

# KSZTAŁTOWANIE FORM MEBLI O WSPORNIKOWO-RAMOWYCH SCHEMATACH STATYCZNYCH

Agata Kozikowska

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

## SHAPING FURNITURE FORMS OF CANTILEVER AND FRAME STATIC SCHEMES

### Abstract

The article discusses a qualitative analysis of the structural behaviour and shaping forms of cantilever and frame furniture. The rules for dividing schemes of the furniture into cantilevers and frames, as well as the loads acting on them are presented. Longitudinal profiles of elements are adjusted to bending moment diagrams found on the basis of deflection lines. The presented material helps to develop an intuitive sense of the internal force flow and can be used by furniture designers and interior architects interested in creating original and logical interior design elements.

### Streszczenie

Artykuł omawia jakościową analizę pracy konstrukcji i kształtowanie form mebli o wspornikowo-ramowych schematach statycznych. Przedstawione są zasady podziału schematów tych mebli na wsporniki i ramy oraz działające na nie obciążenia. Wysokości podłużnych profili elementów są dobierane do wykresów momentów zginających, znalezionych na podstawie linii ugięcia. Zaprezentowany materiał pomaga rozwijać intuicyjne wyczucie przebiegu sił wewnętrznych i może być wykorzystany przez projektantów mebli i architektów wnętrz zainteresowanych tworzeniem oryginalnych i logicznych elementów wyposażenia wnętrz.

Keywords: furniture design, cantilever, frame, structural forms

Słowa kluczowe: projektowanie mebli, wspornik, rama, formy strukturalne

## WPROWADZENIE

Projektowanie mebli polega na dobieraniu ich form, tak aby spełniały kryteria funkcjonalne, wytrzymałościowe i ekonomiczne, a także były satysfakcjonujące pod względem wizualnym. Projekt mebla, który jest w stanie sprostać tym wymaganiom, zazwyczaj nie jest wynikiem pracy jednego twórcy, lecz zespołu specjalistów. Wielu autorów widzi konieczność współpracy architektów i inżynierów przy projektowaniu dzieł architektury [S. Lin, Z. Huang 2016, s. 22], [C. Olsen, S.M. Namara 2014, s. 8]. Lin i Huang twierdzą, że tylko projekt, który jest efektem takiej kooperacji jest doskonałą kombinacją sztuki i techniki. Autorzy uważają, że konstrukcje o proporcjach dostosowanych do rozkładu sił są piękne, tak jak piękne są naturalne

konstrukcje. Radzą, aby rozwijać umiejętność kształtowania takich naturalnych form poprzez obserwację jak największej liczby dobrych wzorców [S. Lin, Z. Huang 2016, s. 22]. Przedstawione przez autorkę formy mebli, dostosowane do rozkładu ich sił wewnętrznych, mogą być przykładem takich wzorców. Również Addis i Addis [B. Addis, W. Addis 1994] piszą o wzrastającej roli inżyniera w projektowaniu form konstrukcji. Autorzy podkreślają, że inżynierowie nie tylko mają korzystny wpływ na kreatywność architektów, ale również stają się integralną częścią zespołów projektowych. Addis pisze, że inżynierowie, pomagając architektom zrozumieć i efektywnie wykorzystać materiały i konstrukcje, wnoszą innowacyjność i kreatywność do projektów [B.

Addis 2002]. Pressman podkreśla, że w dzisiejszych czasach umiejętności współpracy mają coraz większe znaczenie dla pomyślnej realizacji projektów architektonicznych [A. Pressman 2014, s. 2]. Jest przekonany, że takie współdziałanie zapewnia magię, która przekształca najbardziej wymagające projekty w wielkie dzieła architektury [A. Pressman 2014, s. 16]. Zaprezentowane przez autorkę zasady kształtowania form wspornikowo-ramowych mebli mogą być takim inżynierskim wkładem do dziedziny projektowania mebli i źródłem inspiracji twórczej dla projektantów. W swoich wcześniejszych artykułach autorka zajmowała się kształtowaniem form konstrukcji różnych obiektów architektonicznych [A. Kozikowska 2018, 35-46], w tym mebli o wielu schematach statycznych [A. Kozikowska 2010a, s. 45-55], [A. Kozikowska 2010b, s. 56-65], [A. Kozikowska 2013a, 69-78], [A. Kozikowska 2013b, s. 18-29], [A. Kozikowska 2015a, s. 5-19], [A. Kozikowska 2015b, s. 20-34], [A. Kozikowska 2017, s. 24-35].

