



DOI: 10.21005/pif.2019.38.B-02

## CHANGES TAKING PLACE IN THE KINETIC ARCHITECTURE OVER THE 20TH AND 21ST CENTURIES

### ZMIANY ZACHODZĄCE W ARCHITEKTURZE KINEMATYCZNEJ NA PRZESTRZENI XX I XXI WIEKU

**Jan Cudzik**

PhD, Eng Arch, Assistant Professor

Author's Orcid number: 0000-0002-8162-2447

Gdańsk University of Technology

Faculty of Architecture

Department of Urban Architecture and Waterscapes

#### ABSTRACT

Kinematics has accompanied architecture from its beginning and is strongly associated with its evolution. Over the centuries, it has changed form and function. However, its rank grew at the beginning of the 20th century. Along with the widespread change of the design method in the early 90s of the twentieth century, its forms have become more complex. The study showed that with the development of design techniques, this time should be treated as a breakthrough in the design of kinematic architecture.

Key words: kinetic architecture, kinematic architecture, contemporary architecture, computation, movement in architecture, adaptive architecture.

#### STRESZCZENIE

Kinematyka towarzyszyła architekturze od jej początków i jest silnie związana z jej ewolucją. Na przestrzeni wieków ruch zmieniał swoją formę i funkcję. Jego znaczenie wzrosło jednak dopiero na początku XX wieku, kiedy wraz z nowymi teoriami przestrzennymi oraz ewolucją sztuki przestał być traktowany wyłącznie w kategoriach użytkowych. Wraz ze zmianą sposobu projektowania na początku lat 90 XX wieku jego formy stały się bardziej złożone. W pracy wykazano, że ten czas należy traktować jako przełomowy w projektowaniu architektury kinematycznej.

Słowa kluczowe: Kinematyczna architektura, współczesna architektura, ruch w architekturze, adaptacyjna architektura, komputacja, komputerowe wspomaganie projektowania architektonicznego.

## 1. INTRODUCTION

Nearly from the beginning of the history of architecture, movable elements and various kinds of kinematic solutions were used in buildings. Most commonly kinematic elements of architecture are associated with doors and windows. However, there are many more, such as movable walls or pivotal shades. Nevertheless, we are currently experiencing another phase of interest in kinematic mechanisms in architecture. In addition to solutions used by architects in the past, we can observe the emergence of new ones. Many of them are closely related to the application of innovative design techniques. The contemporary movement is becoming more and more complex, which makes it possible to obtain interesting and innovative spatial solutions. The work focuses on the change in kinetic architecture based on the emergence of new design tools after 1990. New forms of kinetic architecture appearing in the discipline show how contemporary architecture has changed and developed due to new tools and technological advancement.

## 2. OUTLINE OF THE HISTORY OF THE KINETIC ARCHITECTURE

For theoreticians of the perception of space from the late nineteenth century, space had kinematic features, because it was associated with the reception in motion. The contemporary observer can remain motionless and space can be perceived as a variable because it undergoes actual transformations due to the application of kinematic solutions. Many artists explored that field to achieve unique spatial effects. Starting in the early 1910s with Marcel Duchamp's Bicycle Wheel that can be considered first kinetic sculpture. The movement was also presented in the form of balance, an example of such is El Corcovado (Fig. 1) created in 1951 by Alexander Calder. At the time artists were inspired not only with new philosophical theories but also by photography, where artists experimented with diverse techniques to capture movement. In this aspect, the time-varying spaces presented by Duchamp, Calder or László Moholy-Nagy in the form of kinematic sculptural installations can be considered as precursors to contemporary kinetic architecture. [5]



Fig. 1. Kinetic sculpture based on the principle of balance, Alexander Calder – El Corcovado 1951, Source: Jan Cudzik, 2015

Ryc. 1. Rzeźba kinetyczna oparta na zasadzie równowagi, Alexander Calder – El Corcovado 1951, Źródło: Jan Cudzik, 2015

It was not until the twentieth century when due to the emergence of new concepts of space, progress in technology and inspiration flowing from art, the movement begins to significantly affect the architecture of the designed objects. One of the first buildings using the movement for such purpose was the Schroeder House from 1924, designed by Gerrit Rietveld in Utrecht. The interior of this house has been designed using the possibilities offered by moving elements. Sliding and retractable walls made it possible to freely separate or open the space by changing the divided interior into a more single-spatial one. Rietveld willingly used the achievements of new technologies. He was a precursor of new materials in both architecture and design. He always insisted on adapting to changes and designing architecture in accordance with the times, as given in his statement from 1982: „And finally I would like to recap what all these words were actually meant to convey: that architecture has to fit in with recognised and changing needs and that we live in an era in which there will be great changes in society. We should not consider the architecture of today as fit for the future, or build as if we know what will be needed in the future.“ [15]

