

WYBRANE ASPEKTY ZASTOSOWANIA STEREOLITOGRAFII PRZY WYKONYWANIU MODELI ARCHITEKTONICZNYCH

WPROWADZENIE

Techniki przyrostowe¹ coraz częściej są wykorzystywane we współczesnej gospodarce, a zastosowanie ich może być innowacyjne i przyczyniać się do rozwoju w danej dziedzinie. Drukarki 3D wykorzystywane są przede wszystkim w różnych gałęziach przemysłu, np. w przemyśle metalurgicznym, samochodowym, lotniczym, gdzie często można spotkać określenie „szybkie prototypowanie” (co jest tłumaczeniem angielskiego terminu *Rapid Prototyping*), które odzwierciedla kompleksowy zespół działań obejmujący nie tylko samo drukowanie przestrzenne, ale także m. in. modelowanie komputerowe. Poza przemysłem z wydrukami 3D można się spotkać także m. in. w medycynie, dentystyce, jubilerstwie czy tworzeniu sztuki. Drukowanie przestrzenne z powodzeniem może też być używane przy rekonstrukcji dzieł sztuki².

Współcześnie ręczne opracowywanie rysunków technicznych w zasadzie przeszło już do lamusa, przy czym manualne zdolności nadal są potrzebne w pracy architekta, chociażby przy tworzeniu wstępnych odręcznych koncepcji, a także przy konstruowaniu makiet architektonicznych. Te ostatnie mogą być wykonywane zarówno na różnych etapach procesu projektowego jako element wspomagający pracę twórczą, jak i na jego koniec, w celu zaprezentowania skończonej wizji planowanej inwestycji budowlanej. Stosowana też czasem bywa do pokazania istniejących form lub obiektów architektonicznych, np. zabytkowych³.

W obrębie architektury, nauki i sztuki towarzyszącej człowiekowi od tysięcy lat, w ostatnich dekadach nastąpiły znaczące zmiany związane z rozwojem nowoczesnych technologii informatycznych, głównie za sprawą projektowania wspoma-

dr inż. arch. Aleksander Filip Furmanek, Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

¹ Termin *techniki przyrostowe* oznacza metody wytwarzania nazywane też drukiem 3D lub drukowaniem przestrzennym.

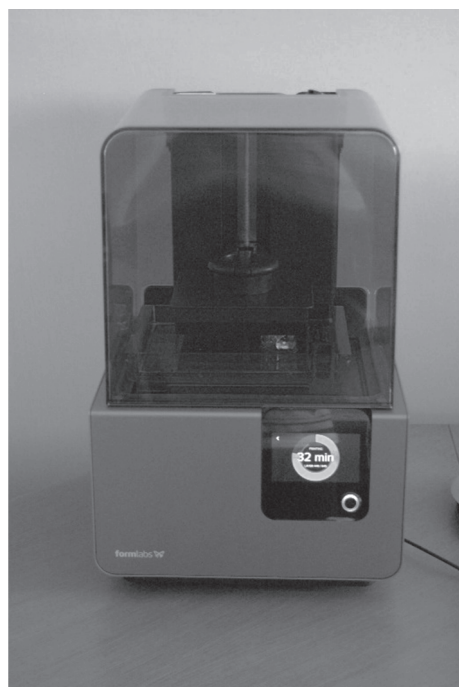
² Więcej na temat stosowania druku 3D przy rekonstrukcji dzieł sztuki można znaleźć w: A.F. Furmanek, 2015. *Przestanki wykorzystania techniki druku przestrzennego przy rekonstrukcji dzieł sztuki*, [w:] G. Rzepecki, (red.), *Integracja sztuki i techniki w architekturze. Tom III*, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, s. 105-113.

