

Krzysztof Rutkowski, Barbara Ocicka
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Katedra Logistyki

Rozwój druku 3D i jego wpływ na zarządzanie łańcuchem dostaw

3D printing developments and its impact on supply chain management

W ostatnich latach druk 3D, nazywany także produkcją przyrostową, wzbudza rosnące zainteresowanie jako technologia przełomowa, zmieniająca życie, biznes i globalną gospodarkę. Od pojawienia się ponad 30 lat temu druk 3D bardzo się rozwinął i wyrósł na technologię, która może zastąpić tradycyjne techniki produkcyjne w branżach wytwarzających produkty wysoce kompleksowe i kastomizowane. Dla firm zaangażowanych w druk 3D technologia ta może się okazać przełomową siłą, która w przyszłości może zredefiniować tradycyjne strategie zakupów, produkcji i dystrybucji w łańcuchach dostaw. Przedsiębiorstwa będą mogły wykorzystać druk 3D w zarządzaniu łańcuchem dostaw w celu zarówno poprawy doskonałości operacyjnej, jak i doświadczeń zakupowych klientów. Niniejszy artykuł bada potencjalne implikacje szerokiego zaakceptowania druku 3D w tradycyjnych łańcuchach dostaw. W odniesieniu do analizy tych ewoluujących trendów artykuł ma charakter prognostyczno-przewidyjący, a nie opisowy.

Słowa kluczowe:

druk 3D, wytwarzanie przyrostowe, zarządzanie łańcuchem dostaw, kastomizacja.

In recent years, 3D printing, also known as additive manufacturing, has attracted increasing attention as disruptive technology that will transform life, business and the global economy. Since its inception more than 30 years ago, 3D printing has advanced and grown into a technology that is likely to substitute traditional manufacturing in industry segments that produce highly complex and customized goods. For companies involved in this type of manufacturing, 3D printing could become a disruptive force that in future may redefine traditional purchasing, manufacturing and distribution strategies in supply chains. Companies can leverage 3D printing in the supply chain to improve operational excellence as well as the customer experience. This article explores some of the potential implications of large-scale adoption of 3D printing in traditional supply chains. In relation to these evolving trends, this is a predictive, and not a descriptive, article.

Key words:

3D printing, additive manufacturing, supply chain management, customization.

Wprowadzenie

We współczesnym świecie, który charakteryzują m.in. globalizacja, hiperkonkurencja i zwrot ku rynkom klienta, jednym z najważniejszych wyzwań warunkujących sukces producentów w biznesie staje się systematyczna poprawa efektywności i elastyczności procesów produkcyjnych. Klienci poszukują innowacyjnych, zindywidualizowanych i wysoko jakościowych produktów, nie chcąc jednocześnie płacić za nie zbyt wysokich cen. Co więcej, ekonomiczny cykl życia produktów ulega ciągłemu skracaniu, co wymaga redukcji cykli ich rozwoju i wprowadzania na rynek, zaś konieczność indywidualizacji wyrobów zgodnie z wymogami klientów pociąga za sobą wzrost różnorodności ich wariantów. Jednym ze sposobów sprostania tym wymogom jest wykorzystanie technologii produkcji przyrostowej (ang. *additive manufacturing*, AM), określanej powszechnie drukiem 3D lub

przestrzennym (ang. *3D printing*). Mimo pewnych różnic interpretacyjnych tych terminów, w niniejszej pracy są one traktowane jako synonimy.

Druk 3D przestaje być traktowany jako nowinka technologiczna, fantastyka naukowa, termin marketingowy czy zabawka „z wyższej półki”. Zaczyna się go coraz częściej postrzegać jako technologię, która jest w stanie zachwiać dotychczasowymi strukturami produkcyjnymi i łańcuchami dostaw produktów zarówno przemysłowych, jak i konsumpcyjnych, jeśli jeszcze nie dziś, to na pewno w niedalekiej przyszłości. Świadczą o tym także coraz liczniejsze publikacje naukowe, szczególnie literatura przedmiotu w języku angielskim.

Większość anglojęzycznych publikacji naukowych dotyczących biznesowych aspektów druku 3D koncentrowała się dotychczas na możliwości wykorzystania tej technologii przez istniejące przedsiębiorstwa i/lub jej wpływie na procesy produkcyjne (np. Hopkinson, Dickens, 2003; Gebler, Schoot Uiterkamp,

Visser, 2014; Mellor, Hao, Zhang, 2014; Weller, Kleer, Piller, 2015; Baumers, Dickens, Tuck, Hague, 2016). Równolegle rozwijał się kierunek badań podkreślający przesuwanie się zainteresowania z przedsiębiorstw produkujących swe wyroby z wykorzystaniem druku 3D na możliwości jego wykorzystania przez samych klientów finalnych, którzy staną się także producentami w przyszłości (np. Fox, 2014; Rayna, Striukova, 2016; Bogers, Hadair, Bilberg, 2016). Można także znaleźć szereg opracowań naukowych poświęconych wpływowi druku 3D na łańcuchy dostaw (m.in. Gress, Kalafsky, 2015; Bogers, Hadair, Bilberg, 2016; Rogers, Baricz, Pawar, 2016). Tematyka wpływu druku 3D na łańcuchy dostaw znalazła także odzwierciedlenie w kilku raportach firm konsultingowych i operatorów logistycznych (np. Janssen, Blankers, Moolenburgh, Posthumus, 2014; Müller, Karevska, 2016; DHL, 2016).

Polska literatura przedmiotu jest bardzo uboga i zdominowana przez aspekty technologiczne produkcji przyrostowej. Szczególne miejsce zajmuje w niej praca P. Siemińskiego i G. Budzika (2015), w której zebrany jest praktycznie cały dorobek naukowy polskiego środowiska techniczno-inżynierskiego zajmującego się tym tematem do 2015 r. Brak jest w polskim dorobku publikacyjnym naukowych pozycji poświęconych analizie biznesowych aspektów druku 3D. Tematyka wpływu druku 3D na łańcuchy dostaw jest w nim praktycznie nieobecna i stanowi lukę badawczą, którą warto wypełnić.

Niniejsze opracowanie podejmuje próbę omówienia aktualnego stanu rozwoju i ewolucji druku 3D, stawiając za cel zrozumienie fenomenu i kierunków rozwoju tej technologii oraz jej wpływu na zmiany w konfiguracji tradycyjnych łańcuchów dostaw. Wychodzi m.in. naprzeciw konstatacji sformułowanej w raporcie Price Waterhouse Coopers, że największy potencjał druku 3D dotyczy, obok redukcji czasu rozwoju produktu oraz możliwości wyjścia naprzeciw preferencjom i wymogom klientów dotyczących dopasowania produktu do ich oczekiwań, właśnie pozytywnego wpływu na konfigurację łańcucha dostaw (PwC, 2014). Opracowanie ma na celu dostarczenie informacji na temat możliwych implikacji produkcji przyrostowej na zmiany na różnych szczeblach łańcuchów dostaw i możliwości wykorzystania tych zmian w budowaniu przewagi konkurencyjnej w biznesie przyszłości. Rozważania przeprowadzono na podstawie wyników kwerendy naukowej literatury przedmiotu oraz analizy kilkuset stron internetowych podmiotów zaangażowanych w druk 3D. Przeprowadzone wstępnie wywiady bezpośrednie z menedżerami zarządzania łańcuchem dostaw wybranych przedsiębiorstw w Polsce potwierdziły hipotezę, że temat wpływu druku 3D na łańcuch dostaw jest przez nich znany powierzchownie, wyłącznie od teoretycznej strony, albo stanowi przedmiot rozważań dotyczących przyszłości.

