

Każdy materiał może być użyty do tworzenia obiektów budowlanych

## Kładka z kartonu

inż. Zbigniew Koszut

Terrell group, Paryż

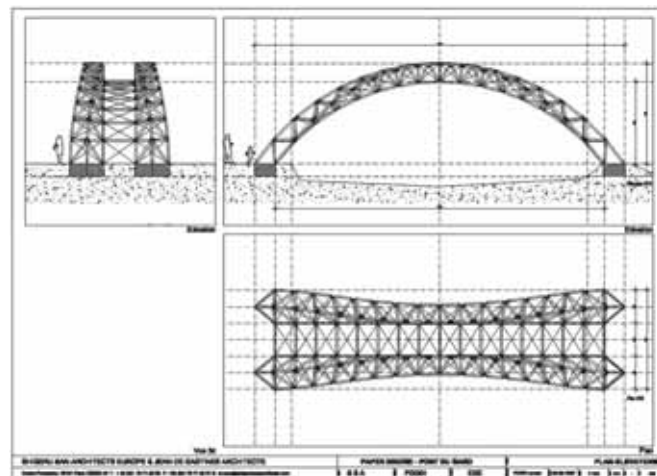
Czy można budować ze wszystkiego, co można sobie wyobrazić? Uważam, że tak – wszystko, co jest wyobrażalne, jest wykonywalne. Czy coś jest realizowalne, to kwestia, czy natura (a w tym przypadku wytrzymałość materiałów, która jest tylko nauką, tłumaczącą fenomeny natury) zaakceptuje istnienie obiektu, a ponieważ my, którzy kreujemy obiekty będąc tylko małą częścią składową natury, mogliśmy sobie coś wyobrazić, to znaczy, że natura już to zaakceptowała. Pozostaje tylko kwestia konwersacji z naturą o tym, jak urzeczywistnić nasze wyobrażenie, a „językiem” tej konwersacji jest wytrzymałość materiałów.

Według tej hipotezy, karton również może być materiałem konstrukcyjnym. Opakowania z kartonu już same w sobie są konstrukcjami, choć nie wymagamy od nich znacznej nośności, a ich wytrzymałość nie ma żadnego wpływu na bezpieczeństwo. Jeżeli potraktuje się ten materiał według kryteriów bezpieczeństwa, to stanie się on skutecznym materiałem budowlanym. Parametry mechaniczne kartonu są słabsze niż np. drewna, ale parametry mechaniczne drewna są przecież słabsze od parametrów stali, a mimo wszystko budowaliśmy, budujemy i będziemy budować z drewna. Karton to tylko pochodna drewna.

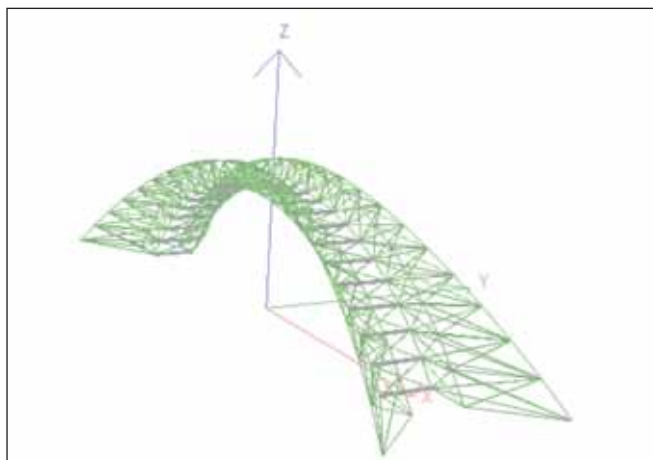
W artykule jest mowa o kładce dla pieszych, wybudowanej dla urozmaicenia wrażeń towarzyszących zwiedzaniu pochodzącego z czasów rzymskich mostu Pont du Gard koło Awinionu we Francji. Projekt ten został powierzony japońskiemu architektowi Shigeru Ban, znanemu na całym świecie z tworzenia architektury z elementów i materiałów jak najbardziej banalnych. Używa on np. już nieprzydatnych kontenerów, elementów wyposażenia magazynów jako elementów konstrukcyjnych, a materiałami, jakimi się posługuje, są m.in. plastik i karton.

Wielokrotnie konstruowałem już z tym architektem budowle, w których jako elementy konstrukcyjne służyły rury z kartonu. Do konstrukcji kładki, o której mowa, również użyliśmy rur kartonowych.

Geometria kładki to łuk o promieniu odpowiadającym łukowi oddalonego o kilkadziesiąt metrów Pont du Gard. Na rysunku 1 pokazano konstrukcję kładki, a na rysunku 2 model geometrii.



Rys. 1. Rysunek konstrukcyjny kładki



Rys. 2. Model geometrii kładki

Podstawowymi elementami nośnymi przęsła są dwa łuki ukształtowane w formie kratownic przestrzennych o przekroju trójkątnym i geometrii „zwichrowanej”. Elementy tych kratownic skonstruowano z rur kartonowych, a ich stalowe końcówki są połączone przy pomocy ściągu stalowych, umieszczonych wewnątrz tych rur. Te końcówki pozwalają na połączenie węzłami stalowymi poszczególnych prętów. Stężenia kładki wykonano z lin stalowych napinanych śrubami rzymskimi.