Another wave of interest for architects can be traced back to the sixties of the twentieth century. One of the first objects that present the scale of possibilities brought by the movement is the Pittsburgh Civic Arena, also known as the Mellon Arena designed by Mitchell & Ritchey Architects. The building, built in 1961, was the first stadium equipped with a mechanically closed roof. Unfortunately, it was not working without breakdowns. The first roof opening took place in 1962 and from the very beginning, the hydraulic mechanisms did not function properly. The roof opening system was later used for special occasions and for this reason the roof was usually closed. The roof was permanently closed in 1994. However, a fully operational solution for a mechanically opening solution was created much later, in 1989. The Rogers Center previously known as SkyDome, designed by Rod Robbie became first building to use this function. The object is not only a sports stadium but also a place where concerts and other cultural events are often held. The layout of the stadium is complex and multi-layered. The building has almost three hundred and fifty hotel rooms, seventy of which have a view directly on the pitch and a fold-out roof. Movable roof significantly expanded the functionality of the object and was an example for many of the later construction of this type.

Santiago Calatrava involved advanced movement in several of his work. In 1985 the architect created the Ernstings Family Distribution Depot Center. The gates designed for this object are themselves a work of art, setting the direction of clear and regular lines in which the architect goes until this day. An innovative form of the gate is created with a series of individual elements creates an impression similar to a wave (or lens) based on repetitive regular arcs [1]. The form obtained thanks to the unusual use of motion is light and dynamic. Thanks to this, the forwarding center acquires a completely new value in terms of aesthetics. The architect designed this kinematic solution, seeking not only the reconfiguration of the object but also artistry and beauty. As Zuk and Clarke wrote: „A new aesthetic will have to develop. One has to wonder, thought, if, at first, kinetic forms might imitate the more familiar static ones, as if often the case when something new is introduces.“ [16]

A few years later Jean Nouvel designs a masterpiece of kinetic architecture, The Paris Institute of the Arab World from 1987 was a very strong manifestation of searching for a new aesthetics through the introduction of kinematic solutions into the architecture. The facade of this facility consists of mechanically controlled metal panels that allow the control of daylight access to the interior of the building. Nouvel, in an extremely contemporary and intelligent way, draws from traditional Arabic ornamentation, presenting it in a very contemporary and surprising way. Despite the very modern character, the object remains traditional in reception, beautifully fitting into the legacy of Arab architecture. The movement, which is visible outside the building, also affects the reception of its internal space. The spatial effect is visible in the form of the dynamics of the interior layout or diaphragms separating them from the surroundings. Space obtained thanks to the imple-



mentation of kinematic mechanisms undergoes constant changes, undermining the traditional perception of architecture as a static form.

### 3. MILESTONE CHANGES IN KINETIC ARCHITECTURE

It should be stated that along with the development of technology and design tools, the kinetic architecture introduces new forms of aesthetics related to dynamics to the built environment. The creation and delivery of beauty have been one of the architectural tasks for thousands of years. Looking for bridges between antiquity and modernity, Le Corbusier wrote: "The Architect, by his arrangement of forms, realizes an order which is a pure creation of his spirit; by forms and shapes he affects our senses to an acute degree, and provokes plastic emotions; by the relationships which he creates he wakes in us profound echoes, he gives us the measure of an order which we feel to be in accordance with that of our world, he determines the various movements of our heart and of our understanding; it is then that we experience the sense of beauty." [4]

The nineties of the twentieth century constitute a certain limit in architecture. With the fall of the Iron Curtain, a revolution in Central Europe, the digitization of architect's work, access to the Internet, architecture begins to develop in a similar way around the world. European architects gain recognition in the United States or China. The nineties are also a change in design techniques, at this time, as the company's program Discreet 3ds Max debuts on the market, still under the name 3D Studio. In 1993, the company is incorporated into the giant structures on the Autodesk computer software market. In the following years, 3D Studio becomes one of its flagship products. This change makes the computer stop being treated as a digital drawing board, and it starts to be something more. Shortly thereafter, in 1992, Rhino 3d debuted on the market, initially being an addition to Autodesk AutoCAD, but very quickly becoming an independent software for the design and creation of three-dimensional models. Hence, in the year 1990, it will be accepted as a conventional boundary between traditional kinetic architecture and advanced designing dynamic structures. The change visible due to emergence of new design tools is even more visible during last decades, as Branko Kolarevic wrote in 2003: "Digital technologies are changing architectural practices in ways that few were able to anticipate just a decade ago.[...] Digitally-driven design processes, characterized by dynamic, open-ended and unpredictable but consistent transformations of three-dimensional structures, are giving rise to new architectonic possibilities." [8]

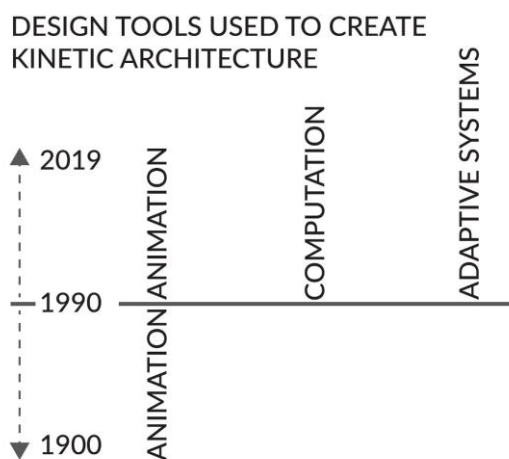


Fig. 2. Design tools used to create kinetic architecture- timeline, Source: Jan Cudzik, 2019

