

**Załącznik nr 3**  
**do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego**  
**w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie**  
**Inżynieria Mechaniczna**

**Autoreferat**

**dr inż. Kamil Krot**

## Spis treści:

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych. ....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). ....	4
4.1 Osiągnięcia naukowe (ON): .....	4
Osiągnięcie Naukowe ON 1: .....	6
Osiągnięcie Naukowe ON 2: .....	12
Osiągnięcie Naukowe ON 3: .....	25
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej. ....	37
5.1 Staże naukowe:.....	37
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę. ....	38
6.1 Osiągnięcia dydaktyczne: .....	38
6.2 Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę: .....	40
7. Opis pozostałych osiągnięć dotyczących kariery zawodowej. ....	42
7.1 Nagrody: .....	42

**1. Imię i nazwisko.**

Kamil Krot

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

**2005 stopień doktora nauk technicznych** w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, **obrona rozprawy doktorskiej** pt.: „Opracowanie systemu wspomagającego planowanie procesów obróbkowych metodą obiektów elementarnych”. **Praca została wyróżniona** przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Wroclawskiej.

Promotor Prof. dr hab. inż. Edward Chlebus,

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Józef Gawlik,

Prof. dr hab. inż. Józef Mieczysław Krzyżanowski

**2000 tytuł magistra inżyniera, kierunek: Mechanika Budowa Maszyn, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny**, jednolite 5 – letnie studia magisterskie, od II roku indywidualny tok nauczania, studia zakończone **obroną dwóch prac dyplomowych** w zakresie: konstrukcji mechanicznych i technologii mechanicznych na **ocenę bardzo dobrą**.

Temat pracy technologicznej: „Metodyka wdrażania systemów PDM na przykładzie ADtranz Pafawag Sp. z o. o. Wrocław”, Promotor Prof. dr hab. inż. Edward Chlebus - **wyróżnienie w konkursie na najlepszą pracę dyplomową magisterską** im. Prof. Romana Sobolskiego.

Temat pracy konstrukcyjnej: „Metody określania wytrzymałości resztkowej konstrukcji poddanych długotrwałym obciążeniom termicznym”, Promotor: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński.

**3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.**

**od 2006 ÷ nadal** Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny  
adiunkt badawczo – dydaktyczny

**2005 ÷ 2006** Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji, asystent naukowo – dydaktyczny

**1999 ÷ 2005** Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji, technik

#### 4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

Jako osiągnięcia naukowe, stanowiące podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego wynikającego z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), wskazuję :

- trzy główne **Osiągnięcia Naukowe** (ON 1, ON 2, ON 3) wraz z osiągnięciami szczegółowymi dotyczącymi rozwiązań projektowych, których opisy znajdują się we wskazanych publikacjach i patentach.

##### 4.1 Osiągnięcia naukowe (ON):

**ON 1** Opracowanie **metody parametrycznego definiowania wymagań eksploatacyjnych produktów** implementującej systematykę **Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych**, determinującej **kolejne etapy cyklu życia produktu** poprzez dobór procesów wytwarzania i transportu technologicznego a także ocenę ich podatności na procesy recyklingu i ponownego użytkowania.

Na ON 1 składają się szczegółowe osiągnięcia naukowe:

**ON 1.1** Opracowanie metody **parametrycznego definiowania wymagań eksploatacyjnych produktów**, opartej na metodyce **Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych (FOE)**, umożliwiającej deterministyczne kształtowanie kolejnych etapów cyklu życia produktu.

**ON 1.2** Proponowane podejście integruje **dobór adekwatnych procesów wytwarzania** oraz **transportu technologicznego z oceną podatności produktu na recykling** i ponowne użytkowanie, wspierając tym samym decyzje w zakresie **zrównoważonego projektowania i eksploatacji**.

**ON 1.3** Metoda ta w sposób naturalny implementuje się w nowoczesnych **systemach wspomagania decyzji**, umożliwiając dynamiczne reagowanie na zmieniające się wymagania środowiskowe, logistyczne i użytkowe. W rezultacie, stanowi ona **istotny komponent podejścia projektowego zgodnego z paradygmatem Przemysłu 4.0**, wspierając procesy cyfrowej transformacji przedsiębiorstw produkcyjnych oraz implementację zasad **gospodarki o obiegu zamkniętym**.

**ON 2:** Opracowanie **metody recyklingu i częściowego ponownego użytkowania** wielomateriałowych kompozytów warstwowych z zastosowaniem obróbki laserowej.

Na ON 2 składają się szczegółowe osiągnięcia naukowe:

ON 2.1 Opracowanie **rozwiązania konstrukcyjnego umożliwiającego wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie laserowego przecinania** kompozytów warstwowych z pianką PUR.

ON 2.2 Opracowanie **metody laserowego przecinania** wielomateriałowych kompozytów warstwowych z pianką PUR.

ON 2.3 Opracowanie **sposobu wytwarzania paneli do izolacji termicznej** w procesach recyklingu.

ON 2.4 Opracowanie **urządzenia, sposobu i układu do oczyszczania powierzchni**, w szczególności powierzchni tworzywa sztucznego.

**ON 3** Opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych **przenośników w procesach ciągłego transportu technologicznego**, ograniczających i eliminujących kontakt transportowanych elementów z przenośnikami.

Na ON 3 składają się szczegółowe osiągnięcia naukowe:

ON 3.1 Opracowanie **transportera** płaskich elementów w środowisku cieczy, **ograniczającego kontakt** pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera.

ON 3.2 Opracowanie **transportera** płaskich elementów w środowisku cieczy **eliminującego kontakt pomiędzy transportowanymi elementami** i częściami transportera.

ON 3.3 Opracowanie **transportera** płaskich elementów w cieczy procesowej **w pozycji wertykalnej**.

ON.3.4 Opracowanie **transportera do pneumatycznego przekazywania elementów** pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej.

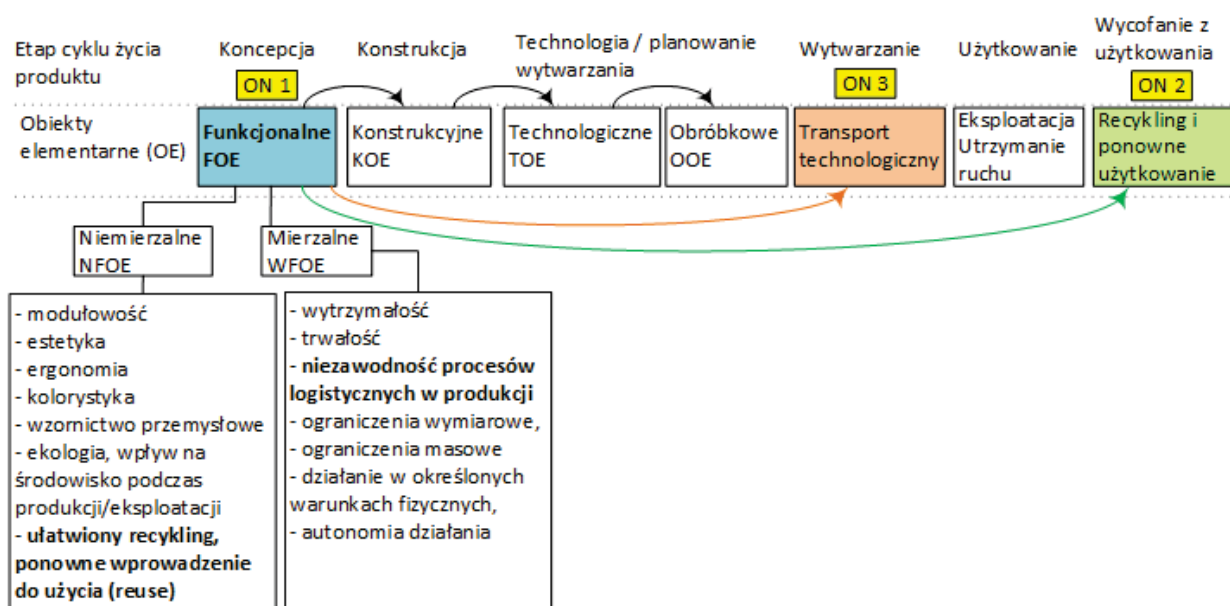
**Wyniki badań** zebrane w powyżej wymienionych Osiągnięciach Naukowych (a składające się w syntetycznym ujęciu na: „**Metody parametrycznego kształtowania cyklu życia produktów, integrujące projektowanie, recykling i transport technologiczny w paradygmacie Przemysłu 4.0 i gospodarki o obiegu zamkniętym**”) odpowiadające niżej wymienionym obszarom:

- definiowania **wymagań funkcjonalnych produktów, planowania procesów ich wytwarzania,**

- opracowania rozwiązań **ciągłego transportu technologicznego**,
- opracowania **metod usprawniających recykling i ponowne użytkowanie produktów** po wycofaniu ich z użytkowania,

zostały zebrane i przedstawione w **Monografii naukowej**, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy, Krot Kamil, „*Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025.

Wymienione powyżej Osiągnięcia Naukowe obejmują etapy w cyklu życia produktu od **definiowania wymagań eksploatacyjnych (ON 1)** do oddziaływania tych wymagań, zdefiniowanych z zastosowaniem metodyki Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych, na **recykling i ponowne użytkowanie produktów (ON 2)** oraz procesy **transportu technologicznego w wytwarzaniu (ON 3)** – rys. 1.



Rys. 1. Osiągnięcia naukowe (ON 1, ON 2, ON 3) na tle etapów cyklu życia produktu.

**Osiągnięcie Naukowe ON 1:** Opracowanie metody parametrycznego definiowania wymagań eksploatacyjnych produktów implementującej systematykę Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych (FOE), determinującej kolejne etapy cyklu życia produktu z uwzględnieniem procesów wytwarzania, transportu technologicznego oraz recyklingu i ponownego użytkowania.

Jedną z metod przetwarzania danych konstrukcyjnych do postaci umożliwiającej wykorzystanie ich w opracowaniu procesów technologicznych jest integracja poprzez Obiekty Elementarne. Znany podział Obiektów Elementarnych uwzględnia dwie, podstawowe klasy:

- **konstrukcyjne** (obejmujące wszystkie charakterystyczne elementy projektowanych podzespołów bądź złożów istotne z punktu widzenia zapisu konstrukcji),
- **technologiczne** (ogólna klasa Obiektów Elementarnych zawierająca dane istotne z punktu widzenia planowania technologicznego oraz wytwarzania komponentów).

W literaturze przedstawiane są fragmentaryczne rozwiązania uwzględniające zastosowanie Obiektów Elementarnych w obszarach:

- projektowania koncepcyjnego,
- rozwoju produkcji z wykorzystaniem narzędzi CAE,
- planowania procesów wytwarzania,
- projektowania procesów montażu.

Precyzyjny podział i klasyfikacja Obiektów Elementarnych **nie są jednak jednoznacznie określone i formalnie ustandaryzowane**. Powoduje to wiele **trudności w zakresie opracowania uniwersalnych narzędzi informatycznych w przetwarzaniu danych produktu**, pozwalających na wprowadzanie parametrów funkcjonalnych a następnie transformacji ich na obiekty konstrukcyjne i technologiczne, w celu wykorzystania ich do planowaniu procesów wytwarzania oraz pozostałych etapów cyklu życia produktu jak etap eksploatacji i wycofania z użytkowania.

**Szczegółowe osiągnięcie naukowe ON 1.1** dotyczy opracowania metody **parametrycznego definiowania wymagań eksploatacyjnych produktów**, opartej na **metodyce Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych**, umożliwiającej deterministyczne kształtowanie kolejnych etapów cyklu życia produktu.

Mając na względzie umożliwienie przetwarzanie danych produktu, w procesie jego rozwoju, **opracowano systematykę Obiektów Elementarnych wprowadzając nowe podgrupy Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych**.

Pierwsza, główna grupa zawiera **Obiekty Funkcjonalne (FOE)**. Znaczącym osiągnięciem jest tutaj zdefiniowanie **dwóch podgrup obiektów** rozdzielając **wymagania funkcjonalne, możliwe do sprecyzowania wartościami mierzalnymi, od wymagań niemierzalnych**, charakteryzujących się często opisem słownym (estetyka, modułowość) lub nieprecyzyjnymi określeniami jak np. ułatwiony recykling.

**Mierzalne Funkcjonalne Obiekty Elementarne (MFOE)**, możliwe do określenia wartościami liczbowymi, definiowane są poprzez wymagania w zakresie parametrów jak:

- wartości własności mechanicznych (np. wytrzymałość na zginanie, rozciąganie, ciśnienie),

- odporność na czynniki zewnętrzne jak temperatura pracy, czynniki chemiczne, promieniowanie słoneczne, stopień ochrony przed wnikaniem czynników zewnętrznych IP (*ang. Ingress Protection*),
- trwałość produktu w jednostkach czasu (przewidywany czas użytkowania),
- ograniczenia wymiarowe,
- masa maksymalna/minimalna.

