

Ujarzmić beton. Zastosowanie modelowania CAD w projektowaniu deskowań powierzchni krzywoliniowych

SUBJUGATING CONCRETE. APPLICATION OF CAD MODELLING IN THE
DESIGN OF FORMWORK FOR CURVILINEAR SURFACES

Streszczenie

Artykuł przybliża metodykę oraz rozwiązania projektowe i techniczne podczas pracy nad modelowaniem deskowania skomplikowanych form krzywoliniowych w oparciu o komputerowe systemy wspomagania projektowego CAD. Na podstawie wybranych dwóch realizacji - *Głowica w formie trójkąta słupa „Y” - Szpital onkologiczny w Poznaniu* oraz *Komin stacji wentylatorni budynku technicznego CERN* - przedstawiono proces projektowania oraz problematykę odwzorowania nierozwijalnych powierzchni torusa oraz paraboloidy hiperbolicznej przy wykorzystaniu autorskich skryptów napisanych w języku VISUAL LISP dla AutoCAD'a.

Abstract

The article discusses the methodology, design solutions, and technical aspects involved in modeling formwork for complex curved shapes using computer-aided design (CAD) systems. Based on two selected projects - the "Y"-shaped column head for the Oncological Hospital in Poznań and the chimney of the ventilation station for the CERN technical building - the design process and the challenges of reproducing non-developable surfaces such as torus and hyperbolic paraboloid are presented. This is achieved using custom scripts written in VISUAL LISP for AutoCAD.

Wprowadzenie



Rozwój technologii informatycznych wpływa znacząco na każdą dziedzinę naszego życia. Wirtualna rzeczywistość (virtual-reality), czy rozszerzona rzeczywistość (augmented reality¹) nie są już pojęciami wyłącznie ze świata fantasy. Popularność i łatwa dostępność narzędzi modelowania CAD, które niegdyś były dostępne jedynie wysoko wykwalifikowanym pracownikom dziś są na wyciągnięcie ręki (czy raczej na jedno kliknięcie myszki) dla każdego zainteresowanego. Akronim "3D" nie wywołuje u nikogo konsternacji, młodzi ludzie swobodnie poruszają się w wirtualnej przestrzeni, czasem lepiej niż w tej rzeczywistej. Jeżeli mamy powyższe na uwadze i sprzęgniemy to z niczym nieskrępowaną pomysłowością projektantów, architektów oraz inżynierów to otrzymujemy wizje które, szokują swą formą. Dodatkowo zdumiewają śmiałością i odwagą, zapewniając ich twórcom trwały pomnik w pamięci potomnych.

Jednocześnie wizje te przywołują o szybsze bicie serca tych, którym przyjdzie zmierzyć się z ich realizacją, gdyż stanowią poważne wyzwanie inżynieryjne. Nie wspominając o kosztowności takich przedsięwzięć. Żelbet to wyjątkowo wdzięczny materiał, który przy pomocy magicznej różdżki przybiera dowolne kształty. Tą różdżką są tutaj formy szalunkowe, które im bardziej nietypowy i organiczny kształt - tym koszt takiej różdżki jest bardziej EKSTREMALNY. W niniejszym referacie przyjrzymy się sposobom optymalizacji pracy przy projektach nieszablonowych z wykorzystaniem narzędzi CAD/CAM, z którymi przyszło nam zmierzyć się w ostatnich latach, oraz o tym jak te EKSTREMUM sprowadzić do poziomu akceptowalnego kosztu.

¹ (materiały do rozdania na prelekcji z kodem QR do wirtualnych modeli 3D (słup "Y", komin CERN)



Rys.1 Audytorium w Santa Cruz na Teneryfie
Arch. Santiago Calatrava

Powierzchnie krzywoliniowe - Model to podstawa!

Modelowanie CAD umożliwia tworzenie powierzchni dowolnych kształtów które, powstają wskutek przemysłowego ruchu ludzkiej ręki. Ta miękka kreska nabiera realnych kształtów i materializuje obraz, który narodził się w zamyśle twórcy i nie jest wynikiem funkcji matematycznej czy algorytmu. Innymi słowy, powstają obecnie powierzchnie na drodze swobodnego wręcz rzeźbiarskiego aktu twórczego. Pojawiają się wirtualne obrazy nie mające swojego odpowiednika matematycznego, czy odwzorowania w realnym świecie. Stworzony model jest unikatowy, by go urzeczywistnić, potrzebujemy jego samego. Brzmi jak tautologia, ale przedstawia pewną prawdę a zarazem problem. Problemem jest komunikacja. Jest stara prawda, która mówi, że "jeden obraz wart jest tysiąca słów", parafrazując może się okazać że jeden model 3D wart jest tysiąca obrazów.

