

TRANSFORMACJA LOGISTYKI W DOBIE KONCEPCJI PRZEMYSŁ 4.0

W artykule przedstawiono zagadnienia obejmujące transformację logistyki w ramach rozwijanej obecnie koncepcji Przemysł 4.0. W takim ujęciu pojawia się problem badawczy polegający na ustaleniu, które parametry i charakterystyczne cechy procesów logistycznych są najbardziej istotne z punktu widzenia idei Przemysł 4.0. Dodatkowo należy ustalić wzajemne związki pomiędzy tymi parametrami. W artykule do oceny tych charakterystyk wykorzystano analizę wielokryterialną. Artykuł może być użyteczny dla osób zainteresowanych nowoczesnymi rozwiązaniami w branży produkcyjnej i logistycznej.

WSTĘP

Po trzech erach rewolucji przemysłowej, związanych kolejno z wykorzystaniem w produkcji maszyn parowych, wprowadzeniem produkcji masowej oraz automatyzacją produkcji, od 2011 roku [1-4] formułowany jest postulat czwartej rewolucji skojarzonej z ideą Przemysł 4.0.

Warto zauważyć, że nie ma obecnie jednolitej definicji koncepcji Przemysł 4.0. Co więcej obok zdań, że jest to przyszłość produkcji, funkcjonują również opinie, że jest to tylko kolejny "modny" termin w zakresie zarządzania, mający przyciągnąć uwagę. Jeżeli tak jest naprawdę to po pewnym czasie i rozczarowaniach kadry zarządzającej firmami koncepcja zostanie porzucona lub zmieni się w inne rozwiązanie. Nawet w przypadku takiego scenariusza, eksperci są w większości zgodni, że koncepcja Przemysłu 4.0 ma duży potencjał w zakresie nowego podejścia do zarządzania logistyką.

Ekspertzy zauważają także, że rosnąca złożoność produkcji oraz sieci logistycznych pomiędzy kooperantami są istotnymi barierami rozwoju i optymalizacji procesów produkcyjnych. Istotną wartością nowego podejścia może być to, że u podstaw koncepcji Przemysłu 4.0 stoi założenie, że ma ona umożliwiać rozwiązanie problemów związanych ze złożonością współczesnej produkcji i logistyki.

W takim kontekście pojawia się problem badawczy w jakim zakresie i które parametry logistyczne są najbardziej istotne z punktu widzenia procesu wytwórczego zgodnego z ideą Przemysł 4.0. W artykule podjęto badanie polegające na ustaleniu tych parametrów i ich multykryterialnej ocenie.

1. PRZEMYSŁ 4.0 - KONCEPCJA

Koncepcja Przemysł 4.0 oznacza w praktyce szerokie wykorzystanie w procesie produkcyjnym najnowszych technologii, które łączy powszechne wykorzystanie Internetu oraz systemów cyber-fizycznych na potrzeby monitoringu, optymalizacji i inicjowania procesów produkcyjnych.

Wykorzystanie systemów cyber-fizycznych [5] powoduje, że systemy IT rejestrują i monitorują przebieg procesów fizycznych, które w pętli sprzężenia zwrotnego wpływają na proces przetwarzania danych w systemach. W odniesieniu do procesu produkcyjnego oznacza to, że informacje „fizyczne” zarejestrowane np. w sklepach i magazynach są ściśle zsynchronizowane z „przestrzenią obliczeniową” systemów IT. Systemy cyber-fizyczne obejmują m.in. szereg czujników, siłowników i wzajemnie powiązanych jednostek sterujących.

Koncepcja Internetu rzeczy (IoT) [6] jest obecnie często uważana za element inicjujący rozwój Przemysłu 4.0. Większość z definicji [7] koncentruje się na zwiększeniu możliwości materialnych przedmiotów, które zamieniają się w „inteligentne rzeczy” o nowych możliwościach i funkcjonalnościach dzięki „niewielkim” komputerom podłączonym do Internetu.

Z kolei Internet usług (IoS) [8] oznacza, że usługi są świadczone za pośrednictwem technologii internetowych powiązanych często z „przetwarzaniem chmurowym” [9]. Umożliwia to firmom-usługodawcom łączenie, tworzenie i oferowanie użytkownikom-usługobiorcom nowego rodzaju usług. W odniesieniu do produkcji oznacza to, że udziela się jednej ze stron procesu tymczasowego dostępu do zasobów drugiej strony w celu wykonania określonych funkcji.