³ Zastosowanie takie szczególnie jest ważne w procesie edukacji architektów. Wybrane przykłady wykonywanych przez studentów architektury i urbanistyki modeli obiektów historycznych pokazano w: K. Barełkowska, 2011. *Modele architektoniczne a rozumienie struktury przestrzennej budowli historycznych i współczesnych*. *Przestrzeń i Forma* 16, s. 187-194. Źródło (data dostępu: 02.05.2016 r.): <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1-element.baztech-article-BPS1-0047-0055>

ganego komputerowo (CAD – z ang. *computer-aided design*), a w ostatnim okresie również dzięki modelowaniu informacji o budynkach, nazywanemu w skrócie BIM (z ang. *building information modeling*). Metody komputerowe można połączyć z drukiem przestrzennym. Jednym z takich praktycznych zastosowań połączenia wykorzystania możliwości obu tych nowoczesnych technologii jest wydruk modeli architektonicznych – całych lub tylko jego elementów.

TECHNIKI PRZYROSTOWE W KONTEKŚCIE WYKONYWANIA MODELI ARCHITEKTONICZNYCH

Stereolitografia (w skrócie: SLA / SL) jest pierwszą opatentowaną technologią drukowania przestrzennego, powstałą w latach osiemdziesiątych XX wieku, a jej wynalazcą jest Chuck Hull, który od 1986 r. prowadzi jedną z wiodących firm w branży technik przyrostowych, jaką jest 3D Systems. Ta metoda drukowania 3D



Rys. 1. Aparat stereolitograficzny – drukarka 3D Form 2 firmy Formlabs (fot. autor)

Fig. 1. Stereolithography apparatus – 3D printer Formlabs Form 2 (photo by author)

polega na procesie fotopolimeryzacji specjalnie do tego dedykowanej żywicy światłoutwardzalnej z użyciem światła lasera. Istnieje możliwość powiązania drukowania przestrzennego wspomnianą metodą z umiejętnościami stosowania technik komputerowych przy projektowaniu architektonicznym, które już od wielu lat są ważnym elementem warsztatu zawodowego architekta⁴. Otóż, niektóre programy komputerowe do projektowania umożliwiają konwertowanie wymodelowanych obiektów do formatu stereolitografii, które następnie można wydrukować, korzystając z innego oprogramowania.

Do przeprowadzenia omawianych poniżej badań nad użytecznością stereolitografii w kontekście tworzenia makiet i modeli architektonicznych posłużyło autorowi specjalistyczne urządzenie drukujące w tej technologii, którym była pokazana na rysunku 1 drukarka 3D Form 2 produkcji firmy Formlabs. Dla potrzeb badań drukowano jedynie z żywicy przezroczystej (materiał nazwany przez producenta jako *clear*, dostępny w litrowych pojemnikach, tzw. *cartridge*'ach).

⁴ W odniesieniu do komputerowego projektowania architektury krajobrazu omówienie zastosowania kilku metod drukowania przestrzennego, w tym stereolitografii, można znaleźć w: W-M. Steinhilp, U. Kias, 2010. Comparison of 3-D Printing Techniques Usable in Digital Landscape Architecture, Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010 at Anhalt University of Applied Science, Herbert Wichmann Verlag, p. 173-181.

Termin „szybkie prototypowanie” jak dotychczas nie przyjął się wśród polskich architektów. Zapewne dlatego, że projektowany obiekt budowlany nie jest prototypem. Problem polega bowiem na kwestii wysokiego zazwyczaj stopnia zindywidualizowania każdego projektu. Można by rozważać możliwość stworzenia prototypu, przykładowo dla projektów typowych domów jednorodzinnych. W praktyce jednak nie byłoby to takie oczywiste, jak w przemyśle, choćby dlatego, że obiekty powstałe na podstawie adaptacji tego samego projektu mogą się znacznie różnić swoim wyglądem czy układem funkcjonalnym.

