

WSPÓŁCZESNA FABRYKACJA NA EXPO 2015

Eliza Goczyńska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin
E-mail: egoczynska@zut.edu.pl

CONTEMPORARY FABRICATION ON EXPO 2015

Abstract

Periodically taking place in different countries Expo become the training ground for exchange of experiences and the promotion of exhibitors. There is always an idea which is guiding inspiration in creating interesting exposure. It is of great importance architecture pavilions which is the frame and complement the whole presentation. Presented architectural objects give an excellent example to observe current trends in both shaping new forms and the use of cutting-edge technologies of erecting buildings. From the very beginning of the exhibition, even taking the example of Crystal Palace, fabrication occupied a special place because it showed tremendous progress in the development of industry and new technologies in construction. As time passed and the progressive development of design tools and manufacturing ceased to be a limited set of repeatable elements as indicated by some of the forms and structures of 2015 exhibition pavilions. Article allows the observation of modern design solutions in this regard and to demonstrate evidence of the still current, trailing the growing challenges of investors and designers, various fabrication in architecture. After a review of Expo objects, being interpreted by the current architectural solutions can be concluded that the fabrication can be, as formerly, the solution to the concerns of contemporary architects problems.

Streszczenie

Cyklicznie odbywające się w różnych krajach Expo stają się poligonem wymiany doświadczeń oraz promocji wystawców. Zawsze przyświeca im jakaś idea przewodnia będąca natchnieniem w tworzeniu ciekawych ekspozycji. Ogromne znaczenie ma architektura pawilonów stanowiąca oprawę i dopełnienie całości prezentacji. Prezentowane obiekty architektoniczne dają doskonały wgląd w aktualne trendy zarówno kształtowania nowych form, jak i zastosowania najnowocześniejszych technologii wznoszenia budynków. Od samego początku wystaw, biorąc choćby za przykład Pałac Kryształowy, fabrykacja zajmowała szczególne miejsce, gdyż ukazywała ogromny postęp w rozwoju przemysłu oraz nowych technologii w budownictwie. W miarę upływu czasu i postępującego rozwoju narzędzi projektowych, jak i wytwórczych przestała być ograniczonym zbiorem powtarzalnych elementów, na co wskazują niektóre formy i konstrukcje prezentowanych pawilonów wystawienniczych. Artykuł pozwala na obserwację nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych w tym zakresie oraz przedstawienie dowodu na wciąż aktualną, nadążającą za rosnącymi wyzwaniami inwestorów i projektantów, różnorodną fabrykację w architekturze. Po przeglądzie obiektów Expo, będących wykładnią aktualnych rozwiązań architektonicznych, można wnioskować, iż fabrykacja może stanowić, tak jak niegdyś, rozwiązanie nurtujących współczesnych problemów architektonicznych.

Keywords: fabrication; architecture; Expo

Słowa kluczowe: fabrykacja; architektura; wystawy światowe

WPROWADZENIE

Tradycja organizowania światowych wystaw sięga XVIII wieku. Pierwsza prawdziwie międzynarodowa Wielka Wystawa (*Great Exhibition*) miała miejsce

w Londynie w 1851 roku i dała początek współzawodnictwu pomiędzy krajami we wszelkich dziedzinach kultury, nauki i techniki. Kolejne wystawy stawały się

okazją do pokojowej rywalizacji organizatorów zarówno w prezentowanych osiągnięciach, m.in. w dziedzinie rozwiązań technicznych i architektonicznych, jak również rozmachu organizowanych oficjalnych uroczystości towarzyszących.