Opisane powyżej systemy cyber-fizyczne, Internet rzeczy oraz Internet usług są podstawowymi komponentami Przemysłu 4.0. Są one ze sobą ściśle powiązane umożliwiając powstanie tzw. „inteligentnej fabryki” [10] i „inteligentnej produkcji” [11]. Bliskie połączenie produktów, maszyn, systemów transportowych i ludzi w ramach inteligentnych fabryk stanowi kolejną kluczową cechę Przemysłu 4.0. Elastyczny proces produkcji realizuje ideę „zindywidualizowanej” produkcji masowej. Inteligentne fabryki umożliwiają wprowadzenie złożonych procesów produkcyjnych, jednocześnie łatwych w zarządzaniu dla pracowników i uwzględniających założenia zrównoważonego rozwoju procesów produkcyjnych i dystrybucji [12].

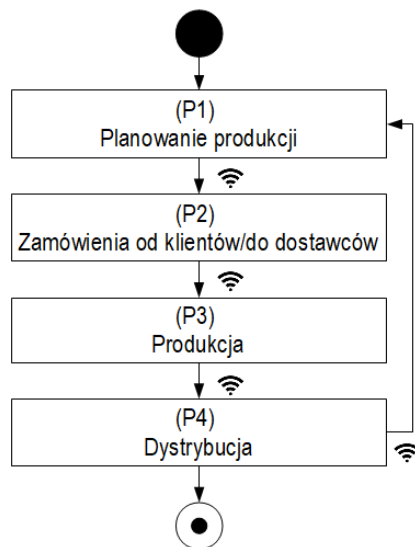
Oprócz wymienionych powyżej, ideę Przemysłu 4.0 wspierają m.in. rozwiązania z zakresu: robotyki [13], transformacji cyfrowej [14], sztucznej inteligencji [15], rzeczywistości rozszerzonej [16], interfejsów człowiek-maszyna [17], pojazdów autonomicznych [18], a także zaawansowanego drażenia danych [19].

Przemysł 4.0, w odniesieniu do logistyki, jest rozwijany w celu osiągnięcia decentralizacji, samoregulacji i optymalizacji wydajności tego procesu.

Wobec powyższych założeń, Przemysł 4.0 można definiować jako powiązanie produktów, usług i procesu produkcji z uwzględnieniem połączenia internetowego, które umożliwia automatyczną optymalizację produkcji, w tym uruchamianą bez udziału człowieka (na podstawie mechanizmów predykcyjnych i danych on-line z systemów cyber-fizycznych).

Faktyczny cykl działań obejmujących integrację zamówień, produkcji i dystrybucji towarów w ramach Przemysłu 4.0 może być różnorodny i każdorazowo dopasowany do specyfiki przedsiębiorstwa. Przykładowy obieg realizacji zamówienia, produkcji i dystrybucji w ramach koncepcji Przemysł 4.0 może obejmować poniższe, cztery główne etapy (Rys. 1). Chmurowe systemy produkcyjne ERP umożli-

liwiają planowanie procesu produkcji (proces P1) na podstawie analizy rotacji i drażenia danych zawartych w systemie IT, a także w oparciu o realne dane on-line o przepływie produktów, materiałów i danych zarejestrowanych i monitorowanych przez systemy cyber-fizyczne. Równocześnie następuje komasacja zamówień związanych z produkcją (proces P2). Zamówienia pochodzą od klientów, a także w sposób automatyczny uruchamiane są zamówienia u kontrahentów na brakujące i niezbędne składniki. Następnie zostaje złożone zamówienie na produkcję z rezerwacją zasobów sprzętowych, osobowych i materiałowych i realizacja procesu produkcyjnego (proces P3). Produkty są dystrybuowane do klientów (proces P4) z uwzględnieniem inteligentnego planowania tras dostaw, realizowanych również przez pojazdy autonomiczne.



Rys. 1. Procesy w ramach Produkcji 4.0

Reasumując, warto podkreślić, że w modelu Przemysł 4.0 faktyczny stan zapasów towarów w sklepie lub magazynie odbiorcy, a także informacje o konsumpcji towarów zarejestrowane przy pomocy systemów cyber-fizycznych mogą za pośrednictwem chmurowego systemu ERP uruchomić proces produkcyjny.

2. PRZEMYSŁ 4.0 I PROCESY LOGISTYCZNE

W klasycznym podejściu dostaw w systemie just-in-time (JIT) można skupić się na minimalizacji zapasów [20-21]. Rozwinięciem tej koncepcji jest filozofia just-in-sequence (JIS), w której ważnym elementem jest koordynacja kolejności realizacji dostaw i odpowiednie ich planowanie. W takim ujęciu JIS wprowadza nowe wymagania i warunki w ramach systemu JIT. W obrębie JIT/JIS wyodrębniono cztery podstawowe procesy P1-P4 omówione powyżej.

