

OCENA INNOWACYJNOŚCI PRZEDSIĘBIORSTW Z WYKORZYSTANIEM TRL

Bożena KACZMARSKA, Aleksandra SULERZ

Streszczenie: W pracy przedstawiono własną koncepcję wykorzystania poziomów gotowości technologicznej (TRL - *Technology Readiness Levels*) w modelu fazowym oceny innowacyjności przedsiębiorstwa oraz wyniki badań weryfikujących w wybranych przedsiębiorstwach. Prezentowana metodyka pozwala na określenie struktury i intensywności działań innowacyjnych w przedsiębiorstwie i może być istotnym wsparciem dla osób zarządzających innowacjami oraz w procesie przyznawania współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej.

Słowa kluczowe: Ocena innowacyjności, ocena gotowości technologicznej, model fazowy.

1. Wprowadzenie

Innowacyjność przedsiębiorstw ma decydujący wpływ na rozwój gospodarczy i cywilizacyjny. Z tej przyczyny zagadnienia rozwoju innowacyjności są w ostatnich latach tematem wielu prac badawczych, których wyniki przedstawiane są w licznych publikacjach. Większość badań ma charakter ogólny bez odnoszenia się do poszczególnych przedsiębiorstw lub innych podmiotów badanej zbiorowości. Ich celem jest opisywanie aktualnego stanu w ujęciu statystycznym, co umożliwia tworzenie list rankingowych ze względu na poziom innowacyjności. Wyniki takich badań odnoszone są do państw i regionów, pozwalając na określanie ich konkurencyjności w ujęciu lokalnym i globalnym.

Celem innej grupy badań - badań szczegółowych - jest wsparcie poszczególnych przedsiębiorstw w podnoszeniu poziomu innowacyjności. Badania te dotyczą poszczególnych przedsiębiorstw i zaspokajają one ważne potrzeby w zakresie diagnozowania stanu obecnego oraz prognozowania zmian korzystnych dla rozwoju przedsiębiorstwa. Ważność tych zagadnień potwierdza również P.F. Drucker, który często odwoływał się do innowacji i uważał je za drugą funkcję biznesu, mającą na celu dostarczanie lepszych i mniej kosztownych dóbr i usług. Jego zdaniem przedsiębiorstwo nie musi być coraz większe, ale powinno być się coraz lepsze [1].

W prezentowanym artykule przedstawiona jest własna koncepcja metodyki oceny innowacyjności przedsiębiorstwa z wykorzystaniem TRL (*Technology Readiness Level* - poziom gotowości technologicznej), przy uwzględnieniu wewnętrznych podziałów funkcjonalnych. Wykorzystywana metodyka stanowi pewną formę audytu innowacyjnego ukierunkowanego na wyznaczanie struktury wewnętrznej innowacyjności przedsiębiorstwa.

Istotnym walorem publikacji jest weryfikacja opracowanej metodyki badań w wybranych przedsiębiorstwach. Ponadto przedstawiona koncepcja badawcza wraz z przykładami może istotnie wspomagać decyzje osób zarządzających innowacjami w przedsiębiorstwie.

2. Ocena przedsiębiorstwa z wykorzystaniem modeli fazowych

Przedsiębiorstwo należy traktować jako złożoną organizację, co sprawia, że nie ma uniwersalnej metodyki jego oceny. Uzasadniona wydaje się zatem ocena w różnych obszarach jego działalności. Pozwala to, na uwzględnianie w procesie oceny różnorodności przedsiębiorstw ze wskazaniem w każdym przypadku ich mocnych i słabych stron. Do realizacji tego rodzaju oceny przydatne są modele fazowe.

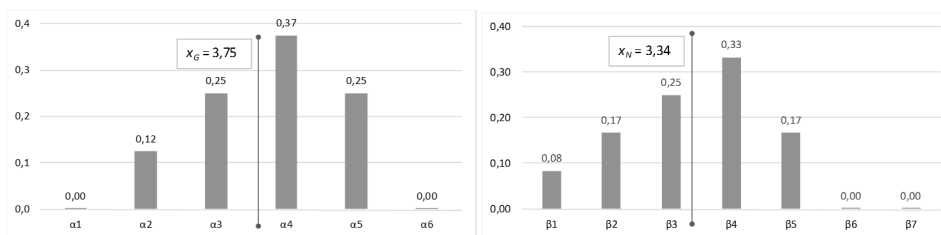
Jako przykład można wskazać obszar praktyk zarządzania i obszar systemów informatycznych zarządzania, wykorzystywany w konstrukcji mapy rozwoju organizacji [2, 3, 4].

Obszar praktyk zarządzania zawiera ciąg sześciu faz reprezentujących kolejne etapy rozwoju. Zgodnie z zastosowanym modelem Greinera [2, 3] fazy te noszą nazwy:

1. kreatywność,
2. kierowanie,
3. delegowanie,
4. koordynacja,
5. współpraca,
6. poszerzanie.