Nowadays, every type of design draws heavily on the possibilities offered by the available design tools. The emergence of new challenges related to access to the unknown design tools and materials two decades ago highlights many architects. Lynn, Gage, Nielson and Rappaport authors of the book *Composites, Surfaces and Software* write: "It is only in recent years that software and rapid prototyping have enabled the designer to move so fluidly between the virtual and the physical. As design and fabrication feed each other, our digital dreams could quickly become real nightmares if not handled carefully and seriously. Design today requires learning a new formal language, honing these new tools and welding them with great focus." [10]. This also applies to the kinetic architecture. In order to achieve the desired effects, specific techniques and design tools are used in contemporary kinetic architecture. Design tools used to create kinetic architecture can be divided into three groups. The first is based on the use of physically created models, sketches depicting different phases of motion or creating a computer model for later animation. The second involves the use of computation in the form of parametric or generative design techniques to create more complex motion models in this way. The third is based on the use of intelligent adaptive systems based on various types of sensors and mappers that allow you to design complex adaptation forms. (Fig. 2)

#### 4. CONTEMPORARY KINETIC ARCHITECTURE

After the introduction of new digital tools kinematics in architecture became more complex. The movement applied to structures became multi-layered and varied. It was no longer only the display of nature but became the response to its operation. This was the case with the form designed by Hoberman Associates that served as the podium for the decoration of the medalists at the Winter Olympic Games in 2002 in Salt Lake City (Fig. 3). The place where the object is located is known for very strong winds, which practically make it almost impossible to place there a traditional building. Instead of a typical wall that constitutes a background for the decoration ceremony, architects created a surface that can open and let the wind go through. [13] Thanks to the use of multidimensional motion, a formally diversified form was obtained, with the possibility of limiting the surface of the panels and consequently reducing the air pressure. It was achieved thanks to irregular moving panels. The facility worked perfectly in its function. The movement was combined with the multi-colored illumination based on LED lighting systems that made the object diverse and dynamic.

In this context, one should also pay attention to a group of objects in which topographic experiments and multimedia projects are combined. This happens when the surface of the screen is deformed and thus we can obtain truly spatial visual effects. Such façades are created by Asif Kahn, a London architect who was asked by a Russian telecommunications company to create a kinetic structure that is a gift to people regardless of who they are and what they do. In response, he proposed a facade that presented human faces in the form of three-dimensional forms. Elevation consisted of eleven thousand actuators at the ends of which LED screens were placed. The form was eight meters high and can display three faces simultaneously, the range of movement of the actuators is up to 2.4 m. Faces displayed on the facade changed every minute and were based on scans made in booths created specifically for this purpose. The whole was completely automatic.

Original spatial effects can be achieved by changing the axis of rotation. An example of such a solution is the façade designed in 2010 by ABI (Hobermann Associates + Buro Happold) and Zahner. The tested project is an example of a liquefied surface made of steel and glass that reacts to external factors. Many façade elements are rotated around various axes perpendicular to its surface. Thanks to this, new patterns and layouts are created. It is the world's first façade project based on the patented Tessellate technology. The idea for the façade project was inspired by the nature of the main user of this facility at Simons Center for Geometry & Physics. Architects in their conception have

been able to show the potential of geometry to create spatially complex structures from simple components, where each of the designed panels can function independently or the facade as a whole can create complicated simulations showing any geometric patterns. [11] Visually, one can find great similarity to the classic Jean Nouvel's facade from 1987, created for the needs of the Arab World Institute.



Fig. 3. A modern form of application of kinematic architecture, Hoberman Arch 2002, Source: Scott Catron, 2003 [3]

Ryc. 3. Współczesna forma zastosowania architektury kinematycznej, Hoberman Arch 2002, Źródło: Scott Catron, 2003 [3]

A completely new direction of spatial experiments is presented by the forms created by Manuel Kretzer, including Phototropia. The structure is one of the effects of the research program carried out at the ETH in Zurich. The architect together with the team and students realized a prototype in which electroactive polymer materials were used. In connection with printed screens and solar cells, a self-operating system was created that can dynamically adapt to existing conditions through a continuous change of form through movement. The obtained traffic can be assessed as quite chaotic, but it results from the attempt to optimize the amount of solar energy obtained. The energy obtained by solar batteries is stored in batteries under the structure, which in turn ensures its self-sufficiency. Phototropia at the time becomes one of the most technologically advanced architectural prototypes, using advanced electrotechnical solutions.