W celu ustalenia i oceny parametrów logistycznych powiązanych z Przemysłem 4.0 przeprowadzono trzynaście wywiadów eksperckich. Jednakże przy interpretacji wyników należy uwzględnić szereg czynników. Z jednej strony eksperci mieli głęboką wiedzę w zakresie logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw. Z drugiej strony nie uważali się za specjalistów w dziedzinie Przemysłu 4.0. W efekcie dość trudno jest porównać odpowiedzi przy ograniczonej liczbie respondentów. Aby uzyskać bardziej reprezentatywne i obiektywne wyniki konieczna byłaby większa liczba respondentów.

Opierając się na opiniach ekspertów opracowano zestaw charakterystycznych cech procesu logistycznego JIT/JIS powiązanego z koncepcją Przemysł 4.0. Całkowita sekwencja została przez nich podzielona na cztery procesy, a w każdym z nich przyjęto po cztery

komponenty logistyczne. Do dalszej analizy uzyskano 16 kryteriów zaprezentowanych w Tabeli 1.

Tab. 1. Komponenty logistyczne w ramach koncepcji Przemysł 4.0

Proces	Komponenty
Planowanie procesu produkcji (P1)	(C1) Monitorowanie on-line w systemach ERP informacji o przepływie (zaopatrzenie i dostawy) towarów i produktów (C2) Integracja on-line logistyki zaopatrzenia materiałów i dostaw finalnych produktów, z procesem produkcji, sprzedaży i dystrybucji (C3) Modyfikacja harmonogramu produkcji w oparciu o realne dane on-line z magazynów i punktów sprzedaży odbiorców (C4) Monitorowanie informacji on-line o odchyleniach w procesie produkcji i produktach
Zamówienia do procesu produkcji (P2)	(C5) Integracja przepływu produktów i informacji (C6) Wykorzystanie rozwiązań chmurowych do integracji łańcucha dostaw (C7) Zintegrowana, wspólna platforma do generowania zamówień od klientów, zamówień do dostawców, realizująca proces produkcji i dystrybucji (C8) Zamówienia do produkcji na dedykowane zamówienie, w miejsce tradycyjnej produkcji masowej
Produkcja (P3)	(C9) Autonomiczny system produkcyjny reagujący na dane on-line z zewnątrz, od odbiorców (C10) Wykorzystanie monitorujących systemów cyber-fizycznych w procesie uruchamiania produkcji (C11) Możliwość dynamicznego wykorzystania mocy produkcyjnych w rozproszonej grupie firm produkcyjnych (C12) Wydłużony czas na składanie zleceń produkcyjnych przez odbiorców przy jednoczesnym skróceniu czasu przygotowania produkcji
Dystrybucja (P4)	(C13) Telematyczny monitoring on-line warunków zewnętrznych na trasie dystrybucji z sugestiami modyfikacji trasy (C14) Cyfrowe modelowanie i dopasowywanie optymalnego środka transportu w zależności od specyficznych wymagań odbiorcy (C15) Wykorzystanie mobilnych odmian systemów IT (C16) Wykorzystanie autonomicznych środków transportowych

3. OCENA PARAMETRÓW LOGISTYCZNYCH

Do oceny ważności i wzajemnych powiązań pomiędzy poszczególnymi parametrami logistycznymi stosuje się często wielokryterialne metody ekspertowe. W niniejszym artykule zastosowano metodę DEMATEL [22-23]. Po ustaleniu pozycji w Tabeli 1 eksperci zostali ponownie poproszeni o ustalenie wartości wzajemnego oddziaływania na siebie par wszystkich ustalonych wcześniej kryteriów, przyjmując 5 stopniową skalę wpływu kryterium pierwszego na drugi, gdzie 0 oznacza brak wpływu, 1 niewielki wpływ, 2 wyraźny wpływ, 3 duży wpływ, a 4 ekstremalny wpływ. Przyjmuje się, że każde z kryteriów może bezpośrednio wpływać na inne kryteria, ale nie może wpływać na siebie. W efekcie uzyskuje się macierz bezpośredniego wpływu Z , zgodnie ze wzorem (1):

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1j} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z_{i1} & \dots & z_{ij} & \dots & z_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nj} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

W oparciu o wskazania trzynastu ekspertów otrzymano zbiór trzynastu cząstkowych macierzy bezpośredniego wpływu. Do ustalenia tych ocen alternatywnie stosuje się często numeryczne systemy ekspertowe. W wyniku agregacji wszystkich macierzy cząstkowych - równanie (1) - uzyskuje się w efekcie końcową macierz bezpośredniego wpływu Z (Tabela 2). Następnie, zgodnie ze wzorem (2) wyznaczono znormalizowaną macierz bezpośredniego wpływu X (Tabela 3), w której wszystkie elementy przyjmują wartości z przedziału [0,1].

