

## PROPOZYCJA KLASYFIKACJI KONSTRUKCJI KOPUŁOWYCH

### AN ATTEMPT TO THE CLASSIFICATION OF STRUCTURES OF DOMES

**Agnieszka Kornak**

Politechnika Wroclawska

Wydział Architektury

Zakład Kształtowania Środowiska

ul. Bolesława Prusa 53/55

50-317 Wrocław

e-mail: agnieszka.kornak@pwr.edu.pl

**Abstract:** This article is focused on considerations of taxonomic methodology of traditional historical design, and is a development of the article entitled "The geometry of domes." A basic parameter referred to in the analysis is the criterion of geometric complexity. On this basis every object was analyzed and classified according to the adopted category. The dimensions and construction material were also given. The practical use of the proposed method is illustrated in examples by the outstanding works of architecture such as: the Church of Santa Maria degli Angeli in Florence, the chapel of San Pietro in Montorio Basilica of St. Peter in Rome, the Church of Santa Maria della Consolazione at Todi, Il Redentore in Venice, Church of s. Ivo in Rome. Those selected objects are European provenience and come from the Renaissance and Baroque. According to the above parameters the table in which the individual structures were systematized was created. It aims to compare the changes taking place in the field of geometry, size and the way of constructing the objects. Analysis, which were made, lead to the obvious conclusion that each following geometric solution are is based on the existing achievements.

**Keywords:** dome, the criterion of geometric complexity, cross section, the base, the Renaissance, the Baroque.

#### Wprowadzenie

Kopułę najczęściej stosowano jako przekrycie pomieszczeń założonych jako centralne (wieloboczne, kwadratowe czy okrągłe). Często eksponowano je na zewnątrz, ale przede wszystkim stanowiły sklepienie o wertykalnej osi dla wnętrza [5].

To również jedne z najstarszych i najtrwalszych konstrukcji, niejednokrotnie stanowiły obiekty badań architektonicznych. Opisywano poszczególne obiekty, podając ich wiek, wymiary, geometrię, zastosowaną technologię. W niniejszym artykule, nawiązującym swoją tematyką do wcześniejszej pracy pt. „Geometria kopuł”, zaproponowano nieco odmienną klasyfikację, która pozwoli rozpatrywać kopuły o różnych formach w ramach tych samych kategorii. Ponadto pozwoli to usystematyzować konstrukcje tego typu, co może okazać się przydatne dla badaczy architektury. Jednak przez wzgląd na ograniczone ramy artykułu autorka skoncentrowała się wyłącznie na kwestiach formy i geometrii.

Obiekty, które wybrano do analizy powstały w okresie renesansu i baroku we Włoszech. Wszystkie te kopuły stanowią część przekrycia dachowego obiektów kultu - kościołów i kaplicy. Zdaniem autorki realizacje z tego zakresu, ze względu na ich różnorodność, najlepiej oddadzą sens przyjętej metodologii. Ponadto wybrano je również przez wzgląd na ich wartość estetyczną.

Prezentowane przykłady stwarzają możliwość przedstawienia stosunkowo szerokiego spektrum rozwiązań geometrycznych i formalnych dla konstrukcji kopuł. Istotnym faktem jest, że nie zostały tu przedstawione wszystkie możliwe typy rozwiązań. Autorka, na podstawie dostępnej literatury, skoncentrowała się na dziełach bardzo charakterystycznych, dobrze obrazujących przyjęte założenia. Aby w jasny i czytelny sposób przedstawić zastosowane kryteria systematyzowania, w dalszej części tekstu umieszczono tabelę porównującą rozwiązania konstrukcyjne ze względu na ich geometrię. Omówiono następujące realizacje: kościół Santa Maria degli Angeli we Florencji, rzymskie Tempietto - San Pietro in Montorio, bazylikę św. Piotra w Rzymie, kościół Santa Maria della Consolazione w Todi, kościół S. Ivo alla Sapienza w Rzymie, kościół Santa Maria della Salute w Wenecji.