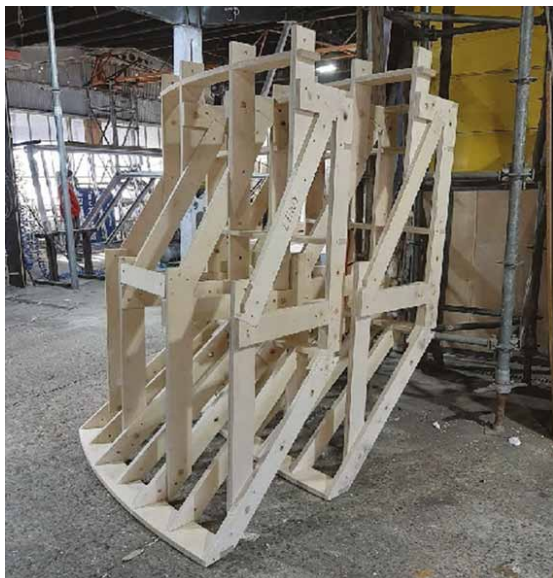
Nie zawsze jest tak, że jednoznacznie za pomocą kilku obrazów jesteśmy w stanie odwzorować daną bryłę. Standardem w komunikacji pomiędzy różnymi branżami uwikłanymi w proces tworzenia projektu budowlanego pomimo rosnącej popularyzacji BIM-u wciąż pozostaje rysunek. Bywa, że w mojej pracy spotykam się z sytuacjami - szczególnie w tych projektach, w których mamy do czynienia ze skomplikowaną geometrią - gdzie geometria nie pokrywa się z rysunkami zbrojarskimi. Występują rozbieżności wskutek interpretacji rysunków 2D, czy ludzkich pomyłek. Model wygenerowany w programie jest jednoznaczny, ale istnieje ryzyko, że model może być niepoprawny (zawierać błędy topologiczne uniemożliwiające dalszą obróbkę w celu opracowania projektu formy szalunkowej).

Metodyka

Podstawowym programem, którego używamy do projektowania form jest AutoCAD 2010 i GstarCAD 2020. Programy te mogłoby się wydawać w porównaniu z innymi programami dedykowanymi do modelowego projektowania są jak prędkość żółwia do zająca. Idąc za mądrością Ezopa nie należy przedwcześnie jednak przekreślać żółwia... Visual LISP to potężne narzędzie, które daje ogromne możliwości. Pozwala automatyzować czynności oszczędzając godziny żmudnej pracy, co znacząco redukuje koszty. A ta możliwość programowania narzędzi w AutoCadzie dostępna jest już od ponad 20 lat. Wszystko jednak zaczyna się od modelu. Jeżeli nie mamy do dyspozycji poprawnego modelu CAD, zaczynamy od jego wymodelowania i uzyskania aprobaty projektanta (możliwe odchyłki, aproksymacja kształtu). Na bazie zaakceptowanego projektu powstaje projekt formy szalunkowej w oparciu o przyjętą technologię deskowania.

Rozmiar ma znaczenie

W zależności od gabarytów elementu do zadeskowania przyjmuje się różne rozwiązania. W przypadku konieczności formowania elementów żelbetowych o nieregularnej oraz skomplikowanej geometrii konieczne może okazać się skonstruowanie zindywidualizowanej formy, gdyż przy pomocy standardowych systemów szalunkowych nie będzie możliwe uzyskanie zadanego kształtu.



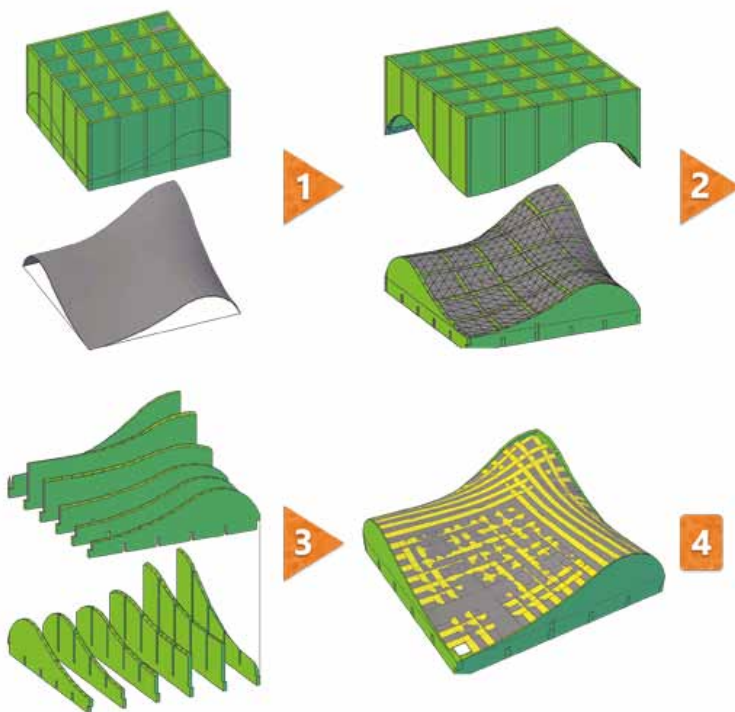
Rys. 2 Kratownice formy wylotowej komina

W takiej sytuacji, w zależności od gabarytu docelowego obiektu mamy kilka możliwości:

1. Wybitka montowana do deskowania specjalistycznego jak np.: BudoEKO, Hunnebeck H20, lub Doka Top 50,
2. Forma kratownicy (tzw "bocian"),

3. Wybitka samonośna (przy niskich elementach małej architektury), która przenosi obciążenia dynamiczne powstające na skutek układania mieszanki betonowej,
4. Wybitka formująca - wyparta jest o deskowanie ramowe, które przenosi obciążenia powstające przy betonowaniu.