Produkcja przyrostowa (druk 3D) — istota i tendencje rozwojowe

Przez produkcję przyrostową rozumie się zbiór technologii zdolnych do łączenia materiałów w celu wytwarzania fizycznych trójwymiarowych obiektów na podstawie ich komputerowego modelu. W istocie rzeczy nie jest to jedna technologia, lecz zbiór różnych technologii używających zróżnicowanych materiałów do produkcji. Zwykle wykorzystuje się w technikach przyrostowych nakładanie na siebie cienkich warstw materiałów, choć mogą to być również procesy utwardzania cieczy (żywicy) lub spiekanie proszków. Najczęściej stosowanymi aktualnie technikami druku 3D, wg raportu Sculpteo (2017), są: modelowanie ciekłym tworzywem termoplastycznym — FDM (36%), selektywne spiekania proszków materiałowych — SLS (33%) i stereolitografia — SLA (25%). Różni je to od tradycyjnych technik produkcji ubytkowej (ang. *subtractive manufacturing*, SM), które polegają na odejmowaniu materiału z większego bloku (procesy cięcia, wiercenia czy frezowania) albo całościowego formowania odmierzonej ilości materiału (np. procesy odlewania albo wtryskiwania; Siemiński, Budzik, 2015). Z reguły stawiany jest znak równości między terminami produkcji przyrostowej i druku 3D, ale należy zaznaczyć, że istotą tego ostatniego jest laserowe osadzanie materiału przy użyciu głowicy drukującej, dyszy lub innej technologii druku.

Produkcja przyrostowa, uważana za skrajny przykład elastycznych technologii wytwarzania (Weller, Kleer, Piller, 2015), charakteryzuje się wysokim stopniem automatyzacji. Drukarka 3D może kontynuować proces produkcji dopóty, dopóki ma do dyspozycji materiał drukujący o odpowiednich właściwościach, zaś produkowany wyrób nie przekracza przestrzeni roboczej drukarki. W przypadku produkcji tradycyjnej zespół maszyn wytwarza w szybkim tempie serię podobnych produktów, w produkcji przyrostowej drukarki mogą pracować równoległe nad realizacją zamówienia różnorodnych wyrobów, z tym że z relatywnie mniejszą prędkością. Niemniej jednak najnowsze innowacyjne drukarki i skanery zapowiadają nową erę druku 3D — z dużą prędkością, możliwością wykorzystania różnorodnych materiałów i po niższych kosztach. Wskazuje na to także rosnąca w tempie niemal wykładniczym liczba składanych wniosków patentowych i przyznawanych patentów dotyczących materiałów, technik druku i zastosowania produkcji przyrostowej (Saunders, 2017). Rozwojowi drukarek towarzyszy wzrost liczby i poprawa właściwości materiałów do druku 3D. Tempo ich rozwoju przyspieszy niewątpliwie w najbliższych latach, staną się one bardziej ustandaryzowane i przyjazne w zastosowaniu oraz bardziej dostępne zarówno w sensie fizycznym, jak i finansowym.

Za główne czynniki przyspieszające rozwój rynku druku 3D należy także uznać, oprócz rozwoju technik, urządzeń i materiałów do druku 3D, poprawiających efektywność produkcji przyrostowej, przechodzenie od produkcji prototypów do wyrobów gotowych, rosnące zainteresowanie drukiem 3D finalnych konsumentów i użytkowników, rosnącą potrzebę kustomizacji, wytwarzanie coraz bardziej kompleksowych części oraz inwestycje rządowe w projekty druku 3D. Raport Smithers Pira przewiduje, że rynek druku 3D może rozwijać się w dynamicznym tempie w kolejnej dekadzie, od 5,8 mld USD w 2016 r. do 55,8 mld USD w 2027 r. Według raportu Markets AndMarkets wartość rynku druku 3D w 2023 r. jest szacowana na 32,78 mld USD, przy założeniu średniej rocznej stopy wzrostu na poziomie 23% w latach 2017–2023 (MarketsAndMarkets, 2017).

Fazy rozwoju druku 3D

Zastosowanie wytwarzania przyrostowego ewoluje przez różne fazy już blisko 30 lat — od koncentracji na prototypowaniu, poprzez produkcję części zamiennych i narzędzi dla przemysłu, do bezpośredniej produkcji przemysłowej produktów gotowych i wreszcie wykorzystania technologii w produkcji domowej. Wspomniane kolejne fazy rozwojowe obecnie koegzystują ze sobą.

1. Pierwsze techniki druku 3D (stereolitografia — SLA, później także selektywne spiekanie laserowe proszków metali — SLS oraz wytwarzanie obiektów laminowanych z warstw papieru lub folii — LOM) pojawiły się już w późnych latach 80. i zaczęły być wykorzystywane w celach komercyjnych w latach 90. XX wieku. Na początku materiałem był wyłącznie plastik. Możliwości odwzorowania szczegółów były ograniczone, zaś jakość wykończenia produktów stosunkowo niska, co oznaczało, iż można było za pomocą tych technik wytwarzać tylko produkty, w przypadku których nie przywiązywano znaczenia do tych cech. Druk był wolny, drogi i ograniczony wyłącznie do małych przedmiotów. W efekcie pierwsze zastosowania druku 3D koncentrowały się na szybkim prototypowaniu (ang. *Rapid Prototyping*) i dlatego ten termin odnosił się początkowo do wszystkich technik produkcji przyrostowej, zanim upowszechniła się nazwa druku 3D.
2. W drugiej połowie lat 90. XX wieku pojawiły się drukarki wykorzystujące jako materiał polimery termoodporne oraz metale i ich stopy, co było początkiem drugiego etapu adaptacji druku 3D — szybkiego tworzenia form i narzędzi (ang. *Rapid Tooling*). Procesy produkcyjne zawsze wymagały kustomizowanych narzędzi, np. przyrządów i sprzętu, oraz form do powszechnie używanego

w produkcji formowania wtryskowego i odlewania ciśnieniowego. Takie formy były tradycyjnie wytwarzane poprzez kosztowną i wolną (często trwającą od tygodnia do miesiąca) maszynową obróbkę bloków metali, głównie stali lub aluminium, w procesach produkcji ubytkowej. Wyprodukowanie takich narzędzi niezgodnie z oczekiwaniami było bardzo kosztowne, a jednocześnie były niewielkie możliwości poprawy czy podniesienia ich jakości. Druk 3D wyszedł naprzeciw tym problemom, umożliwiając niskoseryjną produkcję przyrostową form w kilka godzin, której towarzyszą możliwości częstej poprawy drukowanych produktów, po kosztach stanowiących jedynie z reguły tylko część kosztów produkcji tradycyjnego oprzyrządowania.

