

dr inż. arch.
Alicja Maciejko

Inspiracje w architekturze

Część 6. Geometria

Geometria to fundamentalna zasada architektury. Bez wiedzy geometrycznej sztuka budowania, a także przedstawianie koncepcji rysunkowych i rysunków warsztatowych nie byłyby możliwe.

Stosą geometrii jest logiczne uporządkowanie wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi elementami. Zasadę logicznej organizacji przenosi się intuicyjnie do budownictwa od samego początku: z jednej strony poprzez techniczną konieczność upraszczania procesów budowlanych i poddania ich dyscyplinie działania sił statycznych, które pozostają w bardzo ścisłym związku z zasadami geometrii, z drugiej strony – poprzez nadanie jej wartości artystycznych, symbolicznych i niemal mistycznych. W geometrii szuka się odniesień do budowy fizycznej wszechświata, człowieka, a także do regularności procesów. To, co wydawało się intuicyjnymi, abstrakcyjnymi, matematycznymi i logicznymi wytworami przypisywanymi sile ludzkiego umysłu w celu „idealnego” porządkowania przestrzeni w skali człowieka, odkryto jako zasady przyrody we wszystkich skalach, od atomu do kosmosu. Dlatego tak wiele rozwiązań czysto geometrycznych często utożsamia się też z budową form naturalnych. Odkrywa się tu wiele korelacji. To fascynujące i inspirujące dla wielu twórców. Skłonność do geometryzacji przestrzeni nazwał Juliusz Żórawski jedną z podstawowych zasad budowania form (Żórawski, 1973).

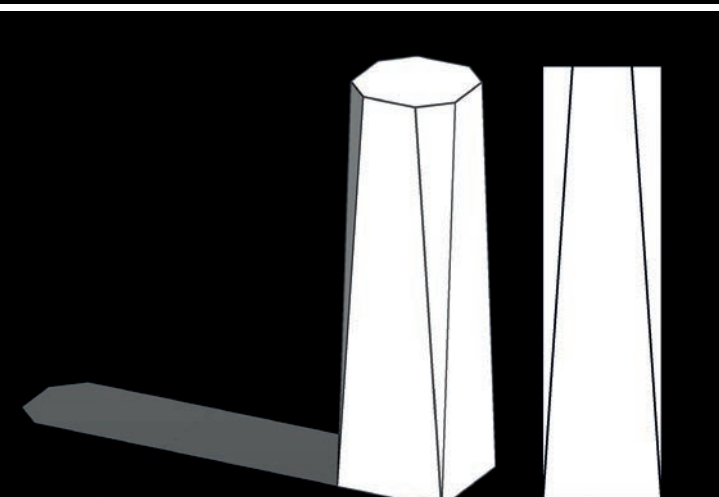
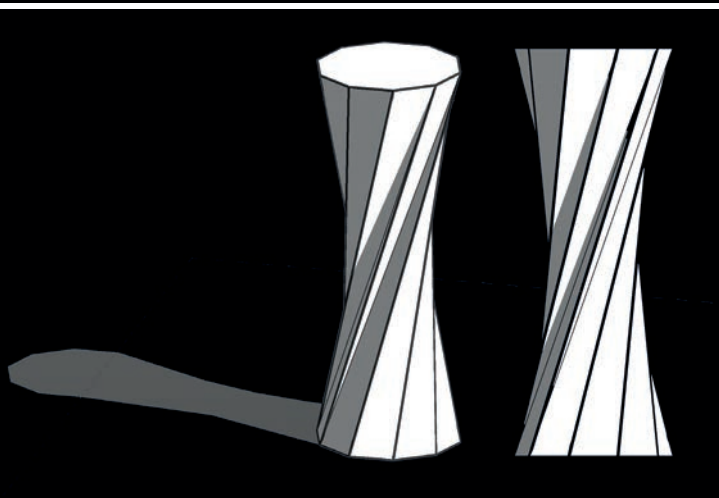
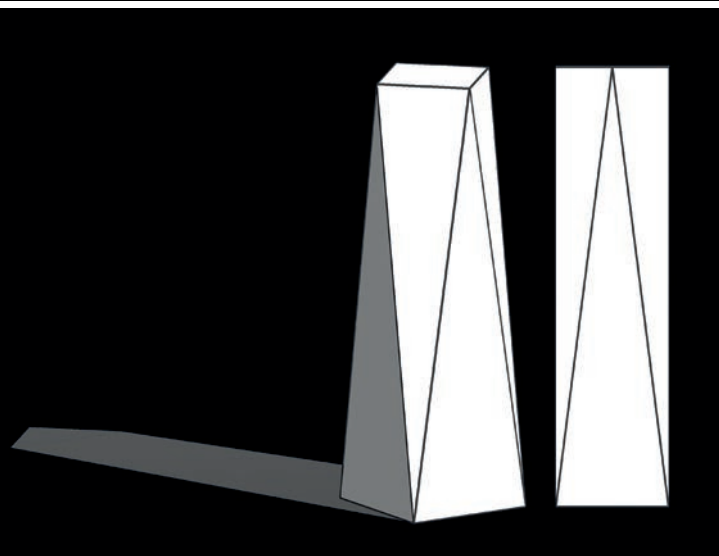
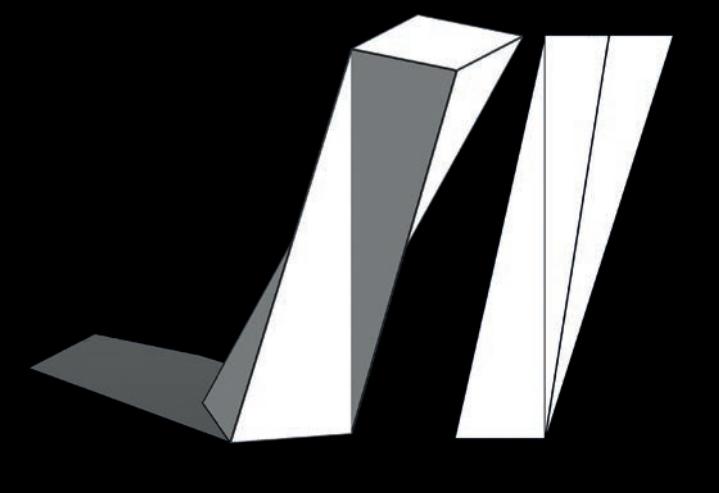
Rozwiązania cyfrowe a tradycyjne metody kreśleń

