

Drukarki 3D – porównanie

T.A. GRIMM & ASSOCIATES, INC.

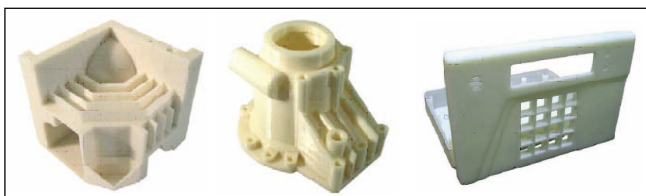
W artykule porównano 6 drukarek 3D pięciu producentów. Urządzenia zostały przetestowane w kategoriach: koszt, czas, jakość, obsługa. Z przeprowadzonego testu wynika, że wybór odpowiedniego urządzenia powinien zależeć od tego, która cecha drukarki (szybkość działania, dokładność czy niski koszt) jest najistotniejsza. Nie ma bowiem jednej i najlepszej drukarki.

Obecnie najszybciej rozwijającą się metodą kształtowania przyrostowego jest tzw. „druk 3D”. Głównym motorem powszechnego zainteresowania tą techniką jest coraz mniejszy koszt urządzeń do szybkiego prototypowania (RP – *Rapid Prototyping*). Maszyny te są zdecydowanie tańsze od zaawansowanych urządzeń produkcyjnych, za pomocą których można osiągnąć podobny efekt finalny w postaci prototypu.

Równie ważnymi powodami szybkiej ekspansji drukarek 3D w środowisku inżynierskim są: możliwość ich szybkiej amortyzacji, łatwość obsługi, niskie koszty obsługi, błyskawiczne przygotowywanie modelu (w porównaniu z klasycznymi metodami prototypowania) oraz możliwość użytkowania urządzeń bezpośrednio przez inżynierów w przestrzeni biurowej.

Głównym założeniem producentów tych urządzeń jest stworzenie maszyny, która podczas pracy nie wymaga obsługi, przez co oszczędza cenny czas inżynierów, a jednocześnie pozwala im bardzo szybko zwizualizować nowe pomysły. Zapoznając się z coraz nowszymi modelami, trudno nie zauważyć podobieństwa do typowych urządzeń biurowych, takich jak laserowe drukarki 2D, których zasoby są współużytkowane przez inżynierów. Przyzwyczailiśmy się już do tego, że aby wydrukować stronę dokumentu, wystarczy kliknąć przycisk „drukuj” i po chwili mamy już gotową papierową kopię. Tak samo zaczyna być w biurach projektowych – klikamy przycisk, a po „chwili” mamy w ręce gotowy model.

Głównym celem dokonanego w artykule porównania jest próba ustalenia, czy drukarki 3D są tak szybkie, niedrogie i łatwe w obsłudze, jak zapewnijają ich producenci. W tym celu urządzenia zostały przetestowane w kategoriach: KOSZT, CZAS, JAKOŚĆ, OBSŁUGA. Do testów wybranych zostało sześć urządzeń pięciu czołowych producentów. Głównym kryterium wyboru modeli była ich cena, ponieważ ma ona wciąż największy wpływ na decyzję o zakupie tych urządzeń przez firmy rozpoczynające pracę w technologii RP.



Kształty użyte do procedury testowej

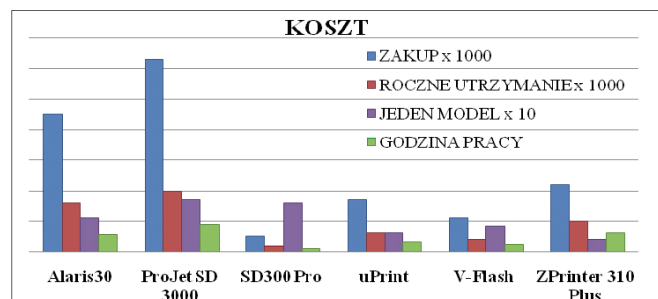
Procedura testów: Ponieważ wyniki testów w dużym stopniu zależą od geometrii (rozmiar, objętość oraz stopień uszczegółowienia zdecydowanie wpływają na czas, koszt oraz jakość wydruku), użyte zostały trzy modele o różnych cechach:

- „bryła testowa” – mały element zawierający znaczną liczbę drobnych szczegółów oraz dobrze zdefiniowanych powierzchni,
- „obudowa” – średnich rozmiarów, rzeczywisty element produkcyjny o grubych ściankach,
- „panel kontrolny” – dwa cienkościenne elementy o cechach charakterystycznych dla elementów wtryskiwanych.

W celu uzyskania rzeczywistych wyników liczony był czas od uruchomienia modelu CAD, aż po gotowy model, jak również czas samej operacji druku; nie przeprowadzono żadnych operacji mających na celu wykończenie powierzchni.