MAKIETOWANIE W PRACY ARCHITEKTA

Wygenerowany komputerowo w postaci wizualizacji, z użyciem profesjonalnego oprogramowania obraz trójwymiarowej przestrzeni zaprojektowanej inwestycji budowlanej nierzadko bardzo przypomina zdjęcie, a to zarówno za sprawą odpowiedniego obliczenia natężenia światła dla poszczególnych pikseli, jak i poprzez stosowanie różnego rodzaju gotowych modeli i obrazów graficznych, w tym np. tekstur materiałów budowlanych. Okazuje się jednak, że ten sposób nie jest pozbawiony wad, gdyż po zrealizowaniu obiektów budowlanych nierzadko ich wygląd trochę różni się od tego z renderingów. W pewnej mierze można to wytłumaczyć tym, że pomiędzy etapem koncepcji, kiedy to zazwyczaj są przygotowywane wizualizacje komputerowe a oddaniem budynków do użytkowania następują często liczne zmiany na etapie projektu budowlanego, wykonawczego czy w ramach nadzoru autorskiego. Pomijając je i zakładając, że inwestycja zostaje wykonana bez żadnych zmian, można odnieść wrażenie, że płaskie odwzorowanie przestrzeni w postaci renderingów w sposób niezadawalający oddaje rzeczywistość obrazu zrealizowanej inwestycji. W szczególności na uwagę zasługują różnice w odbieranych proporcjach i kątach poszczególnych części budynku. Co prawda są one niewielkie, jednak można tego problemu uniknąć, korzystając równocześnie z makiety, choćby roboczej, na etapie przygotowywania koncepcji architektonicznej. Dostyc rzadko są one wykonywane, chociaż podczas studiów na kierunku architektura i urbanistyka lub na kierunku architektura, studenci wykonują różne makiety czy modele w odpowiedniej skali, w ramach zajęć zazwyczaj związanych z projektowaniem. Duży wpływ na ten stan ma zapewne związana z makietowaniem znaczna pracowitość.

W ostatnich latach coraz częściej wykorzystywane są nowoczesne techniki do tworzenia modeli i makiet architektonicznych, m. in. poprzez wykonywanie części elementów z użyciem wycinarek laserowych. Stanowi to ułatwienie i przyspieszenie pracy, jednakże jest ograniczone do elementów płaskich, które następnie składa się w całość. Jest to jednak pewna forma wykorzystania metody substraktywnej, gdyż polega na odejmowaniu materiału, a nie dodawaniu, jak to ma miejsce w przypadku metod addytywnych, m. in. stereolitografii⁵.

W celu stworzenia trójwymiarowych elementów makiet istnieje też możliwość wykorzystywania profesjonalnych wieloosiowych urządzeń CNC, czyli sterowanych numerycznie frezarek, jednakże ta metoda substraktywna ma pewne wady w porównaniu z metodami addytywnymi.

⁵ Warto w tym miejscu zauważyć, że istnieją drukarki 3D, które mają możliwość wykonywania modeli zarówno przy użyciu metody addytywniej, jak i substraktywnej. W tym drugim przypadku działają podobnie do prostych urządzeń CNC.

ZASTOSOWANIE STEREOLITOGRAFII PRZY WYKONYWANIU MODELI ARCHITEKTONICZNYCH

W środowisku architektów drukowanie przestrzenne jest nadal interesującą nowinką techniczną, aczkolwiek coraz powszechniejszą. W wybranych aspektach może wspomóc proces projektowy, ale nie zastąpi architekta w większości jego działań. Warto zapoznać się z opublikowanym w czasopiśmie *Przestrzeń i Forma* artykułem Jacka Konopackiego, w którym ocenił on przydatność drukarek 3D pracujących w technologii FDM (skrót od angielskiego terminu *Fused Deposition Modeling*) do tworzenia modeli architektonicznych⁶. Zauważył on m. in. problemy i ograniczenia sprzętowe oraz technologiczne tej metody druku 3D.

W dalszej części rozdziału przedstawiono kilka przykładów wydrukowanych obiektów oraz omówienie zauważonych zalet i wad stosowania stereolitografii do wykonania modeli architektonicznych.

Pierwszym przedstawianym tutaj wydrukiem jest model schodów kręconych wydrukowany w skali 1:100 (ma około 3 cm wysokości), przy grubości warstwy



Rys. 2. Model schodów kręconych wykonany z użyciem druku stereolitograficznego (fot. autor)

Fig. 2. Model of spiral staircase made using stereolithography (photo by author)

0,1 mm. Można zauważyć, że obiekt odpowiednio odwzorowuje żądany kształt, a pewne uszczerbki nie wynikają z błędów druku, lecz z końcowej obróbki wydruku, w szczególności przy usuwaniu podpór i późniejszym szlifowaniu powierzchni (por. rys. 2).