W artykule analizowane są meble o wspornikowo-ramowych schematach statycznych. Częścią tych mebli są sztywne blaty, które połączone są z trzy-, cztero- lub pięciowęzłowymi płaskimi ramami (leżącymi w płaszczyźnie pionowej) o prostych lub zakrzywionych prętach. Połączenia prętów ram z blatem mogą być przegubowo-nieprzesuwne (ryc. 1-5) lub sztywne (ryc. 6). Połączenie jest przegubowe, gdy pręt jest przykręcony do blatu za pomocą jednej śruby lub przyklejony. Połączenie jest sztywne, gdy pręt jest przykręcony do blatu za pomocą co najmniej 3 śrub rozmieszczonych równomiernie wokół niego (ryc. 6a). Węzły ram są zespolone z płaskimi prętami o dowolnych kształtach, opartymi na końcach na podłożu i mogącymi się swobodnie przesuwają poziomo po podłożu. Analiza pracy konstrukcji takiego mebla może być przeprowadzana przy założeniu, że obciążenie działa na konstrukcję od dołu, a podpory są umiejscowione w blacie na górze. Najpierw statycznie wyznaczalne wsporniki utwierdzone w węzłach ramy są obciążane skierowanymi do góry reakcjami od podłoża. Następnie statycznie niewyznaczalne ramy są obciążane siłami i/lub momentami przeciwnymi do reakcji w utwierdzeniach wsporników. Praca takiego mebla może być również analizowana bez rozdzielania go na wsporniki i ramę. Współpraca obu schematów jest wówczas uwzględniana poprzez obroty sztywnych węzłów je łączących. Węzły obracają się zgodnie z linią ugięcia wsporników, a kąty pomiędzy prętami w sztywnym węźle nie zmieniają się.

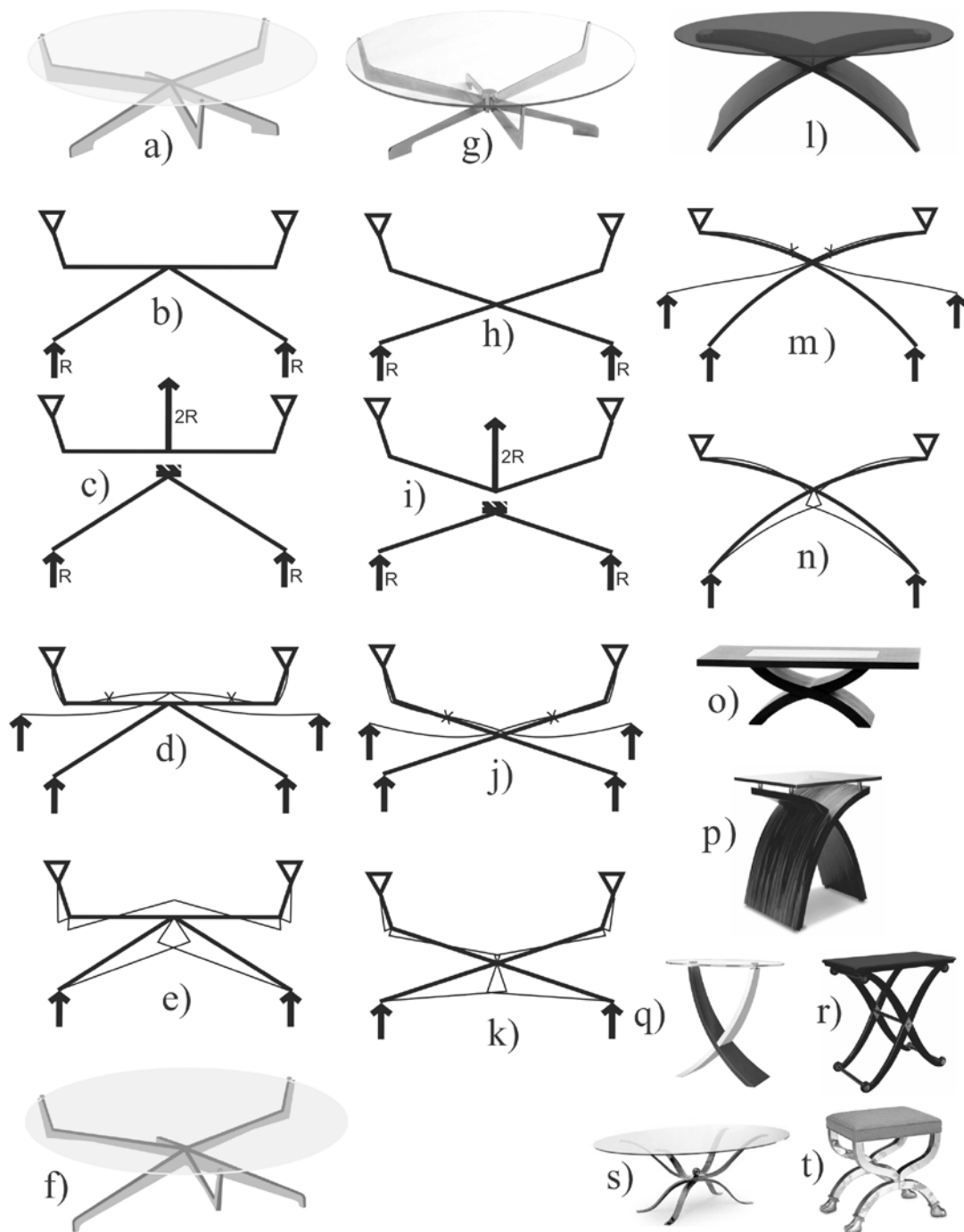
Założono, że materiał, z którego wykonano blaty mebli, jest idealnie sztywny, a materiał, z którego wykonano pozostałe elementy – jednorodny, izotropowy i liniowo-sprężysty. Przyjęto założenie o niewielkich przekrojach prętów i płyt, umożliwiającym ich kształ-