Do poszczególnych faz przypisuje się udziały zaobserwowanych w przedsiębiorstwie cech (α_i) tworząc w ten sposób obraz struktury praktyk zarządzania. Następnie, metodą środka ciężkości obliczany jest wskaźnik Greinera (x_G) lokujący przedsiębiorstwo w odpowiedniej fazie rozwoju (rys. 1).

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^6 i \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^6 \alpha_i}$$



Rys. 1. Struktura praktyk zarządzania oraz systemów informatycznych zarządzania dla przykładowego przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [2, 3]

Dla obszaru systemów informatycznych zarządzania zastosowano model Nolana [2, 3], w którym wyróżnionych jest siedem faz rozwoju:

1. inicjacja,
2. rozpowszechnienie,
3. kontrola,
4. integracja,
5. architektura danych,
6. odmasowienie,
7. usieciowienie.

Podobnie jak poprzednio do kolejnych faz przypisuje się udziały zaobserwowanych cech (β_i), tworząc w ten sposób obraz struktury systemów informatycznych zarządzania. Następnie, metodą środka ciężkości (n_N – współczynnik normalizujący) obliczany jest

wskaźnik Nolana (x_N) lokujący przedsiębiorstwo w odpowiedniej fazie rozwoju (rys. 1).

$$x_N = \frac{\sum_{i=1}^7 i \cdot \beta_i}{\sum_{i=1}^7 \beta_i}$$

Innym przykładem jest wyróżniany w przedsiębiorstwie obszar innowacyjności technologicznej i obszar innowacyjności intelektualnej[5].

Innowacyjność technologiczna dotyczy wyrobu wytwarzanego w procesie produkcyjnym. Obejmuje ona cechy innowacyjności wyrobu oraz wykorzystywanych technik wytwarzania. Natomiast innowacyjność intelektualna związana jest z pracownikami i tworzonym przez nich środowiskiem innowacyjnym. Obejmuje ona twórcze myślenie, sferę B+R, projektowanie wyrobów i procesów wytwarzania, wynalazki i patenty, szkolenia, rozwój metod zarządzania produkcją, a więc działania związane z zarządzaniem wiedzą.

W ocenie innowacyjności przyjęto model fazowy z zastosowaniem skali sześciostopniowej od poziomu zdecydowanie zachowawczego, przy którym cechy innowacyjności są znikome lub wcale nie występują, do poziomu zdecydowanie innowacyjnego odpowiadającego cechom innowacyjności o większym zasięgu niż lokalny.

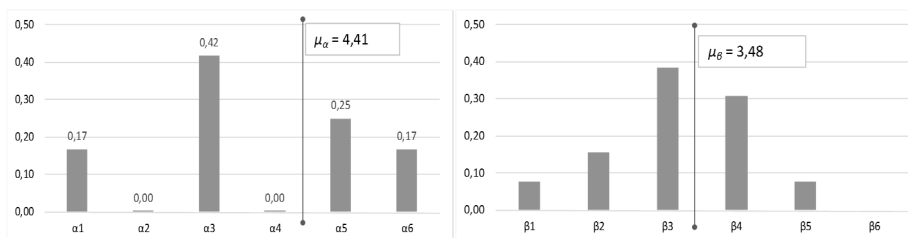
1. zdecydowanie zachowawczy,
2. średnio zachowawczy,
3. umiarkowanie zachowawczy,
4. umiarkowanie innowacyjny,
5. średnio innowacyjny,
6. zdecydowanie innowacyjny.

Struktura innowacyjności w tych dwóch obszarach wyznaczana jest poprzez współczynniki: α_i – dla innowacyjności intelektualnej, β_i – dla innowacyjności technologicznej, określające udziały cech przypisywanych do wskazanych sześciu poziomów przyjętego modelu fazowego.

Następnie wyznaczane są wskaźniki, jako uogólniona miara struktury innowacyjności w obydwóch obszarach. Dla obliczenia wskaźników struktury innowacyjności (μ_α , μ_β) wykorzystywana jest metoda środka ciężkości przy uwzględnieniu współczynników wagowych (rys. 2).

$$\mu_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^6 i \cdot (\alpha_i)}{\sum_{i=1}^6 \alpha_i}$$

$$\mu_\beta = \frac{\sum_{i=1}^6 i \cdot (\beta_i)}{\sum_{i=1}^6 \beta_i}$$



Rys.2 Struktura innowacyjności przykładowego przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie[5]

Uzupełnieniem oceny innowacyjności przedsiębiorstwa może być obszar związany z klasyfikacją TRL. Będzie to część obszaru innowacyjności intelektualnej obejmujący działania w całym cyklu rozwoju technologii od koncepcji (idei, pomysłu) do etapu zastosowania w warunkach produkcyjnych. Określenie technologia oznacza tutaj wyrób materialny lub technikę wytwarzania. Ocena poziomu poszczególnych technologii według metodyki TRL jest znana i coraz szerzej stosowana. Obecnie krajowe instytucje finansujące badania coraz częściej wyznaczają warunki dofinansowania projektów badawczych według logiki TRL. W artykule natomiast podjęto zadanie oceny przedsiębiorstwa jako całości z wykorzystaniem modelu fazowego opartego na skali TRL.