Najistotniejsze z punktu odwzorowania formy są belki jarzmowe/wręgi. To ich kształt ostatecznie decyduje o podobieństwie formy. Uzyskuje się je za pomocą operacji boolowskich. Docelowy model CAD odejmuje się od rusztu przestrzennego arkuszy sklejek, wskutek czego powstają słupki i pasy odpowiednio wyprofilowane. Wzajemne położenie pasów poziomych i pionowych realizowane jest dzięki nacięciu wpustu w desce. Czasami krzywa styku deski jarzmowej przyjmuje zwichrowaną powierzchnię - w takim przypadku krążyny wycinane są po większym obrysie, a dodatkowa linia sfazowania krawędziznaczana jest przy procesie wycinania na ploterze CNC. Finalną obróbkę wykonuje się ręcznie przy pomocy dedykowanych narzędzi po zmontowaniu przestrzennego rusztu.



Rys.3 Schemat modelowania form krzywopowierzchniowych

Áurea praxis, stérilis theória

Dwa przykłady z praktyki

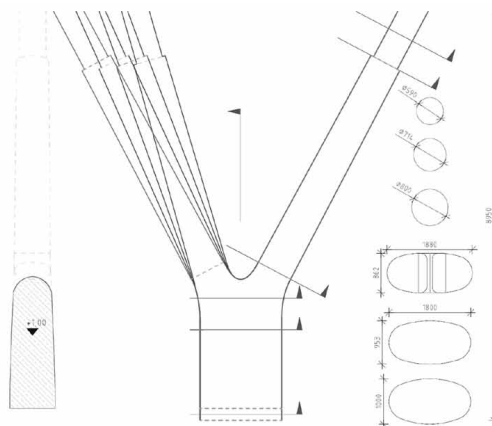
Rozwinąć nierozwijalne

Słupy radialne w kształcie litery "Y". Budowa szpitala onkologicznego w Poznaniu.

Gen. wykonawca: Skanska SA, zamawiający: Hunnebeck Polska, wykonawca: Budosprzęt Sp z o.o

Forma

W ramach rozbudowy szpitala onkologicznego w Poznaniu, ze względu na położenie obiektu w centrum historycznej tkanki starego miasta zaprojektowany został wspornik budynku wyparty na czterech słupach w formie litery "Y". Słupy różniły się od siebie kątem wychylenia ramion. U podstawy słupa przekrój miał kształt elipsy. Wraz ze wzrostem wysokości zmniejsza się jej krótsza średnica. Następnie w sposób bez załamań i ostrych zagięć kształt elipsy przechodził w dwa okręgi - podstawy stożkowych słupów. Ta część, tzw. powierzchnia siodłasta stanowiła największe wyzwanie. Następnie dwie odnogi słupa stożkowo pną się ukosem w górę by w górnej części przypadkowej odznaczyć się kształtem regularnego walca.

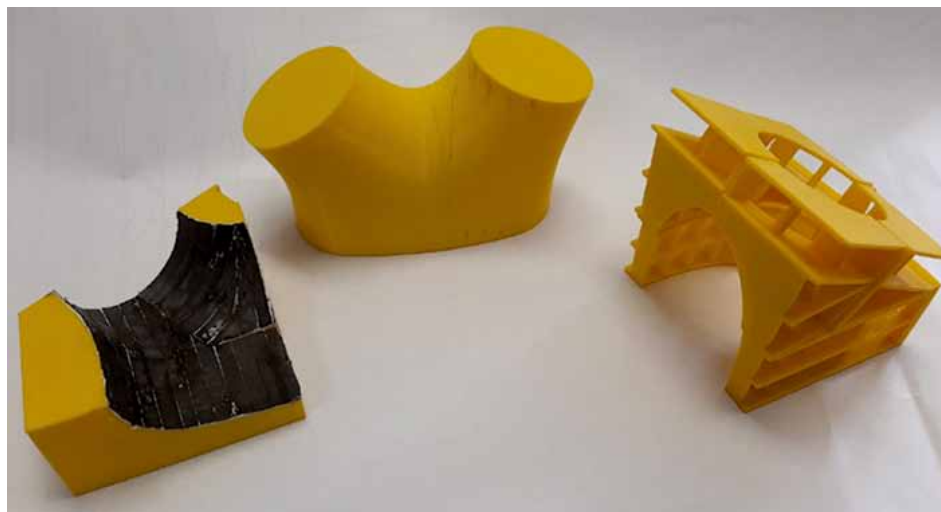


Rys.4 Geometria słupów wspornika. 4 typy

Problem

Ze względów technologicznych największy problem stanowiła powierzchnia paraboloidy hiperbolicznej będącej częścią słupa, w której rozgałęział się on na dwa ramiona (tą część w dalszych rozdziałach artykułu nazywać będziemy dla uproszczenia trójkniem). Dostarczony model BIM przez wykonawcę obarczony był błędami topologicznymi.