#### Metodologia - kryteria

Do prowadzenia badań nad konstrukcjami przyjęto kryterium złożoności geometrycznej. Stanowi ono podstawę prowadzonych analiz i ma na celu pomóc zakwalifikować do danej kategorii wybrany obiekt. Jak wskazuje nazwa, rozważona została tu forma geometryczna struktury. Analizując plany, przekroje oraz widoki budowli można stwierdzić jaki kształt został nadany przez projektanta, zatem istotne stały się

podstawowe parametry, takie jak forma podstawy czy przekroju. Biorąc pod uwagę te elementy założone zostały dwa rodzaje takich struktur prosta i złożona. Prostą będzie taka, która zarówno po stronie wewnętrznej jak i zewnętrznej przybiera tożsamy kształt, złożoną natomiast - struktura prosta, która uległa przekształceniom. Ze względu na mnogość kopuł oraz ich kształtów nie jest to jednak podział wystarczający, a więc zaproponowano dodatkowo podzielić struktury złożone ze względu na rodzaj zastosowanego przekształcenia. W związku z tym przyjęto następujące typy:

- typ A – oznaczający multiplikację elementów,
- typ B – ukazujący wyraźną różnicę pomiędzy formą wewnętrzną i zewnętrzną.

Powyższy podział pozwala opisać wiele rodzajów kopuł w odmienny niż dotąd sposób. Struktury typu B pozwalają zaklasyfikować jako jeden dany typ obiektu o odmiennych kształtach geometrycznych, co z kolei pozwala spojrzeć na nowo na konstrukcje już dobrze znane. Z typu C, przedstawianego w artykule „Geometria kopuł” postanowiono zrezygnować ze względu na jego odmienny charakter (w porównaniu z pozostałymi kategoriami), dotyczący rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych niż geometrycznych. Wątek ten będzie rozwijany jako osobne kryterium, jednakże nie leży on w ramach tej pracy.

Przez wzgląd na różnorodność możliwości modyfikacji typu A, postanowiono wprowadzić dalszy podział dla rodzajów multiplikacji. Będą to następujące podtypy:

- a) stopnia 1: podstawowa - gdzie został powielony ten sam kształt o tych samych lub zbliżonych rozmiarach,
- b) stopnia 1: zmodyfikowana - w której powielony kształt pozostał taki sam, lecz został przeskalowany,
- c) stopnia 2 – gdzie następuje modyfikacja inna niż wymienione dla stopnia 1.

Przyjęte kryterium pozwala w stosunkowo łatwy sposób sklasyfikować większość znanych kopuł, a proponowany poniżej układ tabelaryczny obrazuje wyniki w czytelny sposób.

Ponadto w rozważaniach uwzględnia się także następujące aspekty: datowanie danego obiektu, wymiary obiektu, jak również rodzaj zastosowanego materiału.

### Porównanie rozwiązań konstrukcji kopuł

W zaprezentowanych tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz, których celem jest usystematyzowanie oraz porównanie różnych rodzajów konstrukcji kopułowych (pod względem ich geometrii).

Tab.1. Zestawienie rozwiązań konstrukcji włoskich kopuł renesansowych i barokowych ze względu na ich geometrię (podział główny uproszczony).

NAZWA OBIEKTU (DATA POWSTANIA)	PODSTAWA (WYMIAR)	PRZEKRÓJ	RODZAJ GEOMETRII [ZE WZGLĘDU NA KRYTERIUM ZŁOŻONOŚCI GEOMETRYCZNEJ]	MATERIAŁ [ZE WZGLĘDU NA KRYTERIUM KONSTRUKCYJNO- MATERIAŁOWE]
Santa Maria degli Angeli, Florenceja (1434 r.)	ośmiobok	półokrąg	złożona	kamień
San Pietro in Montorio (Tempietto), Rzym (1502 r.)	koło (15 m)	półokrąg	prosta	kamień
bazylika św. Piotra, Rzym (1506 r./1588-1590 r.)	koło (42 m duża kopuła, ok. 20 m małe)	półokrąg/latarnia	złożona	kamień, żelazne obrace, olów
Santa Maria della Consolazione, Todi (1508-1608 r.)	koło (15 m)	elipsa/ latarnia	złożona	kamień
Il Redentore, Wenecja (1577 r.)	koło (20 m)	półokrąg/latarnia	złożona	kamień
Sant'Ivo alla Sapienza, Rzym (ok. 1650 r.)	kopuła sześciokopułowa z naprzemiennie ułożonymi segmentami wklęsłymi i wypukłymi	półokrąg/latarnia	złożona	kamień