3. Mimo iż dla wielu przedsiębiorstw druk 3D oznacza wciąż szybkie prototypowanie, to w ostatnich latach środek ciężkości przenosi się na produkcję części i komponentów metalowych i jest napędzany głównie przez zaangażowanie producentów z branży motoryzacyjnej i aerokosmicznej. Pod koniec ubiegłej dekady koszty druku 3D znacząco spadły, a jednocześnie jego szybkość i dokładność, jak również cechy materiałów i jakość drukowanych przedmiotów podniosły się na tyle, że zaczęto bezpośrednią produkcję przyrostową wyrobów finalnych. Zapoczątkowało to trzeci etap adaptacji druku 3D, powszechnie nazywany bezpośrednią produkcją cyfrową (ang. *Direct Digital Manufacturing*, DDM) lub po prostu produkcją bezpośrednią. Umożliwia ona w pełni cyfrowy proces produkcji z produktami końcowymi wytwarzanymi przy zastosowaniu modeli cyfrowych (CAD) i drukarek 3D, bez konieczności używania form, odlewów czy tradycyjnej obróbki. Pojawiły się firmy, które z druku 3D uczyniły podstawę swego biznesu (np. w produkcji biżuterii). Zastosowanie druku 3D w przyszłości będzie z pewnością dalej dynamicznie rozwijało się w branżach aerokosmicznej, motoryzacyjnej, medycznej i dentystycznej, ale znacznie również zyskiwać na znaczeniu w innych. Trwają bardzo zaawansowane eksperymenty i prace nad wykorzystaniem druku 3D w produkcji żywności (np. dla osób chorych, starszych, kobiet w ciąży, sportowców, żołnierzy na polu walki, poszkodowanych w rejonach klęsk żywiołowych czy kosmonautów na orbicie wokółziemskiej), w medycynie (druk kości, stawów, ludzkiej skóry, jak również całych organów ludzkich, początkowo nerek i wątroby, z czasem także ludzkiego serca), w budownictwie (budowa willi, wielopiętrowych domów mieszkalnych i biurowych, a nawet całych dzielnic mieszkaniowych). Drukowane są już pierwsze produkty w kosmosie, w warunkach zmniejszonej grawitacji. Europejska Agencja Kosmiczna ujawniła plany budowy za pomocą druku 3D bazy na Księżycu, a NASA planuje wybudowa-

nie obiektów i dróg dla pierwszych kolonizatorów Marsa i Księżyca przez roboty wykorzystujące techniki druku 3D. MIT opracował na początku 2016 r. technikę drukowania 3D, która pozwala na równoczesne drukowanie zarówno z materiałów stałych, jak i płynnych — technologia ta nazywana powszechnie „hydrauliką na potrzeby drukowania” jest niewątpliwie krokiem w kierunku szybkiej produkcji funkcjonalnych maszyn. W przeciwieństwie do wielu powszechnych opinii, druk 3D nie jest jednak w stanie dokonać bardzo głębokiej rewolucji w całym przemyśle, wpływając na usunięcie w cień tradycyjnych zakładów i technik produkcyjnych. Wizja wydrukowania w przyszłości dowolnego produktu za pomocą naciśnięcia guzika lokalnej drukarki nie daje się pogodzić z rzeczywistością ekonomiczną biznesu. *Trójwymiarowe drukowanie świetnie sprawdzi się, gdy chcemy stworzyć własne etui na telefon, ale raczej jest mało prawdopodobne, abyśmy kiedyś byli w stanie wydrukować samo urządzenie* (Ford, 2015, s. 188). Zamiast patrzeć zatem na druk 3D jako substytut tradycyjnej produkcji, należy poszukiwać tych obszarów, gdzie produkcja przyrostowa może wykorzystać swe unikalne zalety, które mogą uzupełnić tradycyjne procesy produkcyjne. Wpływ druku 3D na wiele branż i zakładów produkcyjnych może nie być zbyt spektakularny, gdyż są one już silnie zautomatyzowane (Ford, 2015, s. 191).

4. Kolejnym etapem adaptacji druku 3D jest produkcja, którą konsumenci albo finalni użytkownicy realizują samodzielnie, wykorzystując domowe drukarki 3D. Pojawienie się na rynku tańszych, zorientowanych na domowy użytek drukarek 3D, takich jak np. RepRap, MakerBot albo Ultimaker, umożliwiło finalnym klientom podjęcie produkcji spersonalizowanych wyrobów, np. biżuterii, zabawek czy części pojazdów. Skala zastosowania tych drukarek jest jednak wciąż niewielka, dotyczy głównie hobbyistów i studentów kierunków inżynierskich, niemniej jednak domowi użytkownicy dominowali pod względem liczby nabytych drukarek 3D w 2016 r. (233 000 wobec 63 000 nabytych do celów produkcyjnych; Smithers Pira, 2017). Ograniczone i wolno rozwijające się zastosowanie domowego druku 3D wynika głównie z ciągle jeszcze wysokich cen drukarek i braku dojrzałości technologii. Często obecny rynek prywatnych drukarek 3D jest porównywany z rynkiem drukarek 2D w połowie lat 80. czy rynkiem komputerów osobistych pod koniec lat 80. XX wieku. W związku np. z tym, że jeszcze niewielu prywatnych użytkowników decyduje się na zakup drukarki 3D, nie mają oni także często umiejętności budowy modelu, mogą oni korzystać z oferty platform druku 3D. Jest ona kierowana do prywatnych klientów, ma na celu włączenie ich w proces produkcji przyrostowej — na etapie projektowania lub samego wytwarzania (Rayna, Striukova, 2016a).

W świetle literatury przedmiotu należy uznać, że szybkie prototypowanie, produkcja części zamiennych i narzędzi dla przemysłu wywarły w istocie rzeczy ograniczony wpływ na model biznesowy, głównie dlatego, że były ulokowane w tradycyjnych procesach produkcyjnych i miały za zadanie jedynie przyspieszyć te procesy bez ich zasadniczej zmiany (Rayna, Striukova, 2016b). W przeciwieństwie do nich produkcja bezpośrednia i domowa są uważane za technologie mające charakter przełomowy, głównie dzięki unikatowemu potencjałowi tworzenia i dostarczania wartości dla klientów.