towanie tylko na podstawie momentów zginających. W większości przypadków największe wartości momentów zginających powstają w tych meblach pod symetrycznym równomiernym grawitacyjnym obciążeniem o maksymalnej możliwej intensywności, przyłożonym na całych blatach. Jeśli takie obciążenie powoduje tylko ściskanie prętów, to wówczas jest uwzględniane mniejsze niesymetryczne obciążenie grawitacyjne, prowadzące do zginania. Zginanie prętów spowodowane nawet mniejszym obciążeniem jest bowiem gorsze (wymaga większych przekrojów) niż ściskanie pod działaniem większego obciążenia. Odkształcenia związane ze ścisaniem prętów i wynikające z tych odkształceń niewielkie naprężenia zginające statycznie niewyznaczalnych schematów są pomijane. Wykresy momentów omawianych schematów są znajduwane na podstawie ich linii ugięć [M. Salvadori, R. Heller 1975, s. 180-181, 187, 189, 195], [T. Kolendowicz 1977, s. 270, 271, 274, 275], [M. Millais 1997, s. 47, 51-54]. Chociaż ugięcia prętów i płyt mebli są małe, zostały narysowane w znacznym powiększeniu, aby lepiej ukazać miejsca występowania punktów przegięcia.

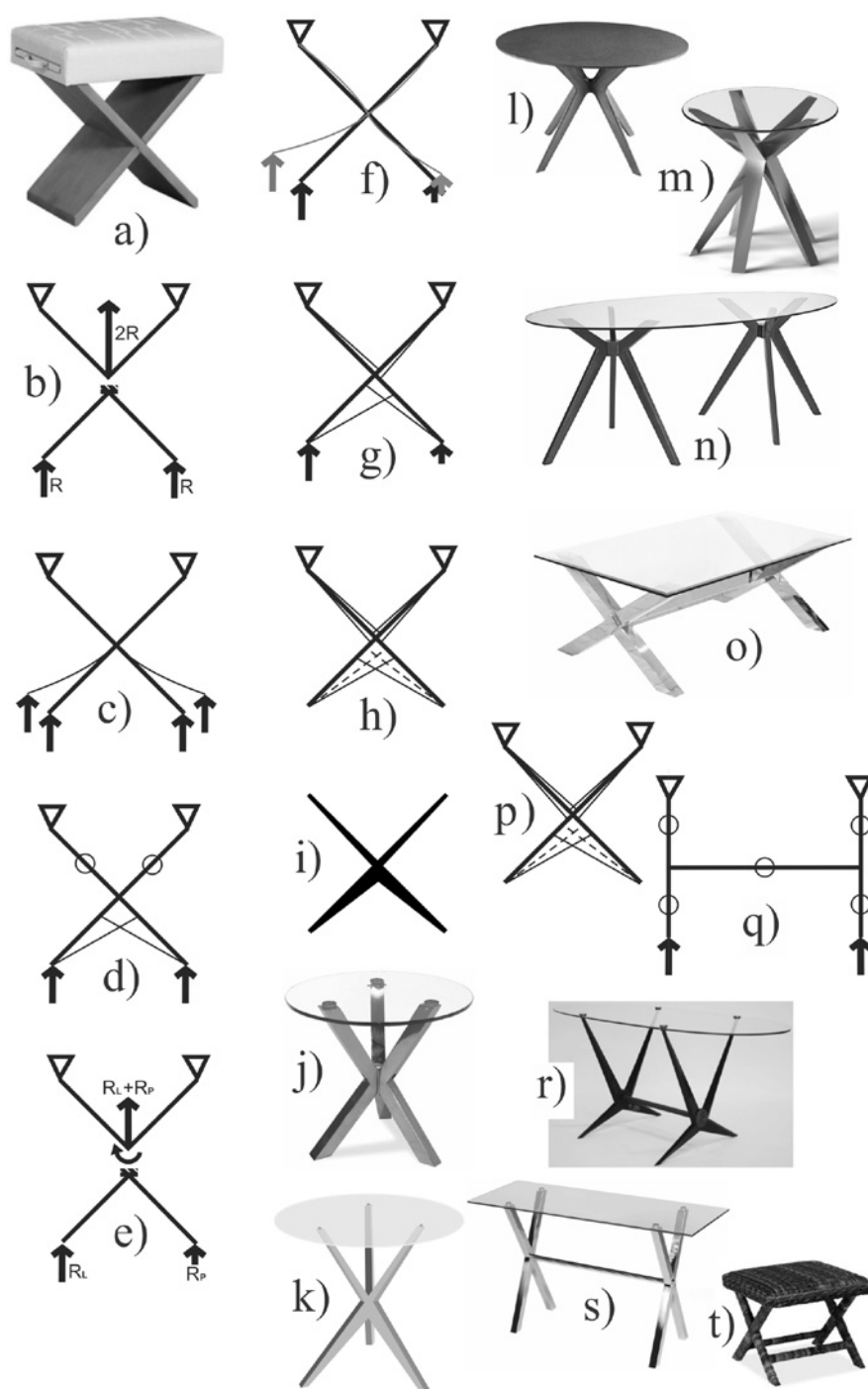
Wspornikowe nogi mebli są obciążone skierowanymi do góry reakcjami podłoża. Ich wykresy momentów są takie jak wykresy tak samo podpartych i obciążonych wspornikowych prostych belek [B. Shihua, G. Yaoging 2008, s. 56], [P. Litewka, R. Sygulski 2012, s. 28], [Z. Dyląg i in. 1993, s. 237]. Ramy są obciążane w węzłach przekazanymi od wsporników momentami i/lub siłami. Jeśli pod symetrycznym obciążeniem jest przekazywana na ramę tylko siła i rama jest co najmniej czterowęzłowa lub ma zakrzywione pręty, to siła zgina ramę i tylko taki przypadek jest uwzględniany (ryc. 1). Jeśli pod symetrycznym obciążeniem jest przekazywana tylko siła i rama jest trzywęzłowa o prostych prętach, to siła nie zgina ramy. W takim przypadku jest brane pod uwagę niesymetryczne obciążenie, prowadzące do zginania ramy momentem (ryc. 2 i ryc. 6b-6f). Jeśli na ramę jest przekazywany i moment, i siła, to moment jest zawsze uwzględniany (ryc. 3-5 i ryc. 6g-6h), a siła tylko w przypadku zakrzywionych prętów ramy (rys. 4q-4u).

