

DOI: <https://doi.org/10.26628/simp.wtr.v97.1198.147-157>

Original Article

Strategiczne Implikacje Systemów Produktowo-Usługowych w Sektorze Spawalniczym

Strategic Implications in Product-Service System in the Welding Industry

Mariusz Salwin ^{1*}  and Andrzej Kraslawski ² 

¹ Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych, Politechnika Warszawska, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa, Poland

² School of Engineering Science, Industrial Engineering and Management (IEM), Lappeenranta University of Technology (LUT) University, 53851 Lappeenranta, Finland; andrzej.kraslawski@lut.fi

* Correspondence: mariusz.salwin@onet.pl

Received: 01.10.2025; Accepted: 05.11.2025; Published: 11.11.2025

Streszczenie: System Produktowo-Usługowy (SPU) integruje w sobie produkty i usługi po to, aby zaspokoić konkretne wymagania klientów. Koncepcja ta daje możliwość przedsiębiorstwom budować przewagę i wspiera ochronę środowiska. Artykuł ma na celu zbadanie możliwości wykorzystania SPU w sektorze spawalniczym. Obecnie sektor ten jak i działające w nim zakłady spawalnicze stoją przed szeregiem wyzwań dotyczących cyfryzacji, braku pracowników, kosztów energii i wykorzystywanego sprzętu. W oparciu o literaturę i dane rynkowe, w tym raporty branżowe, analizy trendów cenowych, raporty firm, statystyki stowarzyszeń zawodowych oraz informacje dostępne na stronach internetowych i w publikacjach firm spawalniczych, przeanalizowaliśmy perspektywy zastosowania SPU w branży. W badaniu zastosowano analizy SWOT i PESTEL. Wyniki pokazują, że do najważniejszych mocnych stron SPU należą stymulowanie innowacji, zapewnianie elastycznych opcji finansowania, wydłużanie żywotności sprzętu oraz wspieranie digitalizacji i efektywności energetycznej. Jednak istotnymi słabościami są złożoność technologiczna, wysokie wymagania w zakresie bezpieczeństwa IT oraz konieczność zmian organizacyjnych i kulturowych. Główne zagrożenia w otoczeniu zewnętrznym obejmują niepewność ekonomiczną, szybkie zmiany technologiczne, zagrożenia cyberbezpieczeństwa oraz coraz bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące ochrony środowiska i danych. Analizy te potwierdzają, iż SPU może dostarczyć sektorowi spawalniczemu nowatorskie i zrównoważone rozwiązania, wspierające jego długoterminowy rozwój i strategiczną przewagę.

Abstract: Product-Service System (PSS) integrates products and services to meet specific customer requirements. This concept allows companies to build competitive advantage and supports environmental protection. This paper aims to examine the potential for using PSS in the welding industry. Currently, this sector and the welding companies operating within it face several challenges related to digitalization, labour shortages, energy costs, and equipment utilization. Based on literature and market data, a study was conducted on the prospects for using PSS in the welding industry. SWOT and PESTEL analyses were used in the study. These analyses confirm that PSS can provide the welding industry with innovative solutions that support its sustainable development and strategic advantage.

Słowa kluczowe: System Produktowo-Usługowy (SPU); Rozwój Systemów Produktowo-Usługowych; Przemysł spawalniczy; Sprzęt spawalniczy

Keywords: Product-Service System (PSS); Welding Production; Welding Industry; Welding Management

Wstęp

Ostatnie lata związane są z dynamicznym rozwojem przemysłu [1,2]. Koncentruje się on nie tylko na kwestiach technologicznych, ale także na innowacyjnych modelach biznesowych, które będą odpowiadać zmieniającym się wymaganiom klientów i wpisywać się w strategię zrównoważonego rozwoju [3,4]. Ponadto zmieniające się warunki rynkowe, coraz bardziej restrykcyjne normy środowiskowe i cyfryzacja zmuszają przedsiębiorstwa przemysłowe do ciągłego poszukiwania nowych rozwiązań [5,6]. Wszystko to sprawia, że działalność przedsiębiorstw przemysłowych nie jest już determinowana jedynie poprzez wytwarzanie produktów materialnych, ale też poprzez świadczenie usług, które są z nimi ściśle powiązane

[7,8]. Połączenie produktów i usług doprowadziło to powstania koncepcji systemów produktowo-usługowych (SPU). Daje ona klientom dostęp do produktów i usług i ma na celu zaspokojenie ich wymagań, przy jednoczesnym efektywnym wykorzystaniu zasobów. Ponadto wspiera ochronę środowiska i wpisuje się w działania na rzecz zrównoważonego rozwoju [9,10].

Wykorzystania SPU w sektorze spawalniczym może okazać się szczególnie ważne [11,12]. Sektor ten jest fundamentalną branżą nowoczesnego przemysłu, a realizowane w nim procesy spawalnicze są niezbędne dla innych branż [13,14]. Zmiany zachodzące w tym sektorze, mają swoje oddziaływanie na inne gałęzie gospodarki i wpływają na nie bezpośrednio [15,16]. Obecnie sektor ten zmagają się z całym wachlarzem wyzwań do których można zaliczyć między innymi niedobór siły roboczej, rosnące ceny energii, zaostrzenie przepisów ochrony środowiska rozwój cyfryzacji czy zmiany technologiczne [14,17]. Ponadto wysokie koszty związane z zakupem i eksploatacją sprzętu spawalniczego, a także długi okres zwrotu tej inwestycji stanowią istotny problem dla zakładów spawalniczych. Wszystkie te czynniki wskazują, że klasyczny model sprzedaży sprzętu spawalniczego nie jest wystarczający, a sektor ten potrzebuje nowych rozwiązań biznesowych [18,19].

Artykuł ma na celu zbadanie perspektywy wykorzystania SPU w sektorze spawalniczym. Pokazane są możliwości jakie może dać SPU sektorowi spawalniczemu. Ponadto identyfikuje i ocenia czynniki polityczne, ekonomiczne, społeczne, technologiczne, środowiskowe i prawne, które mogą wpływać na wykorzystanie SPU w tym sektorze. W badaniu wykorzystano analizy SWOT i PESTEL. Realizowane badanie ma pomóc w zrozumieniu szans i zagrożeń występujących w otoczeniu rynkowym, a także wspierać opracowanie skutecznych SPU dla sektora spawalniczego.

Ten artykuł znacznie wychodzi poza ogólne ramy wprowadzenia do koncepcji PSS i przedstawia ustrukturyzowaną analizę skoncentrowaną na branży spawalniczej. Główny wkład tych badań koncentruje się na trzech punktach. Pierwszy to nowość dla branży spawalniczej. Badania te jako pierwsze systematyzują możliwości wdrożenia PSS w branży spawalniczej w ujęciu strategicznym (SWOT) i makrośrodowiskowym (PESTEL), identyfikując mocne i słabe strony specyficzne dla danego sektora oraz kluczowe zewnętrzne ryzyka i szanse. Drugi to wykorzystana metodologia i baza danych. Analiza oparta jest na źródłach literaturowych i danych rynkowych (raportach branżowych, trendach cenowych, informacjach o firmach i statystykach branżowych) oraz wykorzystanie zintegrowanych ram analizy SWOT i PESTEL do oceny wdrożenia PSS. Trzeci to możliwość praktycznego zastosowania. W oparciu o uzyskane wyniki, artykuł dostarcza konkretnych wskazówek dla podmiotów z branży spawalniczej (wybór rekomendowanych opcji zastosowania PSS (modele zorientowane na produkt, użytkowanie, wyniki)), kryteria decyzyjne dotyczące finansowania i digitalizacji oraz listę kontrolną ryzyka (złożoność technologiczna, bezpieczeństwo IT, zgodność z przepisami, niepewność ekonomiczna). W ten sposób badanie nie tylko dostarcza ram teoretycznych, ale także oferuje narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji dla firm z branży spawalniczej i producentów sprzętu, umożliwiając im wdrażanie modeli biznesowych opartych na PSS.

