

Przemysł 4.0

Cz. II. Uwarunkowania w obszarze technologii wytwarzania i architektury systemu informatycznego w przetwórstwie tworzyw polimerowych

Mariusz Oleksy^{1, *)}, Grzegorz Budzik^{2, *)}, Marek Bolanowski³⁾, Andrzej Paszkiewicz³⁾

DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2019.5.5

Streszczenie: Artykuł stanowi cz. II publikacji [1] dotyczącej możliwości zastosowania koncepcji Przemysł 4.0 w procesach produkcyjnych związanych z przetwórstwem tworzyw polimerowych. Przeanalizowano strukturę architektury systemu informatycznego, który może być wykorzystywany w przetwórstwie tworzyw polimerowych oraz zaproponowano architekturę przeznaczoną dla złożonych przemysłowych systemów produkcyjnych, opartą na spiralnym cyklu życia produktu implementowanym do struktury Przemysł 4.0. Przedstawiony model jest elastyczny, co pozwala na jego wykorzystanie zarówno do tworzenia zupełnie nowej, jak i do modernizacji oraz rozbudowy już istniejącej infrastruktury przemysłu przetwórczego.

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, przetwarzanie materiałów polimerowych, zintegrowane systemy informatyczne.

Industry 4.0

Part II. Conditions in the area of production technology and architecture of IT system in processing of polymer materials

Abstract: The article is the second part of the paper [1], which describes the possibilities of applying the Industry 4.0 concept in production processes related to the processing of polymer materials. In this part, the structure of the information system architecture has been analyzed, which can be used in the plastics processing. An architecture dedicated to complex industrial production systems based on the spiral life cycle of the product implemented in the Industry 4.0 structure has been proposed. The presented model is flexible, hence it is possible to use it both to create a completely new infrastructure, as well as to modernize and extend the existing infrastructure of the processing industry.

Keywords: Industry 4.0, processing of polymer materials, integrated IT systems.

Obecnie niemal we wszystkich obszarach: technologicznym, gospodarczym, społecznym i kulturowym obserwuje się bardzo szybkie i dynamiczne zmiany. Następuje też integracja oraz wzajemne przenikanie procesów, które dotychczas były charakterystyczne tylko dla

jednego, konkretnego obszaru. Ciągłym zmianom podlegają również procesy planowania, projektowania, wytwarzania oraz dystrybucji produktów i usług, ponieważ muszą być dostosowywane do bieżących potrzeb i wymagań stawianych przez klientów oraz kontrahentów, a także do uwarunkowań prawnych i technologicznych [1, 2]. Procesy te podlegają również coraz szerszej cyfryzacji (informatyzacji). W wyniku tych zmian następuje stopniowe przechodzenie gospodarki do czwartej rewolucji przemysłowej zwanej Przemysł 4.0 (Industry 4.0) [3, 4]. Przejście to może być realizowane w sposób kontrolowany lub niekontrolowany.

Przejście kontrolowane obejmuje świadomy, przemysłowy, zaplanowany i konsekwentnie realizowany plan powszechnej automatyzacji oraz informatyzacji procesów biznesowych oraz projektowo-wytwórczych, natomiast przejście niekontrolowane to niespójne, chaotycz-

¹⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny, Zakład Kompozytów Polimerowych, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów.

²⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów.

³⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Zakład Systemów Złożonych, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów.

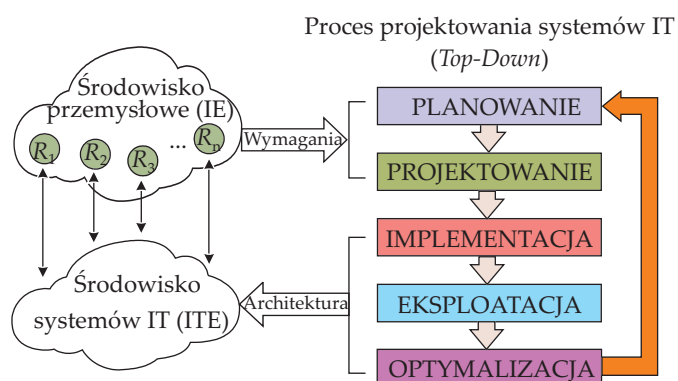
*) Autorzy do korespondencji:

e-mail: molek@prz.edu.pl, gbudzik@prz.edu.pl

ne działanie, nieskorelowane i niekonsekwentne próby modernizacji wspomnianych procesów [5]. Pojawiają się liczne problemy związane ze stawianymi wyzwaniami, szczególnie o charakterze technicznym i technologicznym. Niezwykle istotne dla przemysłu przetwórczego, a zwłaszcza półproduktów przeznaczonych dla branży motoryzacyjnej, są aspekty dotyczące wydajności, niezawodności, skalowalności, redukcji kosztów, integracji międzyprocesowej, przejrzystości, a także łatwości wprowadzania zmian i ulepszeń. Obecnie stosowane modele projektowania nie pozwalają na realizację interdyscyplinarnych technologicznie wyzwań. Konieczne jest więc opracowanie nowych modeli projektowania oraz cyklu życia systemów łączących dwa elementy: środowisko produkcyjne i świat informatyki, a całościowe podejście daje możliwość ograniczenia kosztów wdrażania i eksploatacji oraz wpływa na optymalizację wykorzystania posiadanych zasobów.

PROPONOWANA ARCHITEKTURA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO

Systemy informatyczne wspierające procesy produkcyjne zaliczają się do grupy systemów infrastruktury krytycznej, ich sprawne funkcjonowanie ma istotny wpływ na bezpieczeństwo firmy [6]. Podstawowym celem projektantów i inżynierów tych systemów powinno być więc zapewnienie bardzo wysokiego poziomu niezawodności. Projektowanie tego typu systemów informatycznych wymaga zastosowania podejścia odmiennego niż konwencjonalne [7–9]. W odniesieniu do systemów tej klasy są określone szczególne wymagania w obszarach, takich jak: bezpieczeństwo i ochrona danych, kontrola dostępu, parametry jakości transmisji, a także konstrukcja urządzeń i proces ich integracji ze środowiskiem produkcyjnym [10, 11]. W klasycznym podejściu system informatyczny projektuje się niezależnie od elementów, które ma wspierać. Przykładem są systemy wspierające projektowanie, prototypowanie oraz wytwarzanie

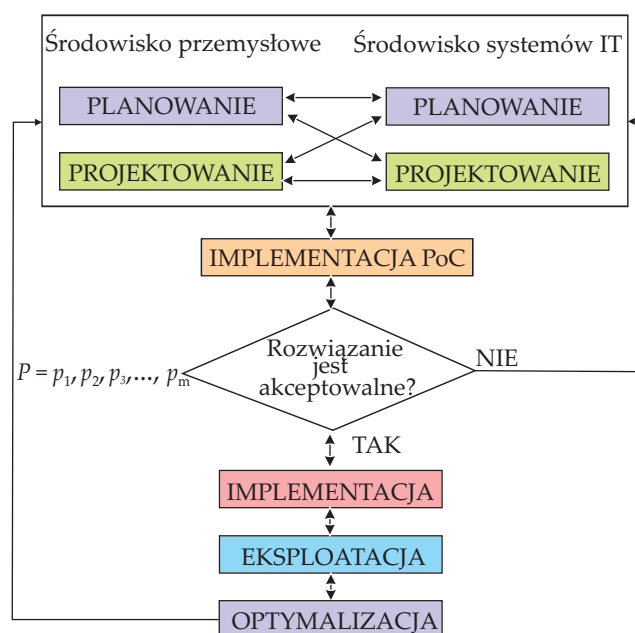


Rys. 1. Klasyczne podejście do projektowania systemów informatycznych dla koncepcji Przemysł 4.0

Fig. 1. Classic approach to IT systems design for Industry 4.0 concept

elementów z tworzyw polimerowych. Takie podejście w ujęciu schematycznym przedstawia rys. 1.