Geometria, kojarzona wspólnie jako przedmiot akademicki wykładany na uczelniach technicznych, służy do odwzorowania przestrzeni trójwymiarowej na płaszczyznę rysunku i ma wymiar praktyczny. Jest ona jednak również nieocenionym narzędziem służącym do komunikowania i konkretyzacji idei oraz formy w fazie koncepcyjnej, także w zakresie najbardziej niezwykłych, innowacyjnych i skomplikowanych brył. Każdą przestrzeń można rozpatrywać jako kompozycję elementów przestrzennych pozostających we wzajemnych relacjach, także ze względu na budowę konstrukcyjną. Znajomość geometrii ma wpływ na generowanie nowych form i systemów konstrukcyjnych poprzez transformacje rozwiązań występujących w przyrodzie oraz poprzez kreowanie form opartych na matematycznych, abstrakcyjnych oraz swobodnych zależnościach przestrzennych niemających swojego pierwotnego wzoru. Współczesne obiekty architektoniczne i systemy konstrukcyjne operują formami i konstrukcjami opartymi na skomplikowanych operacjach przestrzennych, które nie mogą zostać „wykreślone” tradycyjny-

mi metodami. Nie są to już formy liniowe (w statyce – płaskie układy statycznie wyznaczalne), lecz twory przestrzenne oparte na geometrii krzywizn, które oblicza się za pomocą programów komputerowych. Powstają one jako modele wirtualne, które można dowolnie przekształcać w czasie rzeczywistym, często posługując się jedynie intuicją, gestem i wycuciem proporcji. Projektant jest w tym przypadku realnym „dawcą form”. Przy czym nawet po radykalnym zdeformowaniu obiektów, takich jak figury geometryczne, bryły i obiekty o większej liczbie wymiarów, nie następuje ich rozerwanie i ponowne zlepianie różnych części, mimo że bryła posiada inny kształt. Proces deformacji najłatwiej wyobrazić sobie, przyjmując, że obiekt wykonano z gumy lub plasteliny. Przykładem takiej deformacji jest wstęga Möbiusa. Dostęp do zaawansowanych cyfrowych narzędzi projektowania dał możliwość tworzenia i modyfikacji unikatowej, złożonej, krzywoliniowej, pofałdowanej geometrii. Współcześnie architekci zainspirowani geometrią topologiczną poszukują nowych form, badają wcześniej niedostępne, abstrakcyjne i złożone powierzchnie zakrzywione. Jest to możliwe dzięki metodom projektowania parametrycznego, w których model

