

## LOKALIZACJA PRODUKCJI WYKORZYSTUJĄCEJ TECHNOLOGIĘ DRUKU PRZESTRZENNEGO

Jerzy STADNICKI

Politechnika Świętokrzyska, Kielce; yurijs@tu.kielce.pl, Tel.: +48-508-514-532

**Streszczenie:** Głównym celem artykułu jest próba wskazania istotnych czynników lokalizacji produkcji dóbr za pomocą technologii 3D-druku, do czego wykorzystano analizę morfologiczną, jako główną metodę badawczą. Przedstawiono charakterystykę procesu lokalizacji oraz ustalania skali produkcji w odniesieniu do różnych wariantów produkcji za pomocą 3D-druku. Wykazano znaczącą rolę specyfiki technologii druku przestrzennego przy prawidłowym określeniu obszaru poddawanego analizie, w obrębie którego ustalone będą miejsca możliwej lokalizacji produkcji. Rezultatem jest wniosek, że ostateczne umiejscowienie produkcji wykorzystującej technologię druku 3D będzie zależne od łącznie określonych atrybutów wybranych czynników lokalizacji: bliskość rynku zbytu; niska cena energii elektrycznej; niska cena materiałów dla 3D-druku; dobra infrastruktura transportowa.

**Słowa kluczowe:** 3D-druk, czynniki lokalizacji produkcji, miejsca możliwej lokalizacji, granice obszaru analizy.

## LOCATION OF PRODUCTION USING THE TECHNOLOGY OF SPATIAL PRINTING

**Abstract:** The main objective of the article was to try to identify important factors for the location of goods production using 3d-printing technology, which used morphological analysis as the main research method. It shows the characteristics of the localization process and the determination of the scale of production in relation to different production variants using 3d-printing. A significant role has been shown for the specificity of the spatial printing technology with the correct determination of the area to be analyzed within which the locations of possible production locations will be determined. The result is the conclusion that the final position of production using 3d printing technology will be dependent on the totality of specific attributes of the selected factors of the location: proximity of the outlet market; low electricity price; low price of materials for 3d-printing; good transport infrastructure.

**Keywords:** 3D printing, factors of production location, place of possible location, border of the analysis area.

## 1. Wprowadzanie

Druk przestrzenny jest tzw. addytywną technologią produkcyjną służącą do wytwarzania trójwymiarowych przedmiotów przy użyciu modelu cyfrowego (Brett, 2014). Proces ten jest sterowany komputerowo, a przedmioty powstają w procesie nakładania kolejnych warstw tworzywa – plastiku, metalu, masy drzewnej, cementu itp. o konsystencji proszku, żywicy, pasty lub płynu (Chen, et al., 2015). Druk przestrzenny można realizować z wykorzystaniem wielu różnorodnych technik. W zależności od materiału w drukarkach stosuje się spiekanie, stapianie, sklejanie czy naświetlanie tworzyw światłoutwardzalnych. Każda z tych technik służy do produkcji elementów o innych właściwościach, każda ma inne zastosowania.

Właściwa lokalizacja produkcji jest ważnym czynnikiem jej efektywnego funkcjonowania (Stadnicki, 2016a), ponieważ skuteczność produkcji zależy nie tylko od poziomu zarządzania oraz stosowanej technologii, lecz i od tego, czy prawidłowo dokonano wyboru miejsca jej lokalizacji. Uzasadniając decyzje dotyczące lokalizacji działalności gospodarczej, należy uwzględniać odpowiednie czynniki, ponieważ tylko prawidłowa lokalizacja pozwala w pełni na wykorzystanie efektywności technologii.

Celem niniejszego artykułu jest próba wskazania tych istotnych czynników lokalizacji produkcji dóbr za pomocą technologii 3D-druku, które mogłyby stanowić podstawę analizy a następnie wyboru optymalnych miejsc produkcji wykorzystującej tę technologię.

## 2. Perspektywy wykorzystania technologii druku przestrzennego w zakresie skali oraz lokalizacji produkcji

Technologia druku przestrzennego zmieni przede wszystkim ekonomikę produkcji w branżach, w których liczy się precyzja, a także dominuje produkcja na konkretne zamówienie, kiedy to klient może otrzymać zaprojektowany specjalnie dla niego przedmiot. Eksperci podkreślają, że druk 3D będzie kolejnym katalizatorem rozwoju przedsiębiorczości, bo radykalnie obniży bariery wejścia do biznesu. Kiedyś sam pomysł lub projekt designerski nie wystarczał, by zaistnieć na rynku, ponieważ koszty rozpoczęcia produkcji były wysokie, a ryzyko zbyt duże. Dziś, zanim firma uruchomi na masową skalę produkcję z wykorzystaniem druku 3D może wstępnie przetestować prototypy różnych wariantów przedmiotu, aby sprawdzić ich ocenę przez potencjalnych klientów. Pozwala to zmniejszyć ryzyko przy podejmowaniu działalności gospodarczej, ponieważ przy nieznacznym koszcie, możliwe jest przetestowanie rynku odbiorców (Fura, 2017). Jednakże jest również tak, że niska bariera finansowa przy rozpoczęciu świadczenia usług w zakresie druku 3D może

spowodować, że na rynku pojawi się wiele firm, którym brak będzie właściwego zaplecza merytorycznego i technicznego.