Artykuł ma następującą strukturę: Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie. Drugi rozdział przedstawia koncepcję PSS. Trzeci rozdział opisuje rozwój PSS. Czwarty rozdział opisuje potrzebę nowych rozwiązań w branży spawalniczej. Piąty rozdział przedstawia studia przypadków zastosowania PSS w spawalnictwie. Szósty rozdział przedstawia analizy strategiczne PSS dla branży spawalniczej. Ostatnia część zawiera wnioski.

Systemy Produktowo-Usługowe

Serwicyzacja wiąże się ze zmianą traktowania produktu jako fizycznej formy na taką, gdzie materialny produkt jest nierozłączny ze zbiorem usług towarzyszących mu, tworząc w ten sposób System produktowo-usługowy (SPU). Produktyzacja natomiast wiąże się ze zmianą traktowania usług jako nie fizycznej formy, na taką gdzie usługi, są nierozłączne z związanym z nimi produktem materialnym [20,21]. Wzajemne przenikanie się wspomnianych trendów koncentruje się na wspólnym ujęciu produktu i usług jako całości [22,23]. Stanowi to całkiem nowe rozwiązanie, które dostarcza klientowi całkiem nowe możliwości użyteczności. Taki SPU może być traktowany jako innowacja rynkowa poszerzająca klasyczną funkcjonalność produktu poprzez oferowanie razem z nim usług dodatkowych [24,25]. To system techniczno-organizacyjny określający w jaki sposób fizyczny produkt i usługi są ze sobą połączone i dostarczane do klientów. Zazwyczaj SPU gwarantuje klientowi funkcjonalność i redukuje oddziaływanie na środowisko naturalne. Do fundamentalnych elementów SPU zalicza się [26,27]:

- fizyczny produkt: towar wytworzony, po to aby go sprzedać, spełniający wymagania klienta;
- usługa: czynność (działalność) generująca dodaną wartość dla klienta, która realizowana jest w oparciu o reguły komercyjne;

- system: zbiór relacji i elementów pomiędzy fizycznym produktem i usługą (-ami).

SPU można również określić jako złożony z fizyczny produktów i usług system. W tym systemie główne elementy składowe są ze sobą zaprojektowane i połączone tak, aby mogły razem spełniać charakterystyczne wymagania klientów. W tej chwili SPU postrzegane są jako znakomity instrument, który jednocześnie zwiększa konkurencyjność i wspiera zrównoważony rozwój. Model biznesowy, który bazuje na SPU daje przedsiębiorstwom dostęp do całkiem nowych źródeł wartości dodanej, gdyż [28,29]:

- zaspokajają wymagania klienta w zindywidualizowany i zintegrowany sposób, a co za tym idzie daje możliwość klientom koncentracji się na ich elementarnej działalności,
- umożliwia nawiązywanie unikalnych relacji z klientami, prowadząc jednocześnie do maksymalizacji ich lojalności,
- umożliwia stawanie się jeszcze bardziej innowacyjnym poprzez zaspokajaniu w sposób jeszcze pełniejszy wymagań klienta.

Wykorzystają go przedsiębiorstwa oferujące połączenie produktu oraz usług z nim związanych. Najczęściej literatura naukowa wskazuje na trzystopniową klasyfikację SPU (zorientowane produktowo, zorientowane użytkowo i zorientowane wynikowo). Każdy z nich różni się zasadniczo w znaczeniu przypisanym do produktu (części fizycznej) i zasadom prawa własności. SPU ukierunkowane na produkt (-y) charakteryzują się przeniesieniem prawa własności produktu fizycznego na klienta, natomiast usługi dodatkowe dostarczane są przez producenta. SPU ukierunkowane na użytkowanie charakteryzują się pozostawieniem prawa własności produktu fizycznego po stronie producenta. Udostępnia on klientowi funkcje produktu fizycznego, poprzez zoptymalizowane systemy dystrybucji i płatności. SPU ukierunkowane na wyniki charakteryzują się zastępowaniem produktu fizycznego przez usługi [21,30].

Rozwój Systemów Produktowo-Usługowych

Literatura naukowa dostarcza szereg metod rozwoju SPU. Istotnym elementem staje się różnorodność w obszarze wkomponowana SPU w system zarządzania przedsiębiorstwem. Istnieją metody w których implementacja ma miejsce jako komponent funkcjonalny procesu produkcyjnego lub na poziomie modelu biznesowego - oznacza to, że SPU jest przesłanką strategiczną determinującą działalność firmy. Inne z kolei omawiają SPU jako komponent strategii marketingowej przedsiębiorstwa. Poza tym badacze do rozwoju SPU wykorzystują różne narzędzia do których zalicza się:

- cykl Deminga [31],
- cykl życia produktu [32],
- dom jakości QFD [33],
- koncepcję zrównoważonego rozwoju [34,35],
- model SADT - Structured Analysis and Design Technique [36],
- podejście PMI - Project Management Institute [37],
- narzędzia i rozwiązania informatyczne, takie jak CAD [38],
- zunifikowany język modelowania UNML 2.0 [39].

Elementem łączący dostępne metody projektowania SPU to etapowość projektowania. Autorzy wyróżniają zazwyczaj fazy takiej jak planowanie, projektowanie i wdrożenie. Poza tym podczas opracowywania nowych rozwiązań, najczęściej realizowane są: identyfikacja potrzeb i wymagań klienta, rozwój koncepcji, wstępne projektowanie, testowanie prototypu czy implementacja. Szereg możliwości rozwoju SPU opisany w literaturze naukowej w postaci metod projektowania i narzędzi wspierających podkreśla ogromne zainteresowanie naukowców z całego świata tym tematem. Dodatkowo piśmiennictwo nie dostarcza informacji z zakresu wdrożenia SPU w przedsiębiorstwach, oceny i efektów ich funkcjonowania [37,40].

Potrzeba Opracowywania Nowych Rozwiązań w Sektorze Spawalniczym

Sektor spawalniczy ze względu na zmiany dotyczące technologii, cyfryzacji, zaostrenia reguł ochrony środowiska przechodzi rewolucję [41,42]. Koncentruje się ona na modernizacji i rozwoju sprzętu spawalniczego, który pozwoli na maksymalizację możliwości spawalniczych przedsiębiorstw. Podstawą staje się tu unowocześnienie klasycznych procesów spawalniczych, ich cyfryzacja i połączenie z nowymi rozwiązaniami technologicznymi. Poza tym sektor ten wykazuje szereg potrzeb dotyczących redukcji defektów, poprawy jakości spoin, automatyzację procesów, maksymalizacji wydajności produkcji i optymalizację kosztów [43,44].

Transformacja cyfrowa potęgowana dynamicznym rozwojem sztucznej inteligencji wymusza na przedsiębiorstwach spawalniczych wdrażanie nowoczesnych rozwiązań informatycznych [45,46]. Tego typu rozwiązania wspierają spawalnictwo w monitoringu i przewidywaniu parametrów spawania a także kontroli procesów. Nowoczesne rozwiązania cyfrowe optymalizują procesy spawalnicze prowadząc do redukcji błędów, minimalizacji odpadów czy redukcji szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne. Dodatkowo wpływają na zwiększenie wydajności, a także dają możliwość spełnienia restrykcyjnych norm (na przykład EN ISO 3834, EN 15085 czy ISO/IEC 62264) odnoszących się do jakości i bezpieczeństwa [47,48].