Według raportu Sculpteo 57% druku 3D przypada ciągle jeszcze na wstępne fazy rozwoju nowych produktów (Sculpteo, 2017). Głównymi przyczynami zastosowania druku 3D są w tym przypadku sprawdzenie koncepcji produktu (34%) i prototypowanie (23%) (Sculpteo, 2017). Niemniej jednak technologia ta wychodzi coraz dalej poza tę fazę, staje się coraz popularniejsza w szybkim przygotowaniu oprzyrządowania oraz produkcji coraz bardziej wytrzymałych i bezpiecznych produktów przeznaczonych na sprzedaż klientom w średnich, a nawet dużych ilościach (D'Aveni, 2015). Mimo zaobserwowania dużego postępu w zastosowaniu druku 3D w ostatnich latach wydaje się, że rozwój tej technologii nie osiągnął jeszcze powszechnego poziomu wdrożenia produkcyjnego (ang. *slope of enlightenment*) w cyklu rozwoju nowych technologii Gartnera, na którym innowacja staje się znacząco lepiej rozumiana i doceniana (Gartner, 2017).

Wpływ druku 3D na konfigurację łańcuchów dostaw — uwagi ogólne

W XXI wieku tradycyjna konkurencja między przedsiębiorstwami jest zastępowana konkurencją między łańcuchami dostaw. W obliczu dynamicznych zmian rynku i otoczenia odgrywają one decydującą rolę w szybkości i efektach reakcji na te zmiany. Koszty łańcucha dostaw w przypadku firm produkcyjnych stanowią z reguły od 60 do 90% wszystkich ich kosztów i mogą mieć nawet ponad 80% udziału w ich przychodach. Tradycyjne łańcuchy dostaw są z reguły bardzo długie, składają się z wielu szczebli zarówno po stronie zaopatrzenia, jak i dystrybucji. W poszczególnych ogniwach łańcucha dostaw i na styku między nimi utrzymywane są zapasy produktów, które zamrażają ogromny kapitał obrotowy. Działania liderów biznesu potwierdziły, że przemysłowe inicjatywy w sferze zarządzania łańcuchem dostaw mogą przynieść takie rezultaty, jak np. istotną redukcję kosztów, uwolnienie znacznego kapitału obrotowego czy kilkuprocentowy wzrost przychodów.

Druk 3D, podobnie jak inne technologie stanowiące podstawę Internetu rzeczy i Przemysłu 4.0, będzie miał wielki wpływ na konfigurację i rekonfigurację łańcuchów dostaw, które należą do kluczowych decyzji w sferze strategicznej zarządzania łańcuchem dostaw i determinują późniejsze aspekty jego operacyjnego funkcjonowania. Ich istotą jest przemyślenie układu lub kombinacji jego kluczowych elementów i zaproponowanie wprowadzania takich zmian tych elementów, które przyniosą poprawę efektów funkcjonowania łańcucha dostaw. Istotą decyzji dotyczących konfiguracji lub rekonfiguracji łańcucha dostaw są znaczące zmiany w jego układzie podmiotowym, procesowym lub geograficznym. Wszystko co dzieje się później w zarządzaniu łańcuchem dostaw musi brać pod uwagę jako bazę wyjściową założenia jego konfiguracji (Rutkowski, 2013).

Współczesna dyskusja na temat druku 3D, koncentrująca się na zaletach tej technologii, często ograniczana jest wyłącznie do procesów tworzenia prototypów i części zamiennych. Ciągłe jeszcze nie w pełni dostrzega się, że jego największy potencjał dotyczy możliwości rekonfiguracji tradycyjnych łańcuchów dostaw, a pośrednio zdolności wyjścia na przeciw wielu dotychczasowym ograniczeniom w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Stwarza to zupełnie nowe szanse budowania przewagi konkurencyjnej. Druk 3D ma wpływ na zacieranie w łańcuchu dostaw granic między projektowaniem, produkcją i dystrybucją. Podejście do zarządzania łańcuchem dostaw może ulec w wyniku jego dynamicznego rozwoju radykalnej zmianie — nie będzie ono sterowane takimi koncepcjami, jak np. model SCOR (planowanie, zaopatrzenie, produkcja, dostawa, zwroty, wspomaganie), lecz raczej przez samego klienta, który w końcu będzie mógł się poczuć prawdziwym panem łańcucha dostaw. Łańcuchy dostaw staną się pod wpływem ekspansji produkcji przyrostowej w większym stopniu sterowane popytem konsumentów i użytkowników.

Druk 3D powinien oznaczać zapowiedź znaczącej redukcji złożoności wielu istniejących łańcuchów dostaw, dzięki czemu staną się one bardziej uproszczone i przejrzyste. Firma produkcyjna może np. kupić bezpośrednio niezbędne surowce, wydrukować produkt i wysłać go (nawet bezpośrednio) do końcowego klienta. Zniknąć mogą rozbudowane wieloszczeblowe struktury odległych geograficznie dostawców (przetwórców i dostawców komponentów), co pozwoli uprościć i skrócić łańcuch dostaw, a w konsekwencji obniżyć koszty transakcyjne i logistyczne.

Druk 3D i jego wpływ na produkcję ciekawie przedstawił McKinsey, który skonstatował, że należy on do kluczowych technologii, obok zaawansowanej robotyki i operacji cyfrowych, zmieniających fundamenty podejścia do kosztowych i przestrzennych aspektów produkcji (George, Ramaswamy i Rassej, 2014). Aby móc pozyskać wartość z tych zmian, firmy będą musiały dokonać znaczących inwestycji i zabez-

pieczyć sobie dostęp do centrów innowacyjnych, kompetentnych dostawców i wysoko kwalifikowanych pracowników. Rozwój przełomowych technologii, a wśród nich druku 3D, już wskazuje dwa główne priorytety strategii produkcyjnych, które McKinsey określa jako *next-shoring* — konieczność bycia blisko popytu i innowacji, szczególnie innowacyjnych dostawców. Oba wymiary tej bliskości będą krytyczne zarówno dla rynków rozwiniętych, jak i wschodzących. *Next-shoring* nie dotyczy jednak przesunięcia produkcji z jednej lokalizacji geograficznej do drugiej, nie jest kwestią geografii, ani konkurencji ze sobą krajów i kontynentów, lecz zdolności adaptacji i przygotowania się na zmiany natury produkcji w każdym miejscu świata. Aby być blisko popytu generowanego na nowych rynkach, aby sprostać często specyficznym i ciągle zmieniającym się wymogom klientów, aby móc podejmować trafne decyzje biznesowe dotyczące produkcji, trzeba być przede wszystkim blisko innowacji, które umożliwią efektywne zaspokojenie tego popytu. Globalne firmy produkujące dobra konsumpcyjne tworzą już dziś regionalne centra innowacji produkcji i produktów, których zadaniem jest wspieranie łańcuchów dostaw na określonych rynkach. Kluczem do zrozumienia bliskości innowacji jest zatem myślenie oderwane od kategorii państw, granic geograficznych i odległości. *Next-shoring* dotyczy w istocie rzeczy wirtualnej bliskości innowacji, talentów i klientów. Dzięki współczesnym technologiom komunikacji, producenci mogą dzielić się interaktywnie w czasie rzeczywistym informacjami, skomplikowanymi wzorami, modelami cyfrowymi czy analizami strukturalnymi ze wszystkimi interesariuszami, w tym głównie z klientami. Mogą zatem być blisko zarówno klientów, jak i centrów innowacji. Druk 3D należy i będzie z pewnością należał do tych innowacyjnych technologii, które wspaniale wpisują się w ten nowy krajobraz produkcji XXI wieku, a jednocześnie wywierają ogromne piętno na dotychczasowym podejściu do zarządzania łańcuchem dostaw.