Firma badawcza Gartner w badaniu „Hype Cycle for 3D Printing, 2017” prognozuje, jak są oczekiwania oraz na ile prawdopodobne, w skali rosnących przedziałów czasowych, jest lub będzie możliwe wykorzystanie technologii druku 3D na potrzeby różnorodnych dziedzin wytwarzania (Richardot, 2017). Mimo niedługiego czasu, od kiedy dostępna stała się technologia druku 3D daje się już zauważyć jej wpływ na masową produkcję w niektórych dziedzinach. Firmy coraz chętniej decydują się na krótkie serie produkcyjne i realizują to z wykorzystaniem technologii druku przestrzennego. Jest tak dlatego, że okazuje się to dużo bezpieczniejsze i tańsze w porównaniu z innymi technologiami, a gdy zachodzi konieczność wprowadzenia zmian, produkcję można szybko, bez problemu i bez dodatkowych kosztów przekierunkować. Drukarki 3D nie są jeszcze zagrożeniem dla tradycyjnej produkcji masowej, jednak obserwowany trend skracania serii produkcyjnych w celu ich większego spersonalizowania, może zaowocować tworzeniem centrów produkcyjnych opartych na technologii druku 3D. Będą one w stanie dowolnie zmieniać zakres produkcji, co z kolei przynosić będzie wymierne oszczędności.

Warto przyjrzeć się, jakie są przewidywania dotyczące organizacji produkcji, a w tym również kwestie jej lokalizacji, przedstawiane przez różnych badaczy zajmujących się efektami towarzyszącymi wykorzystaniu technologii 3D-druku, wobec coraz szerszego jej dostępu oraz ciągłego rozwoju. Spróbujemy kolejno przypomnieć te przewidywania, poddając je wstępnej analizie.

W pierwszej kolejności przytoczyć można prognozę Neila Hopkinsona powstawania wielkich kompleksów drukarni 3D (Fura, 2017). Na chwilę obecną nie jest jeszcze możliwa produkcja masowa za pomocą drukarek 3D, jednak zdaniem Hopkinsona zmieni się to w ciągu kilku lat i będziemy mieli do czynienia z wielkimi kompleksami drukarni 3D, zdolnymi wytwarzać produkty w tysiącach, a nawet setkach tysięcy sztuk. Rozważania Hopkinsona dotyczące dużej skali produkcji, nie uwzględniają problemu związanego z jej lokalizacją. W tym miejscu trzeba zauważyć, że bardzo duża skala produkcji będzie skutkowałą ograniczeniem ilości miejsc, w których można będzie ją lokalizować. Innymi słowy, spośród tysięcy możliwych z punktu widzenia technicznego miejsc trzeba będzie dokonywać wyboru jednego lub kilku miejsc lokalizacji produkcji, w których będzie można uzasadnić odpowiednio dużą jej skalę. Wymagałoby to próby określenia przestrzeni, w granicach której uzasadniać można wybór optymalnych miejsc lokalizacji produkcji dóbr przy pomocy druku przestrzennego.

Drugim ciekawym efektem zauważonym przez Chrisa Andersona, jaki może towarzyszyć stosowaniu technologii 3D druku, jest możliwość powstawania w wielu miejscach na świecie tzw. „cyfrowych fabryk”, które potencjalny producent będzie mógł poprzez Internet wynająć w celu produkowania tam planowanych dóbr (Fura, 2017). Dzięki temu, zdaniem Chrisa Andersona, redaktora naczelnego amerykańskiego magazynu nowych technologii „Wired”,

druk 3D przyczyni się do kolejnej rewolucji przemysłowej, bo pozwoli każdemu na szybkie rozpoczęcie produkcji po niższych kosztach i szybkie osiągnięcie masowej skali. Takie, wynajmowane poprzez Internet fabryki, nazwane przez brytyjską firmę konsultingową Legerwood „farmami 3D”, będą funkcjonować i rozwijać się w oparciu o zlecenia na produkcję rzeczy wymyślonych przez designerów i przedsiębiorców. Dzięki temu, jak szacują analitycy Legerwood, czas od projektu do rozpoczęcia produkcji spadnie o 50-80% w stosunku do czasu potrzebnego dziś (Fura, 2017). Trzeba jednak w tym miejscu zauważyć, że prognozowany przez Andersona efekt oznacza wprawdzie elastyczność w wyborze miejsca wytwarzania określonego produktu, jednakże wybór ten będzie z góry ograniczony do istniejących już zakładów, w których z kolei wykorzystanie mocy produkcyjnej będzie zależne od sumy otrzymanych na rynku „zleceń na produkcję”. W rezultacie pojawia się jednak przy tym trudny do rozwiązania problem optymalnej lokalizacji takiego zakładu oraz, co równie ważne i równie trudne, problem właściwego zaplanowania potencjalnej mocy produkcyjnej takiej „cyfrowej fabryki”.

W trzeciej kolejności chcemy krótko omówić sygnalizowane w pracy Burgs'a zjawisko polegające na tym, że wykorzystanie technologii druku 3D może być korzystniejsze przy małej skali produkcji w porównaniu do tradycyjnych metod produkcji (np. stosowania form wtryskowych), i odwrotnie, technologia ta będzie mniej korzystna przy bardzo dużej skali produkcji (Burgs, 2017). Ilustracją tego jest wykres prezentowany w pracy Burgs'a, obrazujący jednostkowe koszty wytworzenia plastikowej zabawki dwiema wspomnianymi metodami, w zależności od skali produkcji, z którego to wykresu wynika, że dopiero dla znacząco dużej skali produkcji, koszty produkcji za pomocą druku 3D zaczynają przewyższać koszty przy wykorzystaniu metody wtryskowej. Burgs zauważa, że skoro technologia druku 3D jest korzystna przy małej skali produkcji, to obserwowany trend skracania serii produkcyjnych może zaowocować tworzeniem opartych na tej technologii centrów produkcyjnych, pozwalających na łatwą zmianę zakresu produkcji oraz lokowanie jej bliżej odbiorców.