## 5. CONCLUSION

The movement has always been an important element of architecture. Its form and function changed along with the evolution of the discipline, revealing ever new possibilities. However, it is only from the first half of the 20th century that we can talk about the constitution of kinetic architecture as a research field and a new direction in design. The work

assumes that 1990 marks an important time cessation, a breakthrough moment, from which new important phase of the development of the kinetic architecture begins. This is related to the emergence of a new type of formal and spatial solutions in architecture using motion and new design tools. It was shown that by the end of the 1980s, the implemented concepts in the vast majority were limited only to simple forms of movement, such as moving, turning and ejecting. It was also observed that currently architects do not give up the implementation of forms of movement that have already occurred, but additionally, they develop new more complex forms of movement.

Various groups of digital design tools are used to achieve specific spatial effects. The first of them is simple design tools that allow only design based on animation. The use of this type of solution enables the creation of objects characterized by a one-dimensional and at the same time repetitive way of moving an object or its element. Whereas complex design programs based on the principles of parametric and generative design can be used to create kinematic objects characterized by more complex forms of motion. In addition, the use of intelligent adaptive systems makes the movement even more diverse and less repetitive. This is due to the fact that responses to the environmental impulses are largely unpredictable and are not directly determined by the architect. The diversity and development of design tools allows for the creation of new forms of movement in architecture.

## ZMIANY ZACHODZĄCE W ARCHITEKTURZE KINEMATYCZNEJ NA PRZESTRZENI XX I XXI

### 1. WSTĘP

Elementy ruchome towarzyszyły architekturze niemal od początku, są to najczęściej drzwi i okna. Ruch pojawiał się w budynkach również za sprawą między innymi ruchomych ścian czy żaluzji. Obecnie przeżywamy kolejną fazę zainteresowania mechanizmami kinematycznymi w architekturze. Oprócz rozwiązań stosowanych przez architektów w przeszłości, możemy zaobserwować pojawienie się nowych. Wiele z nich jest ściśle związanych z zastosowaniem innowacyjnych technik projektowania. Współczesny ruch staje się coraz bardziej złożony, co pozwala uzyskać ciekawe i innowacyjne rozwiązania przestrzenne. Praca skupia się na zaobserwowanej zmianie architektury kinematycznej związanej z wprowadzeniem po 1990 roku się nowych narzędzi projektowych. Nowe formy architektury kinematycznej pokazują, jakim zmianom uległa współczesna architektura dzięki nowym narzędziom projektowym i postępowi technologicznemu.

### 2. ZARYS HISTORII ARCHITEKTURY KINEMATYCZNEJ

Dla teoretyków przestrzeni z końca XIX wieku przestrzeń miała cechy kinematyczne, ponieważ była związana z ściśle ze zjawiskiem ruchu. W tym czasie wielu artystów tworzyło swoje dzieła w oparciu o to nowo otwarte pole badawcze, uzyskując niespotykane wcześniej efekty przestrzenne. Jedną z pierwszych rzeźb kinematycznych było dzieło Marcela Duchampa pod tytułem Koło Rowerowe z 1913 roku. Ruch w sztuce był również przedstawiany w formie równowagi, przykładem może tu być El Corcovado (Ryc. 1) stworzony w roku 1951 przez Alexandra Caldera. Nową inspiracją w tym czasie były nie tylko teorie przestrzeni, lecz również fotografia, w której artyści chętnie eksperymentowali z nowymi technikami, aby przedstawić piękno ruchu. W efekcie eksperymentów fotogra-



ficznych swoje dzieła tworzyli tacy artyści jak Duchamp, Calder, czy László Moholy-Nagy. Ich dzieła można uznać za pierwowzór dla współczesnej architektury kinematycznej. [5]

W XX wieku, kiedy pojawiły się nowe koncepcje przestrzeni, postęp w technologii i inspiracje płynące ze sztuki, ruch zaczyna znacząco wpływać na architekturę projektowanych obiektów. Jednym z pierwszych budynków wykorzystujących ruch w taki sposób był Dom Pani Schroeder. Budynek został zaprojektowany, z wykorzystaniem możliwości oferowanych przez ruchome elementy, w 1945 roku przez Gerrita Rietvelda. Przesuwne i chowane ściany umożliwiły swobodne oddzielenie lub otwarcie przestrzeni poprzez płynną zmianę podzielonego wnętrza na otwarte - jednoprzestrzenne. Rietveld bardzo chętnie wykorzystywał osiągnięcia nowych technologii. Architekt był prekursorem wielu nowych materiałów w architekturze i projektowaniu. Zawsze nalegał na dostosowanie się do zmian i projektowanie architektury zgodnie z duchem czasu, w roku 1982 stwierdził: [...] *architektura musi pasować do obecnych i zmieniających się potrzeby, żyjemy w epoce, w której nastąpią wielkie zmiany w społeczeństwie. Nie powinniśmy uważać dzisiejszej architektury za przygotowaną na przyszłość ani budować tak, jakbyśmy wiedzieli, co będzie potrzebne w przyszłości.* [15]

