

FORMA A KONSTRUKCJA MEBLI. STOŁY

Agata Kozikowska

Wydział Architektury, Politechnika Białostocka, ul. O. Sosnowskiego 11, 15-893 Białystok
E-mail: a.kozikowska@pb.edu.pl

FORM AND STRUCTURE OF FURNITURE. TABLES

Abstract

The paper concerns designing tables with simply supported beam, cantilever and frame static schemes. The main purpose of the article is to present the relationship between form and structural behaviour of furniture and to create on this basis unique solutions with interesting visual effects and the lowest material cost. The publication can be a source of inspiration for furniture designers and architects.

Streszczenie

Artykuł dotyczy projektowania stołów o schematach statycznych swobodnie podpartych belek, wspornikowych i ramowych. Głównym jego celem jest ukazanie zależności pomiędzy formą a pracą konstrukcji tych mebli i tworzenie na tej podstawie niestereotypowych rozwiązań o ciekawych efektach wizualnych i niskim koszcie materiału. Publikacja może być źródłem inspiracji dla projektantów mebli i architektów.

Keywords: furniture design; tables; cantilevered curved-axis beam; simply supported beam; frame; structural forms

Słowa kluczowe: projektowanie mebli; stoły; belka wspornikowa zakrzywiona; belka swobodnie podparta; rama; formy strukturalne

WPROWADZENIE

Związek pomiędzy formą obiektu a konstrukcją ewoluował na przestrzeni wieków. W dawnych czasach dbałość o formę była drugorzędna wobec wykonywania obiektów poprawnych pod względem konstrukcji. Urozmaicenie form nie było wynikiem logiki układów konstrukcyjnych, a jedynie stosowania różnorodnych zdobień i dekoracji. Rozwój sztuki inżynierskiej, szczególnie wprowadzenie nowych materiałów, doprowadził do powstawania obiektów, których forma była podporządkowana pracy systemu nośnego. Choć projektanci takich obiektów nie mieli ambicji architektonicznych, ich dzieła zostały później uznane za postępowe i godne naśladowania. W ten sposób zaczęły się pojawiać rozwiązania oparte na harmonii konstrukcji

i formy. W XX wieku relacja pomiędzy formą a konstrukcją przybierała różne postaci: od pełnej akceptacji dominacji konstrukcji w wyrazie formalnym dzieła, poprzez tożsamość formy i konstrukcji, aż do form nie mających związku z układem nośnym, a nawet będących jego wyraźnym zaprzeczeniem. Jednak lokalizacja konstrukcji na zewnątrz obiektu zawsze prowadziła do rozwiązań, w których forma była mniej lub bardziej zdeterminowana przez właściwości ustroju nośnego. Dlatego w przypadku mebli z widoczną konstrukcją wskazane jest, aby odgrywała ona ważną rolę w ich wyrazie estetycznym.

Architekci zazwyczaj projektują formy mebli, kierując się poczuciem piękna i harmonii, z jednocze-

snym zachowaniem ich funkcjonalności. Natomiast konstruktorzy zajmują się dobieraniem ostatecznych przekrojów tych mebli, nie korygując form zaproponowanych przez architektów. Efekt pracy obu grup byłby z pewnością lepszy, gdyby od początku współpracowali ze sobą i uczyli się od siebie nawzajem. Wielu autorów dostrzega ten problem i sugeruje, w jaki sposób można spróbować go rozwiązać. Allen¹ podkreśla wagę współpracy pomiędzy inżynierami i architektami. Szczególnie zauważa wpływ zdobytego wykształcenia na interakcje między nimi. Margolius² wyraża opinię, że współpraca między architektami i inżynierami powinna opierać się na wzajemnym zrozumieniu. Charleson³ sądzi, że architekci odczytują układ nośny zupełnie inaczej niż inżynierowie. Pierwsi skupiają się na tym, jak konstrukcja wpływa na otoczenie, drudzy postrzegają ją jako drogę przepływu obciążenia. A wcale tak nie musi być. Macdonald⁴ pisze o bliskiej relacji pomiędzy architektami i inżynierami w starożytnej Grecji i Rzymie. Dzięki wzajemnemu zrozumieniu tworzyli oni obiekty, w których wymagania konstrukcji i architektury zostały pogodzone w bardzo pozytywny sposób. W tym czasie architekt i inżynier był w wielu przypadkach tą samą osobą – budowniczym. Również Margolius⁵ pisze o tym, że wskazane jest, aby przedstawiciele obu grup byli chętni do współpracy. Każdy z nich powinien rozumieć sposób myślenia drugiego i dać wystarczające wyjaśnienia dotyczące swojej pracy, aby umożliwić pełną wymianę pomysłów. Uświadomienie tej relacji otwiera nowe możliwości i prowadzi do najbardziej udanych projektów, ekonomicznie i estetycznie. O tym współdziałaniu pisze też Holgate^{6,7}. Uważa on, że możliwość porozumienia się inżyniera z architektem jest prawdopodobnie trudniejsza niż między innymi specjalistami, z którymi musi współpracować, gdyż metody i cele architekta są dla inżyniera dość mgliste. Architekt często nie potrafi racjonalnie wyrazić swoich

żądań wobec inżyniera. Dlatego pożądane jest, aby architekt posiadał chociaż podstawową wiedzę o pracy konstrukcji, tak aby ta współpraca mogła być owocna.

Niestety, edukacja architektów odnośnie do konstrukcji jest zwykle ukierunkowana na obliczenia, chociaż wiedza jakościowa o pracy konstrukcji jest im bardziej potrzebna. Allen⁸ uważa, że architekci otrzymują w procesie kształcenia zbyt dużo wiedzy matematycznej na temat konstrukcji, podczas gdy jest to część procesu projektowania, w którą prawie nigdy nie angażują się. Pisze on o nowym podejściu do nauczania konstrukcji, które podkreśla znaczenie znalezienia dobrej formy konstrukcji w procesie projektowania⁹. Charleson¹⁰ wypowiada się na temat podręczników o konstrukcjach dla studentów architektury. Zauważa, że ich autorzy koncentrują się na analizie ustroju nośnego, natomiast nie badają jego architektonicznych implikacji. Opisują analizę elementów nośnych, lecz oprócz badania roli definiującej przestrzeń i porządkującej konstrukcji, rzadko ukazują inne obszary, na których oddziałuje ona architektonicznie.

Natomiast projektanci mebli, którzy potrafili rozpoznać pracę konstrukcji, mogą dostosować formy mebli do wielkości sił wewnętrznych. W ten sposób konstrukcja może wywierać pozytywny wpływ na architekturę, angażować się w architekturę aktywnie i twórczo. Ma to szczególne znaczenie w przypadku mebli, ponieważ ich konstrukcje są zwykle wyeksponowane. Jednym z najbardziej entuzjastycznych propagatorów traktowania konstrukcji jako generatora formy był Le Corbusier¹¹. Charleson¹² przedstawia różne rodzaje związków pomiędzy formą architektoniczną a konstrukcyjną, a formy zainspirowane pracą ustroju nośnego określa jako zgodne¹³. Siegel¹⁴ nazywa kształty będące wynikiem dążenia do zgodności funkcji i konstrukcji jako „formy strukturalne”, a Kaesz¹⁵ określa je jako „czyste”. Margolius¹⁶ uważa, że konstrukcja i ar-

¹ E. Allen (i inni), *Form and forces: designing efficient, expressive structures*, New Jersey 2010, s. 611.

² A. Grater, *Interview with Ivan Margolius*, „Architectural Design” 2002, s. 126.

³ A.W. Charleson, *Structure as architecture: a source book for architects and structural engineers*, Amsterdam 2005, s. 3.

⁴ A.J. Macdonald, *Structure and Architecture*, Oxford 2001, s. 114.

⁵ I. Margolius, *Architects + engineers = structures*, Chichester 2002, s. 9.