Od produkcji masowej do masowej kustomizacji

Klasyczne podejście do produkcji zakłada, że koszt jednostkowy maleje wraz ze wzrostem wolumenu wytwarzania, podczas gdy w przypadku produkcji przyrostowej jest on stały, niezależnie od skali produkcji. Główną przesłanką wpływu druku 3D na łańcuch dostaw jest odejście od tradycyjnego spojrzenia na korzyści skali czy minimum produkcyjne oraz możliwość zaoferowania klientom dużej kompleksowości i różnorodności po praktycznie zerowych kosztach.

Druk 3D sprawdza się przede wszystkim w sytuacjach, gdzie kluczowa jest kustomizacja produktu.

Dotyczy to w szczególności branż, w których klienci cenią różnorodność i możliwości indywidualizacji wyrobów, cykle życia produktów są krótkie, zaś czas ich dostawy jest krytyczny. W takich branżach już dziś produkcja przyrostowa może być znacznie efektywniejsza niż tradycyjna, gdyż każdy ze wspomnianych czynników redukuje znaczenie korzyści skali produkcji w budowaniu przewagi konkurencyjnej. Obecnie sprawdza się ona i prowadzi do pożądaných efektów w produkcji małoseryjnej, zwłaszcza produktów projektowanych i wytwarzanych w takich systemach, jak *design-to-order*, *engineer-to-order*, *build-to-order*. Jest to m.in. widoczne w elektronice użytkowej, czy bardziej generalnie w produktach zaawansowanych technologicznie, w przypadku których cykle życia uległy skróceniu o połowę w ostatnim dziesięcioleciu i ulegną dalszej kompresji o kolejne 50% do roku 2020, m.in. za sprawą wzrostu znaczenia druku 3D (Jabil, 2017).

Dzięki zaletom druku 3D masowa kastomizacja osiągnęła nowy poziom rozwoju, który umożliwia zaoferowanie klientowi prawie każdego, często unikatowego produktu, w pożądanym przez niego czasie i wszędzie, gdzie sobie tego życzy, w sposób, jaki preferuje. Głównymi beneficjentami rozwoju druku 3D stają się niewątpliwie finalni konsumenci i użytkownicy produktów. Dopasowanie zindywidualizowanych ofert do wszystkich klientów oraz włączenie ich w procesy projektowe i produkcyjne czyni łańcuch dostaw niezwykle elastycznie reagującym na zmiany rynkowe. Klienci są w stanie sami projektować produkty, wprowadzać modyfikacje do ich standardowych projektów, kastomizować je i personalizować. Druk 3D wpływa na poprawę emocji klienta związanych z procesem zakupowym (ang. *Customer Experience*). Konieczność wychodzenia naprzeciw takim oczekiwaniom klientów będzie niewątpliwie przybierała na sile w najbliższych latach, gdyż będzie rósł w populacji klientów udział pokolenia Z¹, zorientowanego na najnowsze technologie, szczególnie urządzenia mobilne, i mającego bardzo wygórowane oczekiwania dotyczące m.in. wygody w procesie nabywania produktów, natychmiastowego dostępu do kastomizowanych produktów i niższych cen ich zakupu czy szybszej realizacji zamówienia.

Od produkcji globalnej do lokalnej

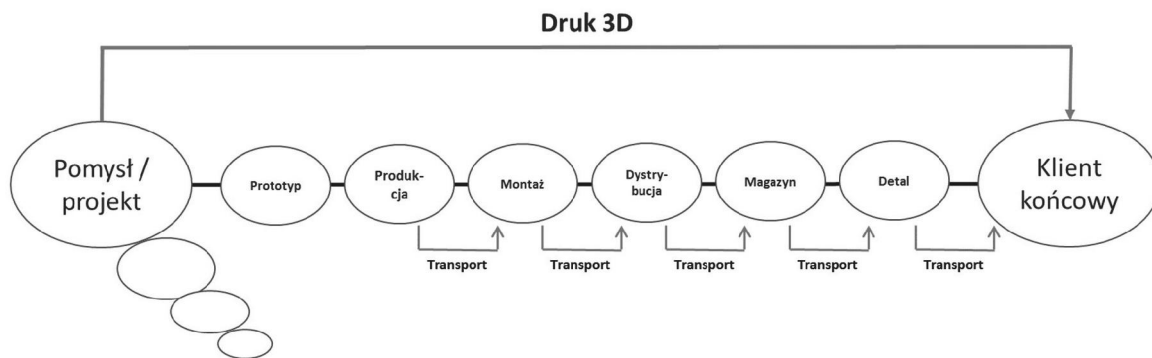
Analizując możliwości zmian w łańcuchu dostaw tradycyjnych firm, można sobie wyobrazić, że wielka korporacja globalna, która tradycyjnie bazowała na klasycznych technikach produkcji i korzyściach skali, wprowadza produkcję przyrostową w swych zakładach produkcyjnych. W pewien ogólny, metaforyczny sposób można tu mówić o swoistym rozerwaniu tra-

dycyjnych, często globalnych łańcuchów dostaw, i konieczności ich ponownej konfiguracji jako nowych, mniejszych lokalnych sieci. Oznaczać to może przykładowo rozerwanie wielkiej światowej struktury produkcyjnej na wiele małych jednostek produkcyjnych. Każda z nich będzie zlokalizowana bliżej finalnych klientów, aby móc lepiej wyjść naprzeciw potrzebom współpracy z nimi, szybciej odpowiedzieć na ich zmieniające się potrzeby, a jednocześnie zredukować czas realizacji ich zamówień. Oznaczać to będzie daleko idące uproszczenie łańcucha dostaw. Lokalna orientacja zakładów produkcyjnych musi ograniczyć lub wyeliminować korzyści ekonomiczne, które były pochodną scentralizowanych zakupów, sprzedaży i marketingu. Korzyści scentralizowanej organizacji mogą zastąpić pozytywne elementy decentralizacji lub outsourcingu. W przypadku silnej marki organizacja może przejść na model franchisingowy, np. wielu punktów detalicznych druku, lub poszukiwać alternatywy dla marki. Pojawi się możliwość eliminacji dużych partii produkcji i pracowników zajmujących się montażem, co w istocie rzeczy może natychmiast skrócić tradycyjny łańcuch dostaw. Efektywność finansowa długich, globalnych łańcuchów dostaw zostaje zastąpiona przez niskokosztową produkcję w praktycznie każdym punkcie świata. Surowcami stają się pliki cyfrowe, zaś maszyny, które wytwarzają produkty, są połączone sieciowo, szybsze i bardziej efektywne niż kiedykolwiek wcześniej. To zaś wymaga nowego modelu — „działaj lokalnie w skali globalnej” (ang. *go local, globally*). Rezultatem zmian przestrzennych w systemach produkcji prowadzących do sprzedaży bardziej zorientowanej na rynki regionalne i lokalne, będzie zapewne malejąca rola handlu międzynarodowego zarówno w odniesieniu do wyrobów gotowych, jak również komponentów i części zamiennych. Skrócona zostanie odległość między podmiotami odpowiedzialnymi za projektowanie i wytwarzanie produktów a jego finalnymi konsumentami lub użytkownikami.