W obu tabelach przedstawiono wybrane dzieła architektoniczne i uszeregowano je w sposób chronologiczny. W tabeli 1 zestawiono przykłady według głównego, uproszczonego podziału, co pozwala szybko zorientować się w rodzaju zastosowanych materiałów i w geometrii kopuły, bez wdawania się w szczegóły. Wymienia się tutaj najważniejsze parametry, takie jak: geometrię podstawy i przekroju dla każdej kopuły, a także rodzaj

geometrii konstrukcji zgodnie z opisanym powyżej kryterium złożoności geometrycznej, jak również zastosowane materiały.

W tabeli 2 zawarto jedynie informacje dotyczące geometrii. Nie podawano tutaj materiałów, gdyż będą one uwzględnione w ramach kryterium konstrukcyjno-materiałowego. Ułożone w taki sposób obiekty można w łatwy i szybki sposób porównywać ze sobą.

Tab.2. Zestawienie rozwiązań konstrukcji włoskich kopuł renesansowych i barokowych ze względu na ich geometrię (podział główny uproszczony).

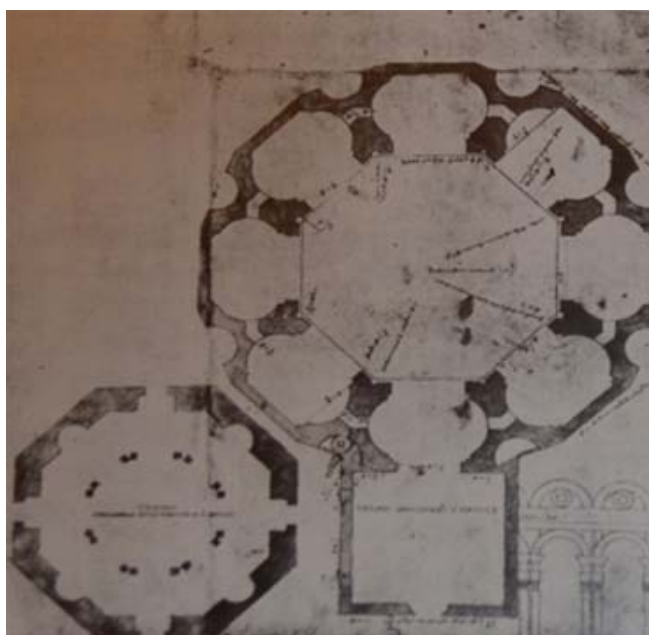
NAZWA OBIEKTU (DATA POWSTANIA)	PODSTAWA (WYMIAR)	PRZEKRÓJ	RODZAJ GEOMETRII	TYP GEOMETRII	PODTYPE GEOMETRII
Santa Maria degli Angeli, Florencja (1434 r.)	ośmiobok	półokrąg	złożona	B	-
San Pietro in Montorio (Tempietto), Rzym (1502 r.)	koło (15 m)	półokrąg	prosta	-	-
bazylika św. Piotra, Rzym (1506 r./1588-1590 r.)	koło (42 m duża kopuła, ok. 20 m małe)	półokrąg/latarnia	złożona	A	1 stopnia zmodyfikowana
Santa Maria della Consolazione, Todi (1508-1608 r.)	koło (15 m)	elipsa/latarnia	złożona	A	2 stopnia
Il Redentore, Wenecja (1577 r.)	koło (20 m)	półokrąg/latarnia	złożona	A	2 stopnia
Sant'Ivo alla Sapienza, Rzym (ok. 1650 r.)	sześciodzielną z naprzemiennie ułożonymi segmentami wklęsłymi i wypukłymi	półokrąg/latarnia	złożona	B	-

