

Design dla wytwarzania przyrostowego

Helena Dodziuk

Wiceprezes jednej z najbardziej aktywnych w 3DP firm Siemens, Andreas Saar, wygłosił wykład na konferencji materialise¹ zatytułowany (w moim, może nie najbardziej dokładnym, tłumaczeniu): *Druk 3D zmienia wszystko. Należy na nowo wymyślić produkty, zmienić narzędzia wytwarzania i przemysłu sposób prowadzenia biznesu*. Do niedawna w 3DP/AM zmieniały się metody drukowania, drukarki i używane materiały, natomiast elementem niezmiennym było używane oprogramowanie. Teraz to zaczyna się zmieniać, bo – jak stwierdziła Pamela J. Waterman – 3DP narzuca dużo mniej ograniczeń technologicznych niż metody tradycyjne².

W 2018 roku współpracownik Wohlers Associates, Olaf Diegel, stwierdził, że przez ostatnie trzy lata firmy zaczęły doceniać design dla wytwarzania przyrostowego (DfAM, ang. *Design for Additive Manufacturing*)³. Zwiększył się zarówno udział instytucji finansowych w inwestowaniu w DfAM, jak również liczba kursów na ten temat dla firm, które chcą pogłębić wiedzę na ten temat.

Części drukowane w 3D zaprojektowane w sposób konwencjonalny są czasami droższe niż takie same części wyprodukowane w sposób tradycyjny, głównie ze względu na małą szybkość drukowania. Jednak jeżeli takie części się zaprojektuje, wykorzystując DfAM, ich koszt może być porównywalny lub nawet konkurencyjny. Badania przeprowadzone dla firmy Wohlers Associates w 2018 roku wskazują, że 46% kosztów w 3DP/AM wiąże się z wytwarzaniem i usuwaniem podpór (ang. *support structures*). Dobrze zaprojektowana część może wymagać dużo mniejszej ilości materiałów na podpory (a więc wymagać mniej pracy przy ich usuwaniu), zmniejszając zdecydowanie koszty wytwarzania.

Oczywiście metody DfAM wykorzystujące optymalizację topologiczną, projektowanie generatywne⁴ i struktury sieciowe mogą zwiększyć wartość produktów (ang. *add value to products*), np. przez zmniejszenie ich wagi i zwiększenie wydajności (ang. *enhancing performance*). Podobnie zmniejszenie liczby części przez zaprojektowanie ich jako jedną całość zmniejsza koszty produkcji, przechowywania i montażu. Oczywiście dodatkową zaletą jest personalizacja (ang. *customization*), czyli dopasowanie produktu do konkretnego klienta praktycznie bez zwiększenia kosztów. Wszystkie te zalety można uzyskać, jeśli designerzy i inżynierowie nauczą się DfAM. Brak tej wiedzy jest jedną z barier przy wprowadzaniu AM na wielką skalę.

Badanie firmy Fictive wykazało⁵, że większość inżynierów i projektantów (lub z angielska: designerów) stosuje tradycyjne oprogramowanie 3D CAD firmy Autodesk⁶. Nowatorskie pakiety oprogramowania, takie jak Autodesk Within⁷, netfabb⁸, firmy Autodesk – opracowane przez firmę Altair Hyperworks⁹ i Inspire firmy solidThinking¹⁰ – oraz 3-matic firmy materialise¹¹, a także wiele innych są świadectwem zmian w podejściu

do programowania dla 3DP/AM. Obejmują one przemysł od nowa projektów detali, aby zmniejszyć ich wagę, zachowując wytrzymałość oraz zoptymalizować design do produkcji metodą AM oraz minimalizację zużycia materiałów wspornikowych. Trzeba też wymienić zintegrowane platformy oprogramowania dla 3DP/AM NX Siemens¹² oraz 3DExperience Dassault Systèmes¹³.

Należy podkreślić, że oprogramowanie DfAM rozwija się bardzo dynamicznie. Dąży się do tego, żeby przejście od tradycyjnego projektowania do projektowania dla druku 3D było automatyczne. Między innymi w programach pojawiają się zakładki umożliwiające automatyczne odchudzenie, np. wbudowanie do projektowanej części pustych wnęk, bez obniżania jej parametrów mechanicznych, lub automatyczne projektowanie coraz doskonalszych podpór. Dotychczas, żeby projektować modele do druku 3D, trzeba było mieć w tym doświadczenie. Niedługo nie będzie to już konieczne.