Łańcuchy dostaw ulegną skróceniu i zwężeniu, zmniejszać się będzie liczba ich ogniw włączonych w proces tworzenia wartości produktów (Ben-Ner, Siemsen, 2017). Globalny wymiar produkcji będzie zastępowany przez lokalny, zaś duże przedsiębiorstwa zaczną oddawać coraz więcej przestrzeni rynkowej małym firmom. Druk 3D i robotyzacja są szansą dla wielu gospodarek państw wysoko rozwiniętych na odzyskanie produkcji i miejsc pracy, umożliwiają one przykładowo nie tylko powrót produkcji do Stanów Zjednoczonych czy Europy Zachodniej, lecz również jej decentralizację w skali poszczególnych regionów czy rynków lokalnych, konfigurując w efekcie łańcuch dostaw o zerowej długości (por. rys. 1). Dezaktualizuje on wiele tradycyjnych aspektów zarządzania sieciowego, prowadząc do uczynienia praktycznie zbędną dużej części tradycyjnej logistycznej architektury łańcucha dostaw. Fenomen ten uwzględnia

Rysunek 1

łańcuch dostaw o zerowej długości



Źródło: CSC Leading Edge Forum (2012).

zmiany w produkcji i odejście od reguł przyświecających zarządzaniu tradycyjnym łańcuchem dostaw — outsourcingu produkcji, offshoringu z preferencją dla krajów niskokosztowych, standaryzacji i koncentracji na korzyściach skali. Nowymi wyróżnikami łańcucha dostaw o zerowej długości stają się decentralizacja, kustomizacja i korzyści z produkcji jednostki (ang. *economies of one*), które razem stają się nowym źródłem przewagi konkurencyjnej.

Uprozczone i tańsze procesy zakupowe

Dzisiejsze łańcuchy dostaw odczuwają problemy związane z globalną dezintegracją, która sprawia, że procesy projektowania i zaopatrzenia trwają miesiącami zanim podjęte zostaną działania na rzecz finalnej produkcji czy montażu. „Globalna wioska” to również globalny rynek zakupowy, na którym większość liderów światowego biznesu posiada nawet do kilkudziesięciu tysięcy aktywnych dostawców towarów i usług. Wiele czasu i kosztów związanych jest z koniecznością poszukiwania, wyboru czy monitorowania dostawców, są one jednak akceptowane, a u podstaw takiej oceny leżą dostęp do specjalizacji i korzyści, jakie oferują dostawcy czy producenci z innych części świata. Te korzyści tracą na znaczeniu, gdy pojawi się możliwość względnie szybkiego wydrukowania szerokiej gamy wymaganych produktów dzięki dostępowi do drukarek 3D i materiałów niezbędnych do tej produkcji.

Korzyści skali nie wynikają wyłącznie z technologii produkcji, mogą one także być konsekwencją polityki zakupu surowców, materiałów, części czy usług. Duże firmy wykorzystują swą siłę przetargową w tradycyjnych zakupach, ale będzie ona odgrywać mniej-

szą rolę w przypadku przejścia na przyrostowe techniki produkcji. Druk 3D zmienia dotychczasowe praktyki zakupowe, wpływając m.in. na znaczne ograniczenie bazy dostawców, choć może to w mniejszym stopniu dotyczyć wyspecjalizowanych komponentów. Filozofia produkcji przyrostowej zmienia sposób podejścia do projektowania części i komponentów pod druk 3D, a to wpływa na zmianę struktury zamówień, jak również możliwość eliminacji wielu tradycyjnych dostawców. Sposób projektowania produktów do druku 3D musi być zgodny z myśleniem systemowym, które postrzega produkt kompleksowo, a nie jako sumę części składowych. GE Aviation wprowadziło ten sposób myślenia w procesie projektowania i produkcji silników lotniczych LEAP w zakładzie produkcyjnym w Auburn w stanie Alabama (GE, 2015). Spośród 10 tys. części, z jakich składa się taki silnik, GE Aviation wybrało 855 i skonsolidowało je w 12 kompleksowych, które są drukowane przestrzennie. Przykładem takiej kompleksowej części są np. dysze paliwowe do tych silników (w każdym silniku jest ich 19), które są obecnie drukowane z proszków metalowych zamiast tradycyjnego ich montowania z 20 różnych części. Są przy tym lżejsze o 25% i 5 razy bardziej wytrzymałe od swych poprzedniczek. Druk 3D wymaga znacznie mniej części, a więc także konieczności ich zakupu, co znacząco redukuje zależność producentów od dostawców.

Podobnie jak produkcji, zmieni się lokalizacja dostawców, którzy przesuwać się będą z krajów niskokosztowych w pobliże finalnych klientów — pojawi się potrzeba współpracy z dostawcami lokalnymi, często pogrupowanymi w klastry czy „wioski”. Redukcja odległości znajdzie odzwierciedlenie w niższych kosztach transportu i logistyki kupowanych produktów. Znacznie mniejszy to różny rodzaje ryzyka w procesie zakupowym. Służby zakupowe będą

z upływem czasu przesuwają zainteresowanie z nabywania produktów i części na zakupy materiałów do druku 3D, przy czym te same materiały mogą być użyte do wytworzenia różnych produktów, a zatem można je kupować w większych ilościach. Zakup materiałów będzie wymagał mniej negocjacji i planowania. Nie będą one podlegały procesom szybkiego starzenia się, ich jakość będzie coraz bardziej ustandaryzowana, co oznacza mniejszą potrzebę monitorowania dostawców. Można też postawić tezę, że osiągnięcie odpowiedniej skali w zakupach materiałów w przypadku producentów 3D będzie łatwiejsze niż w przypadku producentów tradycyjnych. Podobnie potrzeby prognozowania w produkcji przyrostowej będą dotyczyć głównie materiałów i potencjału produkcyjnego, a więc efekty agregacji będą bardziej pochodną zakresu niż skali w odniesieniu do pojedynczych produktów, dzięki czemu firmy druku 3D będą mogły osiągnąć znacznie większe korzyści skali w prognozowaniu niż firmy tradycyjne.

Konsekwencje dla dystrybucji

Detaliści są tym ogniwem łańcucha dostaw, które może zostać najbardziej dotknięte przez opisywaną technologię. Druk 3D może prowadzić do integracji pionowej w wielu branżach, co może podać w wątpliwość dotychczasową rolę handlu detalicznego oraz grozić eliminacją detalistów z łańcucha wartości. Z punktów sprzedaży detalicznej mogą zniknąć zapasy produktów lub stojaki wystawowe, w ich miejsce mogą się pojawić drukarki 3D i wybrane próbki oferowanych produktów.

