

WSPÓŁPRACA NAUKI I BIZNESU W INŻYNIERII PRODUKCJI

Tom II

Redakcja

**Justyna Patalas-Maliszewska
Julian Jakubowski
Katarzyna Skrzypek**

Uniwersytet Zielonogórski

**WSPÓŁPRACA NAUKI I BIZNESU
W INŻYNIERII PRODUKCJI**

Tom II

Komitet naukowy konferencji

dr hab. inż. **Justyna Patalas-Maliszewska** (przewodnicząca Komitetu, Uniwersytet Zielonogórski), prof. dr hab. inż. **Zbigniew Banaszak** (Politechnika Koszalińska), dr hab. inż. **Waldemar Bojar** (Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy), dr hab. inż. **Anna Budruk** (Politechnika Wrocławska), dr hab. inż. **Jarosław Brodny** (Politechnika Śląska), dr hab. inż. **Ewa Dostatni** (Politechnika Poznańska), dr hab. inż. **Jan Duda** (Politechnika Krakowska), prof. dr hab. inż. **Józef Gawlik** (Politechnika Krakowska), dr hab. inż. **Wacław Gierulski** (Politechnika Świętokrzyska), dr hab. inż. **Arkadiusz Gola** (Politechnika Lubelska), dr hab. inż. **Aleksander Gwiazda** (Politechnika Śląska), dr hab. inż. **Katarzyna Halicka** (Politechnika Białostocka), prof. dr hab. inż. **Adam Hamrol** (Politechnika Poznańska), dr hab. inż. **Andrzej Jardzioch** (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie), dr hab. inż. **Bożena Kaczmarska** (Politechnika Świętokrzyska), dr hab. inż. **Marcin Knapieński** (Politechnika Częstochowska), prof. dr hab. inż. **Ryszard Knosala** (honorowy prezes Polskiego Towarzystwa Zarządzania Innowacjami), prof. dr hab. inż. **Sławomir Kocira** (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), prof. dr hab. inż. **Maciej Kuboń** (Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie), prof. dr hab. inż. **Józef Kuczmaszewski** (Politechnika Lubelska), prof. dr hab. inż. **Jerzy Lewandowski** (Politechnika Warszawska), prof. dr hab. inż. **Edmund Lorencowicz** (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), dr hab. inż. **Marek Macko** (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy), dr hab. inż. **Maria Mrówczyńska** (Uniwersytet Zielonogórski), prof. dr hab. inż. **Andrzej Jerzy Marczuk** (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), prof. dr hab. inż. **Joanicjusz Nazarko** (Politechnika Białostocka), dr hab. inż. **Przemysław Niewiadomski** (Uniwersytet Zielonogórski), dr hab. inż. **Krzysztof Nowacki** (Politechnika Śląska), prof. dr hab., czł. koresp. PAN **Lucjan Pawłowski** (Politechnika Lubelska), dr hab. inż. **Krzysztof Pietruszewicz** (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie), dr hab. inż. **Dariusz Plinta** (Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej), dr hab. inż. **Izabela Rojek** (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy), dr hab. inż. **Sebastian Saniuk** (Uniwersytet Zielonogórski), prof. dr hab. inż. **Krzysztof Ryszard Santarek** (Politechnika Warszawska), prof. dr hab. inż. **Sebastian Skoczyńiec** (Politechnika Krakowska), prof. dr hab. inż. **Bożena Skołod** (Politechnika Śląska), dr hab. inż. **Dorota Stadnicka** (Politechnika Rzeszowska), prof. dr hab. inż. **Antoni Świć** (Politechnika Lubelska), dr hab. inż. **Marek Wirkus** (Politechnika Gdańska), dr hab. inż. **Zbigniew Wiśniewski** (Politechnika Łódzka)

Komitet Organizacyjny Konferencji

dr **Katarzyna Skrzypek** (przewodnicząca Komitetu, Uniwersytet Zielonogórski), dr inż. **Agnieszka Kaczmarek-Pawelska** (Uniwersytet Zielonogórski), dr inż. **Julian Jakubowski** (Uniwersytet Zielonogórski), dr inż. **Hanna Łosyk** (sekretarz, Uniwersytet Zielonogórski), mgr **Karol Dąbrowski** (Uniwersytet Zielonogórski), mgr inż. **Mirosław Adamczyk** (Uniwersytet Zielonogórski)



Polskie Towarzystwo Zarządzania Innowacjami
Polish Association for Innovation Management

WSPÓŁPRACA NAUKI I BIZNESU W INŻYNIERII PRODUKCJI

Tom II

Redakcja

Justyna Patalas-Maliszewska

Julian Jakubowski

Katarzyna Skrzypek

Zielona Góra 2023

Rada wydawnicza

Andrzej Pieczyński (przewodniczący), Andrzej Bisztyga, Bogumiła Burda, Eugene Feldshtein, Beata Gabryś, Magdalena Gibas-Dorna, Jacek Korentz, Tatiana Rongińska, Franciszek Runiec (sekretarz)



Recenzenci

dr hab. inż. Bożena Kaczmarska, prof. Politechniki Świętokrzyskiej
dr hab. inż. Ewa Dostatni, prof. Politechniki Poznańskiej

Redakcja

Beata Toczewska

Korekta

Aldona Reich

Redakcja techniczna

Arkadiusz Sroka

Projekt okładki

Julian Jakubowski
Agnieszka Kaczmarek-Pawelska

© Copyright by Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2023

ISBN 978-83-7842-536-6

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jak

Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego

65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50, tel./faks (68) 328 78 64
www.ow.uz.zgora.pl, e-mail: sekretariat@ow.uz.zgora.pl

SPIS TREŚCI

Przedmowy	7
Katarzyna Radwan , Model rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym	11
Piotr Wrzecioniarz, Daniel Medyński, Renata Gnitecka, Magalena Dąbrowska, Anna Burduk, Krzysztof Kolbusz , Współpraca Collegium Witelona Uczelnia Państwowa z otoczeniem gospodarczym w obszarze inżynierii produkcji	23
Marcin Małek, Marcin Grabowski, Sebastian Skoczypiec , Wybrane przykłady współpracy firmy Poltra z jednostkami naukowymi oraz systemem szkolnictwa wyższego	33
Dariusz Plinta , Tworzenie i funkcjonowanie sieci instytucji zorientowanych na wdrażanie nowych technologii	43
Justyna Korycka-Korwek, Małgorzata Śliwa, Jarosław Kliks, Justyna Górna , Zastosowanie koncepcji lean manufacturing na przykładzie laboratorium ośrodka badawczo-rozwojowego – studium przypadku	51
Jesica Biś, Marcin Knapiński, Tomasz Langier, Bartosz Koczurkiewicz , Doskonalenie procesu wytwarzania rur stalowych metodą pielgrzymową	65
Mariusz Kołakowski, Łukasz Prusiel, Karol Dąbrowski, Katarzyna Skrzypek , Zastosowanie oprogramowania Siemens NX MCD do prototypowania maszyn dla przemysłu meblarskiego	79
Eryk Szwarc , Problem planowania rotacyjnego przydzielania zadań przy ograniczeniach utrzymania kompetencji	91
Robert Waszkowski, Tadeusz Nowicki , Współpraca uczelni wyższej z otoczeniem gospodarczym na przykładzie wdrożenia innowacji w rentalu odzieży roboczej ..	107
Informacja o Autorach	125

PRZEDMOWY

Z pełnym przekonaniem wyrażam uznanie za kontynuowanie idei organizacji konferencji dotyczącej współpracy naukowców i przedsiębiorstw w inżynierii produkcji. Jest to słuszna inicjatywa budowania płaszczyzny do tworzenia silnych relacji i kreowania rozwiązań innowacyjnych, szczególnie potrzebnych w tak dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości.

Centrum Przedsiębiorczości i Transferu Technologii Uniwersytetu Zielonogórskiego jest aktywnym partnerem Polskiego Towarzystwa Zarządzania Innowacjami, co pozwala na realizację wielu nowatorskich projektów przy współudziale zarówno przedstawicieli uczelni wyższych, jak i przemysłu w inżynierii produkcji.

Cieszę się na naszą dalszą współpracę.

Prof. Maria Mrówczyńska
Prorektor ds. Współpracy z Gospodarką
Uniwersytetu Zielonogórskiego

* * *

Szanowni Państwo,
współpraca środowiska naukowego ze światem przedsiębiorców wymaga umiejętności zrozumienia odmienności obu stron, znalezienia wspólnej płaszczyzny współdziałania oraz wypracowania długoterminowych i partnerskich relacji. Trzecia konferencja pt. „Współpraca nauki i biznesu w inżynierii produkcji”, która odbyła się w dniach 15-16 grudnia 2022 r. w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego (IIM UZ), jest doskonałym przykładem budowania takiego partnerstwa

naukowców i specjalistów z sektora gospodarki w obszarze inżynierii produkcji w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

W konferencji wzięło udział ponad 80 uczestników, w tym władze Uniwersytetu Zielonogórskiego, Prezydium i Członkowie Komitetu Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk, przedstawiciele krajowych uczelni wyższych, przedsiębiorstw oraz jednostek okołobiznesowych. Prowadzono dyskusje na temat realizacji wdrożeń technologii Przemysłu 4.0 oraz zrównoważonej produkcji, poruszono i omówiono problemy współpracy nauki i przemysłu w inżynierii produkcji, przedstawiono przykłady laboratoriów inżynierii produkcji w Polsce. Zaprezentowano dobre praktyki w obszarze wspólnych inicjatyw nauki i biznesu, również w obszarze kształcenia studentów na przykładzie studiów dualnych w inżynierii produkcji.

Niniejsza książka jest zbiorem artykułów naukowych, które zostały zaprezentowane podczas konferencji. Poruszane tematy badawcze obejmują wyniki prowadzonych badań naukowych w inżynierii produkcji, często we współpracy z przedsiębiorstwami.

Część pierwsza monografii prezentuje dobre praktyki we współpracy przedstawicieli środowiska nauki, jak i przemysłu związanego z obszarem inżynieria produkcji. W rozdziale pierwszym przedstawiono propozycję modelu nawiązania, realizacji i rozwoju relacji ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym. Zastosowanie tego modelu niewątpliwie pomaga przy budowaniu warunków współpracy i pozytywnie wpływa na wyniki prowadzonej działalności w kreowaniu innowacyjnych rozwiązań. Rozdział drugi to dobry przykład współpracy uczelni wyższych z podmiotami otoczenia gospodarczego. Zaprezentowano obszary współpracy Collegium Witelona Uczelni Państwowej, począwszy od współuczestnictwa pracodawców w tworzeniu programów kształcenia, a także w procesie dydaktycznym, uwzględniającym elementy kształcenia dualnego, poprzez wsparcie przedsiębiorczości akademickiej, aż do tworzenia wspólnych projektów służących rozwojowi gospodarczemu regionu i kraju. Przedstawiono wybrane projekty realizowane przez Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych we współpracy z podmiotami funkcjonującymi w regionie, które stanowią o niewątpliwych korzyściach budowania relacji nauki i przemysłu w inżynierii produkcji. Rozdział trzeci to wybrane przykłady współpracy przedsiębiorstwa Poltra sp. z o.o. z jednostkami szkolnictwa wyższego w zakresie projektowania geometrii i technologii wytwarzania specjalnych narzędzi skrawających. Zdecydowana większość małych i średnich przedsiębiorstw krajowych nie ma odpowiedniej aparatury badawczej, jak również wiedzy specjalistycznej pozwalającej na opracowanie właściwej metodyki badań pilotażowych/wstępnych związanych z danym projektem wdrożeniowym. Małe i średnie przedsiębiorstwa nie mają wystarczającego potencjału, aby inwestować w drogą i skomplikowaną aparaturę pomiarową, a często personel nie posiada wystarczających kompetencji w zakresie badanych zjawisk i analizy wyników. Szansą na

rozwój innowacyjnych produktów, w tym również narzędzi skrawających, jest więc współpraca z jednostkami naukowymi. Podkreślono rolę i znaczenie doktoratów wdrożeniowych dla rozwoju pracowników, omówiono korzyści, jak również bariery współpracy z jednostkami naukowymi. Na tych przykładach wskazano potencjalne obszary synergii uczelnia-przedsiębiorstwo. W rozdziale czwartym omówiono korzyści tworzenia i funkcjonowania sieci instytucji badawczych, których celem jest wdrażanie innowacji i nowych technologii w firmach produkcyjnych. Takie sieci powstają jako efekt realizacji potrzeb badawczo-rozwojowych określonej grupy przedsiębiorstw. Mogą też powstać z inicjatywy jednostek badawczych oraz uczelni. Przedstawiono również przykład transgranicznej sieci jednostek realizujących projekty cyfrowej fabryki.

Kolejny obszar monografii to omówienie wybranych przykładów pokazujących wymierne efekty nawiązanej współpracy badaczy i przedsiębiorców w inżynierii produkcji. W rozdziale piątym zaprezentowano możliwość wykorzystania technik Lean Manufacturing na przykładzie laboratorium badawczo-rozwojowego. Przedmiotowa spółka świadczy innowacyjne usługi w zakresie kompleksowych badań i prób technologicznych dedykowanych producentom żywności. W związku z chęcią przystąpienia do certyfikacji zdecydowano się na wykorzystanie wybranych narzędzi lean w celu analizy stanu obecnego i poprawy wydajności organizacji. W pierwszej fazie uwidoczono możliwości analityczne całego laboratorium. Wdrożono propozycję usprawnień opracowaną zgodnie z założeniami metody 5S (w tym diagram Spaghetti, SMED oraz VSM). Uporządkowanie miejsc pracy oraz reorganizacja działań podejmowanych w ramach procesów badawczych pozwoliły na znaczny wzrost wydajności pracowników i skrócenie czasu realizacji badań. Zastosowanie mapowania strumienia wartości zobrazowało przepływ informacji i zasobów, identyfikując tym samym (a w konsekwencji eliminując) marnotrawstwo w firmie. Zmiany przełożyły się na niższe koszty utrzymania jednostki. Zwiększono liczbę działań zakończonych sukcesem. Polepszyła się obsługa klienta, czego wynikiem był spadek liczby reklamacji do zera. Odnotowano wymierne efekty w postaci wzrostu zysków finansowych i płynności finansowej ośrodka. Po raz kolejny udowodniono, że budowanie kultury ciągłego doskonalenia organizacji przyczynia się do osiągnięcia korzyści biznesowych. Rozdział szósty to przykład efektów współpracy przedsiębiorstwa Alchemia S.A. oddział Rurexpol w Częstochowie z Politechniką Częstochowską. Opracowano sposób wytwarzania rur bezkielichową metodą pielgrzymową. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest dowlcowanie kielicha i zwiększenie uzysku do 90%. W wyniku współpracy na rozwiązanie uzyskano patent Pat. 238223 „Zespół mocujący trzpień walcarki pielgrzymowej”. Rozdział siódmy to efekt wykorzystania oprogramowania Siemens NX MCD do prototypowania maszyn dla przemysłu meblarskiego. Rozwój i wdrażanie systemów wspomagających informatycznie produkcję w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw są szczególnie

trudne, ponieważ mają one ograniczone zasoby, zarówno pod względem siły roboczej, czasu, jak i kapitału, który można zainwestować w testowanie, rozwój i wdrażanie innowacji. Wykorzystane oprogramowanie umożliwiło wykonanie prototypu, symulacji przestrzennej oraz procesu produkcyjnego przewidzianego do realizowania na tym urządzeniu. W rozdziale ósmym pokazano przykład rozwiązania problemu planowania rotacyjnego przydzielania zadań gwarantującego utrzymanie kompetencji kadry pracowniczej na wymaganym poziomie. Zaproponowano nowatorskie proaktywne planowanie alokacji personelu z uwzględnieniem efektu zapomnienia. Studium przypadku dowodzi, że prezentowane podejście pozwala na znalezienie kompromisu między odpornością na zakłócenia (np. absencje) a utrzymaniem poziomu kompetencji. Zaproponowana metoda jest odpowiednia do podejmowania decyzji związanych z zasobami ludzkimi w trybie interaktywnym. Rozdział dziewiąty to prezentacja efektów prac oraz doświadczeń zebranych podczas realizacji projektu pt. „Opracowanie inteligentnego systemu zarządzania procesami biznesowymi z uwzględnieniem rozwiązań inteligentnych systemów wspierających integrację tradycyjnych oraz elektronicznych kanałów sprzedaży w rentalu odzieży roboczej”. Produkcyjne wdrożenie wyników pozwoliły na ocenę poziomu przygotowania zarówno przedsiębiorców, jak i kadry naukowej uczelni wyższej do realizacji tego typu przedsięwzięć.

Wiedząc, że zaprezentowane przykłady stanowią tylko fragment ogromnego potencjału możliwości kreowania nowych rozwiązań dzięki współpracy nauki i biznesu w inżynierii produkcji, wyrażamy ogromną nadzieję na kontynuowanie wspólnych spotkań na naszej konferencji pt. „Współpraca nauki i biznesu w inżynierii produkcji”. Życzymy Państwu przyjemnej lektury.

*Justyna Patalas-Maliszewska
Julian Jakubowski
Katarzyna Skrzypek*

Katarzyna Radwan

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_JakrI

MODEL ROZWOJU WSPÓŁPRACY OŚRODKÓW NAUKOWYCH ZE ŚRODOWISKIEM BIZNESOWYM

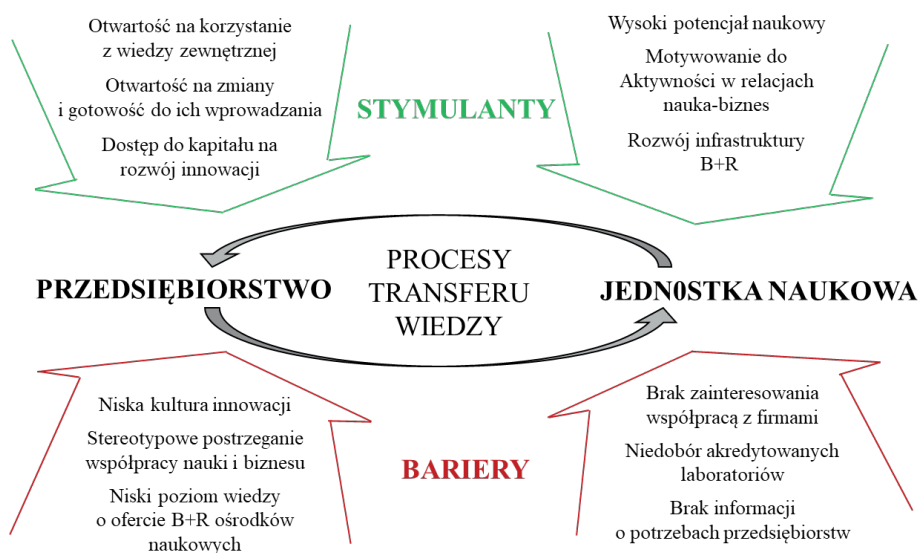
Wprowadzenie

Warunkiem rozwoju gospodarczego jest postęp naukowy. Siłą napędową innowacyjnej gospodarki staje się obecnie współpraca sfery nauki oraz biznesu, której sprawna realizacja wciąż stanowi spore wyzwanie. Efektywne wykorzystanie potencjału intelektualnego, w celu transferu wiedzy do gospodarki, nabiera coraz większego znaczenia. Innowacje są obecnie jednym z wiodących nośników konkurencyjności.

Celem artykułu jest zaprezentowanie modelu rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym. Stworzenie odpowiednich warunków umożliwiających i wspomagających współdziałanie środowiska nauki i przemysłu wpływa na zdolność do rozwijania i wdrażania nowych technologii. Przekłada się to na przyspieszenie rozwoju gospodarki.

Współpraca i kształtowanie relacji nauki z biznesem

Obszary działalności ośrodków naukowych i biznesu różnią się pod wieloma względami, jednak relacje pomiędzy nimi zachodzące powinny odznaczać się wzajemnością i zrozumieniem potrzeb. Przebieg tych procesów uwarunkowany jest oddziaływaniem pobudzających współpracę stymulant, jak i barier transferu wiedzy występujących zarówno po stronie przedsiębiorstw (sfera biznesu), jak też jednostek naukowych (sfera nauki) [1]. Ośrodki naukowe i biznesu mają różne cele, priorytety i metody działania, co często prowadzi do różnic w ich obszarach działalności. Niemniej jednak, aby rozwijać owocną współpracę, istotne jest, aby relacje między nimi opierały się na wzajemności

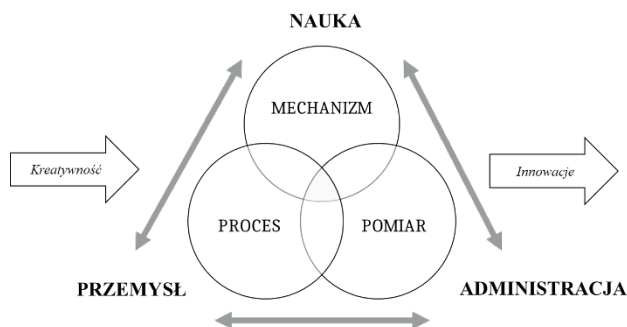


Rys. 1. Relacja nauki i biznesu – wybrane stymulanty i bariery [1]

i zrozumieniu potrzeb obu stron. Działania podejmowane na rzecz ograniczenia barier w relacjach nauki z biznesem mogą istotnie wpłynąć na te procesy. Aby przeciwdziałać tym barierom i stymulować efektywną współpracę, istotne jest budowanie wzajemnego zaufania, otwartości i zrozumienia między ośrodkami naukowymi a biznesem.

Poszczególne ćwiartki rysunku 1 prezentują czynniki pobudzające i ograniczające proces transferu wiedzy ze strony przemysłu oraz nauki. Współpraca między sferą nauki a biznesem jest kluczowa dla innowacji, rozwoju gospodarczego i społecznego [2]. Przezwyciężenie barier i wykorzystanie stymulantów jest niezbędne, aby osiągnąć pełny potencjał synergii między tymi sektorami i tworzyć trwałe korzyści dla obu stron.

System innowacji opiera się na wspólnym działaniu nauki, biznesu i administracji publicznej [3]. Współpraca tych sfer nazywana jest potrójną helisą (rys. 2). Przedstawiony model ukazuje międzysektorową wymianę wiedzy [4]. Zakłada on, że innowacje i rozwój społeczno-gospodarczy są rezultatem wzajemnego oddziaływania tych trzech sektorów [5]. Opiera się na założeniu, że trójstronna współpraca i wymiana wiedzy między sektorami nauki, biznesu i administracji publicznej jest niezbędna do efektywnego funkcjonowania systemu innowacji [6]. Sektor nauki generuje nową wiedzę, opracowuje technologie oraz przyczynia się do postępu w różnych dziedzinach. Sektor biznesu wykorzystuje wiedzę naukową i technologiczną do tworzenia nowych produktów, usług, procesów i rozwiązań, które mogą mieć zastosowanie na rynku. Sektor administracji publicznej tworzy i wdraża ramy prawne, regulacje, programy



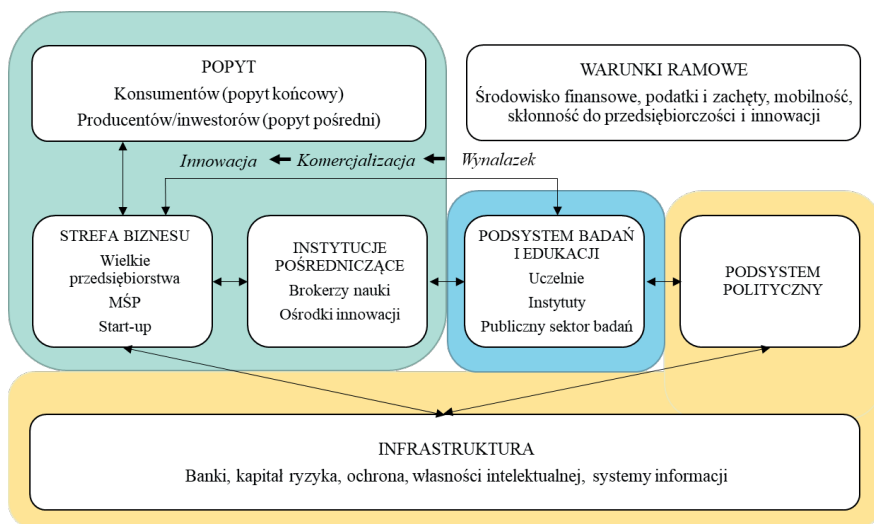
Rys. 2. Model wzajemnego oddziaływania pól potrójnej helisy [9]

wsparcia i polityki, które mają na celu promowanie innowacji, transfer wiedzy, rozwój gospodarczy i społeczny. Wzajemne powiązania i synergia między tymi sektorami mogą prowadzić do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, przyspieszania transferu technologii, rozwoju przedsiębiorczości, zwiększenia konkurencyjności i osiągnięcia społeczno-gospodarczych korzyści [7]. Potrójna helisa zakłada dialog, partnerstwo, wspólną strategię i aktywną współpracę między sektorami [8]. Wspólnie pracują oni nad identyfikacją problemów, badaniami, rozwojem technologii, wdrażaniem innowacji, a także kształtowaniem polityki innowacyjnej i otoczenia biznesowego sprzyjającego innowacjom.

W procesach decyzyjnych każdej organizacji powinno się znaleźć miejsce na różne formy współpracy, tworzenie i wdrażanie innowacji, często bowiem przekracza możliwości pojedynczego przedsiębiorstwa. Wspomniane współdziałanie może poskutkować pozyskaniem i wykorzystaniem zasobów, którymi pojedyncza organizacja nie dysponuje [10].

System innowacji obejmuje także funkcjonowanie zestawu instytucji w gospodarce (rys. 3).

Do strony podażowej systemu innowacji kwalifikuje się instytucje sfery naukowej, czyli przedstawiciele rynku badań naukowych. Strona popytowa to instytucje sfery biznesu, które zainteresowane są finansowaniem działalności badawczej i inwestowaniem [12]. Strona podażowa dostarcza nową wiedzę, technologie i innowacje, podczas gdy strona popytowa stwarza zapotrzebowanie na te innowacje, finansując badania naukowe i inwestując w rozwój technologiczny. Wzajemna wymiana wiedzy, transfer technologii i partnerstwa między tymi sektorami mogą się przyczynić do przyspieszenia rozwoju gospodarczego. Na podsystem polityczny składa się kilka poziomów, które mają wpływ na kształtowanie polityki innowacyjnej i regulacji dotyczących współpracy między sferą nauki a biznesem. Poziom międzynarodowy dotyczy współpracy i regulacji na



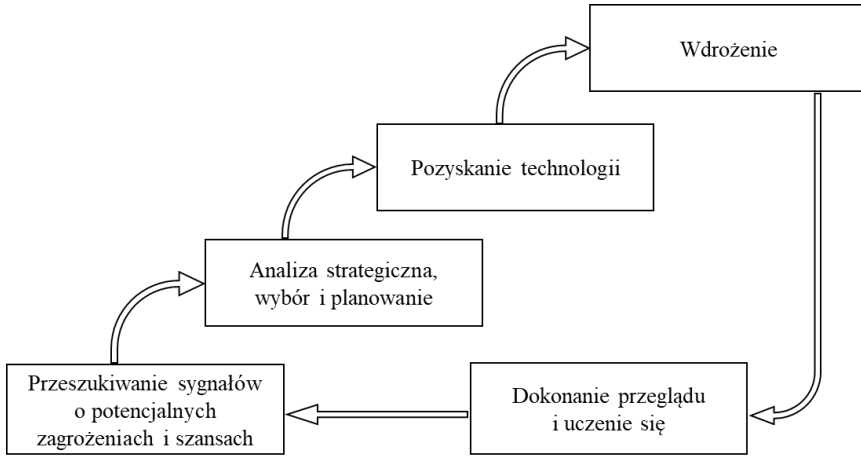
Rys. 3. System innowacji [11]

poziomie międzynarodowym. Na poziomie krajowym tworzone są programy wsparcia, regulacje, strategie rozwoju, jak również alokowane są środki finansowe na badania i innowacje. Poziom regionalny obejmuje działania mające na celu promowanie innowacji i współpracy między sektorem nauki a biznesem w ramach określonego obszaru geograficznego. Poziom instytucjonalny ma wpływ na kształtowanie polityki naukowej i badawczej oraz współpracę z sektorem biznesu. Współpraca między tymi poziomami w ramach podsystemu politycznego jest kluczowa dla tworzenia sprzyjającego środowiska innowacyjnego. Odpowiednie regulacje, alokacja zasobów finansowych, strategie rozwoju i programy wsparcia tworzone na tych poziomach mogą sprzyjać integracji sfery nauki i biznesu, a także przyspieszać proces transferu wiedzy i komercjalizację innowacji.

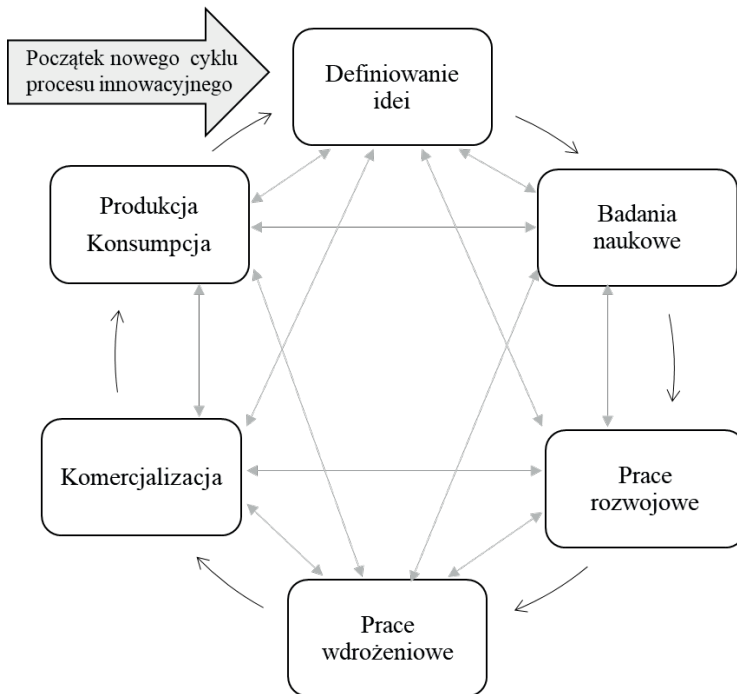
Aby podaż innowacji była wyższa, firmy nie mogą bazować wyłącznie na swoich wewnętrznych pomysłach [10]. Współpraca i interakcje między stroną podaźową (sferą nauki) a stroną popytową (sferą biznesu) są kluczowe dla efektywnego funkcjonowania systemu innowacji.

Koncepcja zarządzania działalnością innowacyjną

Nawiązywanie relacji między sferą nauki i przemysłu jest jednym z pierwszych kroków w procesie transferu wiedzy i technologii. Prace realizowane z udziałem pracowników nauki to możliwość komercjalizacji wiedzy i wyników badań naukowych do przemysłu [13].



Rys. 4. Cykl zarządzania projektowaniem innowacyjnych produktów i procesów [14]



Rys. 5. Sprzężenia w łańcuchu tworzenia wartości innowacji [15]

Zarządzanie działalnością innowacyjną stanowi uporządkowany zbiór działań realizowanych w celu osiągnięcia zamierzonych celów organizacji (rys. 4).

Cykl zarządzania projektowaniem innowacji składa się z kilku etapów, które w dwóch pierwszych krokach realizowane są współbieżnie, a następnie sekwencyjnie. W łańcuchu wartości innowacji dochodzi to sprzężeń wynikających z interakcji pomiędzy ogniwami łańcucha (rys. 5). W każdym z poziomów łańcucha wartości powstaje określony przyrost nowej wartości.

Model rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym

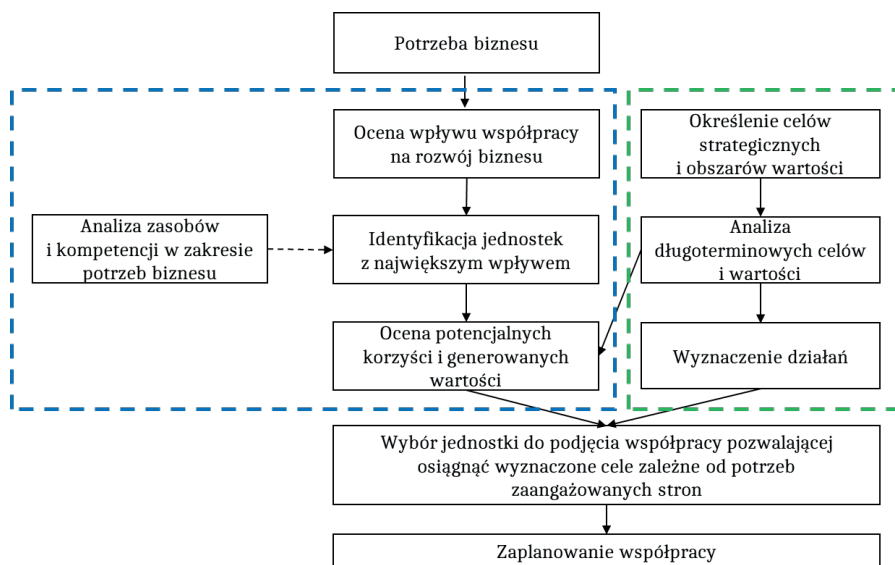
Współpraca sfery nauki i sektora przedsiębiorstw jest czynnikiem determinującym rozwój gospodarczy. Warunkiem jej realizacji jest odnoszenie korzyści przez zaangażowane strony.

Wzajemna współpraca między nauką a biznesem odgrywa kluczową rolę w rozwoju innowacji i wdrażaniu nowych technologii, co z kolei przyczynia się do przyspieszenia rozwoju gospodarczego. W ramach artykułu zostanie przedstawiony kompleksowy model rozwoju współpracy, który uwzględnia zarówno eliminację istniejących barier i wyzwań, jak i aktywne tworzenie warunków sprzyjających owemu współdziałaniu. Stworzony model został podzielony na trzy części – pierwszy etap obejmujący działania przed rozpoczęciem współpracy, następnie etap jej nawiązania oraz realizacji. Zaproponowane podejście przedstawia propozycję postępowania przy planowaniu współpracy i świadomym rozwoju relacji nauki i biznesu. Model będący propozycją kolejności działań może być wykorzystywany przez przedsiębiorstwa i jednostki naukowe o różnym profilu działania.

Zaproponowany model rozwoju współpracy będzie stanowić podstawę do tworzenia efektywnych strategii i działań wspierających synergiczne relacje między nauką a biznesem, przyczyniając się do tworzenia zrównoważonej i konkurencyjnej gospodarki.

Etap wstępny

Cechą opracowanego modelu fazy wstępnej nawiązania współpracy jest nastawienie na dialog między sferą nauki i biznesu. Jest to sekwencja kroków mających na celu identyfikację i ocenę potencjalnych partnerów, którzy posiadają odpowiednie zasoby, kompetencje i cele zgodne z oczekiwaniami. Etap ten stanowi ścieżkę podejmowania decyzji dotyczącej wyboru partnera do wspólnej realizacji zadań. Sekwencja działań podejmowanych przed wejściem w relację rozpoczyna się od sformułowania wizji, misji,



Rys. 6. Model rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym – etap wstępny [oprac. własne]

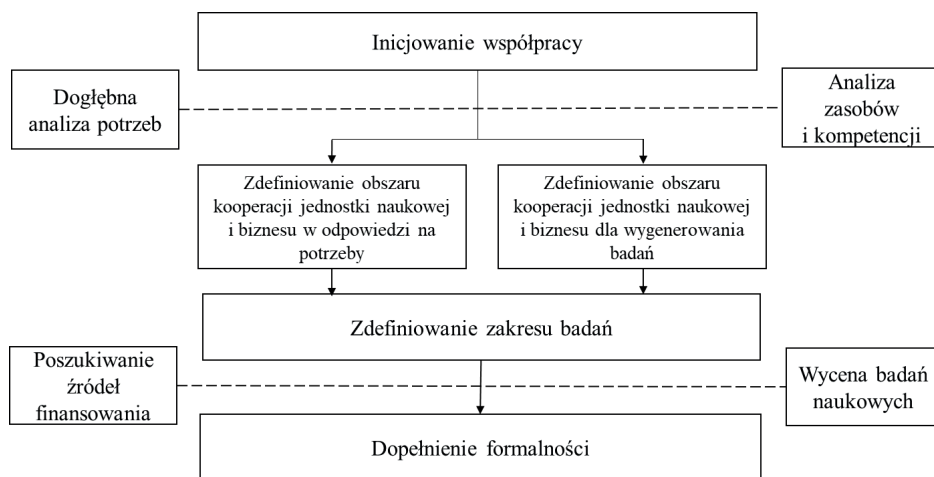
wartości oraz wyznaczenia długoterminowych strategicznych celów rozwoju. Na tym etapie następuje ocena zasobów i możliwości do zrealizowania określonych działań.

Model obejmuje również posunięcia podlegające pod analizę mikrootoczenia, uwzględniające czynności sprowadzające się do zidentyfikowania partnerów, którzy mają największy wpływ na rozwój, a następnie dokonanie ich oceny w kontekście generowania wartości i korzyści z podjętej współpracy. Celem finalnym działań w tym etapie jest wybór partnera, który pozwoli osiągnąć wyznaczone cele w zależności od kontekstu i potrzeb zaangażowanych stron (rys. 6). Niniejszy model ma na celu zapewnienie solidnych podstaw współpracy nauki i biznesu poprzez odpowiednie dopasowanie partnerów. Zwiększa to szanse na sukces w realizacji projektów, osiągnięciu wyznaczonych celów oraz wzajemnym wsparciu i rozwoju.

Etap nawiązania współpracy

Po przejściu przez fazę wstępną zaproponowano sekwencje działań w ramach etapu nawiązania współpracy. To część modelu polegająca na dogłębnej analizie potrzeb, zasobów i kompetencji, a następnie zdefiniowaniu wzajemnych zobowiązań i zaplanowaniu współpracy.