Literatura naukowa i praktyka biznesowa wskazują, że sektor spawalnictwa wymaga wdrożenia nowych rozwiązań [17,19]. Jednakże tego rodzaju rozwiązania wymagają wysokich inwestycji początkowych, które wiążą się z zakupem i konserwacją sprzętu spawalniczego, infrastruktury cyfrowej i rozwojem kompetencji pracowników [49,50]. Fakt ten sprawia, że znaczna część zakładów spawalniczych nie może pozwolić sobie na takie rozwiązania. Tak duże inwestycje są nieosiągalne dla dużej grupy przedsiębiorstw dysponujących ograniczonym budżetem. Dodatkowo zniechęca długi okres zwrotu z inwestycji [18,19].

Przedstawione fakty pokazują, iż istnieje silna potrzeba rozwoju elastycznych, efektywnych a zarazem innowacyjnych modeli biznesowych dla sektora spawalnictwa. Znane do tej pory modele biznesowe nie są już wystarczające, natomiast sami klienci poszukują kompleksowych rozwiązań [42,51]. W tym kontekście większego znaczenia nabierają modele biznesowe bazujące na SPU. Wprowadzenie nowych rozwiązań biznesowych jest tu szczególnie ważne nie tylko z punktu widzenia integracji produktów i usług, ale także niedoborów siły roboczej i rosnących ceny energii [52,53]. Producenci działający w innych branżach już wdrażają tego typu rozwiązania, podczas gdy ci działający w sektorze spawalniczym jeszcze nie dostrzegli ich potencjału. Praktyka biznesowa i badania naukowe wskazują, iż wykorzystanie rozwiązań bazujących na SPU poprawia wykorzystanie sprzętu, redukuje ryzyko związane z konserwacją i wspiera implementację gospodarki o obiegu zamkniętym [54,55]. Dodatkowo otwiera to nowe źródła przychodów dla producentów sprzętu spawalniczego, a jego użytkownikom daje do niego dostęp w przystępnych cenach [56,57].

Systemy Produktowo-Usługowe w Sektorze Spawalniczym –Przypadki

Literaturowe

Jedno z nielicznych badań dotyczącym SPU w sektorze spawalnictwa przeprowadzili Dambietz i współpracownicy. Wskazują oni, iż klasyczne rozwiązania w sektorze spawalniczym funkcjonują w oparciu o model sprzedaży bazujący na produktach, natomiast usługi stanowią wyłącznie dodatkową funkcję. To badanie z perspektywy biznesowej ma nie tylko znaczenie teoretyczne, ale także strategiczne. Autorzy wykorzystali inżynierię systemów opartą na modelach (MBSE) do rozwoju SPU na przykładzie mobilnego systemu spawania laserowego. Rozwiązanie to łączy elementy produktu (sprzęt) i usług w jednej, zintegrowanej architekturze o modułowej konstrukcji. Dambietz i współpracownicy wskazują, że SPU w tym przypadku pozwala na rozwój elastycznych rozwiązań. Modułowa konstrukcja i cyfrowe elementy integrują w sobie ideę cyfrowej serwicyzacji.

Dambietz i współpracownicy wskazują, iż sprzęt spawalniczy wymaga ogromnych nakładów finansowych, a wiele zakładów spawalniczych woli go użytkować jako usługę lub wynajmować aniżeli kupować. Dodatkowo jego obsługa wymaga fachowej wiedzy, którą można uzyskać poprzez szkolenia operatorów, pojawiające się jako oddzielny moduł serwisowy dostarczany przez producenta. Poza tym potrzeby i wymagania zakładów spawalniczych ulegają dynamicznym zmianom, co potęguje dynamikę komponentów serwisowych i zwiększa zapotrzebowanie na elastyczne i skalowalne rozwiązania.

Dambietz i współpracownicy wskazują na sam proces spawania i potrzebę konfiguracji parametrów procesu i oprogramowania z nim związanego. Poza tym wykorzystanie MBSE do rozwoju SPU daje możliwość zintegrowanego modelowania elementów usługi i produktu w jednej sieci danych. Przykładem jest tutaj dodanie do systemu nowej jednostki optycznej, które będzie widoczne automatycznie we wszystkich modułach usługi (logistyka, szkolenia). Autorzy wskazują, że w trakcie projektowania SPU modułowe elementy SPU można podzielić na trzy grupy: moduły produktowe (do których zalicza się między innymi: układ optyczny, system sterowania), moduły serwisowe (do których zalicza się między innymi: szkolenia, logistyka), moduły mieszane (zawierające oba – należy je minimalizować, aby zredukować złożoność).

Wykorzystanie MBSE w rozwoju SPU ma zagwarantować w architekturze SPU spójność pionową (spójność danych pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu życia) oraz ciągłość poziomą (śledzenie zmian

w całym harmonogramie rozwoju). Ponadto zapewniana przez MBSE kontrola spójności i wsparcie iteracyjne doprowadziły do redukcji liczby błędów o 80%. Samo wykorzystanie SPU w sektorze spawalniczym gwarantuje strategiczną przewagę w zakresie: szybkiego dopasowania do zmieniających się potrzeb i wymagań klientów, optymalizacji kosztów dzięki skalowaniu usług, wzrostu konkurencyjności oraz budowaniu z klientami relacji długoterminowych [58].

Autorzy innego badania związanego z tym tematem zaproponowali rozwiązanie bazujące na SPU dla Inteligentnych Systemów Spawalniczych (ISS). Wskazali oni, iż jest to nowe podejście w spawalnictwie. Opracowane rozwiązanie oferuje inteligentną technologię jako usługę, tworząc złożony ekosystem łączący elementy fizyczne, cyfrowe i usługowe. Autorzy skoncentrowali się na integracji elementów fizycznych (roboty spawalnicze, czujniki, urządzenia wspomagające, infrastrukturę sieciową) z usługami (konserwacja, diagnostyka usterek, zaopatrzenie w surowce, szkolenia, gospodarka odpadami) i elementami cyfrowymi (konserwacja predykcyjna, przetwarzanie danych w chmurze, platforma cyfrowa, aplikacja mobilna) tworząc złożowy ekosystem SPU dla nowoczesnego spawalnictwa. Proponowane przez autorów rozwiązanie gwarantuje dostęp do ISS zakładom spawalniczym różnej wielkości bez potrzeby inwestycji. Właścicielem ISS pozostaje producent, natomiast zakład spawalniczy użytkuje ISS, korzystając z elastycznych form finansowania.

Celem autorów było stworzenie teoretycznego modelu i opracowanie praktycznego rozwiązania, które precyzyjnie odpowiada na konkretne potrzeby, wymagania i problemy zakładów spawalniczych. Dzięki temu przełamywane są bariery finansowe związane z wysokimi kosztami początkowymi, które utrudniały modernizację sprzętu spawalniczego. Badanie to wypełnia rynkową niszę, a także stwarza szansę na unowocześnienie powoli cyfryzującego się sektora spawalniczego. Badanie realizowane było w ramach badań i warsztatów szkoleniowo-edukacyjno-projektowych realizowanych w zakładzie spawalniczym. Fakt zaangażowania pracowników zakładu spawalniczego w rozwój SPU poprzez wspomniane warsztaty zwiększa praktyczne znaczenie proponowanego przez autorów rozwiązania.