$$X = \frac{Z}{\max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum z_{ij})} \quad (2)$$

W dalszej kolejności na podstawie równania (3), gdzie I to macierz jednostkowa, wyznaczono macierz całkowitego wpływu T (Tabela 4).

$$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (X + X^2 + \dots + X^k) = X(I - X)^{-1} \quad (3)$$

Następnie przeprowadzono analizę wskaźników pozycji i relacji. W macierzy T , zgodnie z równaniami (4-5), obliczane są wartości

sum wszystkich kolumn (c_j) – ukazujące sumę bezpośrednich i pośrednich wpływów jakie kryterium j otrzymuje od innych kryteriów oraz sumy poszczególnych wierszy (r_i) – odzwierciedlające sumę bezpośrednich i pośrednich wpływów kryterium i na inne kryteria.

$$r = (r_i)_{n \times 1} = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{n \times 1} \quad (4)$$

$$c = (c_j)_{1 \times n} = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{1 \times n} \quad (5)$$

Można wyznaczyć $(r+c)$ – wskaźnik pozycji, nazywany również wpływem brutto oraz $(r-c)$ – wskaźnik relacji, nazywany również

Tab. 2. Macierz bezpośredniego wpływu Z

Komponent	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	0	2.423	2.735	2.655	2.726	3.155	2.734	3.567	3.412	2.132	3.302	2.845	3.743	2.542	3.549	3.214
C2	2.745	0	2.736	2.431	1.655	3.813	2.724	1.853	1.272	3.244	1.403	2.601	2.517	1.541	2.202	1.432
C3	2.523	2.523	0	2.624	1.267	3.264	2.754	2.735	2.712	2.573	2.733	2.821	2.623	1.823	2.723	3.723
C4	2.821	2.457	2.737	0	2.765	2.753	2.845	2.723	2.827	1.734	1.823	2.383	1.423	2.782	3.123	3.723
C5	2.625	3.584	2.732	2.536	0	1.524	2.632	2.123	2.734	2.534	2.623	2.634	2.734	2.643	2.723	3.412
C6	2.612	2.712	2.231	2.164	0.975	0	1.241	1.723	1.534	0.682	1.723	3.327	3.723	2.644	1.634	2.523
C7	3.254	2.523	2.623	2.645	1.134	0.623	0	1.546	1.834	3.276	3.856	3.237	1.265	1.734	1.623	1.722
C8	3.423	3.745	3.823	3.734	1.476	2.834	2.723	0	1.645	2.834	3.734	3.523	1.457	2.645	0.684	2.526
C9	3.324	2.365	3.376	1.634	1.732	1.724	1.523	1.423	0	3.623	3.423	2.475	3.576	1.634	2.634	1.546
C10	3.126	3.423	3.582	0.587	2.313	1.531	2.867	1.623	3.534	0	3.634	2.345	3.534	2.498	3.458	2.543
C11	2.351	0.764	3.472	1.523	1.734	1.532	1.423	1.523	2.757	3.485	0	3.534	1.845	2.354	0.567	3.437
C12	3.634	3.481	3.512	2.523	1.736	1.785	1.527	1.423	3.421	3.423	3.236	0	2.623	1.487	1.745	2.567
C13	3.045	1.523	2.462	0.738	2.745	2.472	1.623	2.534	2.623	3.352	3.523	3.834	0	2.569	2.476	2.432
C14	2.542	2.524	0.523	2.892	2.656	1.734	2.456	1.623	2.723	2.623	2.676	0.834	1.534	0	2.567	2.234
C15	2.856	2.456	1.432	2.617	2.723	1.624	1.733	1.396	2.723	1.612	1.568	2.512	3.234	2.523	0	1.678
C16	2.692	2.321	1.423	2.567	2.791	2.824	1.473	1.587	2.227	2.453	2.623	1.523	2.523	2.523	1.497	0