O wiele bardziej skomplikowanym obiektem okazał się model kapliczki w Nowym Dworze niedaleko Torunia. Ten niewielki obiekt (w rzucie około 2×2 m) został zaprojektowany przez autora artykułu. Na rysunku 3 przedstawiono widok perspektywiczny dwóch wersji koncepcji, z których ta po lewej stronie posłużyła do wykonania w skali 1:100 wydruku 3D (rys. 4), natomiast ta po prawej stronie była wykorzystana w projekcie, na podstawie którego obiekt jest realizowany (rys. 5).

Zmiany projektowe na dalszym etapie projektowania, a także zmiany w trakcie realizacji spowodowały, że powstający rzeczywisty obiekt nabrał odmiennego kształtu, co można porównać na zdjęciu stanu w trakcie realizacji (rys. 5).

⁶ Konopacki J., 2012. *Przydatność konsumenckich drukarek 3D w technologii FDM do tworzenia modeli architektonicznych*. *Przestrzeń i Forma* 18, s. 65-80. Źródło (data dostępu: 02.05.2016 r.) <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-dd07fe02-a2d3-4e02-8928-1164bc3bed91>



Rys. 3. Wizualizacja dwóch wariantów koncepcji projektowanej kapliczki przydrożnej w Nowym Dworze (fot. autor)

Fig. 3. Visualisation of two variants of the conception of the roadside shrine designed in Nowy Dwór (photo by author)



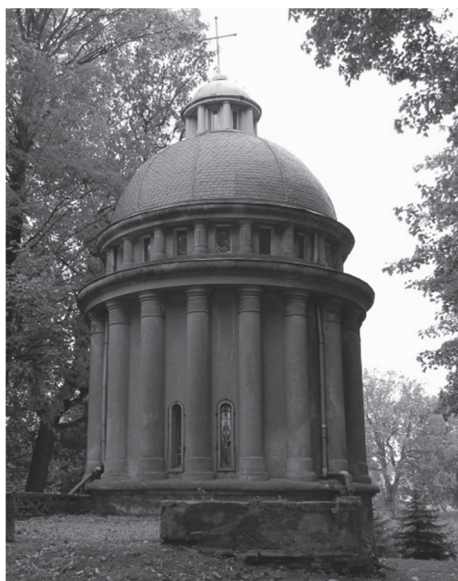
Rys. 4. Model kapliczki przydrożnej w Nowym Dworze wydrukowany na drukarce Form 2 – widok przed usunięciem podpór konstrukcyjnych (fot. autor)

Fig. 4. Model of the roadside shrine in Nowy Dwór printed on the 3D printer Form 2 – a view before removing supports (photo by author)



Rys. 5. Kapliczka w Nowym Dworze w trakcie realizacji (fot. autor)

Fig. 5. The roadside shrine in Nowy Dwór under construction (photo by author)