## 1. RAMA ZGINANA SIŁĄ SKUPIONĄ

Na ryc. 1 przedstawione są meble wspornikowo-ramowe, w których obciążeniem ramy jest tylko siła skupiona. Siła przyłożona poza węzłami ramy nierównoległe do pręta zawsze zgina ramę, tak jak w przypadku czterowęzłowej ramy stolika z ryc. 1a. Na podstawie wykresu momentów tego stolika, pokazanego na ryc. 1e, została dobrana optymalna konstrukcja z prętami o stałej szerokości i wysokości dostosowa-



**Ryc. 1.** Meble wspornikowo-ramowe z ramą zginaną siłą skupioną: a) stolik z ramą czterowęzłową, b) schemat zastępczy stolika z ryc. 1a z obciążeniem, c) podział schematu stolika z ryc. 1a na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, d-e) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 1a, f) forma stolika z ryc. 1a wynikająca z pracy konstrukcji, g) stolik z ramą pięciowęzłową, źródło: <http://www.cholaonline.com/astounding-round-coffee-table-with-metal-legs-design-ideas/contemporary-glass-top-coffee-table-with-stainless-steel-multi-pedestal/>, h) schemat zastępczy stolika z ryc. 1g z obciążeniem, i) podział schematu stolika z ryc. 1g na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, j-k) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 1g, l) stolik z ramą trzywęzłową o zakrzywionych prętach, źródło: <http://www.moderncollections.com/criss-cross-glass-wood-coffee-table-lms.html>, m-n) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 1l, o) stolik, źródło: <http://nationalfurniture.com/blog/wp-content/uploads/2012/11/Interlocking-End-Table.jpeg>, q) stolik, źródło: <http://dorya.us/collections/visible-occasional-tables/products/s-1130mau-x-end-table>, r) stolik, źródło: <http://dorya.us/collections/contemporain/products/d-1013-delaney-end-table>, s) stolik, źródło: <http://www.progarr.com/en/2911-table-cantori-atlante.html>, t) stółek, źródło: <http://www.carolinarustica.com/currey-company-elsie-stool-cc-7063>. Rys. autorka