Kolejna fala zainteresowań architektów kinematyzmem sięga lat sześćdziesiątych XX wieku. Jednym z pierwszych obiektów, które przedstawiają skalę możliwości, jakie oferuje ruch, jest stadion Pittsburgh Civic Arena, znany również jako Mellon Arena. Obiekt został zaprojektowany przez Mitchell & Ritchey Architects i wybudowany w 1961 roku. Był pierwszym stadionem wyposażonym w mechanicznie zamykany dach. Niestety skomplikowany mechanizm często ulegał awariom. Pierwsze otwarcie dachu miało miejsce w roku 1962, jednak już od samego początku mechanizmy hydrauliczne nie działały prawidłowo. System otwierania dachu był później używany jedynie podczas specjalnych okazji. Przez większość czasu dach pozostawał zamknięty, aż w roku 1994 dach został trwale wyłączony. W pełni funkcjonalne rozwiązanie dla mechanicznie otwieranego dachu zostało opracowane znacznie później, w roku 1989 i zastosowane w Rogers Centre, zaprojektowanym przez Roda Robbigiego. Obiekt pełni funkcje nie tylko stadionu sportowego, ale również miejsce, w którym często odbywają się koncerty i inne imprezy kulturalne. Układ przestrzenny stadionu jest złożony, w budynku znajduje się prawie trzysta pięćdziesiąt pokoi hotelowych, z których siedemdziesiąt ma widok bezpośrednio na boisko i rozkładany dach. Otwierany dach znacząco rozszerzył funkcjonalność obiektu i był przykładem dla wielu późniejszych konstrukcji tego typu.

Santiago Calatrava chętnie stosował różne formy ruchu. W 1985 roku architekt stworzył Centrum Dystrybucji Rodziny Ernstings. Nietypowe ruchome bramy zaprojektowane dla tego obiektu same w sobie są dziełem sztuki, wynikają z jasnych i regularnych linii. Ich innowacyjna forma została stworzona z wielu pojedynczych elementów tworząc wrażenie podobne do fali (lub soczewki) opartej na powtarzających się regularnych łukach [1]. Kształt uzyskany za sprawą niezwykłego wykorzystania ruchu jest lekki i niezwykle dynamiczny. Dzięki temu centrum spedycyjne zyskuje zupełnie nową wartość pod względem estetycznym. Architekt stworzył to rozwiązanie, poszukując nie tylko możliwości rekonfiguracji obiektu, ale także artyzmu i piękna. Jak napisali Zuk i Clarke: „Musi się rozwinąć nowa estetyka. Na początku formy kinematyczne mogą naśladować te bardziej znane statyczne, jak dzieje się często gdy pojawia się coś nowego.” [16]

Kilka lat później Jean Nouvel zaprojektował swoje arcydzieło architektury kinematycznej. Paryski Instytut Świata Arabskiego z 1987 roku był bardzo silnym przejawem poszukiwania nowej estetyki poprzez wprowadzenie do architektury rozwiązań kinematycznych. Fasada tego obiektu składa się z mechanicznie sterowanych metalowych paneli, które umożliwiają kontrolę dostępu światła dziennego do wnętrza budynku. Nouvel, w niezwykle współczesny i inteligentny sposób, czerpie z tradycyjnej arabskiej ornamentyki, prezentując ją w bardzo współczesny i zaskakujący sposób. Mimo bardzo nowoczesnego charakteru obiekt pozostaje tradycyjny w odbiorze, pięknie wpisując się w dziedzictwo arabskiej architektury. Ruch, który jest widoczny na zewnątrz budynku, wpływa również





na odbiór jego wnętrza. Przestrzeń uzyskana dzięki wdrożeniu mechanizmów kinematycznych ulega ciągłym zmianom, przełamując tradycyjne postrzeganie architektury jako formy statycznej.

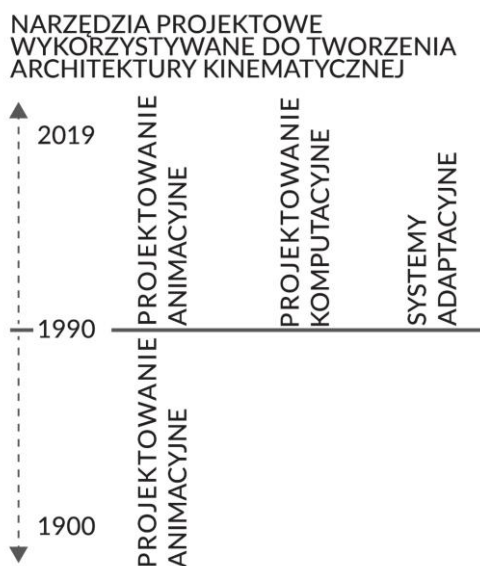
### 3. KAMIENIE MIŁOWE W ARCHITEKTURZE KINEMATYCZNEJ

Należy stwierdzić, że wraz z rozwojem technologii i narzędzi projektowych, architektura kinematyczna proponuje nowe formy estetyki związane z ruchem. Tworzenie i przedstawianie piękna było jednym z zadań architektury od tysięcy lat. Szukając powiązań między starożytnością a nowoczesnością, Le Corbusier napisał: *Architekt, poprzez układ form tworzy porządek będący czystym wytworem jego umysłu: poprzez formy dociera do naszych zmysłów, budząc plastyczne emocje; tworzone przez niego relacje wywołują w nas głęboki oddźwięk, przekazuje miarę porządku zestrojonego z porządkiem świata, wpływa na ruch naszego serca i umysłu; to wtedy doświadczamy piękna.* [4]