Podobnie zaproponowano **Niemierzalne Funkcjonalne Obiekty Elementarne (NFOE)** z wykorzystaniem pojęć, charakteryzujących te obiekty, lecz trudnych do określania precyzyjnymi wartościami liczbowymi jak np.:

- modułowość konstrukcji,
- kolorystyka: stonowana, pastelowa, jaskrawa, krzykliwa,
- oddziaływanie na środowisko naturalne podczas wytwarzania, użytkowania,
- podatność na recykling, ponowne użytkowanie.

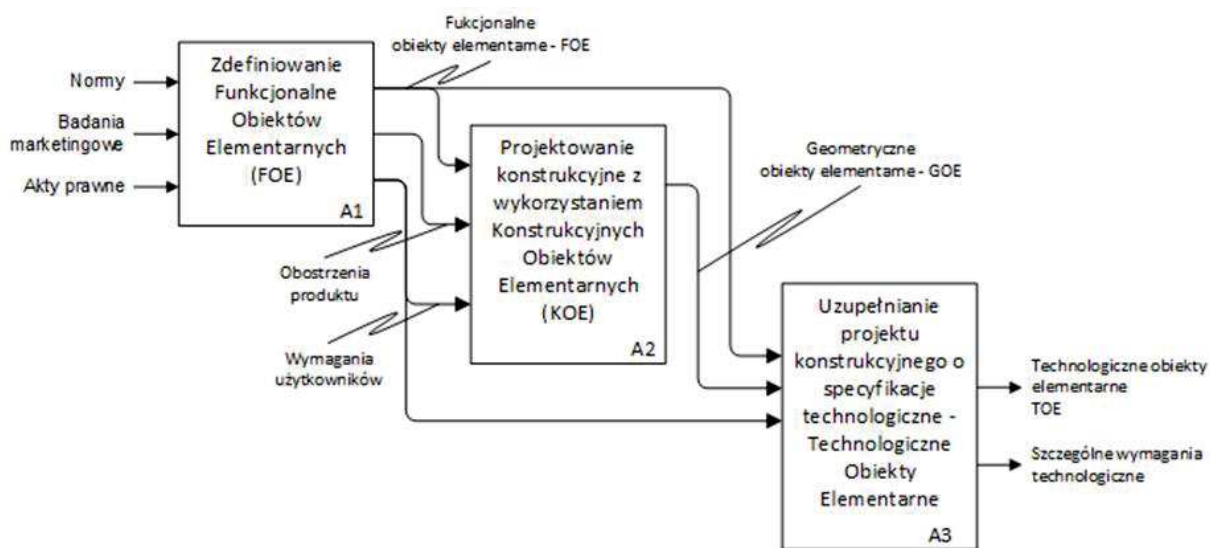
#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 1.1:**

- **Krot Kamil**, monografia naukowa „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025 , ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo zagadnienia dotyczące systematyki Obiektów Elementarnych z Mierzalnymi i Niemierzalnymi Funkcjonalnymi Obiektami Elementarnymi.
- **Krot Kamil**, Chlebus Edward „Identyfikacja parametrycznych cech konstrukcyjnych i technologicznych w środowisku systemów CAD 3D. Cz 1.” *Mechanik, nr 5/6,*, pp. 522-524. (2007). **Wkład własny:** Opracowanie metody ekstrakcji danych konstrukcyjnych z systemu CAD 3D oraz struktury bazy danych parametrów konstrukcyjno - technologicznych
- **Krot Kamil**, Chlebus Edward „Aplikacja parametrycznych danych modeli CAD 3D w planowaniu procesów wytwarzania. Cz. 2.” *Mechanik, nr 7,* pp. 586-588. (2007). **Wkład własny:** Opracowanie metody transformacji danych parametrów konstrukcyjno – technologicznych modelu CAD na Technologiczne Obiekty Elementarne.

**Osiągnięcie naukowe ON 1.2** Proponowane podejście **integruje dobór adekwatnych procesów wytwarzania oraz transportu technologicznego z oceną podatności produktu na recykling i ponowne użytkowanie, wspierając tym samym decyzje w zakresie zrównoważonego projektowania i eksploatacji.**

Warte podkreślenia jest, że zastosowanie w procesach rozwoju produktów **Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych** porządkuje i determinuje konstytuowanie Konstrukcyjnych

i **Technologicznych Obiektów Elementarnych**. Projektowanie konstrukcyjne nowego wyrobu realizowane jest na podstawie **wytycznych przekazanych konstruktorowi** w określonej formie. W standardach obiegu dokumentów **wymagania te mogą być ujęte w zestawie Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych**. Geometria projektowanej części, we współczesnych systemach CAD 3D, budowana jest z wykorzystaniem dostępnych obiektów konstrukcyjnych, wraz z parametrami określającymi te obiekty (wymiary, odchyłki, zależności geometryczne). W toku rozwoju produktu przy wykorzystaniu **Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych, FOE są przekształcane na Konstrukcyjne Obiekty Elementarne**, a w następnie **Konstrukcyjne Obiektów Elementarnych na Technologiczne** – rys. 2.



Rys. 2 Proces przekształcania Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych na Konstrukcyjne i Technologiczne.

### Publikacje związane z osiągnięciem ON 1.2:

- **Krot Kamil**, monografia naukowa „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – publikacja zawiera szczegółowy opis struktur edytowalnych reguł decyzyjnych stosowanych w identyfikacji Technologicznych Obiektów Elementarnych.
- **Krot Kamil**, Czajka Jacek “Processing of Design and Technological Data Due to Requirements of Computer Aided Process Planning Systems”, Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance. ISPEM 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing (pp. 267-274). (2019). **Wkład własny:** Opracowanie przeglądu sposobów wymiany danych pomiędzy systemami CAD i CAPP. Przygotowanie formatów wymianę danych oraz specyfikacji z uwagi na wymagania systemów CAPP.

- **Krot Kamil**, Kuliberda Michał „Metody integracji systemów CAD i CAPP”. Przegląd Mechaniczny, R. 67, nr 7/8,, pp. 47-50. (2008). **Wkład własny:** Opracowanie koncepcji metody integracji systemów wspomagających projektowanie CAD z systemami wspomagającymi planowanie procesów technologicznych CAPP. Analiza funkcjonalności interfejsów programistycznych API z uwagi na możliwości wymiany danych i komunikacji pomiędzy systemami CAD i CAPP. Opracowanie zestawienia danych geometrycznych, parametrów wymiarowych, charakterystyk technologicznych do importu z systemu CAD 3D do CAPP.
- Kuliberda Michał, **Krot Kamil** „Praktyczne aspekty automatycznego rozpoznawania technologicznych obiektów elementarnych.” Mechanik, nr 1, supl. Referat z XVII Konferencji nt. Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo, Krasieczyn, 7-9 października 2009., pp. 1-8. (2010). **Wkład własny:** Opracowanie koncepcji działania dedykowanego systemu ekspertowego do wspomaganie realizacji wybranych zagadnień opracowania procesu technologicznego, w tym identyfikacji TOE. Opracowanie algorytmów identyfikacji technologicznych obiektów elementarnych (TOE).

**Osiągnięcie naukowe ON 1.3:** Metoda oparta o **Funkcjonalne Obiekty Elementarne** w sposób naturalny implementuje się w nowoczesnych **systemach wspomagania decyzji**, umożliwiając dynamiczne reagowanie na zmieniające się wymagania środowiskowe, logistyczne i użytkowe. W rezultacie, **stanowi ona istotny komponent podejścia projektowego zgodnego z paradygmatem Przemysłu 4.0**, wspierając **procesy cyfrowej transformacji** przedsiębiorstw produkcyjnych oraz implementację zasad **gospodarki o obiegu zamkniętym**.

Wymagania funkcjonalne produktów dotyczyć mogą czynników zewnętrznych, wpływających na wyrób, a związanych z dyrektywami, trendami społeczno-gospodarczymi czy przyjętą polityką firmy. **Funkcjonalne Obiekty Elementarne** są właściwym i użytecznym **narzędziem do definiowania założonego odgórnie stopnia oddziaływania na środowisko naturalne**. Oddziaływanie to może być kreowane poprzez zrównoważone projektowanie, wytwarzanie, czy zrównoważony rozwój produktu (*ang. sustainable design, manufacturing, sustainable product development*).

Znane są metody i narzędzia informatyczne do określania tzw. **śladu środowiskowego produktu** PEF (*ang. Product Environmental Footprint*). PEF charakteryzuje jak produkt, wraz z technologią jego produkcji, dystrybucji i użytkowaniem wpływają na środowisko naturalne. Brane są tutaj pod uwagę różne czynniki środowiskowe. Popularnym wskaźnikiem określającym oddziaływanie produktu na środowisko jest ślad węglowy PCF (*ang. Product Carbon Footprint*), określa on

wielkość całkowitej emisji gazów cieplarnianych podczas pełnego cyklu życia produktu, wyrażonych w ekwiwalencie CO<sub>2</sub>. Obok śladu węglowego, przyjmowane są inne wskaźniki oddziaływania na środowisko naturalne, wymienia się następujące ślady:

- wodny WF (*ang. Water Footprint*),
- energetyczny EF (*ang. Energy Footprint*),
- węglowy CF (*ang. Carbon Footprint*),
- fosforowy PF (*ang. Phosphorus Footprint*),
- azotowy NF (*ang. Nitrogen Footprint*),
- gruntowy LF (*ang. Land Footprint*),
- bioróżnorodności BF (*ang. Biodiversity Footprint*),
- materiałowy MF (*ang. Material Footprint*).

Wymienione powyżej **wskaźniki oddziaływania na środowisko** mogą być używane jako **jedne z FOE**, charakteryzujących wartości docelowe, którym należy podporządkować wszystkie kolejne procesy rozwoju produktu, związane z doбором materiałów konstrukcyjnych, półfabrykatów postaci geometrycznej oraz technologii wytwarzania. Postępowanie takie umożliwi **kreowanie produktów o określonych parametrach oddziaływania na środowisko** a nie tylko wtórną ocenę tego oddziaływania w już istniejących, eksploatowanych produktach.

**Opracowana systematyka Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych umożliwia** określanie założeń dotyczących **ponownego użytkowania (*ang. reuse*) całego produktu** lub wybranych komponentów wchodzących w skład produktu. Przyjęte, na etapie definiowania FOE, założone wartości śladów oddziaływania środowiskowego PEF, należy uzupełnić o wartość wskaźnika określającego możliwość ponownego użycia. W celu **sparametryzowania Funkcjonalnego Obiektu Elementarnego „Reuse”**, określającego podatność produktu na przetworzenie i ponowne użytkowania **proponuje się wartość procentową**, opisującą jaka część produktu będzie możliwa do ponownego wprowadzenia do użytkowania. **Mierzalny Funkcjonalny Obiekt Elementarny MFOE „Reuse”**, o wartości 40% oznacza, w tak przyjętej notacji, że 40% podsystemów technicznych, komponentów wchodzących w skład produktu, zostanie tak skonstruowanych i wytworzonych, że możliwe będzie ich przygotowanie i wprowadzenie do ponownego użytkowania.

Oddziaływanie poprzez Mierzalny Funkcjonalny Obiekt Elementarny MFOE „Reuse” na procesy wycofania z użytkowania produktów powiązane są z **Osiągnięciem Naukowym ON 2**, dotyczącym opracowania **metody recyklingu i częściowego ponownego użytkowania wielomateriałowych kompozytów warstwowych**.

Podobnie **Mierzalne Funkcjonalne Obiekty Elementarne** są użyteczne do określania **transportu technologicznego**, stosowanego na etapie wytwarzania produktów. **Mierzalny Funkcjonalny Obiekt Elementarny „Niezawodność transportu”** jest odpowiednim narzędziem do definiowania wymaganego stopnia niezawodności procesów transportowych w produkcji. Jako miarę niezawodności transportu zastosować można klasyczny wskaźnik dla niezawodności układu technicznego - **prawdopodobieństwa zdarzenia, że układ transportu technologicznego będzie zachowywał zdolność do poprawnego działania**. Zagadnienie oddziaływania poprzez Funkcjonalne Obiekty Elementarne na niezawodność wykorzystywanych w produkcji systemów transportowych powiązane jest z **Osiągnięciem Naukowym ON 3**, które dotyczy opracowania **wariantów transportu technologicznego elementów w cieczy**, minimalizujących uszkodzenia transportowanych produktów w procesie.

#### **Publikacja związana z osiągnięciem ON 1.3:**

- **Krot Kamil, monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano zastosowanie metody parametrycznego definiowania wymagań eksploatacyjnych implementującej systematykę Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych w kontekście wskaźników umożliwiających oddziaływanie na środowisko jak również implementację zasad gospodarki o obiegu zamkniętym.

