological box) do systematycznego łączenia kluczowych czynników i ich projekcji, a następnie wybierz optymalną liczbę scenariuszy (np. 4-6), które najlepiej reprezentują najbardziej wiarygodne i istotne wizje przyszłości.

Krok 5: Transfer

Na podstawie scenariuszy opracuj możliwe działania lub rekomendacje dotyczące wybranego tematu. Zastanów się, w jaki sposób scenariusze mogą zostać wykorzystane do wspierania procesów decyzyjnych lub rozwoju strategii.

Przykład możliwych form transferu scenariuszy można znaleźć tutaj: Friedrich-Ebert-Stiftung, Global Future and International Organization for Migration. Tomorrow's World of Migration. Geneva, Switzerland: FES, Global Future, IOM, 2017.

Podejście minimalne, standardowe i maksymalne

Według Pillkahna (2008, s. 200) istnieją różne podejścia, które można zastosować do analizy scenariuszy: podejście minimalne, podejście standardowe i podejście maksymalne. Reprezentują one rosnące poziomy głębi metodologicznej i staranności strukturalnej w strategicznym planowaniu scenariuszy. Każde podejście odpowiada różnym poziomom złożoności, dostępnym zasobom i pożądanej głębokości analizy, od metod o niskiej złożoności i efektywnych pod względem zasobów, po wysoce zaawansowane procedury oparte na badaniach.

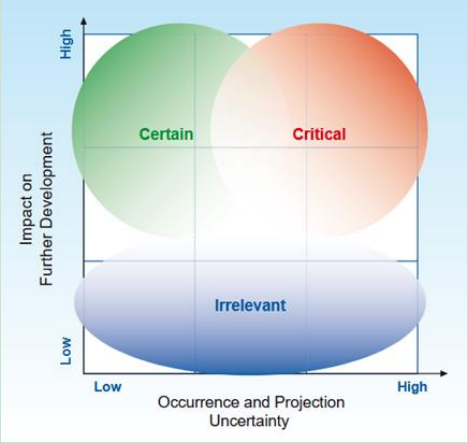
Podejście minimalistyczne stanowi najbardziej uproszczoną formę analizy scenariuszy, skupiającą się wyłącznie na podstawowych krokach niezbędnych do uzyskania wstępnych wniosków. Zazwyczaj stosuje się je w sytuacjach, gdy czas i zasoby są ograniczone lub gdy celem jest szybkie zorientowanie się w niestabilnym lub niepewnym środowisku strategicznym.

Powszechnie stosowanym narzędziem w podejściu standardowym jest macierz Wilsona (Pillkahn, 2008, s. 202).

Każdy czynnik wpływu analizowany w procesie scenariuszowym oceniany jest pod kątem dwóch kryteriów: stopnia niepewności dotyczącej jego dalszego rozwoju oraz potencjalnego wpływu na rozwój analizowanego zagadnienia.

Szczególnie ważne są czynniki o wysokim stopniu niepewności i dużym wpływie. Są one uważane za „czynniki krytyczne" i stają się kluczowymi czynnikami analizy. Czynniki o dużym wpływie, ale niskim stopniu niepewności są uważane za czynniki pewne i są takie same dla każdego tworzonego scenariusza. Czynniki nieistotne mają niewielki wpływ i mogą charakteryzować się niskim lub wysokim stopniem niepewności. Są one również takie same dla każdego scenariusza.

Macierz Wilsona może być wykorzystywana zarówno w procesach partycypacyjnych - do identyfikacji czynników kluczowych, pewnych i nieistotnych – jak i jako praktyczne narzędzie wizualizacji złożonych zależności.



Rys. 7. Macierz Wilsona (Pillkahn, 2008, s. 202).

W ramach tego podejścia identyfikuje się tylko najważniejsze czynniki wpływu i wykorzystuje je do sformułowania niewielkiego zestawu, często składającego się tylko z dwóch niepewnych czynników. Stosowane techniki obejmują szybkie badania źródłowe, krótkie i ukierunkowane warsztaty eksperckie, proste prognozy jakościowe oraz matrycę czterech kwadrantów. Chociaż metoda ta poświęca szczegółowość na rzecz szybkości i wydajności, może być bardzo cenna jako punkt wyjścia do bardziej rozbudowanych prac scenariuszowych.

Podejście standardowe zazwyczaj rozpoczyna się od systematycznej identyfikacji i analizy kluczowych czynników i niepewności, których liczba wynosi zazwyczaj od 3 do 8. Proces opracowywania scenariuszy często prowadzi do powstania wielu prawdopodobnych konfiguracji przyszłości, które nadal są możliwe do opanowania, obejmujących nie tylko skrajne wyniki, ale także możliwości pośrednie. Powszechnie stosuje się takie metodologie, jak tworzenie scenariuszy oparte na macierzach, np. macierzy Wilsona, analizie morfologicznej, interdyscyplinarnych panelach ekspertów i ustrukturyzowanych warsztatach. Podejście standardowe sprawdza się szczególnie w przypadku planowania strategicznego przedsiębiorstw, projektowaniu polityki publicznej oraz w innych procesach decyzyjnych, w których trzeba uwzględnić umiarkowaną złożoność i niepewność, bez konieczności angażowania się w wysoce zasobochłonne projekty badawcze.