Lata dziewięćdziesiąte XX wieku stanowią przełom w dziedzinie architektury. Wraz z upadkiem żelaznej kurtyny, rewolucją w Europie Środkowej, cyfryzacją pracy architekta, dostępem do Internetu, architektura zaczyna się rozwijać bardzo podobny sposób na całym świecie. Europejscy architekci zyskują uznanie w Stanach Zjednoczonych i Chinach. Ten czas to także zmiana w technikach projektowania. Dzieje się tak między innymi za sprawą pojawienia się na rynku programu do trójwymiarowego modelowania firmy Discreet pod nazwą 3D Studio, znanego obecnie jako 3ds Max. Już w 1993 roku firma została włączona do struktur firmy Autodesk, jednego z liderów rynku oprogramowania komputerowego stosowanego w projektowaniu. Dzięki temu w kolejnych latach 3D Studio staje się jednym z jej flagowych produktów. Ta zmiana sprawia, że komputer przestaje być traktowany jedynie jako cyfrowa tablica kreślarska i zaczyna być czymś więcej. Niemal w tym samym czasie, w 1992 roku, powstał program Rhinoceros 3d. Początkowo funkcjonował on jako dodatek do Autodesk AutoCAD, ale bardzo szybko stało się niezależnym oprogramowaniem do projektowania i tworzenia zaawansowanych modeli trójwymiarowych. Tym samym rok 1990 zostanie przyjęty jako umowna granica między tradycyjną architekturą kinematyczną, a zaawansowanymi projektami dynamicznych struktur przestrzennych. Powyższa zmiana była bardzo widoczna w ostatnim dziesięcioleciu XX wieku, jak napisał w 2003 roku Branko Kolarevic: *Technologie cyfrowe zmieniają projektowanie architektoniczne w sposób, który niewielu zdołało przewidzieć zaledwie dziesięć lat temu. [...] Cyfrowe procesy projektowe, charakteryzujące się dynamicznym, otwartym, nieprzewidywalnym, ale spójnym przekształceniem struktur trójwymiarowych, dając tym samym początek nowym możliwościom architektonicznym.* [8].

Obecnie praktycznie każdy typ projektu uwzględniającego ruch w znacznym stopniu wykorzystuje możliwości oferowane przez dostępne powszechnie narzędzia do projektowania. Pojawienie się nowych wyzwań związanych z dostępem do nowych narzędzi i materiałów projektowych podkreśla wielu architektów. Lynn, Gage, Nielson i Rappaport piszą: *W ostatnich latach oprogramowanie i szybkie prototypowanie umożliwiły projektantowi płynne przejście między światem wirtualnym a fizycznym. Jednak nasze cyfrowe marzenia mogą szybko stać się prawdziwymi koszmarami, jeśli nie będą traktowane ostrożnie i poważnie. Dzisiejsze projektowanie wymaga nauki nowego formalnego języka, doskonalenia nowych narzędzi i ich łączenia z wielką uwagą.* [10]. Powyższe stwierdzenie dotyczy również architektury kinematycznej. Aby osiągnąć pożądane efekty, we współczesnej architekturze kinematycznej stosowane są konkretne techniki i narzędzia projektowe. Możemy je podzielić na trzy grupy. Pierwsza opiera się na wykorzystaniu fizycznie stworzonych modeli, szkiców przedstawiających różne fazy ruchu lub modelu komputerowego, które podlegają późniejszej prostej animacji. Druga polega na wykorzystaniu komputacji w postaci parametrycznych lub generatywnych technik projektowania, w celu stworzenia bardziej złożonych modeli ruchu. Trzecia opiera się na wykorzystaniu inteligentnych systemów adaptacyjnych opartych na różnych typach czujników i mapeerów, które pozwalają na projektowanie złożonych form adaptacyjnych. (Ryc. 2)





Ryc. 2. Narzędzia projektowe wykorzystywane do tworzenia architektury kinetycznej – oś czasu, Źródło: Jan Cudzik, 2019

#### 4. WSPÓŁCZESNA ARCHITEKTURA KINEMATYCZNA

Po wprowadzeniu nowych narzędzi cyfrowych kinematyka w architekturze stała się bardziej złożona. Ruch zastosowany do struktur stał się wielowarstwowy i zróżnicowany. Przestał być jedynie imitacją natury, a stał się próbą odpowiedzi na jej działanie. Tak było w przypadku formy zaprojektowanej przez Hoberman Associates, która służyła jako podium do dekoracji medalistów podczas Zimowych Igrzysk Olimpijskich w roku 2002 w Salt Lake City (Ryc. 3). Miejsce, w którym znajduje się obiekt, znane jest z bardzo silnych wiatrów, które praktycznie uniemożliwiają umieszczenie tam tradycyjnego budynku. Architekci zamiast typowej ściany stanowiącej tło dla ceremonii dekoracji, stworzyli ruchomą powierzchnię, która może się otworzyć i przepuścić wiatr.[13] Dzięki zastosowaniu wielowymiarowego ruchu nieregularnych paneli uzyskano zróżnicowaną przestrzenną formę, z możliwością ograniczenia powierzchni paneli i w konsekwencji zmniejszenia wpływu wiatru. Ruch został połączony z systemem wielobarwnego oświetlenia opartego na systemach oświetlenia LED, który uczynił obiekt bardziej zróżnicowanym i dynamicznym.

