

## WYBRANE ASPEKTY KSZTAŁTOWANIA PRZEKRYCIA POWŁOKOWEGO NA PRZYKŁADZIE OBIEKTU SAKRALNEGO

© Reichhart A., Sobolewski H., 2007

**The form of a designed construction prepared by an architect is often complete, comprehensive. Then constructor's task consists in building appropriate structure into such a form. When the form is irregular, shaping of the structure is more complicated. This article presents an example of shaping structure in such a situation.**

**Projektowanie koncepcyjne obiektu.** Proces kształtowania obiektu budowlanego w swej zasadniczej części rozstrzyga się w fazie projektu koncepcyjnego, zarówno w części architektonicznej jak i konstrukcyjnej. Faza ta jest jakościowo odrębnym rodzajem pracy projektowej wymagającym odmiennego podejścia i przygotowania; nie powinna być lekceważona. W tej fazie dokonuje się zasadniczy rozwój rozwiązań architektonicznych i konstrukcyjnych [1].

Koncepcja architektoniczna jest łącznym wytworem zdolności twórczych, pomysłowości, wyobraźni, fantazji, natchnienia itp., ale również nabytej wiedzy, doświadczenia, a także bardziej lub mniej świadomej analizy [2]; podobnie jest z koncepcją konstrukcji [3,4]. Wstępnie sprecyzowana koncepcja obiektu dojrzewa w procesie jej konkretyzowania w fazie projektu koncepcyjnego, później dopracowywane są jedynie szczegóły. Odczucia estetyczne formy obiektu i konstrukcji powinny być konfrontowane z możliwościami rozwiązań konstrukcji i ich wpływem na formę obiektu. Na końcową jakość projektu istotnie wpływa dobra współpraca architekta z konstruktorem właśnie w fazie ich projektów koncepcyjnych.

W fazie wstępnego kształtowania konstrukcji czynnikiem pomocniczym jest morfologia konstrukcji – stosunkowo młoda nauka o formach konstrukcji, traktowana jako pomost między architekturą a konstrukcją [5,6]. Osoby zajmujące się morfologią konstrukcji działają w grupie roboczej WG 15 IASS (International Association for Shell and Spatial Structures).

W procesie kształtowania konstrukcji należy uwzględniać wszystkie aspekty wpływające na budowę konstrukcji. Do aspektów tych należą przede wszystkim:

- postać geometryczna konstrukcji, regularność i jednorodność formy konstrukcji,
- przepływ sił przez konstrukcję i adekwatność doboru materiałów i elementów konstrukcji,
- problemy wykonawcze i montażowe,
- łatwość utrzymania obiektu,
- koszt wykonania konstrukcji.

Zakończenie projektu koncepcyjnego powinno być zamknięte ostateczną oceną zgodności formy architektonicznej z formą konstrukcji.

Dość często bywa tak, że opracowana przez architekta forma projektowanego obiektu jest kompletna, pełna i wówczas zadaniem konstruktora jest wbudowanie w tę formę odpowiedniej konstrukcji. Gdy forma jest nieregularna, geometrycznie skomplikowana, wówczas kształtowanie konstrukcji jest odpowiednio bardziej złożone. Przykład kształtowania konstrukcji w takiej sytuacji jest przedmiotem przedstawianego artykułu.

## **Kształtowanie architektoniczne obiektów sakralnych**

### **1. Budowanie obiektów sakralnych**

Od początku dziejów ludzkości można zauważyć działalność człowieka związaną z kształtowaniem przestrzeni, która była użytkowana do relacji duchowych między człowiekiem a Osobą Transcendentną. Zależnie od rozwoju cywilizacyjnego i postępu technicznego ta działalność była różna w formie i środkach, stanowiąc jednak nieprzerwaną ciągłość.

Począwszy od najbardziej prostych form jakim był krąg ofiarny zakreślony na piasku pustyni lub kamienny krąg, po najbardziej poruszające arcydzieła jak: nieistniejąca już Świątynia Salomona, Hagja Sophia –największe osiągnięcie sztuki bizantyjskiej, średniowieczne katedry gotyckie czy aktualna forma bazyliki św. Piotra i Pawła w Rzymie. Odstępy czasowe tego rozwoju sięgają kilku tysięcy lat, co miało oczywiście wpływ na kształt i formę obiektów sakralnych.