3. Metodyka TRL

Poziomy gotowości technologicznej (technology readiness levels – TRLs), to metodyka oceny stopnia dojrzałości technologii, a także narzędzie umożliwiające ocenę stanu zaawansowania prac nad różnymi technologiami. Metodykę tą po raz pierwszy zastosowano w projektach badawczo-rozwojowych realizowanych przez NASA.

Zdefiniowano w niej 9 poziomów gotowości technologii, które stanowią model odniesienia, a także umożliwiają rzeczową ocenę stanu prac nad nowymi technologiami.

Stopień dojrzałości technologii wyznacza się od fazy konceptualizacji określonego rozwiązania- TRL 1 (najniższy poziom), do etapu uzyskania dojrzałości -TRL 9 (najwyższy poziom). Niskie poziomy gotowości dotyczą procesu opracowywania nowych technologii, które w efekcie działań badawczo-rozwojowych osiągają kolejne etapy rozwoju (poziomy). Średnie poziomy dotyczą rozwoju opracowanych technologii do wykorzystania ich w potencjalnych aplikacjach, lecz nie osiągają one formy docelowej. Demonstracje na tych poziomach opierają się na modelach programowych lub sprzętowych. Najwyższe poziomy są związane z zastosowaniem opracowanych technologii w prototypie finalnego produktu lub systemu. Najwyższy poziom gotowości osiąga produkt w formie ostatecznej i sprawdzonej w warunkach operacyjnych. Zatem dojrzałość koncepcji jest wynikiem prowadzonych badań naukowych oraz prac rozwojowych. Przybiera ona postać rozwiązania technologicznego, które można zastosować w praktyce. Ocena gotowości technologii dostarcza osobom zarządzającym wiarygodnych informacji o stanie prowadzonych prac badawczych i rozwojowych.

Poziom TRL 1 — odnosi się do podstawowych zasad działania nowej technologii. Jest to najniższy poziom, oznaczający rozpoczęcie badań naukowych nad podstawowymi właściwościami technologii [7,8].

Poziom TRL 2 — sformułowano koncepcję technologii, opisano możliwe zastosowanie nowej technologii, jednak brak jest doświadczeń i dokładnych analiz, potwierdzających poprawność koncepcji.

Poziom TRL 3 — przeprowadzono badania analityczne i laboratoryjne na słuszność koncepcji. Na tym poziomie rozpoczyna się etap badawczo-rozwojowy, który obejmuje opracowanie i opis technologii, oraz testy laboratoryjne, mające na celu weryfikację dotychczasowych badań.

Poziom TRL 4 — zweryfikowano koncepcję technologii i jej parametry w warunkach laboratoryjnych, podstawowe komponenty technologii zostały zintegrowane. Uzyskano ogólne odwzorowanie finalnego produktu/technologii w warunkach laboratoryjnych.

Poziom TRL 5 — sprawdzono koncepcję technologii i jej parametry w środowisku zbliżonym do rzeczywistego. Podstawowe komponenty nowej technologii są zintegrowane z rzeczywistymi elementami funkcjonującymi w danym systemie. Technologia może być również poddawana próbie w symulowanych warunkach operacyjnych.

Poziom TRL 6 — zaprezentowano działanie prototypu technologii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Badania mogą być realizowane w warunkach laboratoryjnych, które odzwierciedlają w wysokim stopniu warunki rzeczywiste.

Poziom TRL 7 — zaprezentowano działanie prototypu produktu/technologii w warunkach operacyjnych. Poziom ten określa znaczący postęp w zakresie dojrzałości technologii i w wielu dziedzinach wymaga zaangażowania znacznych środków finansowych.

Poziom TRL 8 — dokonano oceny technologii, potwierdzono spełnienie założeń projektowych - technologia osiągnęła oczekiwany poziom i może być zastosowana w przewidywanych dla niej warunkach.

Poziom TRL 9 — nowa technologia jest już w ostatecznej formie i może zostać wdrożona w docelowych procesach, została sprawdzona w warunkach operacyjnych z pozytywnym wynikiem (produkcja).