Inicjowanie współpracy rozpoczyna się od identyfikacji możliwości współpracy i nawiązania kontaktu między ośrodkami naukowymi a przedsiębiorstwami. Następnie



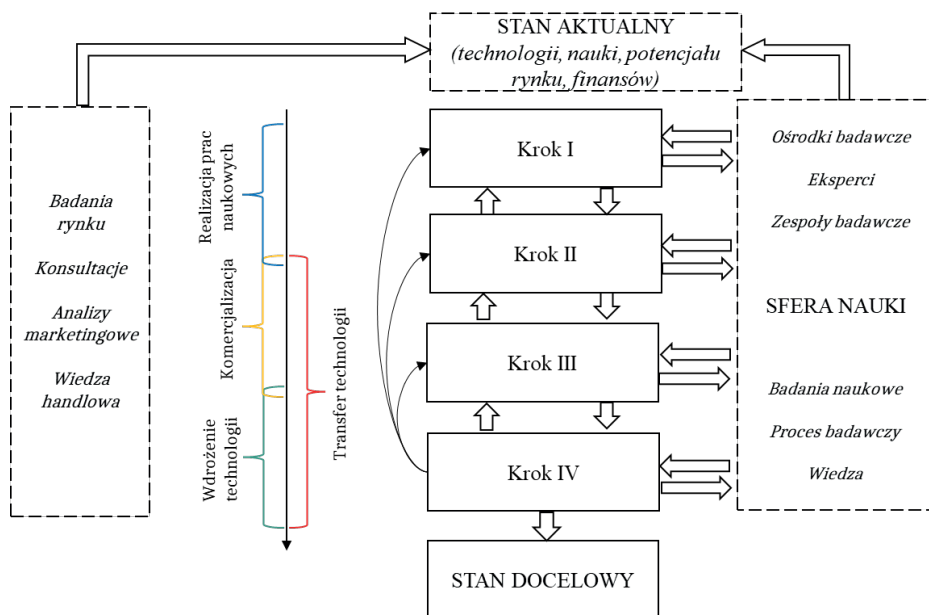
Rys. 7. Model rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym – etap nawiązania współpracy [oprac. własne]

na podstawie dogłębnej analizy potrzeb, zasobów i kompetencji określa się obszar, w którym planuje się współpracę. W ramach zdefiniowania zakresu badań ustala się konkretny zakres badań i działań, które będą podejmowane w ramach współpracy. Po zdefiniowaniu obszaru i zakresu współpracy następuje ustalenie wzajemnych zobowiązań i odpowiedzialności obu stron. Ostatnim krokiem jest dokonanie niezbędnych formalności. Wszystko to ma na celu zapewnienie klarowności i stabilności relacji między ośrodkami naukowymi a przedsiębiorstwami.

Etap ten sprowadza się do wypracowania wspólnych płaszczyzn powiązań, czyli obszarów, w ramach których następuje wzajemne oddziaływanie i współpraca między ośrodkami naukowymi a przedsiębiorstwami, obie strony mają wspólne interesy i mogą osiągnąć synergiczne efekty (rys. 7).

Etap współpracy

Realizacja etapu współpracy wymaga wiedzy na temat aktualnego stanu danej dziedziny, w której działania mają być podejmowane. Podstawowe zasoby wiedzy są generowane w wyniku badań naukowych, a także konsultacji i analiz. Przedstawiony model etapu współpracy prezentuje związek działalności badawczo-rozwojowej generującej nową wiedzę z procesem rozwoju (co ukazują kolejne kroki). Istotną kwestią jest przepływ informacji oraz transfer rozwiązań pomiędzy jednostkami partnerskimi, co prowadzi do podnoszenia ich innowacyjności i konkurencyjności.



Rys. 8. Model rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym – etap współpracy [opracowanie własne]

Celem etapu współpracy jest stworzenie korzystnej i owocnej relacji między jednostką naukową a biznesem, która pozwoli na osiągnięcie zamierzonych rezultatów i przyniesie korzyści obu stronom (rys. 8).

Praktyczne wykorzystanie modelu rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym

W celu omówienia możliwości zastosowania modelu posłużono się przykładem przedsiębiorstwa z branży narzędziowej, które przy współpracy z ośrodkiem naukowym pragnie opracować nowe podejście w zakresie tworzenia i wdrażania nowych produktów na rynek. W przemyśle, szczególnie w przypadku produkcji małoseryjnej, istnieje potrzeba opracowania nowego podejścia biznesowego, które uwzględniałoby schemat postępowania z projektem innowacyjnym. Ten schemat powinien uwzględniać ograniczone nakłady finansowe w fazie rozwoju, testów i prób w produkcji małoseryjnej. Z uwagi na specyfikę produkcji istotne jest skuteczne tworzenie nowej wartości dla klienta już na etapie koncepcji innowacyjnego wyrobu, przy jednoczesnym uwzględnieniu ograniczonych nakładów na kolejnych etapach projektowych.

Dotychczasowe działania ze strony przedsiębiorstwa wynikające z podjętej współpracy ograniczały się do korzystania z zasobów intelektualnych, infrastruktury i zaplecza badawczego ośrodka naukowego w wybranym aspekcie. Zdecydowano jednak, że współpraca powinna się przełożyć na zwiększenie innowacyjności, a co za tym idzie konkurencyjności i przedsiębiorczości firmy, umiejętnie bowiem zarządzanie projektami innowacyjnymi może przynieść przedsiębiorstwu wymierne rezultaty. W tym celu proponuje się zastosowanie opracowanego modelu.

W wyniku przejścia przez etap wstępny modelu rozwoju współpracy ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym dokonano analizy potencjału obecnego ośrodka naukowego, a następnie podjęcia decyzji dotyczącej wyboru partnera do wspólnej realizacji zadań, mając na względzie, że istotna we współpracy jest praca nad wspólnym celem. Zarówno jednostki naukowe, jak i środowisko biznesowe dostrzegają korzyści i wartości płynące ze współpracy między nimi i mają świadomość, że partnerstwo może przynieść im pozytywne efekty i przyczynić się do osiągnięcia ich celów.

Zgodnie z etapem nawiązania współpracy zdefiniowano wzajemne zobowiązania, ich zakres oraz zaplanowano współpracę. Podejście do innowacji i tworzenia wartości wymaga złożonych zdolności organizacyjnych.

Wzajemne relacje w zakresie realizacji współpracy między zaangażowanymi podmiotami powinny być oparte na sprzężeniu zwrotnym, nawiązywanie bowiem wzajemnych relacji i ich rozwój są istotnym krokiem w procesie transferu wiedzy i technologii.

Zaproponowana metodyka pozwala na wypracowanie podejścia wspomagającego umiejętnie zarządzanie projektami, które w wyniku tego będą realizowane w sposób wydajniejszy i sprawniejszy. Wypracowanie skuteczności w wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań przyczyni się do pomyślnego realizowania kolejnych projektów. Spodziewane rezultaty przełożą się na motywację obu stron do dalszego rozwoju i ciągłego wzrostu.

Na podstawie współpracy omawianego przedsiębiorstwa z ośrodkiem naukowym można wskazać szereg pozytywnych aspektów relacji środowiska naukowego i przemysłu. Przede wszystkim umożliwi ona transfer wiedzy, wyników badań i technologii. Ośrodki naukowe mogą przekazywać swoje osiągnięcia i innowacyjne rozwiązania, a przedsiębiorstwa wykorzystywać tę wiedzę do rozwoju nowych produktów, usług lub procesów. Współpraca nauki z biznesem przyczynia się do komercjalizacji badań naukowych. Dzięki temu odkrycia naukowe mogą być przekształcane w komercyjne produkty lub usługi. Przedsiębiorstwa mają możliwość wykorzystania wyników badań naukowych do opracowania innowacyjnych rozwiązań, które mają potencjał na rynku. Współpraca ta ma pozytywny wpływ na rozwój konkurencyjności. Przedsiębiorstwa mogą wykorzystać wiedzę naukową do zwiększenia swojej konkurencyjności poprzez wprowadzenie nowych technologii i rozwiązań. Kolejnym aspektem współpracy jest rozwój nowych produktów i usług. Jednostki naukowe mogą dostarczyć

przedsiębiorstwom informacje i analizy, które pomogą im zrozumieć rynek i potrzeby klientów. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą opracowywać nowe produkty lub usługi, które są lepiej dopasowane do oczekiwań klientów. Współpraca nauki z biznesem przynosi również korzyści finansowe i wsparcie. Pozytywnym aspektem jest także tworzenie sieci i partnerstw. Ośrodki naukowe i przedsiębiorstwa mogą wspólnie pracować nad projektami, wymieniać doświadczenia i poszerzać swoje kontakty w branży. Wszystkie te aspekty współpracy nauki z biznesem przyczyniają się do rozwoju innowacji, wzrostu gospodarczego i tworzenia większej wartości dodanej dla obu stron.

Podsumowanie

Stworzenie odpowiednich warunków wspomagających związek środowiska nauki i biznesu może istotnie wpłynąć na przyspieszenie rozwoju gospodarki. Współpraca ośrodków naukowych ze środowiskiem biznesowym jest to wieloaspektowy proces, który przekłada się na korzyści dla wszystkich zaangażowanych stron. Zastosowanie stworzonego modelu pozwoli na świadome kierowanie procesem nawiązywania współpracy, a następnie jej rozwoju. Fundamentem modelu jest założenie, że rozwój relacji ośrodków naukowych z przedsiębiorstwami umożliwi osiągnięcie wymiernych atutów dla obu tych sfer. Główną cechą przedstawionego powyżej procesu badawczego jest bardzo duże nastawienie na dialog między praktyką a nauką. Zaczyna się on od razu po decyzji o rozpoczęciu badań. Stosowanie modelu pozwoli świadomie kierować całym procesem nawiązywania współpracy i jej rozwoju w kierunku kreowania trwałych powiązań. Planowanie i przemyślany rozwój współpracy przyczyniają się do budowania partnerskich relacji.

Kierunki rozwoju współpracy powinny zakładać dążenie do przełamywania barier. Jedynie wspólne działanie może pozwolić na odniesienie sukcesu. Tworzenie warunków wspomagających współpracę środowiska nauki i biznesu powinno być podstawą ciągłego podnoszenia innowacyjności.

Literatura

- [1] Bialoń L. (red.) (2010). *Zarządzanie działalnością innowacyjną*. Placet, Warszawa.
- [2] Kurowska-Pysz J. (2015). *Przedsiębiorczość akademicka jako impuls do rozwoju innowacyjnej ścieżki partnerstwa nauka – biznes*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas. Zarządzanie, nr 3, Sosnowiec, s. 51-65.
- [3] Majzel A. (2020). *Tworzenie innowacyjności w oparciu o współpracę biznes – nauka – administracja*. Zeszyty Naukowe ZPSB Firma i Rynek, nr 1(57), Szczecin, s. 51-65.

- [4] Mazur D. (2015). *Współpraca sektora nauki, biznesu i administracji publicznej jako główne wyzwanie współczesnej polityki rozwoju miasta na przykładzie Krakowa*. Zarządzanie Publiczne, nr 1(29), Kraków, s. 1-10.
- [5] Sułkowski Ł., Walczak M., Prysiniński Ł. (2014). *Finansowe i organizacyjne aspekty kooperacji nauki i lokalnej przedsiębiorczości, Część 2*. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. 15, z. 10, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź.
- [6] Kopeć A. (2020). *Rozwój regionalny oparty na innowacjach przy zastosowaniu modelu poczwórnej helisy oraz projektu Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego 2030. Koncepcja rozwoju „Czwórmiaści”*. Zeszyty Naukowe PWSZ w Płocku. Nauki Ekonomiczne, t. 31, Płock, s. 53-73.
- [7] Tomaszuk A., Wasilik A. (2021). *Przedsiębiorstwo w poczwórnej helisie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
- [8] Łącka I. (2018). *Modele Quadruple i Quintuple Helix – nowe spojrzenie na rolę społeczeństwa i środowiska naturalnego w tworzeniu regionalnych innowacji dla rozwoju zrównoważonego*. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Oeconomica, nr 90, s. 47-58.
- [9] Puślecki Z.W. (2017). *Model potrójnej helisy (triple helix) we wzroście efektów innowacyjnych i konkurencyjności*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 475, Wrocław, s. 238-257.
- [10] Gibson D.V., Mahdjoubi D., Mercer E.D. (2011). *Creative Regions, Innovation Clusters, and Science Parks in Developed, Developing, and Emerging Regions Worldwide*, [w:] *Transfer technologii, przedsiębiorczość innowacyjna w rozwoju firm*, red. D. Trzmielak, Uniwersytet Łódzki, Łódź, s. 35-49.
- [11] Publikacja z konferencji (2010). *Budowa współpracy nauki z biznesem w województwie lubelskim*, Warszawa.
- [12] Arnold E., Kuhlman S. (2008). *Policies for Open Innovation: Theory, Framework and Cases*. VISION Era-Net, Helsinki.
- [13] Badanie współpracy pomiędzy sektorem nauki a biznesu w ramach projektu „Grant Plus” (2015), Gdańsk.
- [14] Łobejko S., Sosnowska A. (2013). *Komercjalizacja wyników badań naukowych. Praktyczny poradnik dla naukowców*. MSODI Mazowiecka Sieć Innowacji, Warszawa.
- [15] Białoń L. (red.) (2010). *Międzynarodowe Centrum Nauki i Zaawansowanej Technologii ICS oraz organizacja ds. Rozwoju Przemysłowego Narodów Zjednoczonych UNIDO (2001). Zarządzanie technologią*. Biuro Promocji Inwestycji i Technologii Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju Przemysłowego UNIDO, ITPO, Warszawa.

Piotr Wrzecioniarz
Daniel Medyński
Renata Gnitecka
Magdalena Dąbrowska
Anna Burduk
Krzysztof Kolbusz

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr2

WSPÓŁPRACA COLLEGIUM WITELONA UCZELNIA PAŃSTWOWA Z OTOCZENIEM GOSPODARCZYM W OBSZARZE INŻYNIERII PRODUKCJI

Wprowadzenie

Uniwersytety nieustannie się rozwijają. W pewnym zakresie kształtują przyszłość, a w pewnym reagują na zmieniającą się rzeczywistość. Zmiany, jakie obserwujemy w ich funkcjonowaniu, postępują stosunkowo wolno i odzwierciedlają realia społeczne, gospodarcze i polityczne.

Punktem wyjścia w niniejszej pracy są poglądy sformułowane na przełomie minionego i aktualnego stulecia m.in. przez J.W. Wissema w opracowaniu *Uniwersytet Trzeciej Generacji XXI wieku*. Są one rezultatem obserwacji dotyczących funkcjonowania uczelni wyższych w Europie, Ameryce, Azji, w szczególności w zakresie ich współpracy z otoczeniem gospodarczym oraz własnych doświadczeń w tym obszarze, wynikających m.in. ze współpracy z firmą Shell Global Solution. Autorzy na tej podstawie, z historycznego punktu widzenia, wyróżnili trzy fazy rozwoju uniwersytetów: I faza – uniwersytet średniowieczny, II faza – uniwersytet humboldtowski, III faza – uniwersytet III generacji.

Początkowo europejskie uniwersytety I generacji wyposażały swych adeptów w wiedzę klasyczną. Miało to na celu zachowanie dziedzictwa i tradycji chrześcijańskich. Tego typu uniwersytetem był najstarszy europejski uniwersytet utworzony w 1088 r. w Bolonii. Na jego wzór powstał w 1364 r. najstarszy w Polsce Uniwersytet Jagielloński. Mniej więcej w tym samym okresie tworzył urodzony na ziemiach legnickich Witelon, polski mnich i uczonec (fizyk, matematyk, filozof), znany z prac nad optyką i psychologią spostrzegania, patron Collegium Witelona Uczelnia Państwowa (pl.wikipedia.org/wiki/witelon).

Etap przejściowy między fazą I i II, będący okresem wynalezienia m.in. druku Gutenberga oraz maszyny parowej Stevensona, wprowadził ludzkość w epokę globalizacji, związaną z europejskimi podbojami w Ameryce, Afryce i Azji. To wówczas pojawiła się koncepcja uniwersytetu II generacji, określanego mianem humboltowskiego [2, 3]. W tym okresie naukowcy zaczęli wyciągać wnioski z systematycznie przeprowadzanych i powtarzanych eksperymentów na podstawie logicznie wysuwanej argumentacji.

Po kolejnym etapie przejściowym pojawiła się koncepcja uniwersytetu III generacji jako wynik analiz działalności uniwersytetów, takich jak: Cambridge, Oxford, Massachusetts Institute of Technology czy Stanford. Umożliwiło to sformułowanie kolejnego, trzeciego celu działalności tego typu uczelni. Dotyczy on komercjalizacji i praktycznego wykorzystania wiedzy powstającej w uczelniach. Na coraz większą skalę rozpoczęło się angażowanie uniwersytetów w rozwój gospodarczy, a efektem tego było tworzenie ośrodków badawczo-rozwojowych, w których wykorzystuje się wiedzę i komercjalizuje wyniki badań naukowych. Przykładem może być powstanie Silicon Valley wokół Uniwersytetu Stanforda, a także utworzenie w późniejszym czasie ponad 300 miejsc tego typu na całym świecie. Dodatkowo zaczęto systematycznie kształcić w zakresie przedsiębiorczości [5]. Można zatem uznać, że na przełomie XX i XXI w. doszło na świecie do rozwoju uniwersytetów III generacji, a w efekcie do istotnego przyspieszenia komercjalizacji badań naukowych. Przykładem tego typu działań jest funkcjonujący od 20 lat na Dolnym Śląsku Wrocławski Park Technologiczny, zrzeszający ok. 220 firm nowoczesnych technologii, uchodzący za jeden z najlepszych parków technologicznych w Polsce. Uniwersytetem III generacji zatem można określić uczelnię przedsiębiorczości, wiedzy i jej komercjalizacji, dostarczającą absolwentów do firm w parkach technologicznych czy strefach gospodarczych, w których zlokalizowane są najbardziej zaawansowane firmy świata.

Turbulentna rzeczywistość społeczno-polityczna i gospodarcza XXI w. istotnie wpływa na funkcjonowanie większości firm. Reagują one w różny sposób na kryzys finansowy i gospodarczy, poprzez obniżanie kosztów, dokonywanie relokacji produkcji i usług czy wręcz zmianę profilu produkcji. Procesy te przyspieszyły w ostatnim okresie w wyniku pandemii oraz konfliktów zbrojnych. Efektem tego jest poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań bazujących na nowoczesnych technologiach w zakresie organizacyjnym i procesowym, opartych na cyfryzacji, automatyzacji i robotyzacji.

Nawiązując do wdrażanej na coraz większą skalę gospodarki 4.0, kolejnym etapem będą uniwersytety IV generacji jako uczelnie wykorzystujące w coraz większym zakresie właśnie innowacje. Uniwersytet tego typu powinien nadal uwzględniać cały europejski dorobek uniwersytecki, uzupełniając go o nowe elementy związane z rozwojem gospodarczym. Nadal powinna funkcjonować przekazywana przez nauczycieli akademickich klasyczna i usystematyzowana wiedza, polegająca na szerzeniu wartości

i tradycji, z których się wywodzimy, unikając przy tym błędów związanych z przeszłością. Drugi obszar to wiedza uzyskiwana podczas badań własnych w uczelni oraz innych placówkach badawczych. Trzeci obszar to przedsiębiorczość i związana z tym komercjalizacja wiedzy, obejmującej zarówno pracowników, jak i studentów uczelni (w miarę możliwości). I w końcu czwarty obszar uwzględniający innowacyjność.

Collegium Witelona Uczelnia Państwowa (do 21.12.2021 r. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy) jako uczelnia kształcąca praktycznie od początku swojej działalności stara się spełniać ww. kryteria, poprzez intensywny rozwój, przy ścisłej współpracy z otoczeniem gospodarczym. Dotyczy to zarówno zaangażowania społeczności akademickiej i przedstawicieli otoczenia gospodarczego w szeroko pojęty proces dydaktyczny, jak również w działania badawczo-rozwojowe oraz ich komercjalizację. W kolejnych rozdziałach artykułu omówiono przykładowe inicjatywy realizowane w ramach Wydziału Nauk Technicznych i Ekonomicznych Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, wskazujące różne modele i sposoby współpracy z otoczeniem gospodarczym.

Przykłady nowoczesnego kształcenia praktycznego w uczelni IV generacji

Doświadczenia pokazują, że przy współpracy z otoczeniem gospodarczym nauczanie zarówno przedsiębiorczości, jak i innowacji jest możliwe. Wskazują na to doświadczenia zdobyte w ostatnim czasie. Dotyczą one choćby wprowadzenia od roku akademickiego 2020/2021 na wszystkich kierunkach studiów I stopnia na Wydziale Nauk Technicznych i Ekonomicznych Collegium Witelona Uczelnia Państwowa modułu „Przedsiębiorczość akademicka”. Program zajęć oparty jest na wieloletnich doświadczeniach zespołów multidyscyplinarnych. Efektem podjętych działań są projekty studenckie dotyczące własnych pomysłów na biznes. Każdy z projektów prezentowany jest przed komisją składającą się z osoby prowadzącej zajęcia, przedstawicieli otoczenia społeczno-gospodarczego oraz dziekanów. Wybrane prace realizowane w semestrze letnim roku akademickiego 2020/2021, które uzyskały zgodę na upublicznienie, zostały zamieszczone w książce wydanej pod red. P.A. Wrzecioniarza, zatytułowanej *Przedsiębiorczość akademicka*. Nie jest to typowy podręcznik do przedmiotu przedsiębiorczość akademicka, a raczej opracowanie wprowadzające do tematyki oraz zbiór przykładów praktycznych dotyczących tworzenia biznesów zgodnie z własnymi pomysłami. Jest to najpewniej pierwsza w kraju tego typu książka, będąca wspólnym opracowaniem osoby prowadzącej zajęcia z zakresu przedsiębiorczości oraz studentów. Opracowanie to stanowi swoistą wskazówkę dla studentów wyższych roczników umożliwiającą tworzenie lepszych, bardziej zaawansowanych rozwiązań, w celu zapewnienia w sposób

ciągły i wzrastający postępu, z korzyścią dla regionu, w którym zlokalizowana jest uczelnia. Podjęte działania miały na celu ponadto dostarczenie niezbędnej wiedzy oraz przykładów dla kolejnych prowadzących ten moduł, aby sprawdzone rozwiązanie kontynuować na wyższym poziomie oraz zapewnić rozwój w dłuższym okresie. Obserwacje wskazują, że mechanizm ten się sprawdza, ponieważ w kolejnym roku akademickim 2021/2022 studenci zaproponowali zdecydowanie więcej zaawansowanych pomysłów, m.in. z zakresu procesów technologicznych, logistyki oraz IT.

Z kolei od roku akademickiego 2021/2022 wprowadzono zajęcia innowacje na kierunku studiów II stopnia Inżynieria produkcji i logistyki. Niewątpliwie jest to trudniejszy obszar, wymagający posiadania zdecydowanie większej wiedzy i doświadczenia od studentów w porównaniu z „Przedsiębiorczością akademicką”. Związany jest bowiem z opracowaniem innowacyjnych rozwiązań i ich komercjalizacją. Najlepsze pomysły są aktualnie przedmiotem analiz prowadzonych w ramach Instytutu Technologii i Innowacji.

Dodatkowym przykładem ścisłej współpracy z otoczeniem gospodarczym jest organizowanie od roku akademickiego 2021/2022 cyklicznych spotkań z przedstawicielami otoczenia społeczno-gospodarczego w ramach seminariów przemysłowych, a od roku akademickiego 2022/2023 w ramach seminariów biznesowo-przemysłowych. Spotkania prowadzone są przez przedstawicieli firm, niejednokrotnie pełniących kluczowe funkcje w przedsiębiorstwach, podczas których przedstawiają oni obszary działalności swoich firm oraz możliwości współpracy w zakresie dydaktycznym oraz pozadydaktycznym. Spotkania dedykowane są w pierwszej kolejności studentom uczelni, uczniom szkół ponadpodstawowych oraz przedstawicielom otoczenia gospodarczego. Dotychczas w spotkaniach wzięło udział ponad 20 przedsiębiorstw i instytucji, wśród których można wymienić: KGHM Polska Miedź S.A., LSSE S.A., Huta Miedzi w Legnicy, Pol-Miedź Trans sp. z o.o., Grupa KGHM, INOVA Centrum Innowacji Technicznych sp. z o.o. Grupa KGHM, Mine Master sp. z o.o., SpyroSoft S.A., Yaskawa Polska sp. z o.o., Stigal, Haerter Technika Wytłaczania sp. z o.o. sp.k., PKP Cargo, PKP Intercity, Collins Aerospace, Mercedes Bezn Manufacturing Poland sp. z o.o., LG Solution, PPHU Vitbis sp. z o.o., MaWo Group sp. z o.o., CCC S.A., Toyota Bushoku sp. z o.o. i in.

Elementy kształcenia dualnego na przykładzie kierunku studiów inżynieria testowa

Jakość kształcenia należy zapewniać przez realizację procesu dydaktycznego zgodnie z wypracowanymi procedurami, które podlegają doskonaleniu. Opracowywanie programów studiów w konsultacjach z przedstawicielami otoczenia gospodarczego stanowi kluczowy element tego procesu. Doskonałym tego przykładem może być przygotowanie

programu kierunku studiów I stopnia Inżynieria testowa, który został uruchomiony w roku akademickim 2015/2016 decyzją Ministra Szkolnictwa Wyższego na podstawie pozytywnej opinii Polskiej Komisji Akredytacyjnej. Program kierunku studiów opracowano we współpracy ze Steibeis Hochschule Berlin, bazował on na modelu kształcenia Projekt-Kompetencje-Studia, wdrożonym w ww. uczelni. Zgodnie z tym modelem kształcenie odbywało się w systemie dualnym, a kluczowymi jego elementami były realizowane w każdym semestrze „Projekty transferowe”. Tematyka projektów wynikała z faktycznych potrzeb pracodawcy, a „godziny transferowe” ujęte w kartach modułów przedmiotu zapewniały możliwość wykorzystania wiedzy zdobytej na zajęciach do realizacji projektów w przedsiębiorstwach. Projekty realizowano na mocy stosownych porozumień, równoległe z praktykami zawodowymi. W przedsiębiorstwach studenci wspierani byli przez wysoko wykwalifikowanych specjalistów, natomiast w uczelni przez nauczycieli akademickich o odpowiednich kompetencjach. Tematyka projektów dotyczyła najczęściej realnych problemów związanych z prowadzonymi w firmach działaniami, a raporty z ich realizacji stanowiły niejednokrotnie rozdziały inżynierskich prac dyplomowych mających charakter użyteczny.

Innowacyjny program kształcenia dla branży motoryzacyjnej

W latach 2017-2018 w uczelni opracowano i wdrożono kształcenie specjalistyczne na 5. poziomie PRK na kierunku obsługa procesu produkcji. Działanie realizowane było w ramach projektu pn. „Innowacyjny program kształcenia dla branży motoryzacyjnej” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego (Działanie 4.1. Innowacje społeczne, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój). Koncepcję kształcenia i program kierunku studiów utworzono w ścisłej współpracy z firmami Haerter Technika Wytwarzania sp. z o.o. sp.k. oraz VOSS Automotive Polska sp. z o.o. funkcjonującymi w obrębie Legnickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej S.A., zgodnie z ich potrzebami. Pracodawcy wskazali, że istnieje zapotrzebowanie na pracowników, którzy powinni posiadać część kompetencji absolwenta kierunku studiów zarządzanie i inżynieria produkcji, studia I stopnia. W koncepcji pilotażowego kształcenia przyjęto, że program zostanie utworzony na bazie efektów i treści kształcenia ww. kierunku studiów. Przyjęto dodatkowo dualny system kształcenia, przewagę efektów odnoszących się do kwalifikacji zawodowych, kluczową rolę praktyk i projektu zawodowego realizowanego zgodnie z potrzebami pracodawców. W programie kierunku studiów uwzględniono 600 godz. dydaktycznych oraz duży wymiar praktyk w wymiarze 940 godz., które realizowano w firmach Haerter Technika Wytwarzania sp. z o.o. sp.k. oraz VOSS Automotive Polska sp. z o.o. Kształcenie ukończyło 18 osób (na 20 osób

zrekrutowanych), spośród których rozważano zatrudnienie dziewięciu absolwentów. Pracodawcy i absolwenci pozytywnie ocenili zarówno realizację kształcenia, jak i krótki cykl kształcenia zawodowego opracowanego zgodnie z ich potrzebami. Uznano również, że sporządzony i wdrożony program kształcenia znacznie skróci adaptację na stanowiskach wymagających kwalifikacji na 5. poziomie PRK. Istotną barierą kontynuacji kształcenia na opracowanym kierunku jest obecnie brak finansowania kształcenia na 5. poziomie PRK. Problematykę kształcenia na tym poziomie, potrzeby rynku w tym zakresie oraz bariery we wdrażaniu tego kształcenia wnikliwie omówiono w publikacji [1].

Program praktyk zawodowych w państwowych wyższych szkołach zawodowych

Typowym przykładem współpracy z otoczeniem gospodarczym było zrealizowanie projektu pn. „Program praktyk zawodowych w Państwowych Wyższych Szkołach Zawodowych”. Projekt realizowany był w latach 2016-2019 na wszystkich kierunkach studiów prowadzonych w Uczelni. Jego celem było przeprowadzenie praktyk zawodowych w uczelniach na kierunkach studiów o profilu praktycznym. Działaniem zostały objęte publiczne uczelnie zawodowe oraz niepubliczne uczelnie zawodowe, kształcące co najmniej 100 studentów na studiach stacjonarnych, w których udział studentów stacjonarnych w ogólnej liczbie studentów wynosił co najmniej 40%. Projekt zakładał udział maksymalnie 188 studentów, którzy w ramach działań uczelni wspartych z Europejskiego Funduszu Społecznego uczestniczyli w programie rozszerzonych 6-miesięcznych praktyk zawodowych. Rezultatem projektu był rozwój kompetencji studentów, zwiększenie elastyczności uczelni w zakresie tworzenia programów kształcenia oraz zacieśnienie współpracy między pracodawcami a uczelniami. Współpracę realizowano m.in. z następującymi przedsiębiorstwami: Gates Polska sp. z o.o., General Logistics Systems Poland sp. z o.o., LPGK Legnickie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej, Vitbis sp. z o.o. czy VOSS Automotive Polska sp. z o.o. W ramach Wydziału Nauk Technicznych i Ekonomicznych w projekcie wzięło udział ponad 120 studentów, ponad 70% z nich otrzymało propozycje zatrudnienia od ponad 30 firm (zlokalizowanych w regionie), w których realizowano zadania projektowe.

Kadra jako kluczowy element rozwoju branży motoryzacyjnej

Realizacja projektu pn. „Kadra jako kluczowy element rozwoju branży motoryzacyjnej” po raz kolejny wskazuje na ścisłą współpracę między uczelnią a otoczeniem gospodarczym. Celem projektu było wsparcie rozwoju kadr dla przemysłu motoryzacyjnego

poprzez stworzenie wysokiej jakości programów stażowych i programów kształcenia dla ponad 30 studentów kształcących się na kierunku studiów zarządzanie i inżynieria produkcji. Projekt realizowano w latach 2018-2021. Opracowanie projektu w zakresie przygotowania i realizacji wysokiej jakości programów stażowych oraz programów rozwoju kompetencji studentów, oczekiwanych od kandydatów przez pracodawców branży motoryzacyjnej, odbyło się we współpracy z trzema firmami działającymi na terenie Legnickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej S.A., a mianowicie VOSS Automotive Polska sp. z o.o., Haerter Technika Wytłaczania sp. z o.o. sp.k. oraz Wezitec sp. z o.o. W ramach projektu zaplanowano studentom wiele szkoleń specjalistycznych, w tym certyfikowanych, w zakresie organizacji, optymalizacji oraz sterowania produkcją, a także staży płatnych w ww. przedsiębiorstwach oraz projektów specjalistycznych realizowanych przy udziale kadry dydaktycznej o stosownych kwalifikacjach. Działania te zapewniły studentom uzyskanie dodatkowych kompetencji, które znacznie zwiększyły ich atrakcyjność na rynku pracy. Ponad połowa uczestników otrzymała propozycje zatrudnienia w firmach, w których realizowali działania projektowe.

Program rozwoju kompetencji i staże zawodowe dla studentów

„Kadra dla BPO program rozwoju kompetencji i staże zawodowe dla studentów PWSZ im. Witelona w Legnicy” to projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego realizowany w latach 2020-2023 w celu wsparcia rozwoju kadr dla sektora usług dla biznesu (III. Szkolnictwo wyższe dla gospodarki i rozwoju, Działanie 3.1. Kompetencje w szkolnictwie wyższym). W ramach projektu opracowano wysokiej jakości programy stażowe i certyfikowane szkolenia. Dotychczas ponad 70 studentów studiów stacjonarnych I stopnia z kierunków studiów zarządzanie i inżynieria produkcji, logistyka i transport, finanse, rachunkowość i podatki wzięło udział w projekcie. Wśród zrealizowanych zadań można wyróżnić m.in.:

- wizyty studyjne w firmie INTL sp. z o.o. oraz CCC S.A.,
- warsztaty z zakresu komunikacji oraz umiejętność pracy w grupie,
- MS Excel do analiz biznesowych,
- kurs na wózki widłowe specjalizowane ze zmiennym wysięgnikiem (uprawnienia UDT – kat. I WJO),
- certyfikowane szkolenia, takie jak: Kwalifikowany logistyk, Audytor procesów logistycznych, Audytor procesów transportowych, Zarządzanie i optymalizacja czasu pracy kierowców, SAP business one w praktyce, Język angielski zawodowy, Zarządzanie zespołem logistycznym, Negocjacje biznesowe w branży TSL, Magazynier z obsługą programu WMS.

Instytut technologii i innowacji

Instytut Technologii i Innowacji został utworzony w październiku 2021 r. jako jednostka organizacyjna Uczelni. Celem Instytutu Technologii i Innowacji jest transfer wiedzy i technologii do gospodarki, wspieranie realizacji prac badawczych i rozwojowych, komercjalizacja wyników tych prac, a także wspieranie kształcenia praktycznego oraz przedsiębiorczości studentów. Instytut może świadczyć specjalistyczne usługi badawcze, oferować konsultacje i ekspertyzy oraz realizować projekty na rzecz otoczenia społeczno-gospodarczego. Instytut Technologii i Innowacji prowadzi działania, wykorzystując kadre, studentów, absolwentów oraz zasoby wydziałów funkcjonujących w Uczelni, tj. Wydziału Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Wydziału Nauk Społecznych i Humanistycznych oraz Wydziału Nauk o Zdrowiu i Kulturze Fizycznej. Obecnie realizowane są projekty w obszarze inżynierii produkcji i logistyki dotyczące m.in. następujących zagadnień:

- zastosowanie dronów w magazynach wysokiego składowania (w partnerstwie z Instytutem INTL sp. z o.o.),
- wdrażanie i rozwój oprogramowania e-Lean wspierającego rozwiązania Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach produkcyjnych (w partnerstwie z Industrial Support oraz we współpracy z Technicol Insulation sp. z o.o.),
- opracowanie prototypu stanowiska do pomiaru, sortowania oraz usuwania naddatków poprodukcyjnych ozdób choinkowych z wykorzystaniem robota współpracującego (dla firmy Vitbis sp. z o.o.),
- opracowanie technologii wytapiania aluminium z wykorzystaniem promienników podczerwieni (dla firmy Przedsiębiorstwo Przerobu Stopów Metali Nieżelaznych sp. z o.o.),
- opracowanie zmodyfikowanej technologii wykonania sworznia w celu podwyższenia twardości powierzchni, odporności na zużycie ściernie oraz odporności korozyjnej (dla firmy Sacher sp. z o.o.).

Podsumowanie i wnioski

Przytoczone w artykule przykłady działań realizowanych w ramach Wydziału Nauk Technicznych i Ekonomicznych Collegium Witelona Uczelnia Państwowa wskazują na ścisłą współpracę uczelni z otoczeniem gospodarczym w sferze działalności edukacyjnej, dotyczącej opracowywania oraz wdrażania innowacyjnych modeli oraz wysokiej jakości programów kształcenia praktycznego w zakresie inżynierii produkcji zgodnie z aktualnymi potrzebami rynku pracy, niejednokrotnie w zaawansowanych obszarach branż intensywnie się rozwijających.

Dodatkowo Collegium Witelona Uczelnia Państwowa stawia na angażowanie studentów w obszary dotyczące przedsiębiorczości oraz innowacji. Ma to na celu stworzenie w regionie „gruntu” dla rozwoju tych obszarów i uwolnienie dużego potencjału biznesowego wśród młodych ludzi, niejednokrotnie związanego z zaawansowanymi technologiami.

Oprócz działalności edukacyjnej Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, w ramach Instytutu Technologii i Innowacji, angażując potencjał kadry akademickiej oraz studentów, ściśle współpracuje z przedstawicielami otoczenia społeczno-gospodarczego w zakresie realizacji projektów badawczo-rozwojowych, mając na celu także ich komercjalizację.

Na podstawie przedstawionych w artykule danych można zatem stwierdzić, że Collegium Witelona Uczelnia Państwowa spełnia kryteria uniwersytetu III generacji oraz jest na dobrej drodze, aby w niedalekiej przyszłości stać się jeszcze bardziej nowoczesną i innowacyjną uczelnią, którą można określać mianem uczelni IV generacji.

Literatura

- [1] Chmielnicka E., N. Kraśniewska (red.) (2017). *Poziom 5 – brakujące ogniwo*. Fundacja Rektorów Polskich, Instytut Społeczeństwa Wiedzy, Warszawa.
- [2] Michalak D. (2014). *Uniwersytet jako wspólnota komunikacyjna – trudna instytucjonalizacja seminarium*. „Kultura i Społeczeństwo”, PAN, nr 4.
- [3] Sauerland K. (2006). *Idea uniwersytetu: aktualność tradycji Humboldta*. „Nauka i Szkolnictwo Wyższe”, nr 2/28.
- [4] Wissema J.W. (2009). *Uniwersytet Trzeciej Generacji XXI wieku*. WUTT, Wyd. Zante, Wrocław.
- [5] Wrzecionarz P.A. (red.) (2022). *Przedsiębiorczość akademicka*. Wyd. Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica.
- [6] [www. https://pl.wikipedia.org/wiki/Witelon](https://pl.wikipedia.org/wiki/Witelon) [dostęp: 5.01.2023].

