Politechnika Łódzka
Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji

Dr inż. Andrzej Marcinkowski

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,
w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy – w sposób jednoznaczny wyróżniony w autoreferacie, w formie papierowej,
w języku polskim i języku angielskim

Załącznik 3
do wniosku dr inż. Andrzeja Marcinkowskiego
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria produkcji

Łódź 2019

SPIS TREŚCI

1. IMIĘ I NAZWISKO 3
2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE 3
3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH 3
4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO 4
a) Tytuł osiągnięcia naukowego 4
b) Wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe 4
c) Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników 5
Wprowadzenie 5
Metodyka 8
Wyniki badań 13
Podsumowanie 29
5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH 31
6. PLANY HABILITANTA 38

1. IMIĘ I NAZWISKO

Andrzej Marcinkowski

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

2004 **Uzyskany stopień naukowy:** doktor nauk technicznych
w dyscyplinie inżynieria chemiczna
Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska
Tytuł rozprawy: *Wypływ cieczy nienewtonowskich oraz mieszanin dwufazowych ciecz-gaz ze zbiornika*
Promotor:
prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński – Politechnika Łódzka
Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Stanisław Witczak – Politechnika Opolska,
prof. dr hab. inż. Czesław Kuncewicz – Politechnika Łódzka

1998 **Uzyskany tytuł zawodowy:** magister inżynier
Kierunek studiów: inżynieria środowiska
Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska
Tytuł pracy magisterskiej: *Piroliza i zgazowanie odpadów stałych*
Promotor:
prof. dr hab. inż. Stanisław Ledakowicz – Politechnika Łódzka

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Przebieg pracy zawodowej

od 2009	adiunkt Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji Politechniki Łódzkiej (do 2017 r. pod nazwą Wydział Organizacji i Zarządzania), Instytut Nauk Społecznych i Zarządzania Technologiami
2005-2009	adiunkt Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Łódzkiej, Katedra Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej
2004-2005	adiunkt Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Łódzkiej, Instytut Zarządzania
1998-2004	doktorant Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej

4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Zgodnie z art. 16, ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) osiągnięcie naukowe określa się tytułem:

Przestrzenne granice korzyści środowiskowej inicjatyw symbiozy przemysłowej

b) Wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe

Osiągnięcie naukowe zostało opublikowane i rozpowszechnione w formie jednotematycznego cyklu 4 publikacji, składającego się z: 1 artykułu naukowego przyjętego do druku i opublikowanego w wersji "proof" w czasopiśmie indeksowanym przez ***Web of Science*** i ***SCOPUS*** (II kwartyl), 1 publikacji w wydawnictwie konferencyjnym, które jest w fazie indeksacji przez ***Web of Science****,* 1 rozdziału w pracy zbiorowej oraz monografii współautorskiej, w której indywidualny wkład habilitanta wynosi 60% i jest wydzielony w postaci odrębnej autorskiej treści.

[1] **Marcinkowski A.**, *Ocena cyklu życia modyfikacji łańcucha dostaw zorientowanej prośrodowiskowo*, [w:] Bielecki M., Galińska B., Walaszczyk A. (red.), Zarządzanie logistyką – aktualne problemy i wyzwania, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2018

[2] **Marcinkowski A.**, *Environmental efficiency of industrial symbiosis – LCA case study for gypsum exchange*, Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, Proceedings of XV International Conference, MAPE 1(1), s. 793-800, 2018

[3] Luciński W., **Marcinkowski A.**, *Symbioza przemysłowa: efektywność środowiskowa, organizacja i finansowanie parków ekoprzemysłowych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2018

Indywidualny udział habilitanta w powstanie tej monografii wynosi **60%** i obejmuje ok. **6 arkuszy** wydawniczych głównie w ramach **autorskich rozdziałów** pt.:

- *Wpływ symbiozy przemysłowej na środowisko,* s. 13-47*,*
  (rozdział zawierający przegląd literatury)
- *Bilans środowiskowy powiązań symbiotycznych, s. 48-96*
  (rozdział zawierający część badawczą).

Recenzenci monografii:
dr hab. Arkadiusz Kowalski, Szkoła Główna Handlowa
dr hab. Małgorzata Koszewska, Politechnika Łódzka

[4] **Marcinkowski A.**, *The Spatial Limits of Environmental Benefit of Industrial Symbiosis – Life Cycle Assessment Study*, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, DOI: 10.13044/j.sdewes.d7.0270, artykuł przyjęty do druku i opublikowany w 2019 r. w wersji "proof" na stronie internetowej czasopisma (www.sdewes.org/jsdewes/pixd7.0270) w otwartym dostępie, (czasopismo plasujące się w II kwartylu bazy ***SCOPUS*** indeksowane również przez ***Web of Science***).

c) Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników

Wprowadzenie

Ideą **symbiozy przemysłowej** jest przekazywanie wytwarzanych przez dany zakład przemysłowy strumieni odpadowych do innego przedsiębiorstwa, w którym zostają one wykorzystane do celów produkcyjnych jako substytut odpowiedników pochodzenia naturalnego. W idealnym układzie symbiozy przemysłowej, odpady i energia wymieniane są między uczestnikami systemu, dzięki czemu następuje redukcja ilości wytwarzanych odpadów, a jednocześnie zmniejszenie zużycia pierwotnych materiałów i energii. Sieć łańcuchów dostaw współpracujących przedsiębiorstw przypomina zależności istniejące w naturalnych ekosystemach, w których wszystkie odpady zostają wykorzystane.

Model biznesowy symbiozy przemysłowej, definiowanej jako współpraca między przedsiębiorstwami, gdzie odpady lub produkty uboczne[1] jednej firmy stają się surowcem dla innej, został zidentyfikowany jako kluczowy czynnik umożliwiający realizację koncepcji **gospodarki obiegu zamkniętego**. Rozwój ekosystemów przemysłowych jest jednym z najbardziej obiecujących i dostępnych zarazem sposobów urzeczywistniania doktryny **rozwoju zrównoważonego**. Symbioza przemysłowa wpisuje się tym samym w bardzo aktualne nurty badawcze reprezentowane przez naukowców z całego świata.

Z punktu widzenia ekonomicznego inicjatywy symbiotyczne zapewniają redukcję kosztów utylizacji odpadów, a z drugiej strony umożliwiają korzystanie z tańszych surowców produkcyjnych. Taki model współpracy w łańcuchu dostaw przyczynia się do uzyskania przewagi konkurencyjnej uczestników poprzez wykorzystywanie efektu synergii wzmacnianego bliską odległością między instalacjami przemysłowymi współpracujących firm.

Bliska odległość między przedsiębiorstwami jest jednym z najistotniejszych czynników warunkujących sukces przedsięwzięć symbiotycznych, ponieważ ma ona bezpośredni wpływ na koszt transportu odpadów. Wartość odpadów jest zwykle niewielka, nie opłaca się zatem transportować ich na znaczną odległość, gdyż koszt transportu mógłby przewyższyć oszczędności wynikające z ich zagospodarowania. W większości inicjatyw symbiotycznych opisywanych w literaturze uczestniczą przedsiębiorstwa zlokalizowane na ograniczonym obszarze nazywanym parkiem ekoprzemysłowym. Wyniki dotychczasowych badań wskazują na istotny potencjał korzyści ekonomicznych wynikających z istniejącej współpracy.

Jednak idea ekosystemów przemysłowych powstała również z myślą o możliwości generowania korzyści środowiskowych. Wykorzystanie strumieni odpadowych przez współpracujące przedsiębiorstwo jest niewątpliwie okolicznością przynoszącą korzyść środowiskową. Współpraca taka niesie jednak ze sobą konieczność poniesienia pewnej straty środowiskowej wynikającej z wpływu transportu odpadów na środowisko. Odległość między powiązanymi technologicznie instalacjami przemysłowymi jest więc w tym kontekście kluczowa, ponieważ od niej zależy uzasadnienie ekologiczne podejmowanej współpracy symbiotycznej. W

[1] odpady i produkty uboczne mają odmienny status prawny, czego habilitant jest świadomy; jednak ze względu na specyfikę symbiozy przemysłowej określenia są stosowane zamiennie, co jest spotykaną praktyką w literaturze przedmiotu

przypadku zbyt dużych odległości korzyść środowiskowa wynikająca z zagospodarowania odpadu może być zniwelowana przez negatywny wpływ na środowisko transportu odpadów. Problem ten może dotyczyć m.in. tzw. wirtualnych parków ekoprzemysłowych, charakteryzujących się sieciami współpracy, której uczestnicy nie znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie. Pomimo stwierdzonej opłacalności finansowej, uzasadnienie środowiskowe poszczególnych inicjatyw symbiotycznych nie jest oczywiste i wymaga weryfikacji. W przypadku otrzymania negatywnego wyniku weryfikacji danej współpracy, świadczącego o tym, że środowiskowe straty przewyższają uzyskane korzyści, istnieje wątpliwość, czy analizowane przedsięwzięcie można określać mianem symbiozy przemysłowej.

Bilans wpływu na środowisko w przypadku pojedynczego powiązania symbiotycznego jest uwarunkowany następującymi składowymi:

- korzyść środowiskowa wynikająca z wykorzystania odpadowego strumienia materiałowego lub energetycznego,
- korzyść środowiskowa wynikająca z braku konieczności utylizacji odpadu w konwencjonalny sposób,
- korzyść środowiskowa wynikająca z braku konieczności przetransportowania odpadu do miejsca utylizacji,
- strata środowiskowa wynikająca z konieczności przetransportowania odpadu do miejsca wykorzystania,
- strata środowiskowa wynikająca z konieczności wstępnego przygotowania lub przetworzenia produktu ubocznego, tak aby mógł służyć jako surowiec lub medium w procesie produkcji,
- strata środowiskowa wynikająca z konieczności modyfikacji procesu technologicznego umożliwiającej zastosowanie pozyskanego strumienia odpadowego.

Złożoność badanego problemu determinuje wybór metody wyznaczenia wpływu na środowisko. Zastosowana metoda powinna umożliwić określenie oddziaływania na środowisko wynikającego z różnorodnej natury pogarszania stanu środowiska (wykorzystanie zasobów naturalnych, emisja szkodliwych substancji do powietrza, zrzut ścieków, składowanie odpadów). Ponadto, ponieważ symbioza przemysłowa polega na współpracy przedsiębiorstw, ocena wpływu na środowisko nie może ograniczać się do analizy pojedynczej firmy. Potrzebne jest znacznie szersze podejście uwzględniające oddziaływanie na środowisko **całego łańcucha dostaw** począwszy od wydobycia surowców mineralnych, a skończywszy na utylizacji odpadów. Ponadto, zastosowana metoda powinna brać pod uwagę możliwość przemieszczania obciążenia środowiska między uczestnikami łańcucha dostaw oraz pomiędzy kategoriami wpływu na środowisko. Metodą, która spełnia wymienione warunki, jest **ocena cyklu życia**, ang. *life cycle assessment* (LCA).

Mimo jednak że światowa literatura zidentyfikowała potrzebę oceny wpływu na środowisko inicjatyw symbiotycznych i LCA jest rekomendowanym narzędziem do jej wykonania, dotychczas opublikowano niewiele prac przedstawiających wyniki badań symbiozy przemysłowej uwzględniających perspektywę cyklu życia. Większość opublikowanych prac skupia się na analizie pojedynczego systemu przemysłowego, w którym przedsiębiorstwa zlokalizowane są w stosunkowo niewielkiej odległości od siebie. W pracach tych wpływ odległości między współpracującymi firmami na

środowisko zwykle nie był badany. Niektórzy autorzy założyli, że oddziaływania transportu odpadów do miejsca utylizacji oraz do miejsca wykorzystania równoważą się, co skutkowało wyeliminowaniem wpływu transportu z zakresu badań. Uzasadnienie środowiskowe inicjatyw symbiotycznych było zwykle weryfikowane pozytywnie. Jednak w niektórych przypadkach wyniki wskazywały, że wypadkowy wpływ na środowisko był negatywny, lub też, że korzyść środowiskowa została przeważona przez stratę, gdy założono większą odległość transportu materiału.

Takie spostrzeżenie pozwala na identyfikację czterech określonych luk poznawczych dotyczących różnych aspektów podejmowanego zagadnienia. Z rozpoznanych niedoborów wyłania się **luka teoretyczna** wynikająca z niedostatecznego rozpoznania i braku opisu wpływu odległości między instalacjami przemysłowymi powiązanymi w ramach współpracy symbiotycznej na sumaryczną korzyść środowiskową takich przedsięwzięć, a także niedoboru koncepcji modelu badawczego symbiozy przemysłowej, w którym odległość między uczestnikami współpracy symbiotycznej byłaby zmienną niezależną. Wynika stąd również **luka metodyczna** dotycząca niedoboru wypracowanych metod badania wpływu odległości między uczestnikami różnych inicjatyw symbiotycznych na ich uzasadnienie środowiskowe. Przeprowadzony przegląd literatury umożliwił również identyfikację **luki empirycznej** wynikającej z niedostatku badań wpływu odległości transportowania różnych produktów ubocznych na wypadkowe oddziaływanie inicjatyw symbiotycznych na środowisko, jak również **luki praktycznej** wynikającej z niedoboru opracowanych zasad i rekomendacji dla praktyki gospodarczej wspomagających procesy decyzyjne przedsiębiorców, władz i lokalnych podmiotów dążących do redukcji wpływu przemysłu na środowisko. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia projektowania ekosystemów przemysłowych, a także planowania inicjatyw polegających na zagospodarowaniu przemysłowych strumieni odpadowych przez odległy podmiot.

Na polu powyższych niedostatków poznawczych rodzą się określone problemy badawcze wyrażone w formie ogólnego pytania badawczego: *Jaki jest zakres* ***przestrzennych granic symbiozy przemysłowej****?*

W związku z tym, głównym celem podjętych przez habilitanta badań było **wyznaczenie maksymalnej odległości między uczestnikami sieci symbiotycznej, przy której współpraca pozostaje uzasadniona z punktu widzenia wpływu na środowisko**. Realizacja tego celu zapewniła uzyskanie bardziej ogólnych wniosków dotyczących wpływu symbiozy przemysłowej na środowisko.

W typowym układzie ekosystemu przemysłowego można zaobserwować istnienie podmiotu o kluczowym znaczeniu dla sieci wymiany odpadów. Przedsiębiorstwo takie zajmuje zwykle centralną pozycję w sieci z racji uczestnictwa w różnych inicjatywach symbiotycznych w powiązaniu z kilkoma innymi firmami. Praktyka pokazuje, że często centralnym przedsiębiorstwem jest lokalna elektrownia lub elektrociepłownia. Typowymi produktami ubocznymi są wtedy nadwyżki energii cieplnej, gips powstający w procesie odsiarczania oraz popiół lotny pochodzący z elektrofiltrów lub innych urządzeń odpylających. W związku z tym, habilitant podjął próbę oszacowania maksymalnej odległości przekazywania wymienionych

produktów ubocznych, dla której odnośne inicjatywy symbiotyczne byłyby uzasadnione środowiskowo.