Tabela 1. Poziomy gotowości technologicznej według TRL

Poziom TRL	Opis działań	Etapy
1	Zaobserwowano i scharakteryzowano podstawowe zasady danego zjawiska	Badania podstawowe
2	Określono koncepcję technologii i możliwe zastosowania	
3	Potwierdzono analitycznie i eksperymentalnie założenia dotyczące technologii	
4	Zweryfikowano w warunkach laboratoryjnych komponenty technologii	Badania rozwojowe
5	Zweryfikowano w warunkach zbliżonych do rzeczywistych komponenty technologii	
6	Dokonano demonstracji prototypu lub modelu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych	
7	Dokonano demonstracji prototypu w warunkach operacyjnych	Prace wdrożeniowe
8	Zakończono badania i demonstrację ostatecznej formy technologii	
9	Uruchomiono produkcję na skalę przemysłową	

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [9]

4. Struktura TRL przedsiębiorstwa

Ocena poziomu gotowości technologii według TRL w naturalny sposób tworzy model fazowy, co można wykorzystać w ocenie całego przedsiębiorstwa. Po identyfikacji technologii w przedsiębiorstwie, w ocenie uwzględniane są tylko te technologie, które mogą podlegać klasyfikacji TRL. Stan technologii według klasyfikacji TRL dla całego przedsiębiorstwa można przedstawić w formie tabeli (Tabela 2).

Wiersze w powyższej tabeli opisują stan kolejnych ocenianych technologii. Współczynniki a_{ki} informują, czy dana technologia w ramach działań prowadzonych w przedsiębiorstwie osiągnęła poziom i . W klasycznym ujęciu TRL jest to informacja binarna, tak lub nie. Tutaj przyjęto trzy poziomy (skala Likerta), co pozwala uwzględnić zróżnicowanie wysiłku włożonego w prace nad technologią w przedsiębiorstwie:

$a_{ki} = 0$; na tym poziomie nie było działań, lub były pomijalnie małe;

$a_{ki} = 1$; na tym poziomie były średnio intensywne prace o średnim stopniu złożoności;

$a_{ki} = 2$; na tym poziomie były intensywne prace o wysokim stopniu złożoności.

Tabela 2. Stan technologii według TRL

Oceniane technologie	Poziomy TRL ($i = 1 \dots 9$)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Technologia 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}
Technologia 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}
Technologia...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Technologia k	a_{k1}	a_{k2}	a_{k3}	a_{k4}	a_{k5}	a_{k6}	a_{k7}	a_{k8}	a_{k9}
Technologia...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Technologia n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}	a_{n5}	a_{n6}	a_{n7}	a_{n8}	a_{n9}
Sumy częściowe dla poziomów TRL	$\sum_{k=1}^n a_{k1}$	$\sum_{k=1}^n a_{k2}$	$\sum_{k=1}^n a_{k3}$	$\sum_{k=1}^n a_{k4}$	$\sum_{k=1}^n a_{k5}$	$\sum_{k=1}^n a_{k6}$	$\sum_{k=1}^n a_{k7}$	$\sum_{k=1}^n a_{k8}$	$\sum_{k=1}^n a_{k9}$
Suma współczynników	$\sum_{i=1}^9 \sum_{k=1}^n a_{ik}$								

Źródło: opracowanie własne

Przypisywanie wartości współczynnikom nie jest precyzyjne i zawiera elementy subiektywnej oceny, przy czym wprowadzenie trzystopniowej skali przyczynia się do zmniejszenia stopnia subiektywności.

Dane dotyczące ocenianych technologii przedstawione w tabeli 2 można zapisać w postaci macierzy. Macierz taka posiada dziewięć kolumn odpowiadających kolejnym poziomom skali TRL. Natomiast wiersze odpowiadają kolejnym technologiom realizowanym w badanym przedsiębiorstwie. Utworzona w ten sposób macierz TRL przedsiębiorstwa zawiera komplet danych dla wyznaczenia struktury TRL.

$$M_{TRL} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} & a_{28} & a_{29} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{k3} & a_{k4} & a_{k5} & a_{k6} & a_{k7} & a_{k8} & a_{k9} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & a_{n4} & a_{n5} & a_{n6} & a_{n7} & a_{n8} & a_{n9} \end{bmatrix}$$

Współczynniki struktury są równe sumie wartości współczynników a_{ki} dla kolejnych poziomów skali TRL odnoszonej do sumy wszystkich współczynników. Są one w ten sposób normalizowane do zakresu $\langle 0,1 \rangle$. Tak obliczone współczynniki obrazują strukturę TRL przedsiębiorstwa.

$$\vartheta_i = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik}}{\sum_{i=1}^9 \sum_{k=1}^n a_{ik}} \quad \text{dla } i = 1 \dots 9$$

Miarą uogólniającą jest wskaźnik TRL przedsiębiorstwa obliczany metodą środka ciężkości. Wskaźnik ten przyjmuje wartości z zakresu $\langle 0, 9 \rangle$.

$$W_{TRL} = \frac{\sum_{i=1}^9 i \cdot \vartheta_i}{\sum_{i=1}^9 \vartheta_i}$$

Współczynniki struktury są wielkościami bezwymiarowymi i określają wzajemne proporcje działań w kolejnych dziewięciu poziomach skali TRL. Nie zawierają natomiast informacji o bezwzględnej skali prowadzonych w przedsiębiorstwie działań. Dlatego wprowadzono kolejny parametr modelu nazwany współczynnikiem skali:

$$\varepsilon = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \sum_{k=1}^n a_{ik}$$

Współczynnik skali jest uśrednioną na 9 poziomów miarą obejmującą wszystkie oceniane technologie realizowane w przedsiębiorstwie. Według innej interpretacji pokazuje on, ile razy łączne działania związane z rozwojem technologii w przedsiębiorstwie, przewyższają działania w umownym przedsiębiorstwie realizującym średnio intensywne prace o średnim stopniu złożoności na każdym z dziewięciu poziomów TRL ($a_{ki} = 1$ dla $i=1 \dots 9$).