Podejście maksymalne stanowi najbardziej rygorystyczną metodologicznie i wymagającą pod względem zasobów formę analizy scenariuszy. Jest ono zazwyczaj zarezerwowane dla kontekstów wymagających wysokiej precyzji, kompleksowego uwzględnienia niepewności związanych zazwyczaj z ponad ośmioma niepewnymi czynnikami oraz zdolności do modelowania złożonych powiązań, takich jak ramy polityki na dużą skalę, strategie korporacyjne o wysokiej stawce lub projekty prognostyczne oparte na badaniach. W tym przypadku proces analityczny obejmuje szeroki zestaw etapów: identyfikację istotnych czynników, przeprowadzenie dynamicznego modelowania systemu, analizę wzajemnych oddziaływań oraz iteracyjne udoskonalanie scenariuszy poprzez liczne warsztaty eksperckie. Metody ilościowe, takie jak analiza wzajemnych oddziaływań, analiza spójności, macierz Wilsona, analiza morfologiczna, są często łączone z wiedzą ekspercką w zakresie metod jakościowych. Wynikiem jest zestaw solidnych scenariuszy, które nie tylko uwzględniają skrajne możliwości, ale także odzwierciedlają zróżnicowane, wielowymiarowe zmiany. Podejście to ułatwia wczesne wykrywanie słabych sygnałów, badanie ryzyka systemowego oraz identyfikację strategii odpornych na dużą niepewność.

Te trzy podejścia zapewniają wszechstronne spektrum metodologiczne, umożliwiając analitykom dostosowanie zakresu, głębokości i złożoności analizy scenariuszy

do potrzeb strategicznych, dostępności zasobów i kontekstu decyzyjnego. Podczas gdy podejście minimalne priorytetowo traktuje szybkość i wykonalność, podejście standardowe równoważy praktyczność z bogactwem analitycznym, a podejście maksymalne zapewnia najwyższy poziom solidności metodologicznej kosztem znacznych nakładów zasobów.

Zastanów się nad ostatnią decyzją strategiczną lub wyzwaniem związanym z planowaniem w Twojej organizacji, badaniach lub życiu codziennym. Określ, które podejście scenariuszowe byłoby najbardziej odpowiednie, i uzasadnij swój wybór w oparciu o kontekst, dostępne zasoby i złożoność związanych z tym niepewności.

Jakie czynniki skłoniły Cię do wyboru tego podejścia i w jaki sposób proces analizy scenariuszowej mógłby poprawić jakość decyzji w Twoim konkretnym przypadku?

Bibliografia

Amadei, A., Venturelli, S., Manfredi, S., 2025. Plastics materials flows in the EU-27 and their environmental impacts: Unveiling the European plastic value chain. Publications Office, Luxembourg, 102 pp.

Bachmann, M., Zibunas, C., Hartmann, J., Tulus, V., Suh, S., Guillén-Gosálbez, G., Bardow, A., 2023. Towards circular plastics within planetary boundaries. Nat Sustain 6, 599–610. https://doi.org/10.1038/s41893-022-01054-9.

Bank, M.S., Hansson, S.V., 2022. The Microplastic Cycle: An Introduction to a Complex Issue, in: Bank, M.S. (Ed.), Microplastic in the Environment: Pattern and Process. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–16.

Bishop, P., Hines, A., Collins, T., 2007. The current state of scenario development: an overview of techniques. Foresight, Vol. 9 No. 1, 5-25. https://doi.org/10.1108/14636680710727516.

Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., van der Heijden, K., 2005. The irigins and evolution of scenario techniques in long range business planning. In Futures 37, 795-812. doi:10.1016/j.futures.2005.01.003

Braungart, M., McDonough, W., Bollinger, A., 2007. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. Journal of Cleaner Production 15, 1337–1348. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003.

Dokl, M., Copot, A., Krajnc, D., Fan, Y. V., Vujanovic, A., Aviso, K. B., Tan, R. R., Kravanja, Z., Cucek, L., 2024. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. Sustainable Production and Consumption Vl. 51, 498-518. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.025.

Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, McKinsey & Company, 2016. The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics: Industry Agenda. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.

European Commission. N.d. https://wikis.ec.europa.eu/pages/viewpage.action?pageId=50109048.

Fink, A., Schlake, O., Siebe, A., 2001. Erfolg durch Szenario-Management. Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau, Frankfurt am Main.

Friedrich-Ebert-Stiftung, Global Future and International Organization for Migration. Tomorrow's World of Migration. Geneva, Switzerland: FES, Global Future, IOM, 2017.

Gausemeier, J., Fink, A., Schlake, O., 1998. Scenario Management: An Approach to Develop Future Potentials. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00166-2.

Global Footprint Network, 2025. Earth Overshoot Day. https://overshoot.footprintnetwork.org/ (accessed 18 August 2025).