### Omówienie wybranych przykładów

Początków powstania kopuł należy doszukiwać się prawdopodobnie w kręgach kulturowych, na które miała wpływ myśl hellenistyczna, czyli w konstrukcjach obiektów kultowych na Dalekim Wschodzie. Miało to miejsce w V-VI w. na terenach Kapadocji. Ślady starożytnych obiektów kultu przekrywanych kopułami odnaleźć można także na obszarze Armenii i Syrii [3]. Przez wieki do budowy stosowano różne materiały, takie jak drewno, kamień, cegłę suszoną czy beton wykonany z kruszywo o różnym uziarnieniu oraz wykorzystywano odmienne technologie (stosowanie kamiennych kłinców i krążyn, łączenie cegieł za pomocą zaprawy i układanie jej w koncentryczne kręgi, wprowadzanie ceramicznych żeber lub kasetonów w celu odciążenia konstrukcji) [3, 6].

Poniżej, w skróty sposób opisano wybrane przykłady realizacji architektonicznych, które zdaniem autorki dobrze obrazują przyjętą metodologię systematyzacji kopuł.

Kopułę kościoła Santa Maria degli Angeli we Florencji z roku 1434 zaplanowano na ośmioboku opartym na bębnie i kolumnach (rys. 1). W przekroju przyjmuje ona formę półokręgu, natomiast na zewnątrz przekryto ją ośmospadowym dachem, którego szczyt wieńczy niewielka latarnia. Pomimo współgrającego kompozycyjnie ze sobą podziału na osiem pól na zewnątrz i tyle samo powierzchni sferycznych wewnątrz, obiekt ten klasyfikuje się jako złożony w typie B, gdyż różnica pomiędzy kształtami jest wyraźnie czytelna.

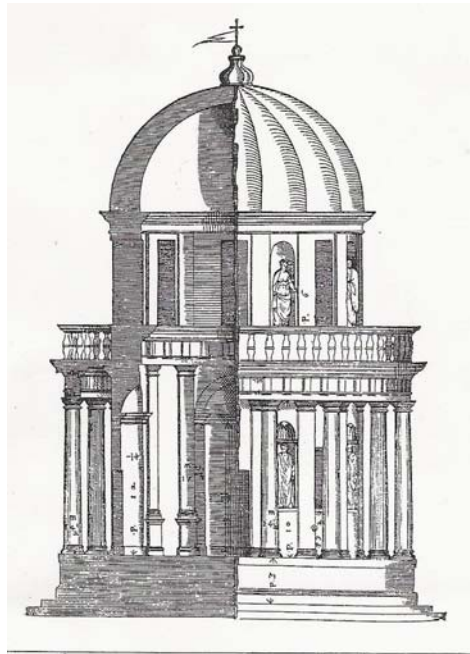


Rys. 1. Kościół Santa Maria degli Angeli - rzut [7].

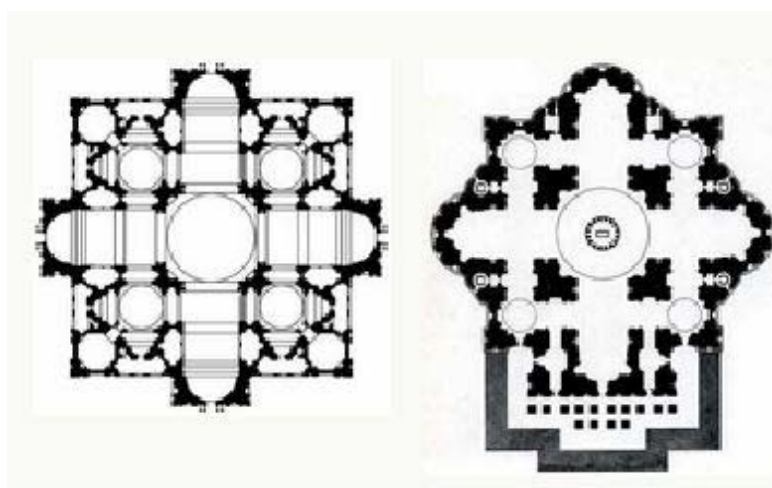
San Pietro in Montorio, znane także jako rzymskie Tempietto zaprojektował Bramante w roku 1502. Kaplicę założono na centralnym rzucie i przekryto kopułą w formie półsfery (rys. 2). Jej wewnętrzny i zewnętrzny kształt są tożsame, stąd też konstrukcję zakwalifikowano jako prostą, zgodnie z założeniami kryterium złożoności.