„This is the world of Expo so it has to be amazing”
Wolfgang Buttres¹

Odbývające się w Mediolanie w 2015 roku Expo, jak wcześniejsze tego typu wydarzenia, przyciągało uwagę zwiedzających mediów, polityków, przedsiębiorców i organizacji z całego świata. Prestiż, jaki za sobą niosła, był wyzwaniem zarówno dla organizatorów, jak i wystawców. Pragnęli oni zaprezentować się z jak najlepszej strony i przyćmić innych uczestników. Pawilony budowane z tej okazji stanowiły tematy konkursów dla architektów z całego świata. Jak wspomina w wywiadzie Wolfgang Buttres, autor pawilonu Wielkiej Brytanii, jest to całkiem inny świat dla projektantów, niosący wiele możliwości, ale jednocześnie stawiający więcej wymagań. Ta pokojowa konkurencja pokazuje od lat stan wiedzy i zastosowania nowoczesnych technologii w projektowaniu i budowaniu zróżnicowanych pod względem formy obiektów architektonicznych. Od samego początku wystaw, biorąc choćby za przykład Pałac Kryształowy, fabrykacja zajmowała szczególne miejsce, gdyż ukazywała ogromny postęp w rozwoju przemysłu oraz nowych technologii w budownictwie.

Proponowana tematyka artykułu obejmuje różnice pomiędzy pojmowaniem fabrykacji w czasach obecnych a jej początkowymi założeniami. Celem niniejszego opracowania jest pokazanie wciąż aktualnego, choć bardzo zmieniającego się dzięki nowym technologiom, trendu fabrykacji w architekturze. Ze względu na specyfikę międzynarodowych wystaw i ich rolę w promowaniu nowoczesnej myśli architektonicznej podjęto próbę analizy nowoczesnych trendów tej technologii na przykładzie kilku wybranych pawilonów Expo².

1. POCZĄTKI FABRYKACJI

Prefabrykacja, bo tak ją wcześniej nazywano, w budownictwie stosowana była od czasów staro-

żytnych, gdzie wykorzystywano *opus caementicium*³ do wytwarzania konstrukcji dziś nazywanych monolitycznymi. Ówczesne akwedukty, przepusty czy tunele wykonywane były z formowanych prefabrykatów. Pliniusz Młodszy w swoich listach wspominał o „monolitycznych” elementach konstrukcyjno-rzeźbiarskich, wytworzonych w Rzymie, przeznaczonych do budowy klasycznej świątyni w północno-afrykańskich koloniach rzymskich. Wykonywane wcześniej elementy drewniane były stosowane w XII wieku do budowy świątyń w Japonii, a w XVIII wieku do budowy domów w Rosji i Skandynawii.

Początek wieku XIX przynosi rozkwit rewolucji przemysłowej. Joseph Paxton, z zawodu ogrodnik, a z zamiłowania inżynier, wznosi w 1851 roku, dla pierwszej światowej wystawy przemysłowej, halę wystawową z elementów żeliwnych oraz szkła. Zastosowanie pełnej standaryzacji, prefabrykacji i zmechanizowanego montażu Pałacu Kryształowego było pionierskim rozwiązaniem na świecie decydującym o przyszłości architektury⁴.

Prefabrykacja na większą skalę rozwinęła się także w mieszkalnictwie. Do przełomu XIX i XX wieku zaprojektowano, dostosowane do produkcji na przemysłową skalę, prefabrykowane domy z każdego dostępnego materiału: drewna, betonu, żelaza i metalu. Henry Ford w roku 1907 uruchomił taśmową produkcję samochodów, a zachwyt nad tą technologią spowodował, iż dwa lata później u Emila Rathenau⁵ zabiegał o stworzenie fabryki do produkcji domów Walter Gropius. Twierdził on, że skoro kupujemy inne standardowo wykonane towary, jak buty czy odzież, to możemy również w podobny sposób wybrać typowe mieszkanie⁶. Prawdziwy rozkwit prefabrykacji nastąpił w czasach modernizmu w architekturze, który nadał tej technologii wymiar ideologiczny.

Na początku XX wieku doszło do rozpadu formy kamienicy i ciasnego zabudowywania kwartałów. Zaczęto kłaść większy nacisk na odpowiednie warunki sanitarne w mieszkaniach oraz doświetlenie i możliwość przewietrzania. W związku z rozwojem nowoczesnych technologii oraz rosnącego zapotrzebowania na mieszkania dążono przede wszystkim do stworzenia bardziej komfortowych warunków do zamieszkania,

¹ *To jest świat Expo, więc musi być zdumiewający* - tłum. E. Goczyńska; źródło: <http://www.wolfgangbuttress.com/expo-2015/2015/5/20/behind-the-beehive> (dostęp 30.06.2015).