Sposób wykorzystania zaproponowanego modelu i interpretacja wyników (rys. 3) zostanie przedstawiona na przykładzie dwóch wymyślonych przedsiębiorstw (A, B). Analiza obejmuje prace podlegające klasyfikacji TRL realizowane w przedsiębiorstwach w analizowanym okresie czasu.

$$MA_{TRL} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad MB_{TRL} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

W przedsiębiorstwie A ocenie poddano pięć technologii odpowiadających kolejnym wierszom macierzy MA_{TRL} .

Technologia 1 – prace o średnim stopniu złożoności dotyczące opracowania i wprowadzenia do produkcji nowego materiału. Prace doprowadzono do poziomu 4 i przerwano z powodu braku środków finansowych.

Technologia 2 – intensywne prace o wysokim stopniu złożoności dotyczące opracowania i wdrożenia do produkcji nowego wyrobu. Od poziomu 5 część zadań przejęła firma zewnętrzna, stąd zmniejszenie intensywności prac w przedsiębiorstwie.

Technologia 3 – intensywne prace o wysokim stopniu złożoności dotyczące technologii obróbki warstwy wierzchniej oparte o własny patent. Po zakończeniu poziomu 3 sprzedano licencję, ale prowadzono jeszcze prace nad wdrożeniem w ramach usług dla nabywcy technologii. Obecnie osiągnięto poziom 7 i prace są kontynuowane.

Technologia 4 – prace o średnim stopniu złożoności dotyczące pozyskiwania surowców z odpadów (recykling surowcowy). Zaproponowana technologia nie przynosi spodziewanych korzyści i prace zostały przerwane na poziomie 4.

Technologia 5 – prace o wysokim stopniu złożoności dotyczące technologii modyfikacji struktury warstwy wierzchniej. Została w tym przypadku wykorzystana część badań podstawowych wykonywanych w ramach technologii 2. Obecnie osiągnięto poziom 6 i prace są konstytuowane.

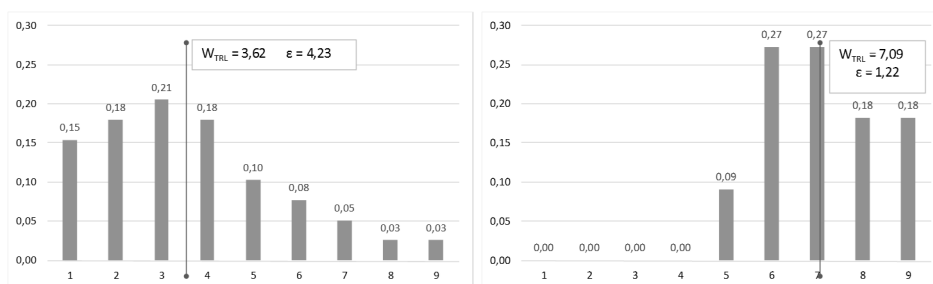
W przedsiębiorstwie B ocenie poddano trzy technologie odpowiadające kolejnym wierszom macierzy MB_{TRL} .

Technologia 1 – prace o średnim stopniu złożoności nad modernizacją linii produkcyjnej do warunków umożliwiających wykorzystanie zakupionych robotów przemysłowych, co wiąże się ze zmianą techniki wytwarzania.

Technologia 2 – zakończona sukcesem niewielka modernizacja jednego z produkowanych wyrobów.

Technologia 3 - modernizacja techniki nanoszenia pokryw lakierniczych według zakupionej licencji. Wykonane zostały prace na 6 i 7 poziomie. Prace są kontynuowane.

Dla tych dwóch przykładowych przedsiębiorstw wyznaczono strukturę TRL, obliczono wskaźniki W_{TRL} oraz współczynniki skali ϵ (rys. 3).



Rys.3. Struktura TRL przykładowych przedsiębiorstw A oraz B

Źródło: opracowanie własne

Wnioski wynikające jedynie z wyników analiz przedstawionych na rys. 3 (bez znajomości przedsiębiorstw i macierzy TRL) sformułowano następująco:

Przedsiębiorstwo A – struktura TRL umiarkowanie równomierna, niewielka ilość działań na wysokich poziomach TRL. Dominują prace na niższych poziomach TRL, co wskazuje na szeroką działalność B+R, jednak przedsiębiorstwo ma pewne doświadczenie w prowadzeniu prac rozwojowych na wszystkich poziomach TRL. Położenie wskaźnika ($W_{TRL} = 3,62$) w pierwszej części przedziału ($W_{TRL} < 4,5$) wskazuje na ograniczone sukcesy w zakresie wdrażania większości prac badawczych.

