

FORMA A KONSTRUKCJA MEBLI. MEBLE O KONSTRUKCJI BELKOWEJ ORAZ RAMOWEJ

Agata Kozikowska

Wydział Architektury, Politechnika Białostocka, ul. Grunwaldzka 11/15, 15-893 Białystok

E-mail: a.kozikowska@pb.edu.pl

FORM AND STRUCTURE OF FURNITURE. BEAM AND FRAME FURNITURE

Abstract

The paper concerns shaping of furniture forms based on their structural behaviour and applied structural materials. The furniture of two types of static schemes are considered: statically determinate, simply supported beam schemes and statically indeterminate, frame schemes. Forms of these furniture pieces are matched to their bending moments, which are determined on the basis of deflections. The material contained in the article can help furniture designers to develop structural intuition and can be an inspiration for designing of logical, economic and aesthetic forms.

Streszczenie

Artykuł dotyczy kształtowania form mebli w oparciu o znajomość pracy ich ustroju nośnego i stosowane materiały konstrukcyjne. Analizie poddawane są meble o dwóch typach schematów statycznych: statycznie wyznaczalnych, swobodnie podpartych belek oraz statycznie niewyznaczalnych ram. O doborze form tych mebli decydują momenty zginające, które są wyznaczane na podstawie linii ugięcia. Materiał zawarty w artykule może pomóc projektantom mebli w rozwijaniu intuicji konstrukcyjnej i może być inspiracją do projektowania logicznych, ekonomicznych i estetycznych form.

Keywords: furniture design, simply supported beam, frame, live load, deflection, bending, structural forms

Słowa kluczowe: projektowanie mebli, belka swobodnie podparta, rama, obciążenia użytkowe, linia ugięcia, zginanie, formy strukturalne

WPROWADZENIE

Meble są przedmiotami sztuki użytkowej wykorzystywanymi przez człowieka od czasów prehistorycznych. Najczęściej projektowaniem mebli zajmowali się architekci „traktujący wyposażenie meblarskie jako integralną część projektowanych budynków i środek wyrazu artystycznych idei”¹. Projektowanie

mebli stwarzało architektom możliwość „podsumowania ich wiedzy technicznej, antropologicznej, wiedzy o otaczającym świecie i ludzkich potrzebach, a także było okazją do zastosowania nowych materiałów i własnych doświadczeń zawodowych”². Dawni projektanci mebli, podobnie jak współcześni, zwraca-

¹J. Charytonowicz, *Ewolucja form sprzętów do siedzenia od pradziejów do wieku maszyn*, Wrocław 2007, s. 396.

²Tamże.

cali szczególną uwagę na „kompleksowe podejście do projektowania, spełniając zarówno wymagania dotyczące zadowalającego wyglądu, jak i niezbędnych funkcji”³.

Projektanci mebli, tak jak wszyscy architekci, powinni opierać swoje pomysły nie tylko na inspiracji twórczej, ale również na znajomości pracy konstrukcji.⁴ Jednak, jak zauważył Smardzewski, w projektowaniu mebli działania estetyczne często odgrywają decydującą rolę w całości prac projektowych, odsuwając na dalszy plan względy wytrzymałościowe⁵. Z drugiej strony, wykonanie projektu konstrukcyjnego jest zazwyczaj powierzane inżynierom-konstruktorom, którzy „nie zawsze wykazują wrażliwość estetyczną, cel swój widzą często tylko w bezbłędnym zwymiarowaniu i są zadowoleni z każdego rozwiązania poprawnego pod względem obliczeniowym”⁶. Natomiast, jak szerzej rozważano w publikacji autorki⁷, na ocenę dzieł architektury powinien wpływać zarówno efekt wizualny, jak i poprawność konstrukcyjna.

Przed okresem rozwoju konstruktywizmu większość architektów nie zajmowała się konstrukcją. W XX wieku „w kształtowaniu przedmiotów coraz większego znaczenia nabierała konstrukcja jako czynnik decydujący o nadawaniu formy”⁸. Znany popularyzatorami tej idei byli architekci Szkoły Artystycznej Bauhaus.⁹ Dyrektor Bauhausu Hannes Meyer głosił, że „czysta konstrukcja jest podstawą i symbolem nowego świata form”¹⁰, a architekt Bauhausu Mies van der Rohe twierdził, że „forma jako cel sama w sobie nie istnieje; forma nie jest celem pracy, a jedynie jej rezultatem”¹¹. W polskim meblarstwie głosicielem podobnych haseł był architekt Józef Czajkowski. „W jego stylu wybija się na wierzch przesyt niepotrzebną ornamentacją i dochodzą do głosu momenty konstrukcyjne”¹². Zasady kształtowania form na podstawie konstrukcji propagowali też architekci dzia-

łający w okresie późniejszym. Siegel głosił, że warunkiem właściwego kształtowania form jest wiedza w zakresie prawidłowych związków pomiędzy funkcją, konstrukcją i formą.¹³ Formy wynikające z tej jedności nazwał „formami strukturalnymi”.¹⁴