Autorzy skoncentrowali się na integracji elementów fizycznych (roboty spawalnicze, czujniki, urządzenia wspomagające, infrastrukturę sieciową) z usługami (konserwacja, diagnostyka usterek, zaopatrzenie w surowce, szkolenia, gospodarka odpadami) i elementami cyfrowymi (konserwacja predykcyjna, przetwarzanie danych w chmurze, platforma cyfrowa, aplikacja mobilna) tworząc złożowy ekosystem SPU dla nowoczesnego spawalnictwa. Należy zaznaczyć, iż to rozwiązanie zapewnia monitoring procesu spawania i jego optymalizację w czasie rzeczywistym oraz wspiera rozwój kompetencji cyfrowych pracowników.

Autorzy wskazują, iż opracowane przez nich rozwiązanie przyspieszenie transformacji cyfrowej zakładów spawalniczych. Wykorzystuje niskoemisyjne technologie, redukując zużycie energii i materiałów, a także promuje recykling. Jednocześnie stanowi ono pomost pomiędzy następującymi po sobie rewolucjami przemysłowymi, a tradycyjnym spawalnictwem, tworząc warunki dla cyfrowych, przyjaznych dla środowiska i elastycznych rozwiązań biznesowych i produkcyjnych [11].

W innym badaniu autorzy zaproponowali SPU dla sektora spawalniczego, który łączy w sobie spawarkę i usługi z nią związane, które posegregowano grupy. Rozwiązanie wykorzystuje elastyczne formy finansowania, które są znacznie bardziej przystępne dla zakładów spawalniczych, aniżeli tradycyjne formy zakupu. W tym SPU spawarka utrzymana zostaje w rękach producenta, natomiast zakład spawalniczy ponosi koszty jej eksploatacji i usług.

Badacze przeprowadzili tu skrupulatne analizy, które miały na celu identyfikację problemów dotyczących procesu spawania, a także oczekiwań i wymagań przedsiębiorstwa dotyczących maszyn spawalniczych i usług z nimi związanych. Zaprezentowane elastyczne formy finansowania są bardziej przystępne dla zakładów spawalniczych niż tradycyjne formy zakupu.

Badanie to wskazuje, iż spawanie stanowi nie tylko proces technologiczny, ale rozbudowany ekosystem, w którym urządzenia i usługi odgrywają fundamentalną rolę. Dodatkowo coraz bardziej istotna staje się cyfryzacja spawania, która daje szereg nowych możliwości rozwojowych.

W rozwiązaniu proponowanym przez autorów odpowiedzialność za cały cykl jej życia przechodzi na producenta. Proponowane przez autorów rozwiązanie na celu: wyeliminowanie bądź znaczącą redukcję problemów dotyczących procesu spawania, zwiększenie efektywności operacyjnej i spełnienie celów zrównoważonego rozwoju [12].

Analiza SWOT I Analiza PESTEL

Analiza SWOT Systemu Produktowo-Usługowego w Sektorze Spawalniczym

Sektor spawalniczy stanowi jedną z fundamentalnych gałęzi gospodarki, której funkcjonowanie jest niezbędne dla wielu innych branż. Jak wspomniano wcześniej transformacja gospodarki i rosnące wymagania środowiskowe wymagają wprowadzania nowych rozwiązań biznesowych. Szczególnie obiecującym rozwiązaniem wydaje się SPU, który w sektorze spawalnictwa może spowodować lepsze wykorzystanie surowców i materiałów, sprzętu spawalniczego, optymalizację kosztów, przyczynić się do redukcji oddziaływania tego sektora na środowisko oraz generować większą wartość dla zakładów spawalniczych.

Wdrożenie tego typu rozwiązania związane jest z szeregiem wyzwań. Toteż konieczna jest wszechstronna analiza ujawniająca wewnętrzne i zewnętrzne kryteria oddziałujące na wykorzystanie SPU. W procesie badawczym wykorzystano analizę SWOT. Analiza ta stanowi najodpowiedniejsze narzędzie, które pozwoli jednocześnie zbadać mocnych i słabych stron, a także szanse i zagrożenia tego przedsięwzięcia. Dodatkowo wykorzystanie tej analizy jest wskazane, gdyż SPU stanowi nowe rozwiązanie biznesowe dla sektora spawalniczego. Z punktu widzenia podejmowania decyzji strategicznych, dla interesariuszy (producentów maszyn i zakładów spawalniczych) bardzo istotne jest precyzyjne określenie płynących z tego rozwiązania korzyści i ograniczeń wewnętrznych. W oparciu o dane informacyjne literaturowe i dane rynkowe przeprowadzono analizę SWOT (Tabela I).

Tabela I Analiza SWOT

Lp.	Mocne Strony	Lp.	Słabe Strony
1.	Szansa na innowacje	1.	Złożoność technologiczna
2.	Wydłużenie żywotności sprzętu spawalniczego	2.	Wyzwania logistyczne
3.	Zrównoważony rozwój	3.	Zagrożenia bezpieczeństwa danych
4.	Elastyczne finansowanie	4.	Skomplikowane umowy
5.	Digitalizacja sektora spawalniczego	5.	Konieczność zmiany kulturowej
6.	Wzmocnienie relacji z klientami	6.	Trudności z integracją systemów
7.	Szybka reakcja na błędy	7.	Brak wykwalifikowanych pracowników
8.	Zwiększona efektywność energetyczna	8.	Wysokie wymagania dotyczące bezpieczeństwa IT
Lp.	Szanse	Lp.	Zagrożenia
1.	Wzmocnienie trendów zrównoważonego rozwoju	1.	Niepewność gospodarcza
2.	Rozwój digitalizacji	2.	Gwałtowne zmiany technologiczne
3.	Rozwój nowych modeli biznesowych	3.	Zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa
4.	Dostęp do nowoczesnych technologii dla mniejszych firm	4.	Gwałtowne zmiany w oczekiwaniach klientów
5.	Łączenie i przyspieszenie robotyzacji i automatyzacji spawalnictwa	5.	Intensywna konkurencja rynkowa
6.	Wspieranie gospodarki o obiegu zamkniętym	6.	Zaostrzone przepisy dotyczące ochrony danych
7.	Optymalizacja w oparciu o nowoczesne rozwiązania technologiczne	7.	Zaostrzone wymogi środowiskowe
8.	Współpraca badawcza	8.	Zakłócenia w globalnym łańcuchu dostaw

SPU daje szereg korzyści sektorowi spawalniczemu, przede wszystkim w obszarach krytycznych dla tej branży. Mocne strony dotyczą kwestii związanych z innowacjami, ochroną środowiska i cyfryzacją. Słabe strony to rezultat złożoności technologicznej i wysokich kosztów początkowych. Z kolei szanse są bardzo mocno związane z globalnymi trendami, które mają zapewniać długoterminowy wzrost. Zagrożenia stanowią natomiast głównie czynniki zewnętrzne, takie jak niestabilność gospodarcza, zakłócenia w łańcuchu dostaw i cyberbezpieczeństwo. Analiza wskazuje, że SPU ma wysoki potencjał w sektorze spawalniczym, jednak jest złożony, wymaga infrastruktury cyfrowej, pewnej sieci serwisowej aby odnieść trwały sukces rynkowy.

Analiza PESTEL Systemu Produktowo-Usługowego w Sektorze Spawalniczym

PESTEL (polityczne, ekonomiczne, społeczne, technologiczne, środowiskowe i prawne) ocenia czynniki makroekonomiczne, odzwierciedlając wpływ modelu na społeczeństwo i odwrotnie (Tabela II).