Na podstawie analizy środowiska produkcyjnego składającego się ze zdefiniowanych zasobów $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ są określane wymagania odnoszące się do środowiska IT. Na kolejnym etapie jest projektowany system z zastosowaniem wybranej metodologii (w rozważanym przykładzie metodologii *Top-Down*). Opracowany system informatyczny jest następnie wdrażany i optymalizowany, a w wypadku konieczności wprowadzenia zmian – modernizowany. Należy zaznaczyć, że obydwa obszary (Industy i IT) są traktowane jako oddzielne systemy, funkcjonujące w architekturze zbliżonej do modelu klient-serwer [12–15]. Ich rozbudowa oraz modernizacja odbywa się często niezależnie, bez szczegółowej analizy zachodzących między nimi korelacji. Takie podejście wydaje się być niewłaściwe, ponieważ w procesie projektowania nie uwzględnia się wymagań stawianych przez projektowany system informatyczny elementom przemysłowym i na odwrót. Formuła ta wpisuje się w dobrze znaną ideę strategii „dziel i rządź” [16–18]. Takie powszechnie stosowane podejście do projektowania powoduje niejednokrotnie znaczne utrudnienia w eksploatacji systemu, może również wpływać na wyraźne podniesienie kosztów zarówno jego budowy, jak i eksploatacji. W proponowanym podejściu autorzy wprowadzają model holistyczny projektowania systemu wytwarzania, wpisujący się w koncepcję systemów złożonych [19–21], w której system (produkcji i informatyczny), mimo heterogenicznej struktury architektonicznej i funkcjonalnej, jest projektowany jako całość. Uproszczony schemat przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Proponowane podejście do projektowania systemów informatycznych dla koncepcji Przemysł 4.0

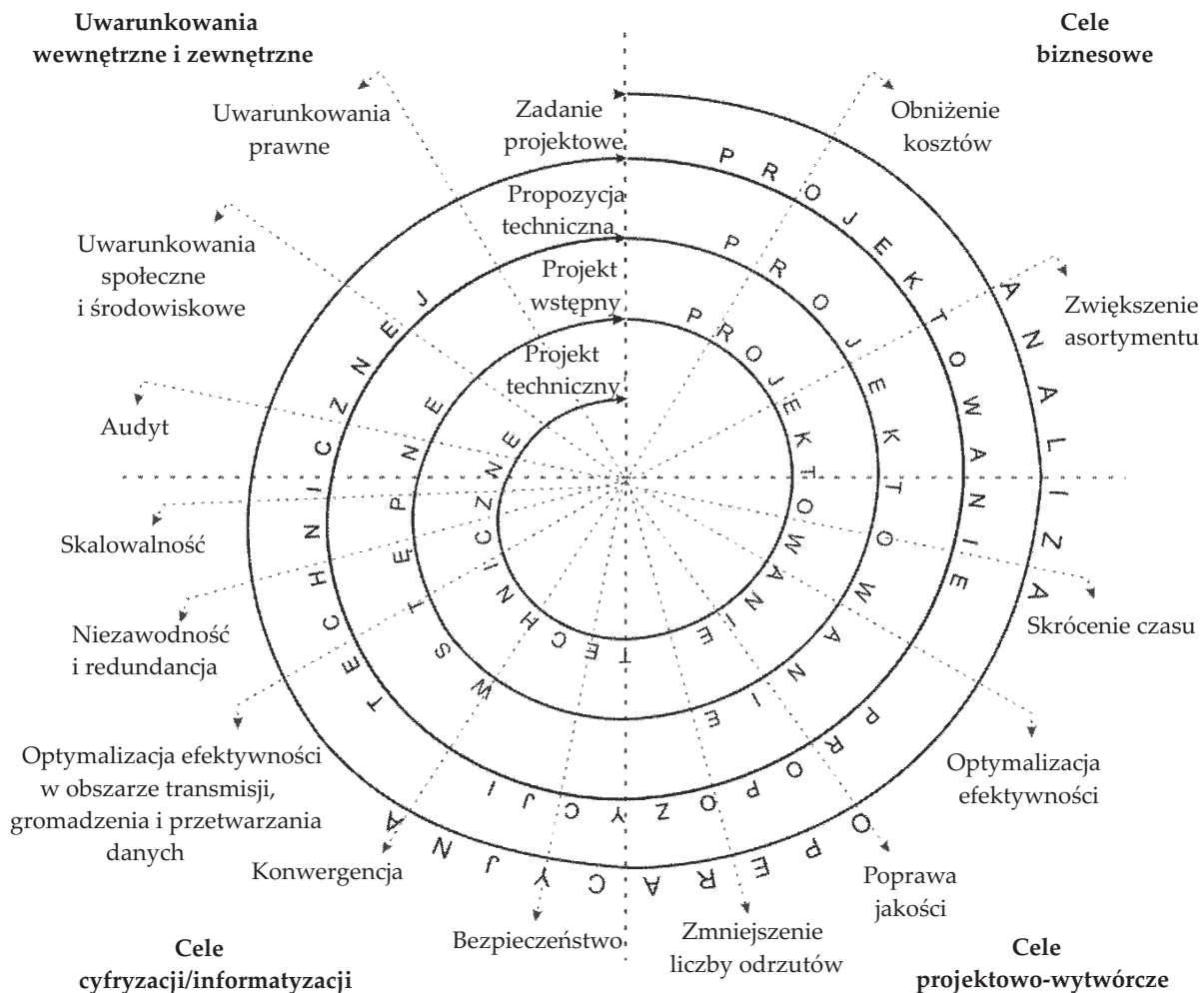
Fig. 2. Proposed approach to IT systems design for Industry 4.0 concept