Intensywność budowy obiektów sakralnych była różna w poszczególnych okresach i miejscach geograficznych. Za najbardziej twórczy okres trzeba przyjąć średniowiecze, chociaż nie ma danych porównawczych z poszczególnymi okresami stylowymi.

### **2. Różnorodność form architektury sakralnej**

Jak wspomniano wyżej, długi przedział czasowy rozwoju budownictwa sakralnego oraz odmienne prądy ideowe poszczególnych okresów kulturowych, subiektywny stosunek do religii i dzieła poszczególnych twórców sprawiły, że forma i kształt obiektów sakralnych były bardzo zróżnicowane. Można je jednak zamknąć w dwóch podstawowych kierunkach.

Pierwszy kierunek to: świątynie na „rzucie centralnym” tj. koła, kwadratu lub wieloboku foremnego opisanego na kształcie „krzyża greckiego”. Wszystko wskazuje, że był to pierwotny kształt świątyni, wywodzący się z „kręgu ofiarnego”, gdzie wszyscy uczestnicy ofiary otaczali dookoła ołtarz, który był centralnym punktem świątyni. Największym obiektem tego typu jest wspomniana wyżej Hagja Sophia.

Drugi kierunek rozwoju świątyni to: kościoły na „rzucie prostokątnym” opisane na „krzyżu łacińskim”, gdzie dosłownie rzut świątyni utożsamiano z krzyżem. Należy tu wymienić przede wszystkim katedry gotyckie średniowiecza, w których schemat konstrukcyjny postaci szkieletu idealnie rozkłada układ sił obciążenia poprzez łuki na słupy i przypory.

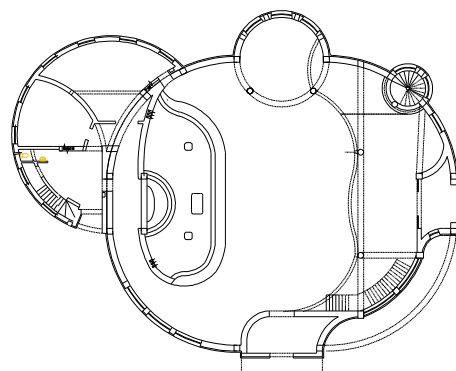
Te dwa kierunki (typy) są nadal podstawowym podziałem obiektów sakralnych w kręgu architektury chrześcijańskiej i przestrzeni geograficznej określanej „basenem morza śródziemnego”. Poszczególne okresy dodawały do tych dwóch kierunków charakterystyczne detale swojej epoki.

We współczesnej architekturze sakralnej można zauważyć powrót do układów centralnych na rzucie koła. Szczególne nasilenie tych rozwiązań nastąpiło po Soborze Watykańskim II. Ołtarz posoborowy tzw. „twarzą do ludzi” tworzy z wiernymi krąg liturgiczny, w którym zwiększa się udział wspólnoty w przeżywaniu liturgii, poczucie jedności. Wszyscy wierni otaczają ołtarz, który często przesuwają się blisko środka wnętrza. Do tych założeń najbardziej korzystnym układem jest rzut na bazie okręgu, bez słupów podpierających konstrukcję dachu. Takie rozwiązanie wybrano w prezentowanym kościele.

### **3. Koncepcja architektoniczna prezentowanego kościoła**

Prezentowany tutaj kościół mieści się w kanonie „kościół centralnego” na rzucie zbliżonym do okręgu. Ten typ świątyni, który rozwinął się najbardziej w okresie architektury starożytności i bizantyjskiej. Również w okresie baroku był chętnie wykorzystywany przez budowniczych kościołów z mistrzowskim podświetleniem kopuły przez „latarnię”.

Główny korpus kościoła zaprojektowano na rzucie zbliżonym do okręgu, uzyskując jednolite przestrzenne wnętrze do podstawowej funkcji – odprawiania nabożeństw. Duża i zwarta bryła korpusu głównego kościoła mogła być przeskalowaniem miejsca (otoczenie stanowią przeważnie domy jednorodzinne). Dlatego postanowiono rozróżnić główną bryłę obiektu przez kubaturowe wyeksponowanie poszczególnych funkcji kościoła jak: zakrystia, kaplica, wieża kościelna i portal główny (rys.1.).