W tym kontekście należy również zwrócić uwagę na obiekty, w których łączy się eksperymenty topograficzne i projekcje multimedialne. Takie fasady są tworzone między innymi przez Asifa Kahna, londyńskiego architekta, który został poproszony przez rosyjską firmę telekomunikacyjną, aby stworzyć strukturę kinematyczną, prezentującą wszystkich odwiedzających wystawę ludzi. Architekt w odpowiedzi zaproponował fasadę przedstawiającą ludzkie twarze w postaci trójwymiarowych form. Elewacja składała się z jedenastu tysięcy siłowników na końcach, których umieszczono ekrany LED. Forma miała osiem metrów wysokości i mogła wyświetlać trzy twarze jednocześnie, zakres ruchu siłowników wynosił 2,4 metra. Twarze wyświetlane na fasadzie zmieniały się co minutę i były opierane na skanach trójwymiarowych wykonanych w specjalnie do tego celu stworzonych kabinach. Proces był całkowicie automatyczny.

Oryginalne efekty przestrzenne związane z ruchem można uzyskać również poprzez zmianę osi obrotu. Przykładem takiego rozwiązania jest fasada zaprojektowana w roku 2010 przez ABI (Hobermann Associates + Buro Happold) i Zahner. Projekt jest przykładem ruchomej powierzchni wykonanej ze stali i szkła, która reaguje na czynniki ze-

wnętrzne. Wiele elementów fasady jest obracanych wokół różnych osi prostopadłych do jej powierzchni. Dzięki temu tworzone są nowe wzory i układy. Jest to pierwszy na świecie projekt fasady oparty na opatentowanej technologii Tessellate. Pomysł na projekt fasady został zainspirowany działalnością głównego użytkownika tego obiektu, czyli Simons Center for Geometry & Physics. Architekci w swojej koncepcji byli w stanie pokazać potencjał geometrii w celu stworzenia przestrzennie złożonych struktur składających się z prostych elementów. W projekcie każdy z paneli może funkcjonować niezależnie lub cała fasada może tworzyć skomplikowane symulacje pokazujące dowolne wzory geometryczne.[11] Wizualnie można tu doszukiwać się wielu podobieństw do klasycznej już fasady Jeana Nouvela z 1987 roku, stworzonej na potrzeby Instytutu Świata Arabskiego w Paryżu.

Jedne z najbardziej innowacyjnych badań z dziedziny rozwiązań kinematycznych prowadzonymi na ETH są związane ze zjawiskiem fototropii, czyli kierunku wzrostu wyznaczonego przez kierunek padającego światła. Ich głównym inicjatorem jest Manuel Kretzer, twórca struktury Phototropia, łączącej w sobie elektroaktywne polimery nadrukowane na ekrany, wyświetlacze elektroluminescencyjne, ekologiczny bioplastik oraz ogniwa słoneczne wykorzystujące światłoczułe barwniki. Badany obiekt produkuje całą niezbędną do swojego funkcjonowania energię ze światła słonecznego oraz odpowiada w czasie rzeczywistym na obecność użytkownika poprzez ruch oraz iluminację. W projekcie zastosowano innowacyjne panele stanowiące zadaszenie, które może podążać za promieniami słonecznymi zmieniając tym samym wygląd formy i zwiększając ilość pozyskanej energii. Jest to doskonały przykład zmian, jakie zachodzą w współczesnej architekturze dzięki wprowadzaniu kinematyzmu.

## 5. PODSUMOWANIE

Ruch od zawsze był ważnym elementem architektury. Jego forma i funkcja zmieniły się wraz z ewolucją dyscypliny, ujawniając coraz to nowe możliwości. Jednak dopiero od pierwszej połowy XX wieku możemy mówić o architekturze kinematycznej, jako dziedzinie badań i nowym kierunku projektowania. W pracy przyjęto, że rok 1990 wyznacza moment przełomowy, od którego zaczyna się kolejna ważna faza rozwoju architektury kinematycznej. Jest to związane z pojawieniem się nowego rodzaju rozwiązań formalnych i przestrzennych w architekturze wykorzystującej ruch oraz nowych narzędzi projektowych. Do końca lat 80. XX wieku zrealizowane koncepcje w zdecydowanej większości ograniczały się jedynie do prostych form ruchu, takich jak przesuwanie, obrót i wysuwanie. Zaobserwowano również, że obecnie architekci nie rezygnują z implementacji form ruchu występujących już wcześniej, ale dodatkowo wypracowują nowe bardziej złożone formy ruchu.