reaguje na zmiany automatycznie według wcześniej określonego algorytmu. Geometria może być modyfikowana w czasie rzeczywistym. Tak było na przykład w przypadku Muzeum Mercedes Benz projektu UN Studio. Projekt sam reagował na zmiany i dostosowywał się do zmieniających się wartości parametrów. W przeciwieństwie do tradycyjnych rysunków nie trzeba określać poszczególnych elementów budynku, ale zdefiniować rodzinę czy typ oraz zestaw parametrów nimi rządzących. Geometria opiera się na określonych relacjach matematycznych, takich jak odległości, kąty, skala jednego lub grupy elementów względem innej. Dyskutuje się tu jednak problem estetyki projektów architektonicznych. Czy formę da się zaprojektować za pomocą algorytmów, formuł matematycznych i zależności geometrycznych?

Geometria ma olbrzymi udział w poszukiwaniach twórczych, ponieważ oferuje niemal nieograniczoną gamę przekształceń, dzięki którym kreowane są nowe formy z elementów płaszczyzn, a także tworzone nowe wzory, podziały i perforacje rytmiczne i ornamentowe na tych płaszczyznach, jak też struktury szkieletowe wykorzystywane w systemach konstrukcyjnych. Nowe formy uzyskuje się też po-



przez geometryczne przekształcenia, obroty, odbicia i wyciągania. Jednak u podstaw geometrii znajdują się podstawowe formy – figury płaskie i formy przestrzenne, bryły. Te najprostsze płaskie „elementy idealne” stanowią bazę dla kolejnych poszukiwań wynikających z rytmów i przekształceń kształtów podstawowych – kwadratu, prostokąta, okręgu, trójkąta i wielokąta – w układy złożone. Ma to odbicie zarówno w planach miast, planach budowlu, jak i w podziałach elewacji, konstrukcjach, kształtowaniu brył oraz płaszczyzn. Bryły geometryczne są także wykorzystywane jako „czyste” rozwiązania dla całych obiektów, czego najbardziej popularnymi przykładami są prostopadłościowe „pułta”: kopuła i piramida, walec dla budynków wysokich. Do ustrojów konstrukcyjnych chętnie wykorzystuje się też bryły wielościanów foremnych, np. do konstruowania kopuł geodezyjnych.