*Rys. 1. Rzut poziomy kościoła; ściany kościoła są rozcięte walcową niszą kaplicy walcową wieżą, portalem wejściowym oraz niszą przy schodach na chór, zaś od zewnątrz jest dobudowana zakrystia*

Wymienione elementy zaprojektowano również na wycinkach okręgu i usytuowano po zewnętrznej krawędzi rzutu uzyskując większe rozróżnienie (rys. 1.). Dodatkowo zróżnicowano wysokość wymienionych elementów uzyskując efekt piętrzenia form z dominantą wieży kościelnej.

Korpus główny kościoła przykryto dachem o kształcie zewnętrznym w postaci powłokowej zbieżnej ku górze o osi pionowej i o wklęsłych liniach południkowych - w przekrojach osiowych. W centralnej części dachu umieszczono „latarnię” w kształcie walca (rys. 2.).



*Rys. 1. Elewacje kościoła*

Rzut korpusu kościoła, a zarazem linii podparcia dachu, przyjęto w formie owalnej uzyskanej z prostokąta (30x25 m) przez szerokie zaokrąglenie naroży. Linia podparcia dachu jest łagodnie nachylona i wygięta z zachowaniem symetrii względem pionowej płaszczyzny przechodzącej przez oś podłużną kościoła. Dach jest zwieńczony latarnią o średnicy 4m opartą na pierścieniowym brzegu górnym dachu. Oś pionowa latarni przechodzi przez środek rzutu ścian kościoła.

Od strony zachodnio-północnej zaprojektowano główne doświetlenie, które ze wspomnianą „latarnią” i oknami bocznymi daje normatywne oświetlenie wnętrza.

Prezbiterium kościoła tradycyjnie ukierunkowano na Ziemię Świętą (południowy wschód), natomiast główne wejście umieszczono na (fragmencie osi) drogi europejskiej E-4 od strony zachodniej.

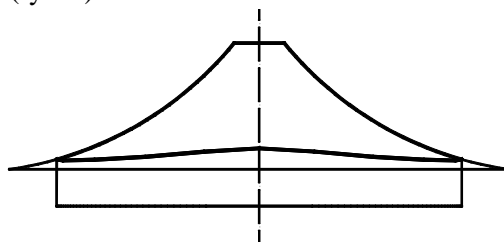
Projektowany kościół stanowi zwornik urbanistyczny planowanego wokół osiedla mieszkaniowego. W atrakcyjny sposób zamyka perspektywę projektowanych ulic osiedlowych i istniejącej drogi krajowej.

## **Kształtowanie konstrukcyjne przekrycia kościoła**

### **1. Forma geometryczna dachu**

Przyjęta w koncepcji architektonicznej postać geometryczna dachu nie jest zgodna z opisanymi matematycznie powierzchniami. Zbliżoną do założonej formy jest powierzchnia obrotowa o wklęsłym południku. Spośród szerzej znanych tego typu powierzchni można wymienić hiperboloidę jednopowłokową powstałą przez obrót hiperboli wokół jej osi albo środkowy wycinek powierzchni pierścieniowej powstałej przez obrót okręgu wokół prostej leżącej w jego płaszczyźnie.

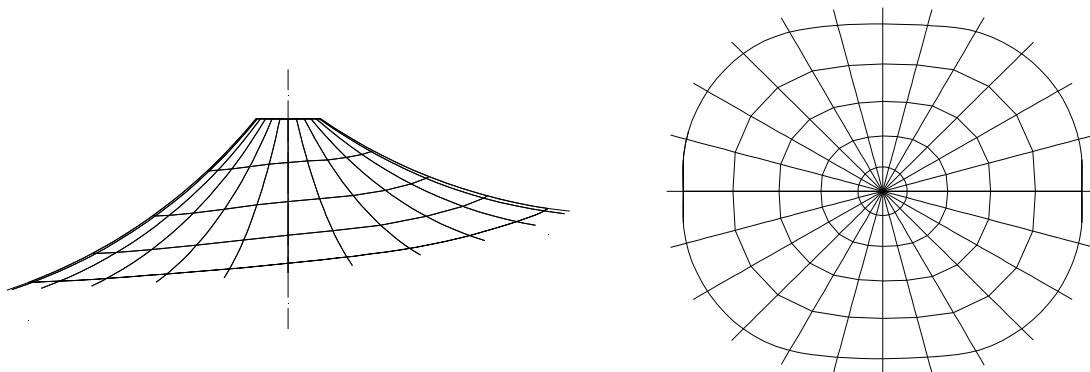
Jednym ze sposobów kształtowania przekrycia jest wycięcie z powierzchni o znanej geometrii odpowiedniego wycinka. Można na przykład obracać powierzchnię pierścieniową obrotową i przyjmując oś kościoła za oś tej powierzchni i linię oparcia latarni za brzeg górny a następnie wybrać część przykrywającą wnętrze kościoła (rys.3.).