T. Wohlers, chyba najważniejszy analityk w dziedzinie 3DP, opracował razem z Olafem Diegelem trzydniowy kurs projektowania DfAM¹⁴, w którym omówiono specjalne podejście do projektowania dla druku 3D, m.in. nie tylko polegające na analizie funkcjonalności części do wydrukowania i ich klasycznego montażu, lecz również uwzględniające specyfikę ich druku w 3D na skalę przemysłową, tak aby uzyskać wielostronną efektywność. Sformułowali oni kilka zasad projektowania, pozwalających na uzyskanie większej wartości w produkcji korzystającej z 3DP:

1. Projektuj lub modyfikuj istniejący projekt z minimalnym wykorzystaniem materiału, pozwalającym na spełnienie wymagań technologicznych. Polega to m.in. na mniejszym zużyciu materiału w miejscach, w których nie działają siły i naprężenia, oraz na wykorzystaniu takich narzędzi, jak optymalizacja topologiczna¹⁵, struktury sieciowe¹⁶ oraz generatywny design, czyli podejście do projektowania i designu fizycznego lub cyfrowego obiektu, w którym wykonuje się iteracyjnie proces projektowania przez generowanie wielu możliwości (ang. *output*) spełniających pewne narzucone warunki. Takie działanie może być delegowane technologiom i platformom komputerowym, które wykorzystują sztuczną inteligencję¹⁷ w celu uzyskania lepszych i bardziej funkcjonalnych produktów dzięki specyficznym możliwościom druku 3D, np. wytwarzania detali z wnękami w środku. Firmy nTopology, Frustum i ParaMatters to start-upy próbujące przededefiniować optymalne i efektywne projektowanie dla dowolnej metody produkcji¹⁸.
2. Projektuj tak, aby konsolidować wiele części, wykorzystując możliwość drukowania w 3D bardzo skomplikowanych, specyficznych dla produktu kształtów, które można wydrukować „za jednym zamachem”. Wyeliminowanie montażu

- i możliwość dodrukowania zapasowych części pozwala jednocześnie uniknąć konieczności składowania wielu części (a także śrub, nakrętek i podkładek), oszczędzając czas i pieniądze oraz likwidując potencjalne straty związane z montażem i składowaniem.
3. Projektuj lub modyfikuj istniejący projekt z minimalnym wykorzystaniem materiału pozwalającym na spełnienie wymagań technologicznych produkcji. W AM duże ilości materiału nie są korzystne z punktu widzenia inżynierii i mogą wprowadzić znaczne naprężenie rezydualne. Ponadto wymagają one więcej podpór i zwiększają czas druku i jego koszt. Jest to w zasadzie powtórzenie reguły z punktu 1, ale tak to sformułowali Terry Wohlers i Olaf Diegel.
 4. Projektuj dla lepszego funkcjonowania. Przykładowo kanały chłodzące są na ogół wykonywane jako prostoliniowe, gdy części wytwarza się tradycyjnie metodą formowania wtryskowego z tworzyw sztucznych. W AM można dopasować ich przebieg do kształtu części, zapewniając szybsze i bardziej równomierne chłodzenie. Z możliwości tej skorzystali m.in. projektanci Siemens przy projektowaniu wydrukowanych następnie w 3D łopatek turbiny¹⁹.
 5. Projektuj z wykorzystaniem zoptymalizowanego rodzaju materiału. Wykorzystaj do wydrukowania części właściwości materiałów, z którymi trudno jest pracować tradycyjnie, aby wykorzystać lepsze właściwości materiałów, takie jak przewodnictwo cieplne, ciągliwość lub wytrzymałość. Zamiast zastanawiać się, z jakich materiałów robiono tę część, rozważ, jaką funkcję ma wykonywać, i dobierz najbardziej odpowiedni materiał do wytworzenia jej metodą AM, czyli wykorzystaj zasadę najlepszego wykorzystania surowców
 6. Projektuj z wykorzystaniem optymalnego kierunku przyrostu i minimalnych podpór. Usunięcie ich to na ogół żmudne i czasochłonne zadanie wymagające pracy ręcznej. Taki post-processing może odpowiadać za 70% całkowitego kosztu. Może on być zminimalizowany przez inteligentną orientację części zmniejszającą potrzebę użycia podpór, zaś przemyślany design części lub ich wspólny druk może je nawet zlikwidować, czyli spełnić zasadę umiaru technologicznego.
 7. Projektuj dla wydajnego i identyfikowalnego przepływu pracy (ang. *workflow*)²⁰. Taki projekt musi uwzględniać wszystkie etapy produkcji części metodą AM od preprocesingu (umieszczenie części w przestrzeni roboczej drukarki, wybór parametrów druku itd.), przez monitoring drukowania, aż do postprocesingu (czyli usunięcia podpór, obróbki cieplnej, czyszczenia, utwardzania UV, obróbki powierzchni itp.). Ten ostatni obejmuje również zapis parametrów drukowania do ich późniejszego sprawdzenia lub kontroli w czasie rzeczywistym dla ciągłej poprawy procesu i podtrzymania standardów jakości. Stosuj przy tym zasadę najlepszego wykorzystania energii.