Dzieje geometrii

Współczesna geometria wykreślna wywodzi się z geometrii euklidesowej i jest oparta na układzie kartezjańskim. Spisane przez Euklidesa definicje, prawa oraz pojęcia geometryczne (podręcznik pt. „Elementy”, który przez stulecia stanowił podręczną księgę każdego poważnego matematyka do dziś jest jedną z najczęściej tłumaczonych ksiąg świata) były źródłem i inspiracją do tworzenia coraz to nowych odmian geometrii. Podwaliny współczesnej geometrii wykreślniej stworzyli w XV i XVI wieku sławni malarze Odrodzenia włoskiego i jednocześnie autorzy opracowań teoretycznych dotyczących perspektywy: Leon Battista Alberti, Piero della Francesca, Leonardo da Vinci i Albert Dürer. Klasyczna geometria bada zależności skomplikowanych struktur, mając do dyspozycji elementy podstawowe, takie jak punkt, prosta i płaszczyzna (geometria trójwymiarowa euklidesowa). Związki między elementami podstawowymi opisują tzw. aksjomaty geometrii euklidesowej klasycznej, przyjmującej warunek równoległości (w uproszczeniu: proste równoległe należące do jednej płaszczyzny nie przecinają się). Dla współczesnych poszukiwań geometria klasyczna nie jest jednak wystarczająca, konieczne staje się zerwanie z geometrią euklidesową, która nie jest w stanie sprostać opisowi form swobodnych, zwłaszcza że znane są inne odmiany geometrii, tj. geometria sferyczna (dwie proste należące do płaszczyzny przecinają się), geometria hiperboliczna (przez punkt przechodzą dwie proste równoległe do tej prostej) oraz geometria fraktalna. Geometria sferyczna, nazywana też eliptyczną, to dwuwymiarowa geometria metryczna, w której wszystkie proste są liniami zamkniętymi o skończonej długości, a dwa różne punkty można połączyć dwoma odcinkami. Do klasycznych konstrukcji o geometrii sferycznej należą oczywiście kopuły poczynając od rzymskiego Panteonu, ale współcześnie istnieje już wiele budynków o formach muszli, pocisków, ogórków, fasolek, orzechów, jaj o różnorodnych układach strukturalnych, bazujących na podwójnej krzywiznie, które cechują się także wysoką efektywnością konstrukcyjną. Geometrię hiperboliczną, zwaną też geometrią siódła lub obrazowo wklęsło-wypukłą, otrzymuje się z geometrii euklidesowej poprzez zastąpienie aksjomatu o równoległości postulatem mówiącym, że przez dowolny punkt przechodzą co najmniej dwie różne proste niemające wspólnych punktów z tą prostą. Geometrię hiperboliczną stosowali konstruktorzy i architekci XX wieku: M. Nowicki, F. Candela, P. L. Nervi, E. Saarinen, O. Niemeyer i inni. Geometria fraktalna została opisana przez matematyka Mandelbrota w 1975 roku. Nowa teoria pozwoliła na opisanie konstrukcji geometrycznych o nieregularnej budowie, które były traktowane do tej pory jako przypadki nieopisywalne. To, co wydawało się wyjątkiem w matematyce, okazało się regułą świata przyrody. Fraktale to obiekty samopodobne, które wykazują się podobną organizacją na każdym poziomie budowy. Oznacza to, że każda część fraktala ma budowę przypominającą całość powtarzaną nieskończenie wiele razy. Przykładem takich struktur są rośliny takie jak kalafiori, brokuły i drzewa, a do najbardziej znanych geometrii fraktalnych należą



krzywa Kocha, krzywa Gilberta, trójkąt Sierpińskiego. Konstrukcje fraktalne są wykorzystywane w architekturze zarówno do podziału płaszczyzn, jak też w celu kreowania swobodnych elementów konstrukcyjnych, np. rozgałęziających się kratownicowych konstrukcji słupów podporowych na kształt drzew, gałęzi lub liści. Innym przykładem morfologicznych brył opartych na ciekawej geometrii, a zarazem niezwyklej statyce, są lekkie struktury tensegrity (tensional integrity = integrujące rozwiązanie) stosowane do przekryć, a także konstrukcji samodzielnych, jak np. anteny, przyrządy kosmiczne. Struktury te także są obecne w naturze (szkielety roślin), ale istota organizacji geometrycznej jednocześnie poszukująca równowagi w harmonii pomiędzy ścisłaniem a rozciąganiem została odkryta w połowie XX wieku. Struktury tensegrity zbudowane są z prętów, których końce połączono siecią cięgien. Struktury te były badane m.in. przez twórcę kopuł geodezyjnych, B. Fullera. (Bieniek 2012).

Piękno, rytm i harmonia

Choć geometria jest językiem form, organizacji przestrzennej, skomplikowanych tworów i złożań materialnych oraz wyobrażeniowych, a także językiem urbanistyki, to również nierozzerwalnie łączy się z wyrażaniem piękna i symboliki budowli. Jest używana do wyznaczenia modułu konstrukcyjnego, funkcjonalnego (plan) oraz modułu antropometrycznego (kanony starożytnego Egiptu, A. Durer, L. da Vinci, „Modulor” Le Corbusiera). Z geometrią wiążą się pojęcia rytmu, proporcji, harmonii, symetrii. Rozwiązania oparte na spójnej geometrii były od zawsze uznawane za piękne. Harmonia związana jest z proporcjami odnoszącymi się do geometrycznych zależności. Najbardziej znany jest złoty podział (*sectio aurea*) odcinka na dwie części, których długości są względem siebie w proporcji harmonicznej $[A:B = B:(A+B)]$ oraz ciąg Fibonacciego $[1,1,2,3,5,8,13]$. Od