W proponowanym podejściu projektowanie poszczególnych elementów systemu jako całości uwzględnia ściśle porozumienie inżynierów odpowiedzialnych za system produkcyjny (maszyny, linie technologiczne itp.) i inżynierów odpowiedzialnych za infrastrukturę IT (w tym programistów). Proces projektowania i wynikające z niego zmiany nie obejmują wyłącznie jednego systemu informatycznego lub wytwórczego. W celu osiągnięcia celów projektowych może bowiem być konieczna zmiana w obrębie danego urządzenia na linii produkcyjnej lub nawet całkowita przebudowa linii obejmująca zainstalowanie nowych elementów automatyki, sterowników, czujników, a także modyfikację oprogramowania lub stworzenie nowych modułów programowych do kontroli i sterowania procesem wytwórczym. Działania takie mogą skutkować zmniejszeniem kosztów całościowych systemu (IE+ITE), przyspieszeniem jego działania lub zwiększeniem wydajności i niezawodności, itp. Wyżej opisane czynności są realizowane w sposób komplementarny na etapie planowania i projektowania proponowanego modelu. Na następnym etapie zaprojektowany system jest testowany wg scenariusza *Proof of Concept* (PoC), który może być zbudowany na podstawie części rzeczywistych elementów lub środowiska wirtualnego. W wypadku wykorzystania śro-

dowiska wirtualnego możliwe jest dokonywanie licznych modyfikacji i testów z zachowaniem ograniczonych kosztów. Pozwala to na zastosowanie nowoczesnych narzędzi informatycznych, odwzorowujących wybrane elementy lub cały system produkcyjno-komunikacyjny w środowisku symulacyjnym. Na podstawie badań PoC dokonuje się oceny czy projekt spełnia wektor założeń $P = p_1 \dots p_m$. Składowymi wektora mogą być elementy, takie jak: cena wdrożenia, czas wdrożenia, koszty robocizny itp. Projekt spełniający wstępne założenia przechodzi do etapu fizycznej implementacji w środowisku produkcyjnym, ale tylko wtedy, gdy nie dokonuje się kolejnej iteracji na etapach planowania i projektowania.

MODEL SPIRALNY CYKLU ŻYCIA PROJEKTU

Ze względu na złożoność procesu projektowania oraz realizacji systemów technologicznych i informatycznych, wspierających procesy wytwórcze Przemysłu 4.0, zaproponowaną ideę (rys. 2), a w szczególności pierwszy jej etap planowania i projektowania można wpisać w spiralny model projektowania i rozwoju tej infrastruktury (rys. 3). W modelu spiralnym klasyczne podejście, bazujące na formule kaskadowej, zastąpiono bardziej złożonym



Rys. 3. Spirala cyklu życia projektu techniczno-technologicznego dla koncepcji Przemysł 4.0

Fig. 3. Spiral of life cycle of technical and technological project for Industry 4.0 concept

mechanizmem, w którym każdy z etapów jest przedstawiony za pomocą jednego cyklu [22]. Wyniki uzyskane w każdym z poprzednich etapów są wykorzystywane jako dane wejściowe etapu kolejnego. Podejście takie pozwala na uwzględnienie, na różnych etapach projektowania i następnie implementacji rozwiązania technicznego, różnych uwarunkowań związanych ze zmieniającymi się wartościami i zakresem parametrów oraz kryteriów technicznych i biznesowych. Model ten umożliwia ponadto realizację infrastruktury produkcyjnej oraz informatycznej w sposób komplementarny dla elementów wzajemnie zintegrowanych oraz zapewnia zrównoleglenie działań w obszarach niezależnych funkcjonalnie.