Tabela II Analiza PESTEL

Lp.	Czynniki polityczne	Lp.	Czynniki ekonomiczne
1.	Krajowe i międzynarodowe strategie rozwoju spawalnictwa	1.	Rosnące zapotrzebowanie na usługi spawalnicze
2.	Przepisy promujące rozwiązania przyjazne dla środowiska	2.	Inflacja
3.	Dotacje na robotykę i automatyzację spawalniczą	3.	Rosnące stopy procentowe
4.	Polityka innowacyjna	4.	Wysokie ceny energii
5.	Rosnące wymagania dotyczące spełniania norm bezpieczeństwa i jakości w spawalnictwie	5.	Zapotrzebowanie na elastyczne finansowanie
6.	Zachęty podatkowe	6.	Rosnące inwestycje w digitalizację
7.	Harmonizacja przepisów spawalniczych	7.	Konkurencja na rynku spawalniczym
8.	Polityka tworzenia miejsc pracy	8.	Wahania cen surowców
Lp.	Czynniki społeczne	Lp.	Czynniki technologiczne
1.	Niedobór siły roboczej, w tym wykwalifikowanych spawaczy	1.	Rozwój zautomatyzowanych i zrobotyzowanych procesów spawalniczych
2.	Rosnąca świadomość ekologiczna wśród klientów	2.	Rozwój technologii zdalnej diagnostyki i serwisu
3.	Presja społeczna na zrównoważony rozwój	3.	Wykorzystanie sztucznej inteligencji w spawalnictwie
4.	Otwartość pracowników na technologie cyfrowe	4.	Cyberbezpieczeństwo
5.	Rosnące oczekiwania pracowników dotyczące ergonomii i bezpieczeństwa pracy	5.	Modułowość, interoperacyjność i hybrydowość rozwiązań spawalniczych
6.	Popyt na rozwiązania zorientowane na klienta	6.	Skalowalność technologiczna
7.	Zmiana pokoleniowa na rynku pracy	7.	Digitalizacja funkcji spawarek
8.	Potrzeby szkoleniowe	8.	Rozwój autonomii stanowisk spawalniczych
Lp.	Czynniki środowiskowe	Lp.	Czynniki prawne
1.	Rozwój energooszczędnych technologii spawalniczych	1.	Stosowanie norm jakości w spawalnictwie
2.	Przepisy dotyczące redukcji emisji dwutlenku węgla	2.	Zmiany w wymaganiach dotyczących pomieszczeń i stanowisk spawalniczych
3.	Wymagania dotyczące poprawy efektywności energetycznej	3.	Zmiany podatkowe
4.	Wymagania dotyczące recyklingu i redukcji odpadów spawalniczych	4.	Zaostrzenie przepisów środowiskowych
5.	Wymagania dotyczące gospodarki odpadami niebezpiecznymi	5.	Zaostrzenie przepisów dotyczących cyberbezpieczeństwa
6.	Wsparcie dla rozwiązań opartych na gospodarce o obiegu zamkniętym	6.	Zaostrzenie przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy
7.	Rozwój zrównoważonych surowców i materiałów dodatkowych do spawania	7.	Zmiany w przepisach dotyczących handlu zagranicznego
8.	Audyty i certyfikacje środowiskowe	8.	Ochrona praw własności intelektualnej

Analiza PESTEL podkreśla szereg fundamentalnych czynników, które wpływają na rozwój SPU dla spawalnictwa. W kategorii dotyczącej obszaru politycznego widoczne są czynniki dotyczące innowacji, strategii rozwoju, promocji rozwiązań przyjaznych dla środowiska i zachęt systemowe, które mogą sprzyjać rozwojowi SPU dla sektora spawalniczego. Czynniki te wskazują, że istnieje zapotrzebowanie na takiej rozwiązaniu i mogą one przyspieszyć ich upowszechnienie.

W obszarze ekonomicznym sprzyjać temu rozwiązaniu będzie popyt na usługi spawalnicze. Czynniki takie jak wahania cen surowców, ceny energii i inflacja potęgują wrażliwość kosztową zakładów

spawalniczych. Ponadto stanowią one wyzwania dla zakładów spawalniczych, które dodatkowo mogą stymulować wykorzystanie SPU. Elastyczne formy finansowania dostępne w rozwiązaniach opartych na SPU, będą prowadziły do przewidywalnego rozkładu kosztów, a także redukcji ryzyka inwestycyjnego zakładów spawalniczych. Wszystko to poparte inwestycjami w cyfryzację bardzo mocno zwiększy atrakcyjność SPU dla spawalnictwa.

Na poziomie społecznym faktem godnym uwagi, który jest pilnym wyzwaniem jest zmiana pokoleniowa i niedobór specjalistów przede wszystkim spawaczy. Zwiększa to zapotrzebowanie przedsiębiorstw spawalniczych na zautomatyzowane stanowiska spawalnicze wspomagane cyfrowo. SPU może przyczyniać się do poprawy jakości szkoleń, transferu wiedzy i zagospodarowania środowiska pracy i jego ergonomii, wychodząc naprzeciw potrzebom usługowych zakładów spawalniczych w tym zakresie i zwiększając ich atrakcyjność jako miejsca pracy. Dodatkowo cały czas rosnąca świadomość ekologiczna pracowników potęguje popyt na rozwiązania przemysłowe przyjezdne dla środowiska.

Z technologicznego punktu widzenia SPU gwarantuje dostęp do nowatorskich rozwiązań i technologii spawalniczych. Ponadto rozwiązanie to zapewnia elastyczność, skalowalność i możliwość zindywidualizowania pod konkretny zakład spawalniczy.

Czynniki środowiskowe wskazują na rozwój przyjaznych dla środowiska rozwiązań i jednocześnie zmuszają zakłady spawalnicze do ich implementacji. To niejako może napędzać rozwój SPU dla spawalnictwa, który bazuje na gospodarce w obiegu zamkniętym, nowatorskich materiałach, które można poddać recyklingowi i wydłużeniu okresu użytkowania sprzętu spawalniczego. Przez to wpisuje się w nowe przepisy środowiskowe i przynosi korzyści dla środowiska.

W kategorii dotyczącej obszaru prawnego wyzwania stanowią czynniki dotyczące cyberbezpieczeństwa, a także bezpieczeństwa i higieny pracy. Zaletą SPU jest to, że producent, który dostarcza maszyn spawalniczych i usługi z nimi związane bierze również na siebie, kwestie dotyczące zgodności z prawem. Przez to minimalizowane jest ryzyko dla zakładów spawalniczych, a także gwarantuje niezawodną i bezpieczną współpracę w okresie długoterminowym.

Analiza wskazuje, iż SPU dla sektora spawalniczego stanowią odpowiedź na szereg wyzwań, które są staniwane przed tym sektorem. Gwarantuje również model biznesowy, który zapewnia przewagę konkurencyjną w okresie długoterminowym dla przedsiębiorstw działających w tym sektorze. Ponadto spełnia rosnące wymagania w zakresie prawnym i środowiskowym.