Metodyka

Ponieważ badania wpływu na środowisko wywieranego przez symbiozę przemysłową wymagają szerokiej perspektywy ujęcia, do wykonania tego zadania zastosowano rekomendowane w literaturze narzędzie – ocenę cyklu życia (LCA). Polega ona na kompleksowej analizie oddziaływań na środowisko kolejnych faz cyklu życia takich jak: wydobycie surowców naturalnych, ich przetwarzanie i transport, produkcja potrzebnej energii, wytworzenie i dystrybucja produktu, jego eksploatacja i utylizacja. Podstawowe zasady stosowania tej metody są znormalizowane przez międzynarodowe standardy zarządzania środowiskowego ISO 14040 i ISO 14044. Kolejnymi stadiami LCA są: zdefiniowanie celu i zakresu badań, określenie zbioru wejść i wyjść w systemie, ocena wpływu wejść i wyjść na środowisko, interpretacja wyników.

Przyjęta przez habilitanta metodyka była zgodna z powszechnie uznanymi zasadami dotyczącymi LCA. Poszczególne procedury oceny cyklu życia (klasyfikacja, charakteryzacja, normalizacja) zostały wykonane metodą Eco-indicator 99 przy użyciu oprogramowania SimaPro. Oddziaływanie na środowisko poszczególnych scenariuszy symbiotycznych zostało wyrażone za pomocą wskaźników normalizacyjnych dla jedenastu kategorii wpływu na środowisko. Ich wartości były następnie grupowane w odniesieniu do reprezentowanych punktów końcowych[2]. Uzyskane w ten sposób trzy niezależne wskaźniki wyrażały oddziaływanie na środowisko w kontekście: pogorszenia zdrowia ludzi (ang. *human health*), pogorszenia jakości ekosystemów (ang. *ecosystem quality*), zubożenia zasobów naturalnych (ang. *resources*). Prezentowane wartości wskaźników zostały wyrażone w następujących jednostkach:

- pogorszenie zdrowia ludzi: DALY, (ang. *disability adjusted life-years*) – lata życia skorygowane niesprawnością (jednostka wyraża sumaryczną liczbę lat życia utraconych wskutek przedwczesnej śmierci, bądź uszczerbku na zdrowiu wynikającego z urazu lub choroby),
- pogorszenie jakości ekosystemów: PDF · m^2 · rok, (ang. *potentially disappeared fraction*) potencjalnie zagrożona wyginięciem część gatunków,
- zubożenie zasobów naturalnych: MJ nadwyżki energii.

Wartości wskaźników wyznaczonych dla poszczególnych punktów końcowych są trudne do porównania bez zastosowania procedury ważenia. Metody wyznaczania współczynników wagowych budzą jednak kontrowersje ze względu na ich arbitralny charakter. W celu uzyskania pojedynczego wyniku liczbowego dla poszczególnych scenariuszy badawczych habilitant zastosował metodę trójkąta współczynników wagowych (trójkąta mieszającego)[3]. Metoda ta w graficzny sposób przedstawia wszystkie możliwe kombinacje względnych wag przypisanych do poszczególnych punktów końcowych. Każdy punkt trójkąta reprezentuje unikalną kombinację

[2] wyjątkiem były badania zawarte w pracy [1], gdzie analizowano jedynie dwie kategorie reprezentujące punkt końcowy dotyczący zubożenia zasobów naturalnych

[3] w publikacjach anglojęzycznych użyto określeń *mixing triangle* [4] oraz *Life Cycle Sustainability Triangle* [2]

wagową, której względne współczynniki sumują się do 100%. Metoda ta umożliwia porównanie oddziaływania na środowisko dwóch alternatywnych scenariuszy (np. istnienie symbiozy i jej brak). Odbywa się to przez analizę udziału powierzchni reprezentującej zakresy wartości współczynników wagowych, dla których wpływ na środowisko badanego scenariusza jest mniejszy niż wpływ rozwiązania alternatywnego. Jeśli obszary odnoszące się do obu scenariuszy są równe, żaden z nich nie wydaje się być korzystniejszy pod względem środowiskowym od swojej alternatywy. Metoda trójkąta mieszającego ułatwia interpretację wyników LCA, przez co stanowi wsparcie merytoryczne dla decydentów dokonujących wyboru rozwiązań technicznych dotyczących utylizacji przemysłowych strumieni odpadowych.

Ocena cyklu życia pojedynczej inicjatywy symbiotycznej wymaga wyznaczenia wskaźników poszczególnych składowych bilansu wpływu na środowisko. W przypadku przedsięwzięć polegających na wymianie materiałów stałych (gips, popiół lotny) założono, że na bilans ten składa się:

- korzyść środowiskowa wynikająca z wykorzystania odpadu,
- korzyść środowiskowa wynikająca z braku konieczności utylizacji odpadu,
- korzyść środowiskowa wynikająca z braku konieczności przetransportowania odpadu do miejsca utylizacji,
- strata środowiskowa wynikająca z konieczności przetransportowania odpadu do miejsca wykorzystania.

W przypadku popiołu lotnego uwzględniono dodatkowy składnik bilansu, którym była strata środowiskowa wynikająca z konieczności wstępnego przygotowania lub przetworzenia odpadu, tak aby mógł służyć jako surowiec produkcyjny (dodatkowy scenariusz w sekcji analizy wrażliwości [4])

Aby uniknąć konieczności dokonywania dodatkowych założeń dotyczących odległości między przedsiębiorstwem wytwarzającym odpad a składowiskiem, przyjęto, że niezależnie od miejsca docelowego (zakład wykorzystujący produkt uboczny czy składowisko) stosuje się środek transportu o takim samym jednostkowym wpływie na środowisko. Takie założenie uprościło strukturę modelu do postaci przedstawionej na rys. 1. Było to podstawą do wprowadzenia określenia tzw. **odległości względnej** (ang. *relative distance*) d_R [2,4], którą definiuje równanie (1):

$$d_R = d_S - d_D \tag{1}$$

gdzie:

d_S – odległość między wytwórcą produktu ubocznego i zakładem wykorzystującym go,

d_D – odległość między wytwórcą produktu ubocznego i potencjalnym miejscem jego składowania.

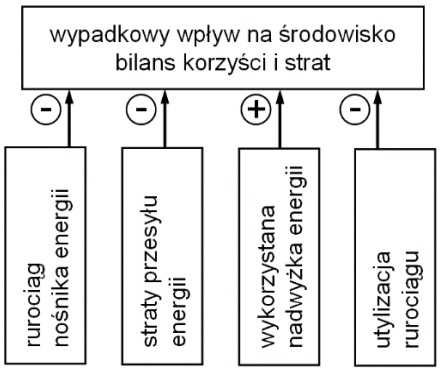
Bazując na powyższych założeniach zaproponowano również koncepcję **odległości granicznej** d_{gr}[4], którą habilitant zdefiniował jako **maksymalną odległość względną, dla której inicjatywa symbiotyczna pozostaje uzasadniona z punktu widzenia ekologicznego**. Przekroczenie tej wartości skutkowałoby uzyskaniem negatywnego bilansu środowiskowego (straty środowiskowe przewyższyłyby korzyści). Wprowadzenie i zdefiniowanie nowych parametrów było próbą wypełnienia luki metodycznej wynikającej z niedoboru wypracowanych metod badania wpływu

[4] w publikacjach anglojęzycznych *critical distance* d_{cr} [2,4]

odległości między uczestnikami różnych inicjatyw symbiotycznych na ich uzasadnienie środowiskowe.

Rys. 1. Struktura modelu badań wpływu na środowisko wykorzystania materiałów stałych
źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

Inicjatywy symbiotyczne polegające na wykorzystaniu nadwyżki energii cieplnej mają inną specyfikę niż wymiana materiałów stałych. Model badawczy przyjęty do tego przypadku uwzględniał cztery składowe bilansu wpływu na środowisko. Struktura modelu przedstawiona została na rys. 2.



Rys. 2. Struktura modelu badań wpływu na środowisko wykorzystania nadwyżki energii cieplnej
źródło: [3, s. 51]

Zastosowany model obejmował szereg założeń. Przyjęto, że energia cieplna będzie przekazywana w sposób ciągły (24 godziny na dobę) w postaci pary o ciśnieniu 0,3 MPa i temperaturze 127℃. Zało żono, że współpraca symbiotyczna będzie trwała przez 5 lat. Prędkość przepływu pary przyjęto mając na względzie minimalizację oporów przepływu, jednak na poziomie nie mniejszym niż 20 m/s. Wartość ta jest bezpośrednio powiązana z średnicą rurociągu, która determinuje ilość materiałów zastosowanych do budowy rurociągu (stal, izolacja), a także straty energii wynikające z oporów przepływu pary oraz z przenikania energii cieplnej na zewnątrz instalacji przesyłowej. Straty te były wyznaczane przy użyciu równań opisujących mechanikę

przepływu gazu przez przewody o przekroju kołowym oraz wymianę ciepła przez cylindryczną ściankę dwuwarstwową. Jako materiał izolacyjny przyjęto dedykowane kształtki wykonane z pianki poliuretanowej o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,04 W/(m^2·K). Założono, że grubość warstwy izolacyjnej wynosi 30 mm. W ramach przeprowadzonej analizy wrażliwości przyjęto również grubość równą 60 mm. Temperaturę zewnętrzną założono na poziomie średniorocznej temperatury powietrza występującej na większości obszaru Polski. Grubość ścianki rur stalowych wyznaczano na podstawie równania uwzględniającego ciśnienie wewnętrzne, średnicę rurociągu, wartość dopuszczalnych naprężeń na rozciąganie oraz naddatek. Badania przeprowadzono dla różnych mocy przekazywanego strumienia pary w zakresie od 30 do 2000 kW. Długość rurociągu obejmowała wartości w zakresie 200-12 000 m. Odległość graniczną zdefiniowano w tym przypadku jako maksymalną odległość między współpracującymi zakładami, dla której inicjatywa symbiotyczna pozostaje uzasadniona środowiskowo.

Zarówno przyjmowany przez habilitanta zakres badań, jak i stosowana metodyka (w pewnej mierze z niego wynikająca) ewoluowały wraz ze stopniem zaawansowania prac badawczych prezentowanych w kolejnych publikacjach cyklu. Ewolucję tę obrazuje zawarte w Tabeli 1 zestawienie charakterystycznych elementów metodyki i zakresu badań poszczególnych prac. Elementy nowe, czyli takie, które nie pojawiły się we wcześniejszych publikacjach cyklu, zaznaczono pogrubioną czcionką.

Model badawczy zakładał różne jednostki funkcyjne w zależności od rodzaju analizowanego produktu ubocznego. W przypadku przesyłu energii cieplnej jednostką funkcyjną była moc przesyłanego strumienia pary technologicznej. Badania przeprowadzono dla czterech wartości mocy: 30, 100, 500 i 2000 kW. W przypadku inicjatyw symbiotycznych z udziałem materiałów stałych (gips, popiół lotny) przyjęta jednostka funkcyjna miała jedynie charakter formalny – umożliwiała uzyskanie konkretnych wyników liczbowych, nie miała natomiast wpływu na wyznaczone odległości graniczne. Była nią masa przekazywanego produktu ubocznego: 1 000 t [1,3] lub 10 000 t [2,4]. Dane dotyczące procesów przemysłowych (technologie produkcji, utylizacji, transportu) i ich wpływu na środowisko przyjęto na podstawie informacji dostępnych w literaturze oraz bazy danych Ecoinvent 2.2. Założono warunki europejskie.

Zastosowana procedura badań składała się z następujących kroków:

- wyznaczenie oporów przepływu i strat ciepła z rurociągu (dotyczy tylko badań przekazywania energii cieplnej [3]),
- wyznaczenie wskaźników normalizacji dla przykładowej odległości względnej,
- wyznaczenie (na drodze dodatkowych analiz i ich interpolacji) odległości granicznej dla poszczególnych punktów końcowych i przyjętych jednostek funkcyjnych (w publikacji [1] analizowano tylko jeden punkt końcowy);
- wyznaczenie odległości granicznej uwzględniającej wskaźniki wszystkich kategorii wpływu przez zastosowanie trójkąta współczynników wagowych (nie dotyczy publikacji [1] oraz badań przekazywania energii cieplnej).
- opracowanie równania korelacyjnego opisującego zależność między odległością graniczną uwzględniającą wskaźniki wszystkich kategorii wpływu a jednostką funkcyjną (dotyczy tylko badań przekazywania energii cieplnej [3]).

- przeprowadzenie analizy wrażliwości wyników badań na przyjęte założenia zastosowanego modelu (nie dotyczy publikacji [1]).

Tabela 1. Zestawienie charakterystycznych elementów metodyki i zakresu badań poszczególnych publikacji cyklu

Numer publikacji	Elementy metodyki	Elementy zakresu badań
[1]	**2 kategorie wpływu:** **- zużycie paliw kopalnych** **- zużycie pozostałych surowców mineralnych** **interpolacja (wykres, równanie)**	produkt uboczny: **gips** środek transportu: **samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej w zakresie 7,5-16 t** standard emisji spalin: **EURO 4 lub EURO 3** analiza wrażliwości: brak
[2]	**11 kategorii wpływu (wskaźniki kumulowane do trzech punktów końcowych), trójkąt mieszający**	produkt uboczny: gips środek transportu**: samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej w zakresie 3,5-28 t** standard emisji: **EURO 4, EURO 3 lub EURO 5** analiza wrażliwości: - **wpływ wielkości pojazdów na odległość graniczną**
[3]	11 kategorii wpływu (wskaźniki kumulowane do trzech punktów końcowych), **zależności korelacyjne (wykresy, równania potęgowe)** trójkąt mieszający	produkt uboczny: **energia cieplna**, gips, **popiół lotny** środek transportu: **różny, w zależności od analizowanego produktu ubocznego** analiza wrażliwości: - **wpływ grubości izolacji rurociągu na odległość graniczną**
[4]	11 kategorii wpływu (wskaźniki kumulowane do trzech punktów końcowych), trójkąt mieszający	produkt uboczny: popiół lotny środek transportu**: samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej w zakresie 7,5-32 t** standard emisji: EURO 4, EURO 3 lub EURO 5 analiza wrażliwości: - wpływ wielkości pojazdów na odległość graniczną - **wpływ standardu emisji na odległość graniczną** - **wpływ rodzaju transportu na odległość graniczną** - **wpływ procesu wstępnego przygotowania produktu ubocznego na odległość graniczną**

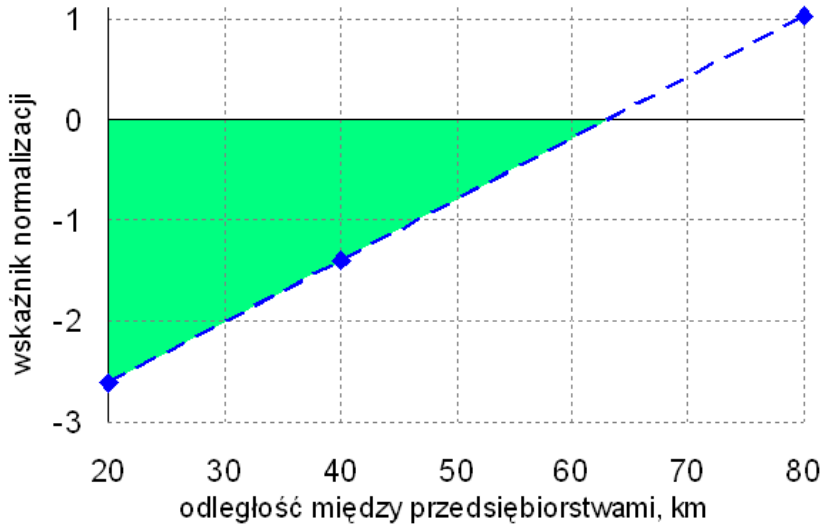
źródło: opracowanie własne

Opracowanie modelu badawczego oraz zaprezentowanej procedury stanowi wypełnienie luki teoretycznej, jak i luki metodycznej. Przyczyną ich istnienia była specyfika prowadzonych dotychczas badań symbiozy przemysłowej skupiających się w głównej mierze na analizie istniejących systemów przemysłowych, w których odległości między węzłami sieci wymiany odpadów przyjmowano jako ustalone. Podejście takie skutkowało stałym wpływem transportu na środowisko i brakiem konieczności wprowadzania zmiennych dotyczących odległości. Ponadto, nowością

metodyczną jest też zastosowanie trójkąta mieszającego w badaniach wpływu na środowisko symbiozy przemysłowej.