Kolejnym, czwartym już zagadnieniem wartym uwagi jest spostrzeżenie, że skoro wykorzystaniu technologii druku 3D towarzyszy m.in. znaczne obniżenie zapotrzebowania na siłę roboczą, to przy lokalizacji produkcji mniejsze znaczenie będzie miał dostęp do rynku pracowników o niskich kosztach pracy (Van Woensel, and Archer, 2015). Jest tak dlatego, że technologii druku 3D towarzyszy uproszczenie łańcuchów dostaw materiałów potrzebnych do produkcji, co przy wykorzystaniu tej technologii na szerszą skalę wiąże się ze znacznym obniżeniem zapotrzebowania na tanią siłę roboczą, a to z kolei może skutkować przenoszeniem produkcji do miejsc o wyższych jednostkowych kosztach pracy, czyli np. z powrotem do krajów zachodnich (Van Woensel, and Archer, 2015). Przy takim przenoszeniu produkcji do „krajów zachodnich” pozostaje jednak otwartą kwestia wyboru optymalnych docelowych miejsc lokalizacji, co wymaga bardziej szczegółowych badań i analiz.

Jako piąte z kolei, i ostatnie w tym miejscu, przytoczymy stwierdzenie Berman'a sprowadzające się do tego, że za pomocą 3D drukarki będzie można niemal dowolny przedmiot wyprodukować („nadrukować”) w miejscu konsumpcji (nawet w miejscu zamieszkania) (Berman, 2012). Naszym zdaniem wymaga to istotnych zmian w podejściu do zagadnienia lokalizacji produkcji, ponieważ taka sytuacja oznacza możliwość zaistnienia swoistej „gospodarki naturalnej epoki 3D-drukarek” (Stadnicki, 2016b). Klasyczna „gospodarka naturalna”, to typ gospodarstwa, w którym dobra są wytwarzane dla zaspokojenia własnych potrzeb, a nie w celu ich sprzedaży. W „gospodarce naturalnej epoki 3D-drukarek” wystarczy kupić 3D-drukarkę, kupować materiały oraz niezbędne oprogramowanie, aby za pomocą druku przestrzennego wytwarzać pewne dobra na potrzeby własne.

W tej sytuacji, jako możliwą powinniśmy również rozważać lokalizację w istniejących ośrodkach produkcji wielkoseryjnej, mającą na celu uproszczenie zaopatrzenia, zastępując je wykorzystującą druk 3D lokalną produkcją krótkich serii zmiennych elementów, jak również długich serii stałych elementów wykorzystywanych jako części składowe produktu końcowego, która zapewni równocześnie łatwość przeprofilowania formy tych elementów w miejscu produkcji. A zatem małe i średnie, a czasem nawet duże centra produkcji 3D (zależnie od potrzeb i skali istniejącej produkcji dóbr finalnych) będą lokalizowane w obrębie istniejących zakładów lub niezbyt odległego ich sąsiedztwa, w oparciu o argumenty techniczne oraz kalkulację nowych kosztów wytwarzania porównanych z dotychczasowymi kosztami zaopatrzenia w ten sam produkt w odległych zakładach produkcyjnych. Podobnie będzie w przypadku maszyn produkujących w technologii druku 3D lokalizowanych w istniejących zakładach naprawczych, kiedy to w oparciu o np. licencjonowaną formę cyfrową, bez długotrwałego procesu zamawiania u oryginalnego producenta, można będzie na miejscu i szybko wydrukować różnorodne części zamienne, np. części uszkodzone, albo też części wymieniane w celu lepszej personalizacji produktu.

Już nawet nasze wstępne rozważania pokazują, że bardzo ważnym jest pytanie o miejsce lokalizacji oraz potencjalną skalę produkcji wykorzystującej technologię 3D druku. Zwracaliśmy na to uwagę przy krótkim przeglądzie różnorodnych przewidywań przedstawianych przez wspomnianych wcześniej badaczy zajmujących się różnymi aspektami wykorzystania do produkcji technologii 3D druku. Wynikająca stąd bardzo ogólna charakterystyka zagadnień dotyczących wyboru miejsca lokalizacji produkcji dóbr przy pomocy technologii 3D druku oraz skali produkcji w tych miejscach przedstawiona jest w tabeli 1.

**Tabela 1.**

*Charakterystyka lokalizacji oraz skali produkcji w odniesieniu do różnych wariantów produkcji za pomocą 3D-druku*