Kolejnym przykładem jest bazylika św. Piotra w Rzymie. Na fundamentach starszej świątyni konstantyńskiej zaprojektowano nowy obiekt o układzie centralnym. Na potrzeby tej pracy rozważone zostały

dwa plany: Bramantego i Michała Anioła. W kwestii kopuły oba projekty są zbieżne - posiadają centralną dużą kopułę oraz cztery mniejsze w narożnikach (rys. 3 i 4), co wskazuje na multiplikację. Zgodnie z przyjętym kryterium złożoności geometrycznej mamy tu zatem do czynienia ze strukturą złożoną w typie A. Wszystkie kopuły opisane są na podstawie koła, a w przekroju kształtują się na półokręgu, a na szczycie mają latarnię. Przez wzgląd na różnicę skal pomiędzy kopułą centralną i czterema narożnymi przyjęto, że jest to multiplikacja stopnia 1 zmodyfikowana.



Rys. 2. San Pietro in Montorio - przekrój i widok [9].



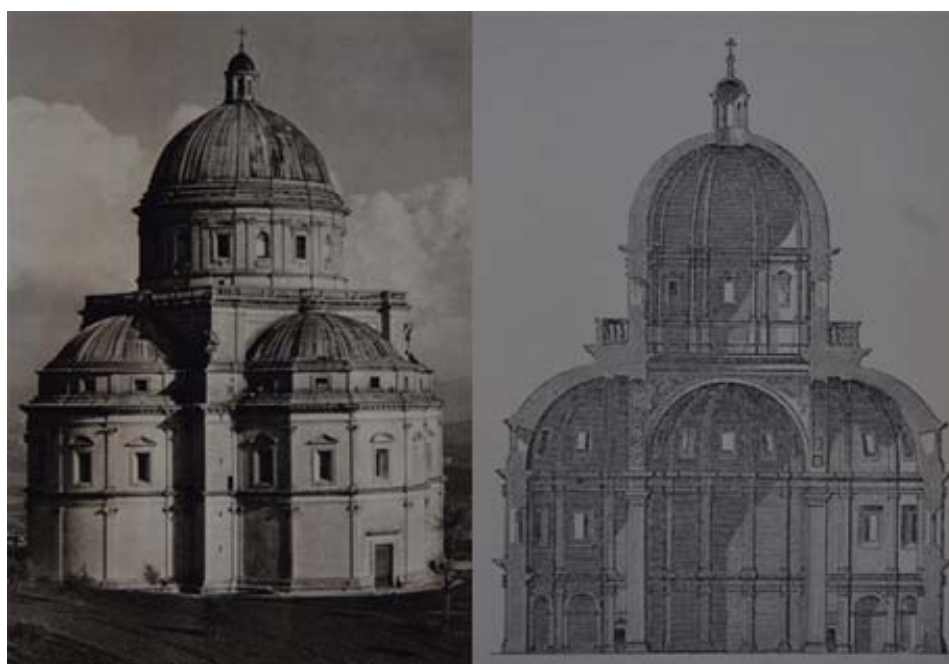
Rys. 3. Bazylika św. Piotra – rzuty- po lewej - wg projektu Bramantego, po prawej - wg projektu Michała Anioła [4].



Rys. 4. Bazylika św. Piotra – przekrój przez budynek i widok kopuły wg projektu Michała Anioła [8].