Tab. 3. Znormalizowana macierz bezpośredniego wpływu X

Komponent	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	0	0.054	0.061	0.059	0.061	0.071	0.061	0.080	0.076	0.048	0.074	0.064	0.084	0.057	0.079	0.072
C2	0.061	0	0.061	0.054	0.037	0.085	0.061	0.041	0.028	0.073	0.031	0.058	0.056	0.034	0.049	0.032
C3	0.056	0.056	0	0.059	0.028	0.073	0.062	0.061	0.061	0.058	0.061	0.063	0.059	0.041	0.061	0.083
C4	0.063	0.055	0.061	0	0.062	0.062	0.064	0.061	0.063	0.039	0.041	0.053	0.032	0.062	0.070	0.083
C5	0.059	0.080	0.061	0.057	0	0.034	0.059	0.047	0.061	0.057	0.059	0.059	0.061	0.059	0.061	0.076
C6	0.058	0.061	0.050	0.048	0.022	0	0.028	0.039	0.034	0.015	0.039	0.074	0.083	0.059	0.037	0.056
C7	0.073	0.056	0.059	0.059	0.025	0.014	0	0.035	0.041	0.073	0.086	0.072	0.028	0.039	0.036	0.038
C8	0.077	0.084	0.085	0.083	0.033	0.063	0.061	0	0.037	0.063	0.083	0.079	0.033	0.059	0.015	0.056
C9	0.074	0.053	0.075	0.037	0.039	0.039	0.034	0.032	0	0.081	0.077	0.055	0.080	0.037	0.059	0.035
C10	0.070	0.077	0.080	0.013	0.052	0.034	0.064	0.036	0.079	0	0.081	0.052	0.079	0.056	0.077	0.057
C11	0.053	0.017	0.078	0.034	0.039	0.034	0.032	0.034	0.062	0.078	0	0.079	0.041	0.053	0.013	0.077
C12	0.081	0.078	0.079	0.056	0.039	0.040	0.034	0.032	0.076	0.077	0.072	0	0.059	0.033	0.039	0.057
C13	0.068	0.034	0.055	0.016	0.061	0.055	0.036	0.057	0.059	0.075	0.079	0.086	0	0.057	0.055	0.054
C14	0.057	0.056	0.012	0.065	0.059	0.039	0.055	0.036	0.061	0.059	0.060	0.019	0.034	0	0.057	0.050
C15	0.064	0.055	0.032	0.059	0.061	0.036	0.039	0.031	0.061	0.036	0.035	0.056	0.072	0.056	0	0.038
C16	0.060	0.052	0.032	0.057	0.062	0.063	0.033	0.035	0.050	0.055	0.059	0.034	0.056	0.056	0.033	0

Tab. 4. Macierz całkowitego wpływu T

Komponent	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
C1	0.332	0.345	0.362	0.314	0.295	0.325	0.306	0.304	0.366	0.352	0.391	0.371	0.376	0.315	0.332	0.365
C2	0.317	0.231	0.295	0.252	0.220	0.282	0.252	0.220	0.258	0.305	0.281	0.298	0.287	0.237	0.250	0.264
C3	0.348	0.314	0.269	0.284	0.238	0.298	0.277	0.261	0.318	0.325	0.342	0.334	0.320	0.270	0.285	0.341
C4	0.350	0.311	0.322	0.228	0.266	0.285	0.278	0.259	0.317	0.304	0.320	0.321	0.292	0.287	0.292	0.338
C5	0.353	0.338	0.330	0.285	0.214	0.266	0.279	0.252	0.322	0.329	0.343	0.333	0.325	0.289	0.290	0.338
C6	0.293	0.268	0.264	0.231	0.193	0.188	0.205	0.203	0.245	0.236	0.267	0.292	0.291	0.243	0.221	0.267
C7	0.319	0.275	0.288	0.250	0.205	0.211	0.189	0.208	0.265	0.302	0.324	0.302	0.253	0.234	0.231	0.264
C8	0.377	0.349	0.362	0.316	0.250	0.301	0.288	0.214	0.308	0.342	0.374	0.359	0.306	0.296	0.255	0.331
C9	0.343	0.291	0.323	0.245	0.234	0.251	0.238	0.222	0.245	0.329	0.337	0.309	0.322	0.250	0.270	0.280
C10	0.368	0.338	0.352	0.248	0.266	0.269	0.287	0.245	0.343	0.282	0.369	0.333	0.347	0.290	0.308	0.325
C11	0.297	0.237	0.300	0.224	0.214	0.226	0.216	0.204	0.280	0.302	0.241	0.303	0.263	0.243	0.207	0.295
C12	0.364	0.328	0.339	0.276	0.244	0.266	0.250	0.232	0.329	0.339	0.347	0.270	0.317	0.259	0.265	0.314
C13	0.350	0.287	0.315	0.239	0.263	0.275	0.249	0.251	0.312	0.335	0.352	0.347	0.259	0.279	0.275	0.309
C14	0.296	0.268	0.235	0.249	0.231	0.226	0.234	0.203	0.273	0.279	0.290	0.245	0.251	0.191	0.244	0.265
C15	0.309	0.272	0.259	0.248	0.237	0.229	0.224	0.204	0.279	0.265	0.275	0.285	0.292	0.249	0.196	0.259
C16	0.306	0.270	0.260	0.247	0.238	0.255	0.219	0.208	0.270	0.282	0.297	0.266	0.279	0.251	0.228	0.225