Marcin Małek
Marcin Grabowski
Sebastian Skoczypiec

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr3

WYBRANE PRZYKŁADY WSPÓŁPRACY FIRMY POLTRA Z JEDNOSTKAMI NAUKOWYMI ORAZ SYSTEMEM SZKOLNICTWA WYŻSZEGO

Wprowadzenie

W związku z intensywnym rozwojem szeroko rozumianego przemysłu mechanicznego przed przedsiębiorcami stawiane są kolejne wyzwania. Związane są one głównie z dużą konkurencją na rynku, czasem realizacji zleceń oraz jakością wykonywanych usług. Wzrost konkurencji wpływa negatywnie na możliwości rozwoju małych i średnich firm. Wynika to przede wszystkim z tego, że duże koncerny często opierają swoją pozycję na know-how i kapitale zagranicznym, dzięki czemu dysponują niezbędnymi zasobami oraz wiedzą z zakresu realizacji stawianych im celów. Małe i średnie firmy napotykać bariery związane z możliwością wdrażania innowacyjnych rozwiązań na rynku polskim i zagranicznym. Aby móc temu przeciwdziałać, niezbędna jest obustronna współpraca pomiędzy przemysłem a szkolnictwem wyższym w zakresie realizacji zaawansowanych prac badawczych i rozwojowych. Jak łatwo zauważyć, małe i średnie firmy często nie są w stanie inwestować w drogą i bardzo skomplikowaną aparaturę badawczo-pomiarową. Wynika to głównie z braku możliwości pełnego wykorzystania urządzeń, które często stanowią jedynie wsparcie realizacji określonych projektów. Dodatkowo urządzenia te wymagają wyznaczenia personelu odpowiedzialnego za jego obsługę, co z kolei wiąże się z potrzebą zapewnienia wysokich kwalifikacji i wiedzy w zakresie metodyki badań i obsługi aparatury badawczej. Jedną z możliwości redukcji wysokich kosztów z tym związanych i jednoczesnym rozwojem małych i średnich przedsiębiorstw jest wsparcie przedsiębiorstw przez jednostki naukowe w zakresie jednostkowych badań ściśle związanych z podejmowanym problemem badawczym.

Jednym z kluczowych i istotnych wyzwań współczesnego przemysłu jest tworzenie wspólnej płaszczyzny współpracy międzysektorowej. Współpraca ta powinna przyjmować różne formy w zależności od potrzeb firmy i możliwości współpracujących jednostek. Celem rozdziału jest omówienie wybranych aspektów związanych z rozwojem innowacyjnych narzędzi skrawających oraz zwrócenie uwagi na korzyści wynikające ze współpracy pomiędzy średnim krajowym przedsiębiorstwem działającym w branży mechanicznej a jednostkami systemu szkolnictwa wyższego i nauki.

Krótką charakterystyka działalności firmy Poltra sp. z o.o.

Firma Poltra powstała w 1991 r. jako firma handlowa specjalizująca się w obróbce ścierniej. Dostrzegając potencjał wynikający z szeroko pojętej obróbki skrawaniem, stworzono dział szlifierni i obróbki mechanicznej, co stało się kluczem do efektywnego rozwoju firmy. Począwszy od 2011 r., dział szlifierni rozwijał technologię regeneracji narzędzi skrawających, co w konsekwencji doprowadziło do stworzenia produktów własnych. Obecnie firma Poltra jest jednym z nielicznych polskich producentów narzędzi skrawających z węglików spiekanych i zatrudnia już ponad sto osób. Dodatkowo dzięki uruchomieniu działu obróbki mechanicznej stworzono doskonałe warunki do rozwoju narzędzi skrawających, dzięki czemu w znaczący sposób poprawiono efektywność wprowadzania nowych koncepcji narzędzi oraz weryfikacji ich pracy w rzeczywistych warunkach produkcyjnych. Istotne jest również indywidualne podejście oraz optymalizacja procesów obróbkowych poprzez zastosowanie narzędzi specjalnego przeznaczenia [1].

Firma Poltra dostrzegła, że jej rozwój jest ściśle związany z wdrażaniem innowacji w zakresie wytwarzanych produktów oraz realizowanych usług. Od kilku lat współpracuje w tym zakresie z krajowymi jednostkami naukowymi. Wybrane przykłady tej współpracy zostaną przedstawione w dalszej części rozdziału.

Wybrane przykłady współpracy firmy Poltra z jednostkami naukowymi

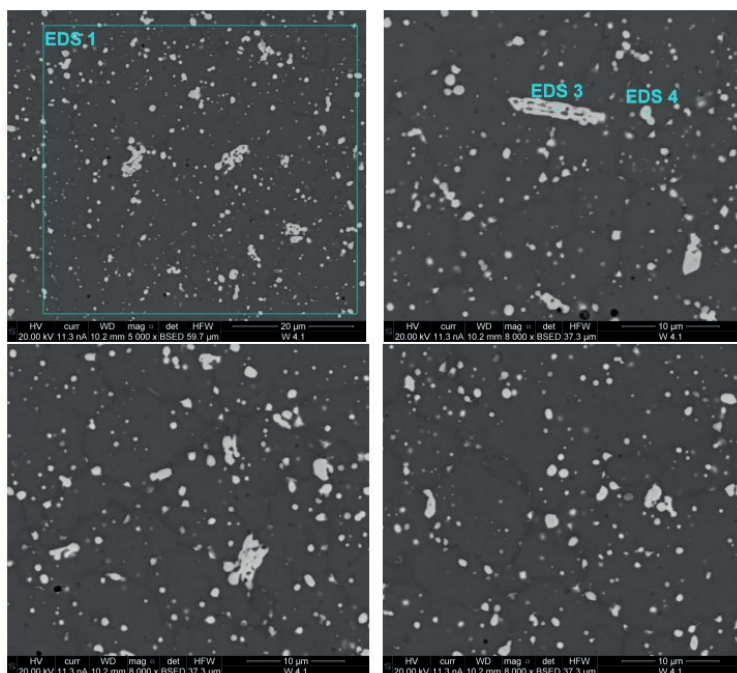
Badania materiałów narzędziowych

Jednym z głównych kierunków rozwoju firmy jest wprowadzanie na rynek nowych, a równocześnie dedykowanych (spersonalizowanych pod względem geometrii i materiału) narzędzi skrawających dla poszczególnych sektorów przemysłu, jak również klientów indywidualnych (rys. 1).



Rys. 1. Przykład narzędzi wykonanych z węglików spiekanych [oprac. własne]

Kluczowym aspektem w procesie wytwarzania narzędzi skrawających jest dobór oraz obróbka materiału narzędziowego, jakim jest węgiel spiekany. Z uwagi na ograniczony dostęp producentów węglików do poszczególnych pierwiastków wchodzących w skład węglików na rynku zaczęły się pojawiać półfabrykaty odbiegające znacząco od deklarowanych w dokumentacji technicznej. W celu zapewnienia odpowiedniej jakości produkowanych narzędzi firma, pozyskując półfabrykat, musi w ramach własnych badań potwierdzić jakość otrzymanych półfabrykatów. Większość małych i średnich przedsiębiorstw nie dysponuje odpowiednią aparaturą pozwalającą zweryfikować otrzymany materiał. I tu pojawia się obszar potencjalnej współpracy pomiędzy jednostkami naukowymi a przedsiębiorstwami. Firma, zlecając badania składu chemicznego zewnętrznym jednostkom naukowym, ma możliwość weryfikacji dostawców materiałów narzędziowych oraz określenia z wyprzedzeniem niebezpieczeństwa związanego z możliwością wystąpienia niezgodnych pod kątem określonych własności fizykochemicznych półfabrykatów. Dodatkowo dzięki wykorzystaniu wiedzy z zakresu składu chemicznego istnieje możliwość przeprowadzania własnych badań porównawczych. Badania takie pozwalają w odniesieniu do uzyskanych wyników podjąć decyzję o możliwości zastosowania określonych gatunków węgla spiekane w konkretnym aspekcie zastosowania. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wyniki składu chemicznego oraz wielkości ziarna realizowane we współpracy z PAN na zlecenie firmy Poltra sp. z o.o. oraz wartości zmierzone (tab. 1).



Rys. 2. Obrazy SE przedstawiające przekrój poprzeczny z oznaczonymi miejscami, w których przeprowadzono analizy składu chemicznego dla próbki [oprac. własne]

Tab.1. Wyniki analiz składu chemicznego charakterystycznych elementów struktury dla próbki Z-960/L4/21/1-4/W1.1-W.4.1 (w tabeli określone jako: W11-EDS2/3/4, W41-EDS3/4) podane w procentach wagowych [oprac. własne]

	EDS – analiza punktowa – uśredniona zawartość pierwiastków chemicznych	EDS – analiza z obszaru – uśredniona zawartość pierwiastków chemicznych
	W11-EDS2/3/4, W41-EDS3/4	W11-EDS3, W41-EDS1, W41-EDS2
CK	2,7 ± 0,3	1,6 ± 0,2
MoL	23,1 ± 0,9	4,9 ± 0,5
VK	4,0 ± 0,4	1,9 ± 0,2
CrK	3,3 ± 0,3	3,9 ± 0,4
FeK	36,9 ± 0,7	80,6 ± 1,6
CoK	0,4 ± 0,2	1,5 ± 0,2
WL	29,6 ± 0,6	5,5 ± 0,2

Powyższy przykład ma charakter jednostkowy, ale w pełni obrazuje potrzebę realizacji tego typu badań we współpracy z uczelniami oraz centrami badawczymi. Zdobyte w ten sposób dane pozwoliły m.in. określić najlepszego pod kątem jakościowym dostawcę materiału narzędziowego w postaci półfabrykatów z węglików spiekanych. Wpłynęło to w dużym stopniu na wzrost trwałości narzędzi oraz ich powtarzalność

zarówno pod kątem geometrycznym, jak i jakościowym. Obecnie firma Poltra wprowadziła jako standard weryfikację oraz analizę materiału narzędziowego celem zapewnienia najwyższej jakości produkowanych narzędzi.

Badania prototypowych narzędzi skrawających

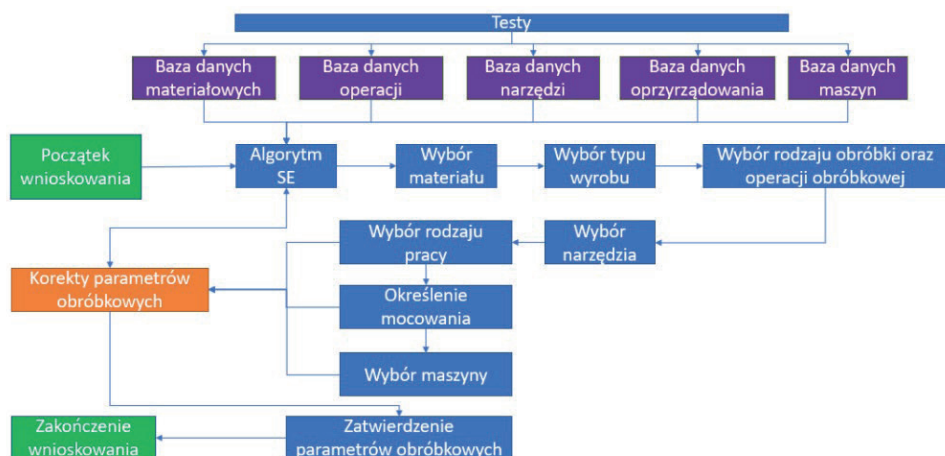
Innym ciekawym przykładem współpracy pomiędzy firmą Poltra a uczelnią wyższą była realizacja badań narzędzi wykonanych ze stali szybko tnącej poddanej dodatkowo obróbce kriogenicznej. Celem badań było przeprowadzenie prac mających na celu określenie trwałości wiertel krętych poddanych kontrolowanemu wymrażaniu podczas obróbki stali nierdzewnej. W tym celu we współpracy z Politechniką Krakowską odpowiedzialną za dobór metodyki i przeprowadzenie badań doświadczalnych oraz z Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN odpowiedzialnym za przygotowanie próbek (wymrożenie narzędzi) udało się zrealizować badania wiercenia otworów przelotowych w stali nierdzewnej. Poniżej przedstawiono wybraną analizę pomiaru składowych sił skrawania uzyskanego podczas procesu wiercenia, zarejestrowanych przy pomocy czujnika pomiaru sił firmy Kistler. Podstawową przesłanką do wykonania niniejszych badań było określenie możliwości zwiększenia trwałości narzędzi wykonywanych ze stali HSS na podstawie doniesień literaturowych. Ze względu na brak możliwości przeprowadzenia procesu schładzania w kontrolowany sposób oraz brak odpowiedniego sprzętu pomiarowego oraz metodyki badań firma Poltra zwróciła się z prośbą o współpracę w tym zakresie.

W tym przypadku na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie wiertel HSS (*high speed steel*) poddanych obróbce kriogenicznej zmniejsza ich trwałość w przypadku obróbki stali nierdzewnych.

Jak wynika z powyższych przypadków, współpraca pomiędzy przemysłem a uczelniami wyższymi pozwala na realizację projektów często niemożliwych do realizacji przez same przedsiębiorstwa produkcyjne. Dodatkowo wiedza zdobyta w ramach realizacji takich badań staje się często fundamentem współpracy oraz pozwala wdrożyć dobre praktyki realizacji podobnych projektów.

Realizacja wspólnych projektów badawczych

Niewątpliwie jednym z istotniejszych modeli współpracy jest tworzenie dużych projektów realizowanych w ramach krajowych programów rozwoju innowacyjności czy projektów unijnych, które poza istotnym dofinansowaniem pozwalają na realizację zagadnień często niemożliwych do zrealizowania z punktu widzenia nakładów finansowych czy wymaganej wiedzy specjalistycznej. Doskonałym przykładem realizacji takiego projektu było podjęcie działań w ramach projektu INNOLOT (Wdrożenie



Rys. 3. Schemat funkcjonowania systemu eksperckiego [oprac. własne]

systemu eksperckiego dla obróbki skrawaniem detali lotniczych złożonego w ramach działania Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Działanie 1.2-konkurs_1/1.2/2015_INNOLOT) realizowanego w konsorcjum, ze wsparciem naukowym Politechniki Krakowskiej oraz Politechniki Rzeszowskiej. Celem projektu było opracowanie systemu eksperckiego pozwalającego na zredukowanie czasu niezbędnego do stworzenia technologii oraz produkcji detali lotniczych. W omawianym przypadku wsparcie uczelni pozwoliło przygotować algorytm wniosowania dla systemu eksperckiego, a realizacja indywidualnych zadań w ramach projektu pozwoliła na analizę zagadnień wcześniej niepodjęmowanych przez firmę. Poniżej przedstawiono schemat funkcjonowania systemu eksperckiego w uproszczonej wersji.

Dzięki przeprowadzeniu licznych testów obróbkowych w rzeczywistych warunkach produkcyjnych udało się zaimplementować niezbędne dane do systemu eksperckiego. Wymagało to stworzenia odpowiedniej metodyki badań narzędzi skrawających oraz weryfikacji czynników wpływających na sam proces obróbki ubytkowej, takich jak wpływ sztywności obrabiarki na dokładność wymiarowo-kształtową czy wpływ zastosowanych parametrów na chropowatość powierzchni po obróbce. Realizacja tego projektu byłaby niemożliwa bez bardzo istotnego wsparcia uczelni realizujących konkretne zadania. Dodatkowo w ramach tej współpracy firma uzyskała niezbędną wiedzę w zakresie realizacji tego typu projektów, a także istotną z punktu widzenia realizacji własnych prac badawczo-rozwojowych wiedzę na temat metodyki realizacji testów narzędzi skrawających oraz sposobu ich weryfikacji i analizy. To z kolei pozwala wdrożyć poznane w ramach realizacji projektu dobre praktyki badawcze i przełożyć je bezpośrednio na sposób realizacji indywidualnych projektów w przyszłości.

Realizacja projektów w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”

Analizując powyższe przykłady, nasuwa się następujące pytanie: w jaki sposób, z punktu widzenia przemysłu, pozyskać wiedzę niezbędną do realizacji skomplikowanych zagadnień zarówno teraz, jak i w przyszłości? Odpowiedzią na to pytanie może być realizacja doktoratów wdrożeniowych, które cieszą się coraz większą popularnością. Z punktu widzenia firmy zatrudniającej przyszłego naukowca oraz problematyki zagadnień możliwych do zrealizowania pojawia się doskonała możliwość przeprowadzenia prac badawczo-rozwojowych, których efektem bezpośrednim może być rozwiązanie skomplikowanego projektu, wdrożenie wyników prac badawczych na rynek czy opracowanie pewnej metodyki funkcjonowania. Poza efektami bezpośrednimi należy również zwrócić uwagę na pośredni efekt w postaci znaczącego rozwoju kadry. Dzięki realizacji doktoratów wdrożeniowych możliwe jest bowiem zdobycie niezbędnej wiedzy potrzebnej do realizacji skomplikowanych zagadnień, a w przyszłości podjęcie równie trudnych prac przy użyciu poznanych mechanizmów rozwiązywania problemów. Sam doktorat wdrożeniowy pozwala dodatkowo podnieść prestiż samej firmy zatrudniającej naukowca, wskazując przy tym jednocześnie chęć rozwoju i stawiając taką firmę w roli lidera innowacyjnych rozwiązań. Z punktu widzenia uczelni realizacja doktoratów wdrożeniowych pozwala zbliżyć się do przemysłu, realizując jego bezpośrednie potrzeby, na które jest olbrzymi popyt i które są niezbędne do wdrożenia. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest nawiązanie lepszej współpracy, która często pozwala na wdrożenie innowacyjnych rozwiązań i umożliwia w bardziej efektywny sposób wdrażanie wyników prac badawczo-rozwojowych.

Bariery współpracy

Niestety, w dobie szybkiego rozwoju przemysłowego oraz znaczącej konkurencji na rynku pojawia się wiele barier utrudniających stworzenie efektywnej synergii uczelni wyższych z przemysłem. Do jednej z podstawowych barier zaliczyć można czas. Ze względu na złożoność niektórych zagadnień wymagających rozwiązania przemysł stawia często warunki terminowe związane z realizacją prac. Wiadome jest, że przygotowanie odpowiedniej metodyki przeprowadzania doświadczeń, analiza zagadnień czy sam proces weryfikacji uzyskanych w różny sposób wyników zajmuje dużą ilość czasu. W odniesieniu do umacniającej się na rynku konkurencji stanowi to duże wyzwanie, szczególnie w przypadku chęci wdrażania lepszych rozwiązań na długo przed konkurencją. Innym przykładem może być nieopłacalność wdrożenia pomysłu ze względu na potrzebę zakupienia lub wybudowania dodatkowej skomplikowanej infrastruktury.

Pomimo innowacyjnego charakteru rozwiązania często się zdarza, że realizowane przez uczelnię badania nie mogą być wdrożone bezpośrednio na rynek. W takich przypadkach poszukuje się alternatywnych rozwiązań, które dodatkowo obciążone są ryzykiem opłacalności i wymagają dużo czasu. Opcjonalnym rozwiązaniem są tu właśnie prace w ramach doktoratu wdrożeniowego, gdzie odpowiednio sformułowane zagadnienie czy problem zostają opracowane w konkretnym czasie. Rozwój programu doktoratów wdrożeniowych może w istotny sposób poprawić współpracę pomiędzy uczelniami wyższymi a przemysłem. Nie ulega również wątpliwości, że sam plan nauczania oraz forma zajęć w uczelniach wyższych powinny brać pod uwagę zagadnienia często spotykane w przemyśle. Widoczny jest trend związany z rozwojem niektórych gałęzi przemysłu, a co za tym idzie dążenie uczelni do takiego formułowania planu edukacji, który będzie spełniał stawiane przez rynek pracy warunki. Niestety, obserwuje się również zmniejszenie zainteresowania kierunkami typowo technicznymi, które w bezpośredni sposób mogą wspomóc rozwój przemysłu. Często okazuje się, że niektóre kierunki czy specjalności stają się na tyle niszowe, że ich funkcjonowanie staje się zbędne. Oczywiście uczelnie nie mają bezpośredniego wpływu na popularność konkretnych kierunków czy specjalności, ale wsparcie z przemysłu może w znaczący sposób poprawić funkcjonowanie wymierających specjalności, pozwalając jednocześnie na znalezienie pracy specjalistom danej branży.

Podsumowanie

Współpraca pomiędzy szkolnictwem wyższym a przemysłem jest bardzo istotnym i skomplikowanym zagadnieniem. Wymaga niewątpliwie pewnych ustępstw i stworzenia wspólnego kierunku dążenia, ale pozwala jednocześnie uzyskać doskonałe warunki do rozwoju zarówno przemysłu, jak i poziomu edukacji. Pomimo napotykaných barier widoczne jest wzmocnianie funkcji uczelni wyższej w przemyśle. Intensyfikacja działań mających na celu wzmocnienie współpracy, jak również sama jej promocja może się stać motorem potrzebnych zmian. Na tę chwilę niezbędna jest szeroko pojęta promocja wszelkich działań wskazujących pozytywne aspekty synergii oraz dialog. Dialog ten niewątpliwie wskaże optymalny kierunek, a wzmocniona współpraca stanie się katalizatorem innowacyjności Polski. Przedstawione powyżej przykłady pokazują, jak wielki jest potencjał współpracy pomiędzy przemysłem a ośrodkami akademickimi. Nie można równocześnie zapominać o barierach, jakie występują na płaszczyźnie wspólnych badań. Bariery te występują zarówno po stronie uczelni, do których możemy zaliczyć np. skomplikowany system rozliczeń, narzuty, koszty pośrednie, jak również po stronie przedsiębiorstwa, a w szczególności konieczność oddelegowania pracownika, prawa

własności intelektualnej czy bariery finansowe. Dlatego realizacja takich projektów badawczych, jak „Doktorat wdrożeniowy”, pozwala w sposób już uporządkowany (umowa trójstronna) przeprowadzać innowacyjne i oryginalne prace badawcze oraz rozwijać współpracę i dobre relacje pomiędzy środowiskiem społeczno-gospodarczym a jednostkami naukowymi.

Literatura

- [1] Knosala R. (2022). *Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 4*: PWE ISBN 978-83-208-2495-7, Warszawa, s. 229-238.

Dariusz Plinta

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr4

TWORZENIE I FUNKCJONOWANIE SIECI INSTYTUCJI ZORIENTOWANYCH NA WDRAŻANIE NOWYCH TECHNOLOGII

Wprowadzenie

Głównym czynnikiem decydującym o sukcesie firm jest wiedza. O konkurencyjności krajów, firm i regionów decydują ludzie posiadający wiedzę, kreatywność i inwencję. Często jednak brakuje firmom zewnętrznego wsparcia ze strony instytucji zorientowanych na problemy wspólnych badań i rozwoju, technologicznego postępu i innowacji.

Taka instytucja lub sieć instytucji muszą być zdolne do integrowania ośrodków i do dalszego rozwoju bazy wiedzy firm wdrażających nowoczesne technologie. Przykładem takiej współpracy są sieci tworzone przez uczelnie, instytuty i różne ośrodki badawczo-rozwojowe, które współpracują ze sobą od dłuższego czasu, systematycznie rozwijając struktury, które umożliwiają wzajemną wymianę informacji, poszerzanie wiedzy, rozwój kapitału ludzkiego, jak również tworzenie wspólnych laboratoriów. Dzieje się to zwłaszcza podczas wdrażania nowoczesnych technik wspomaganych technologiami informatycznymi, takimi jak technologia cyfrowej fabryki, symulacja, wirtualna i rozszerzona rzeczywistość itp. [4].

Sieci współpracy

Główną przyczyną tworzenia sieci współpracy jest brak takich organizacji, które działałyby w naszym obszarze zainteresowań. Istnieją często nieformalne kontakty umożliwiające wzajemną wymianę informacji i poszerzanie wiedzy, które są podstawą tworzenia sieci.

Zdobywanie wiedzy na uczelni jest możliwe również dzięki programom wymiany akademickiej, w ramach której pracownicy i studenci mają możliwość wyjazdów do

innych uczelni na staże, praktyki oraz szkolenia. Nauczyciele akademicy mogą prowadzić zajęcia w zagranicznych uczelniach, poznając funkcjonowanie innych uczelni oraz zasady współpracy uczelni z przemysłem. Pracownicy uczelni mają również możliwość uczestniczyć w projektach międzynarodowych, w które angażują się uczelnie.

Tendencje rozwoju technologii informatycznych

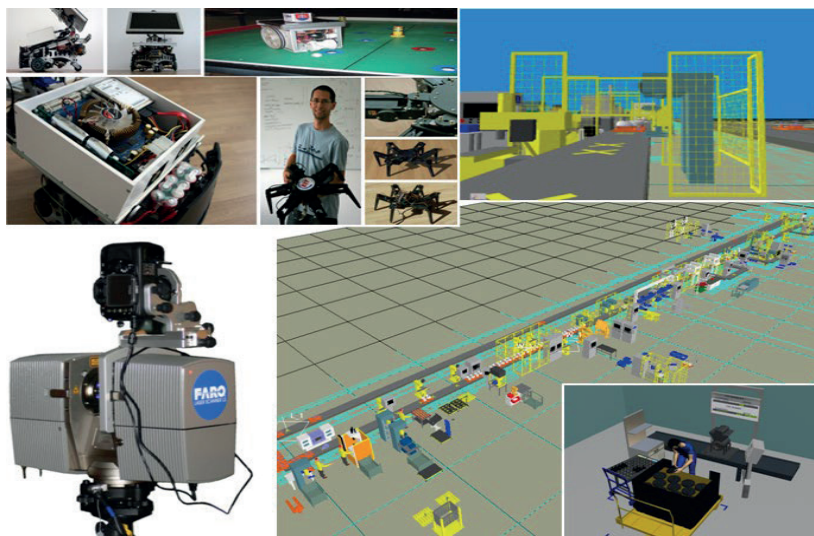
Rozwój technologii informatycznych sprawił, że coraz większa liczba projektów informatycznych realizowanych w firmach produkcyjnych wykorzystuje możliwości środowiska trójwymiarowego, które ma coraz większe znaczenie w projektowaniu i symulacji działania nowych produktów oraz przebiegu procesu produkcyjnego. Stosowanie takich narzędzi daje szereg korzyści, wśród których na pierwszy plan wysuwają się: niższe koszty wdrożenia, większa dokładność i precyzja wykonania, możliwość wykonania analiz założonych wcześniej wariantów i wybranie najlepszego z nich [2, 4].

Opracowanie dokładnego trójwymiarowego modelu obiektu przemysłowego na drodze zastosowania standardowych metod pomiarowych jest skomplikowane i czasochłonne. Ponadto istnieje uzasadniona obawa, że pomimo właściwego pomiaru parametrów obrazujących geometryczny kształt elementów składowych danego obiektu zostanie zaburzona ich wzajemna orientacja. Jest to szczególnie istotne w przypadku hal produkcyjnych, gdzie dokonanie złożonych analiz funkcjonowania systemów produkcyjnych i logistycznych wymaga poznania wymiarów pomieszczeń, rozmieszczenia maszyn, planowanych zmian położenia maszyn, ich ruchów roboczych, a także położenia przedmiotów pracy. W takim podejściu możliwa jest wizualizacja procesów związana z projektowaniem wydziałów, linii produkcyjnych oraz stanowisk pracy, symulacja realizowanych procesów oraz analiza wykonywanych prac pod kątem ergonomii [10].

Reorganizacja systemów produkcyjnych może być wspomagana również technologią inżynierii odwrotnej, do której zaliczamy skanowanie laserowe [8]. W efekcie możliwe jest opracowanie szczegółowego i dokładnego modelu 3D pomieszczeń wraz z ich wyposażeniem.

Technologia cyfrowej fabryki

Technologia cyfrowej fabryki daje możliwość integracji wszystkich procesów: od pomysłu, przez opracowanie konstrukcji, przygotowanie produkcji po montaż finalnego wyrobu [1, 6]. Cyfrowa fabryka jest terminem używanym do opisania wirtualnego obrazu rzeczywistej produkcji. Termin ten oznacza środowisko zintegrowanych technologii informatycznych, w którym rzeczywistość jest zastąpiona przez wirtualne modele komputerowe (rys. 1). Takie wirtualne rozwiązania umożliwiają, jeszcze przed praktyczną realizacją, sprawdzenie wszystkich krytycznych sytuacji i zaproponowanie optymalnych rozwiązań. Cyfrowa fabryka jest wykorzystywana do planowania,



Rys. 1. Technologie cyfrowej fabryki [9]

analizy, symulacji i optymalizacji wytwarzania kompleksowych wyrobów, stwarza warunki i wymaga pracy zespołowej w przygotowaniu produkcji, przy jednoczesnym tworzeniu sprzężenia zwrotnego między konstruktorami, technologami oraz innymi osobami, które zajmują się projektowaniem, normowaniem i planowaniem. Zwłaszcza w przedprodukcyjnych etapach ukryty jest największy potencjał do osiągnięcia wysokiej jakości i niskich kosztów produkcji [2].

Zastosowanie technologii cyfrowej fabryki ma szersze badawcze, gospodarcze i społeczne znaczenie. Technologie cyfrowe zastosowane w opisanym poniżej projekcie mogą być również wykorzystywane w inżynierii biomedycznej, w zachowaniu i prezentacji obiektów dziedzictwa kulturowego (digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego, możliwości wirtualnych wycieczek), budownictwie itd.

Projekt transgranicznej sieci współpracy

Projekt został zrealizowany z zaangażowaniem pracowników Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Uniwersytetu w Żylinie, Słowackiego Centrum Produktowności, Środkowo-Europejskiego Instytutu Technologicznego w Żylinie oraz Fundacji Centrum Nowych Technologii w Bielsku-Białej.

Głównym celem projektu było stworzenie działającej „polsko-słowackiej sieci innowacji i nowych technologii”, która będzie integrować wspólne działania związane z wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań z obszaru inżynierii produkcji. Oprócz głównego celu zdefiniowano następujące cele cząstkowe:

- stworzenie podstaw instytucjonalnej transgranicznej współpracy w zakresie wspomagania innowacji i transferu technologii,
- zwiększenie konkurencyjności firm regionu na bazie najlepszych praktyk produkcyjnych i wiedzy technologicznej,
- zwiększenie świadomości o wspólnych naukowo-badawczych i innowacyjnych działaniach realizowanych po obu stronach granicy.

Działania zrealizowane w ramach projektu obejmowały:

- zmapowanie obecnych powiązań między partnerami projektu i poszukiwanie potencjalnych możliwości rozwoju sieci transgranicznej,
- transfer i wymiana informacji między instytucjami partnerskimi,
- stworzenie materiałów informacyjnych projektu,
- realizacja pilotażowych projektów w ramach wzajemnej współpracy transgranicznej w zakresie technologii tworzenia cyfrowej fabryki,
- przedstawienie działań sieci na szerszym forum w Słowacji i Polsce,
- utworzenie miejsc pierwszego kontaktu dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Poszczególne partnerskie organizacje wcześniej zrealizowały już wiele wspólnych prac, które dotyczyły współpracy naukowej, realizacji wspólnych projektów, wspólnych publikacji, które stanowiły podstawę i duże ułatwienie realizacji opisywanego projektu. Pierwszym ważniejszym działaniem było opracowanie sprawozdania na temat innowacyjnych działań podejmowanych przez poszczególnych partnerów. Kolejnymi działaniami były spotkania partnerów, akcje promocyjne oraz upowszechniające zaplanowane działania projektowe, w tym opracowanie broszurki informacyjnej, stworzenie i regularna aktualizacja strony internetowej, publikacja artykułów w różnych czasopiśmiech, przedstawianie projektu na różnych imprezach, konferencjach oraz warsztatach.

Warsztaty miały na celu przedstawienie zastosowań najnowszych technologii w praktyce produkcyjnej i badaniach z zakresu planowania, harmonogramowania produkcji, analizy czasów pracy, technicznego przygotowania produkcji, wirtualnego projektowania, modelowania, testowania wyrobów, inżynierii odwrotnej, szybkiego prototypowania, projektowania stanowisk z uwzględnieniem ergonomii, automatyzacji i robotyzacji, modelowania i symulacji procesów obróbczych i montażowych oraz inteligentnych systemów produkcyjnych.

W kolejnym etapie zrealizowano sześć pilotowych projektów, z których dwa zostały zrealizowane w Polsce. Międzynarodowy zespół zrealizował następujące projekty:

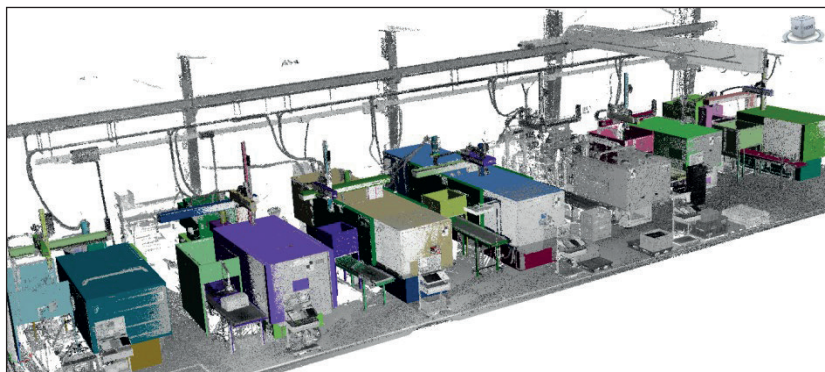
- Opracowanie modelu cyfrowej fabryki dla trzech małych i średnich przedsiębiorstw regionu przygranicznego
 - Cyfrowa optymalizacja produkcji w przedsiębiorstwie Kimatt, s.r.o.
 - Cyfrowa optymalizacja produkcji w przedsiębiorstwie TomSpeed
 - Cyfrowa optymalizacja produkcji w przedsiębiorstwie Lysfusion sp. z o.o.

- Digitalizacja trzech wybranych obiektów dziedzictwa kulturowego regionu przygranicznego
 - Digitalizacja kościoła Świętego Juraja w Tarnowie
 - Digitalizacja Skłabińskiego zamku
 - Digitalizacja kościoła Świętego Wawrzyńca w Bielowicku.

Projekt digitalizacji obiektu przemysłowego

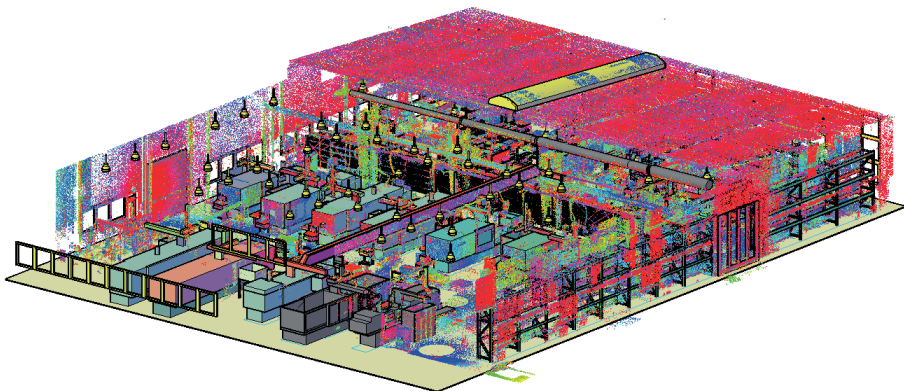
Jeden z projektów digitalizacji obiektu przemysłowego zrealizowano w firmie z branży motoryzacyjnej specjalizującej się w produkcji elementów z tworzyw sztucznych. W ramach projektu zrealizowano skanowanie hal produkcyjnych, które ułatwiło opracowanie szczegółowego modelu hal produkcyjnych, stanowisk montażowych oraz wtryskarek, które posłużyły firmie do badań symulacyjnych związanych z reorganizacją hali ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonowania linii montażowych. Dodatkowo uwagę zwrócono na ergonomię pracy oraz wizualizację ręcznego montażu.

Realizowany projekt miał na celu również połączenie opracowanych modeli z wdrożonym systemem klasy ERP. Takie połączenie daje nową jakość w realizacji procesów wytwarzania [3, 5]. Opracowany przykład dotyczył pokazania możliwości wdrożenia modułu rejestracji danych z produkcji, możliwości wizualizacji instrukcji montażowych oraz realizacji procesu kontroli z wykorzystaniem skanerów 3D.



Rys. 2. Chmura punktów zeskanowanej linii wtryskarek [7]

Zeskanowane i zamodelowane hale produkcyjne mają łącznie ponad 2500 m². Do inwentaryzacji obiektów znajdujących się wewnątrz nich trzeba było ustawić skaner w 44 pozycjach. Otrzymane w ten sposób dane były zapisane w postaci 44 niezależnych chmur punktów. Chmura punktów to zbiór pikseli znajdujących się w przestrzeni



Rys. 3. Przejście z chmury punktów w model 3D hali produkcyjnej [7]

trójwymiarowej odwzorowujących kształt skanowanego obiektu (rys. 2). Dodatkowo każdy piksel ma przypisany odcień szarości odpowiadający zdolności absorpcji promieniowania laserowego przez powierzchnię, na którą pada. Istnieje także możliwość pokolorowania pikseli zgodnie z rzeczywistymi barwami zeskanowanych obiektów na podstawie wykonanych wcześniej fotografii. W tym wypadku jednak nie było to konieczne. Kolorowa chmura punktów bardzo dobrze sprawdza się w sytuacji, gdy przeprowadza się prezentację przestrzennej lokalizacji obiektów w czasie, gdy nie wszystkie zostały zamodelowane. Brakujące modele są zastępowane fragmentami kolorowej chmury punktów, która przy odpowiednim przetworzeniu do złudzenia przypomina model 3D. Co więcej, tak wpasowaną chmurę punktów do stworzonego modelu hali produkcyjnej można wykorzystać do analizy kolizji zamodelowanych obiektów z tymi, które są obecne na hali, a nie zostały zamodelowane i występują wyłącznie w postaci chmury punktów. Opisane wykorzystanie chmury punktów do analiz kolizji można przeprowadzić także na monochromatycznych pikselach. Kolor jest jedynie dodatkowym atrybutem, który poprawia oprawę wizualną prezentacji.