Modele 3D prezentowały się dobrze na wizualizacjach jednak w rzeczywistości, przy głębszej analizie okazały się być obiektami siatkowymi sklejanymi z kilku drobniejszych elementów. Generowanie na ich podstawie przekrojów przewodnich okazało się niewykonalne. Wymodelowany przez nas model trójwymiarowego słupa został przesłany do akceptacji projektantom. Ostateczna bryła 3D słupa została wymodelowana przy pomocy operacji loft-a (wytlaczania złożonego) w połączeniu z operacjami boolowskimi oraz wygładzeniem linii krawędzi zespalanych obiektów. Tu pojawił się pewien problem odnośnie operacji zaokrąglania.



Rys.5 Wydruk 3D. Modele poglądowe formy

Ze względu na różnice w słupach, gdzie kąt rozwarcia ramion różnił się w zależności od słupa operacja zaokrąglania w poszczególnych słupach dawała nieco różne efekty. Poziom tzw. przełęcz w zależności od typu słupa przypadał na różnej wysokości. Na pozór banalna niezauważalna błahostka. Było to problematyczne, gdyż ze względów optymalizacji ilości koniecznych form utrudniało to spasowanie deskowania poszczególnych słupów. Ze względu częściowego podobieństwa wszystkich słupów (jedna odnoga słupa we wszystkich wariantach była pochylona pod tym samym kątem, zmieniał się jedynie kąt nachylenia drugiej odnogi) ustalono, że przygotowane zostaną dla każdego wariantu po połowie formy na trójkąt. Stąd wynikało, że jedna forma będzie użyta czterokrotnie, inne jednorazowo. Takie ustalenia wymagały dopracowania ostatecznego kształtu słupa by formy dla poszczególnych wariantów można było ze sobą dopasować. Ostatecznie wymusiło to dobranie zredukowanego o parę cm promienia zaokrąglenia odnóg słupów i odrobinę ręcznej korekty. W ten sposób po akceptacji zmodyfikowanych form słupa przez głównego projektanta można było przystąpić do opracowywania projektu deskowania.

Rozwiązanie

Technologicznie ze względów wytrzymałościowych oraz wygody realizacji, betonowanie słupa podzielono na trzy etapy. Obciążenia technologiczne od układania mieszanki betonowej miały zostać przenoszone przez systemowe deskowanie ramowe Rasto które ułożone zostało w formie graniastosłupa. W ten zamknięty kształt deskowania wpasowane zostały specjalistyczne zindywidualizowane formy. Te tak zwane wybitki szalunkowe zaprojektowane zostały z rusztu wzajemnie przenikających się elementów poziomych i pionowych, które łączyły się ze sobą na wpust-wpust.



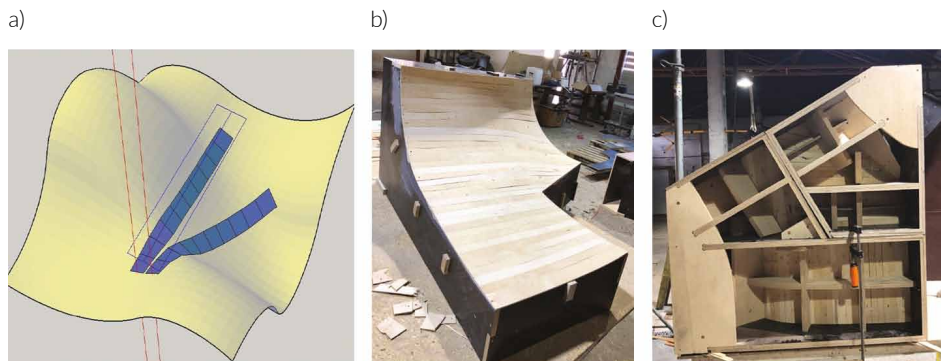
Rys.6 Słupy wspornika po zabetonowaniu

Takie połączenia gwarantowały najwyższą dokładność wymiarową, a wszystkie elementy składowe wycinane były na ploterach frezujących CNC. Poszycie form stanowiła sklejka brzoza gr. 12 mm nacinana, stosowana przy większych promieniach. Dla małych promieni była to sklejka elastyczna gr. 8 mm na podbudowie z pasów sklejki konstrukcyjnej gr. 15 mm powleczonej lakierem i impregnatem. Poszycie formy stożkowych ramion słupa było wyłożone sklejką brzozaową szalunkową gr. 4 mm na podbudowie z pasów sklejki. Ze względów topologicznych powierzchnia formy trójkąta wymagała odmiennego podejścia. Formy stożkowe odgałęzień oraz forma trzonu eliptycznego słupa obłożone zostały arkuszami, których kształt w łatwy sposób dało się wygenerować jako, że są to powierzchnie rozwijalne.

Jednak powierzchnia trójkąta ze względu na małe promienie, duże przegięcia oraz ujemną wartość parametru krzywizny Gaussa wymagała indywidualnego podejścia. Układ poziomych i pionowych pasów-wręgów ze sklejki konstrukcyjnej tworzył przestrzenny ruszt dopasowany do wymaganego kształtu. Na nim wyłożone zostały dwie warstwy z pasów sklejki elastycznej gr. 8 mm w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Kierunek ułożenia tych pasów został wybrany jako pośredni względem głównych kierunków krzywizny płaszczyzny (krzywizna Gaussa -> największa krzywizna jest prostopadłą do najmniejszej). Pozwalało to dobrać większą szerokość listew bez obawy ich złamania podczas wyginania na wręgach. By zoptymalizować ten proces posłużyłem się autorskim skryptem do AutoCADa, który symulował rozkład listwy na powierzchni, jego deformację i odkształcenie względem pierwotnego kierunku przyłożenia listwy.