Kościół Santa Maria della Consolazione (1508-1608 r.), zlokalizowany pod miejscowością Todi, przyjmuje w rzucie kształt tetrakonchosu (rys. 5). Część środkową przekrywa duża kopuła opisana na kolistym planie i eliptyczna w przekroju. Jej szczyt zwieńczono latarnią. Na cztery boczne absydy nałożono mniejsze półkopy, które w swoim kształcie przypominają ćwierć sferę.

Można wyraźnie zaobserwować tutaj, iż obiekt jest złożony. Półkopy odbiegają w formie swojego przekroju od kopuły głównej, a jednocześnie są powielone, dlatego zaklasyfikowano je jako typ A podtypu stopnia 2.



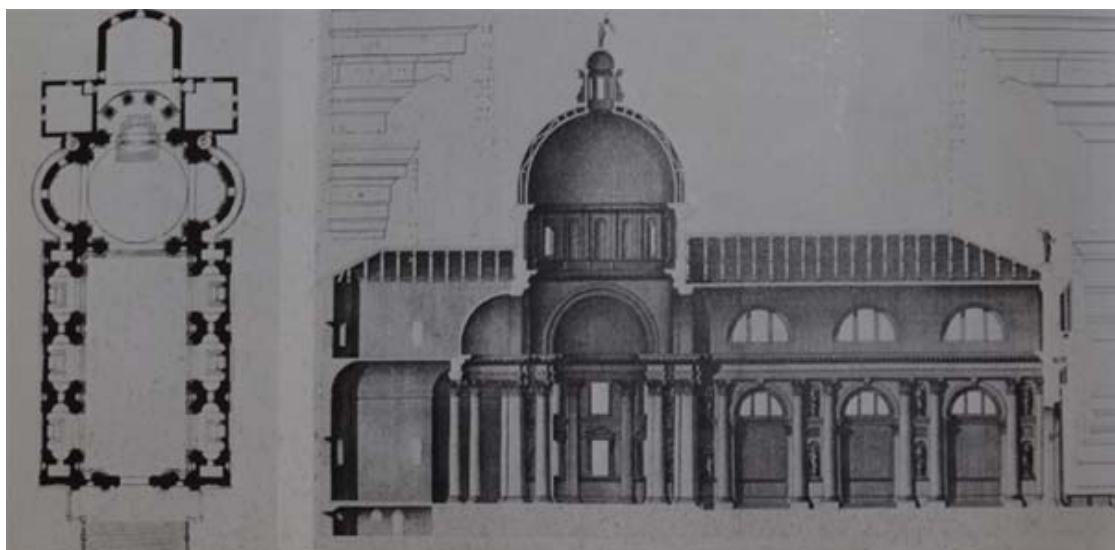
Rys. 5. Widoki i przekrój kościoła Santa Maria della Consolazione [11].

Il Redentore, kościół zlokalizowany w Wenecji, którego budowa rozpoczęła się w 1577 r., to dzieło Palladia. W odróżnieniu od wcześniej analizowanych dzieł jest założeniem podłużnym, a kopułę zlokalizowano w miejscu, gdzie tradycyjnie powinien znajdować się transept (a pojawiają się dwie absydy), i przyjmuje ona formę

półsfery, trzy absydy przylegające do części centralnej od wewnątrz nakryto kopułami, a z zewnątrz - dachem (rys. 6 i 7), stąd też, podobnie jak kopuła Santa Maria della Consolazione, jest to obiekt złożony typu A, stopnia 2.



Rys. 6. Kościół IL Redentore [10]



Rys. 7. Kościół IL Redentore - rzut i przekrój [7].

Inną budowlą o interesującej architekturze jest kościół Sant'Ivo alla Sapienza w Rzymie (rys. 8 i 9). Obiekt ten zaprojektował Borromini około roku 1650. Kopuła przyjmuje w rzucie formę sześciokątną z naprzemiennie ułożonymi segmentami wklęsłymi i wypukłymi, zaś

w przekroju – eliptyczną. Całość zwieńczono latarnią. Z podanych parametrów jasno wynika, że jest to forma o złożonej geometrii. Z zewnątrz kopułę nakryto dachem, co pozwala przypisać obiekt do konstrukcji typu B.