Dzisiaj również każdy architekt powinien rozumieć znaczenie wiedzy o konstrukcjach, lecz opanowanie tej wiedzy nie zawsze jest łatwe. Konstrukcje mebli często są ustrojami wielokrotnie przesztywnionymi. Znalezienie sił wewnętrznych w takich układach z rachunkowego punktu widzenia jest zadaniem pracochłonnym. Dlatego też do ich rozwiązywania wskazane jest użycie metod komputerowych.^{15,16,17,18} Jednak modelowanie komputerowych wersji konstrukcji mebli może nastroić sporo trudności związanych ze żmudną edycją i zmianą obiektów graficznych.¹⁹ Meble nierzadko mają proste statycznie wyznaczalne schematy, zaś jakościowa analiza zginanych mebli o statycznie niewyznaczalnych schematach nie jest trudna, jeśli wykorzystuje się linie ugięcia. Dlatego rozpoznanie pracy konstrukcji wielu mebli jest możliwe bez wykonywania złożonych matematycznych obliczeń i bez wspomaganie komputerowego.²⁰ To nie oznacza, że konstrukcje są wówczas traktowane w jakiś niekompletny czy uproszczony sposób. Przeciwnie, mogą być złożone i ponadto rozumiane w czysto intuicyjny sposób. Jednym z najlepszych narzędzi udoskonalania intuicji konstrukcyjnej jest wykonanie doświadczeń. Ponieważ ugięcia są wizualnym wynikiem pracy konstrukcji, rysowanie ugięć może być znakomitym środkiem do intuicyjnej prezentacji pojęć konstrukcyjnych i rozwijania doświadczenia konstrukcyjnego.

Umiejętność rozpoznania pracy konstrukcji stwarza możliwość projektowania mebli oszczędnych materiałowo, a przy założeniu proporcjonalności materiału zużytego na konstrukcję do kosztów konstruk-

³ J. Smardzewski, *Projektowanie mebli*, Poznań 2008, s. 16.

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

⁵ J. Smardzewski, *Projektowanie mebli*, Poznań 2008, s. 171.

⁶ C. Siegel, *Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze*, Warszawa 1974, s. 138.

⁷ A. Kozikowska, *op. cit.*

⁸ G. Kaesz, *Meble stylowe*, Wrocław 1990, s. 227.

⁹ A. Kozikowska, *op. cit.*

¹⁰ S. Hinz, *Wnętrza mieszkalne i meble: od starożytności po współczesność*, Warszawa 1980, s. 53.

¹¹ G. Kaesz, *op. cit.*, s. 228

¹² A. Kostrzyńska-Miłosz, *Polskie meble 1918-1939, forma – funkcja – technika*, Warszawa 2005, s. 31.

¹³ C. Siegel, *op. cit.*, s. 151.

¹⁴ A. Kozikowska, *op. cit.*

¹⁵ J. Smardzewski, *Numerical analysis of furniture constructions*, Wood Science and Technology 1998.

¹⁶ S. I. Gustaffson, *Furniture Design by use of the Finite Element Method*, Holz als Roh- und Werkstoff 1995.

¹⁷ Tenże, *Stability problems in optimized chairs?*, Wood Science and Technology 1996.

¹⁸ Tenże, *Optimizing ash wood chairs*, Wood Science and Technology 1997.

¹⁹ J. Smardzewski, *Komputerowo zintegrowane wytwarzanie mebli*, Poznań 2007, s. 47.

²⁰ A. Kozikowska, *op. cit.*

cji – mebli o minimalnym koszcie. Projektowanie ekonomicznych konstrukcji wynika bowiem z „*naturalnego dążenia człowieka do zapewnienia maksymalnych efektów minimalnym kosztem*”²¹. Jednak formy mebli nie mogą być tylko optymalne pod względem kosztu, powinny posiadać również wysokie walory artystyczne. Analiza pracy ustroju nośnego powinna być bodźcem do kształtowania form strukturalnych, w których konstrukcja i estetyka nie stoją w sprzeczności wobec siebie – podkreślających konstrukcję, ekonomicznych i zarazem estetycznych.

Praca konstrukcji mebli o schematach swobodnie podpartych belek i schematach ramowych zostanie przedstawiona na podstawie najprostszych mebli, w których schematy te występują – kwadratowych stołków (taboretów) z wiązaniem²² nóg u dołu lub bez wiązania oraz krzesła, które powstało poprzez dodanie oparcia do taboretu. Na podstawie znajomości pracy konstrukcji tych mebli można dobrać formy strukturalne innych mebli o takich samych schematach, tylko innych proporcjach długości prętów: kwadratowych i prostokątnych stołów oraz prostokątnych ław. Zakładamy, że obciążenia użytkowe mebli są dużo większe niż ciężar własny ich konstrukcji, dlatego ciężar własny będzie pomijany. W rozważanych meblach pod wpływem działających na nie obciążeń skręcanie nie występuje lub może być pominięte, gdyż zachowanie równowagi momentowej jest możliwe bez uwzględniania momentów skręcających. W takich układach zginanie decyduje o formie konstrukcji i wielkościach przekrojów, dlatego będziemy brać pod uwagę tylko momenty zginające. Schematy statycznie wyznaczalnych, swobodnie podpartych belek o osi w kształcie linii łamanej będą występowały w niektórych meblach pod pionowymi obciążeniami. W takich belkach reakcje są też tylko pionowe. Dlatego wykresy momentów nie zależą od kształtu osi pręta i są takie same jak dla belek poziomych o tej samej rozpiętości. Do sporządzenia wykresów momentów takich belek linie ugięcia nie są niezbędne, ale będą rysowane, ponieważ pomagają rozwijać intuicję konstrukcyjną. Ramowe, statycznie niewyznaczalne schematy będziemy uwzględniać w omawianych meblach zarówno od pionowych, jak i poziomych obciążeń. Do sporządzenia wykresów momentów tych ram będzie konieczne wykonanie ugięć.