⁶ A. Holgate, *The art in structural design*, New York 1986, rozdz. 6.

⁷ A. Holgate, *Aesthetics of built form*, New York 1992, rozdz. 1.

⁸ E. Allen (i inni), *op. cit.*, s. 611.

⁹ Tamże, s. 614.

¹⁰ A.W. Charleson, *op. cit.*, s. VII-VIII.

¹¹ A.J. Macdonald, *op. cit.*, s. 104.

¹² A.W. Charleson, *op. cit.*, s. 1-2.

¹³ A.W. Charleson, *op. cit.*, s. 19-23.

¹⁴ C. Siegel, *Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze*, Warszawa 1974, s. 151.

¹⁵ G. Kaesz, *Meble stylowe*, Wrocław 1990, s. 228.

¹⁶ I. Margolius, *op. cit.*, s. 11.

chitektura powinny stanowić integralną całość. Torroja¹⁷ głosi, że powstanie konstrukcji powinno być wynikiem połączenia techniki i sztuki, wyobraźni i uczucia. Allen¹⁸ zwraca uwagę, że architekci starają się tworzyć coraz bardziej skomplikowane kształty, podczas gdy formy architektoniczne powinny być okazją do pokazania, jak działa struktura nośna. Kries¹⁹ opowiada się za istotnym wpływem konstrukcji na formy mebli na przykładzie związków pomiędzy meblami a budynkami Ludwiga Miesa van der Rohe.

Ważną kwestią kształtowania zainspirowanego pracą konstrukcji jest estetyka. Kwestię wpływu konstrukcji na estetykę porusza Salvadori²⁰. Uważa, że zakryta konstrukcja posiada bardzo ograniczone możliwości wzbogacenia architektury, ale konstrukcja wyeksponowana powinna integrować się z projektem i wzmacniać ekspresję pomysłową architektonicznych. Baborska-Narożny i Marcin Brzezicki omawiają zagadnienia związku estetyki i techniki w architekturze²¹. Piszą, że w przypadku widocznej konstrukcji projektant powinien przypisać jej dużą rangę w kształtowaniu estetyki obiektu, gdyż takie rozwiązania są zwykle odbierane przez obserwatorów jako znacznie bardziej ekspresyjne i interesujące.²² Allen²³ sugeruje, że piękno powinno być nieodłączną częścią projektu konstrukcyjnego. Charleson²⁴ apeluje do projektantów, aby zadali sobie pytanie, w jaki sposób konstrukcja może im pomóc dodać estetyczną i funkcjonalną wartość do ich prac projektowych, a tym samym wzbogacić je. Macdonald²⁵ podkreśla, że osiągnięcie elegancji powinno być głównym kryterium dobrego projektowania konstrukcji, a Mainstone²⁶ twierdzi, że kształty nawiązujące do pracy konstrukcji mogą być estetycznie satysfakcjonujące i wizualnie ekspresyjne. Sebestyen i Pollington²⁷ uważają, że proces projektowania powinien prowadzić do spełnienia wymagań estetycznych poprzez dobranie właściwej formy konstrukcji, zamiast

stosowania ozdób i dekoracji. Torroja²⁸ pisze, że stopień uwzględnienia czynnika estetycznego w projektowaniu powinien być rozważany indywidualnie dla każdej konstrukcji. Nervi²⁹ sugeruje, że formy wynikające z uwarunkowań technicznych coraz bardziej wchodzą do naszej świadomości i wpływają na zmianę gustów artystycznych, powodując pełną ich akceptację. Autor ukazuje tę tendencję między innymi na przykładzie mebli. Margolius³⁰ cytuje słowa Le Corbusiera, że estetyka inżynierska i architektura to dziedziny, które pasują do siebie i jedna wynika z drugiej.

Formy strukturalne zwykle mają jeszcze inną bardzo ważną zaletę – zmniejszają koszt projektu. O bezpośredniej zależności kształtu konstrukcji i wydajności pisze Allen³¹. Margolius³² podkreśla, że warunek możliwie największej wydajności powinien być zawsze przestrzegany i szanowany. Macdonald³³ sugeruje poprawę efektywności projektu poprzez zróżnicowanie wysokości przekroju w zależności od intensywności zginania. Autor uważa, że ostateczna geometria jest zawsze kompromisem między kosztem a prostotą, a osiągnięcie elegancji w tym kompromisie jest głównym kryterium dobrego projektowania konstrukcji.

Konstrukcja mebla jest zazwyczaj wyeksponowana i dlatego powinna być traktowana jako jego priorytetowa część. Projektanci powinni rozumieć zagadnienia konstrukcyjne i starać się kształtować formy mebli zgodnie z wielkościami sił wewnętrznych i technicznym przeznaczeniem materiału w sposób jak najlepiej odpowiadający zasadom estetyki. Projektowanie zgodnie z tymi regułami prowadzi do konstrukcji nie tylko lekkich i oryginalnych, ale również o niespotykanych efektach wizualnych. Jest to szczególnie ważne przy dzisiejszym dążeniu do wyjątkowości i niskich kosztów.

Stoły należą do najbardziej popularnych mebli. Elementy ich konstrukcji podtrzymujące blat są wi-

¹⁷ E. Torroja, *Logik der Form*, München 1961, s. 6.

¹⁸ E. Allen (i inni), *op. cit.*, s. 612-613.

¹⁹ M. Kries, *Pure Form Only? Observations on the Relationship Between Mies van der Rohe's Furniture and Buildings*, „Architectural Design” 2002, s. 14-16.

²⁰ M. Salvadori, *Structure in architecture: the building of buildings*, Englewood Cliffs 1975, s. 4-5.

²¹ M. Baborska-Narożny, M. Brzezicki (2008), *Estetyka i technika w architekturze przemysłowej*, Wrocław 2008.

²² Tamże, s. 135.

²³ Tamże, s. 612.

²⁴ A.W. Charleson, *op. cit.*, s. VII.

²⁵ A.J. Macdonald, *op. cit.*, s. 60.

²⁶ R.J. Mainstone, *Developments in structural form*, London 1983, s. 27.

²⁷ G. Sebestyen, C. Pollington, *New Architecture and Technology*, Oxford 2003, s. 138-140.

²⁸ E. Torroja, *Philosophy of Structures*, Los Angeles 1958, s. 5.

²⁹ P.L. Nervi, *Aesthetics and Technology in Building*, Cambridge, MA 1965, s. 186.

³⁰ I. Margolius, *op. cit.*, s. 10.

³¹ E. Allen (i inni), *op. cit.*, s. 612.

³² I. Margolius, *op. cit.*, s. 13.

³³ A.J. Macdonald, *op. cit.*, s. 40-41.