Rys. 8. Sant'Ivo alla Sapienza w Rzymie - widok i przekrój [1].



Rys. 9. Sant'Ivo alla Sapienza w Rzymie - widok kopuły od wnętrza [2].

## Podsumowanie

Przedstawiony podział ma służyć do systematyzacji konstrukcji kopuł, które może służyć badaczom architektury. Proponowana metoda jest prosta w użyciu i pozwala w stosunkowo łatwy i szybki sposób uzyskać najważniejsze informacje o obiekcie. Ponadto system został uporządkowany w taki sposób, aby można było

wprowadzać podziały mniej lub bardziej zaawansowane, jak przedstawiono to powyżej. Tabelaryczne zestawienie ułatwia porównywanie wybranych parametrów geometrycznych, a podane kryterium w analogiczny sposób można zastosować także w badaniach innych części budowli.

Na podstawie powyższego zestawienia można zaobserwować zmiany wynikające z modyfikacji form oraz

stosowania różnych materiałów, a co za tym idzie możliwości uzyskiwania większych lub mniejszych rozpiętości oraz różnorodnych efektów wizualnych. To z kolei prowadzi do oczywistego wniosku, że tabela każda kolejna konstrukcja bazuje w pewnej mierze na już istniejących rozwiązaniach.

Niewielka liczba przykładów oraz ich skrótowy opis podyktowany został ograniczeniami narzuconymi przez formę artykułu, a przede wszystkim podjętą tematyką,

która miała przybliżyć jedynie metodologię systematyzacji konstrukcji kopułowych. Wątek ten będzie rozwijany w późniejszym czasie również o kryteria bazujące sposobach rozwiązywania problemów architektonicznych pod względem materiałowo – konstrukcyjnym, co będzie stanowić osobne kryterium oceny dla poszczególnych realizacji. Jednakże mnogość obiektów kopułowych, nie tylko włoskich, stwarza ogromne pole do badań i dalszego rozwoju tabeli.

### Literatura

1. Blunt, A.F., BORROMINI, Cambridge 1979.
2. Grimal, P., Die Kirchen Roms, Stuttgart Belser, 2002.
3. Kalinowski, Z., Orient und Rom okcydentalność i orientalność kościołów antycznych. Architektura jako język polityki i teologii, Wydawnictwo Esus, Poznań 2013.
4. Koch, W., Style w architekturze. Arcydzieła budownictwa europejskiego, Bertelsmann Media, Warszawa 1991.
5. Kubalska-Sulkiewicz, K., Bielska-Łach, M., Manteuffel-Szarota, A., Słownik terminologiczny sztuk pięknych, PWN, Warszawa 2003.
6. Morrisson, C., (red) Świat Bizancjum, T. 1, Cesarstwo Wschodniorzymskie 330-641, Wyd WAM, Kraków 2007.
7. Murray, P., Architektura włoskiego renesansu, Wyd. VIA, Toruń 1999.
8. Toman, R., (red.) Renesans w sztuce włoskiej. Architektura – Rzeźba – Malarstwo - Rysunki, Wyd. h.f.ullmann Kraków 2007.
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/San\\_Pietro\\_in\\_Montorio#/media/File:PalladioBramanteTempietto1570.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/San_Pietro_in_Montorio#/media/File:PalladioBramanteTempietto1570.jpg), (dostęp 8.03.2016).
10. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Ko%C5%9Bci%C3%B3%C5%82\\_Il\\_Redentore\\_w\\_Wenecji#/media/File:Chiesa\\_del\\_Redentore\\_retouched.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Ko%C5%9Bci%C3%B3%C5%82_Il_Redentore_w_Wenecji#/media/File:Chiesa_del_Redentore_retouched.jpg) (dostęp 8.03.2016).
11. [http://www.greatbuildings.com/buildings/San\\_Maria\\_della\\_Consolazi.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/San_Maria_della_Consolazi.html) (dostęp 10.03.2016).