Conclusions

SPU koncentruje się na integracji produktów i usług w jedno spójne rozwiązanie, które dostarcza do klienta jednocześnie fizyczne aktywa i ściśle związane z nimi usługi. W oparciu o przeprowadzone badanie literaturowe i analizy można stwierdzić, iż SPU to zarazem nowy model biznesowy, a także kierunek strategiczny potęgujący konkurencyjność i wspierający zrównoważony rozwój. Uzasadnione jest wdrożenie tego rozwiązania do sektora spawalniczego, który jest bardzo mocno kształtowany przez automatyzację, wymogi prawne i środowiskowe, a także zasoby ludzkie. Ponadto można stwierdzić, że SPU oferuje nową perspektywę dla tej branży i może fundamentalnie zmienić jej logikę działania.

Obecnie przed sektorem spawalniczym stawiane są różnego rodzaju wyzwania. Do najważniejszych z nich można zaliczyć brak wykwalifikowanej siły roboczej, wysokie koszty inwestycji, a także rosnące wymagania i coraz bardziej restrykcyjne normy środowiskowe i prawne. SPU daje możliwość poradzenia sobie z nimi. W dobrze znanym tradycyjnym modelu zakupu sprzętu spawalniczego i jego utrzymanie oraz konserwacja stanowią ogromne obciążenie zakładów spawalniczych, szczególnie tych należących do sektora mikro, małych i średnich przedsiębiorstw. SPU minimalizuje ryzyko finansowe i wyklucza wysokie bariery wejścia ponieważ umożliwia zakładom spawalniczym korzystanie ze sprzętu spawalniczego jako usługi o przewidywalnych kosztach.

Globalny rozwój cyfryzacji to także rozwój cyfrowych rozwiązań dla sektora spawalniczego. Opierające się na danych nowatorskie rozwiązania dla spawalnictwa dają możliwość rozwoju nowych usług związanych ze sprzętem spawalniczym. Predykcja konserwacji, monitorowanie w czasie rzeczywistym, analiza danych czy szkolenia pracowników online stają się integralną częścią tego rozwiązania. Dostarczanie do zakładów spawalniczych takich usług związanych ze sprzętem zwiększa wydajność i jakość spawania, wspiera szybkie wykrywanie błędów i usterek, a także redukuje brakowość.

Widoczne w sektorze spawalniczym zmiany pokoleniowe i niedobór spawaczy to dodatkowe czynniki uzasadniające konieczność rozwoju SPU w tej branży. SPU wspiera minimalizację niedoboru doświadczonych pracowników, poprzez transfer wiedzy i edukację realizowaną w formie szkoleń

stanowiących element oferty. Na rynku pracy nowi pracownicy mimo, że są bardzo otwarci na rozwiązania cyfrowe, które mogą wykorzystywać w pracy. Ponadto jasno sygnalizują, że wymagają ergonomicznego, a zarazem bezpiecznego środowiska pracy.

Istotne znaczenie w sektorze spawalniczym mają również kwestie prawne i środowiskowe. Wchodzące w życie coraz bardziej restrykcyjne przepisy dotyczące recyklingu odpadów, minimalizacji emisji dwutlenku węgla czy normy cyberbezpieczeństwa i przepisy z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy wskazują na potrzebę opracowywania nowych, a zarazem elastycznych rozwiązań zgodnych z tymi przepisami. SPU daje tu możliwość producentowi sprzętu spawalniczego przejęcia odpowiedzialności za niektóre kwestie, tak aby zakład spawalniczy był z tego zwolniony, przez co mocno zwiesza się jego bezpieczeństwo.

Przytoczone przykłady literaturowe potwierdzają szereg przedstawionych korzyści wynikających z wykorzystania SPU w sektorze spawalniczym. Wskazują, że SPU może zapewnić przejrzystość, iteracyjny rozwój, minimalizację liczby defektów. Podkreślają, iż SPU może przyspieszyć modernizację i wykorzystanie nowych narzędzi cyfrowych i technologii w powoli cyfryzującym się sektorze spawalniczym.

Reasumując, w perspektywie długoterminowej dla sektora spawalniczego SPU może stanowić jednocześnie alternatywę dla tradycyjnego zakupu maszyn i konkurencyjny model biznesowy. Połączenie maszyn spawalniczych i usług z nimi związanych umożliwia zwiększenie elastyczności, optymalizację kosztów i redukcję oddziaływania na środowisko. Celem dalszych prac jest realizacja badań ankietowych i opracowanie SPU dla sektora spawalniczego.

Niniejsza praca sugeruje, że Systemy Produktowo-Usługowe (SPU) stanowią alternatywny model sprzedaży w spawalnictwie i mogą wspierać zrównoważony rozwój oraz lepszą efektywność kosztową spawania. Producenci sprzętu spawalniczego powinni opracować modułową architekturę SPU, aby umożliwić wdrażanie usług cyfrowych. W przypadku warsztatów spawalniczych, SPU może być optymalnie wykorzystywany, gdy decyzje będą podejmowane na podstawie kosztów cyklu życia. Szkolenie personelu powinno koncentrować się na inteligentnych systemach spawalniczych. Niniejsza praca opiera się wyłącznie na danych wtórnych. Dlatego też, w przyszłych badaniach zdecydowanie zaleca się wykorzystanie różnego rodzaju ankiet, a także studiów przypadku. Celem byłoby opracowanie wskaźników pomiaru wpływu SPU na koszty, wydajność i zrównoważony rozwój.

Author Contributions: Poniższe oświadczenia powinny być stosowane w następujących obszarach: konceptualizacja, M.S. i A.K.; metodologia, M.S. i A.K.; analiza formalna, M.S. i A.K.; badania, M.S. i A.K.; zasoby, M.S. i A.K.; gromadzenie danych, M.S. i A.K.; pisanie — przygotowanie oryginalnego projektu, M.S. i A.K.; pisanie — przegląd i edycja, M.S. i A.K.; wizualizacja, M.S. i A.K.; nadzór, M.S. i A.K.; administrowanie projektem, M.S. i A.K.;

Funding: This research received no external funding. The Authors received no funding for this work.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Bibliografia

1. Åkesson, J.; Sundström, A.; Johansson, G.; Chirumalla, K.; Grahn, S.; Berglund, A. Design of Product-Service Systems in SMEs: A Review of Current Research and Suggestions for Future Directions. *JMTM* **2024**, *35*, 874–893, doi:10.1108/JMTM-11-2021-0457.
2. Alp, E.; Pirola, F.; Sala, R.; Pezzotta, G.; Kuhlenkötter, B. Operative Service Delivery Planning and Scheduling in Product-Service Systems: A Systematic Literature Review. *Serv Bus* **2024**, *18*, 161–192, doi:10.1007/s11628-024-00558-y.
3. Salwin, M.; Lipiak, J.; Kulesza, R. Product-Service System—a Literature Review. *Research in Logistics & Production* **2019**, *9*, 5–14, doi:10.21008/J.2083-4950.2019.9.1.1.
4. Salwin, M.; Gladysz, B.; Santarek, K. Technical Product-Service Systems—A Business Opportunity for Machine Industry. In *Advances in Manufacturing*; Hamrol, A., Cizak, O., Legutko, S., Jurczyk, M., Eds.; Lecture Notes in Mechanical Engineering; Springer International Publishing: Cham, 2018; pp. 269–278 ISBN 978-3-319-68618-9.
5. Li, A.Q.; Kumar, M.; Claes, B.; Found, P. The State-of-the-Art of the Theory on Product-Service Systems. *International Journal of Production Economics* **2020**, *222*, 107491, doi:10.1016/j.ijpe.2019.09.012.
6. Martin, M.; Heiska, M.; Björklund, A. Environmental Assessment of a Product-Service System for Renting Electric-Powered Tools. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *281*, 125245, doi:10.1016/j.jclepro.2020.125245.