Wspomniane wcześniej uwarunkowania techniczne, technologiczne, społeczne i ekonomiczne, związane z realizacją infrastruktury dla Przemysłu 4.0, wymagają zapewnienia wysokiego stopnia korelacji parametrów projektu i wymagań użytkowych. Możliwe jest to wyłącznie w wypadku uwzględnienia w trakcie planowania i projektowania wielu celów tworzenia i funkcjonowania takiej infrastruktury. Ze względu na złożoność zadania przydatny w jego realizacji może być zaproponowany model spiralny. W modelu przedstawionym na rys. 3 uwzględniono jedynie wybrane elementy uwarunkowań procesu projektowego. Dokładny ich zakres i poziom szczegółowości zależą od projektowanego systemu i powinny być każdorazowo dostosowywane do bieżących potrzeb oraz posiadanych informacji.

Zgodnie z tym modelem na pierwszym etapie należy przeprowadzić analizę operacyjną formującą zarówno wymagania techniczne, jak i ekonomiczne. Na tym etapie są definiowane podstawowe charakterystyki projektowanej infrastruktury informatyczno-wytwórczej. Prawidłowe zdefiniowanie wymagań odnośnie do oczekiwanej infrastruktury pozwala w znacznym stopniu ograniczyć poziom nieokreśloności występujący w każdym procesie projektowym. Rezultaty prac zrealizowanych na tym etapie stanowią dane wejściowe kolejnego etapu. Podczas projektowania propozycji technicznej analizuje się ogólne, funkcjonalne przeznaczenie infrastruktury wytwórczo-informatycznej, obejmujące: funkcje infrastruktury, warunki eksploatacji, wymagania określające częstotliwość obsługi zgłoszeń między poszczególnymi elementami infrastruktury, wymagany poziom niezawodności, bezpieczeństwa oraz kontroli procesów technologicznych, a także zakres oraz strukturę gromadzonych i przetwarzanych danych. W wyniku tych prac jest możliwe otrzymanie kilku wariantów propozycji technicznej, które na dalszym etapie projektowania wstępnego są poddawane analizie uwzględniającej uszczegółowione parametry techniczno-ekonomiczne. Efektem tych prac jest projekt wstępny. Na etapie projektowania technicznego opracowuje się pełną dokumentację wykonawczą, eksploatacyjną oraz serwisową infrastruktury wytwórczej i informatycznej. W ten sposób otrzymujemy spójne technologicznie i funkcjonalnie środowisko produkcyjne oparte na nowoczesnych rozwiązaniach informatycznych niezbędnych do realizacji koncepcji Przemysłu 4.0.

Należy zaznaczyć, że bardzo ważnym aspektem proponowanego modelu jest jego wykorzystanie, zarówno do tworzenia zupełnie nowej infrastruktury, jak i do modernizacji oraz rozbudowy infrastruktury już istniejącej. Model ten zakłada ponadto konieczność uwzględnienia większości elementów wchodzących w skład uwarunkowań projektowych na każdym etapie (cyklu) procesu projektowego. Dzięki temu jest możliwe dostosowywanie się na bieżąco do zmieniających się warunków, a jednocześnie ograniczenie poziomu niejednoznaczności i nieokreśloności danych wejściowych, kryteriów oceny oraz celów.

PODSUMOWANIE

Projektowanie struktury Przemysłu 4.0 dla przedsiębiorstw branży przetwórczej stanowi bardzo istotny etap budowy przedsiębiorstwa. W wypadku nowo planowanej inwestycji projekt można zintegrować na podstawie założeń strukturalnych koncepcji Przemysłu 4.0, jednak w wypadku wdrażania idei w funkcjonujących już strukturach technologicznych może to być o wiele trudniejsze. W odniesieniu do struktury Przemysłu 4.0 zaproponowane w artykule podejście do projektowania architektury złożonych przemysłowych systemów produkcyjnych, oparte na spiralnym cyklu życia produktu, może zostać zaimplementowane. Elastyczność przedstawionego modelu umożliwia jego wykorzystanie zarówno do tworzenia zupełnie nowej, jak i do modernizacji oraz rozbudowy już istniejącej infrastruktury przemysłu przetwórczego. Uniwersalność modelu integracji informatycznej, opartej na strukturze Przemysłu 4.0, pozwala na rozszerzenie jego aplikacji również poza obszar przemysłu przetwórczego. Zaproponowane spiralne podejście do projektowania przetestowano w warunkach laboratoryjnych, zastosowano go także do przygotowania projektów modernizacji linii produkcyjnych realizowanych we współpracy z przemysłem. Na etapie testów wdrożeniowych kluczowe okazało się precyzyjne zdefiniowanie poszczególnych etapów projektowych oraz określenie metod komunikacji między zespołami IE i ITE. Klasyczne metody oparte na przesyłaniu komunikatów (mail, sprawozdanie itp.) bardzo często skutkowały wzajemnym transferowaniem obowiązków i ryzyka. Pomocne okazało się zastosowanie metodyk zwinnych. Wyniki dotychczasowych badań wskazują jednak na przydatność modelu i na jego skuteczność w szybkiej implementacji nowych linii technologicznych oraz modernizacji już istniejących.