Z kolei Fabian na blogu materialise omówił pięć błędów często występujących w designie 3DP/AM, mając na uwadze różnice w bardzo różnym oprogramowaniu, stosowanych materiałach, drukarkach i technologiach druku²¹. Należą do nich ignorowanie charakterystyk materiałów do drukowania

i stosowanej technologii druku oraz wytycznych oprogramowania, a także niepoświęcanie należytej uwagi grubości ścianek i rozdzielczości plików STL do drukowania. Również na blogu sculpteo omówiono wykorzystanie biomimetyki, czyli naśladowania przyrody (ang. *biomimicry*), co nie tylko pozwala opracowywać nowe materiały prowadzące do nowych możliwości produkcji, ale umożliwia również optymalizację designu i inspirowanie inżynierów nowymi pomysłami do wykorzystania w AM²².

Oceniając zalety celowego projektowania DfAM, Marc Saunders ze specjalizującej się w druku w metalu firmy Renishaw wyróżnił zalety w produkcji (ang. *production benefits*, PB) i zalety w użytkowaniu (ang. *lifetime benefits*, LB)²³. Stosowanie „dziurawych” struktur lub struktur porowatych pozwala na zmniejszenie zużycia materiałów (PB) i skrócenie czasu produkcji, jednocześnie zmniejszając wagę wydrukowanych części nawet o 50% (LB). Optymalizacja topologiczna z kolei zmniejsza zużycie i straty materiału oraz koszty narzędzi (PB), jednocześnie zmniejszając wagę i pozwalając na szybsze wprowadzenie do produkcji (LF) i jej przyspieszenie. Zwiększenie pola powierzchni w strukturach porowatych jest szczególnie ważne w implantach ortopedycznych. Uzyskuje się je m.in. dzięki projektowaniu sieciowemu. Również w tym przypadku uzyskuje się zmniejszenie strat materiałów (PB), jednocześnie lepiej one działają i wykazują lepszą adaptację (LB). Dzięki DfAM produkty stają się bardziej estetyczne, ich montaż jest prostszy (PB). Co więcej, lepiej adaptują się do zadań i są bardziej atrakcyjne (LB).

Inne podejście do AM reprezentuje prezes rosyjskiej firmy Anisoprint²⁴, Fiodor Antonow, który uważa, że zamiast metalu należy drukować w 3D z materiałów kompozytowych. Niestety strona z jego artykułem zniknęła z sieci, zostało jedynie jej omówienie²⁵.

Designer Kruno Knezic uważa, że kreatywność jest kluczem do DfAM²⁶, a korzystanie ze standardowych programów do projektowania, takich jak 3D CAD, ogranicza projektantów, którzy muszą się nauczyć metod projektowania specyficznych dla AM. Tego typu programem jest np. Dreamcatcher firmy Autodesk²⁷. Jest to generatywny system projektowania, pozwalający twórcom zdefiniować ich problem przez jego cele i ograniczenia, a następnie utworzyć alternatywne rozwiązania projektowe spełniające te warunki. Umożliwia to z kolei projektantom porównanie wielu rozwiązań i wybór metody projektowania adekwatnej do produkcji.