² Przyczynkiem do napisania niniejszego artykułu był udział w Ogólnopolskiej Konferencji i wyjeździe naukowo-studialnym „Feeding the Planet, Energy for Life”, organizowanej pod auspicjami Komitetu Architektury i Urbanistyki PAN oraz WBiA ZUT Szczecin i WBAiS UZ, Mediolan 21-24 maja 2015.

³ Tworzona przez starożytnych Rzymian mieszanka kamiennego kruszywa, gipsu, wapna, wody i wezuwiałskich popiołów wulkanicznych, przypominająca pod względem technicznym dzisiejszy beton.

⁴ P. Trzeciak, *1000 tajemnic architektury*, Nasza Księgarnia, Warszawa 1967, s. 303.

⁵ E. Rathenau – dyrektor Niemieckiego Koncernu Elektrotechnicznego AEG (niem. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft).

⁶ W. Gropius, *Pełnia architektury*, Wyd. Karakter, Kraków 2014, s. 194.

więc początkowo otwierano ciasno zabudowane kwartały, potem luźno stawiano bloki, a na koniec zwiększano wysokość zabudowy. Jednym z najistotniejszych aspektów była ekonomia takiego budowania. Miały to być mieszkania dla średniej klasy społeczeństwa, zatem nie mogły być za drogie. Wysokie koszty różnicowania produktów oraz ograniczenia w obliczaniu bardziej złożonych konstrukcji wpłynęły na ograniczoną liczbę produkowanych elementów i monotonię projektowanych rozwiązań. Odmienny w charakterze, pomimo zastosowania powtarzalnych elementów, był pawilon Kanady na Expo w Montrealu w 1967 roku. Projekt Moshe Safdie, D. Barrota i Boulva przedstawiał idealną jednostkę mieszkaniową w formie przestrzennej struktury, składającej się z betonowych prefabrykowanych modułów - pudełek, która ukazywała ideę zróżnicowania przez standaryzację⁷.

2. ROZWÓJ CYFRYZACJI

Początkowo programy wspomagające projektowanie CAD (ang. *Computer Aided Design*) traktowane były przez projektantów jako ulepszone narzędzie kreślarskie, pozwalające na uzyskanie większej dokładności w sporządzaniu dokumentacji. Jako pierwsza, w latach osiemdziesiątych XX wieku, wprowadziła na rynek pojęcie Wirtualnego Budynku (ang. *Virtual Building*) węgierska firma Graphisoft. Oparty był on na technologii BIM (ang. *Building Information Model*), w której zakłada się automatyczne modyfikowanie wprowadzanych zmian w centralnej bazie przechowywanej informacji, a co za tym idzie, rysunków oraz danych materiałowych. Jednak złożona geometria form przestrzennych wymagała wprowadzenia koordynacji pomiędzy projektowaniem a wytwarzaniem. Frank Gehry⁸, eksperymentując z formą, poszukiwał wpływu, jaki wywiera na nią zastosowanie technologii komputerowych. Korzystając z używanego w przemyśle lotniczym, samochodowym i stoczniowym systemu wspomagania komputerowego CATIA (ang. *Computer Aided Three Dimensional Application*), wprowadził na rynek program Digital Project⁹, oparty na technologii BIM, z modułami parametrycznymi wytwarzania CAM (ang. *Computer Aided Manufacturing*) oraz modułami analitycznymi do badania wykonalności konstrukcji. Dzięki swoim możliwościom wspomagał nie tylko projektantów, ale i koordynatorów projektów.