Greeuw, S. C.H., van Asselt, M. B.A., Grosskurth, J., Storms, C. A.M.H., Rijkens-Klomp, N., Rothman, D. S., Rotmans, J., 2000. Cloudy crystal balls. An assessment of recent European and

global scenario studies and models. Copenhagen, Denmark: EEA, Environmental issues series 17.

Haigh, N., 2019. Scenario planning for climate change – A guide for strategists. https://doi.org/10.4324/9781351016353

Hoffart, F. M., Schmitt E.-J., Roos, M., 2021. Rethinking Economic Energy Policy Research – Developing Qualitative Scenarios to Identify Feasible Energy Policies, J. sustain. dev. energy water environ. syst., 9(2), 1080331, https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0331

Joint Research Centre, 2025. Can the plastics sector become more sustainable? https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/can-plastics-sector-become-more-sustainable-2025-08-11_en (accessed 13 August 2025).

Karadzhov, V., Patarchanova, E., 2025. How to Create the Best PESTEL Analysis. International Journal of Digital Research Vol. 1(3), 3033-179X. https://doi.org/10.63711/ijdr.net20250301.

Kaufmann, T., 2021. Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Analyse und Beurteilung der strategischen Ausgangslage, Berlin.

Kirchherr, J., Yang, N.-H.N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M.J., Hartley, K., 2023. Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. Resources, Conservation and Recycling 194, 107001. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001.

Kosow, H., Gaßner, R., 2008. Methods of Future Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria. https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf.

McDonough, W., Braungart, M., 2002. Cradle to cradle: Remaking the way we make things, 1st ed. North Point Press, New York, NY, 193 pp.

Müller, F.J., 2022. Cradle to Cradle - A concept by M. Braungart and W. McDonough. CC BY-SA 4.0: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cradle_to_Cradle_concept.png (accessed 27 August 2025).

Pillkahn, U., 2008. Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development, Erlangen.

Plastics Europe, 2024. The Plastics Transition: Our industry's roadmap for plastics in Europe to be circular and have net-zero emissions by 2050. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/PlasticsEurope_Summary_24.10.pdf (accessed 13 August 2025).

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A., 2017. Circular economy: Measuring innovation in the product chain: English translation of the report 'Circulaire economie: Innovatie meten in de keten', The Hague. https://research-portal.uu.nl/files/40538049/Circular.pdf (accessed 19 August 2025).

Rasmussen, S.C., 2018. Revisiting the Early History of Synthetic Polymers: Critiques and New Insights. Ambix 65, 356–372. https://doi.org/10.1080/00026980.2018.1512775.

Ritchey, T., 2011. Modeling Alternative Futures with General Morphological Analysis. World Futures Review. DOI: 10.1177/194675671100300105

Ritchey, T., 2009. Future Studies using General Morthological Analysis. https://www.swemorph.com/pdf/futures.pdf (accessed 28 August 2025).

Roos, M., Kamlage, J.-H., Schmitt, E.-J., 2022. Klimaresiliente Kommunalpolitik, Bochum.

Rotmans, J., van Asselt, M., Anastasi, C., Greeuw, S., Mellors, J., Peters, S., Rothman, D., Rijkens, N., 2000. Visions for a sustainable Europe, in: Futures Nr. 32/2000, S. 809–831. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(00)00033-1

Sheldon, R.A., Norton, M., 2020. Green chemistry and the plastic pollution challenge: towards a circular economy. Green Chem. 22, 6310–6322. https://doi.org/10.1039/d0gc02630a.

Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M., van Vuuren, D.P., Junginger, M., 2022. Plastic futures and their CO2 emissions. Nature 612, 272–276. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05422-5.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2025. The Sustainable Development Goals Report 2025, New York. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2025.pdf (accessed 18 August 2025).

Van Notten, P. W.F., Rotmans, J., van Asselt, M., Rothman, D. S., 2003. An updated scenario typology, in: Futures 35/2003, S. 423-443. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3

WasteOnline, 2022. The hierarchy of waste. https://wasteonline.uk/blog/the-hierarchy-of-waste/ (accessed 20 August 2025).

Wegener, J., Piorunek, D., Uhlig, J., Stehr, C., Jagoda, A., Kiba-Janiak, M., Kołakowski, T., Marcinkowski, J., Zięcina, A., Białas, P., Boermans, D., Leminski, D., 2025. Report on “Dialog-based format for implementation with partners in industry, science, administration” D1.5. https://circular-foam.eu/Outcomes/Deliverables/_/CIRCULAR%20FOAM_Deliverable%201.5.pdf (access 27 August 2025).

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

World Economic Forum, PIK, CDP, 2025. State of Nature and Climate 2025 - Centre for Nature and Climate: Briefing Paper. https://reports.weforum.org/docs/WEF_State_of_Nature_and_Climate_2025.pdf (accessed 18 August 2025).

Wulf, T., Meißner, P., Stubner, S., 2010. A Scenario-based Approach to Strategic Planning – Integrating Planning and process Perspective of Strategy, Working Paper No. 6, Leipzig.