Po etapie intensywnego rozwoju metod drukowania i używanych metamateriałów mamy do czynienia z gwałtownym rozwojem metod projektowania DfAM. Wydaje się, że ciekawym i przyszłościowym podejściem jest automatyzacja procesu projektowania (ang. *design automation software*)²⁸ i wykorzystująca DfAM platforma oprogramowania do druku 3D w metalu SolidWorks, spółki córki Dassault Systèmes, 3DXpert for SolidWorks²⁹. Na zakończenie warto przypomnieć, że ocena jakości projektu do wydrukowania w 3D jest bardzo skomplikowanym problemem m.in. ze względu na częsty do niedawna brak powtarzalności wydruków. Omówił go Ramesh Lakshminathy na swoim blogu³⁰. Pokazał on, jak prosta zmiana jednego parametru konstrukcji z rurek wpływa na jej stabilność.

Ponadto Lakshmiathy zaproponował kilka pytań (np. o rodzaj stosowanego materiału, grubość ścianek i średnicę rurek, cenę itd.), aby pokazać, jak odpowiedź na nie wpływa na kryterium wyboru parametrów w zależności od tego, czy chodzi nam o wyrób najtańszy, czy też taki, który charakteryzuje się największą odpornością na korozję lub jest rozwiązaniem kompromisowym. Oczywiście omówiony w blogu Lakshmiathy'ego przykład jest bardzo uproszczony i w realnej sytuacji należy rozważyć dużo więcej czynników.

Przypisy

- 1 World Summit 2017, <https://worldsummit.materialise.com/>.
- 2 P.J. WATERMAN, 24.10.2017, <http://www.rapidreadytech.com/2017/10/how-to-design-for-additive-manufacturing-first-steps/>.
- 3 O. DIEGEL, 16.06.2018, <https://wohlersassociates.com/blog/2018/06/the-impact-of-dfam/>.
- 4 <https://cadcamstuff.com/5208/understand-generative-design-1-minute-read/>.
- 5 K. KNEZIC, 18.07.2017, <https://medium.com/@krunok/creativity-is-the-key-to-design-for-additive-manufacturing-ecfdb495c26>.
- 6 <https://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software>.
- 7 <http://blogs.autodesk.com/inthefold/autodesk-within-generative-design-optimized-for-3d-printing>.
- 8 <https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview>.
- 9 <http://www.altairhyperworks.com/hw2017/>.
- 10 <http://www.solidthinking.com/Inspire2017.html>.
- 11 <http://www.materialise.com/en/software/3-matic>.
- 12 <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/>.
- 13 <https://www.3ds.com/products-services/3dexperience/>.
- 14 <http://4teamm.org/news/2017/04/27/design-for-additive-manufacturing-dfam-from-wohlers-associates-with-olaf-diegel-and-terry-wohlers/>.
- 15 https://en.wikipedia.org/wiki/Topology_optimization.
- 16 E. RECROSI, 24.05.2017, <https://www.sculpteo.com/blog/2017/05/24/optimize-your-3d-printed-parts-with-lattice-structures>.
- 17 https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_design.
- 18 D. HORVATH, 14.06.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/defining-generative-design-software-implementation-ntopology-frustum-paramatters-134663/>.
- 19 <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html>.
- 20 <https://pl.wikipedia.org/wiki/Workflow>.
- 21 Fabian, 5.07.2018, <https://i.materialise.com/blog/en/5-mistakes-to-avoid-when-designing-a-3d-model-for-3d-printing/>.
- 22 K. PLEWA, 11.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/11/nature-inspired-3d-printing-introducing-biomimicry/>.
- 23 M. SAUNDERS, 11.03.2016, <http://www.renishaw.com/en/additive-impact-part-1-how-additive-manufacturing-could-disrupt-your-market-37549>; M. SAUNDERS 25.03.2016, <http://www.renishaw.com/en/blog-post-additive-impact-part-2-how-am-could-disrupt-your-market-37551>.
- 24 <http://anisoprint.com/>.
- 25 S. COLLINSON, 4.09.2017, https://sk.ru/news/b/press/archive/2017/09/04/will-additive-manufacturing-powder-processes-become-obsolete_3f00_.aspx.
- 26 K. KNEZIC, 22.06.2017, <https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-kruno-knezic>.
- 27 <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>.
- 28 J. MIGNARDI, 13.06.2017, <http://www.javelin-tech.com/blog/2017/06/design-automationsoftware-manufacturers/>.
- 29 S. SAUNDERS, 7.02.2018, <https://3dprint.com/202926/3dexpert-for-solidworks/>.
- 30 R. LAKSHMIPATHY, 16.08.2017, <http://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2017/08/can-identify-best-design.html>.

Fragment pochodzi z książki:

Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze,
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

reklama