KOSZT. Cechą szczególną nowych technologii jest brak testów i porównań, a więc jednym z ważniejszych czynników, które decydują o ich wdrożeniu w proces produkcji jest koszt całego przedsięwzięcia. Niestety, rzeczywisty koszt zakupu nie jest łatwy do oszacowania, ponieważ – oprócz samej maszyny – konieczne jest zakupienie materiałów eksploatacyjnych i dostosowanie istniejącej infrastruktury do warunków pracy urządzenia (co w przypadku urządzeń przeznaczonych do pracy w biurze sprowadza się do przyłącza wody, kanalizacji oraz ewentualnie wentylacji). Roczny koszt utrzymania zależy w głównej mierze od czasu pracy urządzenia, co przekłada się bezpośrednio na koszt przeglądów oraz części zamiennych. Dodatkowym obciążeniem są media (prąd, woda, utylizacja odpadów).

Na potrzeby tego zestawienia roczny koszt utrzymania drukarki zakłada jej zakup oraz pięcioletni okres amortyzacji, nie wliczając materiałów eksploatacyjnych potrzebnych do wykonywania modeli. Koszt godziny pracy wydaje się właściwym kryterium wyboru urządzenia, jednakże należy również brać pod uwagę fakt, że ten sam model będzie budowany na różnych drukarkach w różnym czasie i z materiałów po różnej cenie. Koszt jednego modelu to średni koszt trzech testowych modeli; składają się na niego materiały eksploatacyjne, amortyzacja urządzenia oraz wynagrodzenie operatora.



Zestawienie kosztów jest celowo pozbawione skali, ze względu na to, że ceny były kalkulowane na rynek amerykański i nie mogą być przeniesione bezpośrednio na rynek europejski. Zestawienie wyraźnie pokazuje zróżnicowanie kosztów w zależności od wybranej techniki druku

CZAS. Czas wydruku drukarek 3D to bardzo ważki temat. O tym, że dana technologia jest postrzegana jako szybka lub wolna, decyduje nie tylko czas samego druku, lecz również czas potrzebny na przygotowanie urządzenia do działania, jego czyszczenie i obsługę oraz oswobodzenie modelu ze struktur podporowych po wydruku. Najbardziej miarodajny jest więc czas całego procesu.



Alaris30 (Objet Geometries)
Technika druku: PolyJet (głowica drukująca osadza krople żywicy, które są utwardzane światłem UV)
Przestrzeń robocza: 9 dm³
Warstwa: 28 μm



ProJet SD 3000 (3D Systems)
Technika druku: Multi-Jet Modeling (podobnie jak w PolyJet, przy czym materiałem podporowym jest tutaj wosk)
Przestrzeń robocza: 11,2 dm³
Min. warstwa: 25 μm



SD300 Pro (Solido)
Technika druku: Plastic Sheet Lamination (warstwy folii PVC są ze sobą sklejane, a ich kształt jest wycinany za pomocą ostrza)
Przestrzeń robocza: 4,5 dm³;
Warstwa: 168 μm



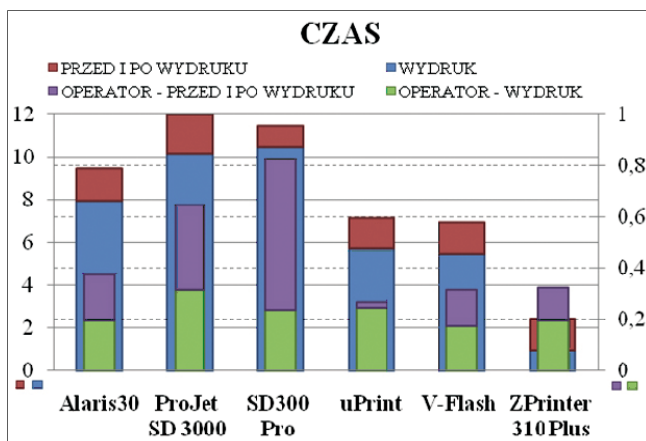
uPrint (Stratasys)
Technika druku: Fused Deposition Modeling (głowica osadza nitkę upłynnionego materiału termoplastycznego)
Przestrzeń robocza: 4,7 dm³
Warstwa: 254 μm



V-Flash (3D Systems)
Technika druku: Film Transfer Imaging (żywica наносzona jest na przezroczysty stół, po czym przytwierdzana jest do poprzedniej warstwy światłem UV; model budowany jest od góry do dołu)
Przestrzeń robocza: 7,9 dm³
Warstwa: 102 μm



ZPrinter 310 Plus (Z Corporation)
Technika druku: warstwowe spajanie proszku (warstwa proszku spajana jest lepiszczem, a następnie наносzona jest jego kolejna warstwa)
Przestrzeń robocza: 10,5 dm³
Warstwa: 89 μm