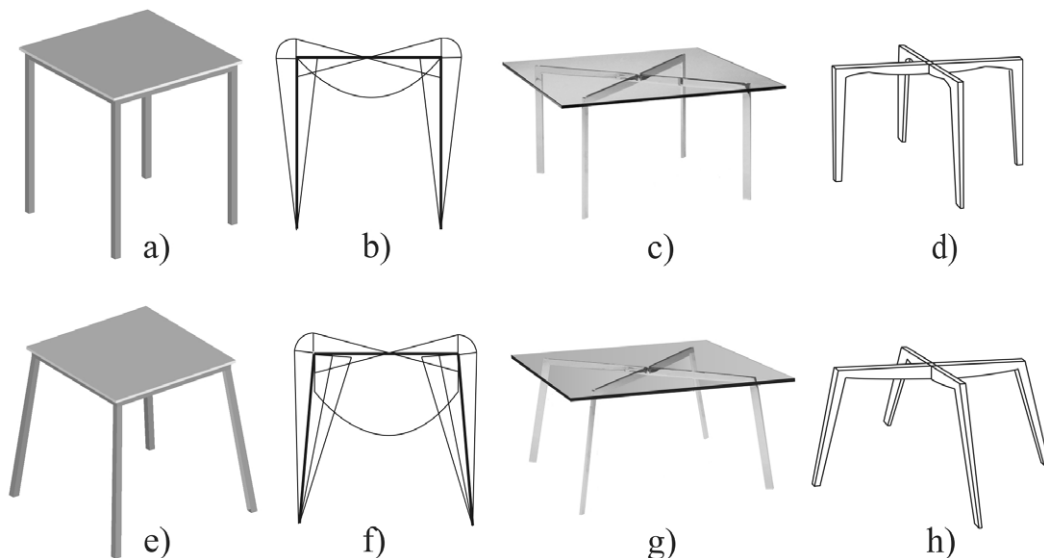
doczne w przypadku szklanych blatów, a części niepołączone bezpośrednio z blatem, jak nogi czy łączyny, są prawie zawsze wyeksponowane. Dlatego formy stołów powinny być projektowane z uwzględnieniem występujących w nich sił wewnętrznych. Celem artykułu jest przybliżenie pracy konstrukcji stołów i ukazanie, że kształtowanie tych mebli w oparciu o zasadę zgodności sposobów ich pracy z proporcjami formy i przekroju może prowadzić do wyjątkowych rozwiązań, łączących trwałość z poczuciem piękna i lekkością. W artykule będą analizowane stoły prętowe oraz płytowe, pracujące jednokierunkowo. W konstrukcjach tych stołów pod wpływem grawitacyjnych obciążeń użytkowych występuje zginanie, ścinanie, ściskanie i rozciąganie. W obu typach stołów, wykonanych z cienkich prętów lub cienkich płyt, zginanie jest dominujące, ma nadrzędny wpływ na dobór form i tylko ten rodzaj pracy będzie uwzględniany. Blaty stołów prętowych są płytami pracującymi walcowo w przypadku oparcia na jednym poziomym pręcie szkieletu (ryc. 5i) lub na dwóch równoległych prętach (ryc. 4a, 4f, 4g, 5a, 6a, 6e, 6f, 6g, 7g) lub płytami zginanymi dwukierunkowo w pozostałych przypadkach (ryc. 1a, 1c, 1e, 1g, 3a, 3d, 8a, 8i, 8j, 8k, 8l, 8o, 8q). Blaty te będą uwzględniane tylko jako źródło zbierania i przekazywania obciążeń na prętową konstrukcję wsporczą. W przypadku omawianych stołów płytowych zarówno blaty, jak i części je podtrzy-

mujące są płytami pracującymi jednokierunkowo. Takie stoły są przedstawione na rycinach 2a, 5g, 5j, 5l, 5m, 6h, 7a oraz 8m.

1. ANALIZA PRACY I DOBÓR FORM STRUKTURALNYCH STOŁÓW O DOMINUJĄCYM BELKOWYM SPOSOBIE PRACY

Stoły, których płaskie schematy statyczne mają postać pojedynczego pręta o dowolnym kształcie ze swobodnymi końcami na dole, pod typowymi dla stołów grawitacyjnymi obciążeniami pracują jak swobodnie podparte belki. Nogi takich mebli mogą się bowiem swobodnie przesuwać w poziomie, czyli co najmniej jedna z obu podpór przegubowych jest przesuwna. Przy takim podparciu obciążenie pionowe powoduje powstanie tylko pionowych reakcji, które nie zależą od kształtu pręta i są takie same jak dla prostej, poziomej belki. Również wykresy momentów takich schematów o dowolnym kształcie są takie same jak dla prostych, poziomych belek i mogą być tworzone poprzez przeniesienie tych wykresów z odpowiednich poziomych belek na zakrzywione konstrukcje.

Stoły zaprezentowane na ryc. 1a i 1e były szczegółowo omówione we wcześniejszym artykule autorki³⁴. Poziome elementy tych mebli, tworzące kwadrato-



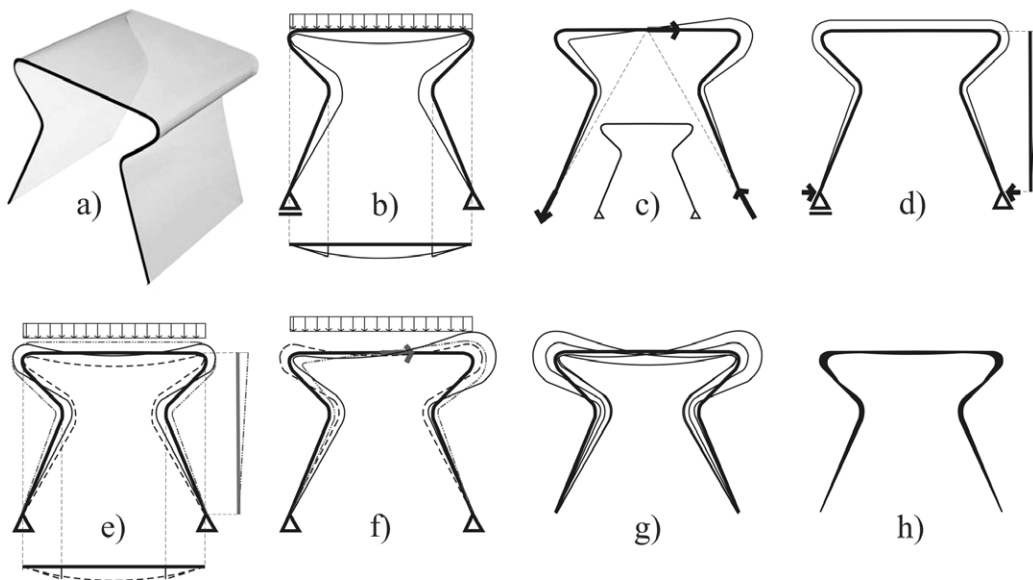
Ryc. 1. Stoły o schematach swobodnie podpartych belek z prostymi nogami: a) stół z pionowymi nogami i kwadratowym ryglem – widok, b) obwiednia momentów stołu z ryc. 1a, c) stół z pionowymi nogami i ryglem w kształcie krzyża – widok, projekt Mies van der Rohe, źródło: <http://hivemodern.com/pages/products.php?sid=485>, d) forma stołu z ryc. 1c wynikająca z pracy konstrukcji, e) stół z nachylonymi nogami i kwadratowym ryglem – widok, f) obwiednia momentów stołu z ryc. 1e, g) stół z nachylonymi nogami i ryglem w kształcie krzyża, h) forma stołu z ryc. 1g wynikająca z pracy konstrukcji. Rys. autorka

³⁴ A. Kozikowska, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji belkowej oraz ramowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4/2010.

wy rygiel i podtrzymujące blat, są oparte na pionowych lub pochylonych na zewnątrz nogach, przyłączonych do rygla w węzłach. Obwiednie wykresów momentów tych stołów są zamieszczone na ryc. 1b i 1f. Zginanie od obciążenia pionowego jest takie samo jak swobodnie podpartych poziomych belek. W przypadku pionowych nóg to zginanie dotyczy tylko poziomych elementów rygla, nogi są tylko ściskane. Dlatego w przypadku stołu z ryc. 1a konieczne jest uwzględnienie zginania nóg podpartych na dole nieprzesuwnie (przy zablokowanym ich przesuwie w poziomie, na przykład poprzez tarcie), spowodowanego poziomym obciążeniem. Schematem statycznym jest wówczas dwuprzegubowa rama. Jednak ten sposób pracy nie jest dominujący, dlatego nawet stół z pionowymi nogami został zaliczony do mebli o schemacie belkowym. Gdy nogi są nachylone na zewnątrz, moment zginający od obciążenia grawitacyjnego jest większy ze względu na większą rozpiętość belki i ponadto dotyczy również nóg. Dlatego nie musimy wówczas brać pod uwagę zginania od poziomego obciążenia, ponieważ jest zwykle mniejsze niż od sił pionowych. Stoły z ryc. 1c i 1g mają takie same płaskie schematy statyczne jak stoły z ryc. 1a i 1e, pomimo innego sposobu połączenia elementów (rygiel ma kształt krzyża zamiast kwadratu). Oszczędne materiałowo