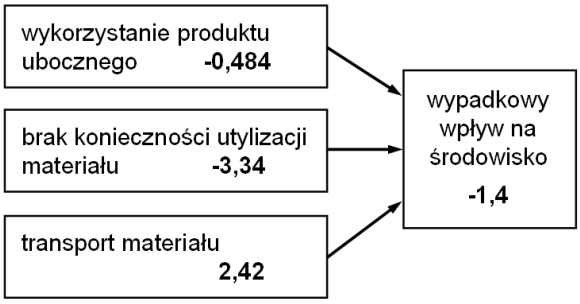
Wyniki badań

Wstępne stadium badań wpływu symbiozy przemysłowej na środowisko dotyczyło wykorzystania **gipsu**, jako typowego produktu ubocznego powstającego w procesie wytwarzania energii ze spalanego węgla. Siarka zawarta w węglu, w wyniku reakcji chemicznych z tlenem i dodawanymi w celu redukcji emisji dwutlenku siarki związkami wapnia, tworzy gips ($CaSO_4$). Produkt uboczny procesu odsiarczania gazów odlotowych jest materiałem stosowanym w branży budowlanej, np. do produkcji płyt kartonowo-gipsowych. Wstępne badania LCA symbiotycznego wykorzystania gipsu obejmowały oszacowanie maksymalnej odległości granicznej dla kategorii zużycia zasobów [1]. Analizie poddano wskaźniki normalizacji związane z wykorzystaniem produktu ubocznego, brakiem konieczności jego utylizacji oraz transportem. Wyznaczono je dla trzech odległości: 20, 40 i 80 km. W przypadku pierwszych dwóch odległości składowe bilansu środowiskowego reprezentujące korzyści dominowały nad negatywnym oddziaływaniem transportu. Dla największej odległości odnotowano przeciwne relacje, co wskazywało na to, że wartość odległości granicznej zawiera się w zakresie 40-80 km. Jej dokładna wartość (63 km) została wyznaczona za pomocą równania interpolacyjnego. Rys. 3 przedstawia zależność wskaźników normalizacji kategorii zużycia zasobów od odległości między przedsiębiorstwami. Wartości dodatnie reprezentują negatywny wpływ na środowisko (obciążenie środowiska), zaś ujemne – pozytywny (korzyść środowiskową). W punkcie przecięcia linii przerywanej z poziomą osią wypadkowy wpływ na środowisko jest neutralny (zerowy); odcięta tego punktu wyznacza odległość graniczną. Obszar wykresu zaznaczony kolorem zielonym wskazuje zakres parametrów, dla których analizowana inicjatywa symbiotyczna przynosiłaby korzyść środowiskową.



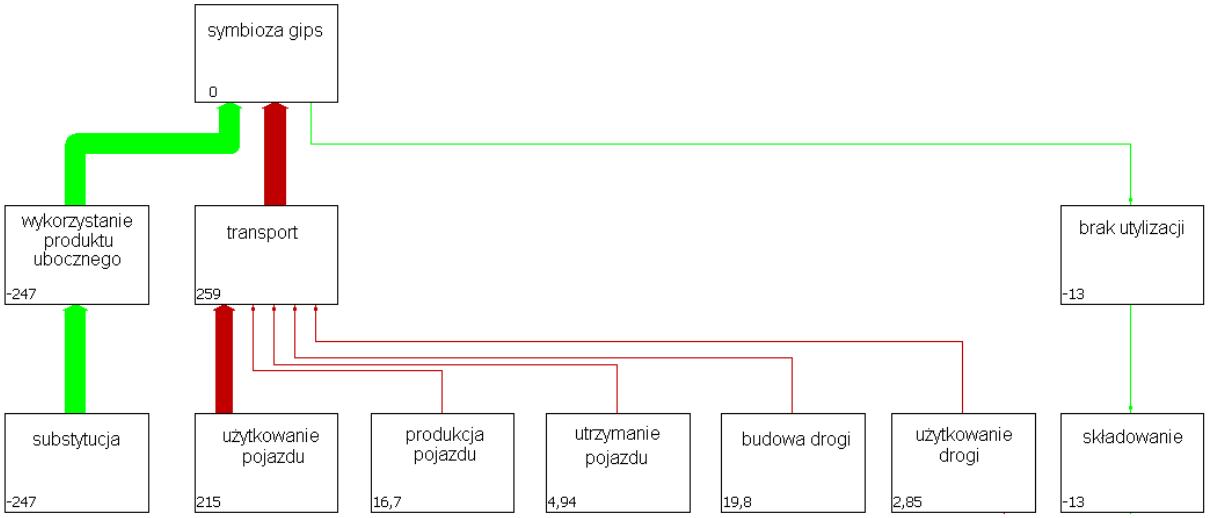
Rys. 3. Wartości wskaźników normalizacji kategorii zużycia zasobów
źródło: [1, s. 37]

Na rys. 4 zaprezentowano przykładową sieć procesów wraz z wynikami uzyskanymi dla odległości 40 km. Ujemna wartość wypadkowego wpływu na środowisko wskazuje na proekologiczny charakter inicjatywy symbiotycznej dla analizowanej kategorii. Spośród składowych korzyści środowiskowej większe znaczenie ma brak konieczności utylizacji gipsu (87% całkowitej korzyści środowiskowej).



Rys. 4. Sieć procesów przekazywania gipsu na odległość 40 km ze wskaźnikami normalizacji kategorii wykorzystania zasobów
źródło: [1, s. 36]

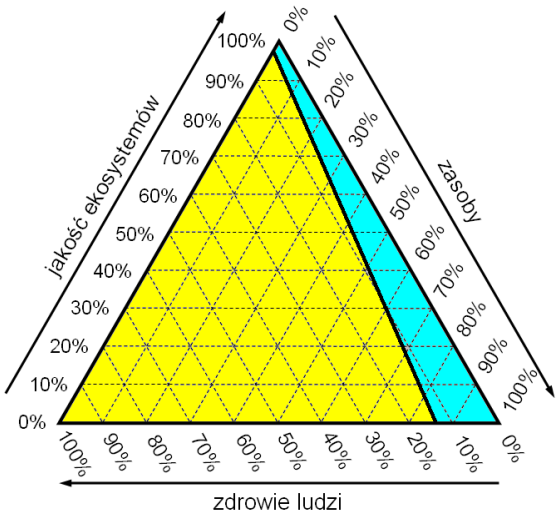
Kolejne stadium badań wpływu na środowisko symbiotycznego wykorzystania gipsu miało na celu oszacowanie maksymalnej odległości granicznej uwzględniającej wskaźniki 11 kategorii wpływu kumulowanych do trzech punktów końcowych: zużycia zasobów, zdrowia ludzi i jakości ekosystemów [2,3]. Wskaźniki normalizacji bilansu środowiskowego uzyskane dla odległości względnej równej 20 km nasunęły wniosek, że z punktu widzenia zużycia zasobów i zdrowia ludzi odległość graniczna jest większa niż analizowana odległość, natomiast z perspektywy jakości ekosystemów, odległość graniczna jest mniejsza. Na drodze dodatkowych analiz i ich interpolacji dla każdego z punktów końcowych wyznaczono indywidualne odległości graniczne, które znacznie się od siebie różniły przyjmując odpowiednio wartości: 51,4; 564; 3,5 km. Ponadto zidentyfikowano znaczne różnice w strukturze elementów bilansu środowiskowego, które zostały przeanalizowane pod względem przyczyn rozbieżności uzyskanych wyników. Rys. 5 prezentuje przykładową sieć procesów z wynikami uzyskanymi dla scenariusza przekazywania i wykorzystywania gipsu na odległość graniczną dla kategorii zdrowia ludzi. Zielony i czerwony kolor strzałek oznacza odpowiednio pozytywny i negatywny wpływ na środowisko. Dominujące znaczenie dla korzyści środowiskowej ma wykorzystanie produktu ubocznego (89% sumy korzyści środowiskowych). Głównymi składowymi obciążenia środowiska wynikającego z transportu gipsu są: oddziaływanie eksploatacji samochodu ciężarowego (83%, w tym produkcja potrzebnego paliwa 11%), produkcja pojazdu (6,4%), budowa drogi (7,6%), utrzymanie samochodu (1,9%), naprawy i utrzymanie drogi (1,1%).



Rys. 5. Sieć procesów dla scenariusza przekazywania gipsu na odległość 564 km (wartości kategorii zdrowia ludzi)
źródło: opracowanie własne na podst. [2, s. 797]

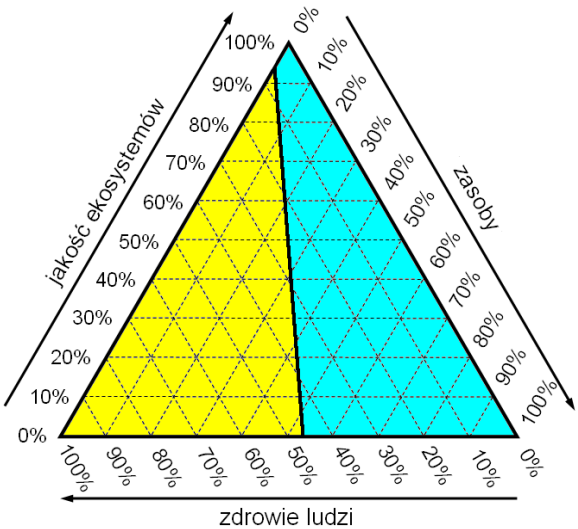
Ponieważ oddziaływanie na środowisko wywierane w ramach różnych kategorii wpływu jest trudno porównywalne, unikając arbitralnej procedury ważenia można by przyjąć, że odległością graniczną jest najmniejsza z trzech uzyskanych odległości – 3,5 km – uzyskana dla kategorii jakość ekosystemów. Ze względu jednak na znaczne rozbieżności uzyskanych wartości granicznych, obejmujących ponad dwa rzędy wielkości, założenie takie mogłoby budzić uzasadnione kontrowersje: dla pozostałych punktów końcowych odnotowano wyraźne korzyści środowiskowe dla odległości znacznie większych. Przyjęcie za odległość graniczną wartości 3,5 km oznaczałoby brak rekomendacji dla przekazywania gipsu na większe odległości, co byłoby równoznaczne z zignorowaniem tych korzyści. W związku z tym zaproponowano rozwiązanie problemu przy zastosowaniu metody trójkąta współczynników wagowych (trójkąta mieszającego).

Na rys. 6 przedstawiono wyniki porównania wpływu na środowisko inicjatywy symbiotycznej i scenariusza odniesienia oznaczającego brak symbiozy (transport gipsu na składowisko i jego utylizację bez wykorzystania produktu ubocznego) dla odległości względnej równej 100 km. Żółty kolor na wykresie oznacza kombinacje względnych wag, dla których sumaryczny wpływ na środowisko symbiozy jest bardziej pozytywny niż wpływ scenariusza odniesienia. Pozostała część wykresu (niebieski kolor) oznacza obszar, w którym scenariusz odniesienia jest bardziej korzystny dla środowiska niż symbioza (ze względu na zbyt dużą odległość transportowanego gipsu). Jak wynika z wykresu, dla przyjętej odległości, scenariusz odniesienia może być rekomendowany jedynie w przypadku bardzo niskiej wagi przypisanej kategorii zdrowia ludzi (poniżej 14%, a średnio poniżej 8%). Dla pozostałych zestawów wag wpływ na środowisko współpracy symbiotycznej jest bardziej korzystny niż wpływ scenariusza odniesienia. Zastosowanie zestawu współczynników wagowych, w którym zdrowie ludzi miałoby 10 razy niższą wagę niż pozostałe kategorie mogłoby budzić poważne wątpliwości. Wynika stąd, że graniczna odległość uwzględniająca wszystkie punkty końcowe jest większa od 100 km.



Rys. 6. Trójkąt współczynników wagowych dla scenariusza przekazywania gipsu na odległość względną równą 100 km
źródło: [3, s. 81]

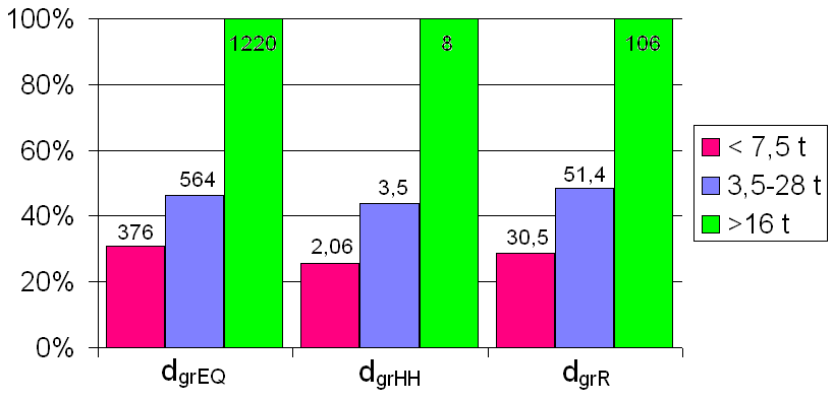
Na podstawie wyników dodatkowych analiz i porównań ustalono, że odległość graniczna w przypadku symbiotycznego wykorzystania gipsu zawiera się w przedziale 200-300 km [3]. Równość obszarów rekomendacji współpracy symbiotycznej i scenariusza odniesienia została uzyskana dla odległości wynoszącej 230 km [2]. Równowagę tę prezentuje rys. 7. Powyżej wyznaczonych wartości symbioza przemysłowa polegająca na wykorzystaniu gipsu traci uzasadnienie środowiskowe.



Rys. 7. Trójkąt współczynników wagowych dla scenariusza przekazywania gipsu na odległość względną równą 230 km
źródło: [2, s. 799]

Końcowym elementem badań była analiza wrażliwości wyników na zmianę założeń modelu oraz analiza niepewności związana z dokładnością przyjętych danych. Zgodnie z zastosowanym modelem badawczym przyjętymi wartościami liczbowymi były: ilość wykorzystywanego produktu ubocznego oraz odległość

względna. Pierwsza z nich była proporcjonalna do wszystkich komponentów bilansu środowiskowego, stąd uzyskane wyniki przyjmowały wartości niezależne od ilości przekazywanego gipsu, ani dokładności jej określenia. Natomiast odległość względna była wartością przyjmowaną w celu interpolacyjnego wyznaczenia odległości granicznej, więc jej inicjalne wartości nie miały wpływu na wyniki końcowe. Odległość graniczna charakterystyczna dla poszczególnych kategorii wpływu była zaś wyznaczana z dokładnością do trzech miejsc znaczących (lub dwóch – w przypadku wartości mniejszych niż 10 km). W ramach analizy wrażliwości zbadano wpływ wielkości taboru transportowego na wynik końcowy. Rys. 8 przedstawia zależność między dopuszczalną masą całkowitą samochodu ciężarowego a uzyskaną odległością graniczną dla różnych punktów końcowych. W przypadku najcięższych pojazdów (> 16 t) odległość graniczna była znacząco (3,2-3,9 razy) większa niż w przypadku samochodów o najmniejszej masie (< 7,5 t). Przyczyną zidentyfikowanych różnic był zróżnicowany wpływ jednostki transportu (t · km) na środowisko, odzwierciedlający efekt skali. Aby przetransportować tę samą ilość produktu ubocznego za pomocą mniejszych pojazdów, musiałyby one pokonać większy dystans, co wpływa na zwiększenie ilości spalanego paliwa, emisji i zużycia taboru.