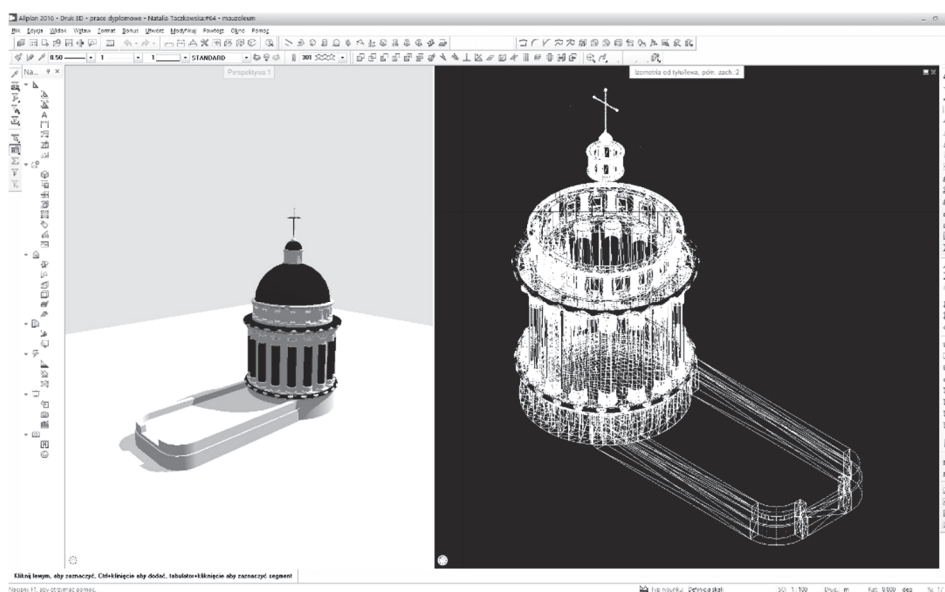


Rys. 6. Widok kaplicy grobowej rodziny Wegnerów w Ostaszewie (fot. autor)

Fig. 6. View of the burial chapel of the Wegner family in Ostaszewo (photo by author)

Ostatnim omawianym przykładem zastosowania druku stereolitograficznego przy wykonywaniu modeli architektonicznych jest obiekt zabytkowej kaplicy grobowej rodziny Wegnerów w malowniczej scenerii parkowej w Ostaszewie nieopodal Torunia (rys. 6).

Model komputerowy zabytku wykonała Natalia Taczkowska podczas opracowywania swojej pracy dyplomowej magisterskiej (został on pokazany na rys. 7). Na kolejnej ilustracji pokazano wydrukowany model składający się z kilku częściowo zestawionych ze sobą części – widok stanu przed ukończeniem post-processingu i sklejeniem modelu (rys. 8). Nieznacznie różni się on od zabytkowego obiektu, m. in. zaprojektowana została do niego płyta z napisem informacyjnym.



Rys. 7. Wizualizacja komputerowa i widok aksonometryczny modelu komputerowego kaplicy grobowej rodziny Wegnerów w Ostaszewie – widok ekranu w programie Allplan 2016 (fot. autor)

Fig. 7. Computer visualisation and isometric view of the burial chapel of the Wegner family in Ostaszewo – a view of the screen in computer program Allplan 2016 (photo by author)

Po przedstawieniu kilku przykładów warto poświęcić trochę miejsca na zebranie najważniejszych uwag. Pierwszą ogólną jest stwierdzenie, że w celu wykorzystania w pracowni technik przyrostowych potrzebne jest przyjęcie pewnej wiedzy na ten temat i zdobycie nowych umiejętności przez architekta, m. in. w zakresie obsługi przygotowania procesu drukowania przestrzennego, w tym specjalnego oprogramowania komputerowego (w przypadku drukarek firmy Formlabs jest to program Preform). Podczas badań okazało się, że wykonywanie modeli architektonicznych przy zastosowaniu stereolitografii ma zarówno zalety, jak i wady.

Zaczynając spostrzeżenia od przyrzenia się, jakie **zalety** zasługują na wymienienie, należy przyznać, że zdecydowanie najważniejszą z nich jest wysoka precyzja wykonania uzyskanych form, całkowicie wystarczająca na potrzeby tworzenia modeli i makiet architektonicznych. Dokładność wynika głównie z bardzo cienkich warstw. Na drukarce Form 2 zasadniczo, lecz nie dla wszystkich żywic, są do wyboru trzy możliwości, tzn. 0,1 mm, 0,05 mm i 0,025 mm. Nie wszystkie z tych rozdzielczości są dostępne dla wszystkich materiałów, ale dla żywicy *clear* wydruki są możliwe do wykonania dla każdej z tych dokładności, chociaż należy zauważyć, że ze względu na znacznie wydłużony czas wydruku opcja najdokładniejsza (grubość warstwy 0,025 mm) jest mało użyteczna dla pracowni architektonicznych.

Kolejną zaletą jest możliwość wyboru materiału – oprócz żywicy *clear* producent oferuje kilka innych rodzajów żywic, m. in. przeznaczoną do form odlewniczych, co może być wykorzystywane w pracy architekta i architekturze nie tylko do modeli i makiet. Przy okazji warto wspomnieć o badaniach nad wykorzystaniem stereolitografii w odlewnictwie form ceramicznych opisanych w artykule pt. *Wykorzystanie technologii Rapid Prototyping w odlewnictwie precyzyjnym*, którego autorami są Grzegorz Budzik, Mariusz Sobolak i Daniel Kozdęba⁷.