Osiągnięcie nowych rozwiązań przestrzennych jest ściśle związane z stosowanymi narzędziami projektowymi. Narzędzia stosowane w projektowaniu architektury kinematycznej możemy podzielić na trzy główne grupy. Pierwszym z nich są proste narzędzia do projektowania animacyjnego, które umożliwiają jedynie projektowanie oparte na prostej symulacji. Zastosowanie tego typu rozwiązania pozwala na tworzenie obiektów charakteryzujących się jednowymiarowym, a jednocześnie powtarzalnym sposobem przemieszczania obiektu lub jego elementu. Natomiast złożone programy projektowe oparte na zasadach projektowania komputacyjnego mogą być zastosowane do tworzenia obiektów kinematycznych charakteryzujących się bardziej rozbudowanymi formami ruchu. Z kolei zastosowanie inteligentnych systemów adaptacyjnych sprawia, że ruch jest jeszcze bardziej zróżnicowany i mniej powtarzalny. Wynika to z faktu, ruch jest w tym przypadku reakcją na impulsy środowiskowe, które są w dużej mierze nieprzewidywalne i nie są bezpośrednio określone przez architekta. Zróżnicowanie i rozwój narzędzi pozwala na tworzenie coraz to nowych form ruchu w architekturze.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Asefi M., *Transformable and Kinetic Architectural Structures: Design, Evaluation and Application to Intelligent Architecture*, Berlin, 2010, pp. 241-243.
- [2] Bullivant L., *Responsive Environment, Architecture Art and Design*, London, V&A Publications, 2006.
- [3] Carton S., *Hoberman Arch*, Salt Lake, 2003 [available on the internet: 20.05.2019 <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=849431>].
- [4] Le Corbusier, *Towards A new architecture*, London, J. Rodker, 1931, p. 34.
- [5] Cudzik J., *Ruch w Architekturze*, Gdańsk, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2017, pp. 44-45.
- [6] Fox M., *Interactive architecture*, New York Princeton Architectural Press, 2016.
- [7] Harrison Ch., Wood P., *Art. In theory 1900-2000, An Anthology of Changing Ideas*, Malden, Blackwell Publishing, 2003, p. 1097, 689-692.
- [8] Kolarevic B. et al, *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, London and New York, Routledge, 2016, p. 3.
- [9] Kronenburg R., *Flexible, Architecture that responds to change*, London, Laurence King Publishing, 2007.
- [10] Lynn G., Gage M. F., Nielson S., Rappaport N., *Composites, Surfaces, and Software: High Performance Architecture*, New Haven, Yale School of Architecture, 2010, s. 104.
- [11] Moloney J., *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, London, Routledge, 2011.
- [12] Moloney J., *A morphology of pattern for kinetic facades*, In: T. Tidafi and T. Dorta (eds) *Joining Languages, Cultures and Visions: CAADFutures 2009*, PUM, 2009, pp. 200-213.
- [13] Schumacher M., Schaeffer O., Michael-Marcus V., *Move. Architecture in motion*, Basel, Birkhauser Verlag, 2010, p. 222.
- [14] Soha F., *Design Methodology KineticArchitecture*, Alexandria, 2012 [available on the internet: 03.06.2019 [https://www.academia.edu/4485555/Design\\_Methodology\\_Kinetic\\_Architecture](https://www.academia.edu/4485555/Design_Methodology_Kinetic_Architecture)].
- [15] Zijlstra H., *Rietveld originals- handle with care*, Delft, 2009 [available on the internet: 20.05.2019 <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5e74603a-525f-46c2-96d4-a5d9e88c89dd?collection=research>].
- [16] Zuk W., Clark R.H., *Kinetic architecture*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1970, p. 154.

## AUTHOR'S NOTE

**Jan Cudzik** (Architect, PhD.) is an a lecturer and researcher in the Department of Urban Architecture and Waterscapes at the Faculty of Architecture, Gdańsk University of Technology. Currently conducts research on, among other things kinematic architecture, digital techniques in architectural design, digital fabrication, forms of artificial intelligence in architecture and art. As part of the research activities he is preparing architectural installations and shows his achievements in the form of exhibition, including, among others: Generative system based on digital analysis of the life cycle of a group of objects as part of the Summer School, Parametric large-scale installation with the use of digital fabrication and 3dprinting and exhibition between the digital and material world.

## O AUTORZE

**Jan Cudzik (dr inż. arch.)** jest adiunktem w Katedrze Architektury Miasta i Przestrzeni Nadwodnych oraz Kierownikiem Pracowni Cyfrowej Fabrykacji. Obecnie prowadzi badania naukowe dotyczące między innymi architektury kinematycznej, cyfrowych technik wspomagających projektowanie architektoniczne, cyfrowej fabrykacji, form sztucznej inteligencji w architekturze i sztuce.

Contact | Kontakt: [jan.cudzik@pg.edu.pl](mailto:jan.cudzik@pg.edu.pl)