Przedsiębiorstwo B – struktura TRL nierównomierna, działania jedynie na wysokich poziomach TRL. Dominują prace wdrożeniowe oparte na nabytych z zewnątrz technologiach. Wynika stąd bardzo wysoka wartość wskaźnika przedziału ($W_{TRL} = 7,09$), co świadczy o braku w przedsiębiorstwie działalności B+R.

Współczynniki skali wskazują na niewielką ilość działań w przedsiębiorstwie B i znacznie większą (blisko czterokrotnie większą) w przedsiębiorstwie A.

5. Wyniki badań- studium przypadku

Zgodnie z prezentowaną metodyką przeprowadzono badania w trzech przedsiębiorstwach. Zidentyfikowano technologie odpowiednie dla klasyfikacji TRL (jako okres analizy przyjęto 3 lata), co umożliwiło ocenę całego przedsiębiorstwa.

Przedsiębiorstwo P1

Przedsiębiorstwo produkcyjne, średniej wielkości, działające w branży motoryzacyjnej. Produkuje rolki i napinacze, do silników samochodowych, które są zamiennikiem wyrobów oryginalnych oraz rolki będące częścią zamienną do oryginalnych napinaczy. W przedsiębiorstwie zidentyfikowano cztery technologie poddawane ocenie.

Technologia 1

Wdrożenie techniki wytwarzania elementów z tworzyw sztucznych metodą wtryskową. Przeprowadzono próby wspomagające dobór warunków procesu wytwarzania zapewniających uzyskanie wymaganych parametrów wymiarowych. Zbadano właściwości wytrzymałościowe, wykonano serie próbne poddawane ocenie w warunkach rzeczywistej

pracy. Sprawdzono technologię w warunkach operacyjnych umożliwiających produkcję wielkoseryjną. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 6 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 2

Wdrożenie techniki wytwarzania elementów z blachy metodą tłoczenia na zimno. Zaprojektowano odpowiednie tłoczniaki, wykonano próby tłoczenia dobierając parametry zapewniające odpowiednią jakość wytwarzanych elementów. Sprawdzono w warunkach rzeczywistej eksploatacji działanie wytworzonych elementów. Uruchomiono produkcję seryjną z wykorzystaniem prasy mimośrodowej oraz prasy hydraulicznej. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 6 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 3

Dostosowanie do potrzeb przedsiębiorstwa i wdrożenie techniki laserowego znakowania wyrobów. Przeprowadzono laboratoryjne badania możliwości znakowania na różnego rodzaju materiałach, dobierając odpowiednie parametry prasy lasera. Badano trwałość wykonywanych oznaczeń. Przeprowadzono próby testowe w warunkach rzeczywistej produkcji, korygując odpowiednio parametry. Wdrożono system znakowania dla wszystkich wykonywanych wyrobów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 4 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 4

Wytwarzanie form wtryskowych, tłoczników i innych narzędzi produkcyjnych. Zakupiono elektro drążarki wykorzystywane w procesach wytwarzania, opracowano katalog nowych możliwości produkcyjnych wynikających z zakupów. Dostosowano dotychczasowe projekty form, tłoczników do nowych warunków wytwarzania. Wykonano próbne egzemplarze oraz przedstawiono ofertę usług w tym zakresie. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 7 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności. Macierz TRL dla przedstawionego przedsiębiorstwa *P1* ma postać:

$$M1_{TRL} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Przedsiębiorstwo P2

Przedsiębiorstwo produkcyjne, średniej wielkości, związane z produkcją urządzeń związanych z techniką grzewczą. Posiada nowoczesny park maszynowy oraz niewielkie własne laboratorium badawcze oraz własny zespół konstruktorów. W przedsiębiorstwie zidentyfikowano pięć technologii poddawanych ocenie.

Technologia 1

Palnik do spalania biomasy w postaci granulatu drzewnego (pellet), samodzielne nowatorskie rozwiązanie objęte prawem ochronnym na wzór użytkowy (Urząd Patentowy RP – 2013r). Przeprowadzono badania dotyczące warunków spalania pelletów, przedstawiono koncepcje nowej konstrukcji palnika, wykonano odpowiednie badania materiałowe. Wykonano projekt z uwzględnieniem analiz wytrzymałościowych dla pracy w wysokich temperaturach. Zbudowano prototyp z zastosowaniem sterownika z czujnikiem żaru. Palnik sprawdzono w warunkach zbliżonych do rzeczywistej eksploatacji, modyfikując wybrane parametry. Opracowano warunki produkcji seryjnej i włączono palnik jako standardowe urządzenie do odpowiednich typów produkowanych kotłów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace

związane z tą technologią lokują się w przedziale 2 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim i wysokim stopniem złożoności.