Interesująca dla klienta, np. inwestora, może być możliwość zaprezentowania mu przez architekta oryginalnej koncepcji w postaci wydrukowanego modelu. Szczególnie jest to istotne w przypadku skomplikowanych kształtów form architek-



Rys. 8. Złożony z kilku wydrukowanych osobno części model architektoniczny kaplicy grobowej rodziny Wegnerów w Ostaszewie (fot. autor)

Fig. 8. Architectural model of the burial chapel of the Wegner family in Ostaszewo consisted of a view parts, which were printed apart (photo by author)

⁷ Budzik G., Sobolak M., Kozdęba D., 2006. *Wykorzystanie technologii Rapid Prototyping w odlewnictwie precyzyjnym*, ARCHIWUM ODLEWNICTWA, Rocznik 6 Nr 18 (2/2). Źródło (data dostępu: 03.10.2016 r.): <http://www.afe.polsl.pl/index.php/pl/2214/rapid-prototyping-technology-using-for-investment-casting-process.pdf>

tonicznych, które byłyby nie do odwzorowania z użyciem tradycyjnych metod wykonywania makiet. Dzięki stereolitografii śmiało wizje nie napotykają już na tą barierę, gdyż można w tej technice przyrostowej wydrukować obiekty o skomplikowanej, praktycznie dowolnej geometrii.

Oprócz zalet stosowania druku stereolitograficznego w przedmiotowej materii można zauważyć też jego **wady**. Istotne po pierwszych doświadczeniach wydaje się być zwrócenie uwagi na złożony proces opracowania modelu po wyjęciu z drukarki (czyli tzw. *post-processing*), który w przypadku tej techniki przyrostowej nie należy do szybkich etapów uzyskiwania końcowego efektu. Ponadto wiele przygotowanych plików w formacie stereolitografii (.stl) nie można było otworzyć w programie Preform, co uniemożliwiło ich wydrukowanie.

Wśród problemów drukowania przestrzennego można zauważyć fakt, że nie każdy wydruk jest udany. Sukces w tym zakresie zależy w dużej mierze od takich czynników, jak odpowiednio duża liczba podtrzymujących drukowany model podpór konstrukcyjnych, usytuowanie ich w odpowiednich miejscach, w których mogłoby wystąpić osłabienie drukowanego modelu. Nie bez znaczenia jest też dobór wielkości podpór i grubości podstawy. Ponadto pewien wpływ na końcowy efekt ma zorientowanie modelu komputerowego w obszarze roboczym. Ponadto ważna jest też odpowiednia grubość drukowanego fragmentu, szczególnie problematyczne okazało się drukowanie elementów szklanych. W niektórych przypadkach konieczne jest dodatkowe opracowanie modelu 3D (np. pogrubienie szyb, czy balustrad) w programie typu CAD lub BIM przed jego eksportem do formatu stereolitografii.

Do wad zastosowania stereolitografii przy wykonywaniu modeli architektonicznych należy dodać dosyć wysokie koszty materiału stosowanego do wykonania modelu. Pewnym mankamentem jest też długi czas wydruku. Zależy on od wielu przyczyn, przede wszystkim od wielkości drukowanego obiektu wraz z podporami.

Kolejną wadą jest niewielki, jak na potrzeby architektów, obszar roboczy, czyli trójwymiarowa przestrzeń, w której drukowany jest model. W przypadku drukarki Form 2 wymiary tego obszaru wynoszą 14,5×14,5×17,5 cm i mimo wszystko można uznać go za dosyć duży w porównaniu z innymi, produkowanymi przez konkurencję i oferowanymi w zbliżonej cenie urządzeniami w tej technologii. Istnieją także urządzenia drukujące metodą stereolitografii o znacznie większym obszarze roboczym, lecz są one bardzo drogie. W razie takiej potrzeby można zlecić usługę wydruku komercyjnego wyspecjalizowanym firmom, które posiadają drukarkę 3D o odpowiednio dużym obszarze roboczym.