*Rys. 3. Powłoka obrotowa z zaznaczonym odcięciem dolnej części powierzchni obrotowej przez linią oparcia na ścianie kościoła*

Uzyskana powłoka jest osiowo symetryczna i wprawdzie spełnia wymogi przekrycia, lecz nie jest zgodna z zamierzeniem projektanta.

Lepsze rozwiązanie można uzyskać przez ukształtowanie, zgodnie z regułami geometrii syntetycznej, nowej powierzchni geometrycznej dostosowanej do przyjętej formy. Dla rozważanego przekrycia powierzchnia taka może powstać przez topologiczne przekształcenie rozważanej wcześniej powierzchni obrotowej. Mianowicie przyjmując linie brzegowe: górną i dolną jako kierownice powierzchni obrotowej oraz oś pionową wyznaczoną przez środki kierownic jako krawędź pęku półpłaszczyzn, w których leżą tworzące powierzchni wystarczy jedynie przekształcić okrąg – kierownicę dolną w linię podparcia założoną przez architekta. W przekształceniu tym każde dwa odpowiadające sobie punkty obu linii powinny leżeć w tej samej półpłaszczyźnie pęku. Przekształcenie tworzących może przebiegać według różnych reguł, lecz z zachowaniem ciągłości i gładkości powierzchni oraz powinno być odwracalne.



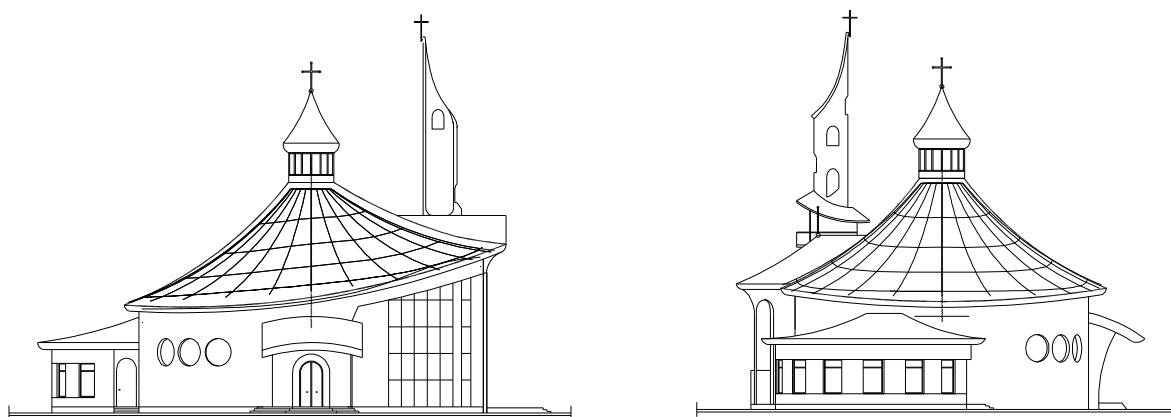
*Rys. 4. Przekrycie w formie powłoki quasi-obrotowej, widok od północy i z góry*

Tworzącymi budowanej powłoki mogą być odpowiednie łuki dowolnych linii zawarte w półpłaszczyznach przechodzących przez oś i ograniczone punktami przecięcia z kierownicami. W szczególności tworzącymi mogą być okręgi obierane w znacznym zakresie dowolnie, o stałej lub zmiennej krzywiznie. Obranie tworzących w postaci łuków okręgów jest dogodnie ze względów projektowych i wykonawczych. Uwzględniając aspekt ekonomiczny, korzystnym jest ukształtowanie powłoki o możliwie dużej powtarzalności elementów przekrycia. W tym celu należy przyjąć jako tworzące na przykład okręgi o jednakowej krzywiznie (rys.4.). Wówczas zróżnicowanie będzie dotyczyło jedynie długości łuków okręgów – każda tworząca będzie wyznaczona przez punkty przecięcia z kierownicami i przez promień okręgu przy założeniu, że środki wszystkich okręgów wyznaczają linię leżącą nad dachem.