Warianty produkcji		Miejsce lokalizacji produkcji	Skala i asortyment planowanej produkcji
1	Duże kompleksy drukarni 3D	Nieokreślone granice przestrzeni lokalizacji	Zdolność produkcyjna liczona w setkach tysięcy sztuk, przy asortymencie uwarunkowanym dużą skalą produkcji
2	Farmy 3D (cyfrowe fabryki)	Dla organizatora takiej farmy 3D brak jest szczegółowych kryteriów w zakresie wyboru miejsca	Trudny do oszacowania potencjał "rynku zleceń" na produkcję oraz trudny do określenia asortyment oferowanych produktów finalnych
		Wynajmujący potencjał produkcyjny może wybierać jedynie spośród istniejących już zakładów	Zaplanowany przez wynajmującego asortyment produkcji oraz jej skala
3	Małe i średnie centra produkcyjne	Blisko odbiorców produktu finalnego	Zależne od oszacowania wielkości lokalnego zapotrzebowania na produkty oraz ich asortymentu (możliwość wąskiej specjalizacji)
4	Produkcja wycofywana z miejsc o taniej sile roboczej	Produkcja przenoszona do miejsc o już niekoniecznie taniej sile roboczej, np. w kierunku "kraje zachodnie"	W oparciu o dotychczasowe ustalenia skali istniejącej produkcji oraz jej asortymentu, z możliwością zmiany.
5	Produkcja na użytek własny	Istniejące zakłady produkcji wieloelementowych obiektów, zakłady usług naprawczych, a nawet gospodarstwa domowe	Określone zapotrzebowaniem u organizatora takiej produkcji.

Zródło: opracowanie własne

Jak widać z danych Tabeli 1. mamy do czynienia z szerokim wachlarzem rozległości przestrzeni lokalizacji produkcji dóbr przy pomocy druku 3D, począwszy od lokalizacji „w gospodarstwie domowym”, a kończąc na sytuacji braku ogólnych sugestii co do granic przestrzeni lokalizacji. W tym przedziale mieści się ogólna tendencja wyboru miejsc lokalizacji produkcji bliżej klientów. Natomiast skala produkcji waha się od rozmiaru potrzeb gospodarstwa domowego do „setek tysięcy sztuk”, bądź rozmiaru otrzymanych na rynku zleceń na produkcję. Również w przypadku skali produkcji mamy ogólną tendencję polegającą na organizowaniu krótkich serii produkcyjnych.

W trakcie tych rozważań uwidacznia się potrzeba określenia sposobu uzasadniania wyboru miejsc lokalizacji produkcji dóbr przy pomocy technologii 3D druku oraz skali planowanej produkcji. Dlatego też, wydaje się właściwym szukanie odpowiedzi na pytanie, które czynniki lokalizacji produkcji dóbr przy pomocy technologii 3D druku powinny być uwzględnione przy formułowaniu kryterium optymalnej lokalizacji produkcji oraz ustalenia jej skali. Trzeba przy tym zaznaczyć, że odrębnym zagadnieniem jest przypadek podejmowania produkcji na użytek własny, kiedy to analizie podlegać będzie jedynie zasadność uruchomienia produkcji przy już określonej z góry lokalizacji w miejscu jej konsumpcji.

### 3. Zasoby dla produkcji jako czynniki lokalizacji

Przestrzenne zróżnicowanie kosztów produkcji (PZKP) jest niezbędnym, lecz nie jedynym parametrem, który musimy uwzględnić przy analizie problemu lokalizacji produkcji. Oprócz przestrzennego zróżnicowania warunków produkcji istnieje także przestrzenne zróżnicowanie warunków przemieszczenia (dóbr do konsumentów, albo konsumentów do dóbr niemobilnych), wynikające np. ze zróżnicowania dostępności miejsc. Różnice w geograficznym położeniu regionów oraz różny stopień rozwoju komunikacji w tych regionach w oczywisty sposób składają się na zróżnicowanie dostępności miejsc. Dostępność miejsc, a w tym koszty związane z przemieszczeniem, silnie zależą od istniejącej infrastruktury komunikacyjnej oraz możliwości wykorzystania najbardziej efektywnych rodzajów transportu. Wiadomo bowiem, że efektywność wykorzystania różnych rodzajów transportu zależy od rodzaju transportowanego dobra oraz odległości, a zatem miejsca, dla których jest szeroki wybór rodzajów transportu, będą miały przewagę w porównaniu z innymi miejscami o ograniczonym wyborze. Jest to ważnym czynnikiem kształtowania przestrzennego zróżnicowania kosztów, powiązanych z przemieszczeniem dóbr lub konsumentów. Ponadto warto zwrócić uwagę na takie czynniki kształtowania przestrzennego zróżnicowania kosztów powiązanych z przemieszczeniem, jak opłaty celne, płatne autostrady lub zwroty podatku VAT przy eksporcie dóbr.

Koszty produkcji dobra w różnych miejscach mogą być bardzo odmienne, ale przy dużym „oporze odległości” (OO), którego głównymi cechami są możliwości techniczne, koszty, bezpieczeństwo i szybkość przemieszczania, nie musi to prowadzić do zaistnienia problemu lokalizacji produkcji, ponieważ produkcja może być wtedy lokalizowana blisko konsumentów. Rozwój środków transportu skutkujący zmniejszeniem OO przy równoczesnym występowaniu PZKP doprowadził do powstania problemu lokalizacji produkcji, ponieważ stało się możliwe oddalenie miejsca produkcji dobra od miejsca jego spożycia. Dla różnych kombinacji parametrów PZKP i OO w Tabeli 2 przedstawiono możliwe warianty właściwej orientacji lokalizacji produkcji (OLP) będące wynikiem jedynie analizy jakościowej.

Jak pokazujemy to w Tabeli 2, duży i bardzo duży opór odległości (OO) może w sposób bardzo znaczący, a nawet radykalny, podnieść wagę (znaczenie) bliskości rynku zbytu, czyniąc ją wtedy czynnikiem rozstrzygającym o lokalizacji produkcji, niezależnie od istniejącego przestrzennego zróżnicowania kosztów produkcji (PZKP).