PODSUMOWANIE

Próbując dokonać pewnego podsumowania w formie wniosków, na wstępie należy zaznaczyć, że producent drukarki Form 2, czyli Formlabs Inc. nie jest jedyną ani nie największą firmą produkującą urządzenia drukujące w technologii stereolitografii⁸, jednakże uzasadnione wydaje się być uogólnienie uzyskanych wyników do całej tej metody.

⁸ Najprawdopodobniej najbardziej znaną firmą produkującą najbardziej zaawansowane drukarki stereolitograficzne jest wspomniane wcześniej 3D Systems.

Stosowanie technik przyrostowych ma szansę stać się w pracy architekta użytecznym elementem warsztatu zawodowego, rozumianego jako „zbiór metod i narzędzi wykorzystywany przez podmiot w procesie jego działania”⁹. W przypadku wykorzystania stereolitografii do wykonywania modeli architektonicznych można stwierdzić, że zalety przeważają nad jej wadami. Ponadto wydruki wykonane tą metodą dystansują pod względem jakości te uzyskane z druku przestrzennego wykonywanego w technologii FDM. Należy jednak zauważyć, że nie w każdym przypadku stereolitografia jest najbardziej optymalnym rozwiązaniem do wykonywania makiety architektonicznej. W wielu przypadkach wystarczy szybsza i tańsza metoda tradycyjna.

LITERATURA

- [1] Baretkowska K., 2011. *Modele architektoniczne a rozumienie struktury przestrzennej budowli historycznych i współczesnych*. *Przestrzeń i Forma* nr 16, 187-194. Źródło (data dostępu: 02.05.2016 r.): <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS1-0047-0055>.
- [2] Budzik G., Sobolak M., Kozdęba D. 2006. *Wykorzystanie technologii Rapid Prototyping w odlewnictwie precyzyjnym*, ARCHIWUM ODLEWNICTWA, Rocznik 6 Nr 18 (2/2). Źródło (data dostępu: 03.10.2016 r.): <http://www.afe.polsl.pl/index.php/pl/2214/rapid-prototyping-technology-using-for-investment-casting-process.pdf>.
- [3] Furmanek A.F., 2015. *Odpowiedzialność etyczna architekta w dziedzinie materialnego dziedzictwa kulturowego w Polsce*, rozprawa doktorska pod kierunkiem prof. zw. dr. hab. inż. arch. Konrada Kuczy-Kuczyńskiego wykonana na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej 2013, opublikowana w wersji elektronicznej na stronie internetowej Bazy Wiedzy Politechniki Warszawskiej. Źródło (data dostępu: 17.05.2015): <http://repo.bg.pw.edu.pl/index.php/pl/repozytor/rozprawy-doktorskie>.
- [4] Furmanek A.F., 2015. *Przestanki wykorzystania techniki druku przestrzennego przy rekonstrukcji dzieł sztuki*. [W:] G. Rzepecki, (red.), *Integracja sztuki i techniki w architekturze. Tom III*, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, s. 105-113.
- [5] Konopacki J., 2012. *Przydatność konsumenckich drukarek 3D w technologii FDM do tworzenia modeli architektonicznych*. *Przestrzeń i Forma* 18, 65-80. Źródło (data dostępu: 02.05.2016 r.): <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-dd07fe02-a2d3-4e02-8928-1164bc3bed91>.
- [6] Steinhilp W-M., Kias U., 2010. *Comparison of 3-D Printing Techniques Usable in Digital Landscape Architecture*, Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010 at Anhalt University of Applied Science. Herbert Wichmann Verlag, 2010, 173-181.
- [7] Strona internetowa www.3dprint.com. Źródło (data dostępu: 06.10.2016 r.): <http://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>.
- [8] Strona internetowa www.centrumdruku3d.pl. Źródło (data dostępu: 06.10.2016 r.): <http://centrumdruku3d.pl/encyklopedia-druku-3d>

⁹ Furmanek A.F., 2015. *Odpowiedzialność etyczna architekta w dziedzinie materialnego dziedzictwa kulturowego w Polsce*, rozprawa doktorska pod kierunkiem prof. zw. dr. hab. inż. arch. Konrada Kuczy-Kuczyńskiego wykonana na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej 2013, opublikowana w wersji elektronicznej na stronie internetowej Bazy Wiedzy Politechniki Warszawskiej, s. 25. Źródło (data dostępu: 17.05.2015): <http://repo.bg.pw.edu.pl/index.php/pl/repozytor/rozprawy-doktorskie>.