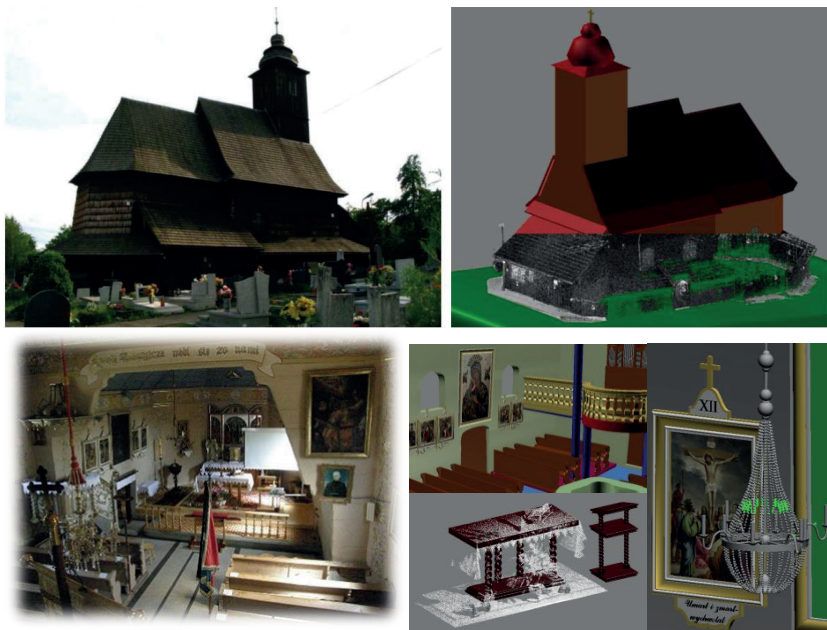
Podczas tworzenia trójwymiarowego modelu 3D (rys. 3) eksperymentowano z programami firmy Autodesk. Wybór ograniczały kwestie finansowe oraz kompatybilność. Założono, że produkty jednego producenta powinny bez problemu umożliwiać konwersję plików różnych formatów. W kontekście cyfrowej fabryki wykorzystanie różnych narzędzi umożliwiło szybką obróbkę chmury punktów, opracowanie rysunku rozmieszczenia stanowisk w hali produkcyjnej, połączenie modeli maszyn i urządzeń znajdujących się na hali, przygotowanie animacji procesu obróbczego i montażowego, przeprowadzenie analizy czasów i kosztów produkcji wynikających z reorganizacji rozmieszczenia stanowisk oraz wykrycie ewentualnych kolizji nowych maszyn z istniejącym wyposażeniem hali [7].

Projekt digitalizacji obiektu zabytkowego

Jednym z obiektów związanych z digitalizacją obiektów dziedzictwa kulturowego był kościół Świętego Wawrzyńca w Bielowicku.

Obecny drewniany kościół, o konstrukcji zrębowej, z wieżą zbudowaną w kształcie słupa, osadzony na podmurówkach kamiennych i otoczony zamkniętymi sobotami, został wzniesiony i poświęcony w 1701 r. Kościół ma prostokątną nawę i węższe od nawy, zamknięte trójbocznie prezbiterium, do którego od północy przylega prostokątna zakrystia. Przy południowej części nawy znajduje się kwadratowa kruchta, a w niej wejście z drewnianym, fazowanym portalem i z drzwiami z okuciami z XVIII w. Wieża słupowa, kwadratowa z niewielką kopułką jest obita gontem i wyciętymi koronkowo okapnikami.

W ramach projektu opracowano trójwymiarowy model kościoła. Obiekt został zeskanowany zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz. Uzyskana ze skanowania chmura punktów została obrobiona, czyli został stworzony szkielet konstrukcji kościoła, który następnie został pokryty teksturami (rys. 4). Stworzony w ten sposób model może być wykorzystany w multimedialnych prezentacjach kościoła, np. na stronach internetowych zainteresowanych organizacji.



Rys. 4. Digitalizacja obiektu dziedzictwa kulturowego [oprac. własne]

Podsumowanie

Utworzenie sieci innowacji i nowych technologii było głównym celem projektu. Realizacja projektu pobudziła współpracę partnerów projektu. W końcowym etapie projektu utworzono punkty kontaktowe dla małych i średnich firm regionu, które byłyby zainteresowane doskonaleniem procesów produkcyjnych. Każdy z partnerów stał się punktem kontaktowym i jednocześnie mógłby koordynować kolejne wspólne projekty.

W ramach projektu zrealizowano serię roboczych warsztatów i spotkań, gdzie przedstawicielom firm przedstawiono projekt, zaprezentowano technologię cyfrowej fabryki oraz usługi związane z wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań, które oferują poszczególni partnerzy projektu.

W zamysle zespołu projektowego jest podejmowanie kolejnych działań w regionach przygranicznych, przyczyniających się do rozwoju przedsiębiorstw produkcyjnych, a szczególnie wspieranie innowacyjności i postępu technologicznego.

Powstała wspólna inicjatywa partnerskich organizacji – działająca polsko-słowacka sieć innowacji i nowych technologii, która integruje wspólne osiągnięcia i wiedzę oraz orientuje się na współczesnych innowacjach technologicznych.

Literatura

- [1] Banaszak Z., Kłos S., Mleczek J. (2016). *Zintegrowane systemy zarządzania*. PWE, Warszawa.
- [2] Christman A. (2003). *The Benefits of Digital Manufacturing*. CIM Data.
- [3] Grznár P., Gregor M., Krajčovič M., Mozol Š., Schickerle M., Vavřík V., Ďurica L., Marschall M., Bielik T. (2020). *Modeling and Simulation of Processes in a Factory of the Future*. „Applied Sciences”, nr 10(13).
- [4] Haas W. (2004). AK-Digitale Fabrik. Bericht Roadmap. Audi.
- [5] Krenczyk D., Jagodzinski M. (2015). *ERP, APS And Simulation Systems Integration to Support Production Planning and Scheduling*. Advances in Intelligent Systems and Computing, s. 451-461.
- [6] Krenczyk D., Pawlewski P., Plinta D. (2022). *Symulacja procesów produkcyjnych*. PWWE, Warszawa.
- [7] Kurczyk D., Szal M. (2011). *Digitizing of the manufacturing system*, [w:] *InvEnt 2011 – Industrial engineering of the future*. EDIS, Żylna, s. 44-47.
- [8] Luca L., Veron P., Florenzano M. (2006). *Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach*. Computer & Graphics, Elsevier.
- [9] Matuszek J., Plinta D. (2011). *Transgraniczna polsko-słowacka sieć innowacji i nowych technologii CITNET*. „Produktywność i Innowacje/Productivity & Innovation”, nr 1 (7), s. 1-5.
- [10] Plinta D., Krajčovič M. (2015). *Production Systems Designing with the Use of Digital Factory and Augmented Reality Technologies*, [w:] R. Szewczyk, C. Zieliński, M. Kaliczyńska, *Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques, Control and Automation*. Springer, s. 187-196.

Justyna Korycka-Korwek
Małgorzata Śliwa
Jarosław Kliks
Justyna Górna

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr5

ZASTOSOWANIE KONCEPCJI LEAN MANUFACTURING NA PRZYKŁADZIE LABORATORIUM OŚRODKA BADAWCZO-ROZWOJOWEGO – STUDIUM PRZYPADKU

Wprowadzenie

Koncepcja Lean Manufacturing (LM) jest szeroko wykorzystywana w branży przemysłowej. Podejście jest postrzegane jako sposób na obniżenie kosztów, zwiększenie produktywności i zapewnienie najwyższej jakości wytwarzanych wyrobów i realizowanych usług. Firmy odnoszące sukcesy to te, które są w stanie zapewnić swoim klientom produkty i usługi wysokiej jakości w najbardziej efektywny sposób. Oznacza to, że firmy muszą zapewnić szybką dostawę bez utraty jakości. Jednak implikacje tej filozofii dopiero zaczynają się zarysowywać w działach na rzecz badań i rozwoju [1]. Według niektórych badaczy jest to spowodowane obawą przed stłumieniem innowacji [1, 5]. Jako główną przyczynę wymienia się ograniczenie zmienności, które jest kluczowe w Lean Manufacturing, ale całkowicie przeciwstawne ideom badawczo-rozwojowym. Kolejna różnica między rozwojem produktu a produkcją to silnie zakorzenione w tej drugiej sekwencyjność i powtarzalność, które już z samej definicji są zaprzeczeniem rozwojowości. Dodatkowo proces produkcyjny ma swój ściśle określony początek i koniec poparty wymaganiami klienta. Natomiast proces rozwojowy przeciwnie – to menedżerowie decydują i stale oceniają zysk w stosunku do ponoszonych kosztów [10]. Nieustanne doskonalenie organizacji Six Sigma koncentruje się na pomiarach zdolności procesu i motywowaniu do poprawy wydajności w celu wyeliminowania wad. Stąd organizacja B+R Six Sigma reprezentuje sposób myślenia, który jest konsekwencją przyjęcia 6σ jako standardu wydajności biznesowej, również w przypadku komórek, których celem jest realizacja procesów innowacyjnych, czy w przypadku działań polegających na definicji i rozwiązywaniu problemów innych firm [3].

Lean Manufacturing

Koncepcja Lean Manufacturing narodziła się w Japonii na przełomie lat 40. i 50. ubiegłego wieku, a jej fundamentalne podstawy odnaleźć można w Systemie Produkcyjnym Toyoty (TPS) [6].

W literaturze nie istnieje sztywna definicja koncepcji Lean Manufacturing (LM). Dodatkowo dość często, opisując tę filozofię, zamiennie określa się ją mianem Lean Management lub Lean Production. Większość firm zainteresowanych filozofią japońskiego koncernu motoryzacyjnego zaczynała swoją przygodę ze szczupłą produkcją od niewielkich projektów nakierowanych na podstawowe techniki i narzędzia LM, takie jak 5S czy SMED [9].

Wybrane narzędzia LM

Koncepcja szczupłej produkcji to projekt i wdrożenie usprawnień wewnątrz przedsiębiorstwa. Niemniej charakteryzuje swoich klientów zarówno jako punkt początku, jak i końca, co w konsekwencji oznacza optymalizację procesów produkcyjnych od strony potrzeb klienta. Marnotrawstwem według koncepcji Lean Manufacturing jest każda działalność ludzka, która angażuje zasoby, nie wnosząc żadnej wartości [11]. Mnogość narzędzi LM pozwala na wybranie tego najbardziej dopasowanego do potrzeb danej firmy.

Jedną z podstawowych technik jest metoda 5S. W dużym uproszczeniu polega na najbardziej efektywnej organizacji miejsca pracy, z wykorzystaniem pięciu wykonywanych po sobie kroków. Poszczególne „S” są w literaturze tłumaczone na różne sposoby. W języku polskim najczęściej określa się je jako: Selekcja, Systematyka, Sprzątanie, Standaryzacja i Samodyscyplina [8].

Selekcja polega na usunięciu z obszaru pracy niepotrzebnych rzeczy. Wykorzystać tu można tzw. kampanię czerwonych kartek. Rzeczy niepotrzebne należy niezwłocznie wyrzucić lub wynieść, a te, wobec których są wątpliwości, powinny zostać oklejone i odłożone do późniejszej decyzji [8].

Systematyka oznacza określenie optymalnych miejsc dla wszystkich rzeczy zakwalifikowanych w poprzednim etapie do potrzebnych. Miejsca te należy przypisać w sposób najbardziej ergonomiczny, z uwzględnieniem częstotliwości ich stosowania.

Sprzątanie to etap nakierowany na utrzymanie czystości w całym obszarze pracy, z uwzględnieniem maszyn, urządzeń, powierzchni i blatów roboczych, a także podłóg.

Standaryzacja zakłada ustalenie modelowych standardów i procedur w celu utrzymania pierwszych trzech „S”.

Samodyscyplina to ostatni etap, a zarazem największe wyzwanie stawiane przed firmą podczas wdrażania 5S. Polega na stworzeniu nawyku dbania o swoje miejsce pracy

oraz jego ciągłego doskonalenia i optymalizowania. Ważnym czynnikiem przy efektywnej implementacji tego etapu jest ciągłe propagowanie u pracowników idei systemu 5S [8, 15].

Diagram spaghetti jest narzędziem, które w sensie dosłownym pozwala na obserwację drogi produktów lub usług przez obszar ich wykonania przez pracowników. Aby go wykonać, należy uzyskać plan zakładu, działu czy strefy w skali. Kolejno zbierane są dane na temat rzeczywistej ścieżki wyrobu, usługi lub pracownika. Następnie drogę tę nanosi się na plan. Ostatnim krokiem jest analiza otrzymanego diagramu, wykrycie strat, które możemy usunąć, i wdrożenie działań usprawniających (www.lean-management.pl).

Głównym celem metody SMED (Single Minute Exchange of Die) jest przeprowadzenie każdego przebrojenia w maksymalnym czasie 10 minut [14].

Przebrojenie to zmiany przeprowadzane na maszynie, polegające np. na wymianie narzędzi czy matrycy po to, by można było na niej wykonywać inny produkt lub inną operację technologiczną. SMED bazuje na podstawowym podziale wszystkich zabiegów wykonywanych przy przebrojeniu na wewnętrzne oraz zewnętrzne. Przebrojenie wewnętrzne musi zostać wykonane, kiedy maszyna/linia produkcyjna jest zatrzymana. Co ważne, wlicza się tu również czas startu, rozruchu i osiągnięcia standardowej wydajności przez urządzenie. Przebrojenie zewnętrzne natomiast może zostać wykonane podczas pracy maszyn. Najczęściej są to czynności przygotowawcze przed zatrzymaniem linii [8].

Mapowanie strumienia wartości (VSM) wykorzystuje się do przedstawienia przepływów materiałów i informacji mających miejsce w systemie produkcyjnym. Najważniejsze w samym procesie mapowania jest poprawne zdefiniowanie strumienia wartości, czyli wszystkich działań podejmowanych w celu wyprodukowania wyrobu lub serii wyrobów. W dużym uproszczeniu mapowanie strumienia wartości można przedstawić jako zapis kolejnych kroków w procesie produkcyjnym, z uwzględnieniem przepływu materiałów oraz informacji. Zależnie od wartości dodanej etapy realizacji procesu (z perspektywy klienta) klasyfikuje się do jednej z trzech kategorii: czynności dodających wartość (VA), czynności niedodających wartości, ale niezbędnych (VE), czynności niedodających wartości i zbędnych (NVA) [9].

Studium przypadku

Ogólna charakterystyka działalności ośrodka LOliWA sp. z o.o.

Lubuski Ośrodek Innowacji i Wdrożeń Agrotechnicznych (LOliWA) to unikatowa spółka celowa Uniwersytetu Zielonogórskiego. W ramach działalności badawczo-rozwojowo-wdrożeniowej (B+R+W) firma rozwiązuje problemy producentów żywności,

w tym świadczy innowacyjne usługi, kompleksowo wykonuje badania i próby technologiczne oraz analizy laboratoryjne żywności. Laboratoria LOliWA sp. z o.o. mają nowoczesną aparaturę badawczą, umożliwiającą zarówno ilościową, jak i jakościową analizę składu i bezpieczeństwa mikrobiologicznego surowców, półproduktów oraz produktów spożywczych, a ponadto dodatków do żywności. Część technologiczną ośrodka tworzą zbudowane modułowo linie technologiczne, idealnie odwzorowujące te spotykane w przemyśle. Ich ogromną zaletą jest to, że występują w zdecydowanie mniejszej skali, a ich modułowość umożliwia elastyczną aranżację procesów technologicznych, pozwalając tym samym odwzorować realia przemysłowe większości firm z branży, zarówno w zakresie wyposażenia, jak i prowadzonych procesów technologicznych, z uwzględnieniem funkcjonujących systemów zarządzania i kontroli jakości (HACCP, GMP, GHP, ISO) (www.loiwa.com.pl).

Stan spółki przed zastosowaniem Lean Manufacturing

Rozpoznanie sytuacji oraz wskazanie problemów spółki umożliwił przeprowadzony audyt wewnętrzny. Inicjatywa została podjęta w związku z próbą certyfikacji ośrodka zgodnie z wymogami ISO 9001. Audyt ujawnił dużą liczbę niezgodności i błędów w funkcjonowaniu.

W przypadku rozważanej organizacji był to głównie brak komunikacji między działami. Próbkę przeznaczoną do badań były weryfikowane kilkakrotnie lub wcale. Zauważono powtarzającą się (lub całkowity brak) numerację na raportach, co powodowało brak możliwości ich odnalezienia po kilku tygodniach od realizacji zlecenia. Nie istniała jawna struktura organizacyjna, przez co nie sprawowano odpowiedniej kontroli nad pracownikami. Pomiary prowadzono bez wykorzystywania precyzyjnych procedur, stąd wyniki były nierzetelne i często reklamowane przez korzystających z usług ośrodka przedsiębiorców.

W przypadku organizacji miejsc pracy stwierdzono, że urządzenia mobilne nie miały przypisanej lokalizacji, natomiast większe sprzęty rozlokowano w sposób przypadkowy. Nieporządek powodował pomyłki z powodu wykorzystania podobnie wyglądających urządzeń i sprzętów. Niektóre analizy nie mogły zostać prawidłowo zakończone w związku z brakiem możliwości odnalezienia niezbędnych narzędzi.

W okresie audytu ośrodek zatrudniał dziewięć osób w dziale laboratoryjnym, a jego tygodniowa wydajność wynosiła ok. 30 badań. Składało się to na średni miesięczny przychód laboratorium na poziomie ok. 9 tys. zł netto. Biorąc pod uwagę koszty funkcjonowania tego działu, w tym koszty mediów, amortyzacji urządzeń oraz zatrudnienia pracowników, nie odnotowywano dochodów (na podstawie danych finansowych). Z podobną sytuacją zmagają się także pozostałe działy ośrodka.

Doskonalenie procesów badawczych z wykorzystaniem wybranych narzędzi lean manufacturing

Laboratorium funkcjonujące zgodnie z zasadami lean powinno być zorientowane na efektywne uzyskiwanie rzetelnych wyników przy minimalizacji kosztów. Miarą sukcesu jest osiągnięcie równowagi między jakością wykonywanych badań, dostępną infrastrukturą i zasobami ludzkimi (wraz z ich kapitałem) oraz czasem. W związku z powyższym głównym celem było ukazanie konkretnych działań podejmowanych w ramach wdrożenia Lean Manufacturing oraz ich wpływu na efektywność i rentowność ośrodka badawczo-rozwojowego. Ocena bieżącej sytuacji była punktem wyjścia do dalszych działań. Na jej podstawie wyłoniono obszary udoskonaleń, istotne z punktu widzenia realizowanej koncepcji lean:

- optymalizacja układu przestrzennego laboratorium,
- 5S – utrzymanie porządku i efektywna organizacja miejsca pracy,
- VSM – zidentyfikowanie strumieni wartości i wszystkich czynności w strumieniu wartości dla metod laboratoryjnej analizy żywności,
- SMED – skrócenie czasów „przebrojeń” stanowisk roboczych pomiędzy metodami badawczymi i ich wpływ na efektywność pracy laboratorium i laborantów,
- ciągle doskonalenie organizacji.

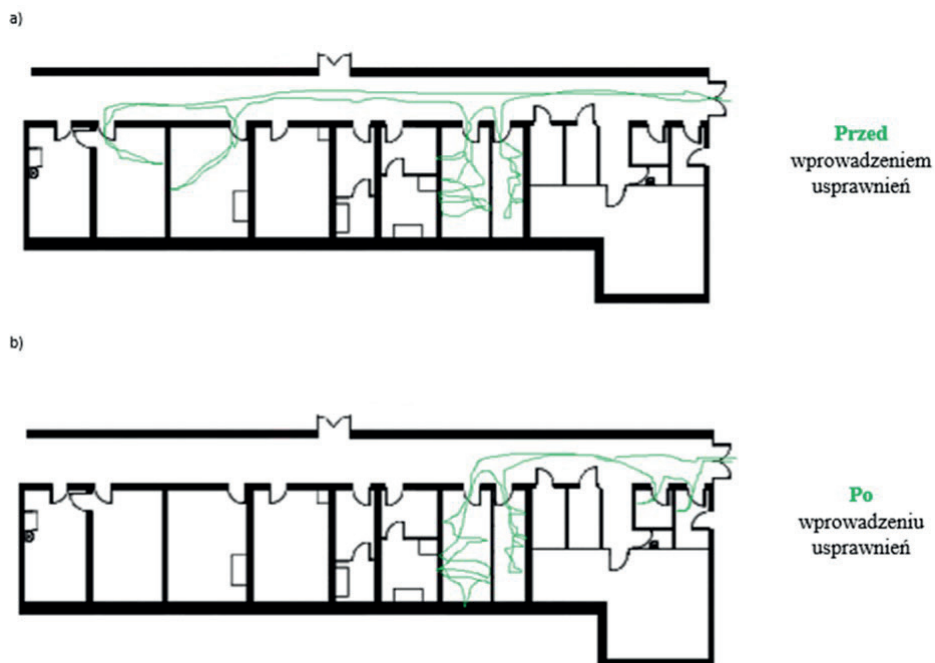
Optymalizacja układu przestrzennego laboratorium z wykorzystaniem 5S oraz Diagramu Spaghetti

Typowym punktem wyjścia przy wdrażaniu zasad „lean” jest organizacja miejsca pracy z wykorzystaniem metody 5S. Wykorzystując diagramy Spaghetti, przeanalizowano drogę, jaką przebywa laborant w ciągu całego dnia roboczego (8 h), przeprowadzając konkretną analizę laboratoryjną. Wybrano najczęstsze typy analiz, tj. zawartości białka, tłuszczu, pierwiastków i związków chemicznych w żywności oraz wykrywania zafałszowań produktów spożywczych metodami biologii molekularnej.

W ramach podjętych działań (dla wybranej analizy: wykrywanie zafałszowań produktów spożywczych metodami biologii molekularnej):

- przeniesiono pomieszczenie przyjęcia prób do badań oraz pokój wagowy na początek ciągu laboratoryjnego (zmiana w obszarze wspólnym dla wszystkich analiz),
- podzielono strefę pracy na pracownie: biologii molekularnej oraz elektroforezy, przenosząc adekwatnie do tego wszystkie urządzenia i sprzęty zgodnie z wyznaczonym, nowym obszarem,
- urządzenia ułożono w kolejności ich wykorzystania podczas przeprowadzania analizy.

W efekcie skrócono drogę przejścia pracownika z niemal 4,5 km do niecałych 3 km (rys. 1).



Rys. 1. Diagram spaghetti dla wykrywania zafałszowań żywności metodą PCR. a) Ścieżka usługi przed wprowadzeniem zmian. b) Ścieżka usługi po zastosowaniu usprawnień [oprac. własne]

Średnia droga przejścia pracowników po wprowadzeniu usprawnień skróciła się średnio o ok. 1,5 km (tab. 1).

Tab. 1. Droga pokonywana przez pracowników podczas wykonywania wybranych analiz [oprac. własne]

Rodzaj analizy	Długość drogi przejścia przed wprowadzeniem zmian [km]	Długość drogi przejścia po wprowadzeniu usprawnień [km]
Wykrywanie zafałszowań żywności metodą PCR	4,46	2,93
Oznaczanie pierwiastków metodą spektrometrii ICP-OES	4,91	3,36
Oznaczanie związków chemicznych metodą chromatografii	5,03	3,42
Oznaczanie białka metodą Kjeldahla	3,74	2,39
Oznaczanie tłuszczu metodą Soxhleta	3,82	2,47

W przypadku metody 5S wyeliminowano przedmioty niepotrzebne, zastosowano oznaczenia dla miejsc i rzeczy, przy każdym stanowisku umieszczono wystandaryzowane instrukcje wykonawcze oraz procedury. Uporządkowanie przedmiotów i usunięcie narzędzi niepotrzebnych pozwoliło skrócić czas poszukiwania tych niezbędnych do danej analizy, co w efekcie przyczyniło się do wyeliminowania marnotrawstwa czasu, zmniejszyło ryzyko popełnienia błędów podczas badań, a także poprawiło dostępność i ergonomię każdego elementu.

VSM – zidentyfikowanie strumieni wartości i czynności

Niemal połowa reklamacji (47% – na podstawie analizy reklamacji) dotyczyła przekroczenia deklarowanego czasu wykonania analizy. Zatem nadrzędnym celem przeprowadzenia mapowania strumienia wartości była identyfikacja źródeł marnotrawstwa oraz zaproponowanie sposobu doskonalenia procesów tak, aby móc sprostać wymaganiom klienta, głównie pod kątem czasu realizacji badań. W przypadku wykrywania zafałszowań żywności metodą PCR zaproponowano usprawnienia polegające na:

- eliminacji wszelkich niepotrzebnych czynności, tj. programowanie termocyklera w automatyczne funkcje, porównanie otrzymanych wyników z równoległe wykonywanymi powtórzeniami i bazami danych oraz sekwencjonowanie otrzymanych fragmentów DNA celem potwierdzenia tożsamości powielonego materiału genetycznego;
- skróceniu czasu trwania czynności związanych z przygotowaniem próbek i laboratorium do analizy dzięki zastosowaniu komercyjnych, gotowych zestawów do oznaczeń;
- zakupieniu wielofunkcyjnego, automatycznego urządzenia laboratoryjnego z funkcją programowania, co niemal całkowicie wyeliminowało konieczność interwencji pracownika;
- przeprowadzeniu walidacji metody przy założeniu skróconych czasów niektórych czynności;
- zastosowaniu kontroli wewnętrznych w procesie;
- objęciu laboratorium komputerowym systemem zarządzania danymi.

Dzięki zastosowaniu metody VSM cel ten został osiągnięty, a głównym źródłem marnotrawstwa okazały się czynności niedodające wartości warunkowane pracą urządzeń. Na żółto zaznaczono etapy, które uległy zmianie względem wersji pierwotnej (tab. 2). Zaimplementowanie zaproponowanych usprawnień pozwoliło skrócić czas trwania analizy sześciokrotnie – z 36 do 6 godzin, co nie tylko pozwoliło sprostać takto wi klienta (wynoszącemu 24 godziny), ale i wygenerowało 18-godzinny zapas czasowy.

Tab. 2. Mapa stanu przyszłego – wykrywanie zafalszowań żywności metodą PCR [oprac. własne]

VSM – wykrywanie zafalszowań żywności metodą PCR – stan przyszły								
Numer etapu	Nazwa etapu			Czas pracy laboranta [s] VA	Czas pracy urządzeń/oczekiwania [s] NVA/ VE	Całkowity czas trwania etapu [s]	Rodzaj czynności	
1	Etap wstępny	Przygotowanie do badania	Przygotowanie odczynników	60		60		X
2			Przygotowanie materiałów i sprzętu laboratoryjnego	60		60		X
3			Przygotowanie próbki/homogenizacja	150	30	180	X	
4	Badanie	Izolacja DNA	Odważenie próbki	47	5	52		X
5			Dodanie buforu lizującego i proteinazy K	38		38		X
6			Grzanie z mieszaniem		1800	1800		X
7			Chłodzenie	3	120	123		X
8			Wirowanie		1200	1200		X
9			Zebranie supernatantu i dodanie chloroformu	75		75		X
10			Wirowanie		60	60		X
11			Dodanie buforu wiążącego białka	166		166		X
12			Przeniesienie mieszaniny na kolumnę izolacyjną	27		27		X
13			Wirowanie		60	60		X

VSM – wykrywanie zafałszowań żywności metodą PCR – stan przyszły								
Numer etapu	Nazwa etapu			Czas pracy laboranta [s] VA	Czas pracy urządzeń/oczekiwania [s] NVA/ VE	Całkowity czas trwania etapu [s]	Rodzaj czynności	
14	Badanie	Izolacja DNA	Płukanie	16		16		X
15			Wirowanie		60	60		X
16			Dodanie buforu do elucji	19	900	919		X
17			Wirowanie		60	60		X
18		Łańcuchowa reakcja polimerazy (PCR)	Sporządzenie mieszaniny reakcyjnej	690		690		X
19			Wirowanie		30	30		X
20			Programowanie termocyklera					X
21			Amplifikacja		5400	5400	X	
22		Elektroforeza DNA	Przygotowanie żelu	1020		1020		X
23			Żelifikacja		900	900		X
24			Naniesienie produktów PCR na żel	240		240		X
25			Rozdział elektroforetyczny		2700	2700		X
26			Wizualizacja w świetle UV	127	50	177	X	
27		Analiza otrzymanych wyników	Wyrażenie wyniku	Analiza wielkości prążka	60		60		X

VSM – wykrywanie zafałszowań żywności metodą PCR – stan przyszły								
Numer etapu	Nazwa etapu			Czas pracy laboranta [s] VA	Czas pracy urządzeń/oczekiwania [s] NVA/ VE	Całkowity czas trwania etapu [s]	Rodzaj czynności	
28	Analiza otrzymanych wyników	Wyrażenie wyniku	Porównanie z bazami danych					X
29		Szacowanie niepewności pomiaru	Porównanie wykonanych powtórzeń					X
30			Sekwencjonowanie					X
31		Uporządkowanie stanowiska pracy	Mycie	180		180		X
32			Sterylizacja	105	3600	3705		X
33	Etap końcowy	Sporządzenie raportu dla Klienta	Sporządzenie raportu	600		600	X	
34			Zatwierdzenie raportu przez Kierownika Laboratorium	30		30		X
35			Przesłanie raportu do Klienta	60		60	X	
36	Administracja	Fakturowanie	Wystawienie faktury i przesłanie jej do Klienta	300	900	1200	X	
				4073	17875	21948		
Podsumowanie								
Średni czas realizacji w zaokrągleniu do pełnych godzin [h]				1	5	6		
Takt Klienta [h]				24				
Zapás czasowy [h]				18				

SMED – skrócenie czasów „przebrojeń” stanowisk roboczych pomiędzy metodykami badawczymi a efektywność pracy laboratorium i laborantów

Przebrojenie stanowiska laboratoryjnego wiąże się z czasem poświęconym na zmianę zarówno odczynników, podstawowych akcesoriów (np. szkła laboratoryjnego, „plastików”) oraz drobnych sprzętów (np. pH-metrów, konduktometrów), jak i warunków prowadzenia analizy. Strata są też często wyniki otrzymane zaraz po zmianie, zanim warunki badawcze zostaną „wyregulowane”.

Nadrzędnym celem wykorzystania SMED w laboratoriach LOliWA było skrócenie czasów przebrojeń stanowisk roboczych pomiędzy metodykami badawczymi do jednostki czasu poniżej 10 minut (tab. 3). Aby to osiągnąć, podzielono czynności na zewnętrzne i wewnętrzne oraz przetransformowano jak największą liczbę tych drugich w czynności niewymagające przestoju. Wyeliminowało to pauzy w badaniach oraz pozwoliło na częściową realizację działań równoległe.

Tab. 3. Czasy przebrojeń przed wprowadzeniem zmian [min] [oprac. własne]

	Analiza białka	Analiza tłuszczu	Analiza pierwiastków	Analiza związków chemicznych	Analiza zafałszowań
Analiza białka	3,2	16,8	32,9	29,5	43,1
Analiza tłuszczu	15,3	2,9	29,6	31,2	46,9
Analiza pierwiastków	16,9	16,2	2,3	28,7	44,8
Analiza związków chemicznych	16,1	15,8	34,0	3,5	44,6
Analiza zafałszowań	15,9	14,9	32,1	29,4	1,7

Wcześniejsze wdrożenie metody 5S w laboratorium pozwoliło na wydzielenie dedykowanych konkretnym analizom przestrzeni roboczych. Zatem w ramach przeobrażania ostatecznie ograniczono się jedynie do prac wymaganych zmianą badanej matrycy, których czas to średnio niespełna 3 minuty (tab. 3). Do wykonywania poszczególnych analiz wyznaczono także konkretnych pracowników, co wyeliminowało czas potrzebny na przestawienie się laboranta na inną metodykę badawczą.

Podsumowanie wpływu podjętych działań na efektywność i wydajność pracy laboratorium

Zastosowanie metod LM uwidocznilo możliwości analityczne całego laboratorium oraz jego wymagań dotyczących zasobów. Znacznie zwiększyła się wydajność pracowników oraz skrócił czas realizacji badań, co przełożyło się na niższe koszty utrzymania działu laboratoryjnego. Zwiększyła się liczba działań zakończonych sukcesem i polepszyła

obsługa klienta, co przełożyło się na spadek liczby reklamacji do zera (rokrocznie). Zastosowanie mapowania strumienia wartości zobrazowało przepływ informacji i zasobów, identyfikując tym samym (a w konsekwencji eliminując) marnotrawstwo w firmie. Zwiększyły się ponadto możliwości personelu, co spowodowało wzrost liczby badanych w każdym roku prób, a to w konsekwencji doprowadziło do wzrostu poziomu sprzedaży, dającego wymierne efekty finansowe w postaci zysku oraz zwiększenia płynności finansowej.

Podsumowanie

Budowanie kultury ciągłego doskonalenia organizacji przyczynia się do osiągnięcia korzyści biznesowych. Wszelkie działania inspirujące pracowników do zmiany przyzwyczajeń i zachowań w całym laboratorium zapewniają podtrzymanie tego pozytywnego oddziaływania. Wykorzystanie technik lean ma wymierne skutki w obszarze instytucji badawczo-rozwojowych. Wprowadzanie usprawnień z wykorzystaniem lean, tj.: 5S, SMED, VSM, pozwoliło na efektywniejsze wydzielenie, usystematyzowanie i kontrolę procesów. Ponadto zapewniło spójność i przewidywalność otrzymywanych wyników. Między innymi poprzez maksymalizację wartości dodanej dla klienta, głównie w zakresie realizacji jego potrzeb i wymagań, poprawiono rentowność spółki. Ciągłe doskonalenie organizacji uczy także zwyczaju proaktywnego dbania o wydajność, a to powoduje skrócenie czasu przepływu usługi przez laboratorium, zwiększając zarówno liczbę, jak i stopień zadowolenia klientów.

Literatura

- [1] Al E., Ali Z., Türkyilmaz A. (2014). *Lean Principles in R&D Projects. Global Conference on Engineering and Technology Management*, s. 104-112.
- [2] Barnes T.A., Pashby I.R., Gibbons A.M. (2006). *Managing collaborative R&D projects development of a practical management tool*. „International Journal of Project Management”, nr 24, s. 395-404.
- [3] Johnson A., Swisher B. (2003). *How Six Sigma Improves R&D*. „Research Technology Management”, nr 46, s. 12-15.
- [4] Krafcik J.F. (1988). *Triumph of the Lean Production System*. „Management Review”, nr 1, s. 41-45.
- [5] Levitt R.E. (2011). *Toward project management 2.0. Engineering project organizations conference*. Bucknell University.
- [6] Ohno T. (1988). *Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production*. Cambridge: Productivity Press (wydanie japońskie 1978).
- [7] Parandowski J. (1992). *Mitologia. Narodziny świata*. Wydawnictwo Puls, London.
- [8] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzcieliński S. (2010). *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

- [9] Pomietlorz M. (2015). *Istota koncepcji Lean Manufacturing*. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Materiały konferencyjne, s. 612-621.
- [10] Reinertsen D., Shaeffer L. (2005). *Making R&D lean*. Industrial research Institute Inc., s. 51-57.
- [11] Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (1991). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. Harper Business, New York.
- [12] Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (2007). *Maszyna, która zmieniła świat*. ProdPress.com, Wrocław.
- [13] Womack J.P., Jones D.T. (2008). *Lean thinking – szczupłe myślenie. Eliminowanie marnotrawstwa i tworzenie wartości w przedsiębiorstwie*. ProdPress.com, Wrocław.
- [14] www.lean.org.pl.
- [15] www.leanactionplan.pl.
- [16] www.leanit.net.
- [17] www.lean-management.pl.
- [18] www.loiwa.com.pl.

Jesica Biś
Marcin Knapiński
Tomasz Langier
Bartosz Koczurkiewicz

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr6

DOSKONALENIE PROCESU WYTWARZANIA RUR STALOWYCH METODĄ PIELGRZYMOWĄ

Wprowadzenie

W trakcie procesu walcowania tulei grubościennych za pomocą walcarki pielgrzymowej powstaje tzw. kielich, stanowiący odpad technologiczny. W związku z podjęciem współpracy z przemysłem możliwe było zrealizowanie prac nad doskonaleniem procesu wytwarzania rur stalowych metodą pielgrzymową, modyfikując istniejącą technologię, zwiększając uzysk gotowej rury i przy tym zmniejszając energochłonność procesu wytwarzania.

Wytwarzanie rur stalowych metodą pielgrzymową

Jedną z metod wytwarzania rur bezszwowych jest walcowanie w walcarkach pielgrzymowych. Metoda stosowana jest zarówno w procesach walcowania na gorąco, jak i na zimno rur stalowych oraz z metali nieżelaznych i ich stopów. Została ona opracowana i opatentowana w 1885 r. przez braci Maxa i Reinharda Mannesmannów [1].

Zaletą jest duża uniwersalność oraz szeroki zakres średnic i grubości ścian rur, przy stosunkowo prostym osprzęcie walcowniczym. Technika ta posiada również i wady, a największą z nich jest niski uzysk i duży odpad technologiczny. Postęp technologiczny, konieczność obniżenia kosztów związanych z wytwarzaniem i zwiększenie wydajności wymusiło opracowywanie nowych metod wytwarzania rur bez szwu. Nadal jednak istnieją huty, które wytwarzają rury tą metodą. Jedną z nich jest Walcownia Rur Rurexpol S.A.

Proces technologiczny wytwarzania rur bez szwu w walcowniach pielgrzymowych obejmuje szereg operacji, do których należą [2]:

- 1) nagrzewanie w piecu z obrotowym trzonem;
- 2) dziurowanie na prasie hydraulicznej;
- 3) walcowanie w walcarce wydłużającej (alongator);
- 4) walcowanie w walcarce pielgrzymowej;
- 5) walcowanie w walcarce kalibrującej;
- 6) chłodzenie i wykańczanie.

Wlewki o przekroju kwadratowym i długości dostosowanej do wymiarów gotowych wyrobów nagrzewane są w piecu z obrotowym trzonem do temperatury ok. 1180°C umożliwiającej prowadzenie procesu dziurowania. Przed dziurowaniem z powierzchni wlewka usuwana jest warstwa tlenków żelaza (zgorzelina) za pomocą hydraulicznego zbijacza zgorzeliny, co przedstawiono na rysunku 1.