Podsumowując opisaną w **ON 1** metodę **parametrycznego definiowania wymagań funkcjonalnych** produktów implementującą systematykę **Funkcjonalnych Obiektów Elementarnych**, determinującą kolejne etapy cyklu życia produktu poprzez **dobór procesów wytwarzania i transportu technologicznego** a także ocenę ich **podatności na procesy recyklingu** i ponownego należy pokreślić jej **znaczny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

#### **Osiągnięcie Naukowe ON 2:**

Opracowanie **metody recyklingu i częściowego ponownego użytkowania wielomateriałowych kompozytów warstwowych** z zastosowaniem obróbki laserowej – osiągnięcie projektowe.

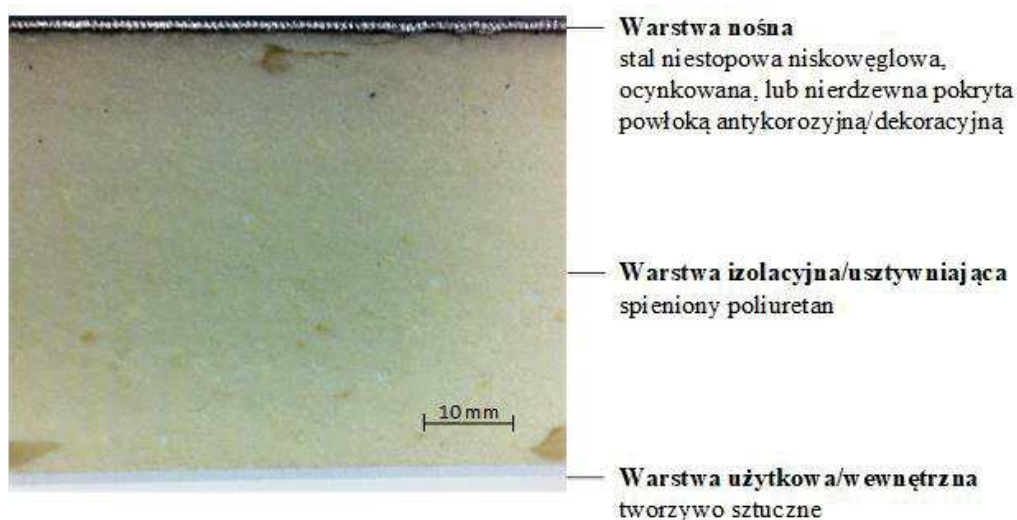
Kompleksowy cykl życia produktu składa się, obok jego rozwoju i technologii wytwarzania, również z produkcji, dystrybucji, okresu użytkowania oraz **wycofania z rynku**. Ostatnim etapem jest „likwidacja”, która określa wszystkie procesy związane z wycofaniem wyrobu z rynku. Na procesy te składa się również **recykling** – przetwarzanie produktów wycofanych z użytkowania

prowadzące do odzyskiwania materiałów, z których zbudowany był produkt, i wprowadzanie ich na rynek jako surowce wtórne. W ostatnim czasie zauważalne są ogólnoświatowe tendencje do **minimalizowania, a docelowo zlikwidowania, negatywnego oddziaływania gospodarki na środowisko naturalne**. Aspekty te szeroko opisywane są w publikacjach dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym (*ang. circular economy*), czy zrównoważonych praktyk, minimalizujących wpływ procesów produkcyjnych oraz samych wyrobów na środowisko. Publikowane są rozporządzenia i regulacje prawne, jak Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1799 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie wspólnych zasad promujących **naprawę towarów** oraz zmiany rozporządzenia (UE) 2017/2394 oraz dyrektyw (UE) 2019/771 i (UE) 2020/1828. Naprawa towarów, o której mowa powyżej obejmuje **ponowne użytkowanie produktów**, które utraciły swoje zdolności do prawidłowego funkcjonowania. W przypadku wielu produktów **nie są jednak opracowane rozwiązania techniczne umożliwiające przeprowadzanie napraw i przygotowanie do ponownego użytkowania**.

W ramach Osiągnięcia Naukowego ON 2 opracowano rozwiązania umożliwiające praktyczne **wdrożenie koncepcji częściowego ponownego użytkowania produktów oraz istotnie usprawniające procesy recyklingu wielomateriałowych kompozytów warstwowych**. Rozwiązania dotyczą kompozytowych obudów domowego sprzętu chłodniczego.

**Wielkogabarytowe, domowe urządzenia chłodnicze** takie jak lodówki, chłodziarki czy zamrażarki wymienione są w dyrektywie UE 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego WEEE (*ang. Waste Electrical and Electronic Equipment*). Zaleca się, aby urządzenia te były w **kontrolowany sposób wycofywane z rynku oraz poddane procesom recyklingu**.

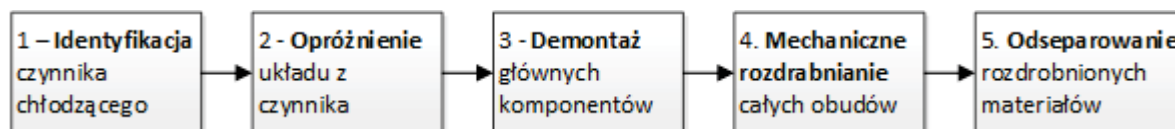
**Kompozytowe obudowy wielkogabarytowego sprzętu chłodniczego stanowią odpad uciążliwy w procesach recyklingu**. Spowodowane jest to trwałym połączeniem pomiędzy warstwami kompozytu warstwowego: pomalowaną blachą stalową, pianą poliuretanową i tworzywem sztucznym – rys. 3.



Rys. 3. Struktura kompozytu warstwowego w obudowach urządzeń chłodniczych.

Przedstawiona **struktura kompozytu** jest stosunkowo **szybka w produkcji** i dobrze sprawdza się podczas eksploatacji produktów, jednak **problematiczna podczas recyklingu**. Projektowane są specjalistyczne, kompleksowe linie technologiczne do recyklingu domowego sprzętu chłodniczego. Główne etapy recyklingu, realizowane w klasycznych liniach, to (rys. 4):

- (1) identyfikacja czynnika chłodzącego, czynnika spieniającego pianę PUR,
- (2) opróżnianie układu z czynnika,
- (3) demontaż głównych komponentów urządzenia chłodniczego,
- (4) **mechaniczne rozdrabnianie całych obudów** (*ang. crushing*),
- (5) odseparowanie materiałów po rozdrabnianiu.



Rys. 4. Główne etapy w klasycznym recyklingu kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego.

W procesach recyklingu obudów sprzętu chłodniczego obecnie najczęściej stosuje się mechaniczne rozdrabnianie całych obudów, a następnie separację na rozdrobnione materiały składowe kompozytu. W procesie takim **bezpownownie tracone są cechy użytkowe kompozytu warstwowego**.

**Opracowana w ramach ON 2 metoda recyklingu i częściowego ponownego użytkowania wielomateriałowych kompozytów warstwowych z zastosowaniem obróbki laserowej** dostarcza rozwiązań, które umożliwiają zachowanie cech użytkowych fragmentów obudów kompozytowych, **ponowne wprowadzenie ich do użytkowania - reuse** oraz poprawia **skuteczność procesów recyklingu** kompozytowych obudów, umożliwiając otrzymywanie

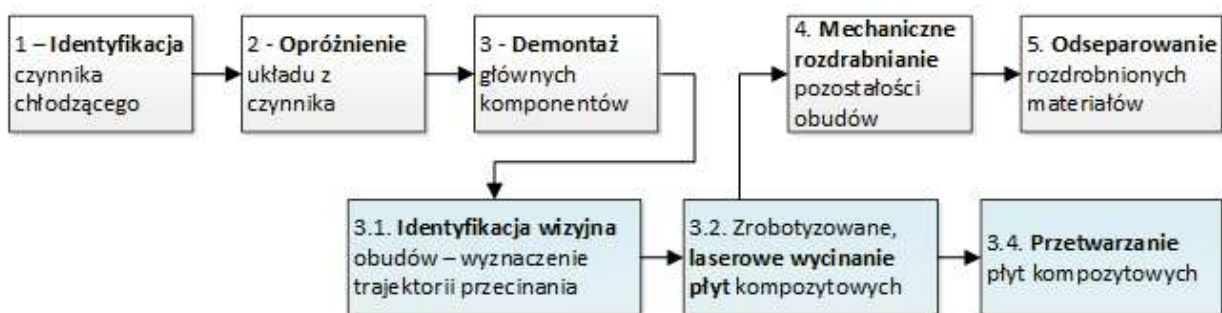
surowców wtórnych o większej czystości. Powyższe aspekty stanowią o **znacznym wkładzie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

Szczegółowe **Osiągnięcia Naukowe ON 2.1, ON 2.2 oraz ON 2.3** dotyczą rozwiązań umożliwiających częściowe wykorzystanie fragmentów obudów kompozytowych jako paneli do izolacji termicznej w budownictwie, co dostarcza rozwiązań umożliwiających wdrożenie koncepcji ponownego użytkowania produktów - reuse.

**Osiągnięcie ON 2.4** dotyczy rozwiązań umożliwiających poprawę efektywność procesów recyklingu kompozytowych obudów – umożliwiają otrzymywanie surowców wtórnych o wyższej czystości, a co jest z tym związane większej wartości rynkowej.

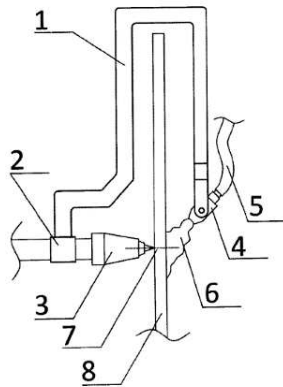
**Osiągnięcie Naukowe ON 2.1** Opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego umożliwiającego wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie laserowego przecinania kompozytów warstwowych z pianką PUR.

Nowe, zmodyfikowane procesy w recyklingu obudów sprzętu chłodniczego zawierają etap laserowego wycinania płyt kompozytowych (3.2.) – rys. 5.



Rys. 5. Nowe procesy w recyklingu kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego z obróbką laserową (3.1, 3.2, 3.3).

Istotą zastosowania technologii laserowej w przecinaniu kompozytów warstwowych jest **wykorzystanie energii stopionej promieniowaniem laserowym blachy stalowej** oraz gorącego strumienia gazów **do przecinania pozostałych warstw kompozytu**, aż do jego całkowitego przecięcia. Zastosowano technikę przecinania laserowego poprzez stopienie i wydmuchanie. Z uwagi na wysoką temperaturę procesu realizowanego w powietrzu, podczas przecinania materiały kompozytowe ulegały zapłonowi. W celu uniknięcia zapłonu proces należy przeprowadzać w niepalnej atmosferze. Opracowano i opatentowano (Polska Patent nr PL 218122, 2014) rozwiązanie umożliwiające **wytworzenie niepalnej atmosfery** w strefie przecinania laserowego (rys. 6).



Rys. 6. Rozwiązanie techniczne umożliwiające wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie przecinania laserowego – schemat z dokumentacji patentowej: (1)- stelaż, (2) obrotowy uchwyt głowicy, (3) głowica laserowa, (4) dysza niepalnego gazu, (5) przewód z niepalnym gazem, (6) obszar nadmuchu niepalnym gazem, (7) miejsce przecinania, (8) przecinany obiekt.

W warunkach laboratoryjnych opracowano instalację umożliwiającą wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie przecinania laserowego (rys. 7).



Rys. 7. Rozwiązanie techniczne umożliwiające wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie przecinania laserowego - implementacja praktyczna rozwiązania na stanowisku badawczym.

Instalacja z powodzeniem stosowana była w laserowym przecinaniu kompozytów warstwowych. Zastosowanie rozwiązania opisanego w **ON 2 umożliwia przecinanie laserowe kompozytów warstwowych z pianką PUR bez ryzyka zapłonu** przecinanego materiału. Rozwiązanie można stosować do innych zastosowań w procesach technologicznych, gdzie wysoka temperatura stwarza zagrożenie zapłonu łatwopalnych materiałów w powietrzu, przez co znacznie **wpływa na rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.**

#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 2.1:**

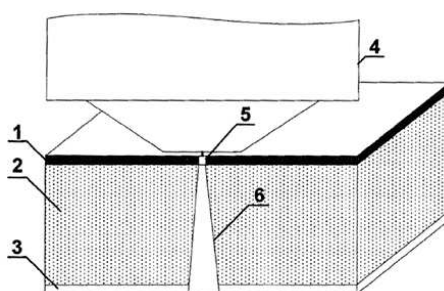
- Chlebus Edward, **Krot Kamil**, Jodkowski Bolesław (2014). Polska **Patent** No. PL 218122. „Urządzenie do cięcia laserowego”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca urządzenia do

przecinania laserowego umożliwiającego wytworzenie niepalnej atmosfery w strefie przecinania. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.

- **Krot Kamil, monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo wyniki prac dotyczących wytworzenia niepalnej atmosfery w strefie laserowego przecinania kompozytów warstwowych.
- Chlebus Edward, **Krot Kamil** (2011). Laser cutting of sandwich composite materials . Production engineering: innovations and technologies of the future (pp. 229-232). Wrocław: Institute of Production Engineering and Automation. International Conference "Production Engineering 2011". **Wkład własny:** Opracowanie koncepcji laserowego przecinania warstwowych struktur kompozytowych.