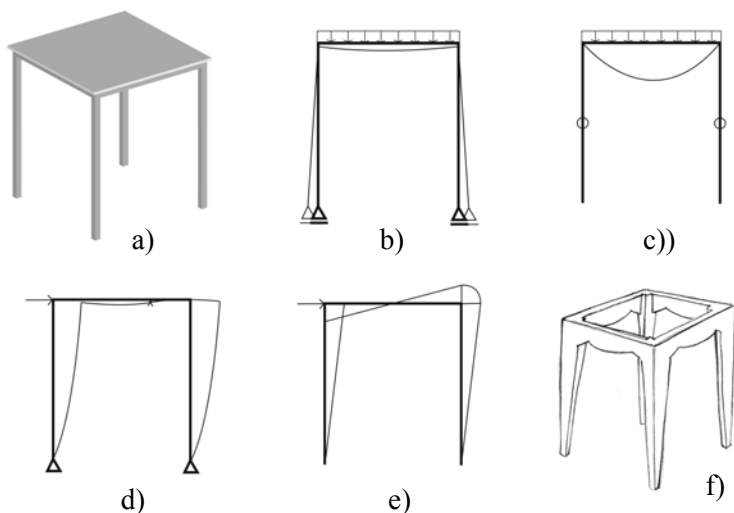
1. ANALIZA PRACY I DOBÓR FORM STRUKTURALNYCH MEBLI

Stółek, przedstawiony na ryc. 1a, składa się z prostych pionowych prętów (nóg), połączonych sztywno w węzłach z prętami poziomymi, tworzącymi kwadratowy rygiel. Siedzisko stołka jest kwadratową płytą zginaną dwukierunkowo, opartą przegubowo na ryglu. Poprzez siedzisko przekazywane jest na rygiel pionowe obciążenie ciągłe. Pod tym obciążeniem każda boczna część szkieletu pracuje jak belka swobodnie podparta o osi w kształcie odwróconej litery U. Linia ugięcia i wykres momentów tej belki przedstawione są na ryc. 1b i 1c. Pionowe nogi, oparte na dole przegubowo przesuwnie, nie są zginane, bo pionowe reakcje w podporach przesuwnych, działające wzdłuż nóg, tylko je ściskają. Pod działaniem poziomego obciążenia, dążącego do przesunięcia stołka, konstrukcja z nogami przesuwными w poziomie nie pracuje. Jeśli przesuw poziomy tylko jednej nogi zostanie zablokowany (np. wskutek tarcia), to przesunięcie poziome rygla spowoduje zginanie tej nogi oraz jednego lub obu prętów rygla, połączonych z tą nogą w węzle. Jednak zginanie nóg jest bardziej obrazowe w przypadku zablokowania przesuwu poziomego wszystkich nóg. Wówczas zginane są wszystkie pręty, tak jak w symetrycznej, dwuprzegubowej ramie na ryc. 1d i 1e z antysymetrycznym poziomym obciążeniem (siła pozioma może być przyłożona w dowolnym punkcie rygla, także w środku). Siła może również działać w przeciwnym kierunku, powodując powstanie momentów zginających po przeciwnej stronie. Konstrukcja drewniana, uwzględniająca wszystkie typy pracy szkieletu, zaprezentowana jest na ryc. 1f. Pręty poziome mają przekrój prostokątny, wydłużony w kierunku pionowym, o wysokości zmieniającej się jak obwiednia momentów z ryc. 1c i 1e. Nogi mają przekrój kwadratowy, ponieważ zginanie od poziomego obciążenia może wystąpić w nich w każdym kierunku. Przekrój nóg zmniejsza się ku dołowi zgodnie z przebiegiem wykresu momentów. Taka forma nóg jest od dawna stosowana w meblach tego typu, jak na przykład w stole zaprojektowanym przez włoskiego architekta Gio Ponti w 1953 roku (ryc. 2), produkowanym do dnia dzisiejszego.

Elementem odróżniającym stołki z ryc. 3a i 3b od stołka z ryc. 1a są łączyny nóg, dodane w celu

²¹ J. Smardzewski, *Projektowanie mebli*, Poznań 2008, s. 391.

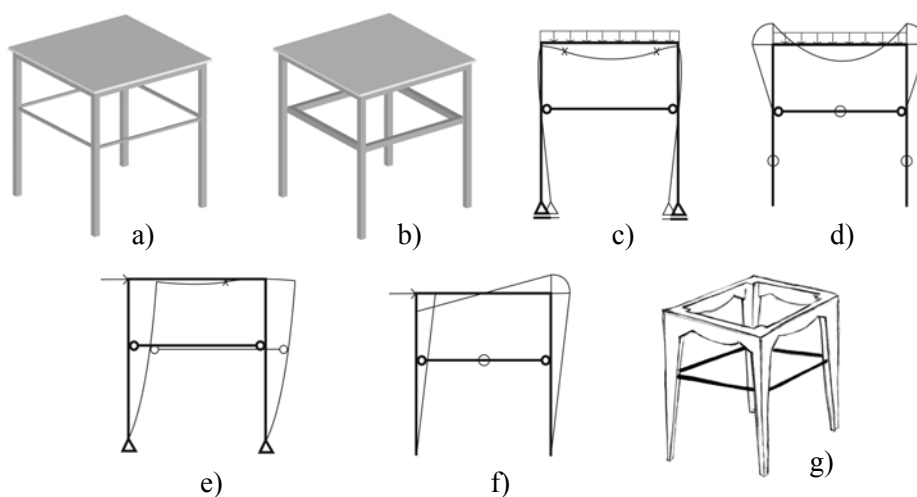
²² Elementy tworzące wiązanie zwane są łączynami lub poprzeczkami. Na podstawie: I. Grzeluk, *Słownik terminologiczny mebli*, Warszawa 2000, s. 270.