Przedstawione w pracy rezultaty badań są wynikiem współpracy Wydziału Chemicznego, Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa oraz Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza w trakcie realizacji projektu finansowanego w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019–2022, nr projektu 027/RID/2018/19.

LITERATURA

- [1] Oleksy M., Budzik G., Sanocka-Zajdel A. i in.: *Polimery* **2018**, 63, 531.
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2018.7.7>
- [2] Lasi H., Fettke P., Kemper H.G. i in.: *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering* **2014**, 6 (4), 239.
<http://dx.doi.org/10.1007/S12599-014-0334-4>
- [3] Strange R., Zucchella A.: *Multinational Business Review* **2017**, 25 (3), 174–184.
<http://dx.doi.org/10.1108/MBR-05-2017-0028>
- [4] Kroll J., da Silva Estácio B.J., Audy J.L.N.: “An Initial Framework for Researching Follow-the-Sun Software Development”, IEEE 9th International Conference on Global Software Engineering 2014.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICGSE.2014.21>
- [5] Fu Y., Liu Y., Liu D. i in.: “An environment-based RBAC model for internal network”, 2016 First IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI).
<http://dx.doi.org/10.1109/CCI.2016.7778884>
- [6] Choi H., Samavedam S.: *Computers in Industry* **2002**, 47, 39.
- [7] Ladyman J., Lambert J., Wiesner K.: *European Journal for Philosophy of Science* **2013**, 3 (1), 33.
- [8] Dudek-Dyduch E., Gomółka Z., Twaróg B., Żesławska E.: *ITM Web Conferences* **2018**, 21, 00002.
<http://dx.doi.org/10.1051/itmconf/20182100002>
- [9] Grabowski F., Paszkiewicz A., Bolanowski M.: *Journal of Applied Computer Science* **2013**, 21 (2), 31.
- [10] Bolanowski M., Paszkiewicz A.: “Methods and Means of Creation Application to Control a Complex Network Environment”, Software Engineering Research for the Practice, Polish Information Processing Society 2017, str. 151–160.
- [11] Paszkiewicz A., Bolanowski M.: “Software Development for Modeling and Simulation of Computer Networks: Complex Systems Approach, Towards a Synergistic Combination of Research and Practice in Software Engineering”, Springer International Publishing 2017, str. 193–206.
- [12] Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M.: *Engineering and Technology International Journal of Information and Communication Engineering* **2014**, 8 (1), 37.
- [13] Linkov A., Rybarska-Rusinek L.: *International Journal of Solids and Structure* **2010**, 47, 3297.
- [14] Linkov A., Rybarska-Rusinek L.: *International Journal of Engineering Science* **2012**, 61, 87.
- [15] Rejwer E., Rybarska-Rusinek L., Linkov A.: *Engineering Analysis with Boundary Elements* **2014**, 43, 105.
- [16] Jaworski D., Linkov A., Rybarska-Rusinek L.: *Computers and Geotechnics* **2016**, 71, 295.
- [17] Stock T., Seliger G.: *Procedia CIRP* **2016**, 40, 536.
- [18] Nesma T., Aboulkhair N., Everitt M. i in.: *Additive Manufacturing* **2014**, 1–4, 77.
- [19] Weyer S., Schmitt M., Ohmer M., Gorecky D.: *IFAC-PapersOnLine* **2015**, 48, 579.
- [20] Kolberg D., Zuhlke D.: *IFAC-PapersOnLine* **2015**, 48, 1870.
- [21] Dziubek T.: *Polimery* **2018**, 63, 49.
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2018.1.8>
- [22] Hajder M., Paszkiewicz A., Bolanowski M.: „Współczesne problemy sieci komputerowych – nowe technologie”, WNT 2004, str. 259–268.

Otrzymano 8 X 2018 r.