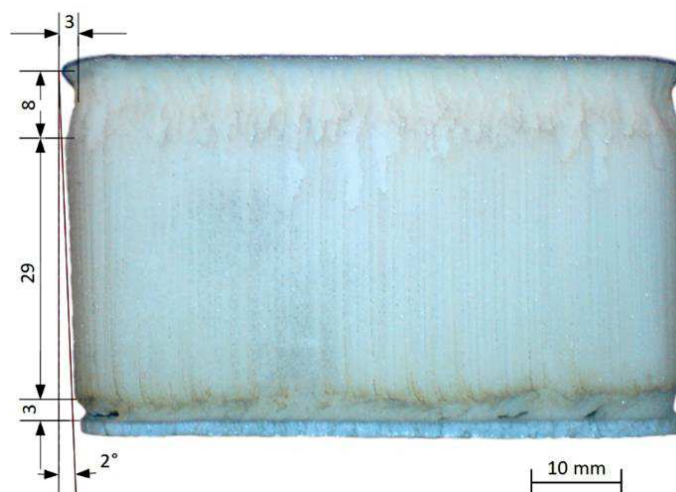
**Osiągnięcie Naukowe ON 2.2** Opracowanie **metody laserowego przecinania wielomateriałowych kompozytów warstwowych z pianką PUR.**

Mając na względzie możliwość przeprowadzania kontrolowanego laserowego procesu przecinania kompozytów warstwowych opracowano i opatentowano (Polska Patent nr PL 218123, 2014) **metodę laserowego przecinania kompozytów warstwowych**. Istotą metody jest oddziaływanie promieniowaniem laserowym na zewnętrzną warstwę kompozytu - blachę stalową, następnie produkty stapienia blachy przecinają kolejne warstwy kompozytu (rys. 8) aż do całkowitego rozdzielenia materiału.



*Rys. 8. Laserowe przecinanie kompozytu warstwowego - schemat z dokumentacji patentowej:  
1 - górna warstwa metaliczna przecinanego kompozytu, 2 - środkowa warstwa pianki poliuretanowej, 3 - warstwa tworzywa sztucznego, 4 – głowica laserowa, 5 – strefa przecinania warstwy metalicznej, 6 – szczelina wypalona w pozostałych warstwach kompozytu produktami przecinania warstwy metalicznej.*

W procesie konieczne było wytworzenie atmosfery z niepalnego gazu w strefie przecinania. Prace badawcze umożliwiły ustalenie okna procesowego parametrów przecinania pozwalających na wycinanie próbek o powtarzalnej geometrii w strefie przecinania – rys. 9.



Rys. 9. Próbkę kompozytu warstwowego wyciętą z zastosowaniem obróbki laserowej.

Zastosowanie powyższej metody w recyklingu kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego umożliwiło wycinanie fragmentów obudów kompozytowych w celu dalszego ich przetwarzania i docelowo ponownego wprowadzenia do użytkowania.

Kompozyty warstwowe należą do grupy materiałów trudnoobrabialnych. Opracowaną **metodę można stosować do przecinania różnych kompozytów warstwowych** z zewnętrzną warstwą z blachy oraz wewnętrzną z innych materiałów możliwych do stapiania bądź spalania podczas laserowego przecinania, co stanowi o **znacznym wkładzie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

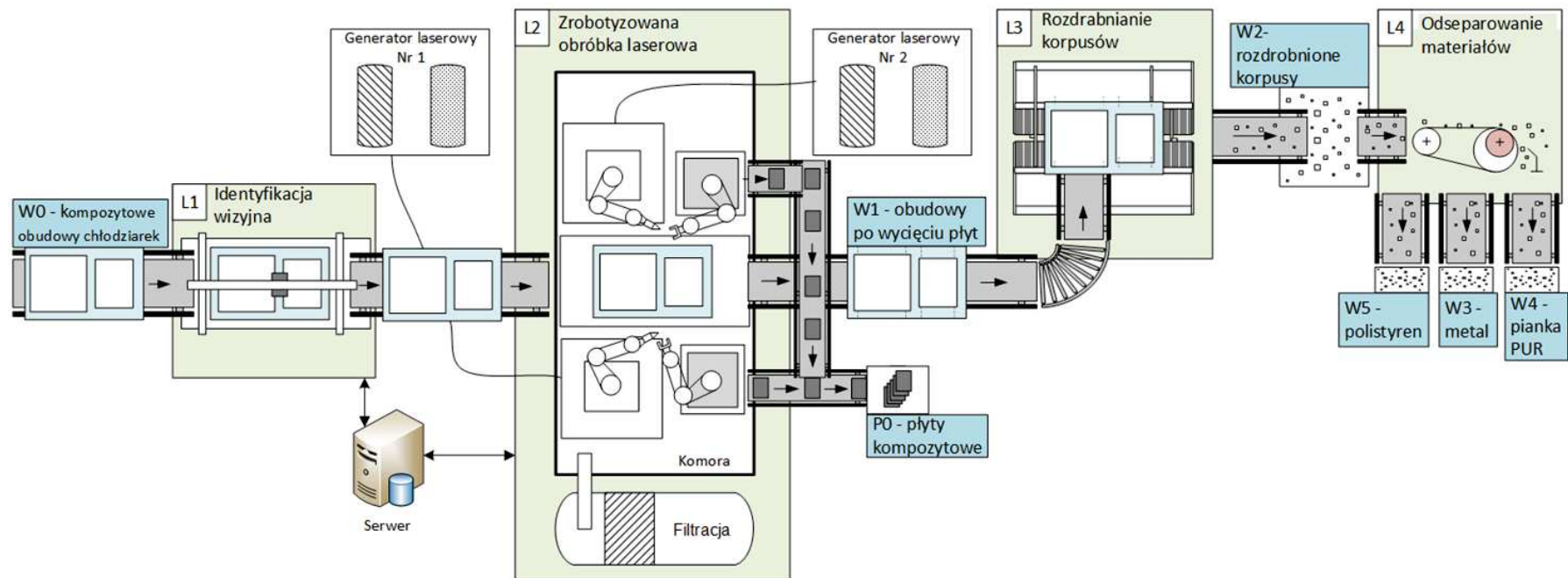
#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 2.2:**

- Chlebus Edward, **Krot Kamil**, Kuliberda, Michał, Antończak, Arkadiusz (2014). Polska **Patent** No. PL 218123, „Sposób przecinania kompozytów warstwowych”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca laserowego sposobu przecinania kompozytów warstwowych. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil**, **monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo wyniki prac dotyczących metody laserowego przecinania wielomateriałowych kompozytów warstwowych z pianką PUR.
- **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Kuźnicka Bogumiła (2017). Laser cutting of composite sandwich structures,. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 17, Issue 3,

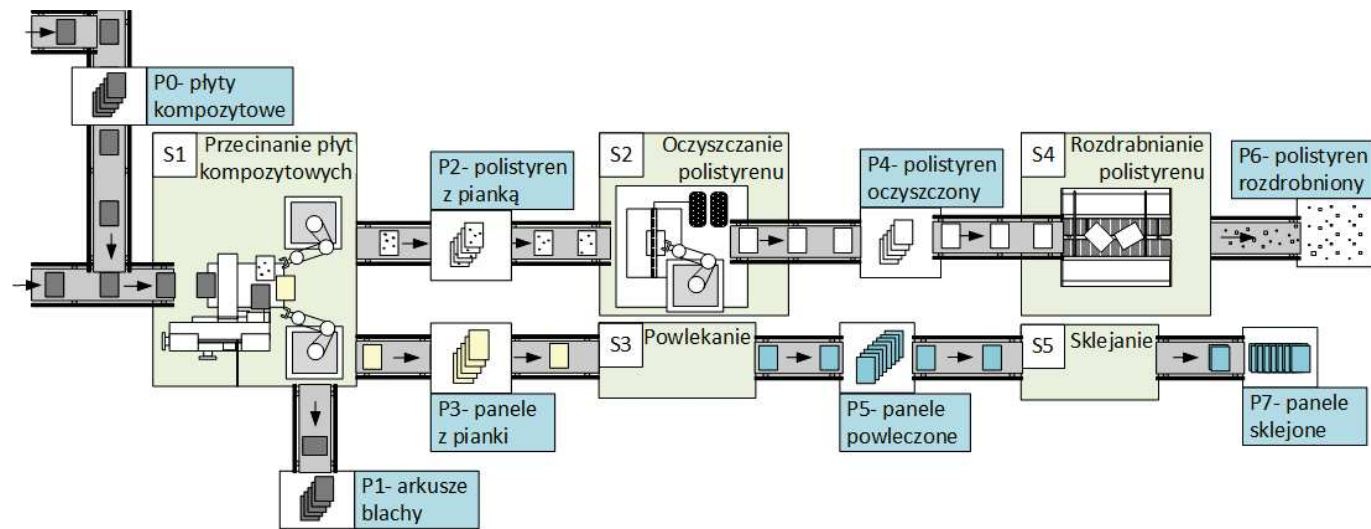
<https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.12.007>. **Wkład własny:** przygotowanie planu badań w zakresie laserowego przecinania kompozytów warstwowych, dobór parametrów procesu przecinania, analiza efektów przecinania.

**Osiągnięcie Naukowe ON 2.3** Opracowanie sposobu wytwarzania paneli do izolacji termicznej w procesach recyklingu.

Zmodyfikowane procesy recyklingu kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego umożliwiają otrzymanie jako produktów pośrednich płyt kompozytowych wyciętych laserowo, na rys. 10 oznaczonych jako „P0”. W celu otrzymania **paneli izolacyjnych**, możliwych do **ponownego wprowadzenia do użytkowania** zaprojektowano i opatentowano **sposób wytwarzania paneli do izolacji termicznej w procesach recyklingu** (Polska Patent nr PL220490, 2015). Kolejne etapy przetwarzania płyt kompozytowych „P0” przedstawiono na rys. 11. Zawarto tutaj kluczowe etapy w przetwarzaniu płyt kompozytowych „P0” do postaci paneli izolacyjnych, na rys. 11 oznaczonych jako panele sklejone „P7”.



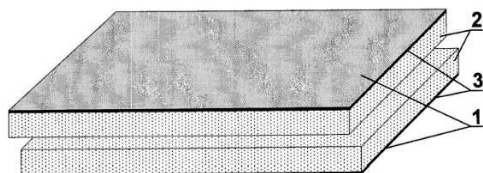
Rys. 10. Stanowiska linii do recyklingu kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego z półproduktami w postaci płyt kompozytowych („P0”).



Rys. 11. Stanowisk linii do recyklingu płyt kompozytowych „P0” z obudów chłodziarek.

Etapy przetwarzania płyt kompozytowych obejmują (rys. 11):

- mechaniczne przecinanie (S1) płyt kompozytowych w celu oddzielenia materiałów składowych,
- zabezpieczanie ścianek bocznych płyty z piany poliuretanowej przez powlekanie (S3),
- sklejanie powleczonych płyt (S5) umożliwiające otrzymanie paneli izolacyjnych jak na rys. 12.



Rys. 12. Panel izolacyjny z recyklingu obudów sprzętu chłodniczego – schemat z dokumentacji patentowej: 1 – warstwa kartonu, 2 – warstwa izolacji termicznej (pianka PUR), 3 - izolator ekranujący promieniowanie cieplne.

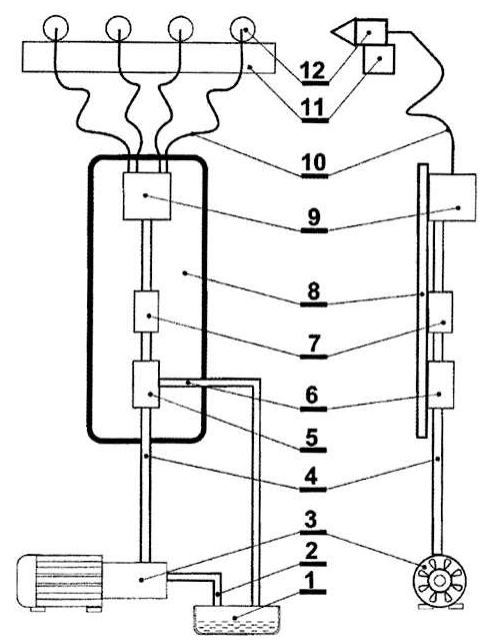
Opisany **sposób wytwarzania paneli do izolacji termicznej** w procesach recyklingu umożliwia praktyczne **wdrożenie koncepcji ponownego użytkowania** fragmentów kompozytowych obudów sprzętu chłodniczego, przyczynia się praktycznie do rozwoju koncepcji **gospodarki o obiegu zamkniętym**, a przez to znacznie **wpływa na rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 2.3:**

- Chlebus Edward, **Krot Kamil**, Kuliberda Michał. (2015). Polska **Patent** No. PL220490. „Sposób wytwarzania paneli do izolacji termicznej w procesach recyklingu”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca sposobu wytwarzania paneli do izolacji termicznej w procesach recyklingu. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil**, **monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo sposób wytwarzania paneli do izolacji termicznej w procesach recyklingu.
- **Krot Kamil**, Jodkowski Bolesław, Chlebus Edward, Faliński Wojciech. (2012). Coating methods of polyurethane foam sandwich panel obtained by disassembly household appliances using laser processing. In A. W. ed. by Jerzy Lewandowski, Product and packaging : tendencies for development in manufacturing (pp. 33-49). Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN: 978-83-7283-451-5. **Wkład własny:** Opracowanie koncepcji powlekania folią polimerową płyt z piany poliuretanowej.