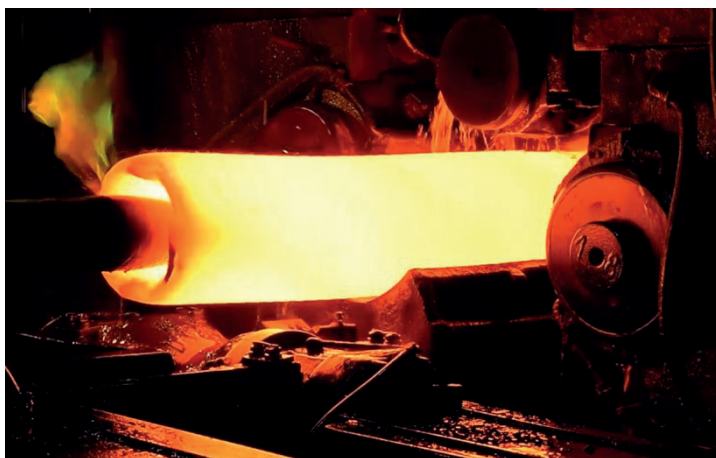
Rys. 1. Usuwanie zgorzeliny w zbijaczu hydraulicznym [fotografia własna]

Zgorzelina stanowi twardą warstwę, która mogłaby zostać w kolejnych operacjach zaprasowana w materiale i stanowić przyczynę powstawania wad wewnętrznych w gotowym wyrobie [3, 4, 5, 6]. Kolejnym etapem jest „przebijanie” wlewka na prasie dziurującej. W procesie tym wlewek o przekroju kwadratowym umieszczony w matrycy jest wyciskany przeciwbieżnie stemplem, nazywanym przebijaikiem. W wyniku procesu powstaje otwór centryczny, a wlewek wypełnia okrągłą matrycę. Na rysunku 2 przedstawiono widok matrycy prasy poziomej wraz z gorącym wlewkiem kwadratowym.



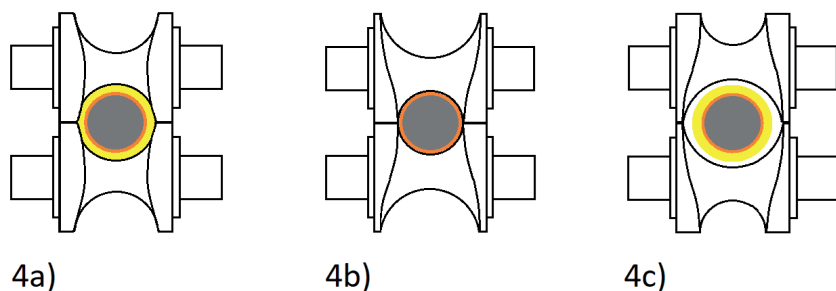
Rys. 2. Wprowadzenie wlewka do matrycy prasy [fotografia własna]

Kolejnym etapem procesu jest walcowanie wydłużające uzyskanej po procesie wyciskania wypraski, nazywanej „szklanką z denkiem” w walcierce nazywanej alongatorze [7, 8, 9, 10, 11]. Walcowanie prowadzone jest w walcach, których osie są zukosowane w odniesieniu do osi walcowanego materiału. W wyniku walcowania następuje wydłużenie „szklanki” oraz przebicie denka. Powstała w ten sposób tuleja (rys. 3) jest wsadem do walcowania w walcierce pielgrzymowej.

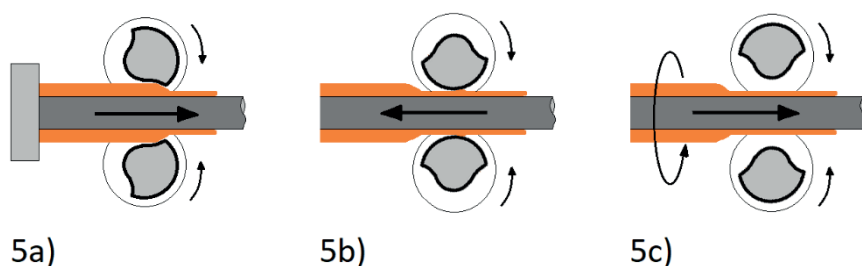


Rys. 3. Tuleja w procesie walcowania w alongatorze [fotografia własna]

Cechą charakterystyczną rozwiązania braci Mannesmannów jest zastosowanie walców o zmiennym przekroju na obwodzie wykonujących stały ruch obrotowy w jednym kierunku (przecywnym do przemieszczenia walcowanej rury). Materiał jest odkształcany (ruch posuwisto-zwrotny) na trzpieniu, a przy ruchu jałowym dokonywany jest obrót walcowanego materiału o ok. 90° .



Rys. 4. Schemat walcowania rury metodą pielgrzymową od czoła
 [www.flickr.com/photos/128495906@N07/52118061296/]



Rys. 5. Schemat walcowania rury metodą pielgrzymową podczas obrotu walca
 [www.flickr.com/photos/128495906@N07/52118061296/]

Walce stosowane w walcarkach pielgrzymowych mają na obwodzie wykrój o zmieniającym się kształcie, który spełnia ściśle określone zadania i wymaga precyzyjnej obróbki. Na rysunku 4 pokazano schemat walcowania pielgrzymowego rury na trzpieniu od czoła. Na rysunku 5 przedstawiono kolejne fazy w czasie jednego obrotu walca; faza gniołu, w której następuje zmniejszenie średnicy zewnętrznej i wewnętrznej warunkowane średnicą trzpienia (rys. 5a); wyrównanie grubości ścianek walcowanej rury (rys. 5b); odrzut i zarazem uwolnienie rury oraz jej ponowne dosunięcie (rys. 5c). Na rysunku 6 przedstawiono rurę w procesie walcowania na walcarce pielgrzymowej od strony wyjścia z walcarki.

Konstrukcja osprzętu walcowniczego, którego zadaniem jest zabezpieczenie trzpienia przed wypadnięciem z aparatu podawczego podczas ruchu posuwisto-zwrotno-obrotowego uniemożliwia walcowanie całej długości tulei i w związku z tym powoduje powstawanie odpadu technologicznego.



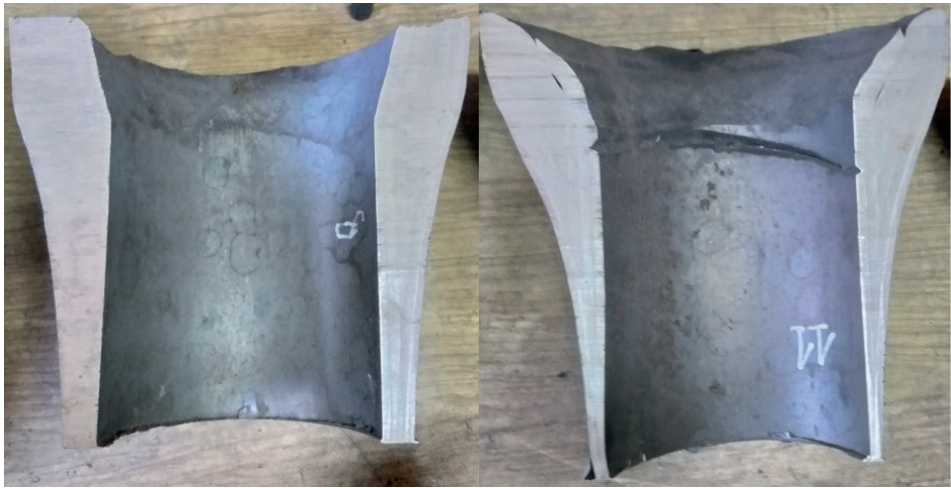
Rys. 6. Rura w procesie walcowania na walcierce pielgrzymowej [fotografia własna]



Rys. 7. Rura z odpadem technologicznym tzw. kielich [fotografia własna]

Odpad ten z racji kształtu nazywany jest kielichem (rys. 7) i przed obróbką wykańczającą musi zostać usunięty. W wyniku konieczności odcięcia nadatku uzysk, w zależności od średnicy rury i grubości ścianki, wynosi ok. $72 \div 78\%$. Na rysunku 8 przedstawiono zdjęcia przekroju kielichów odciętych z rury po procesie walcowania rury w walcierce pielgrzymowej.

Ostatnim etapem produkcji rur jest walcowanie w walcierce kalibrującej.



Rys. 8. Przykłady kielichów jako odpad technologiczny [fotografia własna]

Doskonalenie procesu wytwarzania rur metodą pielgrzymową

Analiza procesu wykazała, że możliwe jest zwiększenie uzysku i wydajności procesu poprzez dowlacowanie kielicha. Realizację zamierzonej modyfikacji osiągnięto poprzez zmianę konstrukcji osprzętu walcowniczego. Zmieniono kształt i sposób mocowania tulei utrzymującej trzpień w aparacie podawczym. Wdrożenie rozwiązania umożliwiło dowlacowanie kielicha, a tym samym zwiększenie długości rury po walcowaniu w walcierce pielgrzymowej, która wzrosła średnio o ok. 1,5 m. Tym samym zwiększono uzysk nawet do 92%. Współpraca pracowników naukowych z technologami Zakładu doprowadziła do powstania Patentu nr 238223 „Zespół mocujący trzpień walcarki pielgrzymowej”. Badania przeprowadzone na rurach gotowych wytwarzanych według zmodyfikowanej technologii wykazały występowanie wad wewnętrznych, dyskwalifikując część dowlacowanego kielicha. Na rysunku 9 przedstawiono zdjęcia końcówki rury od strony kielicha. Wyraźnie widać nieciągłości materiału. Porównując jednak kształt końcówek zamieszczonych na rysunkach 8 i 9, można zauważyć, że pomimo konieczności odcięcia końcówki z zawalcowaniami uzyskano znaczący przyrost długości rury.



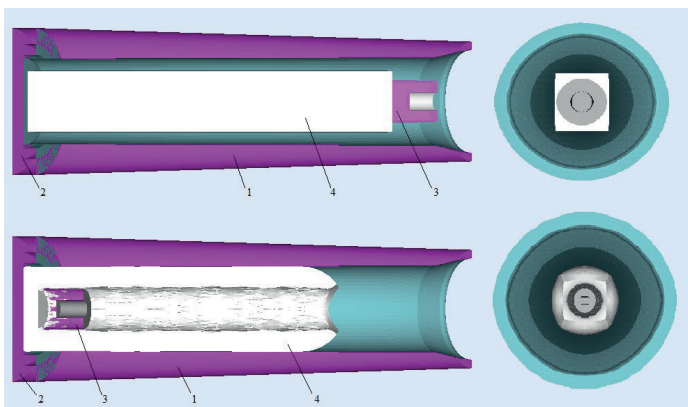
Rys. 9. Przykłady kielichów w przekroju [fotografia własna]

Badania numeryczne

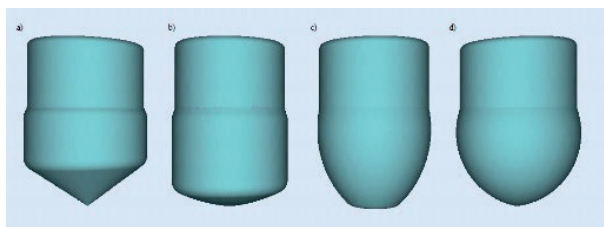
W celu pełnego wykorzystania efektu dowlcowania kielicha przeprowadzono kompleksowe badania numeryczne. Ich celem była identyfikacja przyczyn powstawania zawałowań końcówek rur surowych oraz taki dobór parametrów technologicznych procesu, który umożliwi produkcję rur surowych z końcami wolnymi od wad lub umożliwi ich ograniczenie. Analiza produkowanego asortymentu wykazała, że najczęściej produkowana jest rura stalowa w gatunku S355J2G3 o średnicy zewnętrznej $D = 250$ mm i grubości ścianki $g = 35$ mm z wlewków o wymiarach $280 \times 300 \times 1800$ mm³. Do badań teoretycznych zastosowano program komputerowy Forge NxT 2.1[®] bazujący na metodzie elementów skończonych. Z bazy danych oprogramowania wybrano materiał, którego skład chemiczny był najbardziej zbliżony do analizowanego gatunku. Umożliwiło to jego reologiczny opis w symulacjach numerycznych. Analizie poddano wszystkie etapy produkcji. Dla każdego z nich opracowano odrębnie model geometryczny i przeprowadzono symulacje komputerowe dla aktualnie stosowanych parametrów technologicznych. Analiza uzyskanych wyników umożliwiła określenie sposobu płynięcia odkształcanego materiału i modyfikację osprzętu walcowniczego oraz samych nastaw urządzeń pod kątem zwiększenia wydajności. Parametry wejściowe do symulacji zostały dobrane na podstawie przeprowadzonych badań przemysłowych (ocena temperatury w każdym etapie wytwarzania rur na podstawie wyników pomiarów z zastosowaniem pirometrów optycznych) oraz analizy dokumentacji technicznej dostarczonej przez kadrę zarządzającą przedsiębiorstwem. Na tej podstawie określono zakresy parametrów temperaturowo-czasowo-odkształceniowych oraz parametry energetyczne dla poszczególnych etapów produkcji rur.

Dziurowanie na prasie hydraulicznej

W ramach przeprowadzonych badań analizie poddano wpływ kształtu główek dziurujących na parametry energetyczno-siłowe procesu. Zaproponowano kształty główek, które na podstawie danych literaturowych oraz doświadczenia autorów umożliwią zmniejszenie grubości „denka szklanki” przy jednoczesnym zmniejszeniu nacisków stosowanych w procesie [12]. W tym celu opracowano model geometryczny procesu wyciskania (rys. 10), w którym kształt i wymiary matrycy były zgodne ze stosowanymi w rzeczywistym procesie. Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe kształty główek stempli stosowane na tym etapie wytwarzania rur.



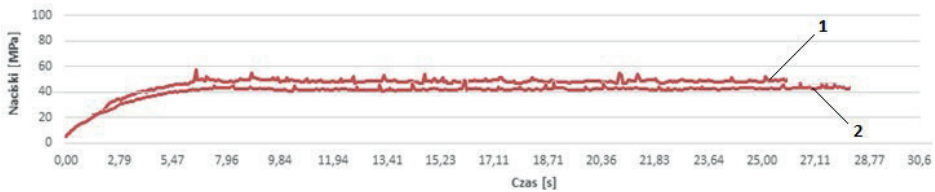
Rys. 10. Wyciskanie grubościennych tulei z denkiem w prasie: a) pozycja wstępna do przebijania; b) zakończenie przebijania, gdzie: 1 – matryca, 2 – dno matrycy, 3 – stempel, 4 – pierścień centrujący, 5 – wsad w kolejnych etapach procesu [oprac. własne]



Rys. 11. Przykładowe kształty główek dziurujących [oprac. własne]

Wyniki badań numerycznych wykazały, że możliwe jest zmniejszenie grubości denka przy obniżeniu nacisków. Modyfikacja kształtu stosowanej główki stempla związana ze zmianą zarysu i promieni zaokrągleń umożliwi łatwiejsze płynięcie materiału

w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu stempla przy tym samym, a nawet nieznacznie obniżonym nacisku. Umożliwi to uzyskanie denka o mniejszej grubości. Na rysunku 12 przedstawiono przykładowy wykres nacisków zarejestrowany podczas symulacji numerycznych dla różnych warunków.

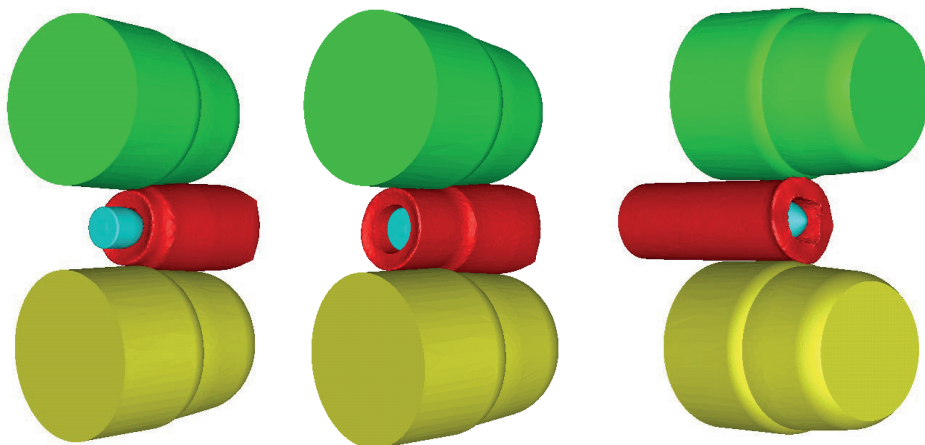


Rys. 12. Przykładowy wykres nacisków zarejestrowany podczas symulacji procesu wyciskania dla: 1 – główki stempla o standardowym kształcie; 2 – główki stempla o zmodyfikowanym kształcie [oprac. własne]

Z danych zamieszczonych na rysunku 12 wynika, że zastosowanie podczas dziurowania na prasie hydraulicznej główki przebijaka o zmodyfikowanym kształcie skutkowało zmniejszeniem nacisku w całym zakresie wyciskania. Wydłużenie czasu na krzywej 2 świadczy o zwiększeniu czasu maszynowego związanego z procesem pocieniania denka. Samo obniżenie nacisków wydłuży kampanię osprzętu i odciąży prasę. Z kolei cieńsze denko ułatwi w kolejnym etapie jego przebicie i zmniejszenie lub wyeliminowanie wad wewnętrznych dowlcowanego kielicha.

Walcowanie w walcierce wydłużającej

Badaniom modelowym poddano również kolejny z etapów wytwarzania rury, którym było walcowanie na trzpieniu w walcierce wydłużającej, popularnie nazywanej alongatorem. W tym celu zbudowano model geometryczny procesu. Wsadem do procesu walcowania była „szklanka” (tuleja z dnem), której kształt i stan termiczny został „przeniesiony” z wyników symulacji procesu wyciskania. Konstrukcja walcarki wydłużającej umożliwia ustawianie walców, które skutkuje zmianami (wymuszeniem lub ograniczeniem) w płynięciu materiału w kierunku wzdłużnym. Na rysunku 13 przedstawiono widok modelu geometrycznego procesu wydłużania tulei na różnych etapach walcowania.



Rys. 13. Model geometryczny alongatora [oprac. własne]

Symulacje przeprowadzono przy standardowych ustawieniach technologicznych (szczelina pomiędzy wałcami, kąty zukosowania i rozwałcowania, kształt i położenie główki, na której prowadzony jest proces). Przeprowadzona analiza wyników wykazała, że nieciągłości obserwowane w przekrojach dowlcowanych kielichów są pozostałością po procesie przebicia denka i jego walcowania na główce osadzonej na trzpieniu. Założono, że poprzez zintensyfikowanie płynięcia wewnętrznych warstw tulei możliwe jest jej przesunięcie w kierunku końcówki rury. Podobnie jak w przypadku dziurowania na prasie wprowadzono modyfikację kształtu główek, na których odbywa się odkształcenie oraz ich ułożenie w stosunku do występu (progu) wałców. Zamodelowano również walcowanie dla różnych kątów rozwałcowania i zukosowania wałców wymuszających zmiany w płynięciu wewnętrznej i zewnętrznej strony tulei. W wyniku przeprowadzonych badań numerycznych określono parametry technologiczne zapewniające uzyskanie założonego efektu. Na rysunku 14 przedstawiono przykładowe przekroje uzyskane dla różnych parametrów walcowania. Z danych zamieszczonych na nich wyraźnie widać wpływ różnych warunków walcowania na kształt końcówki rury. Wymuszenie innego sposobu płynięcia metalu umożliwiło zmniejszenie długości pozostałości po denku, a tym samym umożliwi uzyskanie dowlcowanego kielicha bez wad wewnętrznych lub zmniejszenie obszaru ich występowania.

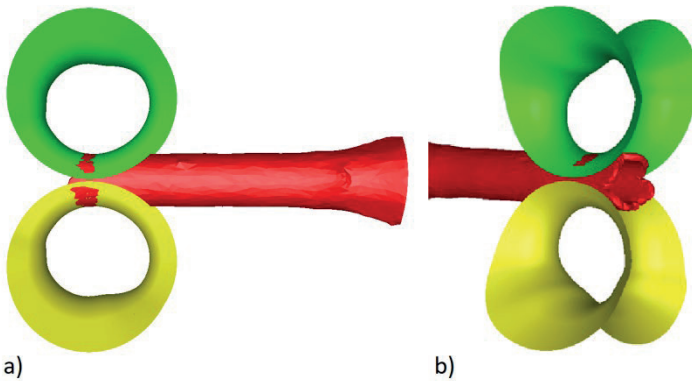
Efektom dodanym wprowadzonej modyfikacji polegającej na przesunięciu główki dziurującej w kierunku walcowania było obniżenie nacisków podczas odkształcania o ok. 7%.



Rys. 14. Przekroje rury po procesie walcowania w alongatorze [oprac. własne]

Walcowanie w walcierce pielgrzymowej

Kolejnym etapem wytwarzania rury poddany analizie było walcowanie w walcierce pielgrzymowej [13, 14]. Nie wprowadzono żadnych zmian związanych z nastawami osprzętu walcowniczego. Wsadem do procesu była wydłużona w alongatorze tuleja, której kształt i stan termiczny został zaimportowany z wyników symulacji. Przeprowadzono badania dla tulei różniących się kształtem części końcowej wynikającym z zaproponowanych modyfikacji procesy walcowania w alongatorze. Analizie poddano sposób płynięcia materiału oraz kształt końcówki rury, ze szczególnym uwzględnieniem walcowanych pozostałości po denku szklanki. Wyniki porównano z rezultatami uzyskanymi dla tulei walcowanej według obecnie stosowanej technologii. Na rysunku 15 przedstawiono model geometryczny walcowania konwencjonalnego i bezkielichowego.



Rys. 15. Model geometryczny walcowania: a) obecnie stosowanej technologii, b) bezkielichowego [oprac. własne]

Na przedstawionych rysunkach widać dowalcowany kielich. Kształt końcówki jest nierównomierny wynikający z kantowania wsadu o kąt 90° . Intensywniej wydłużone warstwy powstały w miejscach, w których nastąpił kontakt metalu z walcem podczas



Rys. 16. Widok przekroju ścianki rury z dowalcowanym kielichem wytwarzanej z: a) standardowego wsadu, b) tutei walcowanej według zmodyfikowanej technologii [oprac. własne]

ruchu roboczego. Tę część rury należy potraktować jako odpad technologiczny. Na rysunku 16 przedstawiono ścianki końcówki dowalcowanej rury.

Nie stwierdzono w przekroju poprzecznym występowania wad w postaci nieciągłości lub zawalowań (rys. 16b). Kolejnym etapem badań będzie weryfikacja zaproponowanych zmian w zakładzie przemysłowym.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku współpracy z Walcownią Rur Rurexpol S.A. została zidentyfikowana luka badawcza w postaci możliwości udoskonalenia procesu wytwarzania rur stalowych metodą pielgrzymową. Opracowano koncepcję wytwarzania rur metodą bezkielichowego walcowania pielgrzymowego. W tym celu przeprowadzono szereg prac konstrukcyjnych, wprowadzających modyfikację osprzętu walcowniczego umożliwiającego dowalcowanie odpadu technologicznego charakterystycznego dla tej metody wytwarzania. Opracowane rozwiązanie zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej i pozyskany został Patent nr 238223 „Zespół mocujący trzpień walcarki pielgrzymowej”. Wdrożenie rozwiązania umożliwiło dowalcowanie tzw. kielicha, ale miał on wady wewnętrzne w postaci zawalowań i nieciągłości. Na drodze badań modelowych zidentyfikowano przyczynę powstawania nieciągłości i zawalowań. Przeprowadzono symulacje komputerowe wytwarzania, wprowadzając modyfikację istniejącej technologii. Wyniki, jakie uzyskano, pokazały, że możliwe jest udoskonalenie procesu wytwarzania rur metodą pielgrzymową. Wprowadzone zmiany technologii spowodowały zwiększenie uzysku w procesie wytwarzania rur metodą pielgrzymową oraz zmniejszenie jego energochłonności.

Literatura

- [1] Pfeiffer G. (1985). *History of the Manufacture of Seamless Tube and the Role of the Investigations of the Brothers Mannesmann*. Proc. the Third Int. Conf. on Steel Rolling Technology of Pipe and Tube and their Application. The Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, 2-6.09, s. 19-41.
- [2] Kazanecki J. (2003). *Wytwarzanie rur bez szwu*. Uczelniane Wydaw. Nauk.-Dydakt. AGH im. S. Staszica, Kraków, s. 67-69, 203-212.
- [3] Biś J., Koczurkiewicz B., Mazur I. (2019). *Defects and Incompatibilities of Pipes Manufactured by Pilgrim Method*. „New Trends in Production Engineering”, t. 2, z. 2, s. 24-35.
- [4] Winiarski G., Gontarz A. (2017). *Numerical and experimental study of producing two-step flanges by extrusion with a movable sleeve*. Arch. Metall. Mater. 62, 2, s. 495-499.
- [5] Rzyzińska G., Skrzat A., Śliwa R.E. (2015). *Sprzężona analiza Eulera-Lagrange'a w modelowaniu procesu wyciskania*. „Obróbka Plastyczna Metali”, t. 26, nr 1, s. 73-92.
- [6] Winiarski G., Gontarz A. (2015). *Analiza teoretyczna procesu kształtowania uzębionego wału drążonego metodą wyciskania z ruchomą tuleją*. „Hutnik. Wiadomości Hutnicze”, t. 82, nr 2, s. 153-157.
- [7] Pater Z., Tofil A. (2014). *Fem simulation of the tube rolling process in diescher's mill*. „Advances in Science and Technology, Research Journal”, t. 8, nr 22, s. 51-55.
- [8] Biś J., Koczurkiewicz B., Kwapisz M. (2019). *Theoretical analysis of the rolling process of a thick-walled thimble in an elongating mill*. METAL.
- [9] Kwapisz M., Knapieński M., Dyja H., Kawalek A. (2015). *Analysis of the Alternate Extrusion and Multiaxial Compression Process, Plates*. „Archives of Metallurgy and Materials”, t. 60, z. 1, s. 149-152.
- [10] Kawalek A., Magiera M., Dyja H., Knapieński M., Koczurkiewicz B., Kwapisz M. (2015). *Numerical simulation of the rolling process of pipeline sheet*. „Solid State Phenomena”, t. 220-221, s. 813-817.
- [11] Bartnicki J., Pater Z., Gontarz A., Tomczak J. (2014). *Innovative metal forming technologies*. „Journal of Machine Engineering”, t. 14, nr 1, s. 9-11.
- [12] Łukaszek-Solek A., Krawczyk J., Bednarek S., Sińczak J., Śleboda T., Bała P. (2011). *Charakterystyka zużycia stempla podczas wyciskania stalowych elementów*. „Tribologia”, nr 4, s. 153-161.
- [13] Pociecha D., Osika J. (2012). *Wyznaczenie optymalnych warunków odkształcenia w nowym procesie walcowania pielgrzymowego rur na zimno*, praca doktorska, Kraków, s. 12-16.
- [14] Osika J., Świątkowski K., Karaś Ł. (2007). *Modelowanie fizyczne walcowania na zimno rur w walcierce pielgrzymowej nowej generacji*. „Rudy i Metale Nieżelazne”, t. 52, nr 11, s. 750-757.

Mariusz Kołakowski
Łukasz Prusiel
Karol Dąbrowski
Katarzyna Skrzypek

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr7

ZASTOSOWANIE OPROGRAMOWANIA SIEMENS NX MCD DO PROTOTYPOWANIA MASZYN DLA PRZEMYSŁU MEBLARSKIEGO

Wprowadzenie

Konsekwencją wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 do przedsiębiorstw jest szeroko zakrojona zmiana w sposobie ich funkcjonowania, wpływająca nie tylko na wyrób, ale także cały łańcuch wartości, realizowane procesy oraz środowisko. Wyzwaniem jest połączenie przestrzeni fizycznej ze światem cyfrowym [1].

Przy wprowadzaniu inteligentnych systemów produkcji nie ma jednego rozwiązania i istnieje potrzeba oceny potrzeb biznesowych każdej firmy produkcyjnej oraz czynników konkurencyjności, aby zidentyfikować potencjalne rozwiązania, które są testowane i rozwijane w środowisku produkcyjnym. Rozwój i wdrażanie inteligentnych systemów produkcji w MŚP jest szczególnie trudne, ponieważ dysponują one mniejszymi zasobami, zarówno pod względem siły roboczej, czasu, jak i kapitału, które można zainwestować w testowanie, rozwój i wdrażanie rozwiązań z zakresu inteligentnej produkcji. Technologią, która umożliwi pokonanie wyżej wymienionych barier, jest cyfrowy bliźniak [1].

Zastosowanie nowoczesnych programów do projektowania i symulacji ma na celu opracowywanie wydajnych urządzeń z uwzględnieniem ich wymiarowania (dostosowanie do warunków przestrzennych), funkcjonalności oraz symulacji procesów produkcyjnych przewidzianych do realizacji na tym urządzeniu.

W artykule przedstawiono zastosowanie oprogramowania do prototypowania maszyn. Wykorzystane oprogramowanie umożliwiło wykonanie prototypu, symulacji przestrzennej oraz procesu produkcyjnego przewidzianego do realizowania na zaprojektowanym urządzeniu.

Nowe technologie dla przemysłu

W ostatnich latach obserwowany jest gwałtowny wzrost zapotrzebowania konsumentów na innowacje produktowe. Innowacje zmuszają firmy do skracania cyklu życia produktów, tym samym wymuszając na nich częste wprowadzanie nowego, bardziej zróżnicowanego asortymentu uzależnionego od chwilowej potrzeby klienta.

Radzenie sobie z rosnącym tempem wdrażania innowacji produktowych jest samo w sobie wyzwaniem, ale firmy produkcyjne muszą również zmierzyć się z obciążeniami, jakie to powoduje dla ich bieżących i przyszłych operacji produkcyjnych. W związku z tym przedsiębiorstwa poszukują nowych technologii produkcji, w tym głównie prowadzących do digitalizacji procesów. W rezultacie obserwujemy obecnie rozwój nowych technologii, które mają na celu spełnienie wizji zgodnych z koncepcją Przemysłu 4.0 [2].

Wraz z nastaniem czwartej rewolucji przemysłowej wielu ekspertów z różnych obszarów zawodowych i nauki proponuje swoją koncepcję tego, które konkretne technologie charakteryzują i determinują spełnianie założeń Przemysłu 4.0 [5, 6, 7].

W 2015 r. Boston Consulting Group opracowało listę dziewięciu technologii wykorzystywanych w Przemysle 4.0 [8]:

- 1) roboty autonomiczne,
- 2) analiza Big Data,
- 3) symulacje,
- 4) rozszerzona rzeczywistość,
- 5) produkcja addytywna – 3D,
- 6) chmury obliczeniowe,
- 7) cyberbezpieczeństwo,
- 8) horyzontalna i wertykalna integracja systemu,
- 9) przemysłowy Internet rzeczy.

Jednakże do powyższej listy należy podchodzić z rezerwą, gdyż zgodnie z powszechną zasadą cyklu życia technologii, jest ona wymyślana, dostosowywana, wdrażana, a następnie zastępowana przez nowsze rozwiązanie. Wraz z nastaniem ery Przemysłu 4.0 doświadczamy dynamicznego wzrostu innowacyjności technologii produkcyjnych, czego efektem jest strumień nowych technologii określanych jako inteligentne. Ten strumień trwa nieprzerwanie do dziś, a więc stale przynosi nowe innowacje technologiczne. Zestawienie nadchodzących, obecnych i gotowych do wdrożenia technologii jest prezentowane przez Gartnera w corocznie aktualizowanym raporcie Gartner Hype Cycle [9]. Raport ten identyfikuje trzy kolejne technologie, które pojawiły się w 2022 r. na świecie:

- 1) ewoluujące/rozwijające się doświadczenia immersyjne,
- 2) przyspieszona automatyzacja sztucznej inteligencji (SI),
- 3) optymalizacja pracy technologii.

Wyżej wymienione pojęcia są obecnie w fazie rozwijania i dlatego same pojęcia są jeszcze mało znane. Jednakże rozwiązania, które wykorzystują, funkcjonują w przestrzeni od kilku lat.

Ewoluuujące/rozwijające się doświadczenia immersyjne to technologie, które zapewniają osobom fizycznym większą kontrolę nad ich tożsamością i danymi oraz rozszerzają zakres doświadczeń na wirtualne miejsca i ekosystemy. Technologie te zapewniają również nowe sposoby dotarcia do klientów w celu wzmocnienia lub otwarcia nowych strumieni przychodów. Założenie to realizowane ma być m.in. przez stworzenie Cyfrowego Bliźniaka Klienta (DToC – Digital Twin of the Customer). DToC jest podstawowym narzędziem tej technologii. Cyfrowy Bliźniak Klienta to dynamiczna wirtualna reprezentacja klienta, która symuluje i uczy się naśladować i przewidywać jego zachowania. Może być wykorzystywany do modyfikowania i wzmacniania doświadczeń klienta oraz wspierania nowych działań digitalizacyjnych, produktów, usług i możliwości. Wprowadzenie DToC zajmie od 5 do 10 lat i będzie miało transformacyjny wpływ na organizację [9]. Inne istotne narzędzia kluczowe dla tej technologii to:

- a) zdecentralizowana tożsamość (DCI – Decentralized Identity) pozwala podmiotowi, przede wszystkim użytkownikowi ludzkiemu, kontrolować własną tożsamość cyfrową poprzez wykorzystanie technologii, takich jak blockchain;
- b) cyfrowi ludzie (DH – Digital Humans) to interaktywne, sterowane przez sztuczną inteligencję jednostki, które mają niektóre cechy, osobowość, wiedzę i sposób myślenia człowieka;
- c) wewnętrzne rynki talentów (Internal talent marketplaces) dopasowują pracowników wewnętrznych, a w niektórych przypadkach pulę pracowników tymczasowych, do projektów o określonym czasie realizacji i różnych możliwościach pracy, bez konieczności angażowania rekrutera;
- d) metaverse to zbiorowa wirtualna trójwymiarowa przestrzeń współdzielona, powstała w wyniku konwergencji wirtualnie wzbogaconej rzeczywistości fizycznej i cyfrowej. Metawersja jest trwała i zapewnia zwiększone doświadczenie;
- e) token niefunkcjonalny (NFT – Non-Fungible Token) to unikalne programowalne narzędzie cyfrowe oparte na technologii blockchaine, które publicznie potwierdza własność aktywów cyfrowych, takich jak obrazy cyfrowe lub muzyka, lub aktywów fizycznych, które są „tokenizowane” i mogą to być domy, samochody lub dokumenty;
- f) superapp to złożona aplikacja mobilna zbudowana jako platforma do dostarczania modułowych mikroaplikacji, które użytkownicy mogą aktywować w celu uzyskania spersonalizowanych doświadczeń do pracy z konkretną aplikacją;
- g) Web3 to nowa grupa narzędzi informatycznych do tworzenia zdecentralizowanych aplikacji internetowych, które umożliwiają użytkownikom kontrolę nad własną tożsamością i danymi.

Przyspieszona automatyzacja sztucznej inteligencji (SI) jest niezbędnym sposobem na ewolucję produktów, usług i rozwiązań. Oznacza to przyspieszenie tworzenia specjalistycznych modeli SI. Narzędzia te dopuszczają zastosowanie SI do rozwoju i szkolenia modeli, a następnie wdrożenia ich do dostarczania produktów, usług i rozwiązań. Zastosowanie tych narzędzi umożliwia prowadzenie dokładniejszych przewidywań, a tym samym podejmowania szybkich i korzystnych decyzji. Dzięki tym narzędziom rola człowieka skupia się bardziej na byciu konsumentem, który ocenia i nadzoruje. Jednym z narzędzi obejmujących tę grupę technologii jest System Autonomiczny. Są to samoorganizujące się systemy fizyczne lub programowe, wykonujące zadania związane z domeną, które wykazują podstawowe cechy, takie jak autonomię i uczenie się. Kiedy tradycyjne techniki SI nie są w stanie osiągnąć adaptacyjności, elastyczności i zwinności biznesu, systemy autonomiczne mogą z powodzeniem pomóc w implementacji. Systemy autonomiczne będą potrzebowały od 5 do 10 lat na pełną implementację [9]. Inne istotne narzędzia kluczowe dla tej technologii to:

- a) przyczynowa sztuczna inteligencja (C-AI – Causal Artificial Intelligence) identyfikuje i wykorzystuje związki przyczynowo-skutkowe, tak aby wyjść poza modele predykcyjne oparte na korelacji w kierunku systemów SI, które mogą skuteczniej przewidywać działania i działać w sposób bardziej autonomiczny;
- b) modele podstawowe (Foundation models) to modele oparte na architekturze transformatorowej, takie jak duże modele językowe, które ucieleśniają rodzaj architektury głębokiej sieci neuronowej, która oblicza numeryczną reprezentację tekstu w kontekście otaczających słów, podkreślając sekwencje słów;
- c) projektowanie generatywne sztucznej inteligencji (Generative design AI) lub projektowanie wspomagane przez sztuczną inteligencję to wykorzystanie technologii SI, uczenia maszynowego (ML – Machine Learning) i przetwarzania języka naturalnego (NLP – Natural Language Processing) do automatycznego generowania i opracowywania przepływów realizowanych przez użytkownika, takich jak: projekty, treści i kody istotne dla produktów cyfrowych;
- d) narzędzia do generowania kodu (Machine Learning Code Generation Tools) oparte na uczeniu maszynowym obejmują modele Uczenia Maszynowego przechowywane w chmurze, które podłącza się do profesjonalnych zintegrowanych środowisk programistycznych będących rozszerzeniami zapewniającymi sugerowany kod na podstawie opisów w języku naturalnym lub częściowych fragmentów kodu.

Optymalizacja pracy technologii to zestaw narzędzi, które skupiają się na kluczowych elementach budowy cyfrowego biznesu: społecznościach budujących produkty, usługi lub rozwiązania (jak zespoły fuzji) oraz platformach, z których korzystają. Narzędzia te zapewniają informacje zwrotne, które optymalizują i przyspieszają dostarczanie produktów, usług i rozwiązań oraz zwiększają trwałość operacji biznesowych.