Rys. 3. Fundamenty kładki ukształtowane w postaci skrzyń ze sklejki (wzmocnionej stalowymi kątownikami) wypełnionych kamieniami

Fundamenty tej kładki (rys. 3) to skrzynie ze sklejki, wzmocnione szkieletem z kątowników i wypełnione kamieniami z nadbrzeża. Nawierzchnię kładki stanowią schody o policzkach drewnianych i stopniach z płyt plastikowych. Balustradę tworzy siatka rozpięta na kątownikach ażurowych, używanych do produkcji regałów magazynowych.

Pytanie o odporność rur kartonowych na wilgoć narzuca się samo. Rury zostały zaimpregnowane lakierem, czyniącym je odpornymi na wilgoć. Konieczne są jednak kontrole po dużych opadach deszczu, gdyż źródła zawilgocenia mogą szybko i znacznie zmniejszyć parametry mechaniczne produktu.

Schematem kładki w fazie koncepcyjnej był łuk z elementów połączonych przegubowo. Rozpiętość kładki jest równa 20 m, strzałka łuku wynosi 5 m, a szerokość użytkowa 1,8 m. Połączenia przegubowe prętów miały zapewnić specjalne stalowe węzły, aby w prętach struktury występowały tylko siły osiowe. Dla tego schematu i przekroju rur średnicy 110 mm i grubości ścianek 15 mm obciążenie użytkowe kładki było przyjęte na poziomie 1 kN/m<sup>2</sup>.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych rur kartonowych.

Tab. 1. Rezultaty badań elementów rur kartonowych na ściskanie

Numer próbki	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	10,81	11,54	11,63	11,49	11,49
	wytrzymałość średnia = 11,39				
Moduł Younga [GPa]	2,55	2,40	2,34	2,45	2,33
	moduł średni = 2,41				
Współczynnik Poissona	0,113	0,115	0,150	0,135	-
	średni współczynnik = 0,135				
Wilgotność kartonu [%]	8,3	8,8	8,9	9,2	8,8
	średnia wilgotność = 8,8				

Kiedy projekt przeszedł w ręce przedsiębiorstwa wykonującego elementy, ten z własnej inicjatywy zmienił geometrię kładki oraz wykonał węzły sztywne (rys. 5), a nie przegubowe. W konsekwencji poprzez wprowadzenie momentu zginającego do rur kartonowych, obciążenie użytkowe przewidziane obliczeniami w fazie koncepcyjnej (co odpowiada polskiemu projektowi budowlanemu) stało się problematyczne.

Scalenie konstrukcji przeprowadzono w sposób niekonwencjonalny, gdyż elementy zostały wyprodukowane przez przedsiębiorstwo holenderskie, a montaż wykonany przez studentów architektury w ramach praktyki wakacyjnej (rys. 4).

Wartość obciążenia eksploatacyjnego została więc ustalona poprzez próby obciążeń (rys. 6). Podczas serii obciążeń próbnych, tylko przy pierwszym cyklu odpowiadającym 3500 N, na szczycie kładki wystąpiły przemieszczenia w granicach 20 mm. Przy każdym innym obciążeniu przemieszczenia mieściły się w granicach maksymalnie 5 mm. Próby zostały zatrzymane przy 15 000 N obciążenia statycznego w kluczu łuku.



Rys. 5. Węzeł kratownicy przestrzennej



Rys. 4. Montaż kładki bez użycia ciężkiego sprzętu





Rys. 6. Próbné obciążenie kładki zbiornikami z wodą



Rys. 7. Pont du Gard – nowy i stary



Kładka z tak nietypowego materiału stanowi atrakcję dla turystów zwiedzających Pont du Gard, starożytny most rzymski o bardzo masywnej konstrukcji (rys. 7 i 8). Ta kładka może być więc po części wyrazem ewolucji techniczno-materiałowej na przestrzeni dwóch tysięcy lat.

Jak widać na fotografii (rys. 9) turyści nie byli zbyt zaskoczeni tak niekonwencjonalnym obiektem.

Fakt, że artykuł ten trafił w państwa ręce to zasługa prof. Jana Biliszczuka, który zachęcił mnie do napisania o jednym z moich projektów, które tworzę z wielką pasją i bardzo bogatym zasobem

edukacyjnym wyniesionym z Politechniki Wrocławskiej. Jednocześnie bardzo dziękuję profesorowi i zarazem memu przyjacielowi Janowi Biliszczukowi za zredagowanie tego artykułu, by uczynić go godnym państwa zainteresowania.

\*\*\*

*Gdy jeden z moich doktorantów przeczytał ten referat zadał mi pytanie: kiedy również nas będzie stać na odrobinę luzu i szaleństwa?*

*Jan Biliszczuk*



Rys. 8. Widok gotowego obiektu



Rys. 9. Eksploatacja kładki