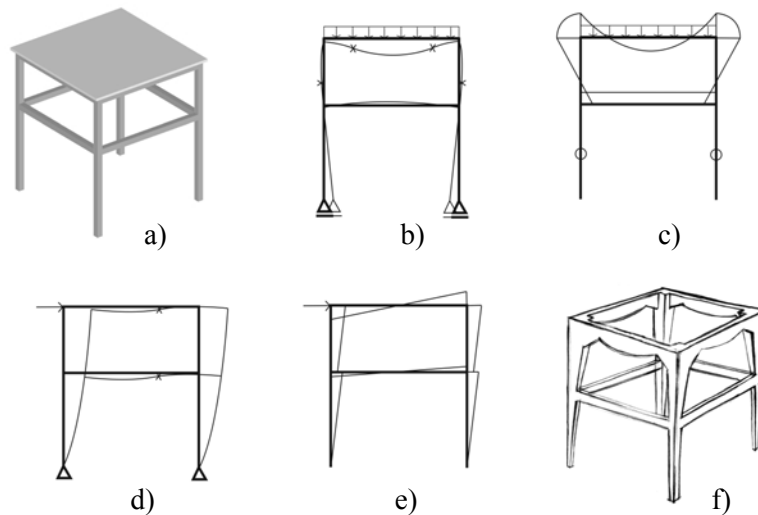
Ryc. 1. Stołek: a) widok, b-c) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego, d-e) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia poziomego, f) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka



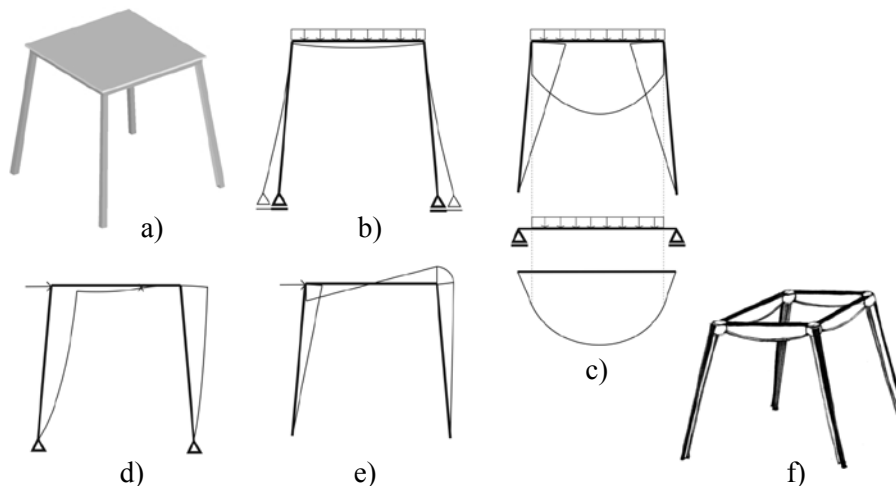
Ryc. 2. Stół zaprojektowany przez Gio Ponti.
Źródło: http://www.1stdibs.com/furniture_search.php?i_creator=Gio+Ponti



Ryc. 3. Stołek z łączynami nóg: a) widok: bardzo cienkie łączyny, b) widok: obręcz połączona przegubowo z nogami, c-d) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego, e-f) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia poziomego, g) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka



Ryc. 4. Stółek z obręczą połączoną sztywno z nogami: a) widok, b-c) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego, d-e) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia poziomego, f) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka



Ryc. 5. Stółek z nogami pochylonymi na zewnątrz: a) widok, b-c) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego, d-e) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia poziomego, f) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka

zwiększenia stabilności i wzmocnienia konstrukcji mebla. Na ryc. 3a poprzeczki są połączone sztywno z nogami, ale są znacznie cieńsze niż pozostałe pręty szkieletu. W przesztywnionej konstrukcji wielkość momentu pręta jest tym większa, im większa jest jego sztywność w porównaniu ze sztywnością innych prętów. W bardzo cienkiej łączynie może wystąpić jedynie niewielki moment, który może być pominięty, a łączyna może być traktowana jako tylko rozciągana. Łączyny z ryc. 3b tworzą kwadratową obręcz,