konstrukcje tych mebli są pokazane na ryc. 1d i 1h. Poziome pręty rygla mają przekroje wydłużone w płaszczyźnie pionowej i największe w środku. W przypadku pionowych nóg rygiel ma przewężenia pomiędzy środkiem a węzłami. Gdy nogi są pochylone na zewnątrz, wysokość optymalnego przekroju rygla stale maleje od środka ku węzłom. Nogi, które nie są pionowe, mają optymalny przekrój malejący ku dołowi i wydłużony w płaszczyznach pionowych, w których są nachylone i najmocniej zginane przez grawitacyjne obciążenie. Nogi pionowe, które są podobnie zginane w każdej płaszczyźnie przez poziome obciążenie, mają optymalne przekroje zmniejszające się ku dołowi, ale nie wydłużone w żadnej płaszczyźnie. Stół z nogami pionowymi jest bardziej oszczędny materiałowo niż stół z nogami rozsuniętymi na zewnątrz z rygłem o takiej samej wielkości, ale jest bardziej podatny na wywrócenie.

Stół z ryc. 2a jest przykładem płyty, zakrzywionej i zginanej w jednym kierunku, zachowującej się jak meble płytowe omówione w innym artykule autorki³⁵. Praca takich mebli może być rozważana tylko dla płaskiego schematu, powstałego w wyniku przekroju płyty o walcowym kształcie płaszczyzną pionową. W wyniku przekroju płyty z ryc. 2a otrzymujemy schemat na ryc.2b z jedną podporą przesuwną. Jest to swobod-



Ryc. 2. Stół o schemacie swobodnie podpartej belki z nogami zakrzywionymi, projekt Hermian Sneyders De Vogel: a) widok, źródło: <http://www.bonluxat.com/a/hermian-sneyders-de-vogel-pi3d-table.html>, b) belkowy schemat stołu i wykres momentów od pionowego obciążenia, c) ramowy schemat stołu i wykres momentów od obciążenia poziomego, d) pomocniczy wykres momentów od poziomych reakcji w podporach, zapewniających nieprzesuwność nóg, e) wykres momentów od obciążenia pionowego przy nieprzesuwnych podporach, f) wykres momentów od obu obciążeń przy nieprzesuwnych podporach, g) obwiednia momentów, h) zmiana grubości płyty wynikająca z pracy konstrukcji. Rys. autorka

³⁵ A. Kozikowska, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji płyt zginanych jednokierunkowo*, „Architecturae et Artibus” nr 1/2013.

nie podparta belka o osi zakrzywionej, o wykresie momentów takim samym jak wykres momentów poziomej belki. Jednak taka belka ma zerowy moment na liniach pionowych przechodzących przez podpory (tu w górnych węzłach). Dlatego należy dodatkowo rozważyć inny schemat z obydwoma podporami nieprzesuwnymi pod działaniem poziomego obciążenia. Wykres momentów odpowiadający tym założeniom jest podany na ryc. 2c. Został on sporządzony na podstawie reakcji od poziomej siły. Reakcje te mogą być wyznaczone w prosty sposób dzięki symetrii konstrukcji i antysymetrii obciążenia. Wykres momentów od obciążenia grawitacyjnego i schematu z nieprzesuwnymi podporami uwidoczono na ryc. 2e. Wykres ten jest sumą momentów dla schematu belkowego bez poziomych reakcji pod pionowym obciążeniem (ryc. 2b) oraz od poziomych reakcji (ryc. 2d). Momenty z ryc. 2f są sumą momentów z ryc. 2c i 2e. Sporządzenie tego wykresu umożliwiło znalezienie maksymalnych momentów we wszystkich czterech węzłach (biorąc pod uwagę również przypadek obciążenia z siłą poziomą w przeciwną stronę). Na podstawie obwiedni momentów (ryc. 2g) został sporządzony przekrój stołu o zmiennej grubości (ryc. 2h).

Stoły o schematach swobodnie podpartych belek i zoptymalizowanej konstrukcji, z prostymi nogami rozsuniętymi na zewnątrz, powinny być najgrubsze w środku rozpiętości między podporami, a następnie grubość powinna stopniowo maleć aż do końców nóg. Pozostałe stoły o takich schematach powinny mieć największe grubości w środku rozpiętości oraz w węzłach, mniejsze pomiędzy węzłami i na końcach nóg. Jako nogi są tu rozumiane te części stołów prętowych lub płytowych, które bezpośrednio nie otrzymują pionowych obciążeń ustawianych na blat.

2. ANALIZA PRACY I DOBÓR FORM STRUKTURALNYCH STOŁÓW WSPORNIKOWYCH

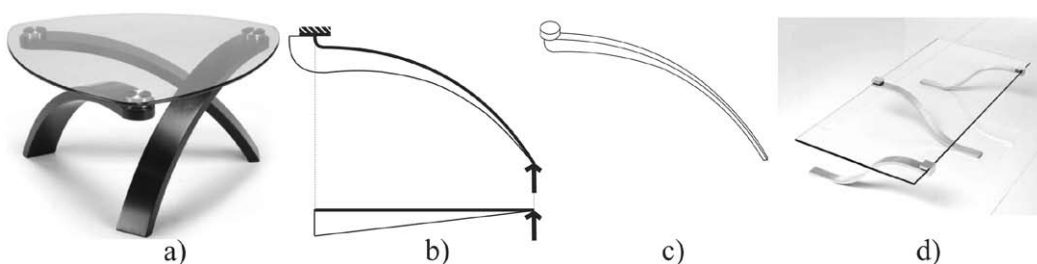
Wspornik to element konstrukcyjny o jednym końcu swobodnym i drugim utwierdzonym w innym elemencie konstrukcyjnym. Wykres momentów wspornika o dowolnym kształcie jest łatwy do znalezienia,

ponieważ jest on taki sam jak wspornika prostego, tylko musi być naciągnięty na zakrzywiony pręt prostopadły do jego osi.

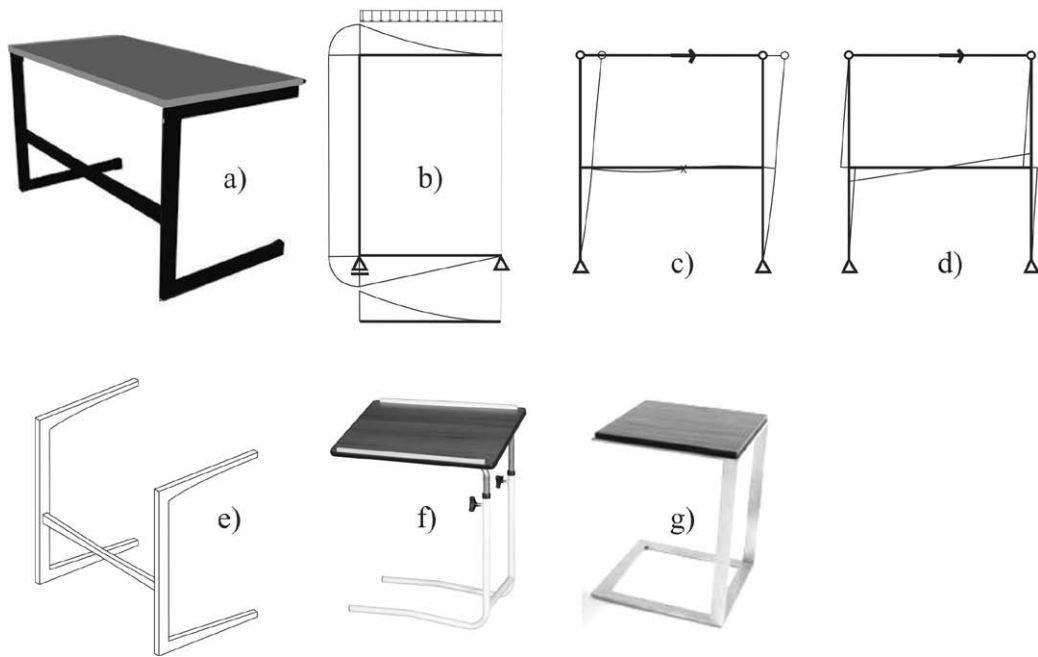
Stoły przedstawione na ryc. 3a i 3d są podtrzymywane przez zakrzywione nogi, oparte na dole w sposób przesuwany. W takich przesuwanych podporach występują tylko pionowe reakcje. Dlatego pręty te mogą być analizowane z pominięciem podpór na dole, jak wsporniki utwierdzone w blacie i obciążone na dole pionowymi reakcjami, skierowanymi do góry. Wykres momentów takiego wspornika dla stołu z ryc. 3a jest zaprezentowany na ryc. 3b, a konstrukcja o optymalnym kształcie na ryc. 3c. Aby stabilność stołów została zachowana, musi być zapewnione sztywne połączenie nóg z blatem.