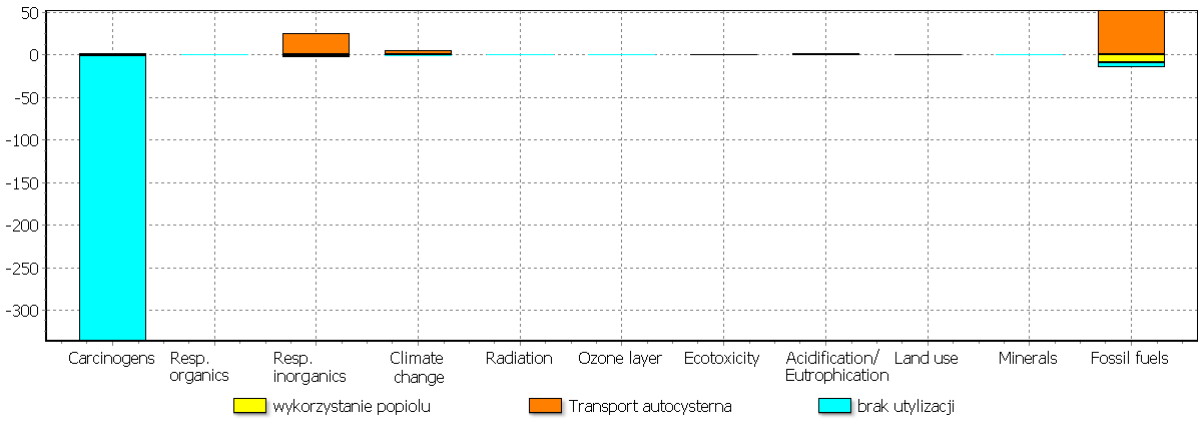


Rys. 8. Zależność między wielkością pojazdów a odległością graniczną dla różnych punktów końcowych: EQ – jakość ekosystemów, HH – zdrowie ludzi, R – zasoby
źródło: opracowanie własne na podst. [2, s. 799]

Innym typowym produktem ubocznym biorącym udział w przekazywaniu między przedsiębiorstwami w ramach symbiozy przemysłowej jest **popiół lotny**. Podobnie jak gips, jest on wytwarzany przez elektrownie lub elektrociepłownie opalane węglem. Jest drobno uziarnionym pyłem wykazującym właściwości pucolanowe. Powstaje przy spalaniu pyłu węglowego i jest otrzymywany w elektrostatycznych lub mechanicznych procesach oddzielania cząstek stałych z gazów odlotowych zakładów energetycznych. Popioły lotne mogą mieć szerokie zastosowanie gospodarcze, m.in. w produkcji klinkieru portlandzkiego, cementu, betonu. Mimo licznych zastosowań, odległość elektrowni od dużych ośrodków gospodarczych znacznie ogranicza opłacalność wykorzystania popiołów lotnych ze względu na koszty transportu.

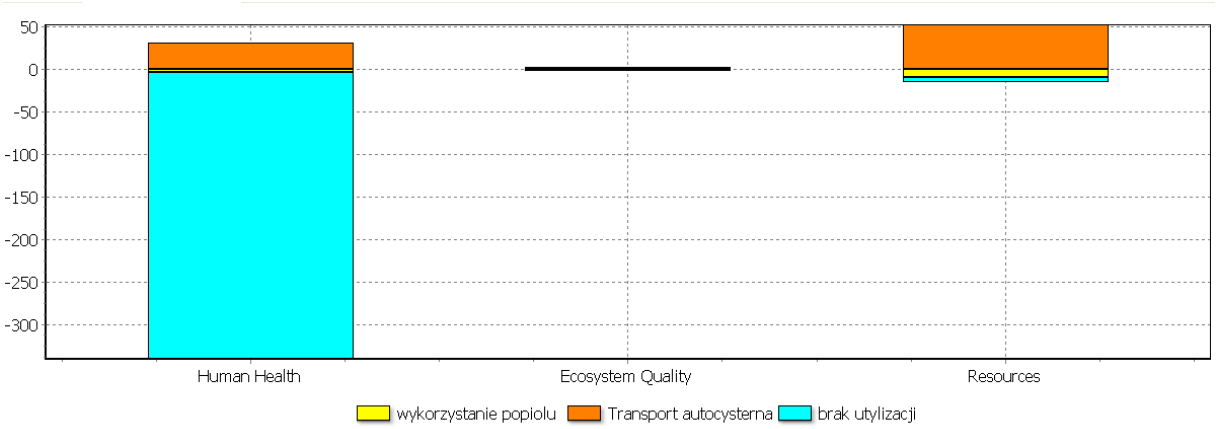
Badania wpływu na środowisko symbiotycznego wykorzystania popiołu lotnego skupiały się na oszacowaniu maksymalnej odległości granicznej w kontekście trzech punktów końcowych [3,4]. Analizie poddano wskaźniki normalizacji związane z

wykorzystaniem produktu ubocznego, brakiem konieczności jego utylizacji oraz transportem. Na rys. 9 przedstawiono wskaźniki normalizacji dla scenariusza przekazywania popiołu lotnego na względną odległość 1000 km. Dane są prezentowane osobno dla jedenastu kategorii wpływu. Analiza wykresu wskazuje, że na tle innych wyróżniają się wartości wskaźników kategorii wywoływania chorób nowotworowych (*Carcinogens*), chorób układu oddechowego przez substancje nieorganiczne (*Resp. inorganics*) oraz zubożenia zasobów paliw kopalnych (*Fossil fuels*). W odniesieniu do nich, wskaźniki pozostałych kategorii przyjmują wartości bliskie zeru. Większość słupków wskazuje na negatywne oddziaływanie na środowisko (wartości dodatnie), na pozytywny wpływ wskazują jedynie wyniki kategorii wywoływania chorób nowotworowych (*Carcinogens*) i ekotoksyczności (*Ecotoxicity*).



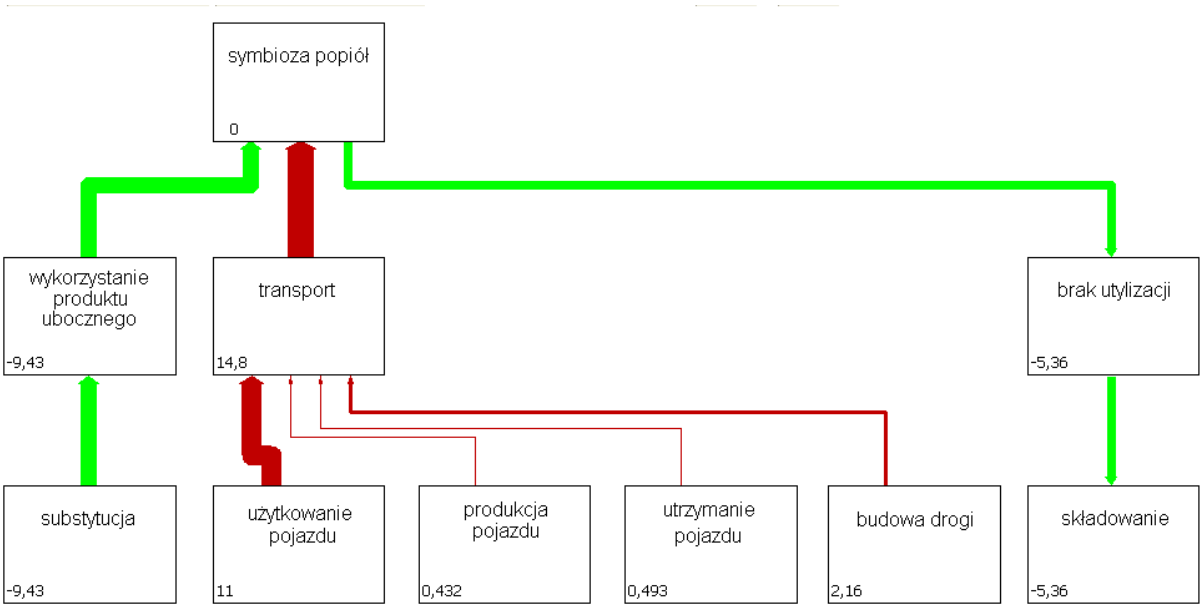
Rys. 9. Wskaźniki normalizacji dla przekazywania popiołu lotnego na względną odległość 1000 km
źródło: [3, s. 84]

Relacje między wartościami wskaźników przekładają się na wskaźniki wpływu na środowisko uzyskane dla trzech zgrupowanych kategorii wpływu (punktów końcowych) przedstawionych na rys. 10. W przypadku kategorii zdrowia ludzi wskaźnik przyjmuje wartość ujemną (-310), natomiast wskaźniki kategorii jakość ekosystemów i zasoby są znacznie mniejsze co do wartości bezwzględnej, lecz dodatnie (odpowiednio 1,18 oraz 37,9). Uzyskane wyniki nasuwają wniosek, że z perspektywy oddziaływania w na zdrowie ludzi graniczna odległość nie została przekroczona, zaś z punktu widzenia kategorii jakość ekosystemów i zasoby graniczna odległość jest mniejsza od 1000 km. Wniosek ten skłania do przeanalizowania problemu osobno dla poszczególnych punktów końcowych.



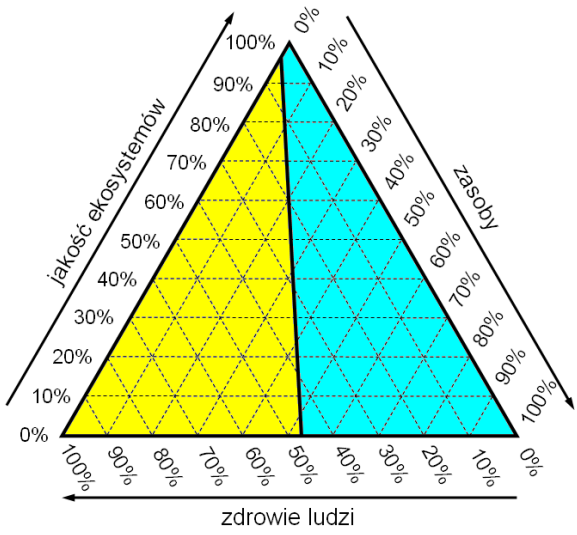
Rys. 10. Wskaźniki punktów końcowych dla przekazywania popiołu lotnego na względną odległość 1000 km
źródło: opracowanie własne [3, s. 85]

Na drodze dodatkowych analiz i interpolacji wyznaczono graniczne odległości osobno dla poszczególnych punktów końcowych. Na rys. 11 przedstawiono sieć procesów przekazywania popiołów lotnych na względną odległość 280,8 km dla kategorii zużycia zasobów. Wartości dodatnie i ujemne równoważą się (wynik oddziaływania dla cyklu życia jest zerowy), co wskazuje, że przyjęta odległość jest odległością graniczną. Przeważające znaczenie dla korzyści środowiskowej ma wykorzystanie produktu ubocznego (brak konieczności wydobywania naturalnej skały) stanowiące 64% sumy korzyści środowiskowych. Głównymi składowymi obciążenia środowiska wynikającego z transportu popiołów lotnych są: oddziaływanie eksploatacji samochodu ciężarowego (74%, w tym produkcja potrzebnego paliwa 74%), budowa drogi (15%), produkcja samochodu ciężarowego (2,9%), utrzymanie pojazdu (3,3%).



Rys. 11. Sieć procesów dla scenariusza przekazywania popiołu lotnego na odległość 280,8 km (wartości kategorii zasoby)
źródło: [3, s. 88]

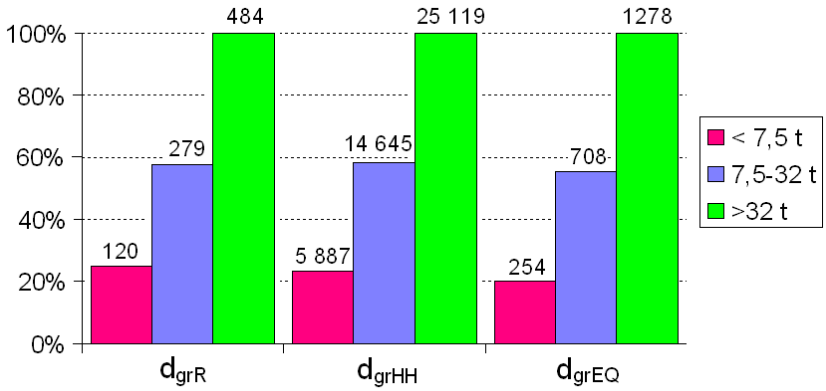
Analogiczne analizy przeprowadzono dla pozostałych punktów końcowych. Odległości graniczne wyznaczone dla poszczególnych kategorii wyniosły: zasoby – 280,8 km; zdrowie ludzi – 10 939 km; jakość ekosystemów – 620 km. Ze względu na znaczne rozbieżności w uzyskanych wynikach, celem oszacowania odległości granicznej uwzględniającej wszystkie kategorie wpływu, zastosowano metodę trójkąta współczynników wagowych. Analiza wykresów trójkąta mieszającego reprezentujących różne odległości wskazała, że wartość granicznej odległości znajduje się w zakresie od 3 000 do 5 000 km [3]. Natomiast równość obszarów rekomendacji współpracy symbiotycznej i scenariusza odniesienia została uzyskana dla odległości 4 300 km [4]. Równowagę tę prezentuje rys. 12. Powyżej wyznaczonych wartości symbioza przemysłowa polegająca na wykorzystaniu popiołu lotnego traci uzasadnienie środowiskowe.



Rys. 12. Trójkąt współczynników wagowych dla scenariusza przekazywania popiołu lotnego na odległość względną równą 4 300 km
źródło: [4]

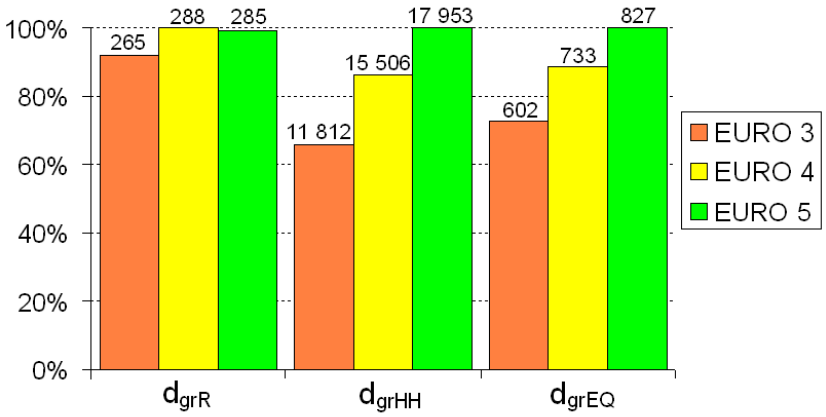
Analogicznie jak w przypadku analiz dotyczących symbiotycznego przekazywania gipsu, przyjmowane w ramach modelu badawczego wartości liczbowe i dokładności ich określenia nie miały wpływu na uzyskane wyniki. W porównaniu do badań wykorzystania produktu odsiarczania, zakres dokonanej analizy wrażliwości został rozszerzony. Oprócz badania wpływu wielkości taboru transportowego na odległość graniczną zbadano również wrażliwość wyników na rodzaj założonego transportu oraz przyjęty standard emisji spalin.