**Tabela 2.***Możliwe warianty OLP dla różnych parametrów PZKP i OO*

Stopniowanie PZKP	Stopniowanie OO		
	bardzo silny OO	silny i pośredni OO	słaby OO
Duże PZKP	OLP – blisko konsumentów	OLP – nieokreślona	OLP – minimum kosztów produkcji
Małe PZKP	OLP – blisko konsumentów	OLP – blisko konsumentów	OLP – dowolna

OLP – orientacja lokalizacji produkcji; PZKP – przestrzenne zróżnicowanie kosztów produkcji; OO – opór odległości.

Źródło: opracowanie własne.

W każdym jednak przypadku decydującą będzie nie tyle analiza jakościowa, co dopiero ostateczna kalkulacja kosztów uwzględniająca zarówno OO, jak i PZKP, prowadzona w odniesieniu do analizowanego miejsca potencjalnej lokalizacji produkcji. W sytuacji równoczesnego istnienia PZKP i OO, ale przy nieokreślonej orientacji lokalizacji produkcji właściwym i rozstrzygającym kryterium będzie minimalizacja sumy kosztów produkcji dobra i kosztów transportu tego dobra do konsumentów lub odwrotnie, konsumentów do dobra niemobilnego.

Ważnym w tym miejscu będzie podjęcie próby określenia, w jakim stopniu o kosztach produkcji wykorzystującej technologię druku 3D decydować mogą poszczególne zasoby wymagane dla uruchomienia takiej produkcji, a w ten sposób ewentualnie stać się czynnikiem lokalizacji w przypadku wystąpienia przestrzennego zróżnicowania kosztów pozyskania tych zasobów. Organizacja produkcji z wykorzystaniem technologii druku przestrzennego wiąże się z potrzebą zapewnienia zasobów:

- 1) urządzenia drukujące – drukarki 3D,
- 2) energia elektryczna,
- 3) materiały dla 3D-druku,
- 4) oprogramowanie i jego obsługa,
- 5) praca związana z obsługą produkcji,
- 6) infrastruktura techniczna,
- 7) przestrzeń niezbędna dla organizacji produkcji.

W literaturze naukowej niewiele jest danych o zapotrzebowaniu na zasoby dla produkcji z wykorzystaniem druku przestrzennego, ale niektóre wnioski można poczynić na podstawie tych istniejących. Przykładem może być kosztorys produkcji w technologii 3D-druku sporządzony dla przychodni stomatologicznej (Klimecka-Tatar, i Kapustka, 2016), gdzie kalkulacja kosztów dotyczyła „modeli protetycznych wykonywanych metodą wydruku 3D”. Analiza danych świadczy, że w tym przypadku główne koszty produkcji to wynagrodzenie pracownika umysłowego (51%) oraz koszty energii elektrycznej (24%). Tak wysoki udział wynagrodzenia wynika prawdopodobnie stąd, że oprócz pracy związanej z obsługą 3D-drukarki, wynagrodzenie obejmuje pracę związaną z oprogramowaniem. W omawianej kalkulacji zaskakująco niskie są koszty materiałów (tylko 4%), jednakże trzeba tutaj mieć na



uwadze fakt, że w innych branżach wykorzystujących 3D druk, struktura kosztów może być znacząco odmienna.

Badacze z Uniwersytetu Loughborough z Wielkiej Brytanii wykazali, że proces druku 3D wymaga poboru dużo większej ilości energii elektrycznej w stosunku do tradycyjnych rozwiązań stosowanych w przemyśle. W porównaniu np. z wtryskarkami, drukarki 3D wykorzystujące ciepło lub laser do topienia plastiku, z którego produkowany jest dany model, zużywają od 50 do 100 razy więcej energii elektrycznej do jego wytworzenia (Ślusarczyk, 2013).

Głównym czynnikiem PZKP przy wykorzystaniu technologii 3D-druku będzie przestrzenne zróżnicowanie kosztów zużycia energii elektrycznej oraz zaopatrzenia w materiały dla 3D-druku, ponieważ w różnych miejscach ceny 3D-drukarek oraz oprogramowania będą zbliżone, natomiast cena pracy związanej z bezpośrednią obsługą 3D-drukarki będzie w niewielkim stopniu wpływać na ogólne koszty produkcji. Wynika z tego, że miejsca (regiony, państwa) ze względnie niską ceną energii elektrycznej oraz materiałów dla 3D-druku będą atrakcyjnymi dla lokalizacji produkcji dóbr za pomocą technologii 3D-druku. Jednak warto zwrócić uwagę, że przewaga niskich cen na energię elektryczną oraz materiały dla 3D-druku może być zniwelowana wskutek różnic pomiędzy kosztami transportu do rynku zbytu dobra produkowanego w miejscu o takich właśnie niskich cenach i kosztami transportu zasobów do miejsca produkcji lokowanej blisko rynku zbytu. Gotowe wyroby zwykle nie są przystosowane do procesu transportowego, toteż poddaje się je zabiegom zmierzającym do zwiększenia ich podatności transportowej. Z tego powodu transport zasobów dla druku 3D wiązał się będzie z mniejszymi kosztami niż transport wyrobów gotowych. Jednakże dobra infrastruktura transportowa, która obniża koszty logistyczne może powodować, że miejsca z relatywnie niską ceną energii elektrycznej oraz materiałów do druku przestrzennego stają się bardziej atrakcyjne dla lokalizacji produkcji dóbr za pomocą technologii 3D-druku.