**Ryc. 2.** Meble wspornikowo-ramowe z ramą zginaną momentami zginającymi tylko w przypadku niesymetrycznego obciążenia: a) stółek z ramą trzywęzłową o prostych prętach, źródło: <http://www.cricketscrush.com/furniture/couef-label-mr-x-stool.html>, b) schemat zastępczy stołka z ryc. 2a z podziałem na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im symetrycznymi obciążeniami, c-d) linia ugięcia i wykres momentów stołka z ryc. 2a pod działaniem symetrycznego obciążenia (nie uwzględniane deformacje związane ze ściskaniem), e) schemat zastępczy stołka z ryc. 2a z podziałem na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im niesymetrycznymi obciążeniami, f-g) linia ugięcia i wykres momentów stołka z ryc. 2a pod działaniem niesymetrycznego obciążenia, h) obwiednia momentów stołka z ryc. 2a, i) zmiana grubości płyt stołka z ryc. 2a wynikająca z pracy konstrukcji, j) stolik, źródło: <http://www.bedbathandbeyond.com/1/1/206715-moes-home-collection-redondo-glass-end-table.html>, k) forma stołka z ryc. 2j wynikająca z pracy konstrukcji, l) stolik, źródło: <http://furnister.com/collections/dining/products/redondo-dining-table>, m) stolik, źródło: <http://www.mobilyatarimi.com/tasarim.php?design=1356>, n) stolik, źródło: <http://www.theashvillehouse.com/product/bluefield-dining-table/>, o) stolik z ramą trójwęzłową o prostych prętach w widoku z boku, źródło: <http://www.lovefurniture.co.uk/living-room/coffee-tables/croosly-coffee-table?zenid=b5os5m9sdpigsf5liqj1ed7ar5>, p-q) obwiednie momentów schematu stołka z ryc. 2o w widoku z boku i z przodu, r) stolik, źródło: <http://www.grangerhertzog.com/v-shaped-glass-coffee-table>, s) stolik, źródło: <http://www.wayfair.com/Pangea-Home-Ella-Console-Table-BEVERLY-CNSL-PHQ1140.html>, t) stółek, źródło: <http://www.potterybarn.com/products/seagrass-x-cross-stool/>. Rys. autorka

nej do wartości bezwzględnie maksymalnych momentów. Pięciowięzłowa rama stolika z ryc. 1 g jest zginana przez siłę przyłożoną w węźle, ponieważ powoduje ona przemieszczenie przesuwnych węzłów ramy [T. Kolen-dowicz, 1977, s. 274]. Ugięcie schematu całego mebla i wykres momentów są pokazane na ryc. 1j – k. Trzy-więzłowa rama stolika z ryc. 1l jest zginana przez siłę przyłożoną w węźle, ponieważ ma zakrzywione pręty. Meble przedstawione na ryc. 1o-1t mają ugięcia i wykresy momentów analogiczne do przedstawionych na ryc. 1m i 1n. Równomiernie wyłożone konstrukcje ram cztero- i pięciowięzłowych mają duże wysokości przekrojów w węzłach łączących pręty ram, a małe wysokości przekrojów na końcach prętów skrajnych połączo-nych przegubowo-nieprzesuwnie z blatem i pomiędzy węzłami pozostałych prętów. Zakrzywione pręty lub płyty ram trójwięzłowych mają przewężenia na przegu-bowych końcach przy blacie oraz w pobliżu środkowe-go węzła, przy czym optymalne przekroje tych ram są mniejsze niż cztero- i pięciowięzłowych. Wspornikowe pręty mają wykresy momentów i optymalne wysokości przekrojów tym większe, im są bardziej oddalone od linii pionowych przechodzących przez ich punkty opar-cia na dole (czyli im są bardziej oddalone od kierunków obciążających je sił pionowych). Wykresy momentów i wysokości przekrojów wsporników nie zależą od typu konstrukcji, do której wsporniki są przyłączone, a tylko od kształtu osi wsporników i ich obciążenia [A. Kozikowska, 2015b, s. 20-34]. Wsporniki mają większe wartości momentów i większe optymalne wysokości przekrojów niż ramy.