Rys. 13 przedstawia zależność między dopuszczalną masą całkowitą samochodu ciężarowego a uzyskaną odległością graniczną dla różnych punktów końcowych. W przypadku najcięższych pojazdów (> 32 t) odległość graniczna była znacząco (4-5 razy) większa niż w przypadku samochodów o najmniejszej masie (< 7,5 t). Przyczyną zidentyfikowanych różnic był omawiany już efekt skali wynikający z różnego jednostkowego wpływ transportu na środowisko.



Rys. 13. Zależność między wielkością pojazdów a odległością graniczną dla różnych punktów końcowych: EQ – jakość ekosystemów, HH – zdrowie ludzi, R – zasoby
źródło: [4]

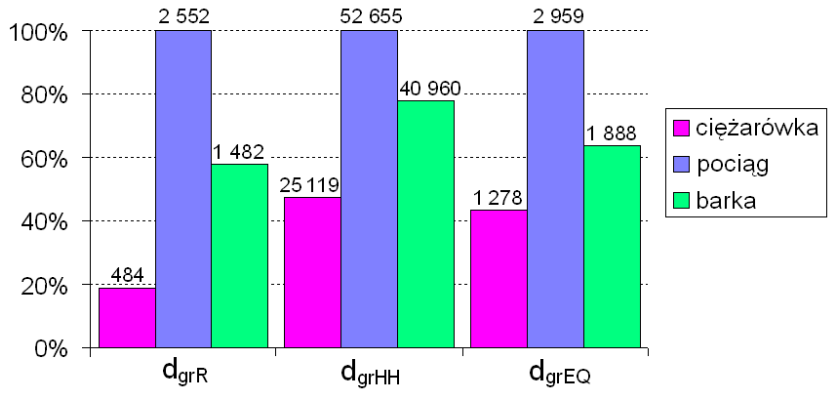
Wpływ na środowisko inicjatyw symbiotycznych zależy również od poziomu zaawansowania technologicznego napędu zastosowanego w taborze transportowym. Rys. 14 ilustruje wpływ standardu emisyjnego na graniczną odległość. Ogólny trend obserwowany na wykresie jest intuicyjny: im wyższy standard emisji, tym dłuższa odległość graniczna. Trend taki jest najwyraźniej zauważalny w przypadku kategorii zdrowia ludzi i jakości ekosystemów: zastosowanie pojazdu spełniającego standard EURO 3 skraca odległość graniczną odpowiednio o 34% i 27% w odniesieniu do wartości uzyskanej dla standardu EURO 5. W przypadku kategorii zużycia zasobów nie obserwuje się znacznych różnic (7%). Ponadto najwyższy standard skutkuje nieznacznie niższym wynikiem niż standard EURO 4. Może to być wyjaśnione przez charakterystyczne dla niektórych technologii zjawisko zwiększonego zużycia paliwa w związku z redukcją emisji tlenków azotu (ang. *fuel consumption penalty*).



Rys. 14. Wpływ standardu emisji na odległość graniczną dla różnych punktów końcowych: EQ – jakość ekosystemów, HH – zdrowie ludzi, R – zasoby
źródło: [4]

Porównanie danych prezentowanych na rys. 13 i 14 ukazuje, że wielkość pojazdu ma większy wpływ na odległość graniczną niż standard emisji. Wniosek ten skłania do dokonania pogłębionej analizy wpływu skali środka transportu na uzyskane wyniki. Zgodnie z sugestią zawartą w literaturze przedmiotu, warto

rozważyć zmianę transportu drogowego na kolejowy lub wodny. Kierując się tą ideą, habilitant opracował model umożliwiający porównanie wyników uzyskanych dla różnych rodzajów transportu. Rys. 15 przedstawia wartości odległości granicznej uzyskane dla transportu drogowego, kolejowego i wodnego. Transport drogowy (słupki różowe) był reprezentowany przez ciężkie samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej przekraczającej 32 t (por. słupki zielone na rys. 13). Jako transport kolejowy (słupki fioletowe) przyjęto pociągi towarowe o wpływie na środowisko określonym dla przeciętnych warunków europejskich. Transport wodny (słupki zielone) reprezentują barki eksploatowane w warunkach europejskich. Paliwem wszystkich porównywanych środków transportu był olej napędowy. Uzyskane wyniki pokazują, że wyznaczone odległości graniczne zarówno dla pociągu jak i dla barki są dłuższe niż w przypadku transportu drogowego. Prezentowane wartości są 2,1-5,3 razy większe w przypadku transportu kolejowego i 1,5-3,1 razy większe w przypadku transportu wodnego w porównaniu z wartościami otrzymanymi dla samochodów ciężarowych. Najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia ekologicznego wydaje się transport kolejowy. Największa przewaga pociągu nad pozostałymi środkami transportu jest widoczna w kategorii zużycia zasobów: transport wodny i drogowy charakteryzuje się wynikami gorszymi odpowiednio o 42% i 81% w porównaniu z transportem kolejowym.



Rys. 15. Wpływ rodzaju środka transportu na odległość graniczną dla różnych punktów końcowych: EQ – jakość ekosystemów, HH – zdrowie ludzi, R – zasoby
źródło: [4]

Mimo pozornych podobieństw produktów ubocznych jakimi są gips i popiół lotny (powstawanie w związku ze spalaniem węgla, szerokie zastosowanie w branży budowlanej) uzyskano znacznie różniące się od siebie odległości graniczne. Porównanie wyników badań symbiotycznego wykorzystania obu materiałów zaprezentowano w tabeli 2. Przedstawione dane wskazują na to, że każdy z produktów ubocznych charakteryzuje się swoistą strukturą składowych wpływu na środowisko. Różnice w strukturze skutkowały uzyskaniem znacznie różniących się od siebie odległości granicznych.

Tabela 2. Porównanie wyników badań wykorzystania gipsu i popiołu lotnego

	Kategoria	Gips	Popiół lotny
graniczna odległość, km	zdrowie ludzi	564	10 939
	jakość ekosystemów	3,5	620
	zasoby	51,4	280,8
źródło przeważającej korzyści środowiskowej	zdrowie ludzi	wykorzystanie materiału	brak utylizacji
	jakość ekosystemów	wykorzystanie materiału	brak utylizacji
	zasoby	brak utylizacji	wykorzystanie materiału
kategoria, dla której wyznaczona odległość graniczna miała najmniejszą wartość		jakość ekosystemów	zasoby
kategoria, dla której wyznaczona odległość graniczna miała największą wartość		zdrowie ludzi	zdrowie ludzi
zakres odległości granicznej wynikający z trójkąta wag, km		230	4 300

źródło: opracowanie własne na podst. [3, s. 95]

Aby zobrazować wpływ poszczególnych elementów cyklu życia na końcowe rezultaty, w tabeli 3 zestawiono wskaźniki normalizacji dla tych samych ilości produktów ubocznych (1 000 t) transportowanych na tę samą odległość (1 000 km). Zestawione wskaźniki normalizacji dotyczące transportu obu materiałów różnią się od siebie, lecz dość nieznacznie. Różnice wynikają z zastosowania innego rodzaju transportu i wynoszą od 29% do 37%. Dla pozostałych elementów bilansu środowiskowego różnice w wartościach wskaźników są znacznie większe. W przypadku kategorii zasobów korzyść środowiskowa wykorzystania popiołów lotnych jest wielokrotnie większa niż korzyść z wykorzystania gipsu. Przyczyną może być bardziej ograniczona ilość zasobów skał osadowych o pożądanych właściwościach na rozpatrywanym obszarze w porównaniu do naturalnych zasobów gipsu. W przypadku kategorii zdrowia ludzi i jakości ekosystemów większą korzyść środowiskową również obserwuje się w przypadku popiołów lotnych, lecz tym razem wynika ona z braku konieczności utylizacji produktu ubocznego. Przyczyną jest znacznie większy wpływ na środowisko składowania popiołów lotnych, zawierających różnorodne substancje szkodliwe (m.in. metale ciężkie), które mogą powodować skażenie gleby i wód gruntowych. Wartości wskaźników różnią się kilkaset razy, co było przyczyną znacznych różnic w uzyskanych wartościach odległości granicznych.

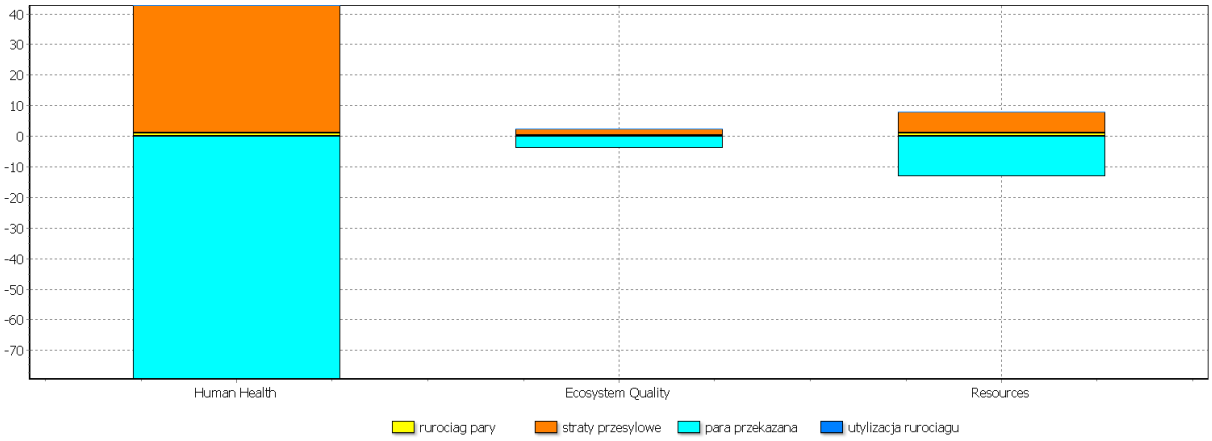
Tabela 3. Wartości wskaźników normalizacji dla 1000 t produktów ubocznych transportowanych na odległość 1000 km

Produkt uboczny	Element cyklu życia	Zasoby	Zdrowie ludzi	Jakość ekosystemów
gips	transport	74,3	45,9	4,9
	wykorzystanie materiału	0,48	24,7	0,015
	brak utylizacji	3,34	1,3	0,003
popiół lotny	transport	52,9	31,2	3,1
	wykorzystanie materiału	9,43	3,33	0,29
	brak utylizacji	5,36	338	1,64

źródło: [3, s. 96]

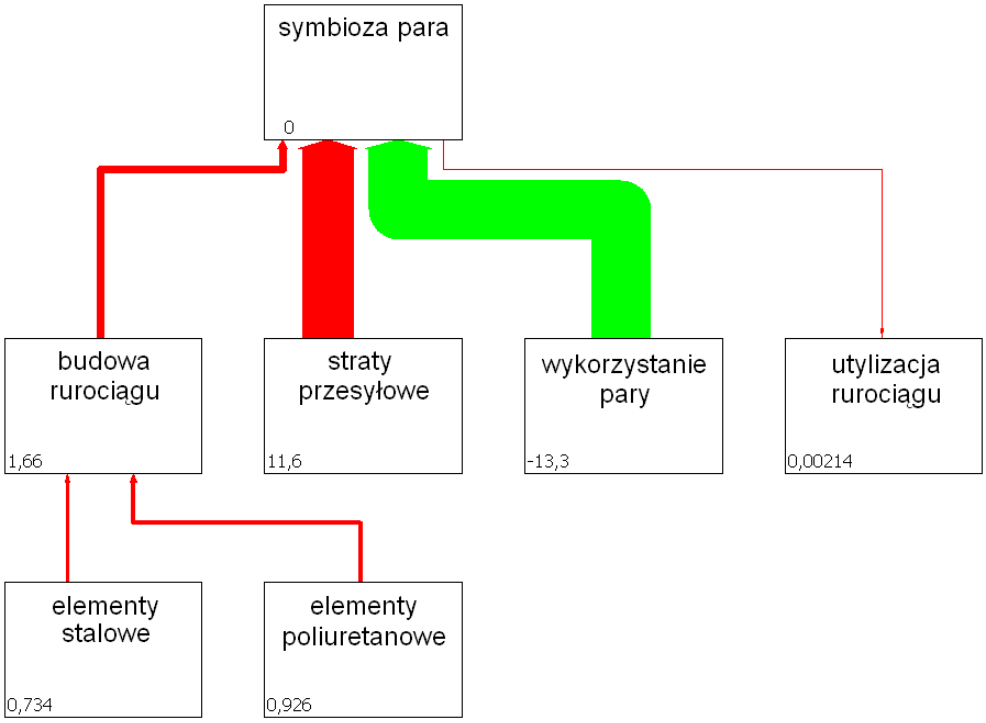
Badania wpływu na środowisko inicjatyw polegających na symbiotycznym wykorzystaniu **nadwyżki energii cieplnej** obejmowały analizę kilkudziesięciu scenariuszy różniących się poszczególnymi parametrami. Wyniki uzyskane dla najistotniejszych scenariuszy omówiono poniżej.

Na rys. 16 przedstawiono wskaźniki punktów końcowych dla scenariusza przekazywania energii cieplnej o mocy 30 kW na odległość 1 000 m. Dla każdej z kategorii ujemne części słupków (reprezentujące korzyść środowiskową) mają większą wysokość niż dodatnie części, z czego wynika, że graniczna odległość między przedsiębiorstwami nie została przekroczona. Warto również zauważyć, że proporcje ujemnych i dodatnich wartości dla każdej z kategorii są podobne, w związku z tym należy oczekiwać, że odległości graniczne wyznaczone dla poszczególnych punktów końcowych przyjmą zbliżone wartości.



Rys. 16. Wskaźniki punktów końcowych dla przekazywania strumienia pary o mocy 30 kW na odległość 1 000 m
źródło: [3, s. 55]

Na drodze dodatkowych analiz i interpolacji wyników ustalone zostały wartości granicznej odległości wynoszące dla kategorii zdrowia ludzi – 1 856 m; dla kategorii jakość ekosystemów – 1 700 m; dla kategorii zużycia zasobów – 1 661 m. Względne różnice między wartościami nie przekraczały 12%. Przykładowa sieć procesów przekazywania energii cieplnej na odległość graniczną została przedstawiona na rys. 17. Wyniki badań ujawniły podobieństwo w strukturze bilansu środowiskowego uzyskanego dla poszczególnych punktów końcowych. Negatywne oddziaływanie na środowisko było zdominowane przez straty przesyłowe związane ze spadkiem ciśnienia wywołanym oporami przepływu oraz stratami ciepła na drodze przenikania na zewnątrz rurociągu. Ich udział wynosił 87-98% ogółu wpływu. Pozostałe elementy obciążenia środowiska – budowa rurociągu przesyłowego i jego poeksploatacyjna utylizacja – miały znacznie mniejsze znaczenie (odpowiednio 2,3-13% oraz poniżej 0,02%). Niewielki udział utylizacji rurociągu w bilansie wynika zapewne z przyjętej technologii, która obejmuje recykling materiałów. Przyjęte założenie jest bardzo prawdopodobnym scenariuszem ze względu na wysoką opłacalność odzysku stali z instalacji przemysłowej tego typu. Ze względu na niewielkie różnice między uzyskanymi wartościami jako wartość graniczną uwzględniającą wszystkie kategorie zasugerowano przyjąć najmniejszą z wyznaczonych odległości (1661 m).