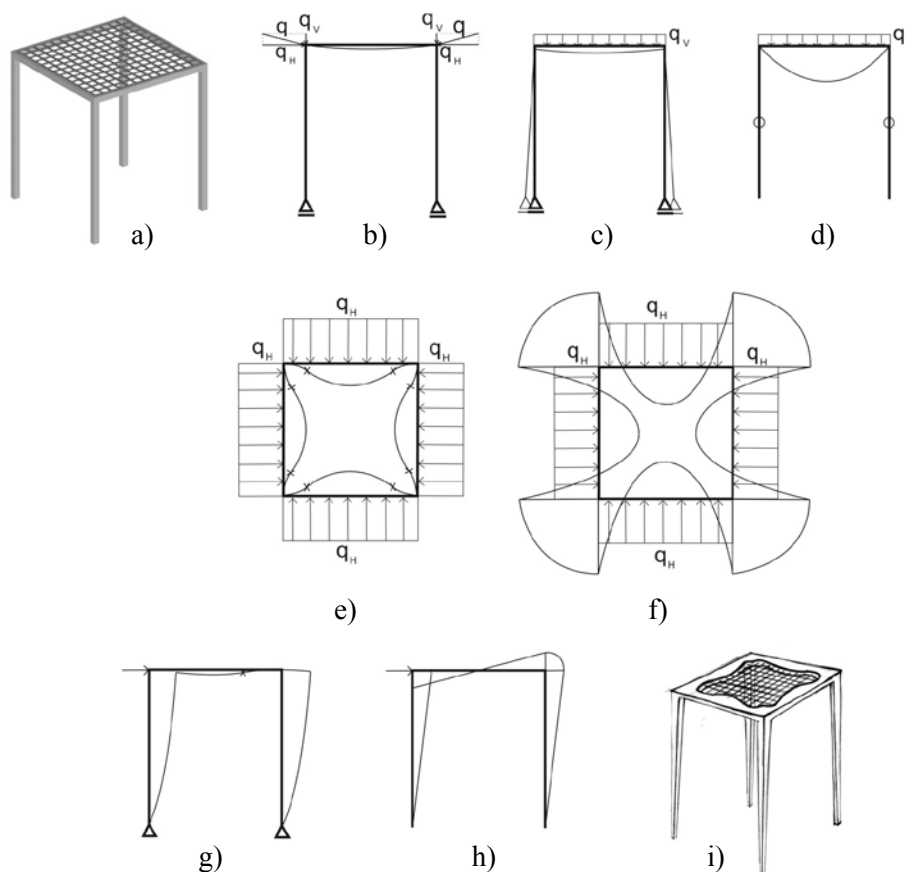
która nie jest sztywno zespolona z nogami. W obu przypadkach w schemacie statycznym stołka łączyna jest ściągami, połączonym przegubowo z nogami. Powoduje to istotną zmianę schematu statycznego pod pionowym obciążeniem. Część konstrukcji powyżej ściągów jest przesztywnioną, dwuprzegubową ramą, której ugięcie jest pokazane na ryc. 3c, a moment zginający na ryc. 3d. Natomiast dodanie ściągów nie zmienia pracy ramy pod działaniem siły poziomej (ryc. 3e i 3f). Drewniana forma konstrukcji z ryc. 3g,

w porównaniu z formą z ryc. 1f, ma mniejszą wysokość rygla ze względu na mniejsze wartości momentów zginających pod pionowym obciążeniem. Natomiast przekrój nóg jest dostosowany do przebiegu momentu w obu przypadkach obciążenia.

Łączyny taboretu z ryc. 4a są sztywno połączone z nogami. Dlatego łączyna razem z górną częścią nóg i poziomym prętem rygla tworzy zamkniętą, prostokątną ramę o wszystkich sztywnych węzłach. W takiej ramie zginają się wszystkie pręty, także poprzeczka (ryc. 4b i 4c). Taka poprzeczka powoduje zwiększenie sztywności konstrukcji również na obciążenie boczne. Sama też jest zginana pod wpływem tego obciążenia (ryc. 4d i 4e) i w optymalnej konstrukcji (ryc. 4f) jest prętem o prostokątnym, wydłużonym w pionie przekroju.

Gdy nogi stołka nie są pionowe (ryc. 5a), to zginanie występuje w nich nawet od pionowego ob-

ciążenia przy przesuwaniu ich podparciu. W podporach przesuwanych w poziomie występują bowiem reakcje pionowe, które zginają odchylone od pionu pręty. Płaskim schematem statycznym takiego stołka jest obciążona pionowo belka o osi w kształcie linii łamanej (ryc. 5b). W takiej belce momenty zginające są takie same jak w belce prostej, o takim samym obciążeniu i rozpiętości, prostopadłej do kierunku obciążenia (ryc. 5c). W przestrzennej konstrukcji wszystkie pręty zginane są w płaszczyznach pionowych. Na każdym pręcie rygla momenty są takie same jak na płaskim schemacie. Natomiast wykres momentów każdej nogi jest sumą momentów nóg z ryc. 5c. To zginanie od pionowego obciążenia jest większe niż w stołkach z nogami pionowymi i zginanie jeszcze wzrośnie, jeśli nogi zostaną bardziej rozsunięte na zewnątrz. Obciążenie poziome, które przesuwa rygiel przy zablokowanym przesuwie nóg, wywołuje