Na gruncie geometrii, tak ukształtowana powierzchnia zaliczana jest do powierzchni kinetycznych – spiralnych o stałej tworzącej kształtowanej przez złożenie dwóch obrotów: wokół osi pionowej kościoła i wokół prostych stycznych do kierownicy górnej [7,8]. W przedstawionym rozwiązaniu obrót każdej tworzącej wokół stycznej jest wyznaczony przez punkt przecięcia płaszczyzny tworzącej z kierownicą dolną.

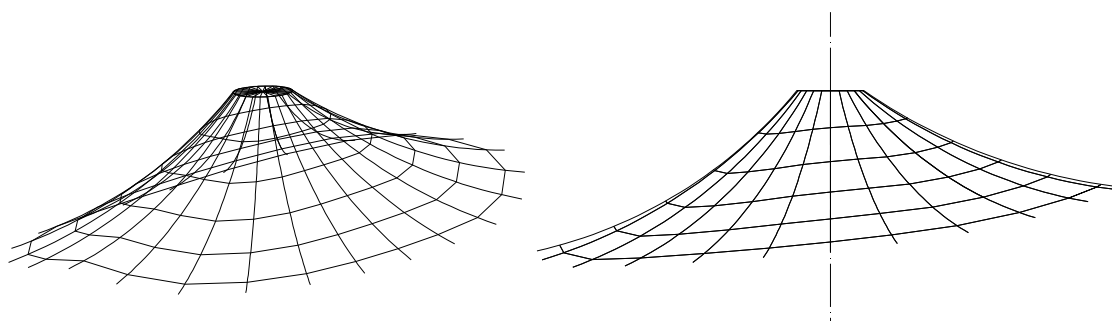
Dla opisanej formy dachu jako osie głównych elementy konstrukcji przyjęto 24 tworzące południkowe w postaci łuków okręgów o jednakowych promieniach krzywizny oraz łączące je kierownice. Długości tych łuków są jedynie parami jednakowe ze względu na symetrię względem płaszczyzny podłużnej obiektu. Kąty między półpłaszczyznami sąsiadujących tworzących wynoszą  $15^\circ$ . Jako elementy drugorzędne, odpowiadające równoleżnikom powierzchni obrotowych, przyjęto pośrednie linie obwodowe zamknięte, usytuowane pomiędzy kierownicami i wyznaczone przez punkty podziału południków na równe części. Dodatkowo przyjęto pierścień okapowy wysunięty poza kierownicę dolną o 1,4m.

Ukształtowana w opisany sposób powłoka jest bardzo dobrze dopasowana do koncepcji architektonicznej (rys. 5.).



Rys 5. Powłoka geometryczna wpisana w zarys dachu z koncepcji architektonicznej

Zastosowany sposób kształtowania geometrycznego może być łatwo modyfikowany w zależności od potrzeb. W rozpatrywanym przypadku intencją dodatkową było wyeksponowanie tła ołtarza głównego przez nieznaczne lokalne uniesienie dachu. Zrealizowano to przez wygięcie ku górze kierownicy dolnej nad ołtarzem i odpowiednie skorygowanie siatki geometrycznej dachu (rys.6.).



Rys. 6. Aksonometria i rzut boczny skorygowanego łagodnie modelu przekrycia

## 2. Kształtowanie konstrukcji dachu

Przyjęcie namiotowej formy powłokowego przekrycia bez podparcia pierścienia górnego (kierownicy) słupem centralnym lub w inny sposób powoduje, że w powłoce występują południkowe ściskania i zginania szczególnie duże w strefie podporowej. Wybranie w tej sytuacji powłoki żelbetowej jest niekorzystne. Przyjęto konstrukcję dachu szkieletową stalową.