**Osiągnięcie Naukowe ON 2.4 Opracowanie urządzenia, sposobu i układu do oczyszczania powierzchni, w szczególności powierzchni tworzywa sztucznego.**

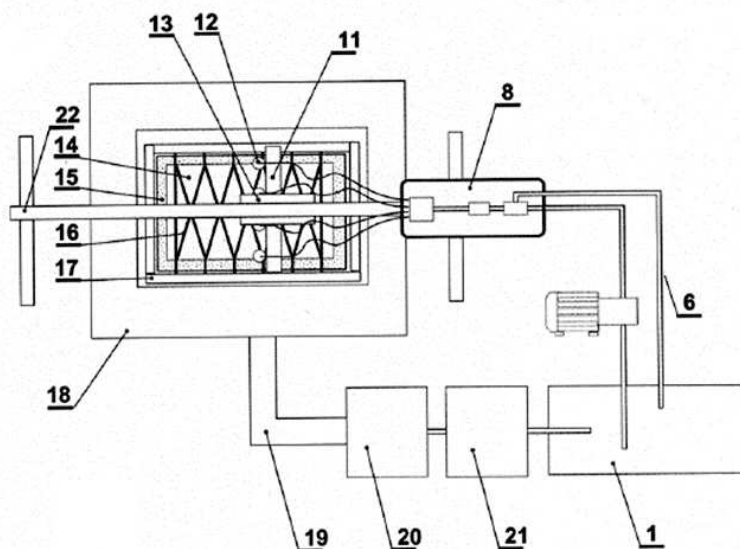
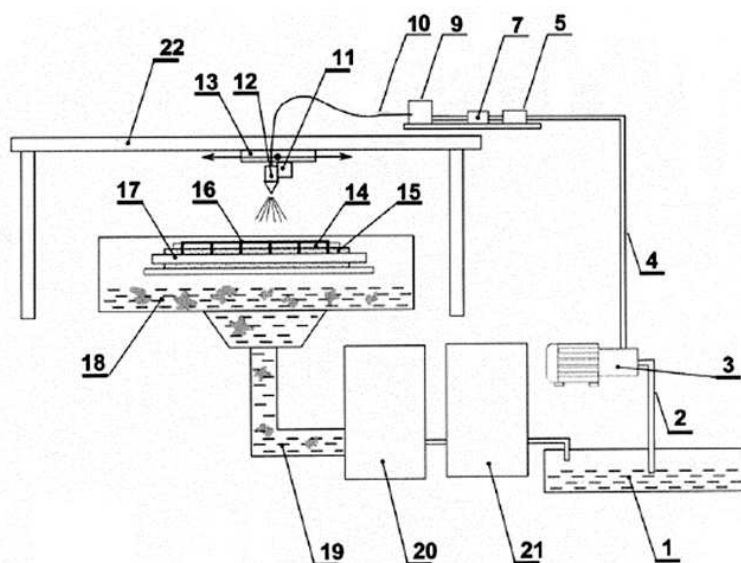
Osiągnięcie ON 2.4 dotyczy opracowania **urządzenia sposobu i układu umożliwiającego oczyszczanie powierzchni płyt z tworzywa sztucznego**. Jak przedstawiono na rys. 11 wycięte mechanicznie płyty – polistyren zanieczyszczony pianką (P2) w celu otrzymania większej czystości oraz wyższej wartości na rynku surowców wtórnych należy oczyścić na stanowisku (S2). Konieczne do tego jest opracowanie odpowiedniego urządzenia. Opracowano i opatentowano (Polska Patent nr PL214786, 2013) **urządzenie wykorzystujące wysokoenergetyczne strugi wody do usuwania pozostałości pianki z powierzchni tworzywa sztucznego** – rys. 13.



*Rys. 13. Urządzenie do oczyszczania powierzchni, w szczególności powierzchni tworzywa sztucznego: 1 – zbiornik cieczy, 2 – przewód doprowadzający cieczy, 3 – pompa, 4 – przewód łączący pompę z układem czyszczącym, 5 – zawór dławiaczy, 6 – przewód odprowadzający nadmiar cieczy, 7 – zawór, 8 – płyta montażowa, 9 – rozdzielacz, 10 – przewody elastyczne, 11 – liniowa głowica czyszcząco-myjąca, 12 – dysze rotacyjne.*

Urządzenie przedstawione na rys. 13 wykorzystano w opracowaniu **sposobu i układu do oczyszczania powierzchni tworzywa sztucznego z pozostałości pianki poliuretanowej**. Rozwiązanie zgłoszono do ochrony własności intelektualnej poprzez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Procedura zakończyła się pozytywnie, przyznaniem patentu (Polska Patent nr PL 214787, 2013).

Na rys. 11. stanowisko do oczyszczania polistyrenu oznaczono jako (S2). Na potrzeby tego stanowiska, wykorzystując urządzenie do oczyszczania, opracowano układ do oczyszczania – rys. 14.



Rys. 14. Układ do oczyszczania płyt polistyrenowych z zanieczyszczeń pianką PUR: 1 – zbiornik cieczy procesowej, 2 – przewód doprowadzający ciecz do pompy, 3 – pompa, 4 – przewód łączący pompę z układem do oczyszczania, 5 – zawór, 6 – przewód odprowadzający nadmiar cieczy do zbiornika, 7 – zawór dławiący, 8 – płyta montażowa, 9 – rozdzielacz, 10 – przewody elastyczne doprowadzające ciecz do dysz procesowych, 11 – belka poprzeczna, 12 – dysze procesowe, 13 – wózek napędu liniowego, 14 – oczyszczane tworzywo sztuczne, 15 – podłoże, 16 – siatka mocująca tworzywo, 17 – rama dociskowa, 18 – wanna procesowa, 19 – przewód odprowadzający zanieczyszczoną ciecz, 20 – urządzenie oczyszczające, 21 – urządzenie filtrujące, 22 – napęd liniowy.

Istota wynalazku polega na tym, że arkusz zanieczyszczonego pianą PUR tworzywa sztucznego umieszcza się na podatnym, elastycznym podłożu i zabezpiecza siatką. Na oczyszczaną powierzchnię tworzywa kierowane są przez dysze procesowe strumienie cieczy pod wysokim ciśnieniem (rzędu 250 barów). Strumienie cieczy usuwają pozostałości pianki poliuretanowej z oczyszczanej powierzchni. W celu automatyzacji procesu przewidziano osadzenie dysz

procesowych na wózku napędu liniowego. Rozwiązanie takie umożliwia kontrolowanie czasu oddziaływania cieczy na powierzchnię oczyszczaną poprzez sterowanie prędkością przesuwu układu oczyszczającego względem oczyszczanej powierzchni.

W efekcie procesu oczyszczania możliwe są do uzyskania produkty oznaczone na rys. 11 jako (P4) – oczyszczony polistyren. Jeżeli arkusze polistyrenu nie są pożądaną postacią handlową tego materiału, przewidziano możliwość uzyskania polistyrenu rozdrobnionego (P6) na stanowisku do rozdrabniania polistyrenu.

Opracowane **urządzenie, sposób i układ do oczyszczania powierzchni**, w szczególności powierzchni tworzywa sztucznego **pozwala na otrzymywanie surowca wtórnego - polistyrenu o większej czystości** w porównaniu do klasycznych procesów w recyklingu sprzętu chłodniczego. Rozwiązanie **można stosować w recyklingu do innych materiałów** np. do blachy stalowej, o ile pożądaną jest zwiększenie jej czystości, przyczynia się ono do rozwoju koncepcji **gospodarki o obiegu zamkniętym, co stanowi o znacznym wkładzie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 2.4:**

- **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Chrapek Krzysztof, Jodkowski Bolesław. (2013). Polska **Patent** No. PL214786. „**Urządzenie do oczyszczania powierzchni**, w szczególności powierzchni tworzywa sztucznego”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca urządzenia. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Jodkowski Bolesław, Chrapek Krzysztof. (2013). Polska **Patent** No. PL 214787. „**Sposób oczyszczania powierzchni tworzywa sztucznego z pozostałości pianki poliuretanowej i układ do oczyszczania powierzchni tworzywa sztucznego z pozostałości pianki poliuretanowej**”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca sposobu oczyszczania powierzchni tworzywa sztucznego z pozostałości pianki poliuretanowej i układu do oczyszczania powierzchni tworzywa sztucznego z pozostałości pianki poliuretanowej. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil**, **monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo urządzenia do oczyszczania powierzchni, w szczególności tworzywa sztucznego.

### **Osiągnięcie Naukowe ON 3:**

Opracowanie **rozwiązań konstrukcyjnych przenośników w procesach ciągłego transportu technologicznego**, ograniczających i eliminujących kontakt transportowanych elementów z przenośnikami.

Omówione w ON 1 Funkcjonalne Obiekty Elementarne mogą być zastosowane do definiowania wymaganego w produkcji stopnia **niezawodności procesów transportu technologicznego**. Jeżeli wymagania produktu narzucają konieczność realizacji procesów wytwarzania z wysoką niezawodnością należy opracować rozwiązania zmniejszające prawdopodobieństwo występowania przestojów w produkcji. Przestoje te mogą dotyczyć sytuacji wynikających z awarii systemu transportowego bądź z uszkodzeń transportowanych elementów spowodowanych stosowanymi rozwiązaniami transportu technologicznego. Analizując znane klasyfikacje środków transportu można zauważyć **brak transportu fluidalnego**, obejmującego rozwiązania umożliwiające transportowanie elementów z minimalizacją, ograniczeniem lub całkowitym wyeliminowaniem kontaktu fizycznego transportowanych elementów z systemem technicznym przenośnika.

**Istotą osiągnięcia ON 3 jest opracowanie wariantów transportu fluidalnego** dedykowanego do dwustronnych płyt PCB (*ang. Printed Circuit Board*) stosowanych w wytwarzaniu obwodów drukowanych oraz płytek krzemowych, stanowiących elementy składowe paneli fotowoltaicznych. Specyfika nowych rozwiązań transportu umożliwia przemieszczanie komponentów pomiędzy kolejnymi etapami ciągłych procesów obróbki chemicznej - technicznie pomiędzy wannami procesowymi z roztworami chemicznymi. Opracowane **rozwiązania transportu ograniczają lub całkowicie eliminują fizyczny kontakt pomiędzy częściami przenośnika a transportowanymi elementami, a przez to zmniejszają prawdopodobieństwo uszkodzeń elementów wynikających z tego kontaktu**. Uszkodzenia elementów, takich jak płytki krzemowe, wynikają z ich własności mechanicznych. Są to **elementy kruche**, a tradycyjnie wykorzystywane przenośniki rolkowe powodują ich pękanie w procesach transportu podczas obróbki chemicznej. Pokruszona płytka krzemowa **zanieczyszcza roztwór procesowy** i wymusza **awaryjne zatrzymanie** linii technologicznej, następnie oczyszczenie wanny procesowej i ponowne napełnienie czystym roztworem. Takie awarie są wysoce niepożądane podczas eksploatacji linii technologicznych, powodują **kosztowne przestoje**.

Podczas wytwarzania elementów paneli fotowoltaicznych najważniejszym procesem jest kontrolowane trawienie całej powierzchni płytek krzemowych, celem uzyskania odpowiedniej struktury na powierzchni. To zadanie realizowane jest przez urządzenia o konstrukcji i zasadzie

działania zbliżonej do maszyn wykorzystywanych w procesie trawienia obwodów drukowanych PCB. Analizując stan techniki w obszarze linii technologicznych do obróbki chemicznej znane rozwiązania do transportowania komponentów opierają się głównie na elementach tocznych, takich jak: wałki, krążki oraz fragmentarycznie na elementach ślizgowych (płyty, grzebienie). Wykorzystywane są również przenośniki pasowe i podwieszane. Popularnym rozwiązaniem transportu horyzontalnego jest system transportu na napędzanych rolkach/wałkach. Dolne rolki zazwyczaj są napędzane, co zapewnia kontrolowanie procesu transportu, górne rolki zapewniają docisk płytek do rolek dolnych i stabilizują płytki podczas transportu– rys. 15.



Rys. 15. Transport płytek krzemowych na rolkach z dodatkowym natryskiem i dociskiem.