Ekosystemy danych w chmurze stanowią przykład zoptymalizowanego dostarczania technologii. Zapewniają one spójne środowisko zarządzania danymi, które sprawnie obsługuje cały zakres obciążeń związanych z danymi, od eksploracji danych naukowych po produkcyjne hurtownie danych. Ekosystemy danych w chmurze zapewniają usprawnione dostawy i kompleksową funkcjonalność, która jest prosta do wdrożenia, optymalizacji i utrzymania. Ich przyjęcie do głównego nurtu potrwa od 2 do 5 lat i będzie bardzo korzystne dla użytkowników [9]. Inne istotne narzędzia kluczowe dla tej technologii to:

- a) zrównoważony rozwój w chmurze (Cloud Sustainability) – wykorzystanie usług realizowanych w chmurze danych w celu osiągnięcia korzyści związanych ze zrównoważonym rozwojem w ramach systemów gospodarczych, środowiskowych i społecznych;
- b) computational storage (CS) odciąża przetwarzanie hosta z pamięci głównej jednostki centralnej (CPU – Central Processing Unit) do urządzenia pamięci masowej;
- c) architektura siatki bezpieczeństwa cybernetycznego (CSMA – Cybersecurity Mesh Architecture) – nowo powstające podejście do architektury kompozytowych, rozproszonych kontroli bezpieczeństwa, które poprawiają ogólną skuteczność bezpieczeństwa sieciowego;
- d) dynamiczne zarządzanie ryzykiem (DRG – Dynamic Risk Governance) – nowe podejście do krytycznego zadania, jakim jest zdefiniowanie ról i odpowiedzialności w zarządzaniu ryzykiem. DRG dostosowuje zarządzanie ryzykiem odpowiednio do każdego ryzyka, umożliwiając organizacjom lepsze zarządzanie ryzykiem i obniżenie kosztów realizacji działań.

Przytoczone powyżej technologie są przyszłością przemysłu, która nadejdzie szybciej, niż wielu sceptykom się wydaje. Na tę chwilę ciężko przewidzieć, czy wszystkie z wyżej wymienionych narzędzi zostaną w pełni zaimplementowane do przemysłu i tym samym wprowadzą go w erę Industry 5.0. Pewne natomiast jest to, że nowoczesne technologie są szansą dla przedsiębiorstw na ograniczenie kosztów przy jednoczesnym generowaniu innowacyjnych produktów, procesów i usług.

Cyfrowy bliźniak

Czwarta rewolucja przemysłowa wiąże się z zaawansowaną transformacją technologiczną. Jest połączeniem nowoczesnych technologii i interakcji cyberfizycznych [1]. Konsekwencją wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0 do przedsiębiorstw jest szeroko zakrojona zmiana w sposobie ich funkcjonowania, wpływająca nie tylko na wyrób, ale także cały łańcuch wartości, realizowane procesy oraz środowisko. Wyzwaniem jest

połączenie przestrzeni fizycznej ze światem cyfrowym. Technologia, która umożliwia taką integrację, jest cyfrowy bliźniak [1].

Cyfrowy bliźniak jest to matematyczne odwzorowanie (model matematyczny) obiektów fizycznych w warstwie wirtualnej w ramach systemów cyberfizycznych [3]. Inaczej mówiąc, digital twin to wirtualna kopia procesu, produktu lub usługi, która umożliwia ich przetestowanie przed wdrożeniem [4]. Cyfrowy bliźniak pozwala np. zbadać wydajność procesu lub produktu w zadanych warunkach. Przy użyciu wirtualnych prototypów można dokładnie prześledzić działanie dowolnego produktu, procesu lub usługi i wykryć ewentualne problemy, aby w porę wprowadzić stosowne poprawki. Ponadto technologia digital twin umożliwia szkolenie pracowników w wirtualnym środowisku z symulacją różnych niesprzyjających warunków, aby nauczyć ich odpowiedniego reagowania.

Niewątpliwą korzyścią z wprowadzenia cyfrowych bliźniaków jest [3, 4]:

- a) sprawniejsza organizacja – cyfrowe bliźniaki pozwalają zidentyfikować wąskie gardła i inne problemy obniżające wydajność pracy;
- b) zapobieganie błędom – cyfrowe bliźniaki pozwalają w porę dostrzec ewentualne problemy i uniknąć późniejszych przestoju w pracy, które mogłyby narazić firmę na straty finansowe i wizerunkowe (analiza predykcyjna działalności);
- c) kontrola zapasów – dzięki digital twin można sprawdzić, jak łańcuch logistyczny zareaguje na wahania popytu, i uniknąć braku zapasów w magazynie;
- d) oszczędność kosztów – przeprowadzenie symulacji danego scenariusza w środowisku wirtualnym zmniejsza ryzyko konsekwencji finansowych mogących powstać w efekcie wdrożenia rozwiązania bez symulacji;
- e) monitorowanie pracy – np. dzięki internetowi rzeczy (IoT) wszystkie nowoczesne urządzenia działające w magazynie mogą na bieżąco przysyłać do odpowiednich systemów ogromne ilości danych (big data) pozwalających kontrolować działanie łańcucha logistycznego.

Wykorzystanie tych zalet stanowi nowość w działalności takiej jak projektowanie maszyn, szczególnie w obecnej rzeczywistości permanentnego braku zasobów, wysokich kosztów materiałów i pracy ludzkiej.

Oprogramowanie Siemens NX

Oprogramowanie Siemens NX – to system CAD/CAM/CAE nowej generacji, ułatwiający przeprowadzenie procesów rozwoju produktu na każdym etapie cyklu jego życia [11]. Dzięki szerokiemu pakietowi aplikacji CAD/CAM/CAE system NX udostępnia jednolity pakiet narzędzi, które można wykorzystać do projektowania, analiz inżynierskich i symulacji oraz wspomagania procesów produkcji z zastosowaniem optymalnych

procedur. Produkt NX zawiera wyspecjalizowane zestawy narzędzi, m.in.: wzornictwa przemysłowego i stylizacji, projektowania opakowań, projektowania mechanicznego, projektowania systemów elektromechanicznych, symulacji mechanicznych i elektromechanicznych, projektowania narzędzi i wyposażenia stałego, wytwarzania, zarządzania procesami inżynierskimi, programowania maszyn pomiarowych, projektowania maszyn [12]. Kompleksowe rozwiązanie do mechanicznego projektowania – NX – pozwala na wybór odpowiednich narzędzi i metody postępowania do określonego zadania projektowego. NX pozwala na pracę na danych przeniesionych bezpośrednio z innych systemów CAD, zapewniając wyjątkowe środowisko do projektowania zespołów [11, 12].

Dodatkowo moduły wspierające procesy produkcyjne pozwalają na znacznie szybszą pracę niż w przypadku zastosowania narzędzi CAD przeznaczonych do ogólnych celów, a przykładem mogą być: tworzenie form wtryskowych oraz tłoczników wielotaktowych. NX podnosi wydajność i obniża koszty nie tylko projektowania, ale również wszystkich etapów rozwoju produktu [11]. NX integruje procesy CAD z procesami planowania oraz produkcji, umożliwiając szybsze podejmowanie właściwych decyzji projektowych, uwzględniających możliwości produkcji. NX umożliwia automatyzację i uproszczenie projektowania dzięki wykorzystaniu danych produktowych i procesowych pochodzących z doświadczenia firm oraz najlepszych praktyk obowiązujących w danej branży [12]. NX zawiera narzędzia wykorzystywane przez projektantów do gromadzenia danych i użycia ich wielokrotnie w powtarzalnych zadaniach. Dzięki temu następuje redukcja kosztów i czasu oraz poprawa jakości [11, 12].

Studium przypadku

Potrzebą badawczą było sprawdzenie zachowania się nowo projektowanej maszyny dla dużego koncernu meblowego. Zadania realizacji projektu podjęła się firma projektowa zajmująca się prototypowaniem, konstruowaniem i wykonaniem zaawansowanych technologicznie maszyn i urządzeń. W celu ograniczenia kosztów związanych z prototypem postanowiono zakupić oprogramowanie umożliwiające nie tylko przeanalizowanie problemu lub opracowanie prototypu, ale także posiadające funkcje umożliwiające zaprezentowanie potencjalnym klientom wstępnej wizualizacji projektowanego procesu. Złożoność projektu i jego zaawansowanie spowodowało, że działanie było przez klienta w realizacji od pięciu lat. Zdiagnozowane problemy z realizacją projektu skupiały się na rozwiązaniu czterech kluczowych wyzwań:

- 1) ograniczone miejsce,
- 2) brak wiedzy, jak zachowa się produkt, gdyż było to pierwsze rozwiązanie tego typu,
- 3) wydajność zakładana przez klienta,

4) potrzeba wykonania symulacji w celu potwierdzenia wysuniętych założeń oraz sprawdzenia proponowanych rozwiązań.

Na etapie przygotowania do realizacji zauważono, że podstawowym wyzwaniem było wykonanie określonych operacji nie na jednym elemencie, ale na zbudowaniu maszyny o możliwościach przeobrażania produkcji pomiędzy różnymi wymiarami, zachowując wydajność i stabilną pracę. Jest to pierwsze rozwiązanie tego typu i predykcja zachowania się materiału podczas operacji nie była możliwa. Zespół projektowy, już na etapie koncepcyjnym, analizował możliwe scenariusze, które zredukują koszty realizacji do absolutnego minimum. Analizując koszty, które mogła przynieść porażka w założeniach lub rozwiązaniach, oraz kalkulując zyski i straty, firma zdecydowała się na zakup oprogramowania do symulacji. Na rynku funkcjonuje kilku liczących się dostawców oprogramowania do symulacji. Zespół projektowy opracował krótką listę istotnych cech poszukiwanego produktu i były to:

- a) łatwość uruchomienia modelu,
- b) możliwość integracji modelu z innych programów do modelowania 3D,
- c) wsparcie techniczne.

Analizując odpowiedzi na powyższe kryteria, zdecydowano się na zakup oprogramowania Siemens NX. Łatwość uruchomienia modelu zapewniona została przez środowisko NX MCD, które jest produktem firmy Siemens. Wykorzystywane przez firmę maszyny programowane są głównie na sterownikach PLC i komponentach tego producenta. Dlatego też można bardzo łatwo programować model w świecie wirtualnym, dzięki czemu programiści firmy projektowej mogą testować rozwiązania, zanim trafią one do produkcji. Oczywiście samo oprogramowanie pozwala wykonać symulację samo w sobie bez udziału PLC, ale ze sterownikiem jest o wiele prościej. Siemens NX MCD współpracuje również z innymi komponentami, ale należy w tym celu przygotować biblioteki.

Kolejnym argumentem przemawiającym za oprogramowaniem Siemens NX w zakresie możliwości integracji modelu z innych programów do modelowania 3D było to, że w firmie projektowej konstruktorzy pracują na oprogramowaniu SOLID WORKS, więc ich projekty zapisywane są w innym formacie, jednakże NX pozwala na import plików STP, co umożliwia wykonywanie symulacji modeli projektowanych w innych środowiskach.

Istotnym argumentem okazało się wsparcie techniczne, którego firmie konstrukcyjnej udzieliło przedsiębiorstwo KS Industry Solutions z Gliwic. Firma gwarantuje 100% wsparcia oraz blisko współpracuje z pracownikami Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego, którzy chętnie angażują się w realizację działań z przemysłem.

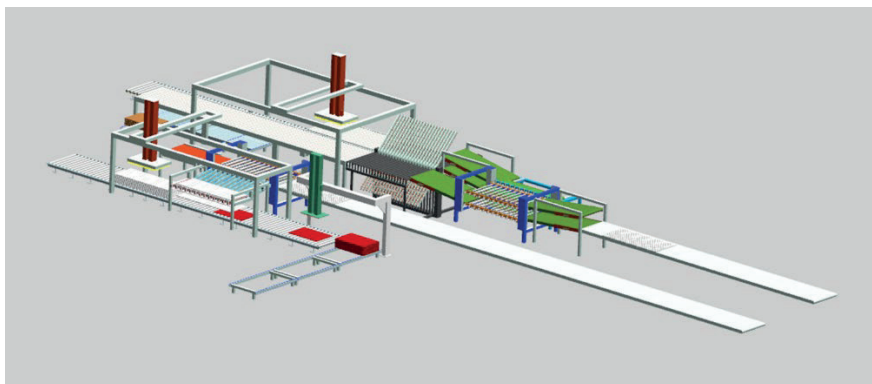
Ustalono harmonogram prac projektowych, który przedstawiony jest na rysunku 1.



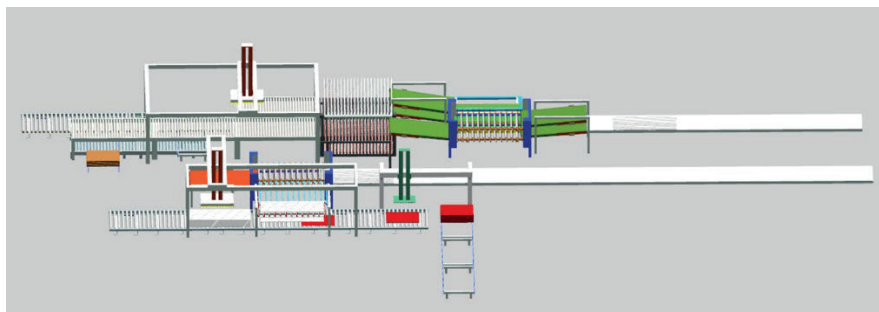
Rys. 1. Harmonogram projektu [oprac. własne]

Realizacja prac projektowych i obecne prace

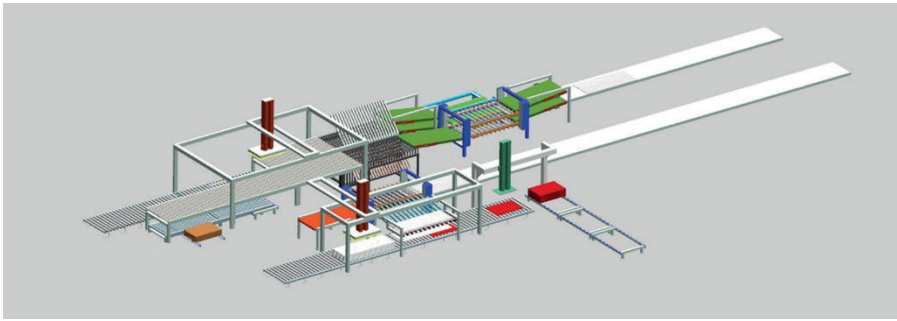
Postępując zgodnie z założonym harmonogramem po zdefiniowaniu potrzeb i wymagań klienta, zespół opracował koncepcję rozwiązania oraz wykonał prosty model 3D (rys. 2, 3, 4 i 5).



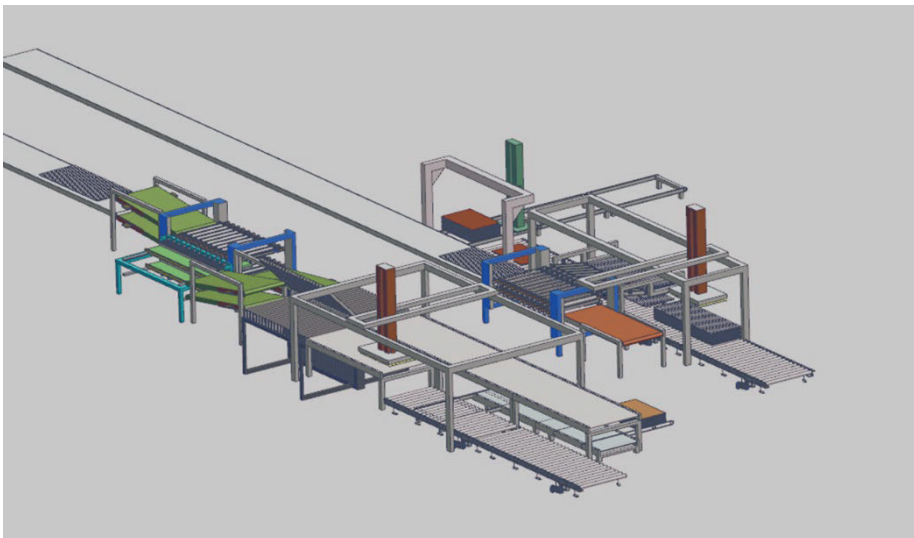
Rys. 2. Model 3D projektowanej linii produkcyjnej [oprac. projektowe własne]



Rys. 3. Model 3D projektowanej linii produkcyjnej [oprac. projektowe własne]



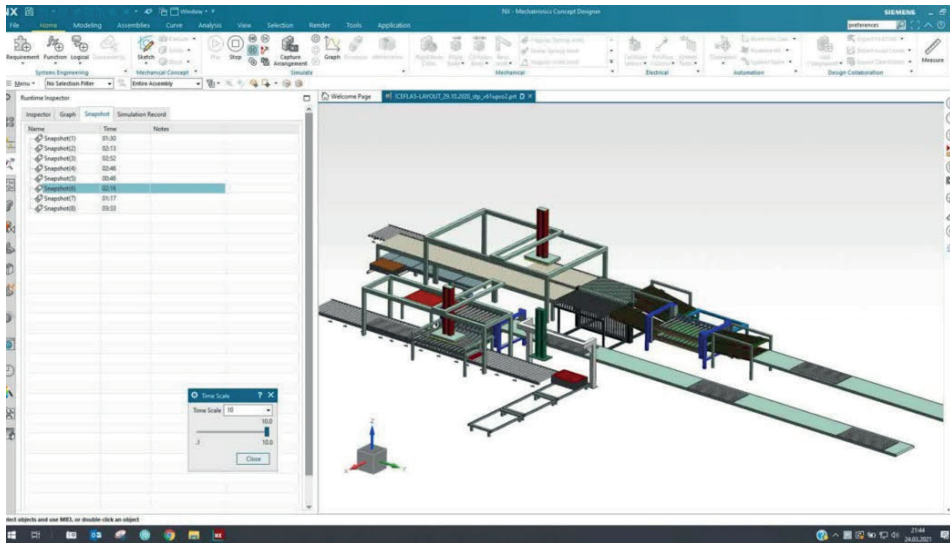
Rys. 4. Model 3D projektowanej linii produkcyjnej [oprac. projektowe własne]



Rys. 5. Model 3D projektowanej linii produkcyjnej [oprac. projektowe własne]

Następnym krokiem było przerzucenie statycznych modeli w 3D do oprogramowania Siemens NX i wykonanie dynamicznej prezentacji oraz rozpoczęcie testów w rzeczywistości wirtualnej (VR – Virtual Reality).

Pozytywny przebieg testów cyfrowego bliźniaka projektowanej linii (z uwzględnieniem analizy kosztów wytworzenia, wydajności i sprawności nowego procesu produkcyjnego) sprawił, że inwestor zdecydował się na urealnienie projektu i wydał zgodę na rozpoczęcie budowy rzeczywistego zestawu urządzeń. Obecnie trwają prace wykonawcze w siedzibie inwestora.



Rys. 6. Dynamiczny Model 3D projektowanej linii produkcyjnej wykonany w oprogramowaniu Siemens NX [oprac. projektowe własne]

Podsumowanie

Wytwarzanie produktów ewoluowało w ostatnich latach od produkcji masowej do produkcji na zamówienie. Dlatego też optymalizacja wykorzystania zasobów pozostaje wyzwaniem dla organizacji. Procesy technologiczne, które składają się na cały proces produkcyjny, zachodzą w przestrzeni produkcyjnej z wykorzystaniem maszyn i urządzeń. To właśnie w przestrzeni produkcyjnej zwiększone tempo innowacji produkcyjnych oraz wpływ opisanych powyżej wyzwań naprawdę objawiają się jako wyzwanie dla zastosowania najlepszych praktyk.

W poszukiwaniu tych praktyk fabryka jest również miejscem, w którym nowe technologie i digitalizacja mają mieć największy wpływ, skutecznie przekształcając fabryki w inteligentne fabryki. Inteligentna fabryka jest zatem rozszerzeniem tradycyjnej fabryki z szeroką digitalizacją umożliwiającą działanie oparte na danych. Jednak najnowsza definicja inteligentnej fabryki stwierdza, że prawdziwie inteligentna fabryka musi również uwzględniać wymagania i potrzeby społeczeństwa, w którym funkcjonuje [2]. Zespół naukowców pod przewodnictwem C. Shou definiuje inteligentną fabrykę jako fabrykę, która poprzez połączenie swoich aktywów w cyfrowy ekosystem wykorzystuje informacje w celu dostosowania, prowadzenia i optymalizacji swoich działań zgodnie z rzeczywistymi warunkami biznesowymi, tym samym generując i przywłaszczając wartość biznesową, jednocześnie odzwierciedlając wymagania społeczne [10].

W publikacji zaprezentowano przegląd nowych technologii wykorzystywanych w przemyśle oraz wskazano na kierunki rozwoju, które będą stanowiły o przewadze konkurencyjnej danego przedsiębiorstwa. Sukces osiągnięty przez zespół projektowy dzięki wykorzystaniu oprogramowania symulacyjnego jest dowodem na to, że nowe narzędzia są zgodne z założeniami ciągłego rozwoju poprzez kreowanie innowacyjnych produktów i procesów z jednoczesnym uwzględnieniem koncepcji zrównoważonej gospodarki.

Literatura

- [1] Litwin J., Szymusik A. (2020). *Kształcenie inżynierów na potrzeby Przemysłu 4.0: wykorzystanie symulacji w inżynierii przemysłowej*, [w:] *Edukacja w XXI wieku: teoria i metody badawcze*, red. M. Śliwa, E. Chodźko, Lublin, s. 124-134.
- [2] Madsen O., Berger U., Møller Ch., Heidemann Lassen A., Vejrum Waehrens B., Schou C. (2023). *The Future of Smart Production for SMEs A Methodological and Practical Approach Towards Digitalization in SMEs*, Springer.
- [3] <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/digital-twin/> [dostęp: 10.02.2023].
- [4] <https://www.mecalux.pl/blog/digital-twin> [dostęp: 4.10.2021].
- [5] Sikandar H., Vaicondam Y., Khan N., Qureshi M.I., Ullah A. (2021). *Scientific mapping of industry 4.0 research: A bibliometric analysis*, „International Journal of Interactive Mobile Technologies”, 15(18), s. 129-147.
- [6] Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021). *Industry 4.0 and Industry 5.0 –Inception, conception and perception*, „Journal of Manufacturing Systems”, t. 61, s. 530-535.
- [7] Flores E., Xu X., Lu Y. (2020). *Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0*, „Journal of Manufacturing Technology Management”, 31 (4), s. 687-703.
- [8] Russmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M. (2015). *Industry 4.0 – The future of productivity and growth in manufacturing industries*, The Boston Consulting Group.
- [9] *Gartner hype cycle for emerging technologies 2022*, Gartner <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> [dostęp: 3.03.2023].
- [10] Schou C., Colli M., Berger U., Lassen A.H., Madsen O., Møller C., Waehrens B. V. (2022). *Deconstructing industry 4.0: Defining the smart factory*, Towards sustainable customization: Bridging smart products and manufacturing systems, Springer International Publishing.
- [11] <https://ks-iss.com/> [dostęp:15.11.2022].
- [12] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/> [dostęp: 15.11.2022].

Eryk Szwarz

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr8

PROBLEM PLANOWANIA ROTACYJNEGO PRZYDZIELANIA ZADAŃ PRZY OGRANICZENIACH UTRZYMANIA KOMPETENCJI

Wprowadzenie

Zasoby ludzkie mają kluczowe znaczenie dla skutecznego i zrównoważonego zarządzania operacjami w sektorach wymagających wiedzy [13, 22]. Aby utrzymać konkurencyjną pozycję w szybko zmieniających się warunkach, organizacje poszukują sposobów na utrzymanie kompetencji personelu poprzez unikanie zbędnych kosztów szkoleń. W niniejszym opracowaniu skupiono się na wszechstronnie wykwalifikowanej kadrze akademickiej i utrzymywaniu jej kompetencji poprzez rotację przydzielanych kursów dydaktycznych. Kompetencje definiowane są jako zestaw wiedzy, doświadczenia i umiejętności, które są niezbędne do przeprowadzenia określonego zestawu kursów. Strukturę kompetencji zespołu tworzą indywidualne kompetencje każdego członka zespołu [28].

Należy zauważyć, że w praktyce plan realizacji kursów może zostać zakłócony m.in. przez: absencję pracowników (zwolnienia chorobowe, wypadki itp.), utratę kwalifikacji, rozwiązanie stosunku pracy. W efekcie pracodawca może być zmuszony do zatrudniania nauczycieli zastępczych na zasadzie *ad hoc*. Aby uchronić organizację przed skutkami ww. zakłóceń, można zastosować metody wspomagania decyzji oraz rozwiązania informatyczne. Rozwiązania te wspierają decydentów w planowaniu struktur kompetencji, które umożliwiają realizację zaplanowanych działań pomimo pojawiających się zakłóceń [5].

Dotychczasowe badania dotyczyły budowy takich struktur kompetencji, które gwarantują realizację kursów w warunkach statycznych [2] oraz dynamicznych, tzn.

z uwzględnieniem możliwości wystąpienia zakłóceń, np. absencji nauczycieli [29]. Założenia opracowanych modeli przewidują nabywanie kompetencji bez jednoczesnej ich utraty. Jednak jak pokazuje praktyka, niewykorzystywane kompetencje zanikają (dochodzi do utraty umiejętności, wiedzy itp.) [10]. Utrata kompetencji może powodować zmiany w strukturze kompetencji, a tym samym obniżać odporność uczelni na absencję nauczycieli. W rezultacie może to prowadzić do osłabienia kompetencji nauczycieli i dodatkowych kosztów szkolenia i/lub zatrudniania personelu. Szczególne wyzwania w tym zakresie wiążą się z racjonalnym wykorzystaniem doświadczonej kadry, której członkowie są kompetentni do prowadzenia wielu różnych kursów. Harmonogramy prowadzone przez tak doświadczoną kadrę powinny gwarantować cykliczną rotację prowadzonych zajęć, unikając w ten sposób efektu zapomnienia.

Celem rozdziału jest sformułowanie problemu planowania rotacyjnego przydzielania zadań gwarantującego utrzymanie kompetencji kadry pracowniczej na wymaganym poziomie. Zaproponowano nowe proaktywne podejście do planowania alokacji personelu z uwzględnieniem efektu zapomnienia. W następnym punkcie omówiono badania związane z przydziałem pracy i planowaniem personelu z uwzględnieniem efektu uczenia i zapomnienia. W podrozdziale *Utrzymanie poziomu kompetencji* zilustrowano przykład planowania przydziału nauczycieli. Natomiast w następnym punkcie przedstawiono uniwersyteckie studium przypadku. Kierunki przyszłych badań scharakteryzowano w ostatnim punkcie.

Stan badań

Literatura przedmiotu koncentruje się na tematach dotyczących zagadnień związanych z planowaniem personelu i alokacją zadań [31], określając przez jakiego pracownika, w jakim czasie i jak długo zadania powinny być wykonywane [23]. Przeplatające się problemy harmonogramowania i przydziału polegają na przydzielaniu pracowników o różnych kompetencjach do czynności realizowanych w zadanych przedziałach czasowych. Oba problemy są kombinatorycznie NP-trudne [28]. Z tego powodu w sytuacjach, w których wymagane są dokładne rozwiązania, stosowane są metody, takie jak mieszane programowanie liniowe całkowitoliczbowe [16], programowanie z ograniczeniami, ale ich implementacja ogranicza się w praktyce do problemów małej skali. W przypadku problemów o większej skali wymagane jest zastosowanie metod sztucznej inteligencji, zwłaszcza opartych na algorytmach genetycznych [3], a także technik stochastycznych i rozmytych [9, 19].

Dynamiczny charakter przydziału pracy (opóźnienia, choroby pracowników, zmiana przepisów itp.) wymusza dużą szybkość reakcji i elastyczność. W takich okolicznościach

decydenci muszą być w stanie przewidzieć zakłócenia, takie jak absencje pracowników (zwolnienia, wypadki, urlopy macierzyńskie itp.), utrata kwalifikacji (związana z wystąpieniem efektu zapomnienia, koniecznością aktualizacji zaświadczeń, np. świadectwa pracy, prawa jazdy, uprawnienia wykonywania zawodu), zmiany struktury czynności (spowodowane dodaniem nowych lub usunięciem aktualnie obsługiwanych zleceń) itp. Stosowane techniki związane z ochroną organizacji przed skutkami takich zakłóceń zakładają, że organizacja powinna wykazywać redundantne zasoby ludzkie. Niestety, nadal brak jest w tym obszarze rozwiązań wspierających decydentów w planowaniu struktur kompetencji, które mogą zagwarantować realizację zaplanowanych zleceń w dynamicznie zmieniających się warunkach ich realizacji.

W tym kontekście obiecujące rozwiązania daje podejście oparte na proaktywnej alokacji personelu. Dotyczy to koncepcji odporności struktury kompetencji [5] z predefiniowanymi cechami umiejętności pracowników i cechami organizacji (np. portfolio projektów). Struktura kompetencji, czyli macierz kompetencji (umiejętności) [25], jest wykorzystywana jako narzędzie do specyfikacji i wizualizacji umiejętności personelu. We wcześniejszych pracach [28, 29] wykazano, że takie macierze, oprócz opisu kompetencji personelu, mogą być również wykorzystywane do identyfikacji potrzeb w zakresie podnoszenia kwalifikacji i zwiększania produktywności organizacji. Z powodzeniem można je wykorzystać do oceny odporności zespołów pracowniczych na zakłócenia spowodowane absencją i/lub pojawieniem się nieoczekiwanych zadań. Ilościowa miara odporności struktury kompetencji określa, czy personel organizacji jest w stanie podjąć dodatkowe obowiązki (zastępstwa) w przypadku nieobecności określonej liczby pracowników lub w przypadku dodania dodatkowych zadań do aktualnego harmonogramu. Zatrudnianie personelu w celu zwiększenia odporności na tego typu zakłócenia jest ograniczone występowaniem efektu zapomnienia [15], który wymusza rotację personelu.

Efekt zapomnienia wywodzi się z modelu krzywej uczenia się [10]. Znalazł on zastosowanie w branżach: motoryzacyjnej [32], maszynowej [30], elektronicznej [33] oraz budowlanej [20]. W pracy [18] opracowano model krzywej uczenia się zapomnienia (LFCM). Model ten zakłada, że tempo zapomnienia zależy od szybkości uczenia się, minimalnej przerwy produkcyjnej, po której następuje całkowite zapomnienie oraz ilości zgromadzonego doświadczenia, jakie operator posiada na początku przerwy. Analizę porównawczą LFCM z innymi modelami, takimi jak RC (Recency) i PID (Power Integration Diffusion), można znaleźć w pracach [15, 18].

Modele uczenia się i zapomnienia znalazły zastosowanie w przydzielaniu pracy [14, 24]. Zakładają, że przerwy w wykonywaniu pracy (w zależności od przyjętego współczynnika zapomnienia) wydłużają czas jej trwania. Należy zauważyć, że w problemie

przydziału nauczycieli przerwy w realizacji poszczególnych kursów nie wydłużają czasu ich trwania. Zamiast tego, nieciągłość (nieregularność) w prowadzeniu poszczególnych kursów powoduje częściową lub całkowitą utratę kompetencji, co może wpływać na odporność struktury kompetencji na wybrane zakłócenia, co opisano we wcześniejszych badaniach [5, 28].

Literatura wskazuje, że przezwyciężenie efektu zapomnienia polega na konieczności ponownego wykonywania czynności (forma powtórzenia/utrwalenia wiedzy i umiejętności), co pozwala na utrzymanie kompetencji na wymaganym poziomie. Stwierdzenie to zbiega się ze znaną metodą rotacji stanowisk, której istota sprowadza się do ustrukturyzowanej wymiany pracowników pomiędzy różnymi stanowiskami pracy w określonych odstępach czasu. Wiele pracy poświęca się badaniom w tym zakresie [3, 1, 7, 26]. Wynika to z obserwacji, które wskazują na korzyści płynące z rotacji pracy i obejmują m.in. zwiększenie produktywności w następstwie zdobytych umiejętności i wiedzy [8], a także rozwój kwalifikacji pracowników poprzez gromadzenie nowych doświadczeń [6]. Niestety, ze względu na wspomniany efekt zapomnienia, poszerzenie zakresu kompetencji wymaga systematycznego odświeżania wiedzy i umiejętności. W praktyce oznacza to konieczność, podobnie jak w środowisku przemysłowym, wprowadzenia odpowiednich mechanizmów utrzymania zasobów [12]. Odnosząc to skojarzenie do środowiska akademickiego, łatwo zauważyć, że utrzymanie kompetencji pozwalających wykładowcy na prowadzenie kilku różnych kursów wymaga ich okresowego powtarzania (aktualizacji). Wiąże się to z koniecznością ustalenia harmonogramów (rozkładów) cyklicznej rotacji prowadzonych kursów. Niestety, badania realizowane w obszarze utrzymania zasobów ludzkich, a w szczególności utrzymania nabytych kompetencji, są w początkowej fazie rozwoju.

Utrzymanie poziomu kompetencji

Odporność struktury kompetencji

W celu określenia czynników determinujących ocenę struktury kompetencji rozważmy przykład, w którym sześciu nauczycieli akademickich $P = (P_1, \dots, P_6)$ realizuje program akademicki Q składający się z ośmiu kursów $Z = (Z_1, \dots, Z_8)$. Kompetencje nauczyciela przedstawiono w strukturze kompetencji G (tab. 1). Wartość 1 oznacza, że pracownik ma kompetencje do przeprowadzenia kursu, a wartość 0 oznacza sytuację odwrotną. Na przykład nauczyciel P_1 może prowadzić kursy Z_2, Z_6, Z_7, Z_8 i nie może prowadzić kursów Z_1, Z_3, Z_4, Z_5 .

Tab. 1. Struktura kompetencji G [oprac. własne]

G	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8
P_1	0	0	0	0	0	1	1	1
P_2	0	0	1	1	0	0	1	0
P_3	0	1	0	0	1	0	0	0
P_4	0	0	1	1	1	0	0	0
P_5	1	0	0	0	0	1	0	1
P_6	1	1	0	0	0	0	0	0

Program Q jest powtarzany w kolejnych okresach T_i (semestrach lub latach) z założeniem:

- każdy kurs Z_i może być przydzielony tylko do jednego nauczyciela P_k w T_i ,
- każdy nauczyciel P_k prowadzi co najmniej jeden kurs Z_i w T_i .

W tabeli 2 podano przydział zajęć X . Wartość 1 oznacza przydział kursów do nauczyciela, a wartość 0 brak przydziału. Na przykład nauczyciel P_1 jest przypisany do kursu Z_8 , nauczyciel P_2 jest przypisany do kursów Z_4 i Z_7 itd.

Tab. 2. Przydział zajęć X [oprac. własne]

G	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8
P_1	0	0	0	0	0	0	0	1
P_2	0	0	0	1	0	0	1	0
P_3	0	0	0	0	1	0	0	0
P_4	0	0	1	0	0	0	0	0
P_5	1	0	0	0	0	1	0	0
P_6	0	1	0	0	0	0	0	0

Przyjmuje się, że zadanie X jest powtarzane w kolejnych okresach T_1, T_2, T_3 (rys. 1), oraz następuje zakłócenie spowodowane pojedynczą nieobecnością nauczyciela w okresie T_1 .

Wystąpienie takiego zakłócenia wymusza zastępowanie zajęć przydzielonych nieobecnym nauczycielom. Nieobecności są zwykle nieoczekiwane (nieplanowane). Oznacza to, że trudno przewidzieć, który nauczyciel będzie nieobecny i w jakim okresie. Z tego powodu konieczne jest założenie, że nieobecny może być każdy pracownik w każdym okresie. Na przykład:

- P_1 nieobecny w T_1 i konieczność zastąpienia kursu Z_8 ,
- P_3 nieobecny w T_2 i konieczność zastąpienia kursu Z_5 ,
- P_5 nieobecny w T_3 i wymaga zastąpienia za kursy Z_1 i Z_6 .

To, czy zastępstwo jest możliwe, zależy od struktury kompetencji (tab. 1), m.in.:

- w scenariuszu absencji P_1 kurs Z_8 może realizować P_5 ,
- w scenariuszu absencji P_3 kurs Z_5 może być realizowany przez P_4 ,
- w scenariuszu absencji P_5 kurs Z_1 może realizować P_6 , a kurs Z_8 może realizować P_1 .

Z_8	P_1	P_1	P_1
Z_7	P_2	P_2	P_2
Z_6	P_5	P_5	P_5
Z_5	P_3	P_3	P_3
Z_4	P_2	P_2	P_2
Z_3	P_4	P_4	P_4
Z_2	P_6	P_6	P_6
Z_1	P_5	P_5	P_5
	T_1	T_2	T_3

Rys. 1. Przydział X z tabeli 2 powtarzany w T_1, T_2, T_3 [oprac. własne]

W nawiązaniu do wcześniejszych badań [29] zdolność struktury kompetencji do radzenia sobie z zakłóceniami można ocenić miarą odporności struktury kompetencji (CSR, *competence structure robustness*), tj. stosunkiem liczby scenariuszy zakłóceń (LP), dla których struktura kompetencji G gwarantuje zastępstwo nieobecnego k -tego nauczyciela, do wszystkich możliwych scenariuszy zakłóceń (U):

$$R = \frac{LP}{U} \quad (1)$$

W omawianym przykładzie istnieje 18 możliwych scenariuszy nieobecności pojedynczego nauczyciela ($U = 18$), a dla każdego z nich istnieje zastępstwo przez innego kompetentnego nauczyciela ($LP = 18$). Zgodnie z (1) oznacza to, że CSR wynosi $R = 1$.

Prezentowany przykład zakłada, że struktura kompetencji nie zmienia się w kolejnych okresach T_i . W konsekwencji przydział X (zob. tab. 2) może być powtórzony we wszystkich kolejnych okresach T_1, T_2, T_3 (zgodnie z rys. 1). Prowadzi to do sytuacji, w której niektóre kompetencje nie są wykorzystywane (np. nauczyciel P_1 nie wykorzystuje kompetencji do kursu Z_6, Z_7 ; nauczyciel P_2 nie wykorzystuje kompetencji do kursu Z_3 itp.). W praktyce wielu nauczycieli, którzy nie prowadzą określonego kursu, po

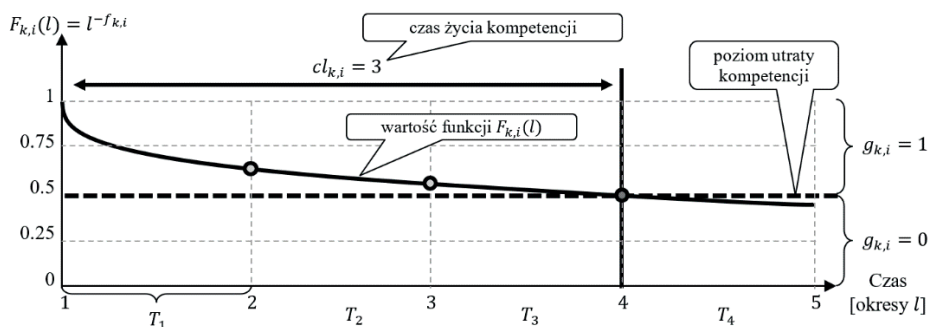
pewnym czasie traci wiedzę i umiejętności z nim związane. Innymi słowy, nauczyciele doświadczają, wspomnianego w przeglądzie literatury, efektu zapominania.