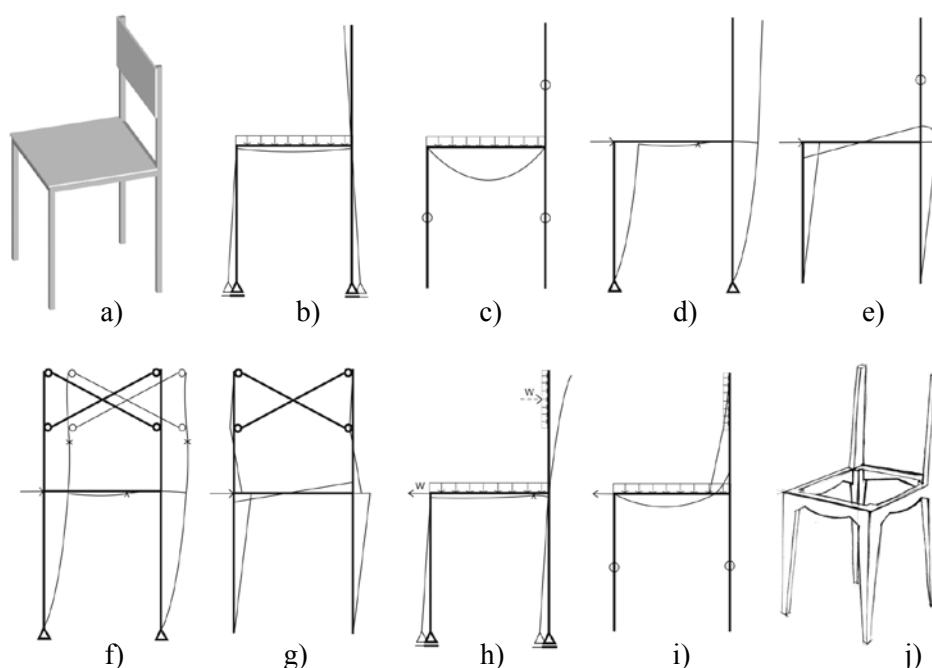
Ryc. 6. Stołek z linowym siedziskiem: a) widok, b) obciążenie przekazywane od liny, c-d) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego przekazywanego poprzez liny, e-f) linia ugięcia i wykres momentów rygla od obciążenia poziomego przekazywanego poprzez liny, g-h) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia poziomego przy przesuwaniu stołka, i) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka

ramową pracę szkieletu (ryc. 5d i 5e), ale zginanie to jest mniejsze niż w taboretach z nogami pionowymi. Optymalna metalowa forma konstrukcji (ryc. 5f) została dobrana na podstawie momentów od obciążenia pionowego, które są większe niż od obciążenia poziomego. Jest ona zbudowana z dwuteowników o średnicach w płaszczyznach pionowych, o wysokościach średnic zmieniających się jak momenty zginające. Stołek, którego nogi są pochylone na zewnątrz, jest tym bardziej stabilny (tym mniej podatny na wywrócenie), im ma większy obrys podstawy.

Taboret, którego siedziskiem są liny zaczepione do rygla, pokazany jest na ryc. 6a. Taka sama praca konstrukcji byłaby również, gdyby siedzisko wykonano z tkaniny przyczepionej do rygla. Różnica w pracy konstrukcji takiego stołka, w porównaniu ze stołkiem z ryc. 1, wynika ze sposobu przekazywania obciążeń pionowych na szkielet. Każda z lin pod wpływem pionowego obciążenia ciąglego przyjmuje kształt wypukły do dołu (ryc. 6b) i przekazuje na szkielet siłę styczną do kierunku liny na końcu: o dużej składowej poziomej i małej pionowej. Suma wszystkich składowych pionowych jest obciążeniem ciągłym q_v , suma składowych poziomych – obciążeniem ciągłym q_H . Praca konstrukcji pod obciążeniem pionowym (ryc. 6c i 6d) i pod wpływem bocznej siły dążącej do przesunięcia stołka (ryc. 6g i 6h) jest taka sama jak na ryc. 1.

Natomiast w taborecie tym duże poziome obciążenie, wynikające z nachylenia lin, powoduje duże zginanie rygla, pracującego jak rama w płaszczyźnie poziomej (ryc. 6e i 6f). To zginanie znacząco wpływa na formę rygla, którego przekrój poprzeczny powinien być większy w kierunku poziomym niż pionowym, tak jak w metalowej formie taboretu na ryc. 6i. Natomiast nogi, narażone na zginanie przez siły poziome, wymagają formy utwierdzonej w węźle i zwężającej się ku dołowi.

Siedzisko krzesła z ryc. 7 przekazuje obciążenie tylko na trzy pręty rygla: jeden przedni i dwa boczne. Pod tym obciążeniem praca prętów w przedniej płaszczyźnie krzesła jest taka jak na ryc. 1b i 1c, zaś w bocznej płaszczyźnie pokazana jest na ryc. 7b i 7c. Przesunięcie krzesła, wywołane poziomą siłą działającą w płaszczyźnie rygla, przy założeniu zablokowania przesuwu nóg na dole, powoduje zginanie ram. Linia ugięcia i wykres momentów ramy przedniej są takie jak na ryc. 1d i 1e, ramy bocznej – są pokazane na ryc. 7d i 7e, a ramy tylnej – na ryc. 7f i 7g. Usztywnienie, jakie daje oparcie podczas poziomego przesunięcia ramy tylnej, zostało zamodelowane jako dwa krzyżujące się, sztywno połączone ze sobą, sztywne pręty z przegubami na końcach. Pręty te gwarantują