starożytności geometria uważana za podstawową z nauk łączyła się z matematyką, astronomią i filozofią, poszukiwaniem porządku świata. Jak choćby u Platona, który odkryte przez siebie wielościany foremne, tzw. bryły platońskie, utożsamiał z obrazem wszechświata (ogień – czworościan, ziemia – sześciąt, powietrze – ośmiościan, woda – dwudziestościan). Później, po odkryciu dwunastościanu foremnego uznano go za symbol całego wszechświata. Platon w swoich poszukiwaniach skupiał się na stereometrii, czyli geometrii trójwymiarowej, dzięki czemu wniósł istotny wkład do geometrii helleńskiej, a o tym, że był nią zafascynowany, świadczy napis umieszczony nad wejściem do swojej Akademii: *Ἄγεωμέτρητος μηδεὶς εἰσὶτω* (*Niech nie wchodzi tu nikt nieobeznany z geometrią*).

Rysunek trójwymiarowy na stałe zmienił oblicze architektury, pozwalając na wyzwolenie licznych twórczych wizji, idei i wyobrażeń, które niekiedy nie musiały zostać zrealizowane.

Geometria jest także językiem rysunku zarówno technicznego, jak i perspektywicznego, wyobrażeniowego. Wynalezienie iluzji głębi, czyli zastosowanie perspektywy, było przełomowe dla rysunku architektonicznego. Rysunek trójwymiarowy na stałe zmienił oblicze architektury, pozwalając na wyzwolenie licznych twórczych wizji, idei i wyobrażeń, które niekiedy nie musiały zostać zrealizowane. Obecnie jest on kontynuowany w postaci wirtualnych wizualizacji imitujących fotorealistycznie obiekty architektoniczne oraz w kreatywnych wizjach architektury przyszłości. Co ciekawe, u starożytnych Greków nie istniała potrzeba przedstawić realistycznych, ponieważ sztuka

i przestrzeń były utożsamiane z wyższym porządkiem, a iluzja widzenia uznawana była za defekt oka.

Nauka akademicka

We współczesnej edukacji akademickiej dominuje nauczanie geometrii odwzorowań obiektów trójwymiarowych na płaszczyźnie rysunku (rzutowanie), które dzieli się na rzutowanie metodą Monge'a, aksonometrię oraz perspektywę i ma za zadanie wyrobienie rysunkowych umiejętności praktycznych. W Europie geometria była wykładana już na średniowiecznych uniwersytetach w ramach tzw. siedmiu sztuk wyzwolonych, kursu wyższego – quadrivium, na który składały się geometria, arytmetyka, astronomia i muzyka. O geometrii pisał także Witruwiusz w najstarszym dziele o architekturze, Do kształtowania symetrii niezbędne są geometryczne prawa i metody.

Geometria jako sztuka praktyczna używana była do wykonywania podziału ziemi już w starożytnym Egipcie, na bardzo czytelnych zasadach geometrycznych oparto plany świątyń antycznych budowli, starożytni operowali znajomością symetrii, a plany miast wiązały się z zastosowaniem siatki ortogonalnej, która do dziś dominuje w rozwiązaniach architektonicznych pomimo rozwoju tzw. form organicznych.

Formy geometryczne w architekturze najbardziej ogólnie można podzielić na płaskie i przestrzenne. Formy płaskie są niejako dopełnieniem elementów przestrzennych i występują w podziałach posadzek, a także w malowidłach jako ornamenty, desenie, rozety. Współcześnie wprowadza się je jako elementy podziału nowoczesnych fasad i mobilnych osłon. Formy przestrzenne mają bardzo bogatą typologię, od wielościanów po torusy. Ornamenty, rozety to desenie polegające na przesunięciach równoległych (proste rytmy, szlaki) lub na powtarzaniu motywu poprzez przesunięcia równoległe w co najmniej dwu nierównole-