Obecnie cyfrowe projektowanie polega na zintegrowaniu narzędzi CAD/CAM, co umożliwia zróżnicowanie produkowanych fabrycznie elementów i systemów budowlanych, dostosowując je do indywidualnych potrzeb. Możliwa jest masowa, już nie tak bardzo kosztowna produkcja, która choć niezestandaryzowana, nazywana jest umasowieniem różnicowania produkcji (*mass-customization*) w projektowaniu i wytwarzaniu. 1000 niepowtarzalnych przedmiotów, wytworzonych przez komputerowo sterowaną numerycznie frezarkę CNC (ang. *Computer Numerical Control*) kosztuje tyle samo, co wytworzenie 1000 identycznych¹⁰. Rozwój technologii wytwarzania powoduje wzrost apetytu na nowe formy architektoniczne i rozwój nowych technik projektowania bardziej indywidualnych i organicznych struktur. Projektowanie komputacyjne, parametryczne, generatywne to tylko niektóre z przewijających się technik ich budowania. Obecne są one w produkcji różnego rodzaju prefabrykowanych elementów, począwszy od stali, betonu, poprzez żelbet, plastik, aż po drewno. Stosowane są różne metody wytwarzania - od addytywnych, polegających na dodawaniu kolejnych warstw, po tzw. szybkie prototypowanie (ang. *Rapid Prototyping*) zwane też drukowaniem 3D, kiedyś używające twardniejącego proszku, dziś wykorzystujące również inne materiały, jak: ABS, wzmocniony siatką szklaną poliamid, poliwęglan i metale, jak stal nierdzewna czy tytan.

Wspomaganie komputerowe ma dziś na celu optymalizację geometrii form przestrzennych przy zastosowaniu odpowiednich technik racjonalizacji. W procesie produkcji, poza czynnikiem ekonomicznym, ogromny nacisk kładzie się również na maksymalne ograniczenie śladu węglowego i względy ekologiczne. Dzięki precyzji wykonania i zastosowaniu najnowocześniejszych technologii fabrykacja jest w stanie osiągnąć najwyższy standard budownictwa zrównoważonego.

3. WSPÓŁCZESNA FABRYKACJA NA PRZYKŁADZIE PAWILONÓW EXPO 2015

Od czasu rewolucyjnego Pałacu Kryształowego, zalanej światłem hali projektu Josepha Paxtona, ważnym elementem każdej z wystaw, oprócz podjętej problematyki, jest rywalizacja i współzawodnictwo odbywające się w sferze architektonicznej. Pawilony są przedmiotem konkursów, w których biorą udział najlep-

⁷ E. Mattie, *World's Fairs*, Princeton Architectural Press, New York 1998, s. 230-231.

⁸ M.in. Muzeum Guggenheima w Bilbao oraz Walt Disney Concert Hall w Los Angeles projektu Franka Gehry'ego.

⁹ Digital Project™ firmy Gehry Technologies jest platformą służącą gromadzeniu informacji o budynku i zarządzania nim w oparciu o silnik CATIA firmy Dassault Systems.

¹⁰ K. Januszkiewicz, *Cyfrowe projektowanie i cyfrowa fabrykacja*, „Archivolta” 1/2013, s. 36-45.

si projektanci z całego świata. Wiele budowli przeszło do historii i stało się symbolem miejsca, jak m.in. Wieża Eiffla, most Golden Gate czy model atomu w Brukseli. Powstające budowle są symbolem czasów, w których powstają, formą i charakterem odzwierciedlając aktualne trendy i możliwości techniczne. Oczywiście jest więc przedstawienie aktualnego stanu wiedzy we wciąż aktualnej technologii fabrykacji.

3.1. Pawilon francuski

Doskonałym, przedstawionym na tegorocznym Expo w Mediolanie, przykładem nowoczesnego cyfrowego projektowania i wytwarzania fabrykowanej drewnianej konstrukcji jest pawilon francuski. Wyglądem przypomina on biomorficzną szkołę architektury zadaszenia Plaza de la Encarnacion w Sewilli. Konstrukcja Montreal Parasol projektu J. Meyer H. Architects, zbudowana w 2011 roku jest, zaczerpniętą z natury formą w kształcie grzybów, wygenerowaną za pomocą zaawansowanych algorytmów komputerowych, dzięki którym wszystkie elementy kratownicy można było wyrenderować i sfabrykować za pomocą technologii CAD/CAM. Elementy nośne pawilonu francuskiego, choć na pierwszy rzut oka bardzo podobne, w odróżnieniu od Montreal Parasol, gdzie główne elementy wsporcze wykonane były z żelbetu, wykonane są w całości z drewna klejonego.