7. Machchhar, R.J.; Toller, C.N.K.; Bertoni, A.; Bertoni, M. Data-Driven Value Creation in Smart Product-Service System Design: State-of-the-Art and Research Directions. *Computers in Industry* **2022**, *137*, 103606, doi:10.1016/j.compind.2022.103606.
8. Marilungo, E.; Peruzzini, M.; Germani, M. Review of Product-Service System Design Methods. In *Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things*; Bouras, A., Eynard, B., Foufou, S., Thoben, K.-D., Eds.; IFIP Advances in Information and Communication Technology; Springer International Publishing: Cham, 2016; Vol. 467, pp. 271–279 ISBN 978-3-319-33110-2.
9. Salwin, M.; Santarek, K.; Kraslawski, A.; Lipiak, J. Product-Service System: A New Opportunity for the Printing Industry. In *Advanced Manufacturing Processes II*; Tonkonogiy, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Grabchenko, A., Pavlenko, I., Edl, M., Kuric, I., Dasic, P., Eds.; Lecture Notes in Mechanical Engineering; Springer International Publishing: Cham, 2021; pp. 83–95 ISBN 978-3-030-68013-8.
10. Kurpiela, S.; Teuteberg, F. Strategic Planning of Product-Service Systems: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production* **2022**, *338*, 130528, doi:10.1016/j.jclepro.2022.130528.
11. Salwin, M.; Chmielewski, T.M. Smart Product-Service System for Intelligent Welding System. In *Computational Science – ICCS 2025 Workshops*; Paszynski, M., Barnard, A.S., Zhang, Y.J., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer Nature Switzerland: Cham, 2025; Vol. 15912, pp. 285–304 ISBN 978-3-031-97572-1.
12. Salwin, M.; Chmielewski, T.; Kraslawski, A. Product-Service System: A New Opportunity for the Welding Industry. *Foundations of Management* **2025**, *17*, 125–144, doi:10.2478/fman-2025-0009.
13. Węgrzyn, T.; Golombek, K.; Szczucka-Lasota, B.; Szymczak, T.; Łazarz, B.; Lukaszewicz, K. Docol 1300M Micro-Jet-Cooled Weld in Microstructural and Mechanical Approaches Concerning Applications at Cyclic Loading. *Materials* **2024**, *17*, 2934, doi:10.3390/ma17122934.
14. Szczucka-Lasota, B.; Szymczak, T.; Węgrzyn, T.; Tarasiuk, W. Superalloy – Steel Joint in Microstructural and Mechanical Characterisation for Manufacturing Rotor Components. *Materials* **2023**, *16*, 2862, doi:10.3390/ma16072862.
15. Szala, M.; Walczak, M.; Hejwowski, T. Factors Influencing Cavitation Erosion of NiCrSiB Hardfacings Deposited by Oxy-Acetylene Powder Welding on Grey Cast Iron. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* **2021**, *15*, 376–386, doi:10.12913/22998624/143304.
16. Szala, M.; Hejwowski, T. Cavitation Erosion Resistance of High-Alloyed Fe-Based Weld Hardfacings Deposited Via Smawmethod. *Tribologia* **2022**, *302*, 85–94, doi:10.5604/01.3001.0016.1616.
17. Wang, B.; Hu, S.J.; Sun, L.; Freiheit, T. Intelligent Welding System Technologies: State-of-the-Art Review and Perspectives. *Journal of Manufacturing Systems* **2020**, *56*, 373–391, doi:10.1016/j.jmsy.2020.06.020.
18. Chen, S.-B. On Intelligentized Welding Manufacturing. In *Robotic Welding, Intelligence and Automation*; Tarn, T.-J., Chen, S.-B., Chen, X.-Q., Eds.; Advances in Intelligent Systems and Computing; Springer International Publishing: Cham, 2015; Vol. 363, pp. 3–34 ISBN 978-3-319-18996-3.
19. Wang, B.; Li, Y.; Freiheit, T. Towards Intelligent Welding Systems from a HCPS Perspective: A Technology Framework and Implementation Roadmap. *Journal of Manufacturing Systems* **2022**, *65*, 244–259, doi:10.1016/j.jmsy.2022.09.012.
20. Baines, T.S.; Lightfoot, H.W.; Evans, S.; Neely, A.; Greenough, R.; Peppard, J.; Roy, R.; Shehab, E.; Braganza, A.; Tiwari, A.; et al. State-of-the-Art in Product-Service Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* **2007**, *221*, 1543–1552, doi:10.1243/09544054JEM858.
21. Tukker, A. Eight Types of Product-Service System: Eight Ways to Sustainability? Experiences from SusProNet. *Bus Strat Env* **2004**, *13*, 246–260, doi:10.1002/bse.414.
22. *New Business for Old Europe: Product-Service Development, Competitiveness and Sustainability*; Tukker, A., Tischner, U., Eds.; Routledge: London New York, 2017; ISBN 978-1-351-28060-0.
23. Salwin, M.; Strycharska, D.; Kraslawski, A. Product-Service System for the Foundry Sector. In *Knowledge Management in Organisations*; Uden, L., Ting, I.-H., Eds.; Communications in Computer and Information Science; Springer Nature Switzerland: Cham, 2024; Vol. 2152, pp. 275–291 ISBN 978-3-031-63268-6.