W Tabeli 3 przedstawiamy wyniki jakościowej analizy mającej na celu określenie, które zasoby dla produkcji w technologii druku 3D mogą być czynnikami lokalizacji takiej produkcji. Wynika z tej analizy, że wśród zasobów dla produkcji za pomocą 3D druku, istotnymi składnikami kształtującymi PZKP, które stają się tym samym czynnikami lokalizacji produkcji, są ceny energii elektrycznej oraz ceny materiałów do produkcji.

W kwestii przestrzennego zróżnicowania cen energii elektrycznej, to występuje ono dla wielu państw w skali międzykontynentalnej (np. cena w Europie może być prawie dwukrotnie większa niż w USA i Rosji, jak również w skali jednego kontynentu, gdzie np. w samej Europie porównanie cen może przekraczać 200% (Kulik, 2018). Nawet w obszarze jednego państwa możemy mieć do czynienia ze zróżnicowaniem tych cen, jak to ma miejsce np. w Polsce, gdzie różnice w cenach sięgają 18 %.

**Tabela 3.***Znaczenie zasobów w procesie lokalizacji produkcji wykorzystującej technologię 3D-druku*

Zasoby dla 3D-druku	Udział w kosztach produkcji	Przestrzenne zróżnicowanie ceny	Czy jest czynnikiem lokalizacji
3D-drukarka	Duży	Małe	Nie
Energia elektryczna	Duży	Małe lokalnie; Duże globalnie	Tak
Materiały dla druku 3D	Duży	Średnie	Tak
Oprogramowanie i jego obsługa	Średni	Małe	Nie
Praca związana z obsługą produkcji	Mały	Duże	Nie
Infrastruktura techniczna	Średni	Średnie	Tak
Przestrzeń niezbędna dla organizacji produkcji	Mały	Duże	Nie

Źródło: opracowanie własne

Przestrzenne zróżnicowanie cen materiałów do druku 3D, nawet przy względnie niskich kosztach ich transportu, może wiązać się z cłami importowymi przy kupnie tych materiałów u zagranicznych producentów oferujących niższe ceny. Udział infrastruktury technicznej w kosztach produkcji oraz przestrzenne zróżnicowanie cen dostępu do tej infrastruktury kształtuje się na poziomie średnim, toteż jej obecność jest czynnikiem lokalizacji, ponieważ jej brak będzie barierą dla lokalizacji produkcji, tzn. przeszkodą ograniczającą, utrudniającą, a nawet uniemożliwiającą prowadzenie w określonym miejscu działalności gospodarczej wykorzystującej technologię 3D-druku.

Miejsca, w których przewidujemy niskie koszty produkcji, oszacowane w oparciu o wspomniane powyżej czynniki, przy równocześnie niskich kosztach transportu w warunkach dobrej infrastruktury transportowej, stają się miejscami potencjalnej lokalizacji produkcji dóbr za pomocą 3D-druku. Spotyka się często stwierdzenie, że w porównaniu z czynnikiem bliskości rynku zbytu, wpływ innych czynników lokalizacji produkcji dóbr za pomocą 3D-druku będzie znacząco mniejszy. Temu zagadnieniu poświęcony jest następny podrozdział artykułu.

#### **4. Specyfika lokalizacji produkcji wykorzystującej 3D druk i ukierunkowanej na bliskość rynku zbytu**

W sytuacji względnie małego zróżnicowania przestrzennego kosztów produkcji oraz uwzględniając fakt, że materiały dla druku 3D zawsze będzie taniej transportować niż wyroby gotowe, produkcję dóbr za pomocą 3D-druku w większości przypadków będzie warto lokalizować blisko rynków zbytu. W takim przypadku trzeba jednak dokonywać oszacowania rozmiaru rynku zbytu (wg obszaru i popytu na określone dobro). Wariantów jest wiele, od rozmiaru minimalnego (produkcja w miejscu konsumpcji, np. w mieszkaniu), aż do maksymalnego (produkcja na rynek jednostki terytorialnej, np. miasta). Prognozować można,

że niektóre dobra warto będzie produkować w miejscu konsumpcji (zamieszkania), ale z powodów ekonomicznych (produkcja w małej skali rzadko jest opłacalna) oraz ze względu na warunki bezpieczeństwa (szum, zanieczyszczenie środowiska przy 3D druku), w większości przypadków produkcja będzie jednak odbywać się w specjalnych pomieszczeniach oraz w większej skali. Czynnikiem lokalizacji będzie wtedy odpowiedni rozmiar popytu w granicach określonej przestrzeni.

W projekcie Opinii Komisji Konsultacyjnej ds. Przemian w Przemysle (CCMI) dotyczącej tematu „Życie w przyszłości. Druk 3D jako narzędzie wzmocnienia gospodarki europejskiej” produkcja blisko rynku zbytu jest opisana tak: „Technologia ta ułatwi instalację mini zakładów usytuowanych bardzo blisko klientów wszędzie tam, gdzie będzie na to popyt” (Malosse, 2015). Warto zwrócić uwagę na to, że określenie „wszędzie tam, gdzie będzie na to popyt” nie jest wystarczające, ponieważ decyzja o lokalizacji wymaga analizy rozmiaru popytu w granicach odpowiedniej przestrzeni. Powstaje przy tym problem uzasadnienia podziału przestrzeni na „komórki popytu” na dobra produkowane przy pomocy 3D-drukarek, toteż ważnym będzie ocena korzyści wynikającej ze wzrostu skali produkcji, ale z uwzględnieniem potencjalnego wzrostu kosztów transportu wyprodukowanych dóbr (większa skala wymaga większego obszaru rynku zbytu, co powiększy koszty transportu z miejsca produkcji do konsumentów).