Ryc. 7. Krzesło z oparciem: a) widok, b-c) linia ugięcia i wykres momentów od obciążenia pionowego, d-e) linie ugięcia i wykresy momentów od obciążenia poziomego przy bocznym przesunięciu, h-i) linia ugięcia i wykres momentów od pionowego obciążenia siedziska i poziomego obciążenia oparcia, j) forma wynikowa z parametrów pracy konstrukcji. Rys. autorka

niezmiennosc położeń przegubów względem siebie (przeguby zawsze tworzą taki sam prostokąt). Aby obciążenie poziome, przekazywane poprzez oparcie, doprowadziło do zginania konstrukcji, musi oddziaływać razem z obciążeniem pionowym. Działając samodzielnie, nie może doprowadzić do zablokowania nóg w poziomie poprzez tarcie i tym samym może tylko spowodować sztywny ruch. Dlatego na ryc. 7h i 7i zastosowano oba obciążenia łącznie. Zginanie nóg nie jest brane pod uwagę przy obciążeniu oparcia, ponieważ zostało uwzględnione na ryc. 7 d-g od większej poziomej siły. Dlatego schemat statyczny na ryc. 7h ma podpory przesuwne, a równowagę sił w kierunku poziomym zapewnia siła działająca w płaszczyźnie rygla. Siła ta powstaje, gdy osoba, opierając plecy do tyłu, jednocześnie trzyma się rygla, by nie zsunąć się do przodu. Drewniana forma krzesła na ryc. 7j jest dostosowana do pracy konstrukcji: ma nogi i pręty oparcia o największych grubościach w miejscach ich zamocowania w ryglu, rygiel o przekroju wydłużonym w pionie, wspornikowe pręty oparcia o przekrojach wydłużonych w płaszczyznach bocznych. Aby zapewnić utwierdzenie prętów oparcia, boczne pręty rygla i pręty oparcia mają taką samą grubość w pobliżu łączącego je węzła. Włoscy projektanci, Carlo di Carli i Gio Ponti, autorzy krzesła z 1964 roku (ryc. 8), wytwarzanego także obecnie, w swoim projekcie



Ryc. 8. Krzesło zaprojektowane przez Carlo di Carli i Gio Ponti

Źródło: http://www.wright20.com/auctions/view_search/DLPX/F5XN/709/

również uwzględnili pracę konstrukcji mebla. Jest ona taka sama jak krzesła z ryc. 7, z wyjątkiem poziomego przedniego pręta, który w ich projekcie nie podtrzymuje siedziska.

2. SZACOWANIE MINIMALNYCH WYMIARÓW PRZEKROJÓW

Szacunkowy dobór wymiarów przekrojów prętów mebli może być zachętą do kształtowania ich form. We wszystkich analizowanych meblach o dobrze przekrojów decyduje zginanie. Sprawdzanie poziomu naprężeń zginających odbywa się za pomocą wzoru:

$$\sigma = M / W, \quad (1)$$

gdzie σ to maksymalne naprężenie przy zginaniu, M to moment zginający w przekroju, a W - wskaźnik wytrzymałości na zginanie. Dobierając minimalne wymiary przekroju, można przyjąć, że naprężenie σ jest równe wytrzymałości na zginanie R . Wszystkie wielkości mogą być obliczone przy wykorzystaniu gotowych wzorów, a stałe zaczerpnięte z tablic, zamieszczonych np. w książce Koledowicza²³. Rachunkowy dobór przekrojów analizowanych mebli można ograniczyć do środkowego przekroju rygla, w którym występują maksymalne naprężenia zginające. Wartości maksymalnych momentów swobodnie podpartej belki (meble z ryc. 1, ryc. 5, ryc. 7) można obliczyć, korzystając z tablicy 11-3²⁴, a dwuprzegubowej ramy (pozostałe meble) - ze wzorów na stronie 268²⁵. Wskaźniki zginania przekrojów o różnych kształtach znajdziemy w tablicy 5-1²⁶, a wytrzymałości różnych materiałów - w tablicach 9-2, 9-3 oraz 9-4²⁷.

PODSUMOWANIE

W artykule omówiona jest analiza pracy mebli o statycznie wyznaczalnych schematach swobodnie podpartych belek, o dowolnym kształcie osi, z ciągłym pionowym obciążeniem oraz o statycznie niewyznaczalnych schematach ramowych, z obciążeniem pionowym ciągłym i obciążeniem poziomym. W obu typach schematów decydujący wpływ na dobór przekrojów prętów ma zginanie. Wykresy momentów

²³ T. Koledowicz, *Mechanika budowlana dla architektów*, Warszawa 1993.

²⁴ Tamże, s. 215.

²⁵ Tamże, s. 268.

²⁶ Tamże, s. 100.

²⁷ Tamże, s. 151, 152, 154.

zginających otrzymano na podstawie linii ugięcia, które są doskonałym sposobem na rozwijanie intuicji konstrukcyjnej. Pod podanymi obciążeniami schematy belkowe charakteryzują się największymi wartościami momentów w połowie rozpiętości, schematy ramowe mają duże wartości momentów w środku rygla i w węzłach łączących rygiel z nogami. Opierając się na pracy konstrukcji tych mebli, przedstawiono kształtowanie ich form.