Stoły przedstawione na ryc. 4 mają blaty oparte na dwóch wspornikach o kształcie obróconej litery L, utwierdzonych w poziomych belkach na dole (ryc. 4a i 4g) lub w zakrzywionej belce na dole (ryc. 4f). Decydujący wpływ na kształt optymalnego przekroju (ryc. 4e) ma wykres momentów wspornika, pokazany na ryc. 4b. Największy moment w każdym przekroju występuje, gdy obciążony jest cały blat. Na pionowej części wspornika moment jest stały, dlatego grubość tej części nie zmienia się. Natomiast górny pręt podtrzymujący blat i dolny, w którym utwierdzony jest wspornik, mają wysokość przekroju zmniejszającą się od połączeń z pionowym prętem ku swobodnym końcom. Wykres momentów z ryc. 4d ma wpływ na formę przekroju poziomego pręta łączącego części wspornikowe.

Stoły przedstawione na ryc. 5 mają wspornikowe schematy, ale części ich wsporników pomiędzy górnym a dolnym węzłem są nachylone lub zakrzywione. Krzywizna może zmieniać się gładko lub nagle (załamania). Moment na takim zakrzywionym elemencie wspornika nie jest największy w każdym punkcie, gdy obciążony jest cały blat. Dlatego, aby sporządzić obwiednię momentów tej części (pręt nachylony z ryc. 5e), konieczne jest wykonanie kilku wykresów momentów od obciążeń o różnym zasięgu i na różnych częściach blatu (tu trzy wykresy na ryc. 5b, 5c i 5d). Intensywność tych obciążeń jest taka sama, gdyż założono, jako możliwe,



Ryc. 3. Stoły oparte na pojedynczych wspornikowych nogach utwierdzonych w blacie: a) widok, projekt Simona Ganea, źródło: <http://www.homedit.com/the-elegant-allure-cocktail-table/>, b) schemat nogi stołu z ryc. 3a i wykres momentów, c) forma nogi stołu z ryc. 3a wynikająca z pracy konstrukcji, d) widok, projekt Matt Miller, źródło: <http://livingroomdecoration.org/glass-coffee-table-by-matt-miller/>. Rys. autorka



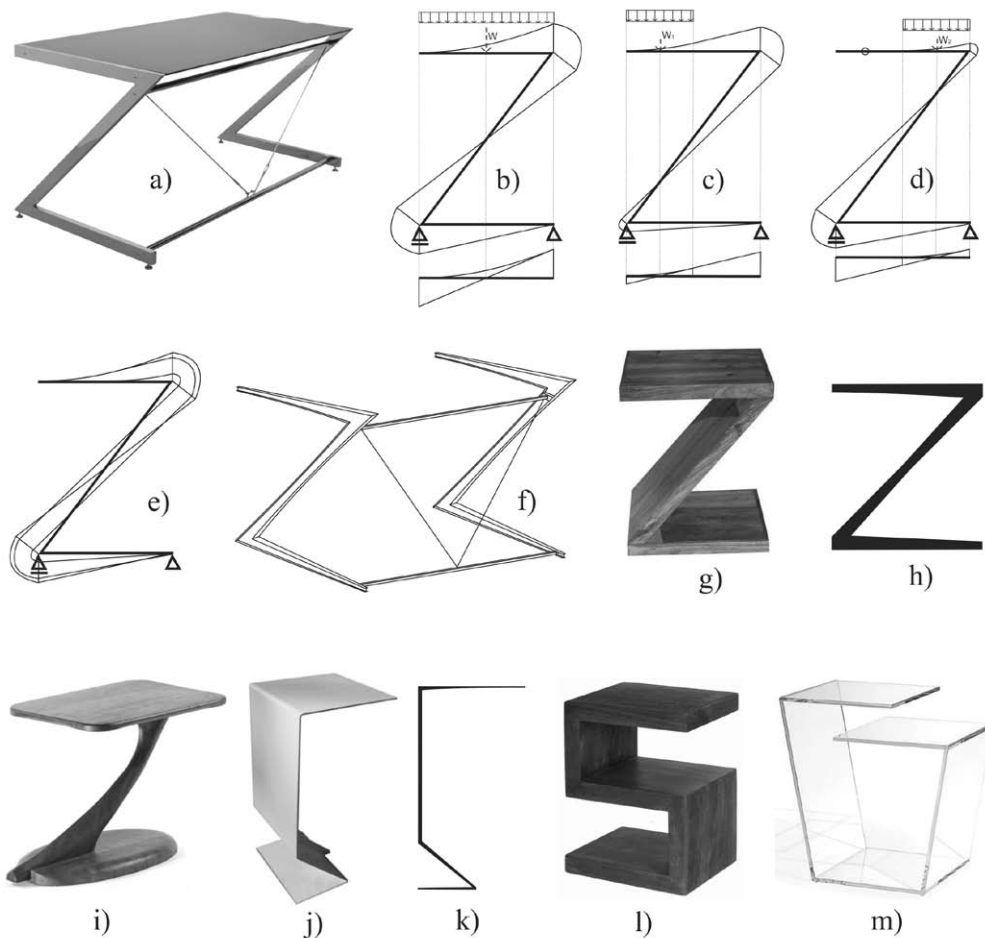
Ryc. 4. Stoły wspornikowe z pojedynczym wspornikiem i pionową częścią pomiędzy blatem a utwierdzeniem na dole: a) widok, źródło: http://www.churchbuyinggroup.co.uk/products.php?range_id=128, b) wspornikowy schemat bocznej części stołu z ryc. 4a i wykres momentów od pionowego obciążenia, c) schemat tylnej części stołu z ryc. 4a i linia ugięcia od poziomego obciążenia, d) wykres momentów tylnej części stołu z ryc. 4a od poziomego obciążenia, e) forma stołu z ryc. 4a wynikająca z pracy konstrukcji, f) widok, źródło: <http://www.jamesspencer.co.uk/onlineshop/catalogue/waltham-cantilever-table-p-664.html>, g) widok, źródło: <http://www.bonluxat.com/a/vioski-lal-table.html>. Rys. autorka

ustawianie na całym blacie lub na części elementów o takim samym, maksymalnym ciężarze. Metalowa konstrukcja stołu z ryc. 5f jest wykonana z dwuteowników o zmiennej wysokości przekroju, dostosowanej do obwiedni momentów z ryc. 5e. Stoły przedstawione na ryc. 5g, 5i, 5j, 5l i 5m mają schemat statyczny, obwiednię momentów zginających i formy dostosowane do pracy konstrukcji o takim samym charakterze. Poziome części na górze i na dole są coraz grubsze, im bliżej są części zakrzywionej lub pochylonej. Część o dowolnym kształcie, łącząca poziome elementy, jest najcieńsza w miejscu przecięcia z linią wypadkowej obciążenia na całym blacie i coraz grubsza, im dalej znajduje się od tej linii. Optymalna forma przekroju płyty stołu z ryc. 5g, spełniająca te warunki, jest zamieszczona na ryc. 5h, natomiast formę przekroju stołu z ryc. 5j pokazano na ryc. 5k. Podobny charakter pracy i optymalną formę konstrukcji ma krzesło przedstawione na ryc. 6 w artykule autorki o meblach wspornikowych³⁶.