Efekt zapominania

Wprowadźmy parametr „czas życia kompetencji” oznaczony jako $cl_{k,i}$, czyli czas po jakim nauczyciel P_k traci (zapomina) kompetencje do wykonania kursu Z_i . Parametr ten jest opisany funkcją zapominania $F_{k,i}(l)$ zgodnie z [21] – zob. rys. 2:

$$F_{k,i}(l) = l^{-f_{k,i}}, \tag{2}$$

gdzie: l – liczba okresów $T_l, f_{k,i}$ – nachylenie krzywej zapominania dla nauczyciela P_k i kursu $Z_i; f_{k,i} \in \{0,1\}$.



Rys. 2. Przykład funkcji zapominania $F_{k,i}(l)$ z parametrem czasu życia kompetencji $cl_{k,i}$ [oprac. własne]

Poziom kompetencji w okresie T_l przedstawia macierz Λ^l :

$$\Lambda^l = [\lambda^l_{k,i}]_{k=1, \dots, m; i=1, \dots, n}, \tag{3}$$

gdzie: $\lambda^l_{k,i}$ – poziom kompetencji nauczyciela P_k dla kursu $Z_i; \forall_{g=1} \lambda^l_{k,i} \in \{0_{k,i}, \dots, cl_{k,i}\}$ i $\forall_{g_{k,i}=0} \lambda^l_{k,i} = \emptyset$ (brak kompetencji).

Kompetencje można „odświeżać”, realizując kursy z nimi związane (po wykonaniu zadania: $\lambda^l_{k,i} = cl_{k,i}$). W ogólności powinno się odświeżać częściej, niż jest to określone przez czas życia $cl_{k,i}$. Dla przykładu założmy, że dla każdego k -tego nauczyciela i każdego i -tego kursu czas życia kompetencji $cl_{k,i} = 2$. Harmonogram z rysunku 1 prowadzi do utraty niektórych kompetencji (rys. 3a), np.:

- P_1 utraci kompetencje Z_6 i Z_7 w okresie T_2 ,
- P_2 utraci kompetencję Z_3 w okresie T_2 ,
- itp.

Ponadto na 18 możliwych scenariuszy nieobecności pojedynczego nauczyciela ($U = 18$) w 12 istnieje zastępstwo przez innego kompetentnego nauczyciela ($LP = 12$). Zgodnie z (1) oznacza to, że CSR wynosi $R = 0,66$. Innymi słowy, utracone kompetencje wpływają na poziom CSR i zagrażają możliwości prowadzenia programu kształcenia. Należy zauważyć, że rotując przydział w kolejnych okresach T_l , można odświeżyć kompetencje. Powstaje pytanie: czy istnieje rotacja przydziału X gwarantująca odporność $R = 1$? Jak widać na rysunku 3b, istnieje taka rotacja, która pozwala uniknąć utraty kompetencji i w konsekwencji odporność zostaje utrzymana ($R = 1$). Oznacza to, że odpowiednia rotacja przydziału nauczycieli wpływa na CSR.

Należy przy tym zauważyć, że w ogólności rozwiązania dające maksymalną odporność i gwarantujące zachowanie kompetencji zespołu tworzą wielowariantowe zestawy struktur kompetencji. Oznacza to, że rozpatrywany problem można sformułować jako problem typu „w przód” lub „wstecz”. W pierwszym przypadku problem sprowadza się do sprawdzenia: czy dana struktura kompetencji gwarantuje zadaną odporność R przy zachowaniu dotychczasowych kompetencji członków zespołu? W drugim poszukuje się odpowiedzi na pytania: czy istnieje struktura kompetencyjna, która gwarantuje zadaną odporność i zachowuje kompetencje zespołu? Jaka struktura gwarantuje największą odporność przy utrzymaniu poziomu kompetencji zespołu na stałym poziomie?

Sformułowanie problemu

Zilustrowany przypadek można podsumować problemem: dany jest program kształcenia Q . Kursy w programie są znane i reprezentowane przez zbiór $Z = \{Z_1, \dots, Z_i, \dots, Z_n\}$, gdzie Z_i jest i -tym kursem programu Q . Kursy realizowane są cyklicznie w okresach: $T_1, \dots, T_l, \dots, TL$, gdzie L oznacza cykl rotacji. Przyjmuje się, że w każdym okresie T_l realizowane są wszystkie kursy ze zbioru Z . Zbiór $\mathcal{P} = \{P_1, \dots, P_k, \dots, P_m\}$ definiuje zespół nauczycieli posiadających zestaw kompetencji do prowadzenia zajęć. Zespołowi nauczycieli \mathcal{P} odpowiada struktura kompetencji zdefiniowana jako macierz G :

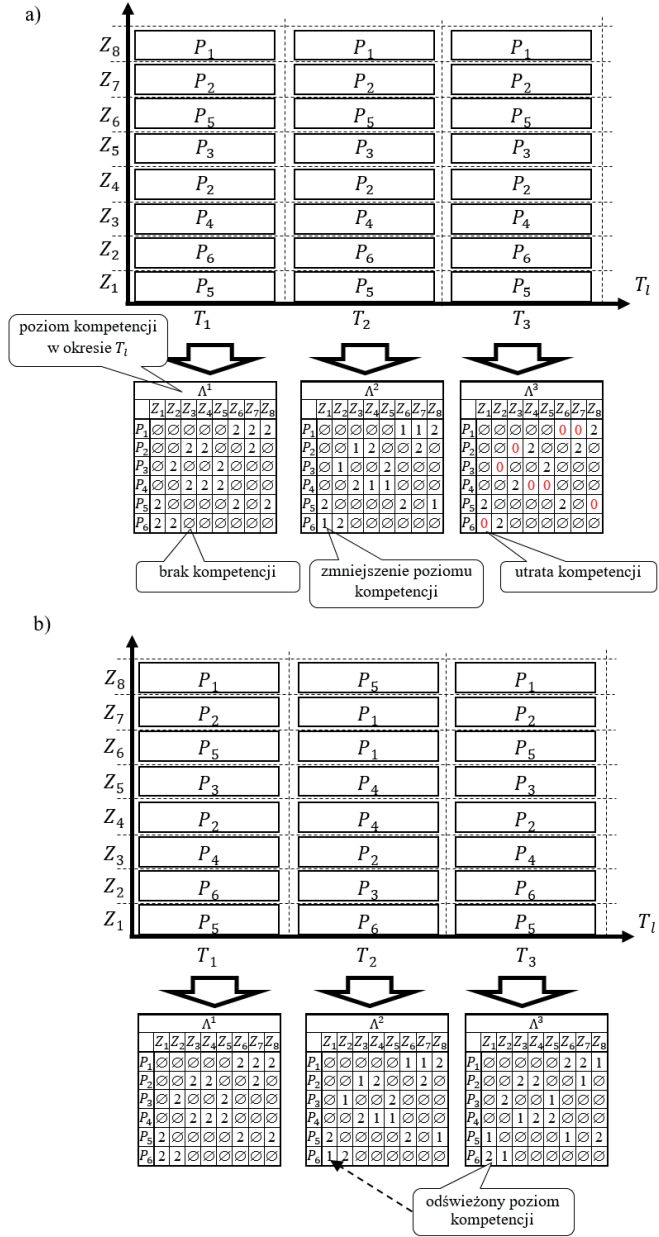
$$G = [g_{k,i}]_{k=1\dots m; i=1\dots n}, \quad (4)$$

gdzie: $g_{k,i} \in \{0,1\}$,

$$g_{k,i} = \begin{cases} 1 & \text{nauczyciel } P_k \text{ ma kompetencje do realizacji kursu } Z_i \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Struktura kompetencji zmienia się w czasie. Parametr $cl_{k,i}$ określa czas życia kompetencji, po którym nauczyciel P_k traci (zapomina) kompetencję $g_{k,i}$.

Jeżeli nauczyciel P_k posiada kompetencje wymagane do przeprowadzenia kursu Z_i ($g_{k,i} = 1$), to ten kurs może być przydzielony do P_k . W konsekwencji powstaje przydział X^l , który określa, jakie kursy Z są przydzielone każdemu nauczycielowi w okresie T_l . Definiowane jest to jako macierz X^l , której elementom $X^{k,i}$ przypisano wartości $\{0,1\}$:



Rys. 3. Przydział prowadzący do utraty kompetencji (a) oraz rotacja przydziału gwarantująca realizowanie programu nauczania bez utraty kompetencji nauczyciela (b)
[oprac. własne]

$$X^l = [x_{k,i}^l]_{k=1\dots m; i=1\dots n}, \quad (5)$$

gdzie: $X_{k,i}^l \in \{0,1\}$ określa, czy kurs Z_i jest wykonywany w okresie T_l przez P_k .

Ponadto każdy nauczyciel P_k ma przypisaną parę $\Gamma_k = (\vec{Y}_k, \vec{y}_k)$ określającą minimalną (\vec{Y}_k) i maksymalną (\vec{y}_k) liczbę przydzielonych mu kursów w okresie T_l .

Przyjmuje się zakłócenie (pojedyncza nieobecność pracownika), które charakteryzuje się ciągiem: $A = (a_1, \dots, a_b, \dots, a_L)$, gdzie: $a_l \in \mathcal{P}$ określa nieobecność nauczyciela w okresie T_l . Na przykład $A = (P_1, P_2, P_1)$ oznacza, że nauczyciel P_1 jest nieobecny podczas pierwszego i trzeciego okresu (T_1, T_3), a nauczyciel P_2 jest nieobecny podczas drugiego okresu (T_2).

Zgodnie z (1) miarą odporności struktury kompetencji G na brak nauczycieli jest określona funkcja $R(A) = R \in [0,1]$, gdzie:

- $R = 0$ – brak odporności, tzn. dla każdego przypadku absencji nie istnieje przydział gwarantujący realizację programu nauczania Q ;
- $R = 1$ – pełna odporność, czyli dla każdego przypadku absencji istnieje przydział X gwarantujący realizację programu nauczania Q .

Poszukuje się odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy dany program Q można zrealizować bez utraty kompetencji w strukturze G ?
2. Czy istnieje przydział X , który gwarantuje daną wartość odporności (np. $R = 1$)?
3. Jaka jest maksymalna odporność R struktury kompetencji G ?

Wyznaczenie przydziału $X = (X^1, \dots, X^l, \dots, X^L)$ gwarantującego realizację programu nauczania Q bez utraty kompetencji nauczyciela z maksymalną odpornością R struktury kompetencji G jest możliwe przy użyciu modelu zaprezentowanego w pracy [27]. Jego wykorzystanie w ramach uniwersyteckiego studium przypadku przedstawiono w kolejnej części.

Studium przypadku

Studium przypadku przedstawia proces przydziału nauczycieli w Politechnice Koszalińskiej (PK) w roku akademickim 2021/2022. PK oferuje studentom 24 kierunki (stacjonarne i niestacjonarne) na poziomie licencjackim, inżynierskim i magisterskim. Ponadto Uczelnia prowadzi kształcenie w Szkole Doktorskiej. Ogółem kształcenie studentów odbywa się na sześciu Wydziałach. Dane wykorzystane do przeprowadzenia eksperymentów pochodzą z Wydziału Elektroniki i Informatyki (WEiI).

Przyjęty w WEiI proces organizacji zajęć dydaktycznych składa się z trzech etapów:

1. Definiowanie wymagań. W roku akademickim 2021/2022 program kształcenia WEiI obejmował $n = 129$ kursów: $Z = \{Z_1, \dots, Z_2, \dots, Z_{129}\}$ (dla studiów inżynierskich i magisterskich), łącznie 3800 godzin. Część kursów Z_i przedstawia tabela 3.
2. Ocena możliwości. W roku akademickim 2021/2022 w WEiI zatrudnionych było 32 nauczycieli $\mathcal{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_{32}\}$. Dla każdego z nich znane są kompetencje (wykształcenie, dorobek naukowy, znajomość danego przedmiotu itp.) do realizacji określonych kursów. W tabeli 4 przedstawiono fragment struktury kompetencji G . Wartość 1 oznacza, że nauczyciel posiada kompetencje do prowadzenia określonego kursu, wartość 0 przedstawia sytuację odwrotną.

Tab. 3. Program kształcenia Wydziału Elektroniki i Informatyki (WEiI) [oprac. własne]

Kursy Z_i
Z_1 : Historia techniki 1
Z_2 : Historia techniki 2
Z_3 : Inwentyka
Z_4 : Ekonomia
...
Z_{74} : Programowanie w środowisku.NET
...
Z_{128} : Rozproszone systemy przetwarzania informacji
Z_{129} : Metody sztucznej inteligencji

Tab. 4. Struktura kompetencji kadry WEiI [oprac. własne]

G	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	...	...	Z_{60}	...	...	Z_{128}	Z_{129}
P_1	1	0	0	1	0	0	...	...	0	...	...	0	1
P_2	0	1	0	0	1	0	...	...	0	...	...	0	0
P_3	1	0	1	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_4	0	0	0	1	0	0	...	...	1	...	...	0	0
...
P_{20}	0	0	0	0	0	0	...	...	1	...	...	0	0
...
P_{31}	0	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0
P_{32}	0	0	0	0	0	0	...	...	0	...	...	0	0

3. Przydział nauczycieli. Na tym etapie nauczyciele są przypisywani do kursów zgodnie z określonymi wymaganiami:
 - każdy kurs może być realizowany tylko przez jednego kompetentnego nauczyciela,
 - w każdym okresie (roku akademickim) T_i realizowane są wszystkie kursy,

- w okresie T_1 każdy nauczyciel musi wykonać minimum jeden kurs ($\check{y}_k = 1$) i maksymalnie dziesięć ($\check{y}_k = 10$).

Zgodnie z efektem zapominania przyjęto, że czas życia kompetencji dla każdego nauczyciela wynosi $cl_{k,i} = 4$.

Poszukiwane są odpowiedzi na pytania:

1. Czy istnieje przydział X , który gwarantuje odporność $R = 1$ na nieobecność jednego dowolnego nauczyciela bez utraty kompetencji?
2. Jaka jest maksymalna odporność R na nieobecność jednego dowolnego nauczyciela bez utraty kompetencji?

Implementację modelu referencyjnego przedstawionego w pracy [27] zrealizowano w środowisku IBM ILOG CPLEX. Do uzyskania rozwiązania posłużono się komputerem z procesorem Intel i7-10510U i pamięcią 16 GB RAM.

Uzyskano harmonogram cyklicznej ($L = 4$) rotacji przydziału nauczycieli do kursów (część harmonogramu przedstawiona została na rys. 4). Gwarantuje to zachowanie wszystkich kompetencji w strukturze kompetencyjnej G . Przykładowo dla pracownika P_{16} utrzymanie kompetencji związanej z kursem Z_{18} wymaga przydziału do tego kursu w okresach T_1 i T_5 , dla pracownika P_{28} utrzymanie kompetencji związanej z kursem Z_{15} wymaga przydziału do tego kursu w okresach T_4 i T_8 itd.

Uzyskano odporność $R = 1$. Oznacza to, że w każdym scenariuszu nieobecności jednego nauczyciela ($U = 128$) możliwe są zastępstwa, np.:

- nauczyciela P_1 realizującego kurs Z_4 w czasie T_1 może zastąpić P_4 ,
- nauczyciela P_2 realizującego kurs Z_5 w czasie T_1 może zastąpić P_5 ,
- nauczyciela P_{31} realizującego kurs Z_{12} w czasie T_2 może zastąpić P_{27} ,
- itp.

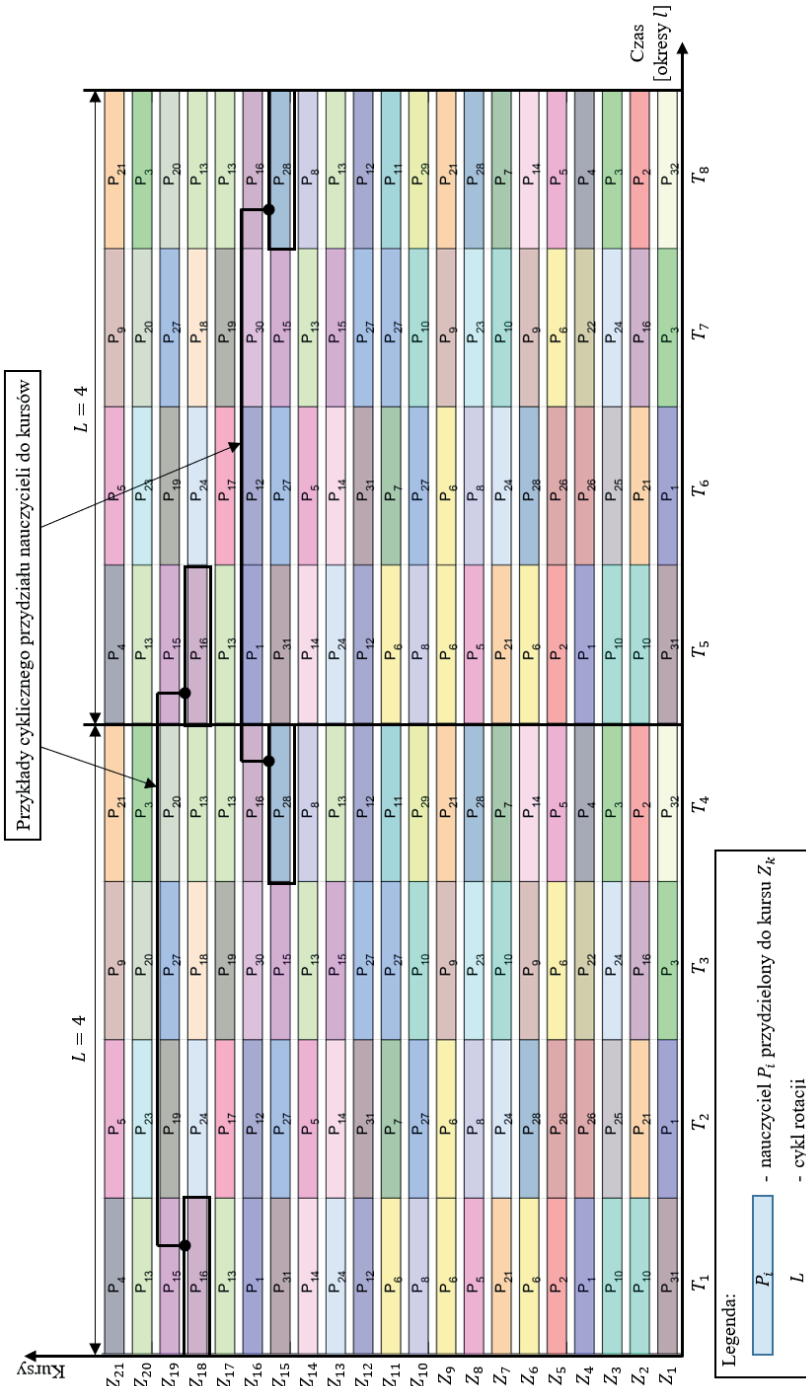
Odpowiedzi na postawione wcześniej pytania brzmią następująco:

1. Istnieje przydział X , który gwarantuje odporność $R = 1$.
2. Maksymalna odporność na absencję pojedynczego nauczyciela wynosi $R = 1$.

Dla decydentów Wydziału Elektroniki i Informatyki oznacza to, że kompetencje zatrudnionych nauczycieli są zabezpieczone w 100% rozważanych rodzajów zakłóceń.

Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na problem planowania rotacyjnego przydzielania zadań gwarantującego utrzymanie kompetencji kadry pracowniczej na wymaganym poziomie. Zaproponowano nowe proaktywne podejście do planowania alokacji personelu z uwzględnieniem efektu zapominania. Główne wnioski z przedstawionych badań są następujące:



Rys. 4. Część cyklicznego harmonogramu (L = 4) z rotacyjnym przydziałem X gwarantującym utrzymanie kompetencji [oprac. własne]

1. Sformułowany problem utrzymania kompetencji pracowników zasobów ludzkich jest zbliżony do problemu utrzymania ruchu maszyn w procesach produkcyjnych. Rozwiązaniem tak rozumianego problemu jest plan okresowej rotacji stanowisk/czynności, który pozwala na utrzymanie kompetencji pracowników na wymaganym poziomie odporności.
2. Wdrożenie proponowanego podejścia implikuje pojawienie się nowej klasy problemów typu trade-off, w których pożądana rotacja personelu jest uwarunkowana z jednej strony czasem realizacji zadania, a z drugiej czasem życia kompetencji. Systemy zarządzania zasobami ludzkimi uwzględniają trendy w zakresie sztucznej inteligencji, takie jak eksploracja danych i uczenie maszynowe, rozwiązania chmurowe, systemy zarządzania umiejętnościami itp. Jak dotąd brak jest jednak rozwiązań uwzględniających potrzeby związane z utrzymaniem kompetencji zespołu w sytuacjach związanych z efektem zapominania.
3. Studium przypadku pokazuje, że proponowane podejście można zastosować w praktyce, tj. program nauczania składający się ze 120 kursów i zespoły złożone z 30 nauczycieli. Wyniki tego badania mogą być wykorzystane w systemach wspomagania decyzji w celu utrzymania kompetencji pracowników poprzez odpowiednią rotację stanowisk, a tym samym bardziej zrównoważone planowanie zasobów ludzkich (rozwój długoterminowych kompetencji, zmniejszenie zmęczenia i nudy itp.).

Główne ograniczenie tego badania wynika z faktu, że wzięto pod uwagę tylko jeden model uczenia się i zapominania (LFCM). Porównanie proponowanego podejścia z innymi modelami, takimi jak RC i PID, jest przedmiotem przyszłych badań. W kolejnych pracach uwzględnione zostaną różne kształty funkcji zapominania charakterystyczne dla różnych zawodów i grup wiekowych.

Literatura

- [1] Abiante U.A.D. (2018). *Impact of Teachers Job Rotation on Students' Academic Performance in Rivers State*. „Nigeria International Journal of Innovative Education Research”, nr 6(3), s. 18-26.
- [2] Antosz K. (2018). *Maintenance – identification and analysis of the competency gap*. „Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, nr 20 (3), s. 484-494, 10.17531/ein.2018.3.19.
- [3] Asensio-Cuesta S., Diego-Mas J.A., Canos-Daros L., Andres-Romano C. (2012). *A genetic algorithm for the design of job rotation schedules considering ergonomic and competence criteria*. „International Journal of Advanced Manufacturing Technology”, nr 60, s. 1161-1174, 10.1007/s00170-011-3672-0.
- [4] Asensio-Cuesta S., García-Gómez J.M., Poza-Luján J.L., Conejero J.A. (2019). *A Game-Theory Method to Design Job Rotation Schedules to Prevent Musculoskeletal Disorders Based on Workers' Preferences and Competencies*. „International Journal of Environmental Research and Public Health”, t. 16, nr 23, 4666, 10.3390/ijerph16234666.

- [5] Bocewicz G., Szwarz E., Wikarek J., Nielsen P., Banaszak Z. (2021). *A competency-driven staff assignment approach to improving employee scheduling robustness*. „Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, nr 23 (1), s. 117-131, 10.17531/ein.2021.1.13.
- [6] Charity B.Ch. (2015). *Job rotation: an examination of its effect on employee performance at KCB branches in the north rift region, Kenya*. „International Journal of Advanced Research in Management and Social Sciences”, nr 4(5), s. 84-93.
- [7] Cherotich S., Rop W., Bett A. (2021). *The Relationship between Job Rotation and Employee Performance in Level-Four Hospitals within the South Rift region in Kenya*. „International Journal of Scientific and Research Publications”, nr 11(9), s. 139-145, 10.29322/IJSRP.11.09.2021.p117XX.
- [8] Eltahir O.A.B. (2018). *Impact of Job Rotation on Employees' Performance: Case study Omdurman Ahlia University Employees, Sudan*. „GCNU Journal”, nr 2/15, s. 285-300.
- [9] Felberbauer T., Gutjahr W.J., Doerner K.F. (2019). *Stochastic project management: multiple projects with multi-skilled human resources*. „Journal of Scheduling”, nr 22, s. 271-288, 10.1007/s10951-018-0592-y.
- [10] Glock C.H., Grosse E.H., Jaber M.Y., Smunt T.L. (2019). *Applications of learning curves in production and operations management: A systematic literature review*. „Computers & Industrial Engineering”, nr 131, s. 422-441.
- [11] Glock C.H., Jaber M.Y. (2013). *A multi-stage production-inventory model with learning and forgetting effects, rework and scrap*. „Computers & Industrial Engineering”, nr 64(2), s. 708-720.
- [12] Geurtsen M., Didden J.B., Adan J., Atan Z., Adan I. (2022). *Production, Maintenance and Resource Scheduling: A Review*. „European Journal of Operational Research”, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.045>.
- [13] Herrera J., de las Heras-Rosas C. (2020). *Corporate Social Responsibility and Human Resource Management: Towards Sustainable Business Organizations*. „Sustainability”, nr 12, 841, doi:10.3390/su12030841.
- [14] Hewitt M., Chacosky A., Grasman S.E., Thomas B.W. (2015). *Integer programming techniques for solving non-linear workforce planning models with learning*. „European Journal of Operational Research”, nr 242 (3), s. 942-950.
- [15] Hoedt S., Claeys A., Aghezzaf E.-H., Cottyn J. (2020). *Real Time Implementation of Learning-Forgetting Models for Cycle Time Predictions of Manual Assembly Tasks after a Break*. „Sustainability”, nr 12, 5543.
- [16] Ingels J., Maenhout B. (2019). *Optimised buffer allocation to construct stable personnel shift rosters*. „Omega”, nr 82, s. 102-117, 10.1016/j.omega.2017.12.006.
- [17] Jaber M.Y., Bonney M. (1996). *Production breaks and the learning curve: the forgetting phenomena*. „Applied Mathematical Modelling”, nr 20, s. 162-169.
- [18] Jaber M.Y., Sikstrom S. (2004). *A numerical comparison of three potential learning and forgetting models*. „International Journal of Production Economics”, nr 92 (3), s. 281-294.
- [19] Jafari H., Haleh H. (2019). *Nurse scheduling problem by considering fuzzy modeling approach to treat uncertainty on nurses' preferences for working shifts and weekends off*. „Journal of Optimization in Industrial Engineering”, 10.22094/joie.2019.576759.159.
- [20] Jarkas A. (2010). *Critical investigation into the applicability of the learning curve theory to rebar fixing labor productivity*. „Journal of Construction Engineering and Management”, nr 136 (12), s. 1279-1288.
- [21] Korytkowski P. (2017). *Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting*. „Expert Systems with Applications”, nr 77, s. 226-235.

- [22] Liao S.-H., Chang W.-J., Wu C.-C. (2010). *An Integrated Model for Learning Organization with Strategic View: Benchmarking in the Knowledge-Intensive Industry*. „Expert Systems with Applications”, nr 37, s. 3792-3798, doi:10.1016/j.eswa.2009.11.041.
- [23] Liret A., Dorne R. (2008). *Work Allocation and Scheduling*, [w:] *Service Chain Management*, red. C. Voudouris, D. Lesaint, G. Owusu. Springer, Berlin, Heidelberg, 10.1007/978-3-540-75504-3_10, s. 139-152.
- [24] Méndez-Vázquez Y.M., Nembhard D.A. (2019). *Worker-cell assignment: The impact of organizational factors on performance in cellular manufacturing systems*. „Computers & Industrial Engineering”, nr 127, s. 1101-1114.
- [25] Milewska E., Gembalska-Kwiecień A. (2018). *Selected aspects of human resources management based on competence matrix*, [w:] *5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM*, s. 861-866, 10.5593/sgemsocial2018/1.5/S05.107.
- [26] Oparanma A.O., Nwaeke I.L. (2015). *Impact of Job Rotation on Organizational Performance*. „Journal of Economics. Management and Trade”, nr 7(3), s. 183-187, 10.9734/BJEMT/2015/12051.
- [27] Szwarc E., Bocewicz G., Golińska-Dawson P., Banaszak Z. (2023). *Proactive Operations Management: Staff Allocation with Competence Maintenance Constraints*. „Sustainability”, nr 15(3), 1949, <https://doi.org/10.3390/su15031949>.
- [28] Szwarc E., Nielsen I., Smutnicki C., Bocewicz G. (2020a). *Competence-Oriented Recruitment of a Project Team Robust to Disruptions*, [w:] *Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS 2020. Lecture Notes in Computer Science 2020, 12034*, red. N. Nguyen, K. Jearanaitanakij, A. Selamat, B. Trawiński, S. Chittayasothorn. Springer, Cham., https://doi.org/10.1007/978-3-030-42058-1_2.
- [29] Szwarc E., Wikarek J., Gola A., Bocewicz G., Banaszak Z. (2020b). *Interactive Planning of Competency-Driven University Teaching Staff Allocation*. „Applied Sciences”, nr 10(14).
- [30] Tanimizu Y., Ishii S., Yokotani T. (2014). *A study on development of a work instruction system for assembly cells based on analysis of learning processes*. „Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing”, nr 8 (4).
- [31] Volk R. (2017). *Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty*. Ph.D. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- [32] Wang Q., Sowden M., Mileham A.R. (2013). *Modelling human performance within an automotive engine assembly line*. „The International Journal of Advanced Manufacturing Technology”, nr 68 (1), s. 141-148.
- [33] Weber C., Fayed A. (2010). *Optimizing your position on the operating curve: How can a fab truly maximize its performance*. „IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing”, nr 23 (1), s. 21-29.

Robert Waszkowski
Tadeusz Nowicki

https://doi.org/10.59444/2023KONFredPat_Jakr9

WSPÓŁPRACA UCZELNI WYŻSZEJ Z OTOCZENIEM GOSPODARCZYM NA PRZYKŁADZIE WDROŻENIA INNOWACJI W RENTALU ODZIEŻY ROBOCZEJ

Wprowadzenie

Członkostwo Polski w Unii Europejskiej dało rodzimym przedsiębiorstwom możliwość rozwoju i inwestycji przy wsparciu finansowym z Funduszy Europejskich. Wspierane są przede wszystkim projekty o wysokim poziomie innowacji. Implikuje to konieczność współpracy przedsiębiorstw z jednostkami naukowymi.

W rozdziale zostały przedstawione efekty prac oraz doświadczenia zebrane podczas realizacji projektu pt. „Opracowanie inteligentnego systemu zarządzania procesami biznesowymi z uwzględnieniem rozwiązań inteligentnych systemów wspierających integrację tradycyjnych oraz elektronicznych kanałów sprzedaży w rentalu odzieży roboczej (sektor B2B)” realizowanego przy wsparciu Funduszy Europejskich w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020.

Celem rozdziału jest przedstawienie doświadczeń i wyników pozyskanych podczas realizacji projektu oraz rezultatów praktycznego zastosowania produktów projektu w przedsiębiorstwie.

Pozytywna realizacja projektu oraz produkcyjne wdrożenie jego wyników pozwalają ocenić poziom przygotowania zarówno przedsiębiorców, jak i kadry naukowej uczelni wyższej do realizacji tego typu przedsięwzięć. Stosowne wnioski zostały przedstawione w referacie. Omówiony został również stopień realizacji celów projektu oraz praktyczne zastosowanie jego rezultatów.

Zakres realizowanego projektu

Do najważniejszych zadań zrealizowanych w ramach projektu należały:

- 1) opracowanie modeli i automatyzacja procesów biznesowych przedsiębiorstwa,
- 2) optymalizacja przechowywania w magazynie ubrań roboczych,
- 3) opracowanie nowej usługi monitorowania czasu pracy pracownika klienta na podstawie chipów UHF,
- 4) opracowanie prototypu interaktywnej szafy zrzutowej na brudną odzież.

W ramach zadania „Opracowanie modeli i automatyzacja procesów biznesowych przedsiębiorstwa” badaniom i implementacji podlegała automatyzacja procesów biznesowych w zakresie działu obsługi klienta, księgowości, składania ubiorów roboczych, organizacji pracy na stanowiskach końcowych, w magazynie, dziale napraw, szwalniach. Opracowane procesy biznesowe uwzględniają wszelkie czynności związane z powyższymi aktywnościami przedsiębiorstwa. Automatyzacja procesów biznesowych polegała na wygenerowaniu oprogramowania, które wspomaga realizację podstawowych elementów opisanych w procesach biznesowych. Oprogramowanie zostało wygenerowane za pomocą platformy low-code Aurea BPM [1-10].

W zadaniu „Opracowanie nowej usługi monitorowania czasu pracy pracownika klienta na podstawie chipów UHF” opracowano rozszerzenie dotychczasowego systemu o odczyt wprowadzanych nowej generacji chipów UHF (RFID) do ubrań roboczych. Wymagało to opracowania nowej bramki rejestrującej wejścia i wyjścia pracowników z obszaru produkcyjnego. Pozwoliło to na ciągłą kontrolę pracy pracowników oraz na ustalenie charakterystyk ich aktywności w procesach produkcyjnych. W ten sposób powstał system monitorowania aktywności pracowników firmy. Opracowany system rejestracji czasu pobytu pracownika w obszarze produkcyjnym przewyższa obecnie stosowane rozwiązania jak otwieranie drzwi do obszaru socjalnego, gdzie za jednym otwarciem z przejścia korzysta kilku pracowników [11-14].

Zadanie „Optymalizacja i automatyzacja procesów biznesowych zarządzania magazynem ubrań roboczych” polegało na określeniu zadań szczegółowych realizowanych w procesach produkcyjnych, w tym przypadku w procesach magazynowych, oraz na implementacji tych zadań w postaci modeli procesów biznesowych. Określono zarówno treści zadań, jak również czasy oraz koszty ich realizacji. Następnie procesy biznesowe zostały zweryfikowane pod względem ich poprawności, szczegółowości oraz kompletności. Na podstawie uzyskanych procesów biznesowych skonstruowano zadania optymalizacji wybranych zadań w procesach magazynowych. Określono przy tym zarówno wyznaczaną strategię realizacji zadań, jak również kryteria ich oceny oraz ograniczenia związane z dopuszczalnością poszukiwanych rozwiązań. W efekcie powstały zadania optymalizacji procesów w magazynie, które wymagają rozwiązania

w każdym, zmieniających się warunkach produkcyjnych. Opracowana została implementacja rozwiązań sformułowanych zadań optymalizacji [15-17].

W ramach zadania „Opracowanie prototypu interaktywnej szafy zrzutowej na brudną odzież” powstał projekt prototypu szafy zrzutowej. Opracowane też zostały zasady komunikacji informacyjnej takiej szafy z centralnym serwerem, stanowiącym jądro systemu informatycznego. Ponadto opracowane zostały metody monitoringu i wizualizacji eksploatacji szaf zrzutowych na brudną odzież. Wykonano prototyp nowej szafy zrzutowej na brudną odzież i przygotowano go do wdrożenia pilotażowego w realnym zakładzie pracy. Opracowane też zostały testy i weryfikacja procesów eksploatacji takiej szafy. Konieczne przy tym było zbadanie własności niezawodnościowych opracowanego prototypu. Po klasyfikacji niezawodnościowej szafy przeprowadzone zostały badania niezawodnościowe pozwalające na określenie spełnienia opracowanych wcześniej wymagań projektowych [18-22].

Rental odzieży roboczej

Rental odzieży roboczej polega na cyklicznym dostarczaniu do obsługiwanego przedsiębiorstwa kompletów indywidualnie przygotowanych ubrań. W ramach cyklu ubrania są przygotowywane dla indywidualnego pracownika oraz prane i naprawiane w zadanym okresie cyklu, np. jedno- lub dwutygodniowym [15, 23].

Całość odbywa się według cyklicznie następujących po sobie poniżej wymienionych działań:

1. Produkcja odzieży roboczej i ochronnej. Przygotowywanie indywidualnie dopasowanej odzieży. Wyposażenie każdego elementu odzieży w unikalny chip RFID. Zapisanie informacji o każdej sztuce odzieży w systemie informatycznym. System przechowuje dane każdej sztuki odzieży, dane jej właściciela, adres dostawy, tryby wymiany itd. Każdy pracownik ma swój komplet odzieży oznaczony jego imieniem i nazwiskiem.
2. Automatyczne przygotowanie kompletów odzieży roboczej dla każdego pracownika przez maszynę sortującą.
3. Przygotowanie pakietów odzieży dla dostaw przez maszynę składającą. Odzież jest pakowana i dostarczana raz w tygodniu.
4. Dostawa odzieży bezpośrednio do indywidualnej szafki pracownika. Każdy pracownik ma swoją personalizowaną szafkę, z której pobiera odzież. Jedna dostawa zawiera kilka kompletów odzieży (na cały tygodniowy lub dwutygodniowy okres).
5. Pracownicy używają jeden komplet odzieży przez jeden dzień. Na koniec każdego dnia roboczego pracownicy wrzucają zużytą odzież do szafy zrzutowej.

6. Pracownik firmy wynajmującej odbiera brudną odzież w ten sam dzień, w którym dostarcza komplety czystej odzieży.
7. Brudna odzież jest sortowana i przygotowywana do prania. Firma zajmująca się rentalem pierze odzież, suszy ją i prasuje.
8. Następnie odzież przechodzi kontrolę jakości. Po kontroli jakości nowy indywidualny zestaw odzieży jest przygotowany dla każdego pracownika.
9. Odzież jest ponownie dostarczana do klienta i umieszczana w indywidualnych szafkach pracowników.

Cały cykl wymiany odzieży jest zarządzany przez centrum obsługi klienta z wykorzystaniem zintegrowanego systemu informatycznego. Firma utrzymuje wysoką jakość usług mierzoną wskaźnikami poprawności i terminowości dostarczania odzieży (KPI).