WYBRANE ASPEKTY ZASTOSOWANIA STEREOLITOGRAFII PRZY WYKONYWANIU MODELI ARCHITEKTONICZNYCH

STRESZCZENIE. Zastosowanie technologii przyrostowych ułatwia szybkie prototypowanie i może być bardzo użyteczne we współczesnej praktyce architekta. W szczególności interesującą innowacją jest wykorzystywanie druku przestrzennego przy tworzeniu modeli architektonicznych, Stereolitografia jest jedną z wielu technik drukowania 3D, a opiera się na fotopolimeryzacji, czyli utwardzaniu za pomocą lasera, światłoutwardzalnej żywicy. Proces ten jest wykonywany warstwa po warstwie aż do uformowania trójwymiarowego, uprzednio komputerowo wymodelowanego obiektu. Metoda ta umożliwia wykonywanie zarówno całych, aczkolwiek raczej niewielkich, makiet lub tylko wybranych części składowych. Wytworzone w ten sposób elementy charakteryzują się dużą precyzją wykonania, a otrzymany efekt końcowy można uznać za satysfakcjonujący. Ponadto znacząco pozwala ograniczyć nakład pracy ludzkiej, chociaż wcale nie jest to równoznaczne z tym, że koszty okażą się znacząco mniejsze niż w przypadku wykonania modelu architektonicznego tradycyjnymi sposobami. Zarówno cena urządzenia – drukarki 3D, jak i materiałów stosowanych do wykonania modelu – specjalnych rodzajów utwardzanej światłem lasera żywicy – nie należą do tanich. Ponadto dochodzi do tego wymagający wiedzy i umiejętności proces komputerowego przygotowania wirtualnego modelu obiektu do wydrukowania, a także prace wykończeniowe po zakończeniu procesu drukowania przestrzennego, polegające przede wszystkim na manualnej obróbce otrzymanego obiektu. Stereolitografia posiada zarówno zalety, jak i wady. Na podstawie własnych doświadczeń z drukarką 3D, autor skłania się do przekonania, że stosowanie tej technologii jest odpowiednie przy konstruowaniu modeli architektonicznych.

Słowa kluczowe: drukowanie przestrzenne, model architektoniczny, stereolitografia

SELECTED ISSUES ON APPLICATION OF STEREOLITHOGRAPHY BY MAKING ARCHITECTURAL MODELS

SUMMARY. The application of additive manufacturing facilitates rapid prototyping and can be very useful in contemporary architectural practice. In particular, the use of 3D Printing for creating architectural models is an interesting innovation. The stereolithography is one of many additive manufacturing technology forms, which significantly become more accessible for architects nowadays. It is based on photopolymerisation, i.e. curing by means of a laser, light-cured resin. This process is performed layer by layer until the formation of a three-dimensional computer-modelled object. This technique allows to make entire models or only selected components as well. Elements, prepared this way, characterize high precision and received final effect can be considered satisfactory. Besides, it can reduce labour work, but it doesn't mean that costs would occur lower in comparison to constructing architectural models using traditional methods. But the price of the device – 3D printers and materials used in the fabrication of the model – special types of laser light curable resin – are not cheap. Furthermore, the preparation process of the virtual computer model of the object to be printed requires knowledge and skills. Finally, after finishing the printing, there is manual post-processing to be conducted with the printed object. The stereolithography, as with other additive manufacturing techniques, has some advantages and disadvantages. Based on his experience with the 3D printer, the author tends to believe that this method is suitable for use in making architectural models.

Key words: 3D Printing, architectural model, stereolithography