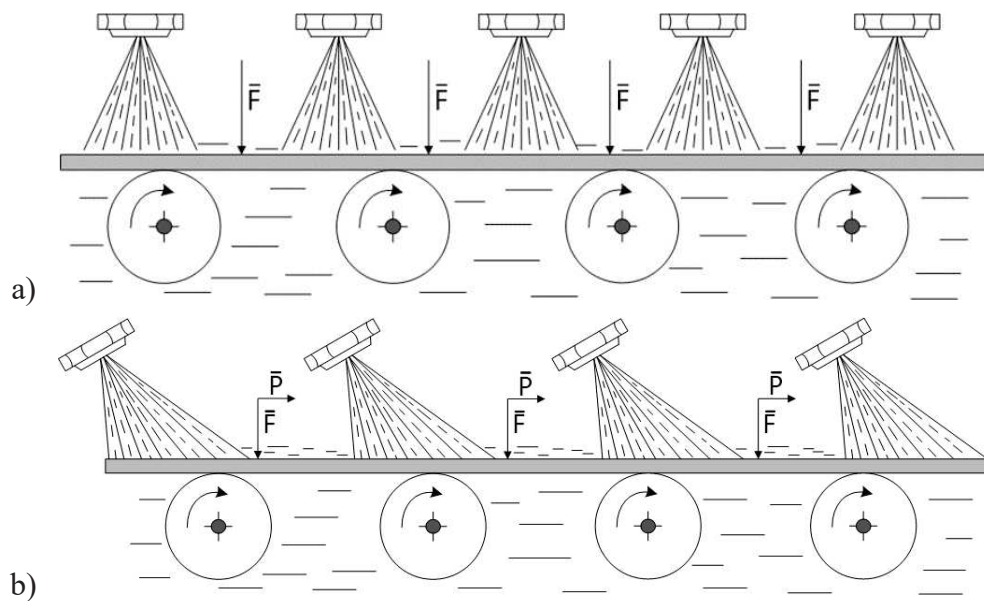
Zastosowanie rolek dociskających wywołuje naprężenia, które powodować mogą kruche pękanie płytek i prowadzić do stanów awaryjnych systemu transportowego. W celu wyeliminowania takich stanów awaryjnych opracowano nowe rodzaje przenośników.

Na ON 3 składają się szczegółowe osiągnięcia naukowe:

- ON 3.1 opracowanie rozwiązania transportera **ograniczającego kontakt** transportowanych płytek z przenośnikiem poprzez **eliminację docisku rolkami górnymi**,
- ON 3.2 opracowanie rozwiązania transportera, które całkowicie **eliminuje bezpośredni kontakt** transportowanych elementów z częściami przenośnika,
- ON 3.3 opracowanie rozwiązania **ograniczającego kontakt z płaskimi częściami** płytek w procesach transportu poprzez **transportowanie ich w pozycji wertykalnej** z bocznym natryskiem z dysz procesowych.
- ON 3.4 opracowanie rozwiązania do **pneumatycznego przekazywania elementów pomiędzy mokrymi sekcjami procesowymi**,

**Osiągnięcie naukowe ON 3.1** Opracowanie **transportera** płaskich elementów w środowisku cieczy, **ograniczającego kontakt** pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera.

Opracowując rozwiązania transportu zmniejszające prawdopodobieństwo uszkodzeń transportowanych elementów w wyniku naprężeń wyeliminowano górne rolki dociskające. Docisk elementów do rolek dolnych zrealizowano poprzez oddziaływanie ciśnieniem cieczy procesowej. Opracowano układ dociskający transportowane elementy poprzez ciśnienie kierowane przez dysze procesowe na górną stronę transportowanych elementów – rys. 16.



Rys. 16. Rozwiązania transportu fluidalnego ograniczającego kontakt transportowanych elementów z częściami przenośnika: (a) rolki dolne napędzane, docisk strumieniem cieczy, (b) rolki dolne bierne, napęd i docisk strumieniem cieczy procesowej.

Rozwiązanie techniczne pt. „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych” zgłoszono do ochrony w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej. Postępowanie zakończyło się przyznaniem patentu (Polska Patent nr PL 225094, 2017). Opracowane rozwiązania zweryfikowano drogą badań symulacyjnych wykorzystując metody: układów wielocłonowych MBS (ang. *Multi Body Simulation*) oraz metodę numerycznej mechaniki płynów CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*). Poza tym opracowano stanowiska laboratoryjne, na których testowano skuteczność rozwiązań transportu oraz przeprowadzano pomiary kluczowych parametrów transportu – rys. 17.



*Rys. 17. Stanowisko laboratoryjne do badań rozwiązań transportu fluidalnego.*

Uzyskane wyniki potwierdziły poprawność działania opracowanych rozwiązań w warunkach laboratoryjnych.

Opracowany **transporter, ograniczający kontakt transportowanych płytek z przenośnikiem** poprzez eliminację docisku rolkami górnymi **zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia transportowanych elementów** w porównaniu do znanych rozwiązań transportu, a przez to **zwiększa niezawodność** całego układu, co stanowi o jego **znacznym wpływie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 3.1:**

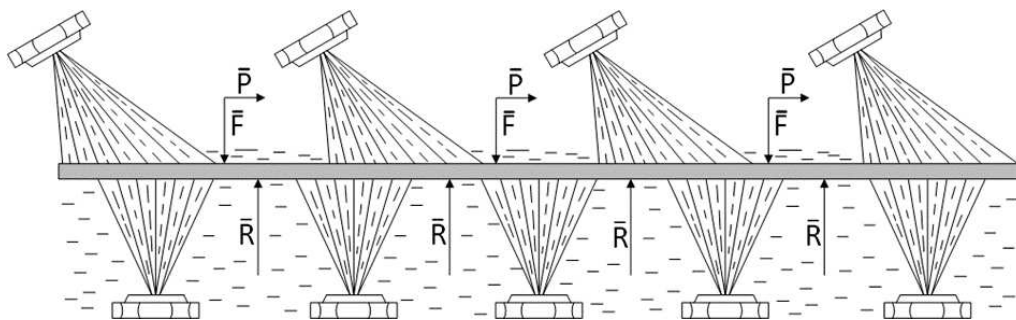
- Matuszewicz Wojciech, **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Górski Piotr, Zawislak Maciej (2017). Polska **Patent** No. PL 225097, „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca transportera płaskich elementów w procesach produkcyjnych ograniczającego kontakt elementów z częściami przenośnika. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil, monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo transporter płaskich elementów w środowisku cieczy, ograniczający kontakt pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera.
- **Krot Kamil**, Górski Piotr, Matuszewicz Wojciech. (2013). „System transportu fluidalnego w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych.” In p. r. Knosali, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* (pp. 173-180). Opole: Oficyna Wydawnicza

Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. **Wkład własny:** opracowanie koncepcji działania oraz konstrukcji przenośników fluidalnych

- Górski Piotr, **Krot Kamil**, Matuszewicz Wojciech (2016). Symulacje numeryczne fluidalnego systemu transportowego. In p. r. Knosali, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2* (pp. 740-748). Opole: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. **Wkład własny:** opracowanie modeli do badań symulacyjnych, opracowanie warunków brzegowych modelu symulacyjnego.

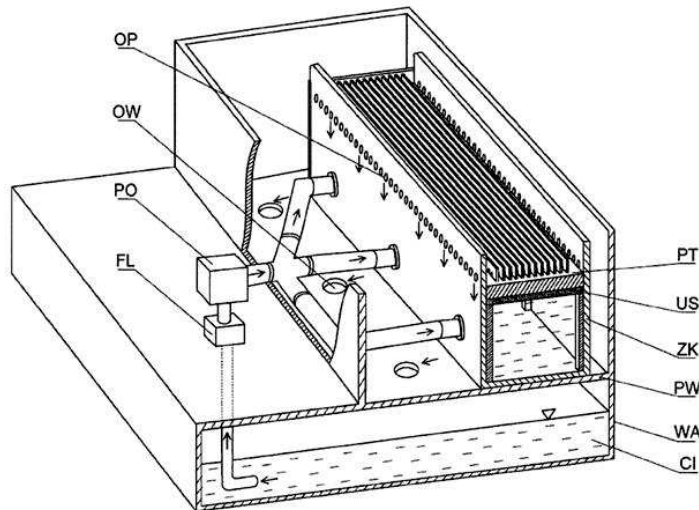
**Osiągnięcie naukowe ON 3.2** Opracowanie **transportera** płaskich elementów w środowisku cieczy **eliminującego kontakt** pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera.

Rozwijając koncepcję minimalizacji oddziaływania części przenośnika na transportowane elementy opracowano transporter płaskich elementów w pozycji horyzontalnej eliminującego kontakt elementów z przenośnikiem. Stateczność transportowanych elementów zapewnia ciśnienie cieczy procesowej skierowanej od dołu – rys. 18.

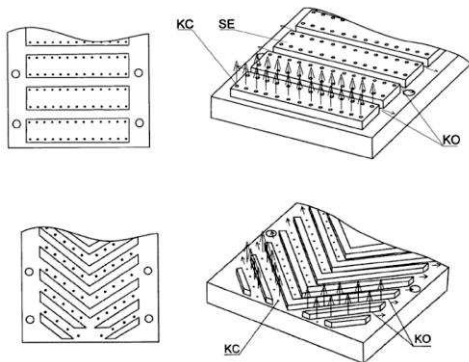


*Rys. 18. Transporter fluidalny całkowicie eliminujący fizyczny kontakt transportowanych elementów z częściami przenośnika.*

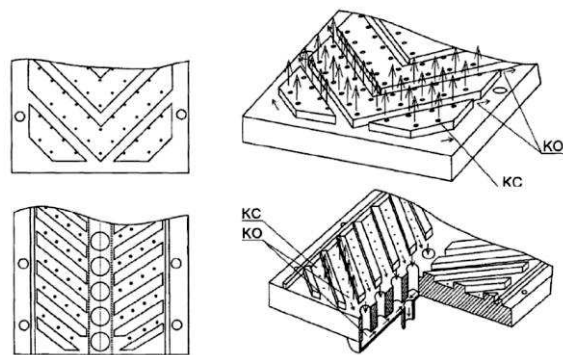
Rozwiązanie techniczne pt. „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych” zgłoszono do ochrony w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej. Postępowanie zakończyło się przyznaniem patentu (Polska Patent nr PL 225094, 2017). Konstrukcja transportera składa się z głównego modułu transportowego (rys. 19) oraz wielowariantowej płyty transportowej (rys. 20, rys. 21, rys. 22).



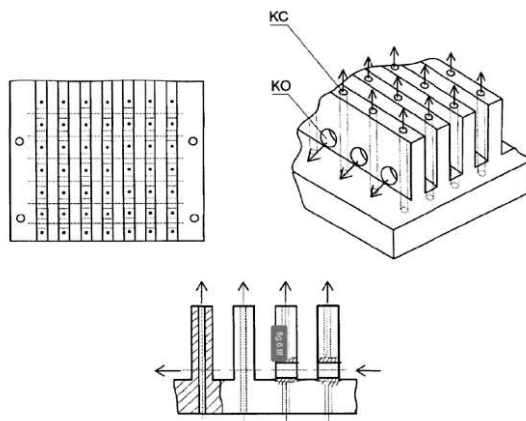
Rys. 19. Transporter fluidalny eliminujący kontakt transportowanych elementów z przenośnikiem: WA - wanna procesowa, CI - ciecz procesowa, PW - przegroda wanny procesowej, ZK - zbiornik kolektora cieczy, US - uszczelka, PT - płyta transportującą, OP - otwory wypływowe kolektora, OW - otwory wlotowe wanny, PO - pompa, FL - filtr.



Rys. 20. Warianty 1 i 2 płyt transportowych: KO - kanały odpływowe, SE - pojedynczy segment, KC - kanały doprowadzające ciecz procesową.



Rys. 21. Warianty 3 i 4 płyt transportowych: KO - kanały odpływowe, KC - kanały doprowadzające ciecz procesową.



Rys. 22. Wariant 5 płyty transportowej: KO - kanały odpływowe, KC - kanały doprowadzające ciecz procesową.

Podobnie jak w przypadku osiągnięcia ON 3.1 rozwiązania zweryfikowano drogą badań symulacyjnych oraz opracowano stanowiska laboratoryjne, na których testowano skuteczność rozwiązań transportu oraz przeprowadzano pomiary kluczowych parametrów transportu (rys. 23, rys. 24).



*Rys. 23. Przenośnik fluidalny eliminujący kontakt transportowanego elementu z częściami przenośnika podczas testów laboratoryjnych.*

Wspólną cechą przedstawionych powyżej rozwiązań płyt transportowych jest **ukierunkowanie przepływu** cieczy procesowej **zapewniające unoszenie się transportowanej płytki na powierzchni cieczy**, **utrzymanie prostoliniowego kierunku** transportu oraz możliwość kontrolowanego **odprowadzenia cieczy procesowej** z obszaru płyty do zbiornika.