Szansą dla detalistów są realia prywatnego druku 3D, w których znakomita większość jego potencjalnych użytkowników nie ma własnych drukarek i możliwości wytwarzania produktów w domu, nawet w sytuacji dostępu do projektów cyfrowych w ogólnie dostępnych katalogach. Relatywnie wysokie ceny urządzeń oraz niedoskonałość druku 3D sprawiają, że realizacja takiej koncepcji jest wciąż we wstępnej fazie rozwoju. Pojawia się zatem pytanie, czy w tych nowych realiach udział detalistów ma się ograniczać do sprzedaży drukarek i materiałów do druku (raczej nie modeli cyfrowych produktów, gdyż te będą dostępne albo w katalogach jako pliki *open source*, albo będą projektowane i sprzedawane przez producentów lub platformy projektowe)? Alternatywą jest uczynienie z punktów sprzedaży detalicznej miejsc oferujących możliwości druku 3D swym klientom, przy czym istnieje duży potencjał różnicowania takiej oferty i kreowania doświadczenia klientów związane z oferowaniem samego druku jako usługi.

Wielu detalistów podejmuje próby proaktywnego wyjścia naprzeciw potencjalnym zagrożeniom związanym z rozwojem druku 3D i ich przyszłą rolą w biz-

nesie i łańcuchach dostaw. Wydaje się, że detalista może pozostać jednym z głównych graczy na rynku druku 3D, ale będzie to wymagało instalacji drukarek 3D w jego obiektach, często także ofert różnych usług dodatkowych. Argos wyspecjalizował się w druku wyrobów jubilerskich, Sam's Club zainstalował 300 drukarek 3D w swoich obiektach, Asda eksperymentuje z procesami skanowania klientów (oferując im na razie miniaturowe modele ich figur), Amazon inwestuje w samochody dostawcze z drukarkami. Leroy Merlin tworzy w swych obiektach warsztaty z drukarkami dostępnymi dla klientów (PlanetRetail, 2017), zaś Ahold zaczął testować druk produktów żywnościowych, projektowanych „na żywo” przez klientów, w swym supermarkecie Albert Heijn w Eindhoven, pragnąc rozszerzyć go na 30 dalszych obiektów w przypadku powodzenia eksperymentu. Sklepy mogą przybrać nawet charakter mobilnych punktów sprzedaży, przebywających w określonych lokalizacjach przez kilka godzin, dni lub tygodni. Będą one miały znacznie bardziej cyfrowy charakter, a w ich wyposażeniu główną rolę będą odgrywać drukarki i skanery 3D, być może cyfrowe, inteligentne i interaktywne, lustra, które potrafią nie tylko rozpoznać wiek czy płeć klienta, lecz także jego emocje i dzięki temu dostosować ofertę odpowiednio do jego preferencji i nastroju. Sklepy nie są zatem skazane na eliminację z łańcucha dostaw, ale warunkiem ich przetrwania będzie oferta łącząca różne procesy, które tradycyjnie leżały w kompetencjach zakładów produkcyjnych, biur obsługi klienta czy obiektów składowych.

Ogromne nadzieje detaliści mogą również wiązać z rozwojem technik skanowania, które uważa się niekiedy za swoisty pomost umożliwiający wprowadzenie handlu detalicznego w nowe otoczenie biznesu przyszłości. Umożliwi ono uniknięcie trudnego etapu tworzenia modelu cyfrowego produktów poprzez wykorzystanie oprogramowania CAD oraz wpłynie pozytywnie na emocje zakupowe klientów. Klient będzie musiał jedynie poddać siebie procesowi skanowania, a wymagany cyfrowy model zostanie wygenerowany automatycznie. Można sobie wyobrazić sytuację, gdy w przyszłości klient odwiedzi sklep lub dział obuwniczy, gdzie zeskanuje się jego stopy, a następnie wydrukuje buty dokładnie dopasowane do kształtu jego stóp i w wybranym przez niego kolorze.

Szansą dla detalistów może być również ich kooperacja z producentami urządzeń do druku 3D, którzy mogą uznać detalistów za partnerów zapewniających im szeroki dostęp do klientów, w pewnych przypadkach nawet przy akceptacji sprzedaży pod wspólną marką lub prywatnymi markami detalistów. Detaliści mogą także zaoferować swym klientom druk 3D części zamiennych do produktów sprzedawanych pod własnymi markami, co umożliwi im natychmiastową dostępność w przypadku potrzeby naprawy lub unowocześnienia. Może to również dotyczyć druku części

do markowych produktów, przynajmniej niektórych dostawców. Być może detaliści będą tworzyć własne platformy druku 3D oferujące cyfrowe modele produktów, własne lub firm trzecich, z możliwością ich kastomizowania.

Podobne efekty będzie można zaobserwować w centrach dystrybucji detalistów, które w przyszłości mogą ulec diametralnej zmianie. Rozwój druku 3D może sprawić, że zmniejszy się poziom utrzymywanych w nich zapasów, co obniży ich atrakcyjność w systemie fizycznej dystrybucji towarów. Aby utrzymać swą rolę w tym systemie oraz łańcuchu dostaw, centra dystrybucji będą musiały dodać do swych procesów realizacji zamówienia nowy wymiar, który pozwoli zapewnić detalistom wielokanałowym strategiczne korzyści, wychodzące naprzeciw zwiększonemu zapotrzebowaniu na masową kastomizację produktów, np. zamawianych *online*. Detaliści muszą zwrócić się ku drukowi 3D w swych centrach dystrybucji, aby móc produkować i kastomizować produkty konsumpcyjne zgodnie z unikatową specyfikacją klienta. Centra dystrybucji mogą utrzymać swą pozycję w łańcuchu dostaw w handlu elektronicznym, jeśli zostaną do nich przesunięte procesy odroczenia z zakładów produkcyjnych. Złożenie zamówienia *online* uruchomi użycie drukarki 3D w centrum dystrybucji w celu wytworzenia wymaganego produktu lub jego kastomizacji zgodnie z indywidualną specyfikacją klienta. Dla klientów w handlu elektronicznym postulowany przez nich wymóg szybkiej dostawy musi zostać uwzględniony w procesie realizacji zamówienia — centra dystrybucji muszą zastąpić tradycyjną sekwencję swych działań „pobierz, zapakuj, wyślij” przez nową „wyprodukuj, pobierz, zapakuj, wyślij”.

Podsumowanie

W świetle szerokich badań literatury przedmiotu można uznać, że druk 3D rozwija się w bardzo szybkim tempie i może stać się już w najbliższej przyszłości przełomową technologią, która znacząco wpłynie na transformację procesów produkcji, zakupów i dys-

trybucji firm w wielu branżach, a w konsekwencji doprowadzi do głębokich zmian w ich tradycyjnych łańcuchach dostaw. Rozwojowi druku 3D towarzyszy przenoszenie środka ciężkości z wytwarzania prototypów i części zamiennych na bezpośrednią produkcję wyrobów gotowych i prywatny użytek drukarek 3D.