Rys. 17. Sieć procesów dla scenariusza przekazywania strumienia energii cieplnej o mocy 30 kW na odległość 1 661 m (wartości kategorii „zasoby”)
źródło: [3, s. 59]

Analogiczne badania LCA przeprowadzono dla większych strumieni przesyłanej pary: 100, 500 i 2 000 kW. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła stwierdzić, że uzasadniona środowiskowo odległość przesyłu nadwyżki energii była ograniczona głównie przez straty przesyłowe energii związane ze stratami ciśnienia wywołanymi oporami przepływu oraz stratami ciepła na drodze przenikania na zewnątrz rurociągu. W badanym zakresie parametrów dominowały straty energii cieplnej, których udział w sumarycznych stratach mieścił się w przedziale 59%-69%. Graniczna odległość rosła wraz ze wzrostem przesyłanej mocy. Dla każdej z zgrupowanej kategorii wpływu (punktu końcowego) przyjmowała ona inną wartość, jednak różnice między wartościami wyznaczonymi dla tej samej mocy nie były znaczne (nie przekraczały 13%). Zestawienie wyznaczonych odległości granicznych przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości odległości granicznej dla różnych mocy przekazywanej pary

Kategoria	Moc przekazywanej pary, kW			
	30	**100**	**500**	**2 000**
zdrowie ludzi	1 856 m	3 470 m	7 070 m	11 463 m
jakość ekosystemów	1 700 m	3 150 m	**6 350 m**	**10 191 m**
zasoby	**1 661 m**	**3 149 m**	6 484 m	10 575 m

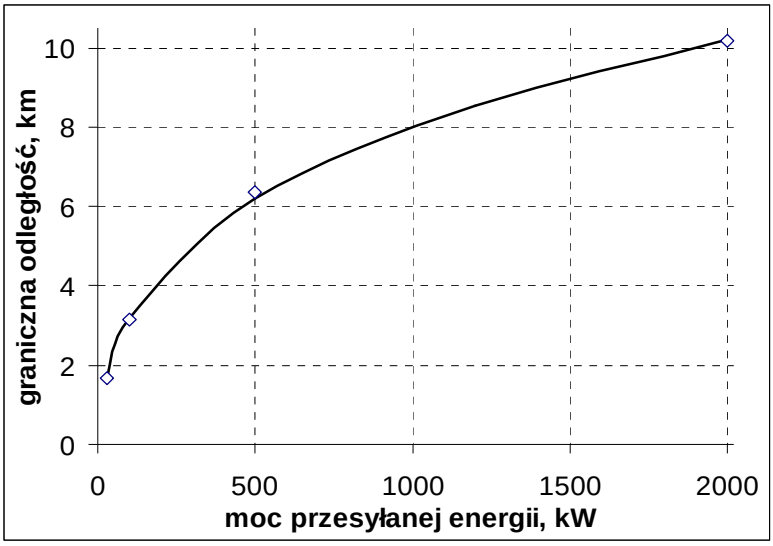
źródło: opracowanie własne na podst. [3]

Ze względu na niewielkie różnice między wartościami uzyskanymi dla tej samej jednostki funkcyjnej przyjęto, że odległością graniczną uwzględniającą wszystkie kategorie będzie minimalna z wartości uzyskanych dla poszczególnych kategorii

wpływu (wytłuszczone wartości w tabeli 4). W przypadku mniejszych mocy do 100 kW minimalna odległość wynikała z kategorii jakości ekosystemów. Powyżej 100 kW graniczna odległość wynikała z kategorii zasoby. Uzyskane w ten sposób cztery odległości graniczne reprezentujące różne wartości mocy przesyłanej pary przedstawiono na rysunku 18 w formie kwadratowych punktów. Jak wynika z prezentowanego wykresu, zależność między mocą i odległością graniczną ma charakter nieliniowy. Podjęto próbę opisu matematycznego uzyskanej zależności. Bardzo dobre wyniki korelacji uzyskano dla 3-parametrowego równania potęgowego (2):

$$d_{gr} = 1{,}34P^{0{,}29} - 1{,}93 \tag{2}$$

gdzie:
d_{gr} – odległość graniczna, km,
P – moc przesyłanej pary, kW.
Postać graficzną równania (2) przedstawiono na rysunku 17 za pomocą linii ciągłej. Współczynnik korelacji uzyskanych danych z równaniem (2) wynosi 0,9997, zaś średni błąd względny to 0,8%.

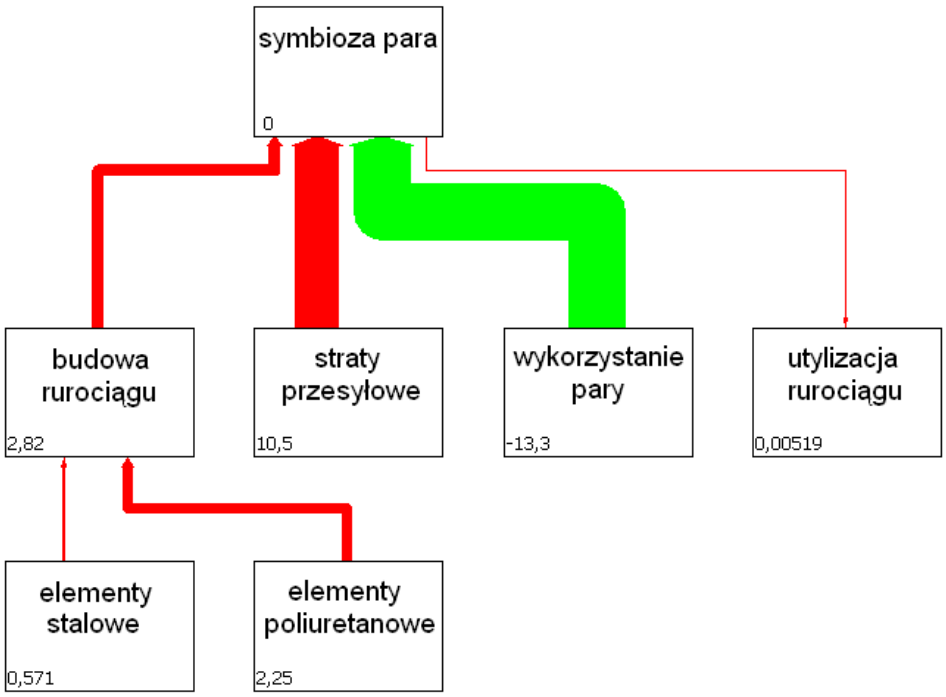


Rys. 18. Zależność między mocą przesyłanej nadwyżki energii i graniczną odległością
źródło: [3, s. 65]

Jak wcześniej wspomniano, przeanalizowane scenariusze zakładały stałą grubość warstwy izolacyjnej instalacji przesyłowej równą 30 mm. Ponieważ najistotniejszym czynnikiem ograniczającym uzasadnioną środowiskowo odległość przesyłu nadwyżki energii są straty ciepła z rurociągu, postanowiono przeanalizować bilans wpływu na środowisko dla scenariuszy, w których grubość warstwy izolacyjnej jest większa (60 mm). Wyniki analiz omówiono poniżej.

Na rys. 19 przedstawiono sieć procesów dla scenariusza przekazywania strumienia energii cieplnej o mocy 30 kW rurociągiem o grubości izolacji 60 mm. Odległość graniczna wyniknęła w tym przypadku ze wskaźników kategorii zużycia zasobów. Porównanie wartości z wynikami uzyskanymi uprzednio pokazuje, że zastosowanie grubszej warstwy izolacji zmniejsza udział strat przesyłowych w bilansie wpływu na środowisko o 10%. Uzyskana odległość graniczna jest jednak

mniejsza niż w analogicznym scenariuszu zakładającym mniejszą grubość izolacji (1294 m w stosunku do 1661 m). Wynika to ze wzrostu obciążenia środowiska przez budowę infrastruktury przesyłowej, którego wartość wzrosła aż o 70% i osiągnęła udział 21% w sumarycznym bilansie strat. Zmiana ta spowodowana została 2,4-krotnym zwiększeniem ilości wykorzystanego materiału izolacyjnego. Znalazło to również odzwierciedlenie we wpływie na środowisko utylizacji rurociągu, którego wartość proporcjonalnie wzrosła. Mimo jednak znacznego wzrostu, udział utylizacji rurociągu w ogólnym bilansie strat środowiskowych wciąż pozostał znikomy (na poziomie setnych części procenta).



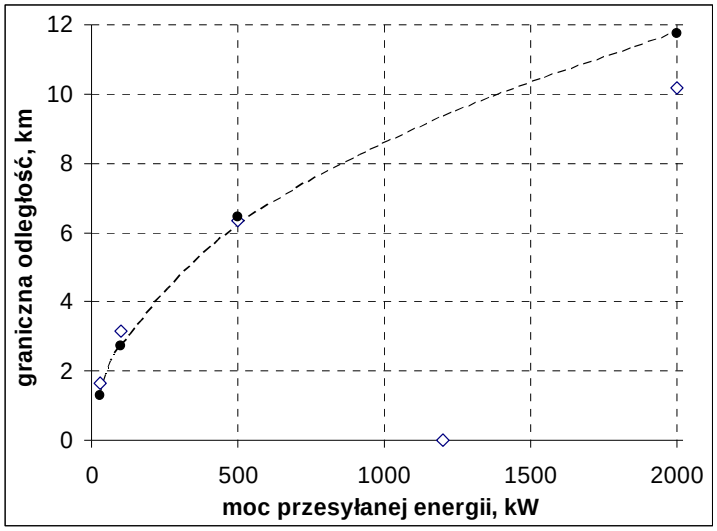
Rys. 19. Sieć procesów dla scenariusza przekazywania strumienia energii cieplnej o mocy 30 kW rurociągiem o grubości izolacji 60 mm na odległość 1 294 m (wartości kategorii zużycia zasobów)
źródło: [3, s. 66]

Analogiczne rezultaty odnotowano dla analiz przekazywania strumienia pary o mocy 100 kW. Zwiększenie grubości izolacji spowodowało redukcję strat ciepła, jednak sumaryczny wpływ na środowisko wzrósł za sprawą 60% wzrostu strat środowiskowych wynikających z budowy infrastruktury przesyłowej. Przeciwną tendencję wpływu izolacji na odległość graniczną pokazują wyniki analizy przekazywania pary o mocy 500 kW. Wpływ na środowisko instalacji przesyłowej wzrósł o 50%, jednak został zrekompensowany przez korzyść wynikającą z redukcji strat energii, wskutek czego odległość graniczna osiągnęła 6 442 m (odnotowano nieznaczny wzrost o 1,4%). Wyniki analiz przesyłu pary o mocy 2 000 kW potwierdziły utrzymywanie się stwierdzonego trendu; zwiększona grubość materiału izolacyjnego również w tym przypadku spowodowała zwiększenie odległości granicznej. Zaobserwowana zmiana tym razem była bardziej znacząca, osiągnęła 15%.

Podsumowując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że uzasadniona środowiskowo odległość przesyłu nadwyżki energii zmienia się wraz ze wzrostem grubości izolacji rurociągu. Uzyskane odległości graniczne w funkcji mocy przesyłanej pary przedstawiono na rysunku 20 w formie okrągłych punktów (dla porównania na wykresie umieszczono również wartości uzyskane uprzednio dla grubości izolacji równej 30 mm). Jak wynika z prezentowanego wykresu, również w tym przypadku zależność między mocą i odległością graniczną ma charakter nieliniowy. Do opisu matematycznego prezentowanej zależności zaproponowano 3-parametrowe równanie potęgowe, dla którego uzyskano bardzo dobre wyniki korelacji (równanie 3).

$$d_{gr} = 0{,}52P^{0{,}42} - 0{,}88 \tag{3}$$

gdzie:
d_{gr} – odległość graniczna, km,
P – moc przesyłanej pary, kW.
Postać graficzną równania (3) przedstawiono na rysunku 20 za pomocą linii przerywanej. Współczynnik korelacji uzyskanych danych z równaniem (3) wyniósł 0,9996, zaś średni błąd względny – 1,2%.



Rys. 20. Zależność między mocą przesyłanej nadwyżki energii i graniczną odległością
źródło: [3, s. 69]

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że przekazywanie nadwyżki energii w formie strumienia pary technologicznej i jej wykorzystanie przez inne przedsiębiorstwo jest przedsięwzięciem symbiotycznym o znacznym potencjale korzyści środowiskowych. Uzasadniony środowiskowo zakres stosowania tej formy symbiozy przemysłowej jest bardzo szeroki, zależy jednak od stosowanych parametrów. Uzyskane wartości odległości granicznych reprezentują zakres od 1,3 km do niemal 12 km (w zależności od przyjętej mocy), co w odniesieniu do przestrzennych rozmiarów obszarów przemysłowych oznacza, że wiele inicjatyw symbiotycznych analizowanego typu znalazłoby uzasadnienie środowiskowe. Jednak przesyłanie strumieni energetycznych mniejszej mocy na większe odległości (do kilku do kilkudziesięciu kilometrów) niesie ze sobą ryzyko braku uzasadnienia

środowiskowego. W praktyce przemysłowej istnieje możliwość optymalizacji wpływu na środowisko powiązania symbiotycznego mającej na celu zminimalizowanie sumy strat środowiskowych dla założonego strumienia przekazywanej energii i zwiększenie granicznych odległości wynikających z przedstawionych zależności korelacyjnych. Na podstawie analizy wyników LCA przeprowadzonych dla szerokiego zakresu różnych zmiennych wydaje się, że potencjał tej redukcji nie jest znaczny.

Podsumowanie

Dokonany przegląd literatury dotyczącej wpływu symbiozy przemysłowej na środowisko wykazał, że dotychczasowe publikacje skupiały się w głównej mierze na analizie istniejących systemów przemysłowych, w których odległości między węzłami sieci wymiany odpadów przyjmowano jako ustalone. Stworzony przez habilitanta model badawczy oraz opracowana metodyka umożliwiły uzyskanie bardziej ogólnych wniosków dotyczących wpływu symbiozy przemysłowej na środowisko. Dokonane analizy LCA były podstawą **odpowiedzi na postawione pytanie badawcze**, którego istotą był zakres przestrzennych granic symbiozy przemysłowej: Przestrzenne granice symbiozy przemysłowej wynikały z wyznaczonych odległości granicznych, które dla różnych produktów ubocznych przyjmowały różne wartości: dla gipsu – 230 km, dla popiołów lotnych – 4 300 km, w przypadku pary technologicznej graniczne wartości były funkcją mocy przesyłanego strumienia energii i zostały opisane za pomocą zależności matematycznych (2) i (3). Cel podjętych badań, jakim było wyznaczenie maksymalnej odległości między uczestnikami sieci symbiotycznej, przy której współpraca pozostaje uzasadniona z punktu widzenia wpływu na środowisko, został tym samym osiągnięty.