Głównym elementem konstrukcyjnym stołów zaprezentowanych na ryc. 6 jest rozgałęziony wspornik w kształcie litery F lub T, utwierdzony w swobodnie

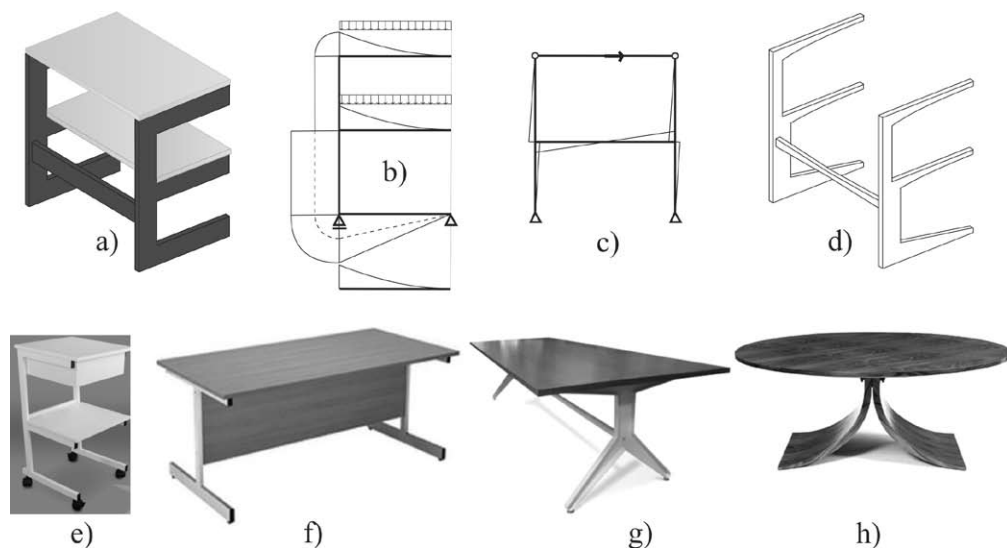
podpartej belce na dole. Część wspornika pomiędzy węzłem przy górnym blacie a dolnym węzłem przy belkowej podstawie jest pionowa. Wykres momentów dla takiego schematu w kształcie litery F jest pokazany na ryc. 6b. Moment wspornikowych gałęzi, bezpośrednio przenoszących obciążenie, jest paraboliczny. Moment na pionowej części górnego wspornika jest stały, równy momentowi na końcu obciążonej poziomej części. Gdy gałęzie są nachylone w tę samą stronę, jak na ryc. 6a, to moment dolnej pionowej części wspornika jest sumą maksymalnych momentów na obu wspornikowych gałęziach z obciążeniem. Konstrukcja stołu z ryc. 6a, dostosowana do takiego wykresu momentów, jest zamieszczona na ryc. 6d. Taki sam moment i optymalną konstrukcję ma stół z ryc. 6e. Natomiast stoły z ryc. 6f, 6g i 6h, ze wspornikiem w kształcie litery T, mają gałęzie nachylone w przeciwnie strony. W takich stołach maksymalny moment na pionowej części jest równy maksymalnemu momentowi na dłuższej gałęzi, gdy krótsza nie jest obciążona. Gdy obie gałęzie są równe, wtedy obciążenie tylko jednej z nich daje maksymalny moment na pionowej części wspornika. W przypadku

³⁶ A. Kozikowska, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji wspornikowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4/2010.



Ryc. 5. Stoly wspornikowe z pojedynczym wspornikiem i częścią pomiędzy blatem a utwierdzeniem na dole o dowolnym kształcie: a) widok, źródło: <http://www.e-krzeslo.pl/z-line-main-desk-black/>, b-d) schemat i wykresy momentów stołu z rys. 5a od różnych obciążeń, e) obwiednia momentów stołu z rys. 5a, f) forma stołu z rys. 5a wynikająca z pracy konstrukcji, g) widok, źródło: <http://www.tradeindia.com/fp499780/Z-Shape-Bed-Side-Wooden-Table.html>, h) zmiana grubości płyty stołu z rys. 5g wynikająca z pracy konstrukcji, i) widok, źródło: <http://www.tarikyousef.com/cantilever%20side.htm>, j) widok, projekt Marc Thrope, źródło: <http://www.bonluxat.com/a/marc-thorpe-mark-table.html>, k) zmiana grubości płyty stołu z rys. 5j wynikająca z pracy konstrukcji, l) widok, źródło: <http://www.beach.uk.com/mango-s-shaped-side-table-2682-p.asp>, m) widok, projekt Hermian Sneyders De Vogel, źródło: <http://www.beekcollection.nl/collectie/item/id/103>. Rys. autorka

Ryc. 6. Stoly wspornikowe z rozgałęzionym wspornikiem i pionową częścią pomiędzy górnym blatem a utwierdzeniem na dole: a) widok, b) wspornikowy schemat bocznej części stołu z rys. 6a i wykres momentów od pionowego obciążenia, c) schemat tylnej części stołu z rys. 6a i wykres momentów od poziomego obciążenia, d) forma stołu z rys. 6a wynikająca z pracy konstrukcji, e) widok, źródło: <http://www.juventas.pl/szafki-lekarskie-medyczne-metalowe/57-met-szafka-medyczna-2-sz.html>, f) widok, źródło: <http://www.fireflyoffice.com/productinfo/KF72357/Business-Machines/Telephones-Accessories/Cordless-Telephones>, g) widok, projekt Mikko Paakkanen, źródło: <http://www.bonluxat.com/a/mikko-paakkanen-atlas-table.html>, h) widok, projekt Oscar Niemeyer, źródło: <http://www.edition20.com/en/products/Niemeyer-dining-table-by-R-20th-Century-Design-by-Oscar-Niemeyer>. Rys. autorka



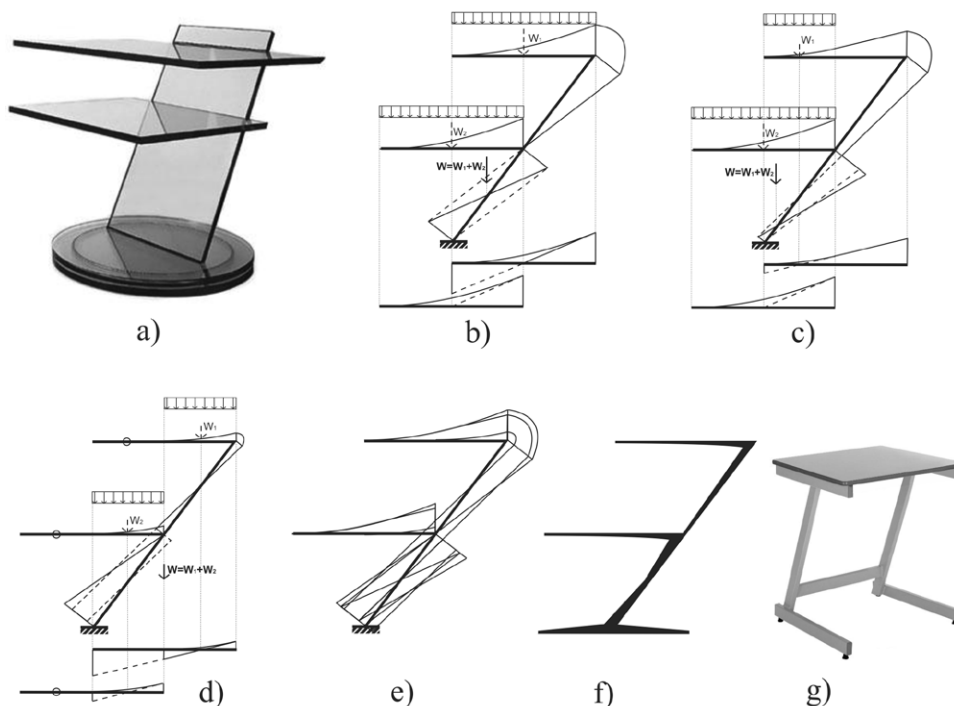
obciążenia całego blatu moment na pionowym elemencie wspornika jest równy różnicy momentów na gałęziach, czyli jest zawsze mniejszy niż dla obciążenia tylko na dłuższej gałęzi, a gdy gałęzie są równe, jest zerowy. Wykresy momentów i optymalną formę przekroju stołu z ryc. 6h można znaleźć w publikacji autorki³⁷.