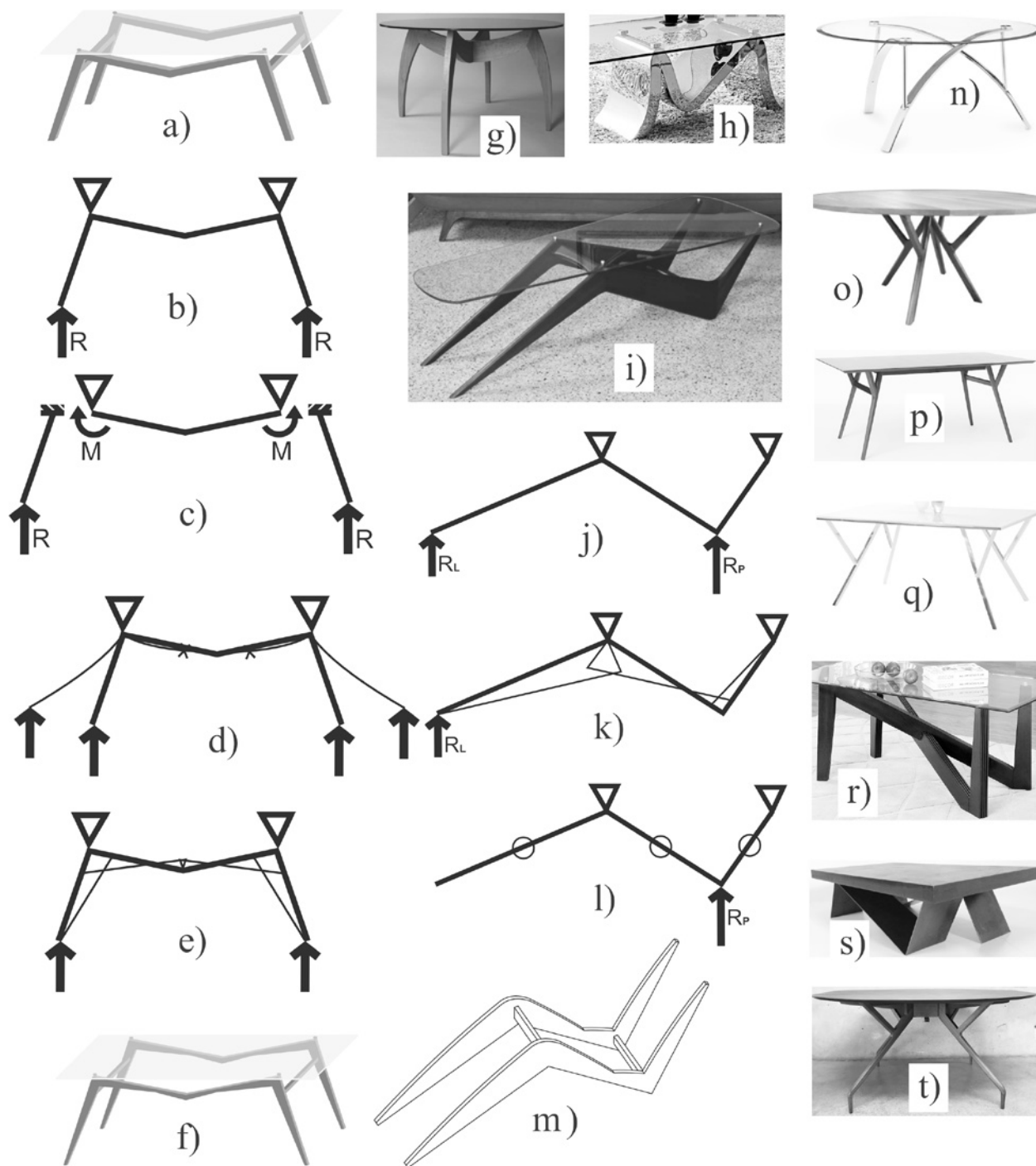
## 2. RAMA ZGINANA MOMENTEM TYLKO W PRZY-PADKU NIESYMETRYCZNEGO OBCIĄŻENIA

Płaski schemat statyczny mebli z ryc. 2 składa się ze wsporników i ramy o prostych prętach w kształcie litery V. W przypadku symetrycznego obciążenia na ramę jest przekazywana tylko siła w węźle, która powoduje ściskanie ramy (pomijamy niewielkie zgi-nanie spowodowane zmianą długości ścispanych prętów statycznie niewyznaczalnej ramy). Taka rama jest zginana momentem przekazanym przez wspor-niki tylko w przypadku niesymetrycznego obciążenia (ryc. 2e-2g). Pręty ramy zginają się proporcjonalnie do ich sztywności, czyli ich długości, przekrojów prętów i sztywności materiału. Zakładając, że oba pręty ramy z ryc. 2a mają tę samą długość, te same przekroje i są wykonane z tego samego materiału, momenty na obu prętach są takie same. Optymalny kształt grubości płyt stołka z ryc. 2a, dobrany do obwiedni momentów z ryc. 2h, jest pokazany na ryc. 2i, a optymalny kształt przekroju prętów stolika z ryc. 2j jest zamieszczony na