wplywem netto. Jeżeli $i=j$ wartość r_{i+C_i} oznacza sumę wartości kryteriów zarówno wplywających na pozostałe kryteria, jak i będących pod wplywem innych. Z kolei dodatnia wartość wskaźnika r_{i-C_i} oznacza, że kryterium i wplywa na inne kryteria i można przyjąć, że ma wplyw na system. Ujemna wartość r_{i-C_i} oznacza, że to na kryterium i wplywają inne kryteria i wobec tego kryterium i nie stanowi źródła wplywu na pozostałe kryteria w systemie.

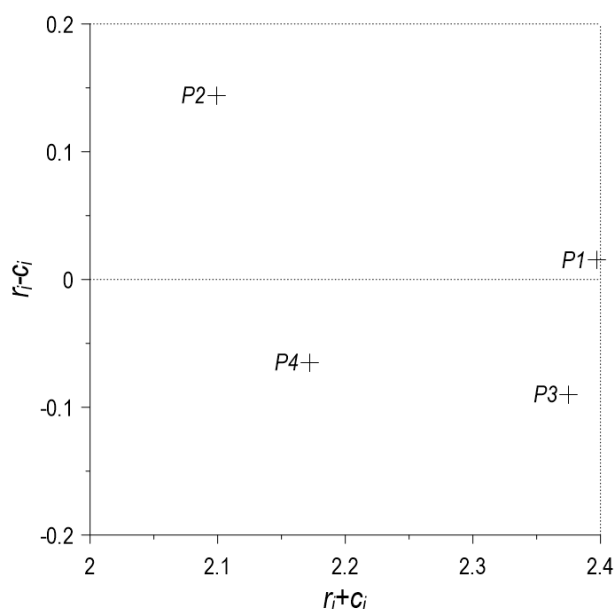
Badając wskaźniki (r_{i+C_i}) i (r_{i-C_i}) metoda DEMATEL identyfikuje z jednej strony stopień powiązania kryteriów, z drugiej określa te kryteria które wplywają na pozostałe oraz te, które bardziej zależą od innych i same nie mają wplywu na pozostałe kryteria.

Macierz całkowitego wplywu T może być rozpatrywana jako macierz T_P w oparciu o procesy P1-P4 oraz macierz T_C w oparciu o kryteria C1-C16. W poniższej Tabeli 5 przedstawiono wskaźniki pozycji i relacji dla macierzy T_P i T_C .

Tab.5. Wskaźniki pozycji i relacji dla macierzy T_P i T_C

T_P	r_i	C_i	r_{i+C_i}	r_{i-C_i}	T_C	r_i	C_i	r_{i+C_i}	r_{i-C_i}
P1	1.206	1.191	2.397	0.015	C1	5.452	5.323	10.775	0.129
					C2	4.250	4.724	8.974	-0.474
					C3	4.825	4.874	9.699	-0.049
					C4	4.770	4.136	8.906	0.635
P2	1.122	0.978	2.099	0.144	C5	4.885	3.809	8.694	1.077
					C6	3.910	4.153	8.063	-0.243
					C7	4.122	3.992	8.114	0.130
					C8	5.029	3.689	8.719	1.340
P3	1.141	1.235	2.375	-0.090	C9	4.491	4.731	9.222	-0.240
					C10	4.970	4.907	9.877	0.063
					C11	4.052	5.151	9.203	-1.100
					C12	4.739	4.967	9.706	-0.228
P4	1.054	1.119	2.172	-0.065	C13	4.697	4.780	9.477	-0.083
					C14	3.979	4.184	8.163	-0.206
					C15	4.080	4.149	8.229	-0.069
					C16	4.101	4.783	8.884	-0.682

W oparciu o Tabelę 5 przedstawiono na Rysunku 2 wykres przyczynowy, w układzie (r_{i+C_i}, r_{i-C_i}) , dla 4 procesów JIT/JIS w ramach koncepcji Przemysł 4.0.