Łatwo można to sobie wyobrazić na przykładzie szyjki butelki wina, która przy wylocie przyjmuje regularny kształt cylindra. Gdy przetniemy butelkę w płaszczyźnie prostopadłej do jej osi obrotowej uzyskamy kształt okręgu, przesuwając płaszczyznę cięcia w kierunku denka następuje zmiana okręgu. Przyrost ten jest nieliniowy w przeciwieństwie do stożka. Jeżeli początkowy okrąg - krzywą - uprościmy do serii odcinków (zamienimy go w wielokąt foremny) oraz do takich odcinków przyłożymy promienieście listwy (takie elementy płaskie, w których zdecydowanie dominuje jeden wymiar, a grubość relatywnie jest znikoma) i zaczniemy wywijać na butelkę te listwy to zauważymy,

że wzdłuż ich układania zaczynają się one wzajemnie rozchodzić tworząc tzw. dziury / szczeliny.



Rys.7 a) Wizualizacja działania skryptu symulującego b) Gotowa forma po wyłożeniu listwami c) Forma trójkąta 1/4 część dolna i górna - widoczne listwy wyłożenia

Dzięki wirtualnemu rozkładowi uzyskanemu poprzez działanie skryptu byliśmy w stanie zaprojektować pasy, które wypełniały te puste przestrzenie co było istotne szczególnie przy układaniu pierwszej warstwy listew - te musiały opierać się na wręgach. W przypadku swobodnego układania listew tzw. ręki istniało ryzyko, że powstanie przerwa, której wypełnienie nie będzie mogło oprzeć się na wręgu.

Na tak przygotowane podłoże została nałożona warstwa szpachli wzmacniająca włóknem szklanym. Po oszlifowaniu powierzchni warstwę wykończeniową stanowiły impregnat oraz farba chlorokauczukowa. By zapewnić najlepsze możliwe dopasowanie form, skrajne wręgi były złożone z dwóch warstw (sklejki 12 mm + 15 mm). Sklejka 12



Rys.8 Skończone formy bazowe trójkąta (dolne)

mm była przycinana do tzw. "zera" czyli do poziomu docelowej formy, natomiast sklejka 15 mm z offsetem na warstwę podbudowy z pasów sklejek i warstwy wykańczającej. Dwie przylegające formy miały wspólny element identyczny co ułatwiało dopasowanie form. Przygotowane formy poddane zostały kontroli wymiarowej i testowi dopasowania składowych form w procesie próbnego pierwomontażu.

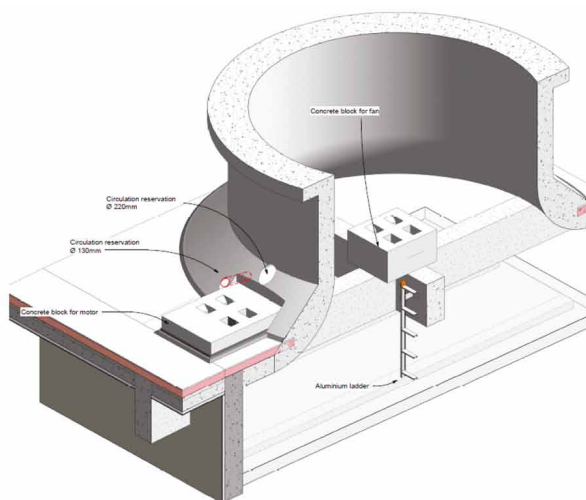
Nie tą drogą utartą

Kominy stacji wentylatorni budynku technicznego CERN.

Zamawiający/wykonawca: Tech-Bud Sp. z o.o., Wykonawca: BudoSprzęt Sp. z o.o.

Forma

W ramach rozbudowy zakładu CERN LHC Point 5 na budynku wentylatorni oznaczonym nr SF57 zaprojektowane zostały trzy wyloty kominowe o średnicy wylotowej $\phi = 3,70$ m. Forma cylindryczna komina w miejscu przecięcia z płaszczyzną stropu - od strony zewnętrznej - łączyła się skośną pachwiną, natomiast od strony wewnętrznej komina płaszczyzna pozioma stropu łagodnie przechodziła po okręgu w pion. W ukształtowanej w ten sposób formie wyodrębnić można było trzy rodzaje powierzchni: cylindryczną, stożkową oraz torusa. Wylot komina wieńczył gzyms, który poszerzał się w kierunku zewnętrznym. Otwór komina na wysokości stropu przecięty był dwiema belkami, które krzyżowały się ze sobą w środku okręgu dając platformę wsporczą pod urządzenie wentylatora.