Stoły z dwoma wspornikowymi blatami przyłączonymi do części, która nie jest pionowa, są pokazane na ryc. 7. Największe momenty na częściach pełniących rolę blatu (stoły płytowe, jak na ryc. 7a) lub podtrzymujących blat (stoły prętowe, jak na ryc. 7g) występują, gdy obciążone są całe blaty. Natomiast znalezienie optymalnie zmiennej grubości pozostałej części wspornika wymaga wykonania obwiedni momentów (ryc. 7e) od kombinacji obciążeń na obu blatach o różnym zasięgu i położeniu (ryc. 7b, 7c i 7d), uwzględniając również przypadki z obciążeniem tylko na jednym blacie (zostały wzięte pod uwagę w obwiedni z ryc. 7e). Ostateczna obwiednia na przecię pomiędzy górnym i dolnym blatem jest najcieńsza na linii wypadkowej

obciążenia na całym górnym blacie i tym grubsza, im dalej od tej linii (podobnie jak w stołach z ryc. 5). Na części od utwierdzenia w podstawie do dolnego blatu (ryc. 7a) lub do obu blatów (ryc. 7g) – najmniejsze wartości obwiedni są na linii wypadkowej obciążenia na obu blatach, a tym większe, im dalej od tej linii. Optymalna grubość płyty stołu z ryc. 7a została dobrana na podstawie obwiedni i uwidoczniła na ryc. 7f.

3. ANALIZA PRACY I DOBÓR FORM STRUKTURALNYCH STOŁÓW RAMOWYCH

Stoły, których nogi są połączone między sobą dodatkowymi elementami, oprócz prętów trzymających blat, mają schemat ramowy dla wszystkich obciążeń. W stołach z ryc. 8a, 8i, 8j, 8k, 8l i 8m tymi dodatkowymi elementami są poziome, dolne łączyny, zespolone na sztywno z nogami i dodatkowo pełniące rolę podparcia. Schematem statycznym tych mebli są trapezowe lub prostokątne zamknięte ramy. Linie ugięcia i wykre-



Ryc. 7. Stoły wspornikowe z rozgałęzionym wspornikiem i częścią pomiędzy górnym blatem a utwierdzeniem na dole o dowolnym kształcie, a) widok, projekt Isao Hosoe, źródło: <http://www.unicahome.com/p65588/tonelli/scenario-tv-unit-by-tonelli.html>, b-d) schemat i wykresy momentów stołu z ryc. 7a od różnych obciążeń, e) obwiednia momentów stołu z rys. 7a, f) zmiana grubości płyty stołu z ryc. 7a wynikająca z pracy konstrukcji, g) widok, źródło: http://www.costcuttersuk.com/classroom_tables/cantilever_tables/10826_0c.html#UOxLfaxy2_9. Rys. autorka

³⁷ A. Kozikowska, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji płyt zginanych jednokierunkowo*, „Architecturae et Artibus” nr 1/2013.

³⁸ A. Kozikowska, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji belkowej oraz ramowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4/2010.



Ryc. 8. Stoły ramowe: a) widok, źródło: <http://www.sklep.meble.pl/p58945.stol-domus-152.html>, b-c) linia ugięcia i wykres momentów stołu z ryc. 8a od pionowego obciążenia, d-e) linia ugięcia i wykres momentów stołu z ryc. 8a od poziomego obciążenia, f) wykres momentów stołu z ryc. 8a od obu obciążeń, g) obwiednia momentów stołu z ryc. 8a, h) forma stołu z ryc. 8a wynikająca z pracy konstrukcji, i) widok, źródło: <http://www.sklep.meble.pl/p73134.wloski-stol-archie-152.html>, j) widok, projekt Marc Krusin, źródło: <http://hivemodern.com/pages/product5753/knoll-marc-krusin-side-table-table>, k) widok, źródło: <http://www.houzz.com/photos/coffee-tables/>, l) widok, źródło: http://www.furniturefashion.com/2008/06/02/drake_classic_modern_coffee_table.html, m) widok, projekt Eero Koivisto i Ola Rune, źródło: http://www.moderndesigninterior.com/2006_03_01_archive.html, n) zmiana grubości płyty stołu z ryc. 8m wynikająca z pracy konstrukcji, o) stół z cienkimi łączynami, p) obwiednia momentów stołu z ryc. 8o, q) stół z łączynami połączonymi sztywno z nogami, r) obwiednia momentów stołu z ryc. 8q. Rys. autorka

sy momentów ramy stołu z ryc. 8a są przedstawione na ryc. 8b-8f, zaś obwiednia tych momentów na ryc. 8g. Optymalna forma stołu z ryc. 8h została znaleziona na podstawie tej obwiedni. Ma ona rygiel z przewężeniami pomiędzy środkiem a narożami, słupy cieńsze w 1/3 wysokości i dolne pręty cieńsze w środku. Wszystkie pręty mają przekroje wydłużone w pionowych płaszczyznach, w których występuje największe zginanie od grawitacyjnego obciążenia. Zmiana grubości płyty stołu z ryc. 8m, zaprezentowana na ryc. 8n, odbywa się

według tych samych zasad. Stoły pokazane na ryc. 8o i 8q mają łączyny umieszczone wyżej. Wyniki analizy i doboru form tych mebli są zamieszczone w artykule autorki³⁸. Tu są uwidocznione tylko obwiednie ich momentów zginających (ryc. 8p i 8r). W pierwszym stole łączyny są cienkie i zginanie w nich może być pominięte. Pozostałe pręty szkieletu pod działaniem obciążeń pionowych zginają się jak dwuprzegubowe ramy z podporami przegubowymi na wysokości łączyn, a pod działaniem obciążeń poziomych – jak dwuprze-

gubowe ramy z podporami przegubowymi na dole. Pręty optymalnej konstrukcji mają największe grubości w narożach i w środku poziomych części podtrzymujących blat. Stół z ryc. 8q ma grube łączyny sztywno powiązane z nogami, dlatego one również są zginane. Kształt pozostałych prętów optymalnych jest podobny jak stołu z ryc. 8o, tylko tutaj rygiel oraz nogi pomiędzy łączynami a górnymi węzłami mogą być trochę cieńsze, ponieważ w przenoszeniu zginania pomagają im łączyny.

PODSUMOWANIE

Artykuł służy rozwijaniu umiejętności znajdowania związków pomiędzy formą i pracą konstrukcji stołów o różnych schematach statycznych, zbudowanych z prętów lub płyt, oraz zachęca do kształtowania form tych mebli na podstawie owej zależności.