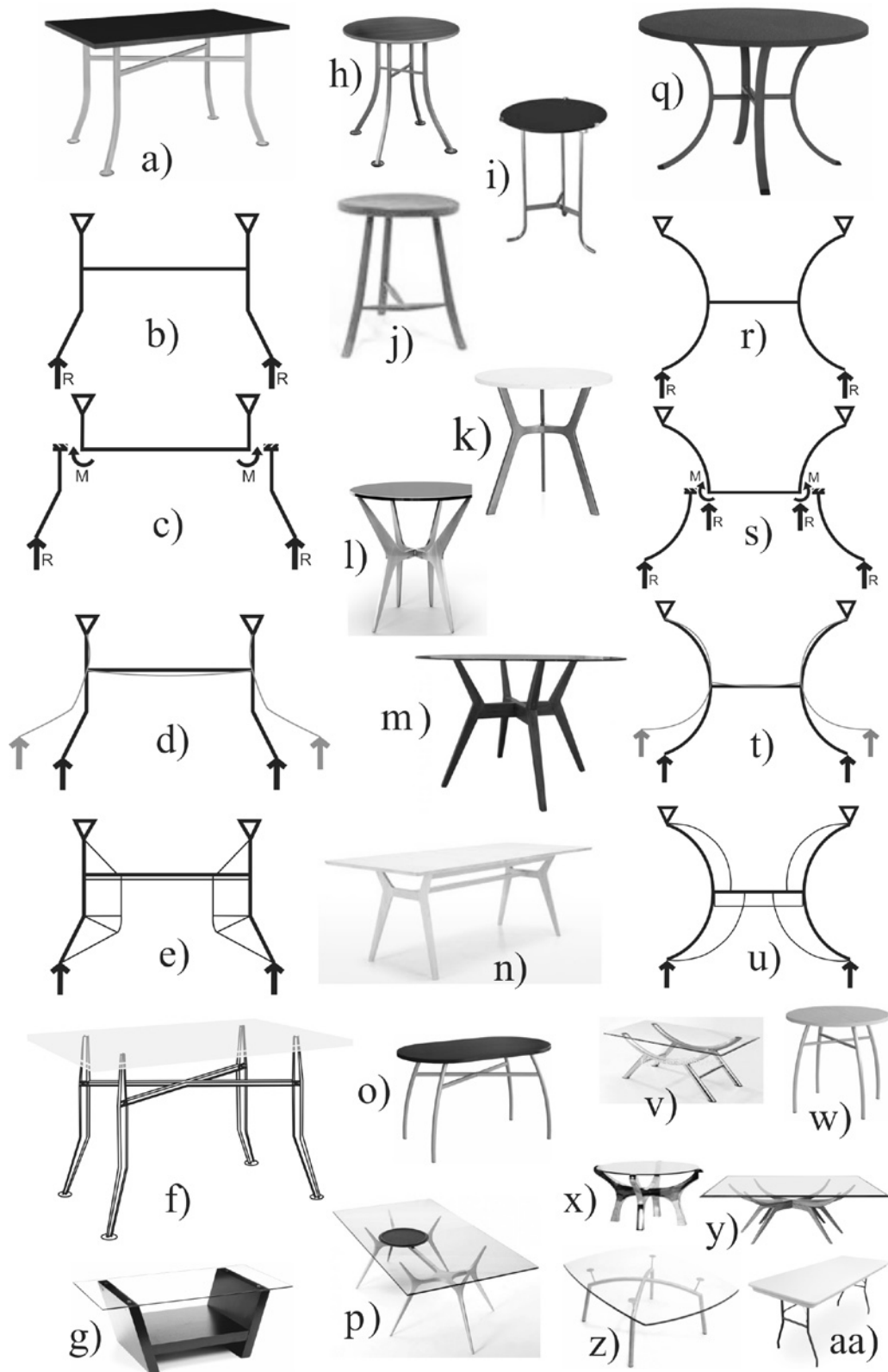
ryc. 2k. Meble z ryc. 2l-2o oraz 2r-2t mają inny prze-strzenny układ prętów, ale taki sam schemat statyczny, obciążenie, wykresy momentów i optymalne kształty przekrojów jak meble z ryc. 2a i 2j. Optymalne wyso-kości przekrojów prostych prętów ram trzywięzłowych powinny być najgrubsze w węźle i stopniowo maleć w kierunku ich niesztynnych połączeń z blatem. Po-winny być też mniejsze niż optymalne przekroje za-krzywionych prętów ram trójwięzłowych, przedstawi-one w rozdziale 1. Zależność optymalnych wysokości przekrojów wsporników jest taka sama niezależnie od typu ramy – wysokości przekrojów są najmniejsze na swobodnych końcach i coraz większe, im są bardziej oddalone od linii pionowych przechodzących przez swobodne końce.

## 3. RAMA ZGINANA MOMENTAMI

Wsporniki mebli z ryc. 3 i ryc. 4 przekazują na ramę momenty zginające i siły. Te momenty zawsze powodują zginanie ramy, natomiast te siły - tylko, gdy rama ma zakrzywione pręty. Każdy wspornik mebli pokazanych na ryc. 3a, 3g-3i oraz 3r i 3s jest połączo-ny w węźle z jednym prętem ramy, dlatego zarówno wspornik, jak i pręt ramy mają w węźle taki sam mo-ment. Im dalej od obciążonego węzła, tym momen-ty w węzłach zmniejszają się. W przypadku prętów o stałym przekroju poprzecznym i sztywnych węzłach na obu końcach moment w kolejnym węźle jest dwu-krotnie mniejszy niż w poprzednim, a w jednej trzeciej długości pręta występuje zerowa wartość momentu [I. A. Karnovsky, O. Lebed 2010, s. 555]. Linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 3a są pokazane na ryc. 3d i 3e, a optymalna konstrukcja dobrana na pod-stawie wykresu momentów jest zaprezentowana na ryc. 3f. Stoliki z ryc. 3g i 3h mają takie same wykresy momentów i optymalne konstrukcje. Stolik pokazany na ryc. 3i ma niesymetryczny schemat z tylko jednym wspornikiem. Analiza pracy tego schematu i wynikają-ca z niej optymalna forma są pokazane na ryc. 3j-3m. Optymalne wysokości przekrojów prętów ram mebli z ryc. 3 są duże w sztywnych węzłach, przy czym co-raz mniejsze, im dalej są od wsporników (ryc. 3f i 3m). Poziome pręty stolików z ryc. 3a, 3i oraz 3p pod dzia-łaniem grawitacyjnego równomiernego obciążenia nie są zginane, tylko stężają konstrukcję. Aby zapewnić stabilność mebli z ryc. 3n-3o oraz 3t, połączenia ich prętów z blatem powinny być wykonane jako sztywne zamiast przegubowych. W utwierdzonych podporach wystąpią wówczas niezerowe wartości momentów i pręty ram przyłączone do blatu będą miały najmniej-sze przekroje nie przy blacie, tylko w pewnej odległo-ści od niego (jak na ryc. 6f).