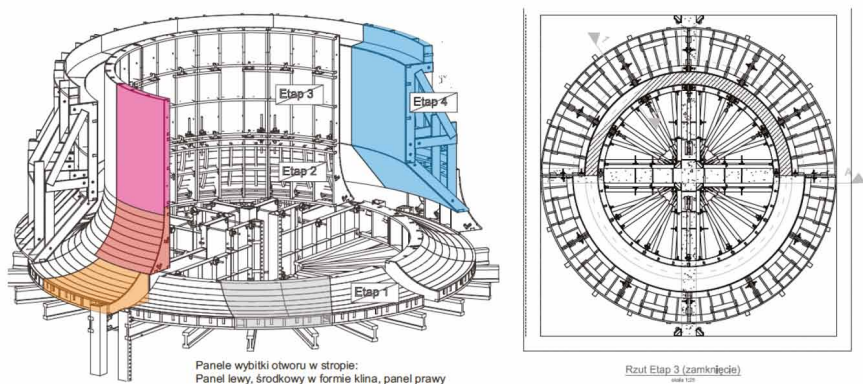


Rys.9 Rysunek poglądowy formy komina (fragment dokumentacji)

Przyjęte rozwiązanie

Z perspektywy wykonawcy deskowań największy problem stanowiła część wewnętrznego torusa, która dodatkowo w rzucie do pewnej wysokości została podzielona na cztery pola. Na wysokości deskowanie zostało podzielone na dwa etapy. Poziom podestu deskowania po uzgodnieniach z wykonawcą ustalony został tak, by pokrywał się ze spodem belki

wsporczej wiatraka. Pierwszy etap betonowania obejmował zakres belek z otworową płytą i wyobloną krawędzią. Druga część betonowania dotyczyła wylotów kominów na pełną ich wysokość (2,00 m) wraz z belką obwodową/gzymsem. Ten etap został podzielony na sześć taktów, po dwa betonowania na każdy komin, w układzie przestawnym dwóch kompletów deskowania na ćwierć okręgów.



Rys.10 Widok izometryczny deskowania formy komina (dokumentacja wykonawcza BSP)

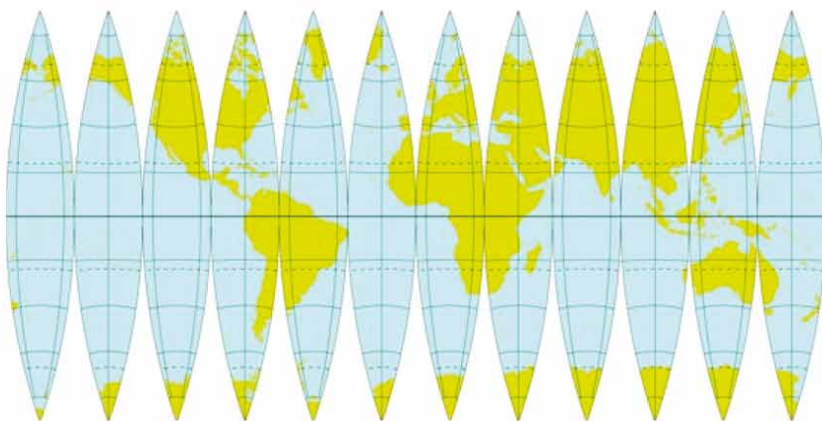
Każde z czterech pól deskowania otworu w stropie złożone było z trzech segmentów uformowanych w rzucie, w kształcie klina, który umożliwić miał wygodne rozdeskowanie. Wykonawca ostatecznie zamówił dwa komplety deskowania otworu na pierwszy etap oraz połowę pełnego okręgu dla drugiego etapu.

Problem

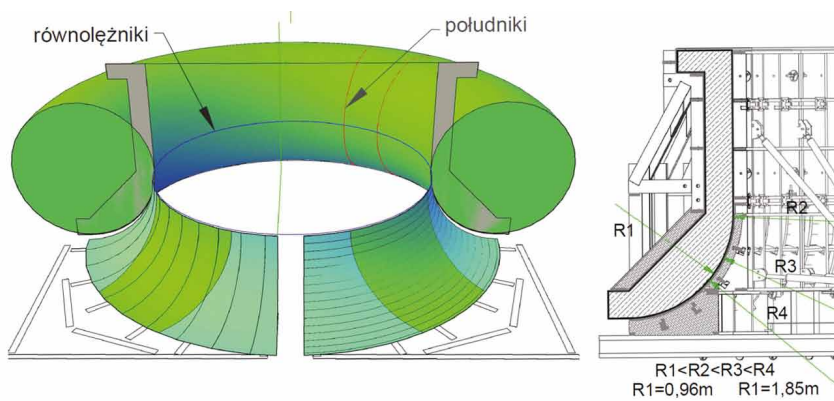
Po przeanalizowaniu geometrii torusa oraz podziału odcinka z uwzględnieniem klinowania przyjęliśmy dyskretację okręgu wzdłuż tzw “południków” torusa. Odwrotnie do sposobu, który wstępnie się narzucał, czyli wzdłuż “równoleżników” - jak to ma miejsce np. przy globusie (tych starszych oklejanych na mokro modelach - ilustracja poniżej).

Przyjęte rozwiązanie miało kilka atutów. Ze względu na promienie gięcia płytów, dopasowanie listew okazało się dużo łatwiejsze i umożliwiało wykorzystanie standardowej sklejki szalunkowej.