głych kierunkach lub poprzez obroty o różnorodne kąty. Schematy działań, takie jak przesunięcia, odbicia i obroty, stały się inspiracją dla wielu projektów. Pierwowzorem niektórych inspiracji architektonicznych stały się wycinanki, które także są ornamentem geometrycznym. Bryły przestrzenne dzieli się na wielościany, bryły obrotowe i powierzchnie. Wśród wielościanów wyróżniamy wielościany foremne (bryły platońskie), wielościany półforemne (bryły Archimedesa), pryzmatoidy (m.in. ostrosłupy, graniastopy, ośmiościan foremny), wielościany gwiazdiste (wielościany Keplera-Poinso-ta). Do brył obrotowych zalicza się kulę, elipsoidę, torusoidę obrotową o przekroju w kształcie okręgu lub elipsy. Do powierzchni należą powierzchnie prostokątne (powierzchnie Catalana, powierzchnie stożkowe, powierzchnie walcowe), powierzchnie krzywoliniowe o stałej tworzącej (powierzchnie obrotowe, powierzchnie torusoidalne, powierzchnie translacyjne), powierzchnie krzywoliniowe o zmiennej tworzącej (powierzchnie klinowe, powierzchnie paraboliczne eliptyczne, powierzchnie minimalne). Powierzchnie są wykorzystywane do projektowania sklepień na bazie sfery lub powierzchni walcowych. Są to koida, paraboloida hiperboliczna, powierzchnia konusoidalna, hiperboloida jednopowłokowa (klasyfikacja według Farida Nassery).

Geometria jest językiem statyki. Kształtowanie układów konstrukcyjnych wyczerpało już niemal wszelkie możliwości geometrycznych przekształceń. Z geometrią łączą się dynamiczne ekspresyjne struktury konstrukcyjne, gdzie osie dźwigarów prowadzone są po osiach geometrycznych. Obiekty statycznie wyznaczalne podporządkowane zostają reżimowi geometrii dystrybucji sił zarówno w układach płaskich, jak też przestrzennych, z których wiele bazuje na geometrii trójkąta. Jednak w wielu współczesnych formach pomimo wy-czuwalnej geometryzacji poja-

wiąją się rozwiązania niesza-
blonowe, niestandardowe. Co
za tym idzie, udaje się stworzyć
coś, co nigdy dotąd nie istnia-
ło, przestrzeń, która do tej po-
ry funkcjonowała jedynie w sfe-
rze wyobraźni. Niektóre rozwią-
zania nie mają odpowiedników
w naturze, ponieważ są wy-
nikiem intelektualnych i anali-
tycznych przetworzeń. To twór-
cze poszukiwania nowych form
oraz nadawanie układom kon-
strukcyjnym czytelnych i opty-
malnych zasad geometrycz-
nych. Jednak w wielu współ-
czesnych formach – pomimo
wyczuwalnej geometryzacji –
pojawiają się rozwiązania nie-
szablone, niestandardowe. U-
daje się stworzyć coś, co ni-
gdy dotąd nie istniało, prze-
strzeń, która do tej pory funk-
cjonowała wyłącznie w sferze
wyobraźni. Geometrię traktu-
je się jako schemat dystrybucji
sił i mocny środek wyrazu. Re-
guly opierają się na zastoso-

waniu stosunkowo prostych za-
leżności geometrycznych i or-
ganizacyjnych nawet w takich
układach przestrzennych, które
pozornie wyglądają na bar-
dzo skomplikowane. Geome-
trię stosowanych współcześnie
konstrukcji wiszących, odbiera-
nych jako nowatorskie i innowa-
cyjne, określają z reguły krzy-
wizny tylko dwóch płaszczyzn.
Formy obiektów określają przy-
jęte zasady geometryczne, spo-
soby łączenia elementów pod-
stawowych i dopełniających.
Współcześnie geometria jest
narzędziem świadomej anali-
tyczno-matematycznej kre-
acji, np. przepisywanej ze świa-
ta natury lub abstrakcyjnej, któ-
ra polega na dowolnych, tzw.
miękkich przekształceniach
na wzór swobodnego formo-
wania materiałów plastycz-
nych. Co za tym idzie, to nar-
zędzie nie tylko odwzorowy-
wania, ale też modelowania
rzeczywistości.