Koncepcja budynku bierze swój początek w różnorodności ukształtowania terytorium Francji oraz tradycji przekrytych dachem targowisk, służących zarówno wytwarzaniu, jak i wymianie produktów. Przekrycie tego „targu obfitości” ma formę odwróconego kształtu wypiętrzonego na skutek ruchów tektonicznych lądu. Widzowie wchodzący do wnętrza pawilonu prowadzeni są krzywymi sinusoidalnymi liniami belek drewnianej konstrukcji. Dzięki tej skomplikowanej geometrii wklęsłości i wypukłości pawilon pokazuje możliwości wykorzystania właściwości materiału do uzyskania niezwykłych organicznych linii. Wszystkie elementy budynku zostały zbudowane z drewna klejonego za pomocą wysoce precyzyjnych skomputeryzowanych maszyn ściśle współpracujących z oprogramowaniem architektonicznym, aby stworzyć wielowymiarową strukturę.

Elementy kratownicy zaprojektowane w technologii CAD/CAM zostały wytworzone, a następnie wykonane na placu budowy na podstawie geometrycznego modelu 3D, opracowanego przez architektów Anouk Legendre i Nicolas Desmazières z XTU Architects, którzy niejednokrotnie projektowali obiekty wytwarzane numerycznie *in situ*. Uniwersalność całości założenia jest dodatkowo podkreślona zastosowaniem innowacyjnego francuskiego systemu niewidocznych połączeń (Patent Résix®). Utrzymany w konwencji *low-tech*



Ryc. 1. Widok wejścia do francuskiego pawilonu z zewnątrz; fot. autorka

Fig. 1. A view of the entrance into the French pavilion from the outside; photo by the author



Ryc. 2. Wnętrze francuskiego pawilonu; fot. autorka

Fig. 2. Interior of the French pavilion; photo by the author

pawilon może być kompletnie rozebrany i złożony ponownie. Zaprojektowany w sposób zapewniający swobodny przepływ powietrza, z umieszczonym centralnie systemem pochłaniania ciepła, stwarza naturalny system schładzania i cyrkulacji powietrza wpływający na niskie zużycie energii.

Twórcy pawilonu, podobnie jak niegdyś Frank Lloyd Wright¹¹, są przekonani, iż architektura powinna przewidywać przyszłość. Ich zdaniem biotechnologiczna transformacja będzie trzecią rewolucją przemysłową.

3.2. Pawilon Zjednoczonych Emiratów Arabskich

Z zewnątrz pawilon przypomina obiekty Muzeum Natury i Nauki Perot w Dallas i Centrum Kultury im. Hajdara Alijewa w Baku, gdzie znalazła zastosowanie wspomniana wcześniej technologia BIM w połączeniu z prefabrykacją elementów fasadowych.



Ryc. 3. Widok detalu tekstury ściany pawilonu Zjednoczonych Emiratów Arabskich; fot. autorka

Fig. 3. A view of the detail of the wall texture of the United Arab Emirates pavilion; photo by the author

Muzeum, zaprojektowane przez zespół firmy Thom Mayne i Morphosis z pracownią architektury krajobrazu Talley Associates, z założenia miało być zrealizowane w najwyższych standardach budownictwa zrównoważonego w swojej klasie obiektów. Formy elewacji, przypominające naturalne warstwy skalne, wykonane zostały z paneli wytworzonych za pomocą form, wygenerowanych dzięki technologii BIM w postaci ram oraz drobnych elementów z tworzywa sztucz-

nego zmienianych przed każdym zalaniem pozwalając na uniknięcie w ten sposób wrażenia powtarzalności i monotonii pomimo zastosowania prefabrykacji. Natomiast wielokrzywiznowa fasada Centrum Kultury, zaprojektowana przez pracownię Zahy Hadid, została wykończona różniącymi się w kształcie, pomimo dużej liczby elementów, panelami z GFRC (betonu zbrojonego włóknem szklanym) i GFRF (kompozytu polimerowego wzmocnianego włóknem szklanym), odpornymi na zanieczyszczenie powietrza.