Ponieważ w literaturze fachowej, jak dotąd brakuje praktycznych danych określających optymalną skalę produkcji przy pomocy 3D-drukarek w różnych branżach i regionach, to przy planowaniu lokalizacji warto rozważać równocześnie różne warianty rozmiaru „komórek popytu” uwarunkowanych skalą produkcji. Porównanie wariantów można będzie wykonywać wg schematów klasycznych, a główny problem będzie polegał na prawidłowym ustaleniu miejsc możliwej lokalizacji (MML) produkcji wybranego dobra przy pomocy 3D-drukarki. Konkurować będą między sobą wszystkie MML, co podczas analizy może wymagać równoczesnego uwzględniania różnorodnych „komórek popytu”, różniących się rozmiarem, a nawet związanych z różnymi branżami lub odrębnymi regionami.

Przykładem świadczącym o tym, że w praktyce lokalizacyjnej rynki zbytu mogą być dość duże, jest działanie belgijskiej firmy Materialise, która w roku 2014 zlokalizowała blisko Wrocławia duży zakład produkcyjny wytwarzający w technologii 3D druku (metoda SLS) prototypowe detale dla przemysłu motoryzacyjnego, lotniczego i tworzyw sztucznych w całej Europie (Adamczewski, 2017). O lokalizacji decydował między innymi atut komunikacyjny (bliskość autostrady), co oczywiście daje dostęp do rynku zbytu o większym rozmiarze. Wilfried Vancraen, prezes i założyciel Materialise, podkreślił, że ważną kwestią było podejście lokalnych władz: byliśmy tu bardzo mile widziani i uzyskaliśmy wszelką niezbędną pomoc przy naszej inwestycji (Hołubowicz, 2017). Jest to potwierdzeniem faktu, że również marketing miejsc jest bardzo ważnym czynnikiem wyboru konkretnego miejsca produkcji w ramach procesu lokalizacji zorientowanej na rynek zbytu.

Bezpieczeństwo i higiena pracy w trakcie produkcji wykorzystującej technologie druku przestrzennego jest równie ważnym czynnikiem, wpływającym na wybór miejsca produkcji dóbr w ramach lokalizacji zorientowanej na rynek zbytu. Bardzo niewiele jest badań dotyczących zapewnienia ochrony zdrowia i ogólnych warunków bezpieczeństwa w miejscu drukowania przestrzennego, ale nawet już istniejące informacje świadczą o zagrożeniach: chemicznych związanych z lotnymi żywicami powstającymi przy wytwarzaniu części polimerycznych; chemiczno-fizycznych związanych ze stosowaniem proszków zawierających nanocząsteczki; a także o zagrożeniu wybuchu wynikającym ze stosowania proszków bazujących na lotnych dodatkach metalicznych lub niemetalicznych (Ślusarczyk, 2013). Zgodnie z badaniami opublikowanymi w czasopiśmie *Atmospheric Environment*, drukarki 3D dostępne na rynku, w procesie druku emitują dużą ilość ultradrobnych cząsteczek powstających w trakcie topienia się plastiku, które mogą mieć istotny wpływ na zdrowie człowieka. Tego typu emisje są powszechne w zakładach przemysłowych wykorzystujących technologie druku 3D lub inne, wykorzystujące w procesie produkcji topiony plastik.

Szczególnie duże znaczenie będzie miał czynnik bezpieczeństwa i higieny pracy w przypadku rozważania produkcji dóbr za pomocą 3D-druku w miejscu zamieszkania (np. w domu). W granicznym przypadku atrybutu bliskości rynku zbytu, z jakim mamy do czynienia w sytuacji podejmowania produkcji na użytek własny (zakłady wytwórcze, zakłady naprawcze i gospodarstwa domowe), pojawia się wstępny warunek o lokalizacji produkcji w miejscu konsumpcji, w tym również w miejscu zamieszkania. Różnica polega jednak na tym, iż przedsiębiorstwa i fabryki posiadają odpowiednie procedury i stosowne narzędzia pozwalające na gwarantowanie określonych norm bezpieczeństwa, podczas gdy w domu będzie to zależęć wyłącznie od poziomu świadomości oraz możliwości użytkownika w tym zakresie. Druk przestrzenny realizowany w mieszkaniu powinien zatem bazować na technologiach nieszkodliwych dla ludzi, co ogranicza rodzaj dóbr oraz skalę ich produkcji, i tylko w takim zakresie mieszkanie może być traktowane jako MML (miejsce możliwej lokalizacji).

## 5. Podsumowanie

Uzasadnienia lokalizacji produkcji wykorzystującej 3D druk można dokonywać metodą klasyczną, uwzględniając specyfikę technologii 3D-druku poprzez określenia prawidłowych granic obszaru analizy oraz ustalenie w jego granicach zestawu MML. Duże znaczenie czynnika bliskości rynku będzie powodowało zmniejszenie rozmiaru obszaru analizy dla 3D-druku oraz zwiększenia ilości MML. Podczas analizy, o ostatecznym umiejscowieniu produkcji wykorzystującej technologię druku 3D decydować będą łącznie określone atrybuty wybranych czynników lokalizacji:

- 1) bliskość rynku zbytu, czego głównym powodem będzie mniejszy koszt transportu materiałów zamiast transportu gotowych wyrobów, ale również wzrastające znaczenie tego czynnika w przypadku występowania relatywnie małego zróżnicowania przestrzennego kosztów produkcji;
- 2) niska cena energii elektrycznej, co wynika ze znacząco dużego udziału kosztów energii elektrycznej w kosztach całkowitych, przy jednocześnie możliwym zróżnicowaniu przestrzennym cen energii elektrycznej;
- 3) niska cena materiałów dla 3D-druku, ponieważ wobec relatywnie dużego udziału kosztów materiałów w całkowitych kosztach produkcji trzeba uwzględnić ewentualne zróżnicowanie przestrzenne ich cen;
- 4) dobra infrastruktura transportowa, która może przyczynić się do rozszerzenia rynku zbytu dla produkcji oraz może podnieść atrakcyjność bardziej odległych od rynku zbytu miejsc lokalizowania produkcji.