Wykres średnich czasów trwania procesu druku jednego z trzech modeli testowych, jak również czas potrzebny na czynności przed i po wydruku. Na osi pomocniczej pokazany jest średni czas jaki musi poświęcić operator na wykonanie jednego z trzech modeli testowych. Osie wyskalowane są w h

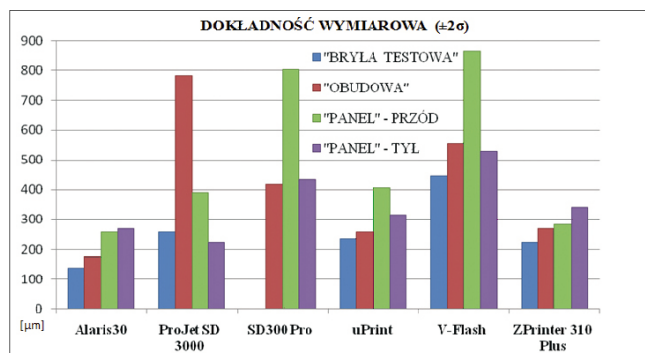
JAKOŚĆ. Jakość jest bardzo ważnym, choć często subiektywnym, kryterium oceny drukarek 3D. Parametrem, na który każdy będzie zwracał uwagę, jest z pewnością dokładność wymiarowa, jednakże o ocenie jakościowej modeli decyduje również wytrzymałość materiału, z którego są one wykonane, oraz wykończenie powierzchni wydruku po wyjęciu z drukarki. Nie każdy wykonywany prototyp jest prototypem funkcjonalnym; czasem zależy nam jedynie na odzwierciedleniu wyglądu zewnętrznego modelu bądź sprawdzeniu współdziałania z innymi elementami konstrukcji. Natomiast każdy z prototypów musi wytrzymać zużycie wynikające z oglądania, podawania i niekiedy delikatnego obchodzenia się z wydrukiem.

Po wykonaniu kilku testów, polegających m.in. na celowym zginaniu, skręcaniu i zgniataniu części, można ustalić, która z technik jest **najbardziej odporna na uszkodzenia**: uPrint – części z tej maszyny były najmocniejsze w całym teście; w zasadzie nie uległy jakimkolwiek

uszkodzeniu, Alaris30 – uległy one uszkodzeniu jedynie w niewielkim stopniu, ale siła potrzebna do uszkodzenia modeli była zdecydowanie mniejsza, ZPrinter 310 Plus – części zaraz po wyjęciu z maszyny są bardzo delikatne i muszą być poddane infiltracji żywicą; niestety, mimo tego zabiegu, spora część detali uległa uszkodzeniu, ProJet SD 3000 – drobne elementy ulegały uszkodzeniu podczas zwyczajnego oglądania, natomiast solidniejsze detale wymagały użycia większej siły, V-Flash – zachowanie modelu bardzo podobne do poprzedniego, SD300 Pro – słabym elementem w tej metodzie okazał się klej łączący poszczególne warstwy; model rozwarstwia się już pod niewielkim naciskiem.

Przy ocenie **wykończenia drukowanych części** dokonanie rankingu nie jest już takie proste, ze względu na zbyt wielką różnorodność charakteru uzyskiwanych powierzchni: Alaris30 generował gładkie powierzchnie o niemalże niezauważalnej fakturze, ProJet SD 3000 wykonywał jedne z najładniejszych modeli, jedynie w niektórych miejscach widoczne były ślady pracy głowicy, SD300 Pro drukował najładniejsze powierzchnie poziome, lecz niestety ścianki boczne były kiepskiej jakości, uPrint cechuje charakterystyczna „tekstura” na wydrukach, dzięki której są one estetyczne, V-Flash, ze względu na strukturę podporową wykonywaną z tego samego materiału, co model, pozostawił na powierzchniach znaczne ilości drobnych nierówności, ZPrinter 310 Plus pozostawił powierzchnię, którą najłatwiej przyrównać do papieru ściernego o gradacji 220, przyjemną w dotyku.