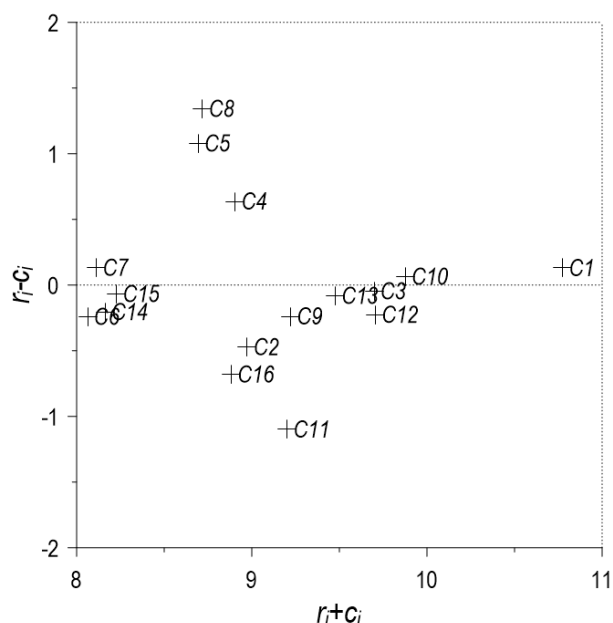
Rys. 2. Wykres przyczynowy dla czterech perspektyw procesu JIT/JIS w ramach koncepcji Przemysł 4.0

Na Rys. 2, proces P1 - Planowanie procesu produkcji ma największą wartość wskaźnika pozycji r_{i+C_i} , co oznacza, że jest on w najsilniejszy sposób związany z innymi procesami, zajmując centralne

miejsce w sieci wzajemnych powiązań. Proces P2 - Zamówienia do procesu produkcji ma najmniejszą wartość tego wskaźnika.

Z kolei wskaźnik relacji r_{i-C_i} pozwala określić poziom wplywu rozpatrywanego parametru na inne parametry. Przyjmuje się też jednocześnie, że pozwala on odzwierciedlić priorytet parametru spośród innych badanych zależności. Na Rys. 2, proces P2 - Zamówienia do procesu produkcji ma największą, dodatnią wartość wskaźnika relacji r_{i-C_i} , co oznacza, że ten proces ma dominujący, sprawczy wplyw na inne procesy oraz jednocześnie jest najważniejszy wśród omawianych czterech procesów. Z kolei proces P3 - Produkcja, posiadający największą ujemną wartość wskaźnika relacji, jest w najsilniejszym stopniu odbiorcą wplywu wywieranego przez inne procesy.

Na kolejnym Rysunku 3, w oparciu o Tabelę 5, przedstawiono wykresy przyczynowe dla 16 rozpatrywanych komponentów logistycznych w ramach koncepcji Przemysł 4.0.



Rys. 3. Wykres przyczynowy dla szesnastu kryteriów logistycznych w ramach koncepcji Przemysł 4.0

Na Rys. 3, największą wartość wskaźnika pozycji posiada kryterium C1 - Monitorowanie on-line w systemach ERP informacji o przepływie (zaopatrzenie i dostawy) towarów i produktów, z procesu P1, zajmując tym samym centralne miejsce w sieci powiązań z innymi kryteriami. Kryterium C6 - Wykorzystanie rozwiązań chmurowych do integracji łańcucha dostaw ma najmniejszą wartość tego wskaźnika. Kryterium C8 - Zamówienia do produkcji na dedykowane zamówienie, w miejsce tradycyjnej produkcji masowej, z największą wartością dodatnią wskaźnika relacji wywiera najsilniejszy wplyw na inne kryteria i jest najważniejszym kryterium dla firm logistycznych obsługujących proces produkcyjny w ramach Przemysłu 4.0. Z drugiej strony kryterium C11 - Możliwość dynamicznego wykorzystania mocy produkcyjnych w rozproszonej grupie firm produkcyjnych, z największą wartością ujemną wskaźnika relacji, jest wśród analizowanych kryteriów największym odbiorcą wplywów innych oraz posiada najniższy priorytet wśród 16 kryteriów opracowanych dla procesu logistycznego w ramach koncepcji Przemysł 4.0.

PODSUMOWANIE

Koncepcja Przemysł 4.0 jest obecnie uważana za potencjalnie zdolną do istotnej zmiany procesów produkcyjnych i powiązanych z nimi procesów logistycznych. W artykule przedstawiono analizę zestawu charakterystycznych parametrów logistycznych powiązanych

z procesem produkcyjnym uwzględniającym postulaty idei Przemysł 4.0. Istotną uwagą jest, że w niniejszym artykule uwzględniono jedynie korzystne aspekty Przemysłu 4.0. Negatywne aspekty postawiono jako cel przyszłych badań. Po ustaleniu w każdym z 4 podstawowych procesów, 4 charakterystycznych parametrów, otrzymano zestaw 16 wskaźników logistycznych w ramach Przemysłu 4.0. Następnie wykorzystując metodologię DEMATEL określono macierz wzajemnych wpływów wszystkich par kryteriów. Zbudowano macierz całkowitego wpływu T oraz określono wskaźniki pozycji i relacji zarówno dla 4 procesów, jak i dla 16 współczynników. Wyznaczono mające największy i najmniejszy wpływ brutto i netto zarówno procesy, jak i kryteria w ramach tych procesów.