Przeprowadzone badania umożliwiły wypełnienie zidentyfikowanych luk poznawczych. **Lukę teoretyczną** wypełniło rozpoznanie problemu wpływu odległości między instalacjami przemysłowymi na sumaryczną korzyść środowiskową współpracy symbiotycznej, w szczególności zaś opracowanie modelu badawczego opisującego strukturę bilansu oddziaływań na środowisko. Elementem zastosowanego modelu było również opracowanie koncepcji odległości względnej i odległości granicznej oraz ich zdefiniowanie. Wprowadzenie nowych parametrów przyczyniło się także do wypełnienia **luki metodycznej**. Na ich podstawie opracowana została procedura badawcza stanowiąca zbiór metod i narzędzi zastosowanych na etapie wykonywania analiz. Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań wypełniły **lukę empiryczną**. Wyznaczone odległości graniczne określiły zakres przestrzennych granic symbiozy przemysłowej dla poszczególnych produktów ubocznych. Opisane zakresy korzyści środowiskowej stanowią jednocześnie rekomendację dla praktyki gospodarczej (przedsiębiorców, władz i lokalnych podmiotów dążących do redukcji wpływu przemysłu na środowisko) wypełniając tym samym zidentyfikowaną **lukę praktyczną**.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań sformułowano wnioski odnoszące się do kwestii **teoretycznych i metodycznych**, z których najważniejsze przedstawiono poniżej.

- Opracowanie koncepcji odległości względnej i jej zdefiniowanie za pomocą równania (1) umożliwiło uproszczenie modelu symbiotycznego wykorzystania gipsu i popiołu lotnego – bilans korzyści i strat środowiskowych ograniczył się

do trzech składowych: pozytywny wpływ na środowisko reprezentowany był przez wykorzystanie produktu ubocznego oraz brak konieczności utylizacji odpadu; obciążenie środowiska wynikało z procesu transportowania.

- Model badawczy symbiotycznego wykorzystania nadwyżki energii cieplnej przyjął inną postać niż model dotyczący wykorzystania materiałów stałych: pozytywny wpływ na środowisko wynikał jedynie z wykorzystania pary technologicznej, natomiast obciążenie środowiska było reprezentowane przez trzy składowe bilansu: budowę infrastruktury przesyłowej (rurociągu), jej utylizację oraz straty przesyłu energii.
- W przypadku badań dotyczących symbiotycznego wykorzystania gipsu i popiołu lotnego, wykorzystanie metody trójkąta współczynników wagowych (zastosowanej ze względu na znaczne rozbieżności wyników uzyskanych dla poszczególnych punktów końcowych) umożliwiło wyznaczenie odległości granicznych uwzględniających wszystkie analizowane kategorie wpływu.
- W przypadku badań dotyczących wykorzystania nadwyżki energii nie znaleziono przesłanki do zastosowania metody trójkąta współczynników wagowych.
- Nieliniowa zależność odległości granicznej od mocy strumienia pary wyrażona została za pomocą 3-parametrowego równania potęgowego, dla którego uzyskano bardzo dobre wyniki korelacji z opisywanymi danymi.
- Pomimo różnic w naturze wykorzystania materiałów stałych i energii opracowana została wspólna procedura badań, jednak niektóre jej kroki stosują się wyłącznie do określonego zakresu badań.

Uzyskane wyniki były również podstawą sformułowania wniosków odnoszących się do kwestii **empirycznych i praktycznych**, z których najważniejsze przedstawiono poniżej.

- Dla poszczególnych produktów ubocznych odległości graniczne przyjęły różne wartości.
- Inicjatywy polegające na symbiotycznym wykorzystaniu gipsu i popiołu lotnego są przedsięwzięciami o znacznym potencjale korzyści środowiskowych. Odległości graniczne wynosiły odpowiednio 230 km i 4 300 km.
- W przypadku przeanalizowanych materiałów stałych odległości graniczne uzyskane dla różnych punktów końcowych znacznie od siebie odbiegały (2 rzędy wielkości).
- Przyczyną znacznych różnic odległości granicznych uzyskanych dla popiołów lotnych i gipsu była bardziej ograniczona ilość zasobów skał osadowych o pożądanych właściwościach w porównaniu do naturalnych zasobów gipsu oraz znacznie większy wpływ na środowisko składowania popiołów lotnych ze względu na zawartość różnorodnych substancji szkodliwych.
- W przypadku inicjatyw przekazywania popiołu lotnego korzyść środowiskowa znacząco przekracza korzyść ekonomiczną – jeżeli więc dana inicjatywa jest opłacalna, można domniemywać, że przyniesie korzyść środowiskową. W przypadku inicjatyw przekazywania gipsu nie stwierdzono takiej prawidłowości.
- Inicjatywy polegające na wykorzystaniu nadwyżki energii w formie strumienia pary technologicznej są przedsięwzięciami symbiotycznymi o znacznym

potencjale korzyści środowiskowych. Odległości graniczne są zależne od mocy strumienia pary i w badanym zakresie mieściły się w przedziale 1,3-12 km.

- Uzyskany zakres odległości granicznych (1,3-12 km) w odniesieniu do przestrzennych rozmiarów obszarów przemysłowych oznacza, że wiele inicjatyw symbiotycznych tego typu znalazłoby uzasadnienie środowiskowe.
- Przesyłanie strumieni energetycznych niewielkiej mocy na większe odległości niesie ze sobą ryzyko braku uzasadnienia środowiskowego.
- Potencjał optymalizacji wpływu na środowisko powiązania symbiotycznego tego typu (przez zmianę geometrii instalacji przesyłowej) wydaje się nieznaczny.

Przeprowadzone badania dotyczące oceny cyklu życia współpracy symbiotycznej przedsiębiorstw wpisują się w dyscyplinę **inżynierii produkcji** definiowaną przez Komitet Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk jako pojęcie obejmujące m.in. zagadnienia projektowania, implementowania i zarządzania systemami produkcyjnymi i logistycznymi rozumianymi jako układy socjotechniczne, integrujące pracowników, informację, energię, materiały i procesy **w ramach całego cyklu życia** produktów. Podjęte zagadnienia lokują się w V i X obszar prac naukowo-badawczych, które dotyczą optymalizacji łańcuchów dostaw oraz efektywności przedsiębiorstw [5].

5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Problematyka symbiozy przemysłowej jest obecna w dorobku naukowym habilitanta od 2007 r.. Dorobek ten obejmuje prace teoretyczne i koncepcyjne jak również badania empiryczne i opracowania aplikacyjne.

Do najważniejszych publikacji reprezentujących ten obszar badań należą:

- Owczarek M., Marcinkowski A., 2007, "Eco-industrial parks as an attempt to implement the idea of sustainable development" [w:] Lewandowski J., Wiśniewski Z. (red.), Quality and environmental management Continuous change of paradigms, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej (udział: **50%**),
- Van Zwam B., Van Eetvelde G., Marcinkowski A., Doniec A., Block C., Vandecasteele C., 2009, "Scanning of the sustainability of Polish and Romanian eco-industrial parks" [w:] Lewandowski J., Sekieta M., Quality of improvement of production and service processes, 158-166, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej (udział: **20%**),
- Marcinkowski A., Owczarek M., 2009, "The procedure of creation of symbiotic connections between enterprises in industrial parks" [w:] Lewandowski J., Jałmużna I., Sekieta M. (red.), Challenges in enterprise management of today, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, s. 108-115 (udział: **70%**),
- Liwarska-Bizukojć E., Bizukojć M., Marcinkowski A., Doniec A., 2009, “The conceptual model of the eco-industrial park based upon the ecological relationships”, Journal of Cleaner Production, Vol. 17, nr 8, pp. 732-741, **IF = 1,867** (udział: **25%**),

[5] Komitet Inżynierii Produkcji, Polska Akademia Nauk, *Istota inżynierii produkcji*, Warszawa, czerwiec 2012

Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy opracowanie procedury tworzenia powiązań symbiotycznych między uczestnikami parków przemysłowych oraz udział w pozyskaniu informacji dotyczących *case studies*, które umożliwiły zastosowanie w praktyce i weryfikację koncepcyjnego modelu parków ekoprzemysłowych opartego o zależności ekologiczne.

Dorobek dotyczący współpracy symbiotycznej przedsiębiorstw jest częścią bardziej ogólnego nurtu badawczego związanego z gospodarką odpadami, a w szczególności z wykorzystaniem odpadowych strumieni materiałów i energii. Przykładowymi publikacjami podejmującymi tę problematykę są:

- Marcinkowski A., 2008, "Odzysk energii odpadowej ze ścieków" [w:] Grądzki R. (red.), Rozwój zrównoważony. Uwarunkowania organizacyjne i techniczne., Media Press, Łódź, s. 20-25 (udział: **100%**),
- Marcinkowski A., Marcinkowska K., 2010, "Cost of preparation for recycling of municipal packaging waste" [w:] Lewandowski J., Jałmużna I., Sekieta M., (red.), Product and packaging. quality and logistics aspects, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2010, s. 119-130 (udział: **90%**),
- Marcinkowski A., Kowalski A.M., 2011, "Cost-benefit analysis of preparation the glass packaging waste for selective collection" [w]: Improvement of production processes, Lewandowski J., Jałmużna I., Sekieta M., (red.), Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej (udział: **85%**),
- Marcinkowski A., Kowalski A.M., 2012, The problem of preparation the food packaging waste for recycling in Poland, Resources, Conservation and Recycling, 69, pp. 10-16, **IF = 2,319** (udział: **85%**).

Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy identyfikacja i analiza problemu dotyczącego nie uwzględnianych kosztów przygotowania odpadów opakowaniowych do recyklingu. Habilitant przeprowadził badania umożliwiające oszacowanie wartości tych kosztów dla grup odpadów zawierających szkło, tworzywa sztuczne i metale, a następnie porównał otrzymane wyniki z wartością finansową odzyskanych materiałów. Porównanie umożliwiło opracowanie funkcji zysku, który odzwierciedlał opłacalność analizowanego mycia opakowań. W przypadku tworzyw sztucznych i szkła wyniki uwzględniające koszty przygotowania do recyklingu wskazały na jego nieopłacalność. Zidentyfikowano również zależność opłacalności od masy jednostkowej odzyskiwanych opakowań.

Prace dotyczące symbiotycznej wymiany odpadów w łańcuchu dostaw w dorobku habilitanta są jednocześnie częścią nurtu dotyczącego badania struktur klastrowych. Pozostałymi publikacjami należącymi do tego nurtu są:

- Kowalski A.M., Marcinkowski A., 2012, "Struktury klastrowe jako bieguny wzrostu gospodarki – przykład Bawarskiego Klastra Biotechnologicznego", Gospodarka Narodowa, 9 (253), s. 61-78 (udział: **50%**),
- Kowalski A.M., Marcinkowski A., 2014, Clusters versus Cluster Initiatives, with Focus on the ICT Sector in Poland, European Planning Studies, Vol. 22, No. 1, pp. 20-45, **IF = 1,228** (udział: **50%**)

Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy uzyskanie i opis zależności między inicjatywami podejmowanymi na rzecz tworzenia klastrów, a rzeczywistym występowaniem struktur klastrowych. Posłużyło temu wyznaczenie wartości wskaźników lokalizacji w odniesieniu do poziomu zatrudnienia, przychodów i liczby

przedsiębiorstw sektora ICT dla regionów Polski na poziomie województw (NUTS 2), subregionów (NUTS 3) i powiatów (NUTS 4). Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że większość analizowanych inicjatyw klastrowych pokrywa się z rzeczywistymi klastrami. Istnieją jednak regiony, w których, mimo podjętych inicjatyw klastrowych, nie występuje rzeczywista koncentracja przedsiębiorstw analizowanego sektora.

Szczególne miejsce w dorobku habilitanta zajmują badania wpływu na środowisko uwzględniające perspektywę cyklu życia. Pierwsza z prac prezentujących wyniki LCA wybranych obiektów została opublikowana w 2010 roku. Nurt ten (prócz osiągnięcia przedstawionego w rozdziale 4) reprezentują następujące publikacje:

- Marcinkowski A., Wójcik P., 2010, "Life cycle assessment of different beverage packaging" [w:] Lewandowski J., Sekieta M., Jałmużna I., (red.), Product and packaging. Marketing aspects, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, s. 59-68 (udział: **70%**)
- Marcinkowski A., 2017, "Renewable energy for food preparation processes: life cycle assessment case study" [w:] Walaszczyk A., Jałmużna I., Galińska B. (red.), Management and safety in food chain, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 39-51 (udział: **100%**)
- Marcinkowski A., Zych K., 2017, Environmental performance of kettle production: product life cycle assessment, Management Systems in Production Engineering, vol. 25, issue 4, pp. 255-261, czasopismo indeksowane przez **Web of Science**, (udział: **70%**)

Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy wyznaczenie wpływu na środowisko wybranych produktów na drodze analiz metodą LCA. Uzyskane wyniki umożliwiły określenie struktury oddziaływania na środowisko. Elementami cyklu życia odpowiadającymi za największy wpływ na środowisko było zużycie energii potrzebnej do zasilenia urządzeń. Przeanalizowano również wpływ zastosowania odnawialnego nośnika energii na uzyskane wskaźniki.

W obszarze zainteresowań naukowych habilitanta znalazły się również zagadnienia mechaniki płynów. W tym zakresie habilitant przeprowadził szeroko zakrojone badania empiryczne, symulacje numeryczne, a także rozważania teoretyczne dotyczące bezpieczeństwa procesowego awaryjnego wypływu cieczy i mieszanin dwufazowych ze zbiorników. Publikacjami reprezentującymi ten nurt są m.in.:

- Marcinkowski, M. Dziubiński, 2004, Współczynnik wypływu cieczy nienewtonowskich ze zbiornika, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, 25, 3, pp. 1297-1302, (udział: **60%**)
- Dziubiński M., Marcinkowski A., 2005, Comments on Reynolds Number Definition for the Discharge of non-Newtonian Liquids from Tanks, Journal of Fluids Engineering, 127, pp. 1043-1046, **IF = 0,521** (udział: **60%**)
- Dziubiński M., Marcinkowski A., 2006, Discharge of Newtonian and non-Newtonian liquids from tanks, Chemical Engineering Research and Design, 84(A12), pp. 1194-1198, **IF = 0,747** (udział: **60%**)

Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie należy wykonanie badań empirycznych i numerycznych dotyczących wypływu cieczy nienewtonowskiej ze zbiornika. Uzyskane wyniki umożliwiły opracowanie zależności opisującej wartość współczynnika wypływu w zależności od liczby Reynoldsa i geometrii otworu

wypływowego. W oparciu o wyniki symulacji numerycznych przeprowadzono też dyskusję dotyczącą równania liczby Reynoldsa Metznera-Reeda przyjmującego wartość szybkości ścinania, jaka występuje przy ścianie przewodu. Zwrócono uwagę, że nie uwzględnia ono warunków panujących w całej przestrzeni otworu wypływowego. Na tej podstawie zaproponowano definicję liczby Reynoldsa, która uwzględnia średnią wartość szybkości ścinania w otworze wypływowym. Zastosowanie nowej definicji znacząco poprawiło korelację uzyskanych wyników.

Liczbowe zestawienie publikacji prezentuje tabela 5. Osiągnięte wartości wskaźników bibliometrycznych przedstawiono poniżej.