Podobnie w pawilonie Zjednoczonych Emiratów Arabskich rysunek bruzd wziął się z inspiracji krajobrazem pustyni i powstał poprzez nałożenie zeskanowanej tekstury piaszczystych wydm. Panele ściennie, wykonane z betonu wzmocnionego włóknem szklanym, umieszczone zostały na stalowej konstrukcji wsporczej. Pustynny krajobraz i historia stały się natchnieniem dla twórców formy architektonicznej budynku. Równoległe prowadzone falistą linią 12-metrowe ściany wiodą ścieżkami, na wzór starożytnych reguł projektowania, wąskimi samozacieniającymi ciągami pieszymi i dziedzińcami antycznych pustynnych miast i są ich współczesną reinterpretacją w zrównoważonym planie zagospodarowania miasta Masdar w Abu Dhabi. Tu właśnie przewidziano przewiezienie zdemontowanego po wystawie pawilonu i zrekonstruowanie go na nowo. Swoją formą będzie nawiązywał do tradycji regionalnej urbanizacji o zwartej zabudowie, zapewniającej tak potrzebny w tych rejonach cień. Projektanci z firmy Foster + Partners zaprojektowali obiekt zgodnie z zasadami LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) jako kombinację pasywnych i aktywnych technik. Związane z silnym nasłonecznieniem rozwiązania mogą okazać się sposobem na globalne problemy w miarę rosnących wymagań i efektów zmian klimatu na świecie, pomagając faktycznie w kształtowaniu przyszłości w sposób zrównoważony. Opracowanie projektu w formie parametrycznego modelu cyfrowego umożliwiło numeryczne wykonanie form do wytworzenia paneli elewacyjnych oraz idealne dopasowanie wszystkich elementów tej konstrukcji.

3.3. Pawilon brytyjski

Branko Kolarevic w *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age* uwzględnia nowe kategorie, jakie mogą wzbogacać cyfrowe projektowanie. Z uwagi na interdyscyplinarność projektowania architektonicznego korzystanie z wiedzy i osiągnięć innych dziedzin nauki jest oczywiste, a znalazło niespotykany wymiar w obiekcie pawilonu brytyjskiego. Autorem jest

¹¹ Cyt. Frank Lloyd Wright : *Architekt musi być prorokiem (...) prorokiem w prawdziwym znaczeniu tego słowa (...) jeżeli nie widzi co najmniej 10 lat do przodu, nie nazywaj go architektem.*



Ryc. 4. Wąskie ścieżki pawilonu Zjednoczonych Emiratów Arabskich; fot. autorka
Fig. 4. Narrow paths inside the United Arab Emirates pavilion; photo by the author



Ryc. 5. Widok wnętrza pawilonu brytyjskiego; fot. autorka
Fig. 5. A view of the interior of the British pavilion; photo by the author



Ryc. 6. Widok wnętrza pawilonu brytyjskiego; fot. autorka
Fig. 6. A view of the interior of the British pavilion; photo by the author

artysta, głównie rzeźbiarz, Wolfgang Buttress, który do współpracy zaprosił rzeszę specjalistów z różnych branż, poczynając od konstruktora, Tristana Simondsa, inżyniera i projektanta specjalizującego się w pracach o skomplikowanej geometrii lekkich form przestrzennych. Wykorzystując wyjątkowe podejście łączące cyfrowe techniki komputacyjne zaczerpnięte z dyscyplin, takich jak matematyka, inżynieria oraz grafika komputerowa, rzeźbi on, projektuje, buduje i fabrykuje złożone i niezwykle struktury. Filigranowy, na pierwszy rzut oka, pawilon brytyjski wzorowany jest na pszczeli ul. Do powtarzalnych prefabrykowanych metalowych, zygzakowatych elementów składających się na konstrukcję budowli dodano światło i dźwięk. Emitowane sygnały i pulsacje są przekazywane za pomocą akceleratora z prawdziwego ula stojącego na terenie Trent University w Nottingham, tysiące mil od pawilonu, gdzie badania nad pszczołami prowadzi dr Martin Bencsik. Całość budowli miała za zadanie stworzyć wrażenie przebywania w naturalnym środowisku pszczoł, a przejrzysta forma uzyskana za pomocą komputerowo prefabrykowanych i odpowiednio pozycjonowanych elementów sprawia wrażenie krążącego roju.