Wyniki badań potwierdzają, że największy potencjał tej technologii dotyczy możliwości rekonfiguracji tradycyjnych łańcuchów dostaw, a pośrednio zdolności wyjścia naprzeciw wielu dotychczasowym ograniczeniom w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Druk 3D ma wpływ na zacieranie w łańcuchu dostaw granic między projektowaniem, produkcją i dystrybucją, ułatwia jego sterowanie popytem, eliminuje rozbudowane wieloszczeblowe struktury sieciowe i znacząco redukuje ich złożoność. Łańcuchy dostaw ulegają skróceniu i zwężeniu, zmniejsza się liczba ich ogniw włączonych w proces tworzenia wartości produktów, globalny wymiar produkcji jest zastępowany przez lokalny, co w konsekwencji pozwala obniżyć koszty transakcyjne i logistyczne. W skrajnym przypadku pojawiają się łańcuchy dostaw o zerowej długości, których wyróżnikami stają się decentralizacja, kastomizacja i korzyści z produkcji jednostki, które razem stają się nowym źródłem przewagi konkurencyjnej.

Produkcja przyrostowa może grozić eliminacją wielu dotychczasowych ogniw (dostawców, detalistów, także operatorów logistycznych) z łańcucha wartości. Aby obronić swą pozycję w łańcuchach dostaw, muszą one podjąć próby proaktywnego wyjścia naprzeciw potencjalnym zagrożeniom związanym z rozwojem druku 3D i zredefiniować swą przyszłą rolę w biznesie i łańcuchach dostaw.

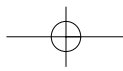
Sformułowane wnioski w pełni potwierdzają i uzasadniają potrzebę kontynuacji pogłębionych badań nad wpływem druku 3D na konfigurację i rekonfigurację łańcuchów dostaw. Badania takie warto by przeprowadzić w wybranych branżach, a jednocześnie poddać ten problem analizie w szerszym kontekście technologicznym, np. roli druku 3D w transformacji łańcuchów dostaw w świetle koncepcji Internetu rzeczy, Przemysłu 4.0 czy cyfryzacji łańcuchów dostaw. Szczególną wartość takie pogłębione badania będą miały w odniesieniu do rynku polskiego i polskich firm będących ogniwami międzynarodowych

Przypisy

¹ Szacuje się, że udział pokolenia Z w populacji konsumentów w 2020 r. osiągnie poziom ok. 40%.

Bibliografia

- Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, (1).
- Ben-Ner, A., Siemsen, E. (2017). Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing. *California Management Review*, (3).



- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55 (2).
- Bogers, M., Hadair, R., Bilberg, A. (2016). Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, (1).
- CSC Leading Edge Forum (2012).
- D'Aveni, R. (2015). The 3D Printing Revolution. *Harvard Business Review*, (5).
- DHL (2016). 3D Printing and the Future of Supply Chains. A DHL perspective on the state of 3D printing and implications for logistics.
- EY (2016). How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? EY's Global 3D printing Report 2016.
- Fox, S. (2014). Third Wave Do-It-Yourself (DIY): Potential for presumption, innovation, and entrepreneurship by local populations in regions without industrial manufacturing infrastructure. *Technology in Society*, (7).
- Gartner (2017). *Gartner Hype Cycle*, www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp (20.06.2017).
- GE (2017). *GE Aviation readies first 3-D printed jet engine nozzle at Alabama plant*, <http://www.madeinalabama.com/2015/06/ge-aviation-readies-first-3-d-printed-jet-engine-nozzle/> (01.07.2017).
- Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A.J.M., Visser C. (2014). Global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, (11).
- George, K., Ramaswamy, S., Rasse, L. (2014). *Next-shoring: A CEO's guide*. *McKinsey Quarterly 2014*, <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/next-shoring-a-ceos-guide> (05.07.2017).
- Gress, D.P., Kalafsky, R.V. (2015). Geographies of production in 3D: Theoretical and research implications stemming from additive manufacturing. *Geoforum*, vol. 60.
- Hopkinson, N., Dickens, P. (2003). Analysis of rapid manufacturing — using layer manufacturing processes for production. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 217 (C1).
- Jabil (2017). *Five Trends Driving the Digitization of the Supply Chain*, <https://www.jabil.com/insights/blog-main/five-trends-driving-digitization-of-the-supply-chain.html> (25.06.2017).
- Janssen, R., Blankers, I., Moolenburgh, E., Posthumus, B. (2014). *The Impact of 3-D Printing on Supply Chain Management*, TNO.
- Lipson, H., Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley.
- MarketsAndMarkets (2017). *3D Printing Market by Offering — Global Forecast to 2023*.
- Mellor, S., Hao, L., Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, (3).
- Müller, A., Karevska, S. (2016). *How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain?* EY's Global 3D printing Report 2016.
- Planet Retail (2017). *The impact of 3D printing on private label*, *The impact of 3D printing on private label*, <https://www1.planetretail.net/news-and-events/impact-3d> (06.07.2017).
- PwC (2014). *3-D printing and the new shape of industrial manufacturing*. <http://www.pwc.se/sv/pdf-reports/3d-printing-and-the-new-shape-of-industrial-manufacturing.pdf> (10.06.2017).
- Rayna, T., Striukova, L., Darlington, J. (2015). Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms. *Journal of Engineering and Technology Management*, (6–8).
- Rayna, T., Striukova, L. (2016a). A Taxonomy of Online 3D Printing Platforms. W: B. van den Berg, S. van der Hof, E. Kosta (ed.), *3D Printing. Legal, Philosophical and Economic Dimensions*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rayna, T., Striukova, L. (2016b). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, (102).
- Rogers, H., Baricz, N., Pawar, K.S. (2016). *3D Printing Services and their Impact on Supply Chain Configuration*. Referat wygłoszony na: 21st International Symposium on Logistics. Kaohsiung, Taiwan.
- Rutkowski, K. (2013). Restrukturyzacja globalnych łańcuchów dostaw a atrakcyjność inwestycyjna Polski. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12).
- Saunders, S. (2017). *3D Printing News Briefs: August 22, 2017*, <https://3dprint.com/tag/3d-printing-patents/> (25.06.2017).
- Sculpteo (2017). *The State of 3D Printing*. 3rd annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing.
- Siemiński, P., Budzik, G. (2015). *Techniki przyrostowe. Druk, drukarki 3D*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Smithers Pira (2017). *The Future of 3D Printing to 2027*.
- UPS (2016). Press Release 1463510444185-310.
- Weller, C., Kleer, R., Piller, F.T. (2015). Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of AM Revisited. *International Journal of Production Economics*, (3).

Zapraszamy na naszą stronę internetową

www.gmil.pl