*Rys. 24. Przenośnik fluidalny eliminujący kontakt transportowanego elementu z częściami przenośnika – widok na jeden z wariantów płyty transportowej.*

Opracowany **transporter**, płaskich elementów w środowisku cieczy **eliminujący kontakt** pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera **istotnie zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia transportowanych elementów** w porównaniu do znanych rozwiązań transportu, a przez to **zwiększa niezawodność** całego układu, co stanowi o jego **znacznym wpływie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

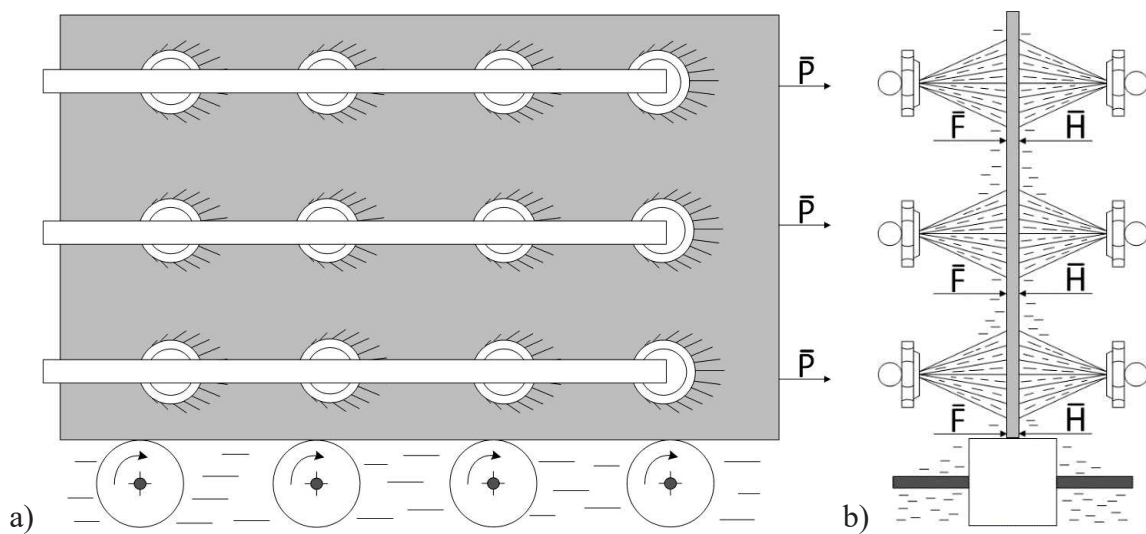
### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 3.2:**

- Matuszewicz Wojciech, **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Górski Piotr, Zawisłak Maciej (2017). Polska Patent No. PL 225094 „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca transportera płaskich elementów w procesach produkcyjnych eliminującego kontakt elementów z częściami przenośnika. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil, monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo transporter płaskich elementów w środowisku cieczy, eliminujący kontakt pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera
- **Krot Kamil**, Górski Piotr, Matuszewicz Wojciech (2015). „Warianty konstrukcyjne rozwiązań transportu fluidalnego elementów do układów fotogalwanicznych.” p. r. Knosali, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 1 (pp. 881-889). Opole: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. **Wkład własny:** opracowanie koncepcji wariantów przenośników fluidalnych, uwzględniających różne konstrukcje płyty transportowej.
- Górski Piotr, **Krot Kamil**, Zawisłak Maciej, Górnicz Tomasz, Matuszewicz Wojciech (2017). „Zastosowanie numerycznej mechaniki płynów w projektowaniu procesu technologicznego bazującego na transporcie fluidalnym na przykładzie wytwarzania elementów do układów fotogalwanicznych.” *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 3, pp. 75-80. **Wkład własny:** opracowanie modeli symulacyjnych do badań numerycznych, interpretacja wyników obliczeń.

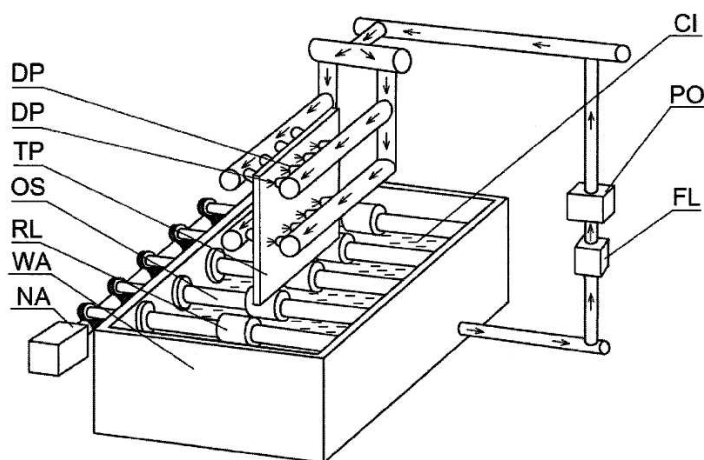
**Osiągnięcie naukowe ON 3.3** Opracowanie **transportera** płaskich elementów w cieczy procesowej w **pozycji wertykalnej**.

Kolejne rozwiązanie transportu fluidalnego ograniczającego kontakt transportowanych elementów z częściami przenośnika dotyczy transportu elementów w pozycji wertykalnej – rys. 25.

Dla zapewnienia **stateczności elementu oraz prostoliniowości ruchu dysze** po obu stronach płyty powinny być **rozmieszczone symetrycznie**, podobnie odległości dysz od płyt po obu stronach powinny być takie same. Rozwiązanie techniczne pt. „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych” zgłoszono do ochrony poprzez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, zostało objęte ochroną (Polska Patent nr PL 225096, 2017). Ideę rozwiązania przedstawia grafika z opisu zastrzeżeń patentowych - rys. 26.



Rys. 25. Transport fluidalny na rolkach w pozycji wertykalnej: (a) widok na boczną część transportowanego elementu, (b) widok od czola.



Rys. 26. Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych w pozycji wertykalnej: FL – filtr, PO – pompa, CI – ciecz procesowa, NA – napęd, WA – wanna, RL – rolki, OS – osie rolek, TP – transportowana płytka, DP – dysze procesowe.

Opracowany **transporter**, płaskich elementów w cieczy procesowej w **pozycji wertykalnej ogranicza kontakt** pomiędzy transportowanymi elementami i częściami transportera. Rozwiązanie stosowane może być dla sztywnych, płaskich elementów, ograniczenie kontaktu z częściami przenośnika **istotnie zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia transportowanych elementów** w porównaniu do znanych rozwiązań oraz **zwiększa niezawodność** całego układu, co stanowi o jego **znacznym wpływie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 3.3:**

- Matuszewicz Wojciech, **Krot Kamil**, Chlebus Edward, Górski Piotr, Zawislak Maciej (2017). Polska **Patent** No. PL 225096 „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca transportera płaskich elementów w procesach produkcyjnych w pozycji wertykalnej. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.
- **Krot Kamil**, **monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo transporter płaskich elementów w cieczy procesowej w pozycji wertykalnej.

### **Podsumowanie osiągnięć naukowych ON 3.1, ON 3.2 oraz 3.3.**

W wyniku przeprowadzonych prac opracowano cztery warianty transportu fluidalnego:

- **wariant I (ON 3.1)** – w porównaniu do klasycznych rozwiązań eliminuje docisk płytek do rolek dolnych rolkami górnymi, a transportowana płyta PCB lub płytka krzemowa dociskana jest do dolnych, napędzanych rolek strumieniem cieczy procesowej,
- **wariant II (ON 3.1)** – jest modyfikacją wariantu I polegającą na odłączeniu układu napędowego od rolek dolnych – pozostają bierne, natomiast zarówno docisk płytek do rolek dolnych jak i ruch translacyjny płytek zapewniony jest przez odpowiednio ukierunkowany strumień cieczy z górnych dysz procesowych,
- **wariant III (ON 3.2)** – całkowicie eliminuje rolki transportera, od góry oddziaływanie cieczy procesowej realizowane jest tak samo jak w wariancie II, natomiast stateczność płytek od dołu zapewniana jest przez oddziaływanie ciśnienia cieczy procesowej kierowanej przez dolne dysze procesowe,
- **wariant IV (ON 3.3)** – transport realizowany jest z wertykalną orientacją płytek, opierają się one dolną krawędzią o bierne rolki transportowe, natomiast stateczność wertykalną i napęd

płytki zapewniają siły oddziaływania ciśnienia cieczy procesowej ukierunkowane przez dysze, znajdujące się po obu stronach płytki.

Kluczowe własności wariantów transportu zestawiono w Tabeli 1.

*Tabela 1. Zestawienie opracowanych wariantów transportu fluidalnego*

Osiągnięcie naukowe	ON 3.1		ON 3.2	ON 3.3
Wariant transportu	I	II	III	IV
<b>Kontakt z częściami przenośnika</b>	częściowy, poprzez napędzane rolki	częściowy poprzez rolki bierne	brak	częściowy poprzez rolki bierne
<b>Napęd elementu</b>	rolki	ukierunkowany strumień cieczy	ukierunkowany strumień cieczy	ukierunkowany strumień cieczy
<b>Możliwe zastosowania</b>	płyty PCB do obwodów drukowanych	płyty PCB do obwodów drukowanych lub płytki krzemowe	płytki krzemowe lub płyty PCB do obwodów drukowanych	płyty PCB do obwodów drukowanych lub płytki krzemowe

**Wyniki opisanych powyżej prac badawczych** zostały częściowo **wdrożone do praktyki gospodarczej**. Firma Matusewicz Budowa Maszyn Sp. z o. o. – producent linii technologicznych do ciągłych procesów obróbki chemicznej **zastosowała w swoich produktach** wariant I oraz II transportu fluidalnego, **produkty wdrożyła u swoich klientów**, co dowodzi użyteczności w gospodarce opracowanych rozwiązań.

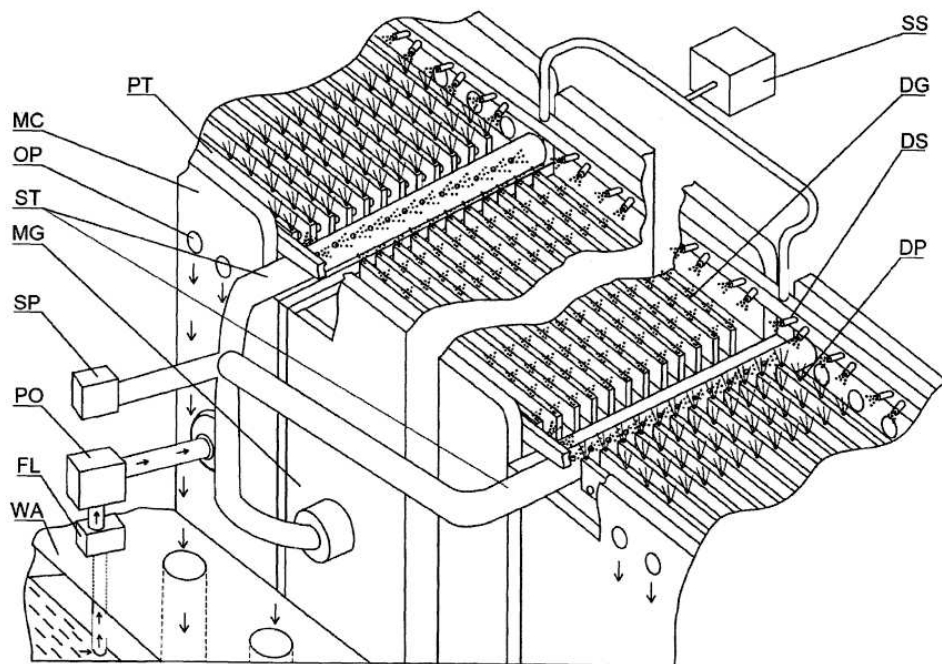
#### **Osiągnięcie naukowe ON 3.4 Opracowanie transportera do pneumatycznego przekazywania elementów** pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej.

Opisane w ON 3.1, ON 3.2, ON 3.3 rozwiązania transportu dotyczą przemieszczania elementów w obrębie sekcji mokrych przenośników. Konieczne jest jednak przekazywanie elementów pomiędzy wannami z cieczami procesowymi o różnych składach chemicznych.

W klasycznym podejściu z systemem transportu opartym na rolkach przekazywanie elementów realizowane jest to poprzez zestawienie ze sobą kolejnych wanien procesowych. Transportowany element przekazywany jest z jednego etapu do kolejnego przez odpowiednie stanowiska załadownicze i wyładownicze.

W transporterach fluidalnych do tego celu opracowano **transporter do pneumatycznego przekazywania elementów pomiędzy sekcjami mokrymi**. Rozwiązanie pt. „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych” zgłoszono do ochrony patentowej w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej i objęto ochroną (Polska Patent nr PL 225095, 2017).

Istota wynalazku polega na wprowadzeniu sekcji pneumatycznej pomiędzy sekcjami procesowymi z cieczą – rys. 27.



Rys. 27. Transporter do pneumatycznego przekazywania elementów pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej: DP – dysze procesowe, DS. – dysze sterujące, DG – dysze powietrzne, SS – układ sterowania, WA – wanna, FL – filtr, PO – pompa, SP – sprężarka modułu gazowego, MG – moduł gazowy, ST – separatory transportu ciec – gaz, OP – otwory wypływowe, MC – moduł z cieczą, PT – płyta transportująca.