WNIOSKI

Nurt poszukiwania nowości poprzez organizowanie międzynarodowych wystaw sprawia, że architektura Expo jest wizjonerska, a fascynujące projekty mogą znaleźć zastosowanie w codziennym życiu. Przytoczone przykłady tegorocznych rozwiązań w zakresie fabrykacji dowodzą ciągłego rozwijania tej technologii w oparciu o nowoczesne cyfrowe techniki zarówno projektowania, jak i wytwarzania. Nowoczesne kształcenie kadry inżynierskiej konstruktorów i architektów, korzystanie ze wspomaganie komputerowego oraz praktykowania numerycznego wytwarzania w mniejszej skali rozwija możliwość swobodnego kreowania formy. Stosowanie fabrykacji nie ma już ograniczeń z początków jej wprowadzania. Fabrykacja, dzisiaj projektowana i realizowana cyfrowo, ma na celu optymalizację geometrii form przestrzennych z zastosowaniem odpowiednich technik racjonalizacji. Architekt staje się informatykiem sterującym całym procesem od początku do końca. Proces produkcji natomiast, poza czynnikiem ekonomicznym, bierze pod uwagę dzisiejsze trendy w rozwoju budownictwa mające na celu maksymalne ograniczenie śladu węglowego i względy ekologiczne, a dzięki precyzji wykonania i zastosowaniu najnowocześniejszych technologii jest w stanie osiągnąć najwyższy standard budownictwa zrównoważonego.

LITERATURA

1. **Czernik E. (2011)**, *Trendy w architekturze cyfrowej*, „Przestrzeń i Forma” nr 15, Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie.
2. **Górski R. (2012)**, *Expo – weryfikator detalu*, „Czasopismo Techniczne” z. 15, „Architektura” z. 5-A2, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
3. **Gropius W. (2014)**, *Pełnia architektury*, Wyd. Karakter, Kraków.
4. **Januszkiewicz K. (2013)**, *Komputery i architektura. Cyfrowe projektowanie i cyfrowa fabrykacja*, „Archivolta” nr AV 1/2013.
5. **Januszkiewicz K. (2010)**, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych - stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
6. **Januszkiewicz K., Katowicz-Kowalewski H. (2013)**, *Architektura aktywna energetycznie*, „Archivolta” nr AV 3/2013.
7. **Jopek D. (2011)**, *Dom jako produkt. Nowe wyzwania prefabrykacji*, „Przestrzeń i Forma” nr 15, Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie.
8. **Kolarevic B. (2001)**, *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, w: *Architectural Information Management: 19th eCAADe Conference Proceedings*, eCAADe: Conferences, Helsinki, Finland: Helsinki University of Technology (HUT).
9. **Krotowski T. (2012)**, *Ewolucja współczesnego ornamentu na przykładach obiektów wystaw światowych Expo*, *Czasopismo Techniczne* z. 15, „Architektura” z. 5-A2, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
10. **Kysiak M. (1998)**, *Architektura pawilonów wystawowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
11. **Mika P. (2014)**, *Nowoczesne metody produkcji betonowych prefabrykatów elewacyjnych i ich wpływ na architekturę – wybrane przykłady*, Dni Betonu: tradycja i nowoczesność, konferencja, Wisła 13-15 października 2014, Stowarzyszenie Producentów Cementu.
12. **Trzeciak P. (1967)**, *1000 tajemnic architektury*, Nasza Księgarnia, Warszawa.

STRONY INTERNETOWE:

1. <http://www.expo2015uae.com> (dostęp 25.06.2015)
2. <http://www.expo2015.org> (dostęp 25.06.2015)
3. <http://www.x-tu.com> (dostęp 25.06.2015)
4. <http://www.france-milan-2015.fr> (dostęp 25.06.2015)
5. <http://www.expo2015uae.com> (dostęp 25.06.2015)
6. <http://www.fosterandpartners.com> (dostęp 25.06.2015)
7. <http://archiwum.wiz.pl/2000/00050600.asp> (dostęp 25.06.2015)
8. <http://exspace.pl/articles/show/42> (dostęp 25.06.2015)
9. <http://bywajtu.pl/strony/na-kupieckim-szlaku/notatka/expo/> (dostęp 25.06.2015)
10. <http://www.wolfgangbuttress.com/expo-2015/2015/5/20/behind-the-beehive> (dostęp 30.06.2015)