Wykonano też test najważniejszego z parametrów, tzn. **dokładności wymiarowej wykonywanych modeli**. W pierwotnym założeniu pomiary te miały być wykonywane na maszynach CMM (pomiar powierzchni za pomocą niewielkiej liczby punktów), lecz zważywszy na to, że prezentowane metody w każdym z przypadków pozostawiały na powierzchniach nierówności, zdecydowano się użyć świetlnego skanera 3D, który opisywał prezentowane geometrie za pomocą ~2,8 mln pkt. każdą. Wartości pomiarów są podawane jako przedział $\pm 2\sigma$ (dwukrotne odchylenie standardowe) oraz wartość średnia (x_0) z wszystkich punktów pomiarowych. W zestawieniu dla pierwszej geometrii, tj. „bryły testowej”, najlepszą dokładność uzyskał Alaris30 ($2\sigma = 137 \mu\text{m}$, $x_0 = 10 \mu\text{m}$), natomiast najgorzej wypadł V-Flash, uzyskując jedynie: $2\sigma = 447 \mu\text{m}$, $x_0 = -69 \mu\text{m}$. Słabym punktem uPrint okazało się drukowanie bardzo cienkich ścianek: aby taką ściankę wydrukować, oprogramowanie sterujące sztucznie ją pogrubilo, co – niestety – odbiło się negatywnie na dokładności wykonania. Kolejny element – „obudowa” – będący odzwierciedleniem realnej części, spowodował, że porównanie jest jeszcze ciekawsze: Alaris30 i uPrint uzyskały najlepszą dokładność, $2\sigma = 178 \mu\text{m}$ (Alaris30), $2\sigma = 259 \mu\text{m}$ (uPrint), a wartość średnią x_0 idealnie w punkcie 0. Najgorzej wypadł ProJet SD 3000 z wynikiem $2\sigma = -782 \mu\text{m}$, $x_0 = -69 \mu\text{m}$. Największym wyzwaniem dla prezentowanych urządzeń był wydruk wierzchniej części „panelu kontrolnego”, ponieważ ten element cienkościenny był podatny na skurcz i deformacje. Najlepiej zadanie wykonał Alaris30 ($2\sigma = 264 \mu\text{m}$, $x_0 = 0$), natomiast na końcu uplasował się V-Flash, uzyskując: $2\sigma = 864 \mu\text{m}$, $x_0 = 86 \mu\text{m}$. Wyniki dla tylnej części „panelu” były podobne, aczkolwiek ProJet SD 3000 był minimalnie lepszy od Alaris30.



Wyniki pomiarów dla każdej z testowanych maszyn. Można zauważyć pewną regularność w uzyskanych wynikach, co skłania do wniosku, że dokładność wymiarowa w większym stopniu zależy od technologii druku niż od geometrii modelu. Krzywa rozkładu normalnego była najwęższa i najostrożniejsza dla Alaris30 i to właśnie tę drukarkę można uznać za najdokładniejszą w zestawieniu

OBSŁUGA. Mimo najszczerszych zapewnień producentów, że urządzenia te są w pełni biurowe, zdecydowanie praktyczniejszym rozwiązaniem jest umieszczenie ich w osobnej przestrzeni roboczej. W każdym z przypadków niezbędny był dostęp do urządzeń oraz instalacji wspomagających pracę drukarek, co w znacznym stopniu utrudnia utrzymanie porządku w ich otoczeniu. Ponadto, urządzenia te są dosyć głośne, więc nie powinno się umieszczać ich w najbliższym otoczeniu miejsca pracy inżyniera. Urządzeniem najlepiej „pasującym” do otoczenia biurowego jest uPrint, który do pełnej funkcjonalności wymaga jedynie dostępu do bieżącej wody. Najgorzej wypada ZPrinter 310 Plus, który – ze względu na bardzo drobny proszek wykorzystywany w procesie druku – może stać się głównym źródłem zanieczyszczeń w biurze. Możliwe jest wprawdzie częste odkurzanie, lecz oznacza to nadmierny hałas oraz pogorszenie warunków pracy. Ponadto model wymaga infiltracji żywicą, a czynność ta już zdecydowanie nie powinna być wykonywana w biurze.

Podsumowanie. Zestawienie dowiodło, że drukarki 3D mogą być szybkie, niedrogie, a zarazem łatwe w użyciu. Wykorzystanie ich w bezpośrednim sąsiedztwie biur inżynierów jest możliwe, aczkolwiek, jak pokazuje doświadczenie, zdecydowanie lepiej jest umieścić je w wydzielonej tylko dla nich przestrzeni. Poruszając tematy związane z kosztami, szybkością działania oraz jakością produktu finalnego, jakim jest gotowy prototyp, można dojść do wniosku, że technologia druku 3D będzie się z pewnością rozwijać, ponieważ już teraz zapewnia łatwy i szybki (a co za tym idzie ekonomicznie opłacalny) dostęp do możliwości weryfikacji produktu w fazie prototypowej. Najważniejszy wniosek z przeprowadzonego testu jest taki, że nie ma jednej, najlepszej drukarki; wybór odpowiedniego modelu zależeć będzie przede wszystkim od tego, która cecha drukarki (szybkość działania, dokładność czy niski koszt) jest dla nas najistotniejsza.

Pełny tekst artykułu w języku angielskim na

www.tagrimm.com/benchmark-2010