Tabela 5. Liczbowe zestawienie publikacji habilitanta

	Przed doktoratem	Po doktoracie		**Razem**
	zespołowo	indywidualnie	zespołowo	
Publikacje indeksowane przez **Web of Science**	1	2*	7	**10**
- w tym publikacje w czasopismach indeksowanych przez **JCR**	1		6	**7**
Publikacje w innych recenzowanych czasopismach	2		3**	**5**
Monografie			1	**1**
Podręczniki			1	**1**
Redakcje monografii			1	**1**
Rozdziały w monografiach	2	4	9	**15**
Rozdziały w podręcznikach		2	2	**4**
SUMA	**5**	**8**	**24**	**37**

* uwzględniając artykuł przyjęty do publikacji w czasopiśmie *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* indeksowanym przez Web of Science i publikację w wydawnictwie konferencyjnym, które jest w fazie indeksacji przez Web of Science

** uwzględniając artykuł przyjęty do publikacji w czasopiśmie *Ekonomická revue*

źródło: opracowanie własne

Sześć publikacji zostało opublikowanych w czasopismach indeksowanych przez bazę JCR, ich Sumaryczny *Impact Factor* (wg bazy *JCR*), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **6,682**. Wyniki badań stanowiły inspirację dla innych autorów. Według bazy *Web of Science* były cytowane **67** razy, indeks Hirscha wynosi **3**.

Wykonując prace badawcze habilitant dążył do umiędzynarodowienia osiągnięć naukowych. Wyrazem tego jest m.in. fakt, że większość (59%) jego publikacji naukowych została napisana w języku angielskim. Umiędzynarodowienie dorobku naukowego przejawiło się także w sferze realizacji projektów badawczych. W latach 2009-2011 habilitant pełnił funkcję **koordynatora (country leader)** polskiej części międzynarodowego projektu pn. „Material, energy and water management in industrial parks: industrial symbiosis". Był to projekt badawczy realizowany przez naukowców i przedstawicieli parków przemysłowych z Belgii, Rumunii i Polski, a finansowany przez Rząd Flamandzki. W ramach projektu habilitant był odpowiedzialny za realizację części projektu dotyczącej określenia potencjału tworzenia inicjatyw symbiozy przemysłowej wybranych polskich parków przemysłowych, w tym m.in. za:

- badania dotyczące polskich parków przemysłowych, udział w opracowaniu kwestionariusza badawczego oraz pozyskaniu informacji dotyczących możliwości uczestnictwa przedsiębiorstw zlokalizowanych w polskich parkach przemysłowych w inicjatywach symbiozy przemysłowej,
- wymianę informacji z partnerami z zagranicy, w szczególności z prof. Chantal Block i prof. Carlo Vandecasteele, którzy reprezentowali jednostkę kierującą projektem (Catholic University of Leuven),
- uzgodnienia dotyczące opracowania raportu końcowego,
- uzgodnienia dotyczące wydatków i rozliczenia projektu.

Udział w międzyuczelnianych zespołach badawczych zaowocował publikacjami napisanymi we współautorstwie z pracownikami innych zagranicznych i polskich uczelni (Catholic University of Leuven (Belgia), University of Ghent (Belgia), Szkoła Główna Handlowa), jak również czterema stażami naukowymi odbytymi w latach 2007-2010, których celem była wymiana doświadczeń dotyczących inicjatyw symbiotycznych i tworzenia parków ekoprzemysłowych, wizyty studyjne w takich parkach, nawiązywanie nowych kontaktów naukowych. Wśród odwiedzonych instytucji można wymienić: Erasmus Universiteit, Rotterdam, Holandia; Catholic University of Leuven, Belgia; Stowarzyszenie Polskich Inżynierów w Austrii, Wiedeń; instytucja badawczo-rozwojowa Joanneum Research, Weiz, Austria; parki przemysłowe RiVu, Europoort, Botlek, Rotterdam, Holandia; park przemysłowy w Oostende, Belgia; park przemysłowy Valuepark w koncernie DOW Olefinverbund GmbH Schkopau, Niemcy; Europejskie Centrum Odnawialnej Energii Güssing, Austria; Ecopark of Hartberg, Austria.

Osiągnięcia naukowe habilitanta były przez niego prezentowane podczas międzynarodowych i krajowych konferencji, m.in.: 11th Annual Meeting NATO Science for Peace and Security – Pilot Project on Clean Products and Processes", Berlin, Niemcy, 2008; (Eco)-industrial parks: challenges and opportunities, Leuven, Belgia, 2010. Habilitant był również członkiem Rady Programowej i Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji naukowej pn. *International Conference on Production Management and Packaging Food Safety and Industry 4.0*, Łódź 2018. Należał także do Komitetu Naukowego Konferencji *Rozwój zrównoważony – zarządzanie technologiami*, Łódź 2010 oraz do komitetów organizacyjnych dwóch ogólnopolskich seminariów.

Habilitant brał także udział w zespołach eksperckich, m.in. powołanego w ramach *I Międzynarodowej Konferencji Łódzkie – Smart Region with Smart Cities pt. "Water Challenge"*, Łódź 2018. Wykonał także ekspertyzę dotyczącą priorytetyzacji technologii w obszarze „ekobiznes" w ramach projektu "LORIS Wizja Regionalny foresight technologiczny", a także opracował raport końcowy z prac zespołu ekspertów dokonujących pozycjonowania technologii w tym obszarze.

Istotną część dorobku habilitanta stanowi działalność recenzyjna. W latach 2011-2019 wykonał on recenzje 6 artykułów dla trzech czasopism indeksowanych przez Journal Citation Reports (JRC) plasujących się w pierwszych centylach bazy SCOPUS:

- Journal of Industrial Ecology (1-wszy centyl Scopus), 3 recenzje (ponadto 1 recenzja po poprawkach autorów),
- Journal of Cleaner Production (3-ci centyl Scopus), 1 recenzja,

- Resources, Conservation and Recycling (3-ci centyl Scopus), 2 recenzje (ponadto 2 recenzje po poprawkach autorów).

Habilitant recenzował również projekt realizowany przez Kolegium Gospodarki Światowej Szkoły Głównej Handlowej w ramach badań statutowych (2016).

Od 2018 r. habilitant pełni funkcję redaktora tematycznego czasopisma *Zeszyty Naukowe „Organizacja i Zarządzanie" Politechniki Łódzkiej* w zakresie „Ekologii przemysłowej" oraz jest członkiem rady naukowej Asian Council of Science Editors, – organizacji stworzonej dla naukowców i redaktorów, której celem jest znajdywanie nowatorskich rozwiązań problemów redakcyjnych i wydawniczych, a także przygotowanie kadr zdolnych do podejmowania wyzwań związanych z wymaganiami jakościowymi stawianymi międzynarodowym publikacjom naukowym.

Od 2019 r. habilitant sprawuje opiekę naukową w charakterze **promotora pomocniczego** mgr inż. Mirosława Lewandowskiego przygotowującego rozprawę doktorską pt. „Wpływ struktury organizacyjnej na dojrzałość projektową grupy kapitałowej. Studium przypadku Grupy Apator". Jednostką prowadzącą przewód jest Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji Politechniki Łódzkiej.

Wśród innych osiągnięć habilitanta można wymienić udział w projekcie utworzenia akredytowanego Laboratorium Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej „LabNOISE" przy Wydziale Zarządzania i Inżynierii Produkcji PŁ. Zgodnie z założeniami projektu w 2017 r. uzyskana została akredytacja zgodności z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025 w zakresie pomiarów akustycznych udzielona przez Polskie Centrum Akredytacji na lata 2017-2021. Habilitant jest pracownikiem badawczo-technicznym w ramach zespołu realizującego projekt. Zaangażowanie w realizację projektu wiąże się z wykonywaniem prac pomiarowo-badawczych na rzecz przedsiębiorstw przemysłowych jaki i instytucji publicznych. W celu uzyskania kompetencji niezbędnych do udziału w projekcie i prowadzenia pomiarów akustycznych habilitant uzyskał uprawnienia do eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci w zakresie kontrolno-pomiarowym dla urządzeń wytwarzających, przetwarzających, przesyłających i zużywających ciepło oraz innych urządzeń energetycznych, a także ukończył szereg szkoleń podnoszących kompetencje naukowe i dydaktyczne.

Za prowadzoną działalność naukową habilitant otrzymał 13 nagród i wyróżnień, wśród których jako najważniejsze można wymienić:

- nagrodę **za najlepszy artykuł** prezentowany na 21st International Conference MEKON 2019, Ostrava, Czechy,
- nagrodę Dziekana Wydziału Zarządzania i Inżynierii Produkcji PŁ za wkład merytoryczny **przygotowanie dorobku naukowego** Wydziału Organizacji i Zarządzania PŁ do parametryzacji za lata 2013-2016,
- **wyróżnienie prezentacji artykułu** podczas Międzynarodowej Konferencji "Production and Management in Industry", Zakopane 2017,
- liczne nagrody indywidualne II stopnia **JM Rektora Politechniki Łódzkiej** za osiągnięcia w działalności naukowej.

Praca habilitanta na stanowisku adiunkta zaowocowała także dorobkiem dydaktycznym i popularyzatorskim. Do ważnych osiągnięć w tym zakresie można zaliczyć współautorstwo oficjalnego podręcznika ogólnopolskiej kampanii informacyjnej promującej wspólnotowy system ekozarządzania i audytu pt.:

„Ekozarządzanie w przedsiębiorstwie – podręcznik” wydanego przez Centrum Informacji o Środowisku, Warszawa 2010. Podręcznik cieszył się uznaniem, do jego lektury zachęcali Generalny Dyrektor Ochrony Środowiska oraz Dyrektor Centrum Informacji o Środowisku. Wkład habilitanta w powstanie książki polegał na opracowaniu zdecydowanej większości jej treści. Habilitant szacuje swój udział procentowy na 75%.

Do innych osiągnięć należy zaliczyć pełnienie funkcji kierownika 10 edycji studiów podyplomowych pn. „Ochrona środowiska w zarządzaniu organizacją” (2007-2010) oraz „Zarządzanie ochroną środowiska w organizacji” (2010-2017), a także sprawowanie opieki nad studentami w fazie realizacji specjalności technicznej „Ekologia Przemysłowa” na inżynierskim kierunku *Zarządzanie*. Habilitant sprawował także opiekę naukową nad 71 studentami jako promotor prac dyplomowych, w tym 18 magisterskich, 51 inżynierskich, 2 licencjackich, ponadto 2 prac semestralnych oraz 35 prac końcowych wieńczących studia podyplomowe; trzy prace zostały napisane przez obcokrajowców.

Wkład w popularyzację nauki przejawił się również pełnieniem przez 13 lat funkcji przedstawiciela Wydziału przygotowującego uczelnię do uczestnictwa w Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki (2005-2019). Pełnienie tej funkcji wiąże się m.in. z wykonywaniem prac organizacyjnych oraz prowadzeniem sesji referatów.

Dorobek dydaktyczny habilitanta obejmuje również:

1. Uczestnictwo w przygotowaniu programu zajęć dydaktycznych (wykład, projekt) prowadzonych na kierunku *Mechanical Engineering and Applied Computer Science* do akredytacji ABET,
2. Uczestnictwo w przygotowaniu programu zajęć dydaktycznych (wykład, projekt) prowadzonych na kierunku *Zarządzanie i inżynieria produkcji* do akredytacji KAUT,
3. Pełnienie funkcji kierownika przedmiotów prowadzonych w języku polskim i angielskim m.in. pn.:
    - *Environmental Management Systems* (wykład, projekt),
    - *Ecology and Environmental Management* (wykład, projekt),
    - *Product Ecodesign* (wykład),
    - *Podstawy ekologii przemysłowej* (wykład, projekt)*,*
    - *Rozwój zrównoważony* (wykład, projekt)*,*
    - *Grafika inżynierska* (laboratorium)

    na kierunkach studiów m.in.:
    - *Management and Production Engineering*,
    - *Zarządzanie i inżynieria produkcji*,
    - *Business and Technology*,
    - *Mechanical Engineering and Applied Computer Science*.

Habilitant brał również aktywny udział w działalności organizacyjnej reprezentowanego Wydziału. Dorobek w tym zakresie obejmuje m.in. pełnienie funkcji:

• pełnomocnika Dziekana ds. Sprawozdawczości Naukowej w kadencji (od 2016 r.)

• członka Wydziałowej Komisji ds. Zmian w Nauce (od 2018 r.)

• członka Grupy Roboczej ds. Zrównoważonego Kampusu Politechniki Łódzkiej (od 2013 r.)

• członka Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia (w latach 2015, 2017-2019)

• członka Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej (w 2008 r.)

Za prowadzoną działalność pozanaukową habilitant również otrzymał nagrody i wyróżnienia, wśród których można wymienić odznaczenie Medalem Brązowym za Długoletnią Służbę przyznane przez Prezydenta Rzeczpospolitej Polskiej (2015 r.) oraz kilka nagród indywidualnych II stopnia JM Rektora PŁ za osiągnięcia w działalności organizacyjnej.

6. PLANY HABILITANTA

W dalszej pracy na stanowisku naukowo-dydaktycznym habilitant zamierza kontynuować zaangażowanie na polu dotychczasowej aktywności jak i podejmować nowe inicjatywy. Zasadniczym obszarem jego zainteresowań badawczych pozostanie ekologia przemysłowa, jako interdyscyplinarna dziedzina wiedzy obejmująca zagadnienia techniczne, organizacyjne i projektowe dotyczące działalności przemysłowej przedsiębiorstw w kontekście wpływu ich cyklu życia na środowisko. Tematyka planowanych badań obejmie:

- wpływ na środowisko symbiozy przemysłowej (kontynuowane badania skupią się na ocenie cyklu życia inicjatyw polegających na wykorzystywaniu strumieni odpadowych innego typu niż badane do tej pory),
- uwzględnienie wpływu hałasu na środowisko przez metodę oceny cyklu życia (planowany zakres prac obejmie określenie zestawu parametrów oddziaływania hałasu na zdrowie ludzi, wyznaczenie wskaźników normalizacji, opracowanie procedury umożliwiającej uwzględnienie wpływu hałasu w ramach metody LCA, jak również zastosowanie stworzonego narzędzia do oceny oddziaływania na środowisko różnych obiektów przemysłowych),
- ocena wpływu na środowisko systemów gospodarki odpadami (dokonana zostanie analiza LCA różnych scenariuszy gospodarki odpadami z uwzględnieniem oddziaływania na środowisko fazy przygotowania odpadów do recyklingu).

Plany habilitanta obejmują również realizację projektów badawczych w wymienionych obszarach. Podjęta zostanie próba powołania międzynarodowego zespołu do realizacji zamierzeń projektowych. W ramach współpracy międzynarodowej habilitant planuje odbycie kilkumiesięcznego stażu w zagranicznej jednostce naukowej specjalizującej się w badaniach ekologii przemysłowej oraz ocenie cyklu życia.

Habilitant ma również zamiar kontynuować działalność prowadzoną na rzecz przedsiębiorstw i instytucji publicznych. Zakres tej działalności obejmie prace pomiarowo-badawcze dotyczące wyznaczania poziomu hałasu oraz wykonywanie analiz cyklu życia.

W ramach rozwoju działalności dydaktycznej habilitant planuje doskonalenie programów przedmiotów, których jest kierownikiem, modyfikację stosowanego systemu oceniania, aby zapewnić studentom informację zwrotną dotyczącą postępów osiąganych w trakcie odbywanych zajęć oraz opracowanie multimedialnego kursu na uczelnianej platformie e-learningowej. Przyszła działalność

popularyzatorska habilitanta obejmie prace organizacyjne na rzecz kolejnych edycji łódzkiego Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki.

Andrzej Marcinkowski