Technologia 2

Wdrożenie technologii cięcia laserowego w procesie produkcji kotłów. Zakupiono pełny zestaw wycinarki laserowej zamontowano w hali produkcyjnej i przeszkolono pracowników w obsłudze. Zmodyfikowano konstrukcję i proces wytwarzania kotłów uwzględniając nowe możliwości wycinania elementów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 7 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 3

Szerokie stosowanie techniki gięcia blach z zastosowaniem giętarek i pras krawędziowych w miejsce dotychczas stosowanych technik spawania. Zmodyfikowano konstrukcje kotłów, tak aby w dużym stopniu możliwe było zastosowanie operacji gięcia, zmniejszając ilość operacji spawania. Zaprojektowano i wykonano oprzyrządowanie giętarek i pras krawędziowych. Przeprowadzono próby w skali laboratoryjnej, a następnie na rzeczywistych elementach. Sprawdzono skuteczność tej metody wytwarzania i zastosowano ją do większości typów produkowanych kotłów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 5 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 4

Automatyzacja procesów spawania z wykorzystaniem robotów spawalniczych. Zakupiono dwa roboty spawalnicze, dostosowano proces wytwarzania do współpracy z robotami określając operacje wykonywane przez roboty i przez pracowników. Wykonano próbne egzemplarze kotłów sprawdzając jakość wykonanych spawów. Technikę spawania z wykorzystaniem robotów włączono w procesy produkcji różnych typów kotłów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 7 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 5

Zakup urządzeń i wdrożenie techniki malowania proszkowego zewnętrznych elementów kotłów. Przeprowadzono próby przy różnych parametrach procesu malowania oceniając estetykę oraz odporność na zarysowania. Przeprowadzono testy w warunkach zbliżonych do rzeczywistego użytkowania i wdrożono technikę malowania proszkowego do produkcji wielu modeli produkowanych kotłów. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 6 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Macierz TRL dla przedstawionego przedsiębiorstwa *P2* ma postać:

$$MP2_{TRL} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Przedsiębiorstwo P3

Elektrociepłownia w dużym mieście, nastawiona na wykorzystywanie paliw alternatywnych, bez własnego ośrodka badawczego, sporadycznie współpracująca z uczelnią techniczną.

Technologia 1

Prowadzone były prace, wspólnie z wyższą uczelnią, nad zastosowaniami odpadów w formie żużli do celów budowlanych. Prace związane były z realizacją doktoratu i dotyczyły jedynie zakresu badań podstawowych. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 1 ÷ 2 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

Technologia 2

Zakup technologii i urządzeń do spalania biomasy. Opracowano projekt przebudowy jednego bloku energetycznego dla potrzeb spalania biomasy, Zakupiono odpowiednie urządzenia i uruchomiono produkcję energii. Proces uruchomienia wymagał szeregu działań zapewniających niezawodność systemu oraz osiągnięcia wymaganej sprawności energetycznej. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 6 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim i wysokim stopniem złożoności.

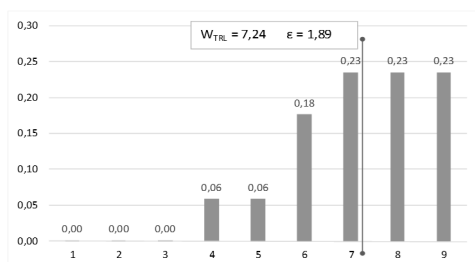
Technologia 3

Zakup oraz montaż urządzeń filtrujących zapewniających odpowiedni skład spalin, spełniających wymagania określone normami. Projekt wykonywała firma dostarczająca urządzenia, przedsiębiorstwo jedynie uczestniczyło w małym stopniu w procesie uruchamiania systemu, łącznie z analizą składu spalin. Prowadzone w przedsiębiorstwie prace związane z tą technologią lokują się w przedziale 7 ÷ 9 poziomu TRL ze średnim stopniem złożoności.

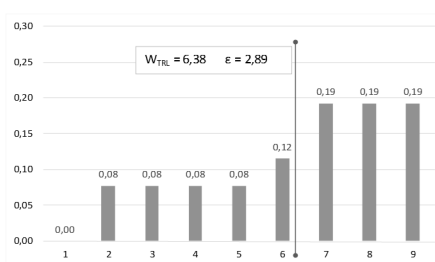
Macierz TRL dla przedsiębiorstwa P3 ma postać:

$$MP3_{TRL} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dla każdego badanego przedsiębiorstwa wyznaczono strukturę TRL, obliczono wskaźniki W_{TRL} oraz współczynniki skali ϵ .