Grubsza sklejka umożliwiała redukcję wręgów generując większą siatkę (mniejsza ilość wręgów podłużnych i poprzecznych = mniejsza ilość materiału, cięcia itd.) Promień południka do najmniejszego równoleżnika był w stosunku 1:2. Maksymalny promień gięcia wg naszych norm zakładowych wynosi: 3,50 m dla sklejki gr. 15 mm oraz 2,90 m dla sklejki gr. 12 mm.



Rys.11 Siatka globusa

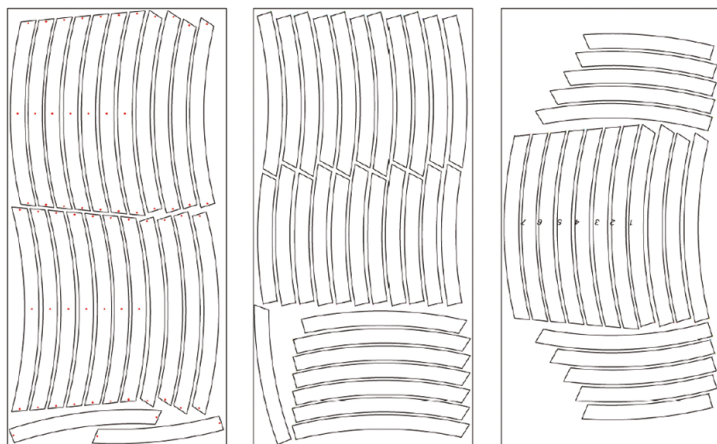


Rys.12 Schemat koncepcji kierunku wyłożenia formy torusa

Można te wartości zmniejszyć nacinając sklejkę powierzchniowo na głębokość ok. $\frac{2}{3}$ jej grubości, jednak promienie gięcia poniżej 1,00 m wymagają stosowania specjalnej sklejki elastycznej, lub bardzo cienkiej sklejki szalunkowej 4 mm. Stosowanie tych sklejek wymaga jednak podbudowy z pasów grubszej sklejki lub gęstszego jej podparcia. Przyjmując aproksymację kształtu przez podział południka uzyskaliśmy wizualnie lepszy efekt.

By przyspieszyć prace i optymalizować ilości odpadu za pomocą autorskich skryptów do AutoCADA uzyskaliśmy rozwinięcia powierzchni stożkowych powstałych wskutek aproksymacji ujemnej krzywizny torusa, które rozmieszczone za pomocą auto nestingu wpisane zostały w zadane formatki sklejki (rys.) Dzięki modelowaniu w 3D, precyzyjnemu wycięciu elementów, łączeniu segmentów na wpust-wpust montaż przebiegał szybko, a powstałe w ten sposób formy były identyczne. Sklejki poszycia były tak precyzyjnie dopasowane, że nie wymagały uszczelniania styków.

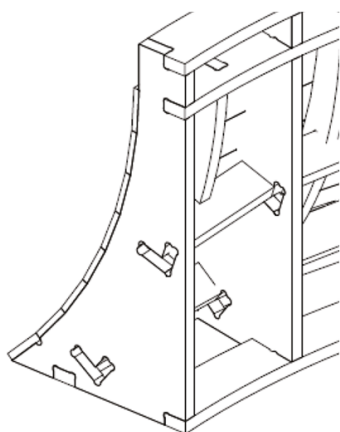
Sklejka szalunkowa brzoza kl A film 220, przykładowe rozkroje



Rys.13 Wykroje pasów poszycia formy ze sklejki

Wyzwaniem również okazało się precyzyjne dopasowanie form w pionie, gdyż etapowanie prac zakładało betonowanie w dwóch etapach, a linia podziału przebiegała w krzywej torusa. W dodatku nie w jej środku. Trzeba było dobrać tak podział dolnej i górnej części łuku by wizualnie “fasetowane” formy przedstawiały się podobnie.

By precyzyjnie dopasować formę z etapu pierwszego i drugiego należało precyzyjnie umieścić w formie etapu drugiego pierwszy pas sklejki. By to zrobić pierwszy pas sklejki wycięty został ze sklejki gr. 15 mm tak jak to było w formach etapu pierwszego, natomiast kolejne pasy zostały wycięte ze sklejki gr. 12 mm. Na wręgach pojawiło się zatem charakterystyczne podcięcie o gr. 3 mm, które pozwoliło idealnie spozycjonować położenie pierwszego pasa sklejki. Im wyższy pas sklejki tym jego wygięcie się zwiększało, więc taka zamiana sklejki 15 mm na 12 mm przyniosła pozytywny skutek i ułatwiała dalszy montaż (rys. podcięcie widoczne w lewym dolnym rogu.) Poniżej na zdjęciu widoczny efekt montażu i test dopasowania form który został przedstawiony klientowi do weryfikacji.



Rys.14 Forma startowa wewnętrzna 2 etapu

Forma zewnętrzna ze względu na duży gabaryt i ograniczanie kosztów wykonana została jako kratownica przestrzenna. Elementy łukowe wycinane spośród arkuszy, z założenia generują większy odpad co skłoniło nas do odwrócenia głównych osi wyparcia z poziomych na pionowe. Kratownice zaplanowano tak by jej montaż mógł nastąpić szybko i dać możliwie dokładne formy. Czasu nie pozostawało wiele.