### 2.1. Ogólna koncepcja szkieletu konstrukcji dachu

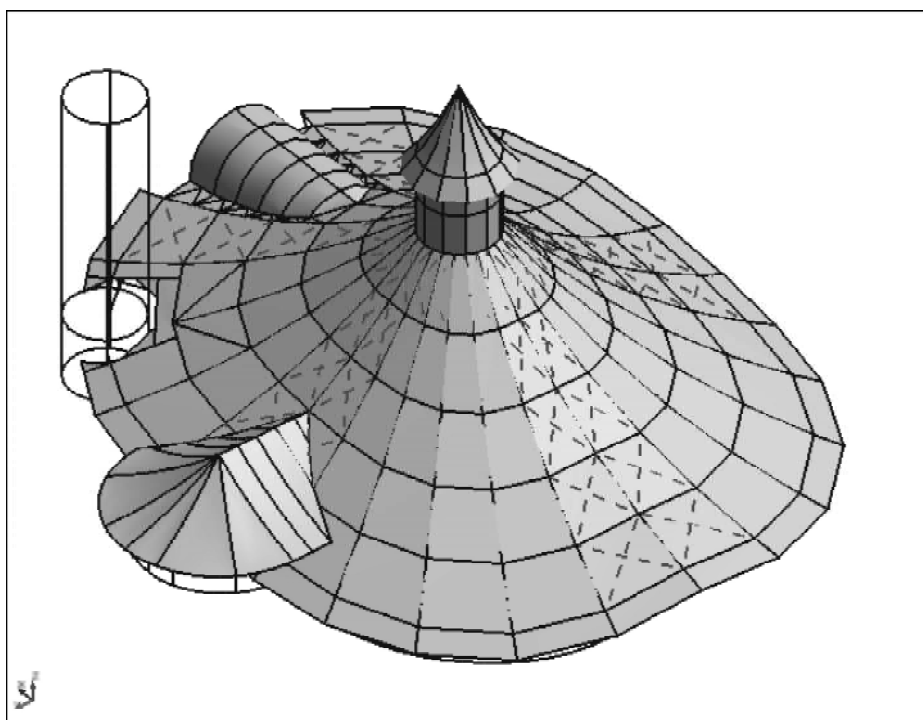
Pokrycie konstrukcji zaprojektowano z blachy tytanowo-cynkowej ułożonej na pełnym deskowaniu. Do konstrukcji podwieszono strop z płyt gipsowo-kartonowych przymocowanych od spodu do konstrukcji z kształtowników giętych. Na stropie umieszczono izolację termiczną z wełny mineralnej.

Konstrukcja geometryczna powłoki z rysunku 4. została przyjęta jako siatka geometryczna konstrukcji szkieletowej. Jako osie głównych elementów konstrukcji przyjęto 24 tworzące południkowe w postaci łuków okręgów o jednakowych promieniach krzywizny oraz łączące je kierownice jako pierścienie górny i dolny. Jako elementy drugorzędne - płatwie, zastosowano pośrednie linie obwodowe zamknięte usytuowane pomiędzy kierownicami oraz płatwie nad pierścieniami i płatwie okapową wysuniętą poza kierownicę dolną o 1,4m. Konstrukcję uzupełniają odpowiednio rozmieszczone stężenia. Opisane ukształtowanie układu prętowego pozwala na uzyskanie możliwie dużej jednorodności konstrukcji zarówno pod względem rozkładu sił wewnętrznych jak i budowy elementów i węzłów.

### 2.2. Dostosowanie konstrukcji dachu do części kościoła przenikających dach

W bryłę obiektu w obrębie ścian zewnętrznych (rys. 1,2) są wkomponowane kaplica boczna i portal wejściowy, które posiadają niezależne daszki wyniesione nad dach główny i połączone z nim wzdłuż linii przenikania. Ponadto wieża z dzwonnica przenika dach główny, co wymaga wycięcia części dachu. Symetrycznie do wieży zaprojektowano przeszkloną niszę powodującą przesunięcie ściany zewnętrznej do wnętrza (rys 1c,d, 2). Powoduje to przeniesienie linii oparcia dachu w tej części na wewnętrzną ścianę niszy, lecz nie narusza zarysu i wyglądu dachu (rys. 7). Opisane rozrzeźbienia bryły kościoła wymagają indywidualnych rozwiązań konstrukcyjnych przekrycia.

Dach główny jest zwieńczony latarnią składającą się z prętowej konstrukcji ażurowej przeszklonej oraz połączonego z nią daszku o kształcie podobnym do dachu głównego.