To jeszcze nie koniec poszukiwań

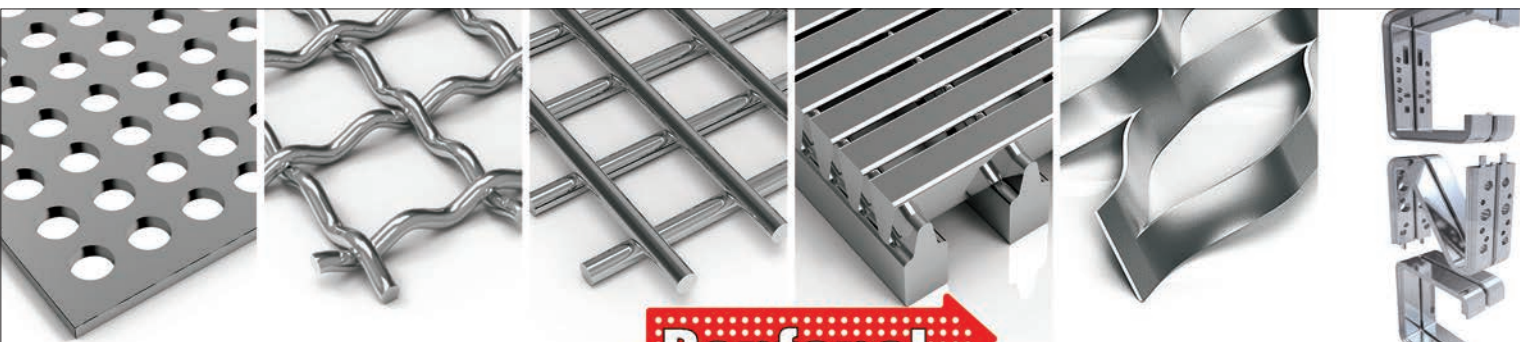
Bezspornie – geometria ins-
piruje. Jednak w architekturze,
podobnie jak w sztuce, twór-
czo pobudza także zaprzecze-
nie zasadom geometrii, a więc
brak porządku, chaotyczność
i przypadkowość zjawisk oraz
niejednoznaczna i nieciągła ich
obecność, pragnienie zanego-
wania „ortogonalnej koncepcji
rzeczywistości”. Krzysztof Ka-
litko proponuje nazwanie tego
zjawiska „postrzępieniem”. Po-
jęcie to najczęściej wykorzystu-
je się do opisu kształtu chmur,
nieregularnych form geome-
trycznych oraz chaotycznej dy-
namiki wszystkiego, co wymy-
ka się porządkowi i opisowi
geometrycznemu. Postrzępie-
nie pozwala na opis architek-
tury, podkreślając nieciągły cha-
rakter elementów formalnych,
a także odrzucenie liniowości,
geometrii jako podstaw projekt-
owych (Kalitko, 2005). Jed-

nak architektura w ostatecznym
kształcie jest materialna. Archi-
tekturę postrzępioną także trze-
ba będzie wyznaczyć, zaprojek-
tować i skonstruować, najpew-
niej z pomocą geometrii. Jakiej?

Literatura:

- Abel F. J., Mungan I.: IASS. *Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures*, 2011.
Bieniek Z.: *Tensegrity – integrujące rozciąganie w systemach architektonicznych*. Monografia nr 96/12, Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.
Nassery F.: *Formy geometryczne w architekturze współczesnej*. Biblioteka cyfrowa Politechniki Krakowskiej.
Kalitko K. *Architektura między materialnością i wirtualnością*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2005.
Korynek A., Moczowski J. Romaszkiwicz Białas T.: *Geometria wykreślna. Wybrane zagadnienia dla architektów*. Wrocław 2001.
Panofsky E.: *Perspektywa jako forma symboliczna*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego. Warszawa 2008.
Szparkowski Z.: *Zasady kształtowania przestrzeni i formy architektonicznej*. Wydawnictwo PW, Warszawa 1993.
Witruwiusz: *O architekturze ksiąg dzieścięć*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1956.
Żórawski J.: *O budowie formy architektonicznej*. Arkady, Warszawa 1973.

REKLAMA



NASZA OFERTA:

panele elewacyjne • blachy perforowane
siatki z drutu • siatki cięto-ciągnione • sita techniczne
sita szczelinowe - zgrzewane • konstrukcje stalowe
cięcie laserem • pełna obróbka metalu

PERFOPOL Sp. z o.o. • ul. Radomska 76, 27-200 Starachowice
tel.: (+48) 41 274 58 08, 276 71 44 • fax: (+48) 41 274 02 98 • e-mail: biuro@perfopol.pl

www.perfopol.pl