Miejsca charakteryzujące się najkorzystniejszym wynikiem przy sumarycznej ocenie opartej na wszystkich czterech wymienionych powyżej czynnikach lokalizacji będą traktowane jako te, w których można i warto lokalizować produkcję opartą na technologii druku przestrzennego. Oczywiście jest przy tym, że w zależności od branży produkcyjnej wykorzystującej technologię druku 3D, ale również od regionu analizowanego pod kątem lokalizacji takiej produkcji, wystąpią charakterystyczne dla nich swoiste wskaźniki pozwalające na oszacowania ilościowe wartościujące wymienione powyżej czynniki lokalizacji. W szczególnym przypadku lokowania produkcji dla potrzeb własnych w istniejących zakładach wytwórczych lub naprawczych, albo nawet w gospodarstwach domowych, oprócz kalkulacji ekonomicznej decydującymi będą techniczne i logistyczne korzyści wynikające z takiego umiejscowienia produkcji.

W naszym przekonaniu, przyszłe badania w zakresie lokalizacji produkcji wykorzystującej technologię 3D-druku powinny być prowadzone nie tylko w kierunku prawidłowego ustalenia stref rynkowych (komórek popytu) dla produkowanych dóbr, kiedy to czynnikiem lokalizacji jest jedynie rynek zbytu, ale również w kierunku ustalenia konkretnych wskaźników umożliwiających, dla wybranej branży oraz regionu, skuteczne wartościowanie wszystkich czterech wyszczególnionych powyżej czynników lokalizacji takiej produkcji.

## Bibliografia

1. Adamczewski, P. (2018.06.05). *Największe w Europie Centrum Kompetencji Technologii Druku 3D powstało w Bielanach Wrocławskich*. Retrieved from <http://kapitalpolski.pl/najwieksze-w-europie-centrum-kompetencji-technologii-druku-3d-powstalo-w-bielanach-wroclawskich/>.

2. Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 2, 155-162.
3. Brett, P. and Guha, P., et al. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, 1, 64-76.
4. Burgs, A. (2018.06.05). *Druk 3D – praktyczne zastosowania oraz potencjał technologii*. Retrieved from <http://www.szefur.pl/druk-3d-praktyczne-zastosowania-oraz-potencjal-technologie/>.
5. Chen, D. and Heyer, S. et al. (2015). Direct Digital Manufacturing: Definition, Evolution, and Sustainability Implications. *Journal of Cleaner Production*, 107, 615-619.
6. Fura, M. (2018.06.05). *Drukarki 3D zrewolucjonizują globalny rynek przemysłu*. Retrieved from <https://www.obserwatorfinansowy.pl/tematyka/globalizacja/drukarki-3d-zrewolucjonizuja-globalny-rynek-przemyslu/>.
7. Hołubowicz, M. (2018.06.05). *Największa fabryka druku 3D w Polsce już działa*. Retrieved from <http://wroclaw.wyborcza.pl/wroclaw/7,35771,22405634,najwieksza-fabryka-druku-3d-w-polsce-juz-dziala.html?disableRedirects=true>.
8. Klimecka-Tatar, D. i Kapustka, K. (2016). Innowacyjne procesy druku 3D – analiza ryzyka wdrożenia innowacji w branży stomatologicznej. *Zeszyty Naukowe Quality. Production. Improvement*, 1(4), 92-106.
9. Kulik, G. (2018.06.05). *Ceny prądu w Europie*. Retrieved from <https://energiadirect.pl/poradniki/ceny-pradu-w-europie>.
10. Malosse, H. (2015). Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie „Życie w przyszłości. Druk 3D jako narzędzie wzmocnienia gospodarki europejskiej”. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 332, 36-44.
11. Richardot, A. (2018.06.05). *The 3D printing Hype Cycle by Gartner: What does the 2017 edition say?* Retrieved from <https://www.sculpteo.com/blog/2017/08/01/the-3d-printing-hype-cycle-by-gartner-what-does-the-2017-edition-say/>.
12. Ślusarczyk, P. (2018.06.05). *Czy druk 3D jest ekologiczny?* Retrieved from <http://centrumdruku3d.pl/czy-druk-3d-jest-ekologiczny>.
13. Stadnicki, J. (2016). Addytywna produkcja: perspektywy rozwoju i wpływu na przestrzenną organizację gospodarki. *Gospodarka i Finanse*, 7, 63-71.
14. Stadnicki, J. (2016). Wpływ technologii 3D-druku na przestrzenną organizację gospodarki. W M. Kotowska-Jelonek, i J. Kot (red.), *Ekonomiczne i techniczne wyzwania rozwoju społeczno-gospodarczego kraju i regionów* (ss. 486-496). Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
15. Van Woensel, L., and Archer, G. (2015). *Dziesięć technologii, które mogą zmienić nasze życie: Potencjalny wpływ i skutki polityczne*. Bruksela: Parlament Europejski.