Wyniki badań zaprezentowane w artykule powstały w ramach realizacji pracy badawczej pt. „Analiza logistycznych determinant zrównoważonego rozwoju miast” finansowanej z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na finansowanie działalności statutowej.

BIBLIOGRAFIA

1. Bauernhansl T., Hompel M., Vogel-Heuser B., *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung Und Logistik*. Springer, Wiesbaden, 2014.
2. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M., How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective, *Int. J. Mech. Ind. Sci. Eng.* 8, 1, 2014, 37–44.
3. Liao Y., Deschamps F., Loures E.F.R., Ramos L.F.P., Past, Present and Future of Industry 4.0 - a Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. *International Journal of Production Research*, 55, 12, 2017, 3609-3629.
4. Torbacki W., *Metodyka wyboru i wdrożenia systemu ERP w dobie rozwoju Przemysłu 4.0*, w: R. Knosala (Ed.), *IZIP 2018, OW PTZP*, Opole, 2018, 716-727.
5. Parvin S., Hussain F., Hussain O., Thein T., Park J., Multicyber framework for availability enhancement of cyber physical systems, *Computing*, 95, 10-11, 2013, 927–948.
6. Nolin J., Olson N., The internet of things and convenience, *Internet Res.*, 26, 2, 2016, 360–376.
7. Hermann M., Pentek T., Otto B., *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Working Paper, Technical University of Dortmund, 2015.
8. Andersson P., Mattsson L.-G., Service innovations enabled by the internet of things, *IMP J.*, 9, 1, 2015, 85–106.
9. Scavo F., Newton B., Longwell M., Choosing Between Cloud and Hosted ERP, and Why it Matters. *Computer Economics Report*, 34, 8, 2012, 1-12.
10. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M., How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective, *Int. J. Mech. Ind. Sci. Eng.* 8, 1, 2014, 37–44.
11. Zhong R.Y., Xu X., Klotz E., Newman S.T., Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3, 5, 2017, 616–630.
12. Kijewska K., Iwan S., Analysis of the Functioning of Urban Deliveries in the City Centre and its Environmental Impact Based on Szczecin Example, *Transportation Research Procedia*, 12, 2016, 739-749
13. Kehoe B., Patil S., Abbeel P., Goldberg K., A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12, 2, 2015, 398-409.
14. Ustundag A., Emre C., *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer, Berlin, 2017.
15. Kumar S.P.L., State of The Art-Intense Review on Artificial Intelligence Systems Application in Process Planning and Manufacturing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 2017, 294-329.
16. Paelke V., Augmented reality in the smart factory: Supporting Workers in an Industry 4.0 Environment. *2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 2014, 1-4.
17. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 era. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2014, 289-294.
18. Krasniqi X., Hajrizi E., Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles, *IFAC-PapersOnLine*, 49, 29, 2016, 269-274.
19. Oliff H., Liu Y., Towards Industry 4.0 Utilizing Data-Mining Techniques: A Case Study on Quality Improvement, *Procedia CIRP*, 63, 2017, 167-172.
20. Hofmann E., Rüsche M., Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, *Computers in Industry*, 89, 2017, 23–34.
21. Wagner T., Herrmann C., Thiede S., Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems, *Procedia CIRP*, 63, 2017, 125-131.
22. Gabus A., Fontela E., World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL, *Battelle Geneva Research Center*, Geneva 1972.
23. Torbacki W., Identyfikacja i ocena decyzji strategicznych w logistyce przy wykorzystaniu metody DEMATEL, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 12, 2016, 1884-1887.

Transformation of logistics in the concept of Industry 4.0

The article presents the issues covering the transformation of logistics within the currently developed concept of Industry 4.0. In this approach, a research problem arises which determines which parameters and characteristics of logistic processes are most important from the point of view of the idea of Industry 4.0. In addition, mutual relationships between these parameters should be established. In the article, multi-criteria analysis was used to assess these characteristics. The article can be useful for people interested in modern solutions in the production and logistics industry.

Autor:
dr inż. **Witold Torbacki** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynierijno-Ekonomiczny Transportu, 70-507 Szczecin, ul. H. Pożożnego 11, w.torbacki@am.szczecin.pl

JEL: O18 **DOI:** 10.24136/atest.2018.169
Data zgłoszenia: 2018.05.24 **Data akceptacji:** 2018.06.15