Analizie poddano stołki z kwadratowym rygłem podtrzymującym siedzisko i krzesło otrzymane poprzez dodanie do stołka prętów podtrzymujących oparcie. Praca konstrukcji i nawiązujące do niej formy stołków z rygłem w postaci dowolnego wielokąta foremnego (trójkąta, pięciokąta itd.) są analogiczne jak kwadratowego. Pionowe nogi, nie stężane poprzeczkami, są zginane tylko podczas zblokowania ich przesuwu na dole. Zginanie to może wystąpić w dowolnej płaszczyźnie i rośnie od zera na dole w górę. Górna część stężonych nóg, powyżej miejsca przyłączenia łączyny, jest zginana nawet wtedy, gdy końce nóg przesuwają się swobodnie w poziomie. W obu typach stołków z pionowymi nogami, z łączynami i bez, forma strukturalna nóg ma grubość wzrastającą od dotu w górę i przekroje, w których żaden kierunek nie jest dominujący. Nogi rozsunięte na zewnątrz są mocno zginane przez obciążenie siedziska w płaszczyznach pionowych, zawierających te nogi. Dlatego podkreślające konstrukcję formy nachylonych nóg mają przekroje poprzeczne wzrastające w górę, ale wydłużone w płaszczyznach tego zginania. Rygle podtrzymujące płytę siedziska są zginane w płaszczyznach pionowych i ich formy strukturalne charakteryzują się przekrojami większymi w pionie. Jeśli siedzisko jest w formie lin lub tkaniny przyczepionej do rygla, to zginanie rygla jest większe w płaszczyźnie poziomej niż pionowej i pręty rygla powinny mieć przekroje wydłużone w poziomie. Przekrój prętów rygla powinien być największy w środkach boków rygla i w pobliżu wierzchołków, z wyjątkiem stołka z płytą siedziska i nogami nachylonymi na zewnątrz, w którym przekrój boków rygla stale maleje od środka ku wierzchołkom. Krzesło powstałe ze stołka ma formy prętów oparcia dostosowane do wspornikowych wykresów momentów: zwężające się ku górze, o przekrojach wydłużonych w płaszczyznach bocznych oraz odpowiednio duże grubości bocznych prętów rygla, gwarantujące utwierdzenie w nich prętów oparcia. Formy pozostałych prętów są takie same jak w przypadku stołka. Przedstawione tu optymalne formy przekrojów prętów, określane jako wydłużone lub nie wydłużone (w których żaden wymiar nie jest dominujący), przyjmują różny kształt w zależności od materiału, z którego wykonano mebel. Wydłużone

przekroje, których jeden wymiar jest wyraźnie większy niż drugi, w wersji drewnianej są prostokątami, zaś w wersji metalowej – dwuteownikami o dłuższych średnicach w płaszczyźnie zginania i prostopadłych do nich krótszych półkach lub prostokątnymi rurami. Przekroje, w których żaden wymiar nie dominuje, w wariacie drewnianym mogą mieć formę dowolnego wielokąta foremnego (np. kwadratu, sześciokąta, koła). W wariacie metalowym takie przekroje powinny mieć formę rury o kształcie wielokąta foremnego. Inne kształty przekrojów metalowych (np. płaskowniki, kątowniki, teowniki) nie spisują się dobrze jako przekroje zginane.

Optymalne formy stołów są bardzo podobne jak omówione formy taboretów, gdyż praca ich konstrukcji jest jakościowo taka sama. Stoły jednak zwykle mają dłuższe pręty rygla w porównaniu z wysokością nóg. W związku z tym mają większe wartości momentów od obciążenia pionowego i grubsze pręty rygla, szczególnie w środkach boków. Prostokątne stoły i ławy charakteryzują się formami strukturalnymi z większymi wysokościami przekrojów dłuższych boków rygla, ze względu na ich większe zginanie.

W artykule pokazano, że świadome zastosowanie wiedzy o pracy konstrukcji i własności stosowanych materiałów w kształtowaniu form mebli może prowadzić do powstawania form nie tylko ekonomicznych, ale i o nieprzeciętnych walorach artystycznych.

LITERATURA

1. Charytonowicz J. (2007), *Ewolucja form sprzętów do siedzenia od pradziejów do wieku maszyn*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
2. Grzeluk I. (2000), *Słownik terminologiczny mebli*, PWN, Warszawa.
3. Gustafsson S. I. (1995), *Furniture Design by use of the Finite Element Method*, Holz als Roh- und Werkstoff 53, 257-260.
4. Gustafsson S. I. (1996), *Stability problems in optimised chairs?*, Wood Science and Technology 30, 339-345.
5. Gustafsson S. I. (1997), *Optimizing ash wood chairs*, Wood Science and Technology 31, 291-301.
6. Hinz S. (1980), *Wnętrza mieszkalne i meble: od starożytności po współczesność*, Arkady, Warszawa.
7. Kaesz G. (1990), *Meble stylowe*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich-Wydawnictwo, Wrocław.
8. Kolendowicz T. (1993), *Mechanika budowli dla architektów*, Arkady, Warszawa.
9. Kostrzyńska-Miłosz A. (2005), *Polskie meble 1918-1939, forma - funkcja - technika*, Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa.

10. Kozikowska A. (2010), *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji wspornikowej*, „Architecturae et Artibus”, nr 4.
11. Siegel C. (1974), *Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa.
12. Smardzewski J. (1998), *Numerical analysis of furniture constructions*, Wood Science and Technology 32, 273-286.
13. Smardzewski J. (2007), *Komputerowo zintegrowane wytwarzanie mebli*, PWRiL, Poznań.
14. Smardzewski J. (2008), *Projektowanie mebli*, PWRiL, Poznań.

Wykorzystane strony internetowe:

1. Gio Ponti's furniture - http://www.1stdibs.com/furniture_search.php?i_creator=Gio+Ponti
2. Wright auction house - http://www.wright20.com/auctions/view_search/DLPX/F5XN/709/

Artykuł zrealizowany w ramach pracy statutowej S/WA/5/07.