24. Fang, C.; Liu, W.; Lin, H.; Qi, Y.; Tian, X.; Huang, Y.; Wang, S.J. A User-Centred Collective System Design Approach for Smart Product-Service Systems: A Case Study on Fitness Product Design. *The Design Journal* **2024**, *27*, 410–432, doi:10.1080/14606925.2024.2304412.
25. Gaiardelli, P.; Pezzotta, G.; Rondini, A.; Romero, D.; Jarrahi, F.; Bertoni, M.; Wiesner, S.; Wuest, T.; Larsson, T.; Zaki, M.; et al. Product-Service Systems Evolution in the Era of Industry 4.0. *Serv Bus* **2021**, *15*, 177–207, doi:10.1007/s11628-021-00438-9.
26. Tukker, A.; Tischner, U. Product-Services as a Research Field: Past, Present and Future. Reflections from a Decade of Research. *Journal of Cleaner Production* **2006**, *14*, 1552–1556, doi:10.1016/j.jclepro.2006.01.022.
27. Barquet, A.P.B.; De Oliveira, M.G.; Amigo, C.R.; Cunha, V.P.; Rozenfeld, H. Employing the Business Model Concept to Support the Adoption of Product-Service Systems (PSS). *Industrial Marketing Management* **2013**, *42*, 693–704, doi:10.1016/j.indmarman.2013.05.003.
28. Mont, O.K. Clarifying the Concept of Product-Service System. *Journal of Cleaner Production* **2002**, *10*, 237–245, doi:10.1016/S0959-6526(01)00039-7.
29. Schoonover, H.A.; Mont, O.; Lehner, M. Exploring Barriers to Implementing Product-Service Systems for Home Furnishings. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *295*, 126286, doi:10.1016/j.jclepro.2021.126286.
30. Salwin, M.; Kraslawski, A. State-of-the-Art in Product-Service System Classification. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*; Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D., Eds.; Lecture Notes in Mechanical Engineering; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 187–200 ISBN 978-3-030-50793-0.
31. Tan, A.; McAloone, T.C.; Hagelskjær, L.E. Reflections on Product/Service-System (PSS) Conceptualisation in a Course Setting. *International Journal of Design Engineering* **2009**.
32. Scherer, J.O.; Kloeckner, A.P.; Ribeiro, J.L.D.; Pezzotta, G.; Pirola, F. Product-Service System (PSS) Design: Using Design Thinking and Business Analytics to Improve PSS Design. *Procedia CIRP* **2016**, *47*, 341–346, doi:10.1016/j.procir.2016.03.062.
33. Shimomura, Y.; Hara, T.; Arai, T. A Unified Representation Scheme for Effective PSS Development. *CIRP Annals* **2009**, *58*, 379–382, doi:10.1016/j.cirp.2009.03.025.
34. Doualle, B.; Medini, K.; Boucher, X.; Brissaud, D.; Laforest, V. Design of Sustainable Product-Service Systems (PSS): Towards an Incremental Stepwise Assessment Method. *Procedia CIRP* **2016**, *48*, 152–157, doi:10.1016/j.procir.2016.04.074.
35. Luiten, H.; Knot, M.; Van Der Horst, T. Sustainable Product-Service-Systems: The Kathalys Method. In *Proceedings of the Proceedings Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*; IEEE Comput. Soc: Tokyo, Japan, 2001; pp. 190–197.
36. Maussang, N.; Zwolinski, P.; Brissaud, D. Product-Service System Design Methodology: From the PSS Architecture Design to the Products Specifications. *Journal of Engineering Design* **2009**, *20*, 349–366, doi:10.1080/09544820903149313.
37. Salwin, M.; Kraslawski, A.; Lipiak, J. State-of-the-Art in Product-Service System Design. In *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*; Panuwatwanich, K., Ko, C.-H., Eds.; Lecture Notes in Mechanical Engineering; Springer Singapore: Singapore, 2020; pp. 645–658 ISBN 978-981-15-1909-3.
38. Komoto, H.; Tomiyama, T. Integration of a Service CAD and a Life Cycle Simulator. *CIRP Annals* **2008**, *57*, 9–12, doi:10.1016/j.cirp.2008.03.001.
39. Aurich, J.C.; Fuchs, C.; Wagenknecht, C. Life Cycle Oriented Design of Technical Product-Service Systems. *Journal of Cleaner Production* **2006**, *14*, 1480–1494, doi:10.1016/j.jclepro.2006.01.019.
40. Salwin, M.; Nehring, K.; Jacyna-Golda, I.; Kraslawski, A. Product-Service System Design – an Example of the Logistics Industry. *AoT* **2022**, *63*, 159–180, doi:10.5604/01.3001.0016.0820.
41. Aminzadeh, A.; Barka, N.; El Ouafi, A.; Mirakhorli, F.; Nadeau, F. Experimental Analysis of Overlap Fiber Laser Welding for Aluminum Alloys: Porosity Recognition and Quality Inspection. *Optics and Lasers in Engineering* **2024**, *173*, 107890, doi:10.1016/j.optlaseng.2023.107890.
42. Fydrych, D.; Rogalski, G. Effect of Underwater Local Cavity Welding Method Conditions on Diffusible Hydrogen Content in Deposited Metal. *Welding International* **2013**, *27*, 196–202, doi:10.1080/09507116.2011.600033.

43. Chmielewski, T.; Szulc, J.; Pilat, Z. Badania Metalograficzne Spoin Wykonanych Hybrydową Metodą PTA-MAG; Metallographic Examination of Welded Joints Produced by PTA-MAG Hybrid Process. *Przegląd Spawalnictwa* **2014**, *86*, doi:10.26628/ps.v86i7.64.
44. Skowrońska, B.; Chmielewski, T.; Golański, D.; Szulc, J. Weldability of S700MC Steel Welded with the Hybrid Plasma + MAG Method. *Manufacturing Rev.* **2020**, *7*, 4, doi:10.1051/mfreview/2020001.
45. Farkas, A. Impact of Industry 4.0 on Robotic Welding. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2018**, *448*, 012034, doi:10.1088/1757-899X/448/1/012034.
46. Grand View Research *Welding Products Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology, By Product (Stick Electrodes, Solid Wires, Flux-Cored Wires), By End-Use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030*; Grand View Research, 2023;
47. Szczucka-Lasota, B.; Węgrzyn, T.; Kamińska, J.; Pereira Silva, A.; Łazarz, B. Super Duplex – Ahss Welding For Electric Vehicles. *TP* **2025**, *20*, 59–71, doi:10.20858/tp.2025.20.1.06.
48. Tomasz Węgrzyn, T.W.; Szczucka-Lasota, B.; Tarasiuk, W.; Cybulko, P.; Jurek, A.; Döring, A.; Kosarac, A. Mag Welding of Duplex Steel for the Construction of Antenna Mounts. *Adv.Tech&Mat.* **2022**, *47*, 21–25, doi:10.24867/ATM-2022-2-004.
49. Chi, P.; Wang, Z.; Liao, H.; Li, T.; Wu, X.; Zhang, Q. Towards New-Generation of Intelligent Welding Manufacturing: A Systematic Review on 3D Vision Measurement and Path Planning of Humanoid Welding Robots. *Measurement* **2025**, *242*, 116065, doi:10.1016/j.measurement.2024.116065.
50. Ferradás, P.G.; Salonitis, K. Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells. *Procedia CIRP* **2013**, *7*, 598–603, doi:10.1016/j.procir.2013.06.039.
51. Gyasi, E.A.; Kah, P.; Penttilä, S.; Ratava, J.; Handroos, H.; Sanbao, L. Digitalized Automated Welding Systems for Weld Quality Predictions and Reliability. *Procedia Manufacturing* **2019**, *38*, 133–141, doi:10.1016/j.promfg.2020.01.018.
52. Gunawan, M.F.; Singgih, M.L. Circular Economy Business Model in High Frequency Welding Steel Pipe Company: A Case Study. *JT* **2024**, *8*, 86–96, doi:10.12962/j24609463.v8i1.1411.
53. Gao, X.; Sun, Y.; You, D.; Xiao, Z.; Chen, X. Multi-Sensor Information Fusion for Monitoring Disk Laser Welding. *Int J Adv Manuf Technol* **2016**, *85*, 1167–1175, doi:10.1007/s00170-015-8032-z.
54. Afian, A.; Mustikowati, R.I.; Sari, A.R.; Halim, D.M.; Khoir, N.U. Mentoring the Importance of Financial Literacy and Digital Literacy in the Welding Workshop Business. *JPM* **2024**, *5*, 206–210, doi:10.32815/jpm.v5i1.2136.
55. Bologna, F.; Tannous, M.; Romano, D.; Stefanini, C. Automatic Welding Imperfections Detection in a Smart Factory via 2-D Laser Scanner. *Journal of Manufacturing Processes* **2022**, *73*, 948–960, doi:10.1016/j.jmapro.2021.10.046.
56. Skowrońska, B.; Szulc, B.; Morek, R.; Baranowski, M.; Chmielewski, T.M. Selected Properties of X120Mn12 Steel Welded Joints by Means of the Plasma-MAG Hybrid Method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications* **2024**, 14644207241256113, doi:10.1177/14644207241256113.
57. Skowrońska, B.; Chmielewski, T.; Baranowski, M.; Kulczyk, M.; Skiba, J. Friction Weldability of Ultrafine-Grained Titanium Grade 2. *Journal of Advanced Joining Processes* **2024**, *10*, 100246, doi:10.1016/j.jajp.2024.100246.
58. Dambietz, F.M.; Rennpferdt, C.; Hanna, M.; Krause, D. Using MBSE for the Enhancement of Consistency and Continuity in Modular Product-Service-System Architectures. *Systems* **2021**, *9*, 63, doi:10.3390/systems9030063.



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee WTR, SIMP, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).