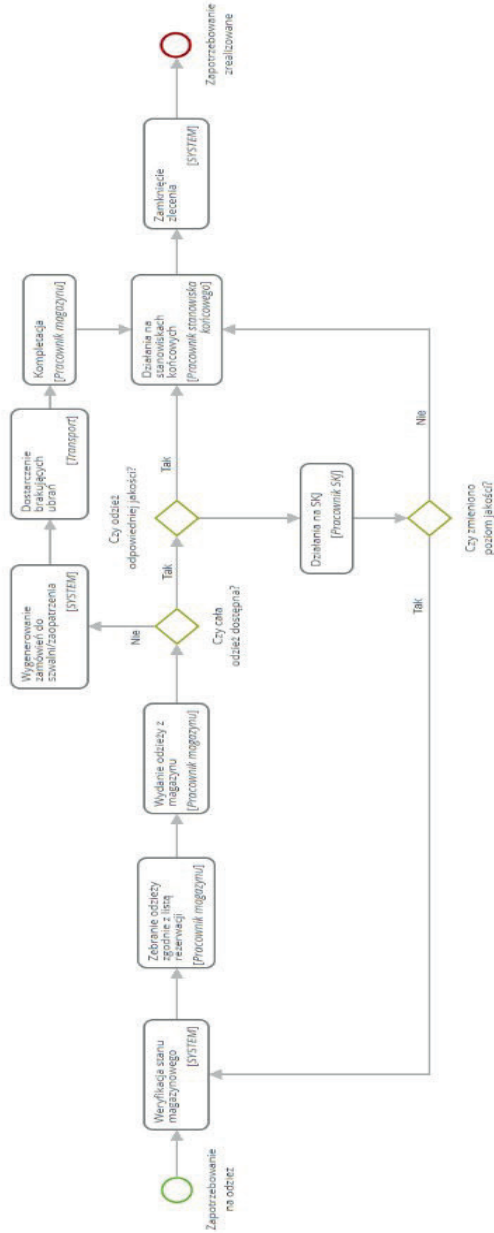
Zakres automatyzacji procesów

Zakres działań przedsiębiorstwa objęty automatyzacją procesów biznesowych przedstawiono na rysunku 1. Opisane procesy biznesowe zostały zamodelowane przy użyciu notacji BPMN w narzędziu Aurea BPM [2, 3, 24, 25]. Następnie, na podstawie modeli, został opracowany system informatyczny wspierający realizację tych procesów [1, 2, 26, 27].

Automatyzacji podlegały następujące procesy biznesowe:

1. Proces sprzedaży.
2. Zapotrzebowanie na odzież.
3. Przyjęcie na magazyn.
4. Wydanie z magazynu.
5. Zamówienie na magazyn.
6. Inwentaryzacja.
7. Fakturowanie (proces obsługi faktury wychodzącej).
8. Rejestracja dokumentu wchodzącego.
9. Rejestracja dokumentu wychodzącego.
10. Obsługa dokumentu kosztowego.
11. Zwolnienie pracownika.
12. Zatrudnienie pracownika.
13. Zmiana szatni, szafy, skrytki.
14. Zmiany w obrębie odzieży (zmiana rozmiaru odzieży dla pracownika).
15. Zamówienie szafy/akcesorium.
16. Zarejestrowanie odzieży własnościowej.
17. Zmiany na pojedynczej sztuce odzieży.
18. Wymiana akcesorium.

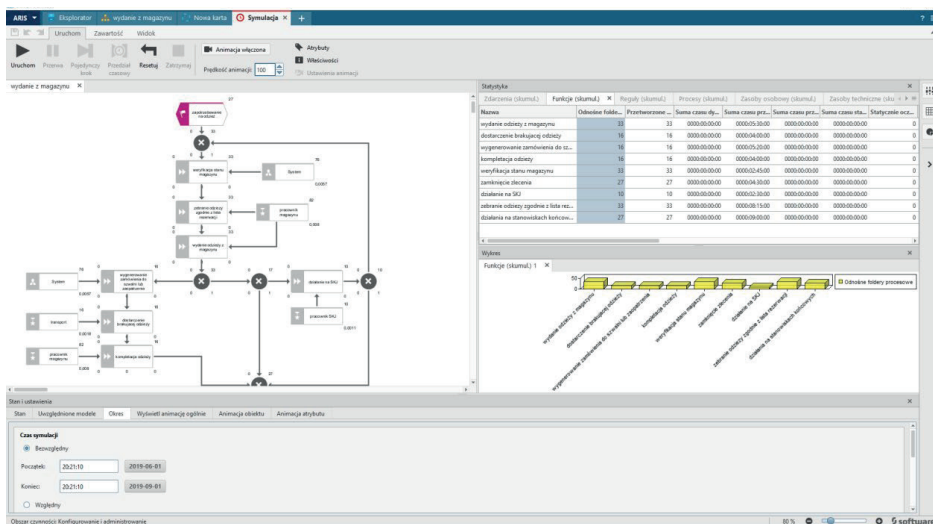
Proces biznesowy „Wydanie z magazynu”



Rys. 2. Diagram procesu biznesowego „Wydanie z magazynu” w notacji BPMN [oprac. własne]

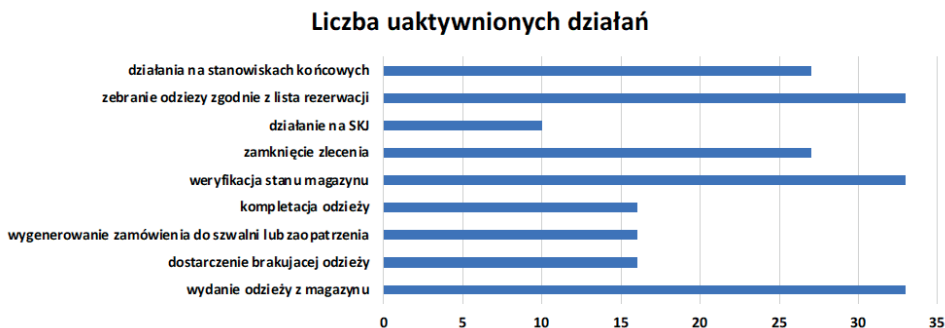
Badanie efektywności procesów

Na rysunku 4 pokazano zrzut ekranu aplikacji ARIS.10 w trakcie symulacji procesu biznesowego i zmieniające się w jej trakcie charakterystyki efektywnościowe procesu „Wydanie z magazynu” [23, 28, 29].

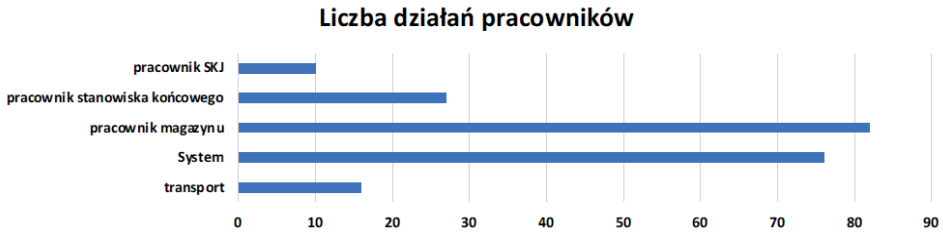


Rys. 4. Symulacja procesu biznesowego [oprac. własne]

Na rysunkach 5 i 6 pokazano wyniki symulacji pozwalające na analizę charakterystyk działań różnego typu występujących w procesie „Wydanie z magazynu” w czasie trzymiesięcznej pracy magazynu.

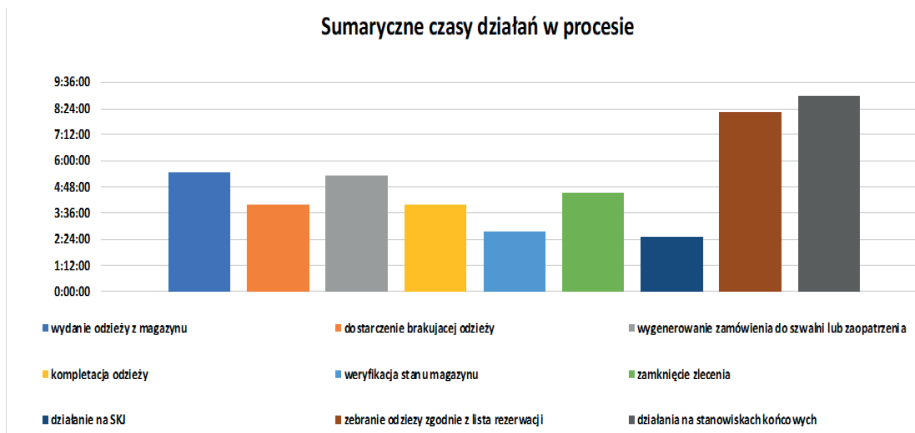


Rys. 5. Wyniki symulacji. Liczba uaktywnionych działań [oprac. własne]



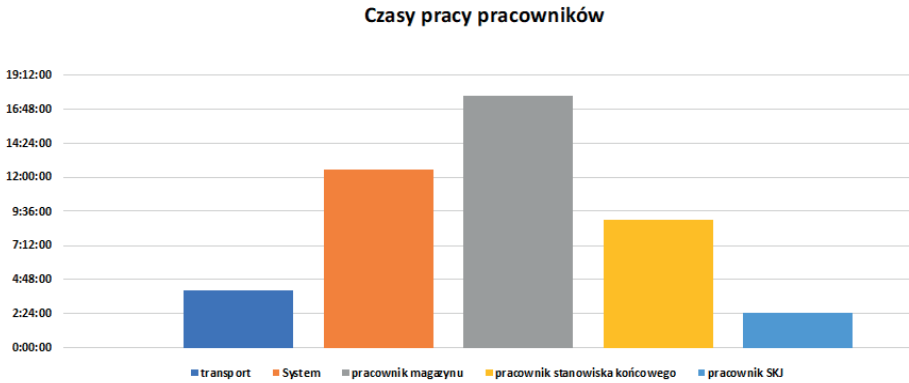
Rys. 6. Wyniki symulacji. Liczba działań pracowników [oprac. własne]

Na rysunku 7 pokazano wyniki symulacji pozwalające na analizę charakterystyk czasowych różnych działań w procesie „Wydanie z magazynu” w czasie trzymiesięcznej pracy magazynu.



Rys. 7. Charakterystyki czasowe dla zadań w procesie [oprac. własne]

Na rysunku 8 pokazano wyniki symulacji pozwalające na analizę charakterystyk czasowych pracowników i komponentów systemowych w procesie „Wydanie z magazynu” w czasie trzymiesięcznej pracy magazynu.



Rys. 8. Czasy pracy pracowników [oprac. własne]

Optymalizacja przechowywania w magazynie ubrań roboczych

Ubrania układane są w szafkach magazynowych, a każdy element ubioru ma swoje miejsce w określonym regale, pionie, półce, boksie i układany jest na kolejnej warstwie [15].

Unit 1	Unit 2				Unit 3	Unit 4
Shelf 1						
Shelf 2	Clothing layer	bin				
	Clothing layer					
	Clothing layer					
	Clothing layer					
	Clothing layer					
	Clothing layer					
					
Shelf 2						
Shelf 3						
Shelf 4						
Shelf 5						

Rys. 9. Rozmieszczenie ubrań w magazynie [oprac. własne]

Do optymalizacji rozmieszczenia ubrań w magazynie zastosowano algorytm genetyczny.

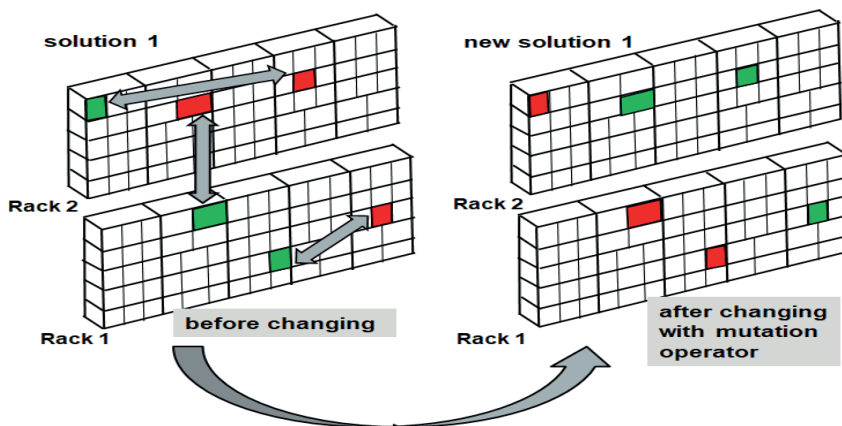
Wybieramy elementy następnej populacji, wybierając takie lokalizacje, aby zminimalizować:

$$f(X^*) = \beta_y \cdot f_y(X) = \beta_y \cdot \min \{ \sum_{w=1}^w \text{sign} \{ x_{wup} = w \} \}, y \in Y$$

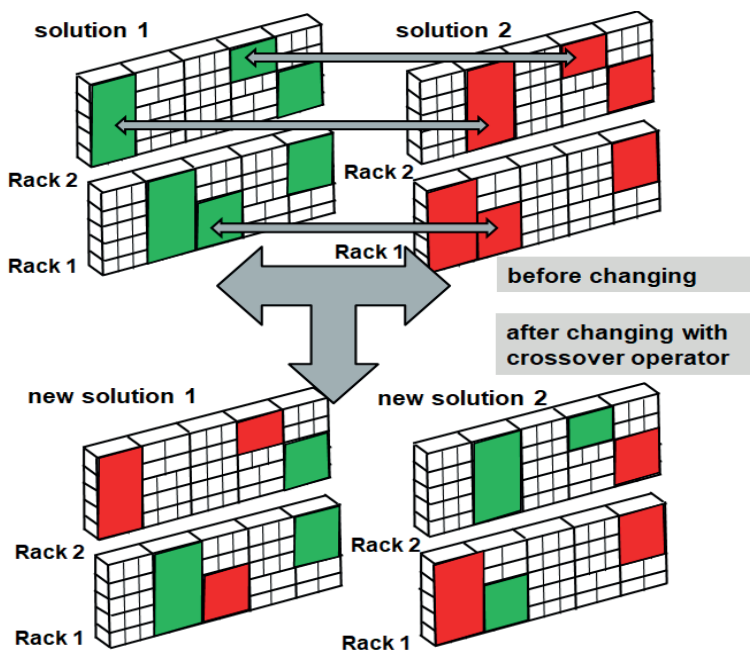
W procedurze selekcji wybieramy najlepsze lokalizacje.

Powtarzamy tę czynność tak wiele razy, jak to możliwe, aż do osiągnięcia warunku stopu.

Za pomocą tego algorytmu możliwe jest uzyskanie nieoptymalnego rozwiązania w stosunkowo krótkim czasie w celu określenia rozmieszczenia odzieży w magazynie.



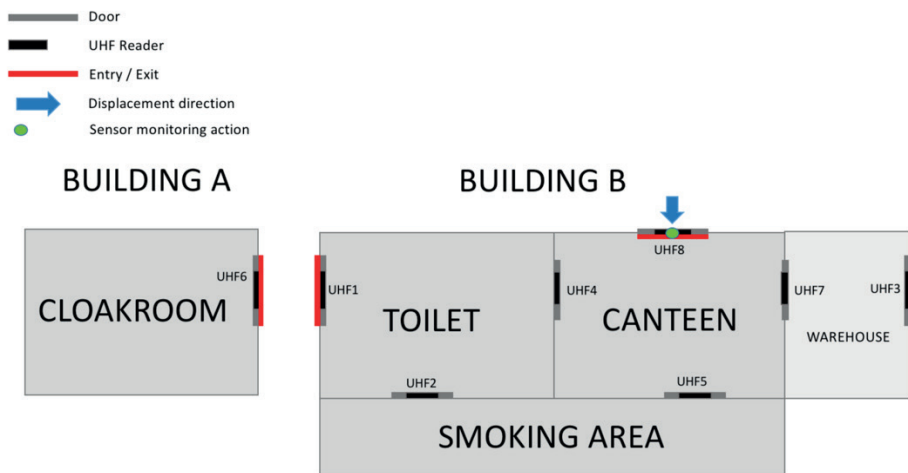
Rys. 10. Modyfikacje w ramach pojedynczego przebiegu algorytmu genetycznego [oprac. własne]



Rys. 11. Modyfikacje w ramach pary rozwiązań w populacji przy zastosowaniu operatora zwrotnego [oprac. własne]

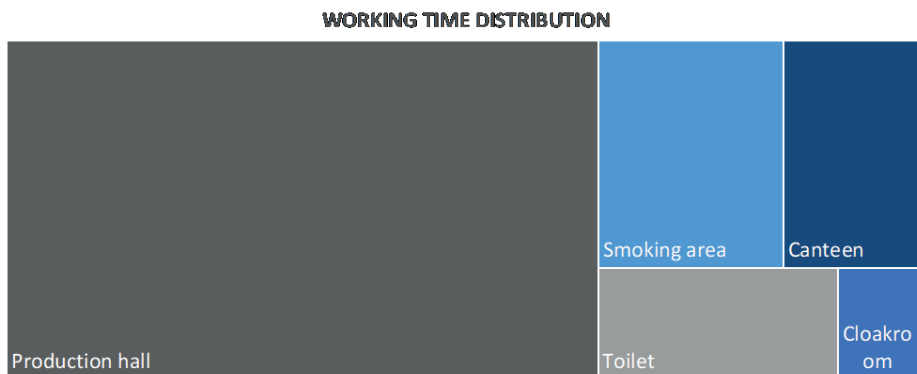
Opracowanie nowej usługi monitorowania czasu pracy pracownika klienta na podstawie chipów UHF

Monitorowanie obecności pracowników polega na odczycie tagów RFID umieszczonych w odzieży za pomocą anten zainstalowanych w poszczególnych pomieszczeniach firmy. Przykładowy układ pomieszczeń i anten zobrazowany został na rysunku 12 [14].



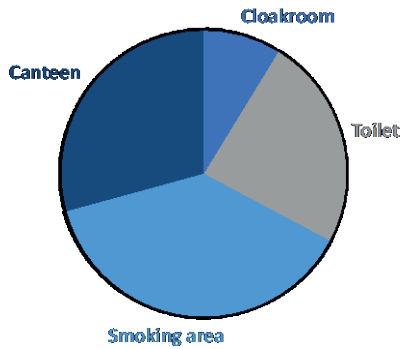
Rys. 12. Zobrazowanie przykładowego układu pomieszczeń i anten dla systemu monitorowania przemieszczania pracowników [oprac. własne]

Wyniki otrzymane na podstawie pilotażowego wdrożenia pozwalają ocenić czas przebywania w poszczególnych pomieszczeniach dla grup pracowników oraz dla indywidualnych osób.

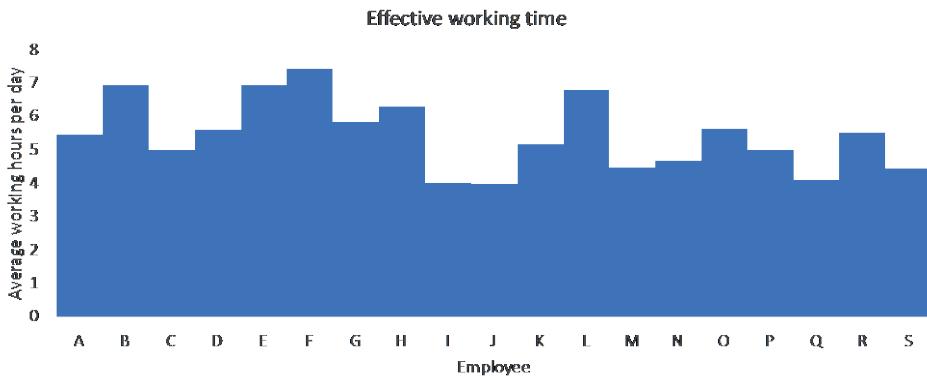


Rys. 13. Podział czasu przebywania w poszczególnych pomieszczeniach [oprac. własne]

NON-EFFECTIVE WORKING TIME DISTRIBUTION



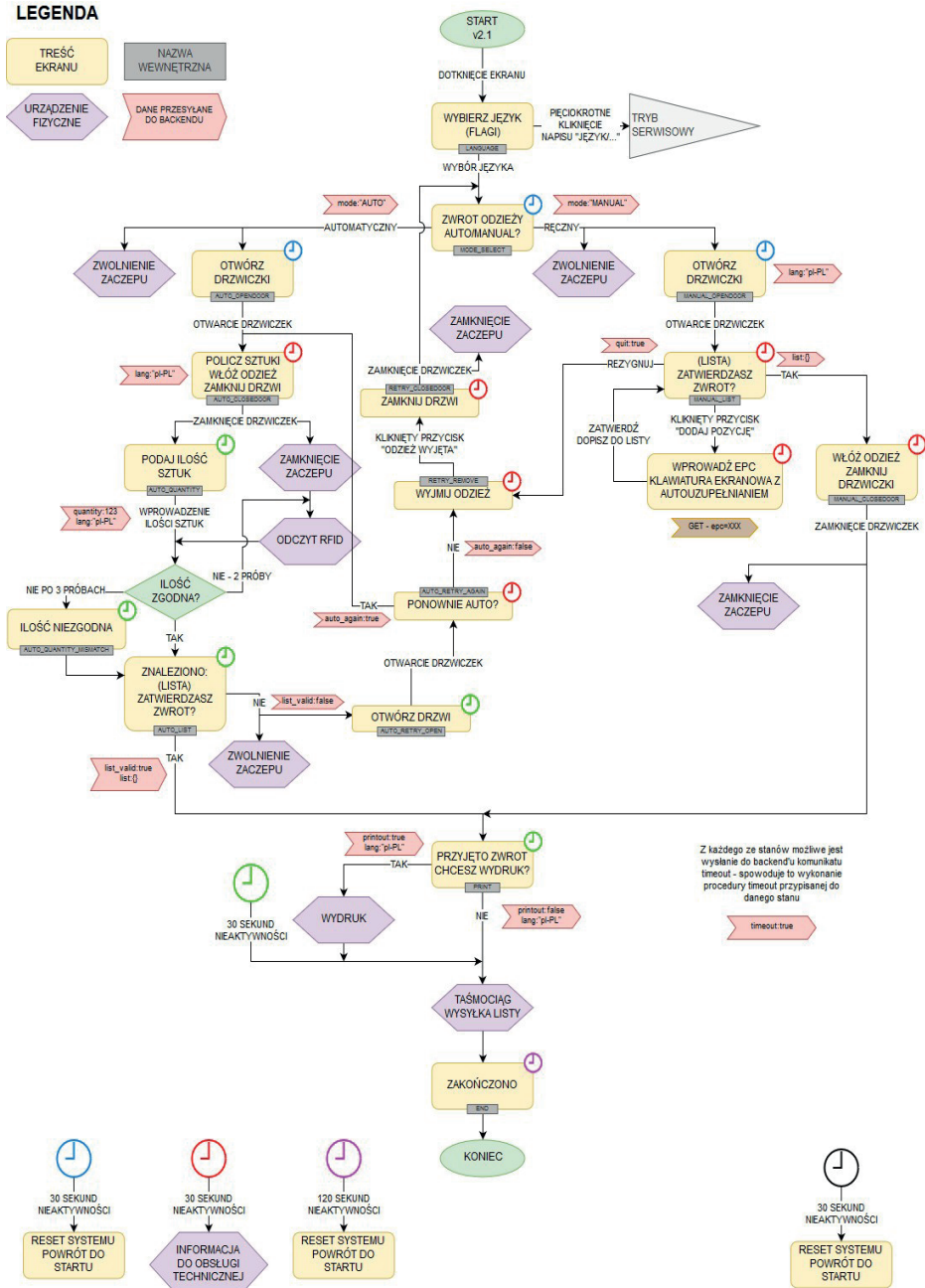
Rys. 14. Podział nieefektywnego czasu pracy [oprac. własne]



Rys. 15. Wymiar efektywnego czasu pracy [oprac. własne]

Opracowanie prototypu interaktywnej szafy zrzutowej na brudną odzież

W ramach zadań projektowych opracowano szafę zrzutową na brudną odzież. Algorytm działania szafy przedstawiony jest na rysunku 16 [21, 22].



Rys. 16. Algorytm działania szafy zrzutowej [oprac. własne]

Podsumowanie

W ramach realizacji projektu powstał kompleksowy system informatyczny wspierający pracę firmy rentalowej. Pozwoliło to w dużym stopniu podnieść dojrzałość procesową przedsiębiorstwa. Klient transformował swój biznes z organizacji zarządzanej tradycyjnie do organizacji, w której wdrożono podejście procesowe.

Zarządzanie procesowe zostało wsparte przez kompletne zintegrowane rozwiązanie informatyczne (od obsługi urlopów i delegacji do oprogramowania sortowni, stanowisk kontroli jakości, składarek i szaf zrzutowych). Przeprowadzone prace rozwojowe i wdrożeniowe pozwoliły na wdrożenie obsługi klienta online, opracowanie innowacyjnej szafy zrzutowej, optymalizację pracy magazynu poprzez wprowadzenie algorytmów genetycznych wyznaczających optymalne rozmieszczenie odzieży.

Ogólne wnioski z prowadzonego projektu są następujące:

1. Osiągnięto wszystkie cele projektu.
2. Produkty projektu zostały wdrożone i funkcjonują w przedsiębiorstwie.
3. Realizacja projektu w sposób kardynalny zwiększyła poziom innowacyjności przedsiębiorstwa.
4. Realizacja projektu zwiększyła znacząco konkurencyjność przedsiębiorstwa.
5. Realizacja projektu zwiększyła znacząco wartość przedsiębiorstwa.

Ponieważ projekt prowadzony był przy współpracy środowisk naukowych i biznesu, należy podkreślić następujące fakty jako istotne wnioski ze współpracy:

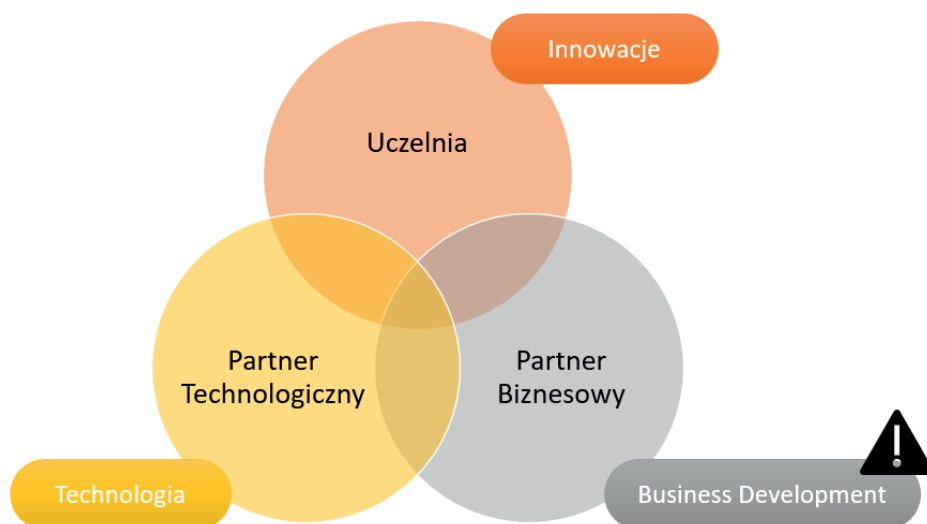
1. Uczelnia nie jest w stanie samodzielnie wdrożyć gotowych rozwiązań na rynek.
 - Brakuje jednostek wspierających.
 - Brakuje zasad działań biznesowych.
2. Rozwiązania wynikające z prac naukowych nie mają waloru produktu.
 - Przygotowanie produktu wymaga (poza wdrożeniem innowacji technologicznej) szeregu działań związanych z marketingiem i business developmentem.

Tę drugą myśl można łatwiej zobrazować, wskazując na opisane poniżej etapy wprowadzania produktu na rynek (charakterystyczne dla startupów):

1. Generowanie nowych pomysłów (Idea Generation).
2. Walidacja pomysłu i badania (Idea Validation & Research).
3. Opracowanie prototypu – minimalny wartościowy produkt (Prototype Development – MVP, Minimum Viable Product).
4. Wstępny marketing/opracowywanie i realizacja strategii wdrażania (Test Marketing/ Launch Strategy Development & Execution).
5. Wprowadzenie produktu na rynek (Product Launch).
6. Wsparcie i doskonalenie produktów, obsługa posprzedażna (Product Support & Improvement, aftersales).

Projekty zakładające współpracę uczelni z biznesem, a więc projekty B + R, ze swej natury obejmują jedynie pierwsze trzy punkty powyższej listy. Jednak droga do skutecznego wprowadzenia produktu na rynek wymaga realizacji kolejnych trzech, równie złożonych i pracochłonnych etapów. Gdyby istniało wsparcie do przeprowadzenia kolejnych elementów przygotowania dobrego startupu, to z całą pewnością więcej projektów innowacyjnych w Polsce kończyłoby się sukcesem rynkowym.

Zatem skuteczne konsorcjum powinno się składać, oprócz przedsiębiorstwa i instytucji badawczej (naukowej), również z podmiotu odpowiedzialnego za business development (Partner Biznesowy na poniższym rysunku).



Rys. 17. Skuteczne konsorcjum [oprac. własne]

Niniejszy rozdział został dofinansowany przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB 810/2023, a projekt powstał przy wsparciu Funduszy Europejskich w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020.

Literatura

- [1] Waszkowski R. (2022). *Low-Code Development Platform for Business Process Automation: Aurea BPM*. In *Production Management and Process Control. 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)*. AHFE International. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001633>.

- [2] Waszkowski R. (2019). *Low-code platform for automating business processes in manufacturing*. „IFAC-PapersOnLine”, t. 52, nr 10, s. 376-381.
- [3] Waszkowski R., Kasprzyk R. & Tarnawski T. (2018). *Spread Page approach to Business Process Management*. In Computer Science and Mathematical Modelling (Vol. 0, Issue 6/2017, pp. 23–32). Index Copernicus. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.8238>.
- [4] Overeem M. (2022). *Evolution of Low-Code Platforms*, doi: 10.33540/1197.
- [5] Rymer J. (2023). *The Forrester Wave™: Low-Code Development Platforms For...* | Forrester. Forrester, 2017, <https://www.forrester.com/report/The-Forrester-Wave-LowCode-Development-Platforms-For-ADD-Pros-Q4-2017/RES137262> [dostęp: 21.02.2023].
- [6] Prinz N., Rentrop C., Huber M. (2021). *Low-Code Development Platforms – A Literature Review* | Request PDF. AMCIS 2021 Proceedings, https://www.researchgate.net/publication/352488144_Low-Code_Development_Platforms_-_A_Literature_Review [dostęp: 21.02.2023].
- [7] Hirzel M. (2022). *Low-Code Programming Models*, May 2022, doi: 10.48550/arxiv.2205.02282.
- [8] *Fundamentals of Business Process Management – Marlon Dumas, Marcello La Rosa, Jan Mendling, Hajo A. Reijers – Google Books*, <https://books.google.pl/books?id=KgVT-DwAAQBAJ&pg=PA115&dq=business+process+modeling+techniques+by+popularity&hl=en&sa=X&ved=2ahUKewjRpaOFjNDwAhUTBxAlHaLFCwYQ6AEwAnoE-CAMQA#v=onepage&q=business%20process%20modeling%20techniques%20by%20popularity&f=false> [dostęp: 17.05.2021].
- [9] Jansen-Vullers M., Netjes M. (2006). *Business process simulation- a tool survey*, [w:] *Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*, Aarhus, Denmark.
- [10] Balsters H. (2013). *Mapping BPMN process models to data models in ORM*, „Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)”, t. 8186 LNCS, s. 503-512, doi: 10.1007/978-3-642-41033-8_64.
- [11] Nowicki T., Kiedrowicz M., Waszkowski R., Chodowska A., Lach A. (2017). *Access control system for RFID-tagged documents in supply chain management*. „LogForum”, t. 13, nr 1, s. 91-101.
- [12] Waszkowski, R., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Nowicki, T. (2014). *Maintenance processes of the RFID-based IT system for document management*. Sin.put.poznan.pl, T. 1-2(1). Retrieved from <https://sin.put.poznan.pl/publications/details/i24954>.
- [13] Waszkowski R., Kiedrowicz M., Nowicki T., Worwa K. (2017). *Access control management in administrative office with RFID tagged documents*, [w:] *2017 Fourth International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI)*, s. 244-251.
- [14] Waszkowski R., Nowicki T., Walczak A. (2020). *Monitoring Personnel Presence and Displacement in Production Facilities Using RFID Technology*, [w:] *Advances in Social and Occupational Ergonomics: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Social and Occupational Ergonomics, July 24-28, 2019, Washington DC, USA 10*, s. 206-213.
- [15] Nowicki T., Saniuk A., Waszkowski R. (2019). *Clothing distribution optimization for rental company warehouse*, [w:] *Advances in Social and Occupational Ergonomics: Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Social and Occupational Ergonomics, July 21-25, 2018, Loews Sapphire Falls Resort at Universal Studios, Orlando, Florida, USA 9*, s. 386-397.
- [16] Nowicki T., Waszkowski R. (2020). *Symulacyjne badanie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa serwującego odzież roboczą* [w:] *Symulacje komputerowe w badaniach i rozwoju*. Politechnika Białostocka. https://doi.org/10.24427/978-83-66391-28-4_12.

- [17] Kiedrowicz M., Nowicki T., Waszkowski R., Wesołowski Z. & Worwa K. (2016). *Optimization of the Document Placement in the RFID Cabinet*. In N. Mastorakis, V. Mladenov, & A. Bulucea (Eds.), MATEC Web of Conferences (Vol. 76, p. 02001). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167602001>.
- [18] Waszkowski R., Chodowska A., Kiedrowicz M., Nowicki T., Wesołowski Z. & Worwa K. (2016). *Data flow between RFID devices in a modern restricted access administrative office*. In N. Mastorakis, V. Mladenov, & A. Bulucea (Eds.), MATEC Web of Conferences (Vol. 76, p. 04004). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167604004>.
- [19] Nowicki T.W., Chlebicki K., Pierzchała D., Worwa K.A., Waszkowski R. (2017). *Simulator for testing hardware and software of the office system with RFID tags*, [w:] MATEC Web of Conferences.
- [20] Kiedrowicz M., Nowicki T., Waszkowski R., Wesołowski Z., Worwa K. (2016). *Method for assessing software reliability of the document management system using the RFID technology*, [w:] MATEC Web of Conferences, s. 4009.
- [21] Kiedrowicz M., Nowicki T. & Waszkowski R. (2017). *Business Process Data Flow between Automated and Human Tasks*. In DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science (Issue icss). DEStech Publications. <https://doi.org/10.12783/dtssehs/icss2016/9000>.
- [22] Waszkowski R., Nowicki T., Oleś M. (2020). *Human-Computer Interaction in Business Process R. External Tasks*, [w:] *Advances in Usability and User Experience: Proceedings of the AHFE 2019 International Conferences on Usability & User Experience, and Human Factors and Assistive Technology, July 24-28, 2019, Washington DC, USA 10*, s. 42-48.
- [23] Waszkowski R., Nowicki T. (2020). *Efficiency investigation and optimization of contract management business processes in a workwear rental and laundry service company*, „Procedia Manufacturing”, t. 44, s. 551-558.
- [24] Waszkowski R. (2018). *Multidimensional modeling and analysis of business processes*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 400, p. 062031). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/400/6/062031>.
- [25] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Waszkowski R., Piechowski M., Wyczołkowski R. (2017). *Implementing BPMN in maintenance process modeling*, [w:] *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 38th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2017: Part II, 2018*, s. 300-309.
- [26] Kiedrowicz M., Waszkowski R., Kubiak B.F., Maślankowski J. (2015). *Business rules automation standards in business process management systems*, [w:] *Information Management in Practice*, s. 187-200.
- [27] Waszkowski R., Kiedrowicz M., Nowicki T., Worwa K. (2017). *Customer service processes automation in administrative office with RFID tagged documents*, [w:] *2017 Fourth International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI)*, s. 234-243.
- [28] Waszkowski R., Nowicki T. & Worwa K. (2018). *Corporate efficiency improvement with business process automation*. In N. Mastorakis, V. Mladenov, & A. Bulucea (Eds.), MATEC Web of Conferences (Vol. 210, p. 02012). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821002012>.
- [29] Waszkowski, R. (2018). *Improving back office efficiency with business process management system*. Publishing House of Poznan University of Technology. <https://doi.org/10.21008/J.2083-4950.2018.8.2.6>.

INFORMACJA O AUTORACH

Biś Jesica, mgr inż., Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Politechnika Częstochowska

Burduk Anna, prof. dr hab. inż., Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica

Dąbrowska Magdalena, dr, Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica

Dąbrowski Karol, mgr, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Górna Justyna, dr hab. inż., prof. UEP, Katedra Zarządzania Jakością/Instytut Zarządzania, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Gnitecka Renata, dr inż., Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica

Grabowski Marcin, dr inż., Katedra Inżynierii i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Krakowska

Kliks Jarosław, dr inż., Katedra Żywienia Człowieka i Dietoterapii, Instytut Sportu, Turystyki i Żywienia, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski

Knapiński Marcin, dr hab. inż., Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Politechnika Częstochowska

Koczurkiewicz Bartosz, dr hab. inż., Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Politechnika Częstochowska

Kołąkowski Mariusz, mgr inż., właściciel przedsiębiorstwa Par-Systems

Kolbusz Krzysztof, mgr inż., Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica

Korycka-Korwek Justyna, dr, Katedra Żywienia Człowieka i Dietoterapii, Instytut Sportu, Turystyki i Żywienia, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski

Langier Tomasz, mgr inż., Alchemia S.A. oddział Rurexpol w Częstochowie

Małek Marcin, mgr inż., POLTRA Sp. z o.o.; Katedra Inżynierii i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Krakowska

- Medyński Daniel**, dr inż., Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica
- Nowicki Tadeusz**, dr hab. inż., prof. WAT, Instytut Systemów Informatycznych, Wydział Cybernetyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
- Plinta Dariusz**, dr hab. inż., prof. ATH, Katedra Inżynierii Produkcji, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
- Prusiel Łukasz**, mgr inż., KS Industry, Gliwice
- Radwan Katarzyna**, mgr inż., Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
- Skoczypiec Sebastian**, prof. dr hab. inż., Katedra Inżynierii i Automatykacji Produkcji, Politechnika Krakowska
- Śliwa Małgorzata**, dr inż., Katedra Informatyki i Automatykacji Produkcji/Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski
- Skrzypek Katarzyna**, dr, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Zielonogórski
- Szwarc Eryk**, dr inż., Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska
- Waszkowski Robert**, dr inż., Instytut Systemów Informatycznych, Wydział Cybernetyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
- Wrzecioniarz Piotr A.**, dr hab. inż., Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, Legnica



ISBN 978-83-7842-536-6