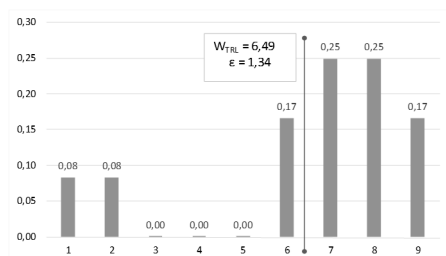
Rys. 4. Struktura TRL przedsiębiorstwa P1
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Struktura TRL przedsiębiorstwa P2
Źródło: opracowanie własne

Przedsiębiorstwo P1 – struktura TRL nierównomierna, z przewagą działań na wysokich poziomach TRL (rys. 4). Dominują prace wdrożeniowe oparte na nabytych z zewnątrz technologiach. Jedynie w przypadku dostosowywania zakupionej technologii (technologia 3) do własnych potrzeb przeprowadzono badania w warunkach laboratoryjnych. Wynika stąd bardzo wysoka wartość wskaźnika przedziału ($W_{TRL} = 7,24$), co świadczy o ograniczonym zakresie działalności B+R w przedsiębiorstwie.

Przedsiębiorstwo P2 – struktura TRL umiarkowanie równomierna, przy niewielkiej ilości działań na niskich poziomach TRL (rys. 5). Dominują prace na wyższych poziomach TRL, co wskazuje na wdrażanie zakupionych z zewnątrz technologii i dostosowywanie ich do własnych warunków. W przedsiębiorstwie prowadzona jest również w ograniczonym zakresie działalności B+R (wartość współczynnika skali $\epsilon=2,89$), której pozytywne wyniki są wykorzystywane w procesie produkcji, na co wskazuje położenie wskaźnika ($W_{TRL} = 6,38$).



Rys. 6. Struktura TRL przedsiębiorstwa P3
Źródło: opracowanie własne

Przedsiębiorstwo P3 – struktura TRL nierównomierna, działania na niskich i wysokich poziomach TRL (rys. 6). Dominują prace wdrożeniowe oparte na nabytych z zewnątrz technologiach. Wynika stąd wysoka wartość wskaźnika przedziału ($W_{TRL} = 6,49$), przy czym przedsiębiorstwo podejmuje współpracę z wyższą uczelnią techniczną w celu tworzenia nowych rozwiązań. Działania te jednak na razie nie przyniosły oczekiwanych efektów. Stąd brak ciągłości spowodowany nie podejmowaniem działań rozwojowych.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono podejście do oceny innowacyjności przedsiębiorstwa w ujęciu klasyfikacji TRL. Ze względu na dużą uniwersalność metodyki TRL i różnorodność badanych technologii, ocena taka jest trudnym i niejednoznacznym procesem. Może to powodować małą skuteczność oceny, szczególnie w sytuacji braku jednoznacznej procedury kojarzenia aktualnego stanu rozwoju technologii z poziomami wskazanymi w metodyce [6]. Obecnie logika TRL wykorzystywana jest w ocenie pojedynczych technologii w ramach działalności badawczo-rozwojowej związanej z charakteryzującym się olbrzymią różnorodnością rynkiem komercyjnym, a także w ocenie projektów zgłaszanych do konkursów o współfinansowanie ze środków Unii Europejskiej.

Przedstawiona koncepcja oceny gotowości technologicznej jest dobrym narzędziem w ocenie innowacyjności całego przedsiębiorstwa. Analiza struktury TRL daje wiedzę o potencjalnych możliwościach przedsiębiorstwa w zakresie prowadzenia prac od pomysłu do finalnego wdrożenia nowych, innowacyjnych technologii. Może być zatem pomocna w procesach decyzyjnych dotyczących zarządzania innowacjami w przedsiębiorstwie, a także finansowania badań, rozwoju oraz wprowadzania na rynek nowych technologii.

Literatura

1. Drucker P.F., Praktyka zarządzania, Wydawnictwo MT Biznes sp. z.o.o., Kraków 2005, s. 75
2. Luściński S., Wpływ systemów informatycznych na rozwój organizacji. Praca doktorska, Wydział Zarządzania, Uniwersytet Warszawski 2011
3. Luściński S., Gierulski W., Identyfikacja stopnia rozwoju systemów informatycznych zarządzania. Zarządzaniem przedsiębiorstwem, 2010
4. Luściński S., Rola systemów informatycznych zarządzania w rozwoju organizacji, w: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, pod red. R. Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011
5. Kaczmarska B., Modelowanie innowacyjnego rozwoju przedsiębiorstw, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej 2015

6. Kaczmarska B., Bochnia J., Gierulski W., Ocena gotowości technologii jako element procesu komercjalizacji, w: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, pod red. R. Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015
7. Defense Acquisition Guidebook, U.S. Department of Defense, Jan. 2012,
8. Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications, European Space Agency, Sep. 2008
9. Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance, U.S. Department of Defense, Apr. 2011
10. <http://lctt.pollub.pl/uploads/2014%2011%2021%20PREZENTACJA%20RPK.PDF>

Dr hab. inż. Bożena KACZMARSKA
Mgr inż. Aleksandra SULERZ
Katedra Inżynierii Produkcji,
Wydział Zarządzania i Modelowania Komputerowego
Politechnika Świętokrzyska
25-314 Kielce, Aleja Tysiąclecia PP 7,
www.tu.kielce.pl
e-mail: bozena.kaczmarska@tu.kielce.pl
a.sulerz@tu.kielce.pl