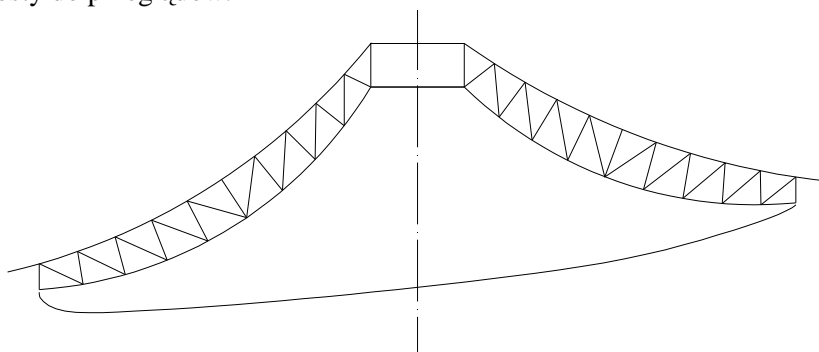


Rys. 7. Aksonometria dachu oraz kolidujących daszków i wieży; widoczny układ prętów i stężeń połaciowych

### 2.3. Koncepcja szkieletu konstrukcji dachu zimnego

Z uwagi na przewidywany, co najmniej trzechsetletni okres użytkowania obiektu i związany z tym aspekt eksploatacyjny, przyjęto ostatecznie zastosowanie tzw. dachu zimnego przez rozdzielenie dachu od stropu i wytworzenie dostępnej przestrzeni poddachowej. Przestrzeń pod dachem ma umożliwiać przegląd stanu konstrukcji i dostęp do niezbędnych konserwacji oraz może być wykorzystana do prowadzenia instalacji oświetleniowej i wentylacyjnej. Przestrzeń ta musi być wentylowana oraz zabezpieczona przed ptakami i owadami.

Skonstruowanie dachu zimnego wymaga przyjęcia elementów głównych w postaci kratownic płaskich usytuowanych w płaszczyznach tworzących powłoki. Przyjęto, że pasy górne – zewnętrzne i pasy dolne w każdej kratownicy będą łukami okręgów o różnych promieniach, natomiast pasy, odrębnie górne i dolne, będą miały promienie jednakowe (rys.8.). Z pasami górnymi będzie powiązane pokrycie dachu, zaś do pasów dolnych będzie podwieszony strop, na którym zostanie położone ocieplenie oraz będą umieszczone pomosty do przeglądów.



Rys. 8. Przekrój podłużny konstrukcji dachu dwuwarstwowego;  
cienka linia u dołu przedstawia rzut osi wieńca żelbetowego

**Ogólny opis konstrukcji.** Przekrycie kościoła składa się z dachu głównego i połączonych z nim daszków nad wejściem i nad kaplicą wykonanych ze stali oraz wieńca żelbetowego ułożonego na murze z cegły pełnej i połączonego z umieszczonymi w murze rdzeniami żelbetowymi.

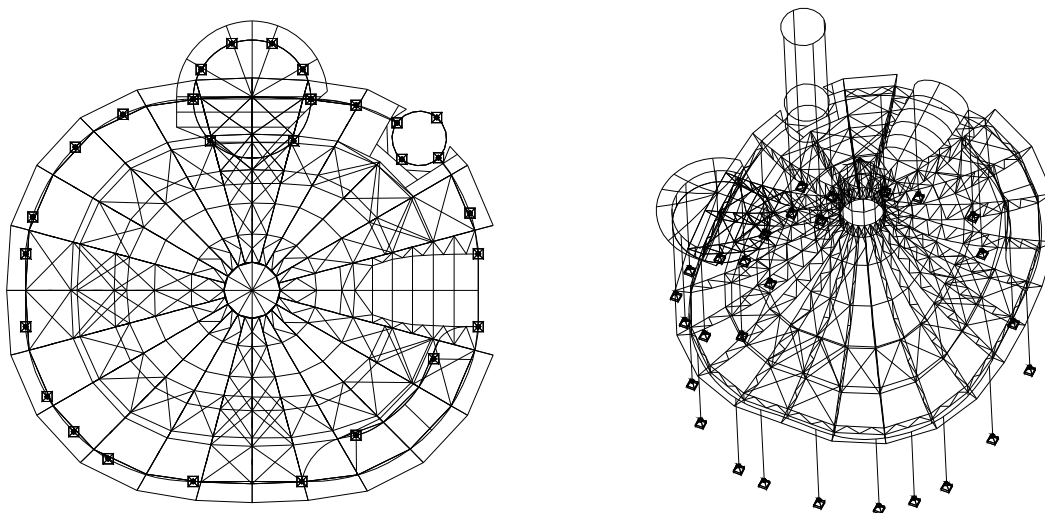
Konstrukcja dachu głównego składa się z:

- pierścienia górnego w postaci rury stalowej uźbrowanej dla umożliwienia połączenia z pasami dźwigarów oraz oparcia na nim latarni i podwieszenia stropu,
- pierścienia dolnego w postaci wieńca żelbetowego,
- połączonych z nimi śrubowo południków w postaci 24 dźwigarów kratowych o pasach łukowych i o zmiennej wysokości; dźwigary zaprojektowano z rur prostokątnych profilowanych na zimno.
- płatwi jednoprzęsłowych prostoliniowych z dwuteowników IPE opartych na pasach górnych dźwigarów i połączonych śrubowo,
  - stężenia obwodowego nad wieńcem stabilizującego kolejno sąsiednie dźwigary,
  - tężnika obwodowego na poziomie pasa dolnego w drugim polu od wieńca,
  - tężnika pionowego dźwigarów umieszczonego w pobliżu połowy długości dźwigarów,
  - stężenia pasów górnych między dźwigarami w ośmiu polach,
  - lokalne stężenia w sąsiedztwie kolidujących części kościoła (rys.9.).

Wieniec żelbetowy jest poprowadzony w sposób ciągły zarówno przez kaplicę jak i portal. Jest natomiast przerwany w obrębie wieży, lecz na drodze wieńca umieszczono dwa słupy żelbetowe wbudowane w wieżę i w pobliżu dwa pierścienie obwodowe, co rekompensuje brak ciągłości wieńca.

Konstrukcja dachu nad kaplicą składa się z belek koszowych połączonych z konstrukcją dachu głównego oraz z belką kalenicową. Na nich oraz na wieńcu kaplicy oparte są krokwie wygięte łukowo.

Łukowo zakończona górna część portalu głównego ma charakter lukarny i przechodzi w dach walcowy oparty na dachu głównym. Konstrukcja dachu walcowego o poziomych tworzących składa się z łuku żelbetowego opartego na wieńcu żelbetowym, belek koszowych połączonych z konstrukcją dachu głównego oraz z łuków kołowych opartych na belkach koszowych.



Rys. 9. Rzut i rysunek aksonometryczny osi prętów i stężeń;  
na rysunkach pokazano rozmieszczenie rdzeni żelbetowych w ścianie kościoła

Latarnia jest zbudowana z pionowo ustawionych słupków utwierdzonych w pierścieniu górnym oraz zwieńczonych pierścieniem. Do tego pierścienia są przymocowane śrubowo łukowe krokwie dachu latarni. Krokwie te łączą się z pierścieniem pozwalającym na zamocowanie kuli i krzyża.

■ ■ ■

Dziękujemy panu mgr. inż. Grzegorzowi Harpule za wykonanie rysunków konstrukcyjnych.

1. Reichhart A.: *Koncepcyjne projektowanie konstrukcji*, *Inżynieria i Budownictwo* Nr 8, 1997, (In Polish). 2. Bellenstedt Janusz: *Architektura, historia i teoria* (In Polish), Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa – Poznań 2000. 3. Kuś S. Zalewski W.: *Kształtowanie konstrukcji – referat wprowadzający* (In Polish), *Materiały Konf. „Projektowanie koncepcyjne – kształtowanie konstrukcji”*, pod red. A. Reichharta, Oficyna Politechniki Rzeszowskiej 2000. s. 11-26, (In Polish). 4. Zalewski W.: *Beams of Variable Depth*, *Materiały Konf. „Kształtowanie konstrukcji”*, pod red. A. Reichharta, Oficyna Politechniki Rzeszowskiej 2005. s. 91-114, (In English). 5. De Vries P.: *Morphology and structural behavior of the hyperbolic lattice „Bridge between civil engineering and structure“* – Proc. 4. International Colloquium on Structural Morphology, 17-19.08.2000, Delft, The Netherlands pp.374-381. 6. Reichhart A.: *Kształtowanie geometryczne i konstrukcyjne powłok z blach fałdowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002, (In Polish). 7. Polański S.: *Geometria powłok budowlanych*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1986, (In Polish). 8. Januszewski B.: *Geometria wykreślna*, Oficyna Politechniki Rzeszowskiej 1994, (In Polish).