Opisany powyżej transporter opracowano koncepcyjnie, rozwiązanie wymaga przeprowadzenia w przyszłości badań symulacyjnych oraz testów na stanowiskach laboratoryjnych.

Opracowanie **transportera do pneumatycznego przekazywania elementów** pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej **umożliwia ciągłą realizację procesów obróbki chemicznej z zachowaniem przekazywania** transportowanych elementów pomiędzy kolejnymi sekcjami mokrymi, **które eliminuje kontakt elementów z częściami przenośnika** a przez to **istotnie zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia transportowanych elementów** w porównaniu do znanych rozwiązań transportu oraz **zwiększa niezawodność** całego układu, co stanowi o jego **znacznym wpływie w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna**.

#### **Publikacje związane z osiągnięciem ON 3.4:**

- Matusiewicz Wojciech., Krot Kamil, Chlebus Edward, Górski Piotr, Zawiślak Maciej (2017). Polska Patent No. PL 225095 „Transporter płaskich elementów w procesach produkcyjnych”. **Wkład własny:** główny pomysłodawca transportera do pneumatycznego przekazywania elementów pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej. Oświadczenia współautorów patentu odnośnie wkładu w opracowanie rozwiązania w Załączniku nr 5.

- **Krot Kamil, monografia naukowa** „Innowacyjne technologie w planowaniu produkcji, recyklingu i transporcie technologicznym”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2025, ISBN 978-83-8134-000-7, DOI: 10.37190/KKrot2025. – w publikacji opisano szczegółowo transporter do pneumatycznego przekazywania elementów pomiędzy sekcjami mokrymi w procesach obróbki chemicznej.

**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

**5.1 Stáže naukowe:**

1. **01-02 2024 miesięczny staż naukowy** w Technical University of Košice - Słowacja, Faculty of Manufacturing Technologies - Presov, Department of Industrial Engineering and Informatics.

Celem naukowym stażu było zapoznanie się z pracami prowadzonymi w jednostce, wymiana doświadczeń i wspólna realizacja prac badawczych w obszarach:

- nowe trendy w planowaniu i sterowaniu produkcją,
- technologie informacyjne i komunikacyjnych ICT, rozwój platform Internetu Rzeczy IoT w koncepcji technologii Przemysłu 4.0,
- stosowanie metod inteligentnych w optymalizacji procesów produkcyjnych.

W powyższych obszarach badawczych współpracowano z pracownikami naukowymi TU Košice. Realizowano wspólne prace badawcze z Doc. Ing. Jozef Husár, Ph.D. Efektem prac jest wspólna publikacja na konferencji ICIE International Conference Innovation in Engineering (26-28 czerwca 2024), organizowaną przez University of Minho, Portugal. Materiały z konferencji opublikowano w Springer Lecture Notes in Mechanical Engineering, które są indeksowane przez SCOPUS, MetaPress, Springerlink.

**Publikacja:** Poskart Bartosz, Iskierka Grzegorz, **Krot Kamil**, Telesiński Bolesław, Husár, Josef, (2024). Forecasting the Feasibility of Autonomous Mobile Robots Performing Tasks Using AutoML. In: Machado, J., et al. Innovations in Mechanical Engineering III. ICIEng 2024. Lecture Notes in Mechanical

Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-62684-5\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-62684-5_36)

Ponadto w ramach stażu ustalono obszary merytoryczne planowanych projektów oraz opracowano wstępne agendy badawcze, które będą wspólnie realizowane w przyszłości. Współpraca obejmuje również wsparcie w uruchomieniu międzynarodowej szkoły letniej dla studentów w Technical University of Košice oraz współpracę przy organizacji kolejnej edycji Blended Intensive Programme (BIP) w Technical University of Košice – Słowacja w roku 2026.

**2. 07-08 2009 miesięczny staż naukowy** w ramach stypendium DAAD dla naukowców Republika Federalna Niemiec, Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik,

Staż naukowy związany ze współpracą w zakresie **konstrukcji i badań wytrzymałościowych wysokoobrotowych dysków** dla potrzeb opracowania urządzenia do mikronizacji materiałów. W ramach wyjazdu zrealizowano projekt pt. „Opracowanie hybrydowej konstrukcji dysku z kanałami radialnymi”. W efekcie współpracy opracowano dwie **publikacje**:

- Chlebus Edward, Hufenbach Werner, Górski Piotr, **Krot Kamil**, Czulak Andrzej. „Proces projektowo-konstrukcyjny budowy wirujących dysków”. Mechanik. 2010, R. 83, nr 1, s. s. 68-68
- Chlebus Edward, Hufenbach Werner, Górski Piotr, **Krot Kamil**, Czulak Andrzej. „Analiza wytrzymałościowa oraz badania niszczące wirujących dysków”. Mechanik. 2010, R. 83, nr 1, s. s. 69-79

W ramach stażu prowadzono wspólne **prace badawcze oraz testy wytrzymałościowe** w unikalnym, specjalistycznym laboratorium do badań wytrzymałościowych części maszyn pracujących z dużymi prędkościami obrotowymi (rzędu 100 000 obr/min).

**6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.**

**6.1 Osiągnięcia dydaktyczne:**

**Promotor pomocniczy** w postępowaniu doktorskim Pana mgr inż. Bartosza Poskarta, rok 2025.

**Promotor 154 prac dyplomowych** (inżynierskich i magisterskich). Prace realizowane przez studentów dziennych oraz zaocznych.

**Prowadzenie kursów** na kierunkach Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Automatyka i Robotyka, Robotyka i Automatykacja Procesów, Mechanika i Budowa Maszyn:

L.p.	Nazwa kursu	Kierunek	Forma kursu	uwagi
1.	Automatyzacja wytwarzania,	Mechanika i Budowa Maszyn, I st.	laboratorium	
2.	Technology planning CAD/CAM,	Production Management II st.	wykład, laboratorium	Kurs prowadzony w języku angielskim
3.	Podstawy organizacji produkcji,	Mechanika i Budowa Maszyn	wykład, laboratorium	
4.	Planowanie wytwarzania CAD/CAM,	Mechanika i Budowa Maszyn	wykład, laboratorium	
5	Planowanie technologiczne CAD/CAM,	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji	wykład, laboratorium	
6.	Planowanie technologiczne CAD,	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji	wykład, laboratorium	
7.	Systemy wspomagające podejmowanie decyzji,	Automatyka i Robotyka	wykład, laboratorium	
8.	Organizacja Systemów Produkcyjnych,	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji	wykład, laboratorium	
9.	Robotyka	Mechatronika I st.	projekt	
10.	Zaawansowane metody planowania CAPP,	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I st.	wykład, projekt	
11.	Planowanie wytwarzania w systemach CAPP,	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I st.	wykład, projekt	
12.	Projektowanie technologii w systemach CAPP.	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I st.	wykład, projekt	
14	Przemysł 4.0 (cyfryzacja i robotyzacja w procesach przemysłowych)	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I st.	wykład	
15	Cyfryzacja i robotyzacja w procesach przemysłowych	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, II st.	wykład	

**Opracowanie nowych kursów** - sylabusów, programu i materiałów dydaktycznych:

- Zaawansowane metody planowania CAPP (wykład, projekt),
- Planowanie wytwarzania w systemach CAPP (wykład, projekt),
- Projektowanie technologii w systemach CAPP (wykład, projekt),

- Systemy wspomagające podejmowanie decyzji (wykład, projekt),
- Projektowanie wybranych systemów w robotyce i automatyce (projekt),
- Robotyzacja i cyfryzacja w produkcji (laboratorium),
- Cyfryzacja i robotyzacja w procesach przemysłowych (wykład, laboratorium)
- Systemy cyberfizyczne w zastosowaniach przemysłowych (wykład).

**Opracowanie materiałów dydaktycznych w postaci skryptu** do przedmiotów Planowanie wytwarzania w systemach CAPP (projekt), Projektowanie technologii w systemach CAPP (projekt).

**Opracowanie podręcznika w języku angielskim** w ramach projektu Rozwój Potencjału i Oferty Dydaktycznej Politechniki Wrocławskiej:

Czajka Jacek, Krot Kamil, Kuliberda Michał Z.: „Selected issues of production systems organisation and computer aided process planning: production system organization” Wrocław. Łódź: Wrocław University of Technology: PRINTPAP, 2011. 145 s. (Production Management)  
URL <http://www.dbc.wroc.pl/publication/26494>

## **6.2 Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę:**

- **Od 2013 do 2025 udział w 24 komisjach na obronach prac inżynierskich i magisterskich**
- **Od 2024 członek zespołu roboczego ds. tworzenia planów i programu studiów nowego kierunku kształcenia Mechatronika i Robotyka II stopień.**
- **Od 2021 członek Komisji Programowej** na kierunku kształcenia Robotyka i Automatykacja Procesów
- **Członek Wydziałowego Zespołu ds. Hospitowania Zajęć** dla kierunku kształcenia Robotyka i Automatykacja Procesów
- **2017 udział w komisji rekrutacyjnej** na studia II stopnia na kierunku PRODUCTION MANAGEMENT AND ENGINEERING
- **Od 2017 członek Komisji Dydaktycznej** na kierunku studiów Automatyka i Robotyka
- **2013, 2014 przygotowania pokazów z okazji Dolnośląskiego Festiwalu Nauki,**
- **Od 2012 opiekun Koła Naukowego Automatyki i Robotyki Przemysłowej KAiR**
- **Od 2012 członek komisji zatwierdzającej tematy prac dyplomowych** na kierunku studiów Automatyka i Robotyka, obecnie Robotyka i Automatykacja Procesów, I stopień

### Organizacja sesji specjalnych na konferencjach:

- **MANUFACTURING 2026, 9th International Scientific-Technical Conference MANUFACTURING 2026**, Poznan University of Technology, Poland, May 19-21, 2026, **Special Session SS\_14, Intelligent Methods Supporting Manufacturing Systems Efficiency, SPECIAL SESSION SS\_14 ORGANIZERS:** Anna Burduk, Wrocław University of Science and Technology, Dagmara Łapczyńska, Wrocław University of Science and Technology, **Kamil Krot**, Wrocław University of Science and Technology, Damian Krenczyk, Silesian University of Technology
- **ICIE'2026: International Conference Innovation in Engineering**, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Romania, June 24th-26th, 2026, **Special Session Intelligent Methods Supporting Manufacturing Systems Efficiency, ORGANIZERS:** Anna Burduk: Wrocław University of Science and Technology, Poland; Damian Krenczyk: Silesian University of Technology, Poland; **Kamil Krot**, Wrocław University of Science and Technology, Poland; Kamil Musiał, Wrocław University of Science and Technology, Poland.

### Recenzowanie artykułów naukowych na konferencjach:

- **ICTERI-2025** ICT in Education, Research, and Industrial Applications: Integration, Harmonization, and Knowledge Transfer. PC member (ICTERI-2025 PhD Track),
- **ISPEM 2025** Międzynarodowa Konferencja Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, Wrocław, 25-27.06.2025,
- **ICIE'2025** International Conference Innovation in Engineering Czech University of Life Sciences Prague (CZU) Kamýcká 129 165 00 Praha - Suchbátka Czech Republic Prague, Czechia, 18-20.06.2025,
- **ICTERI-2024** ICT in Education, Research, and Industrial Applications: Integration, Harmonization, and Knowledge Transfer PC member (ICTERI 2024 PhD Symposium),
- **ICIE'2024** International Conference Innovation in Engineering. Povoação, São Miguel Island, Azores, Portugal. Povoação, Portugal, 26-28.06.2024,
- **GCOMM 2024** Global Congress on Manufacturing and Management, Bangkok, Thailand, 4 – 7.12.2024,
- 8th edition of the international MANUFACTURING conference **MANUFACTURING 2024**, Poznań 14-16.05.2024,

- **CTERI 2023** ICT in Education, Research, and Industrial Applications: Integration, Harmonization, and Knowledge Transfer PC member (ICTERI 2023 PhD Symposium),
- **ISPEM 2023** IV Międzynarodowa Konferencja Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, Wrocław 13-15.09.2023,
- **ISPEM 2021** Międzynarodowa Konferencja Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance,
- **Manufacturing 2019** Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Poznań, 19-22.05.2019,
- **ISPEM 2018** II Międzynarodowa Konferencja (Intelligent Systems in Production and Maintenance), Wrocław 17-18.09.2018,
- **ISPEM 2017** First International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance ISPEM 2017, Wrocław, 28–29.10.2017.

## 7. Opis pozostałych osiągnięć dotyczących kariery zawodowej.

### 7.1 Nagrody:

- **2013, 2014, 2017, 2019 Nagrody Rektora** w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni
- **2023 Medal Srebrny za Długoletnia Służbę**

Podpis jest prawidłowy

Dokument podpisany przez Kamil Krot  
Data: 2025.12.12.10:01:03.CET...

(podpis wnioskodawcy)