Przekroje prętów stołów dostosowane do sposobu ich pracy, o minimalnym koszcie materiału, są prostokątami (drewno) lub dwuteownikami (metal) wydłużonymi w płaszczyznach zginania. W stołach wspornikowych optymalne formy prętów podtrzymujących blat lub jednokierunkowo pracujących płyt, pełniących rolę blatu, są najcieńsze na swobodnych końcach i stopniowo coraz grubsze w przeciwnym kierunku. Formy te w stołach belkowych z nogami rozsuniętymi na zewnątrz stopniowo maleją od środka ku obu sztywnym końcom. W stołach o innych schematach (belkowych z nogami pionowymi lub przesuniętymi ku środkowi lub ramowych) w częściach będących oparciem dla blatu występują dwa przewężenia pomiędzy środkiem a końcowymi sztywnymi węzłami.

Nogi stołów wspornikowych składają się zazwyczaj z poziomego elementu spoczywającego na podłożu (zwanego płozą) i elementu o dowolnym kształcie (pionowym, pochylonym lub zakrzywionym), połączonego w sposób sztywny z płozą i najbliższym blatem (meble płytowe) lub elementem, na którym opiera się najbliższy blat (meble prętowe). Płozą o formie dostosowanej do wielkości sił wewnętrznych ma stale zwiększającą się grubość od swobodnego końca w kierunku sztywnego węzła. Natomiast część łącząca płozę z najbliższym blatem ma optymalną grubość przekroju tym większą, im znajduje się ona dalej od wypadkowej równomiernego obciążenia ciągłego na całym pojedynczym blacie lub na obu blatach. Element pomiędzy dwoma wspornikowymi blatami, nachylonymi w tą samą stronę, ma tym większy przekrój, im jest dalej od wypadkowej obciążenia całego górnego blatu. Proste nogi (pionowe lub dowolnie nachylone) w stołach belkowych mają swobodny koniec oparty na podłożu i wysokość przekroju zwiększającą się od

dołu aż do węzła, w którym są połączone z płytowym blatem lub prętem podtrzymującym blat. Nogi stołów ramowych są złożone z poziomego pręta opierającego się na podłożu, pełniącego rolę łączyny, i sztywno zamocowanych do niego prostych prętów. Optymalna wysokość łączyny jest stała lub trochę maleje ku środkowi. Nogi pomiędzy dolną łączyną a górną poziomą częścią konstrukcji mają największą szerokość przy górnym węźle, mniejszą przy dolnym i najmniejszą poniżej środka.

Proste łączyny, cieńsze od elementów, które scalają, pracują tylko na rozciąganie i mają przekrój poprzeczny o dowolnym kształcie, stały wzdłuż ich długości. Grubsze łączyny, połączone sztywno z nogami powyżej poziomu podłogi, pracują na zginanie w płaszczyznach pionowych, tak samo jak omawiane łączyny spoczywające na podłożu, i mają taką samą optymalną formę o stałej wysokości lub zmniejszającej się nieco ku środkowi.

Kształtowanie stołów, zgodnie z zasadą jedności formy i konstrukcji, wymaga wiedzy o pracy ustroju nośnego, ale daje szansę na tworzenie satysfakcjonujących i niestandardowych projektów. Ponadto są one uzasadnione ekonomicznie ze względu na niski koszt materiałów.

LITERATURA

1. **Allen E. (i inni) (2010)**, *Form and forces: designing efficient, expressive structures*, John Wiley & Sons, New Jersey.
2. **Baborska-Narożny M., Brzezicki M. (2008)**, *Estetyka i technika w architekturze przemysłowej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
3. **Charleson A.W. (2005)**, *Structure as architecture: a source book for architects and structural engineers*, Elsevier: Architectural Press, Amsterdam.
4. **Grater A. (2002)**, *Interview with Ivan Margolius*, „Architectural Design” vol. 72, no. 4.
5. **Holgate A. (1986)**, *The art in structural design*, Oxford University Press, New York.
6. **Holgate A. (1992)**, *Aesthetics of built form*, Oxford University Press, New York.
7. **Kaes G. (1990)**, *Meble stylowe*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
8. **Kozikowska A. (2010)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji wspornikowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4/2010.
9. **Kozikowska A. (2010)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji belkowej oraz ramowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4/2010.
10. **Kozikowska A. (2013)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji płyt zginanych jednokierunkowo*, „Architecturae et Artibus” nr 1/2013.

11. **Kries M. (2002)**, *Pure Form Only? Observations on the Relationship Between Mies van der Rohe's Furniture and Buildings*, "Architectural Design" vol. 72, no 4. <http://www.e-krzeslo.pl/z-line-main-desk-black/> (ryc. 5a)
<http://www.tradeindia.com/fp499780/Z-Shape-Bed-Side-Wooden-Table.html> (ryc. 5g)
12. **Macdonald A. J. (2001)**, *Structure and Architecture*, Architectural Press, Oxford. <http://www.tarikyousef.com/cantilever%20side.htm> (ryc. 5i)
13. **Mainstone R. J. (1983)**, *Developments in structural form*, Middlesex: Penguin Books, London. <http://www.bonluxat.com/a/marc-thorpe-mark-table.html> (ryc. 5j)
14. **Margolius I. (2002)**, *Architects + engineers = structures*, John Wiley & Sons, Chichester. <http://www.beach.uk.com/mango-s-shaped-side-table-2682-p.asp> (ryc. 5l)
15. **Nervi P. L. (1965)**, *Aesthetics and Technology in Building*, Harvard University Press, Cambridge, MA. <http://www.beekcollection.nl/collectie/item/id/103> (ryc. 5m)
16. **Sebestyen G., Pollington C. (2003)**, *New Architecture and Technology*, Architectural Press, Oxford. <http://www.juventas.pl/szafki-lekarskie-medyczne-metalowe/57-met-szafka-medyczna-2-sz.html> (ryc. 6e)
17. **Salvadori M. (1975)**, *Structure in architecture: the building of buildings*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs. <http://www.fireflyoffice.com/productinfo/KF72357/Business-Machines/Telephones-Accessories/Cordless-Telephones> (ryc. 6f)
18. **Siegel C. (1974)**, *Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa. <http://www.bonluxat.com/a/mikko-paakkanen-atlas-table.html> (ryc. 6g)
19. **Torroja E. (1958)**, *Philosophy of Structures*, University of California Press, Los Angeles. <http://www.edition20.com/en/products/Niemeyer-dining-table-by-R-20th-Century-Design-by-Oscar-Niemeyer> (ryc. 6h)
20. **Torroja E. (1961)**, *Logik der Form*, G.D.W. Callwey, München. <http://www.unicahome.com/p65588/tonelli/scenario-tv-unit-by-tonelli.html> (ryc. 7a)

WYKORZYSTANE STRONY INTERNETOWE:

- <http://hivemodern.com/pages/products.php?sid=485> (ryc. 1c)
- <http://www.bonluxat.com/a/hermian-sneyders-de-vogel-pi3d-table.html> (ryc. 2a)
- <http://www.homedit.com/the-elegant-allure-cocktail-table/> (ryc. 3a)
- <http://livingroomdecoration.org/glass-coffee-table-by-matt-miller/> (ryc. 3d)
- http://www.churchbuyinggroup.co.uk/products.php?range_id=128 ryc. 4a)
- <http://www.jamespencer.co.uk/onlineshop/catalogue/waltham-cantilever-table-p-664.html> (ryc. 4f)
- <http://www.bonluxat.com/a/vioski-lal-table.html> (ryc. 4g)
- <http://www.sklep.meble.pl/p58945, stol-domus-152.html> (ryc. 8a)
- <http://www.sklep.meble.pl/p73134, wloski-stol-archie-152.html> (ryc. 8i)
- <http://hivemodern.com/pages/product5753/knoll-marc-krusin-side-table-table> (ryc. 8j)
- <http://www.houzz.com/photos/coffee-tables/> (ryc. 8k)
- http://www.furniturefashion.com/2008/06/02/drake_classic_modern_coffee_table.html (ryc. 8l)
- http://www.moderndesigninterior.com/2006_03_01_archive.html (ryc. 8m)

Artykuł zrealizowany w ramach pracy statutowej S/WA/1/2011.