Rys.15 Dwie kosane kratownice zewnętrzne etapu 2

Aby precyzyjnie montować słupki i krzyżulce użyliśmy otworów dopasowujących, poprzez które poszczególne elementy wstępnie były ze sobą łączone kołkami z drewna średnicy 28 mm. Tak wstępnie połączone elementy kratownic były łączone wkrętami do drewna TRX5 x 80. Sklejki na wewnętrzne formy cylindryczne ze względu na mały promień $R = 1,85$ m zostały ponacinane by umożliwić ich ułożenie na ruszcie ze sklejki konstrukcyjnej. Dopasowanie sklejki do formy odbywało się na prowizorycznej prasie.

a)



b)



Rys.16 a) Test dopasowania form zewnętrznych etapu 2 b) Test dopasowania form wewnętrznych etapu 2

Podsumowanie

Deskowania elementów o nietypowych kształtach niskoseryjnych, jest procesem kosztownym i czasochłonnym. Rośnie zapotrzebowanie na tego typu usługi. Kluczem do sukcesu jest tutaj optymalizacja i automatyzacja procesu. Dzięki wykorzystaniu technologii CAD/CAM możemy ograniczyć znacząco ilości wykorzystanego materiału redukując ilość odpadów, równocześnie upraszczając prace montażowe. Składanie rusztu przestrzennego jest jak układanie puzzli. Nie wymaga opracowywania warsztatowych dokładnych rysunków w celu wyprodukowania elementów składowych. Uproszczony rysunek montażowy w połączeniu z udostępnieniem wirtualnego modelu CAD cięslom przyspiesza prace. Co więcej, nie wymaga wysoko wykwalifikowanych pracowników na każdym etapie pracy nad formą. Nie wymaga również kosztownych specjalistycznych programów - GstarCAD - koszt wieczystej licencji to w przybliżeniu 2 tys. zł.

Projektowanie w ten sposób form umożliwiło redukcję czasu montażu o ok. 40 %, wydłużając czas pracy nad projektem o ok. 15 %, co ostatecznie daje wymierną korzyść. Deskowania form powierzchni krzywoliniowych tych nierozwijalnych jest zawsze obciążone wysokim ryzykiem niedoszacowania kosztów. Ostateczna cena takiej formy może być podana po opracowaniu projektu. Jednak w procesie przystąpienia do przetargu przygotowanie takiego projektu to zbyt wysoki wydatek, dlatego w większości przypadków przewiduje się koszt takich form na bazie własnego doświadczenia. Przemnaża się go dodatkowo przez wysoki współczynnik ryzyka (np. 2). Przy docinaniu arkuszy sklejk na formy krzywoliniowe powstaje dużo odpadu i wymaga to sporo czasu. Sporządza się z tanich materiałów szablony, które następnie przykładają się do arkuszy z docelowego materiału przeznaczonego na poszycie formy. W przypadku deskowania torusa - formatki wycięte na maszynie CNC przyspieszyły prace montażowe o kilka dni, co dawało nam redukcję kosztów montażu o kolejne 30 - 40 %. Przy realizacji zadania "słupy Y" okazało się, że oprócz naszej propozycji deskowania trójkąta były rozpatrywane równoległe dwa inne rozwiązania. Formy stalowe oraz formy wycinane w XPSie z pokryciem z laminatów na maszynach CNC 5D. Jednak tamte rozwiązania okazały się droższe analogicznie o 60 % i 100 %. Korzystając z dobrodziejstw technologii dostępnej już ponad 20 lat temu, dziś wciąż jesteśmy w stanie tworzyć rzeczy niezwykle. W bardzo dobrej jakości. Polskiej Jakości!

Automatyzacja - Przykładowe skrypty do gstarCADa2020

wpusty.lsp - generuje podcięcia pozycjonujące przenikających się desek (obiektów 3D),
listwy.lsp - symuluje rzeczywisty rozkład listew (płaskie obiekty) na płaszczyźnie (dowolnej), w odniesieniu do zadanego próbkowania i pozwala wysować rozkroje tzw. "dziur" powstałych przez "nieciągłość wyłożenia listwami",
stozkowe.lsp - generuje wykroje rozwinięcia powierzchni stożkowych i sferycznych.



Rys.17 Budowa. Widoczny etap 1 i etap 2



Rys.18 Widoczne fasetowanie powierzchni torusa.
Faza pierwomontażu w hali Budosprzętu



Rys.19 Zdjęcia kominów z zakończenia budowy



Rys.20 a) Budowa, b) Pierwomontaż na hali produkcyjnej

Literatura

- [1] Stanisław Polański: Geometria powłok budowlanych. PWN, Warszawa 1986
- [2] Edward Lisowski: Modelowanie geometrii elementów maszyn i urządzeń w systemach CAD 3D, Politechnika Krakowska, Kraków 2003
- [3] Ryszard Markiewicz :Modelowanie geometryczne w projektowaniu. PW, Warszawa 2010
- [4] K. Marciniak (red): Obróbka powierzchni krzywoliniowych na frezarkach sterowanych numerycznie, WNT Warszawa 1988