**Ryc. 3.** Meble wspornikowo-ramowe z trójwzłową ramą zginaną momentami: a) stół o schemacie z dwoma wspornikami, b) schemat zastępczy stolika z ryc. 3a z obciążeniem, c) podział schematu stolika z ryc. 3a na ramę i wspornik z przyporządkowanymi im obciążeniami, d-e) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 3a, f) forma stolika z ryc. 3a wynikająca z pracy konstrukcji, g) stół, źródło: <http://www.magetjooz.com/66ae1d0c71feb52f.html>, h) stół, źródło: <http://easysales.link/furniture/metal-furniture/metal-tables/23526297.html>, i) stół o schemacie z jednym wspornikiem, źródło: <http://www.etsy.com/listing/118049585/coffee-table-mid-century-modern-custom>, j) schemat zastępczy stolika z ryc. 3i z obciążeniem, k) wykres momentów stolika z ryc. 3i od obciążenia wspornika, l) zerowy wykres momentów dwuprętowej ramy o prostych prętach pod działaniem siły skupionej (nie uwzględniane deformacje związane ze ścisaniem), m) forma stolika z ryc. 3i wynikająca z pracy konstrukcji, n) stół, źródło: <http://content.valuecityfurniture.com/ProductImages/0/365675.jpg?impolicyu003dproduct-650x650>, o) stół, źródło: [https://img0.etsystatic.com/117/0/10175721/il\\_340x270.1023444192\\_tb1e.jpg](https://img0.etsystatic.com/117/0/10175721/il_340x270.1023444192_tb1e.jpg), p) stół, źródło: <https://s-media-cache-ak0.pinnimg.com/564x/22/4f/86/224f867d843ff7d17-f7b59e99cb192e0--west-elm-dining-table-mid-century-dining-table.jpg>, q) stół, źródło: [http://media.eldoradofurniture.com/images/products/marketing/CHIN-153%20Tb1%2001\\_SMALL.jpg](http://media.eldoradofurniture.com/images/products/marketing/CHIN-153%20Tb1%2001_SMALL.jpg), r) stół, źródło: [http://www.castrohomefurnishings.com/Nikaia-3-Pieces-Table-Set-in-Tempered-Glass-w-Crossed-N-Shaped-Legs\\_p\\_2099.html](http://www.castrohomefurnishings.com/Nikaia-3-Pieces-Table-Set-in-Tempered-Glass-w-Crossed-N-Shaped-Legs_p_2099.html), s) stół, źródło: <https://s-media-cache-ak0.pinnimg.com/236x/37/6d/8c/376d8c7e9b52552f04a80193ae038daa.jpg>, t) stół, źródło: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0544/7277/products/IMG\\_0371\\_b063061e-3848-42ae-94b3-700e95f7c859.JPG?v=1478559089](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0544/7277/products/IMG_0371_b063061e-3848-42ae-94b3-700e95f7c859.JPG?v=1478559089). Rys. autorka



**Ryc. 4.** Meble wspornikowo-ramowe z czterowzłową ramą zginaną momentami: a) stół o schemacie ramy czterowzłowej z prostymi prętami, źródło: <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml>, b) schemat zastępczy stołu z ryc. 4a z obciążeniem, c) podział schematu stołu z ryc. 4a na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, d-e) linia ugięcia i wykres momentów stołu z ryc. 4a, f) forma stołu z ryc. 4a wynikająca z pracy konstrukcji, g) stolik, źródło: <http://www.lumberlog.com/Living-Room/Coffee-Tables/Snax-Hero-Glass-Top>, h) stółek, źródło: <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml>, i) stółek, źródło: <https://www.onekinglane.com/product/48094/2901627>,

j) stółek, źródło: <http://www.tennants.co.uk/Catalogue/Lots/154917.aspx>, k) stolik, źródło: <https://havenly.com/products/view/5402631>, l) stolik, źródło: <http://www.deringhall.com/products/furniture/tables/side-tables/23063/the-dean-oval-side-table-by-gabriel-scott>, m) stolik, źródło: <http://www.apt2b.com/products/swisher-42-round-glass-dining-table>, n) stolik, źródło: <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml>, o) stolik, źródło: <http://www.made.com/fr/jenson-table-a-rallonges-chene-design>, p) stolik, źródło: <http://costasolestate.com/wp-content/uploads/2015/12/designer-bedrooms-plastic-folding-table-folding-plastic-table.jpg> (ryc. 4aa), q) stolik o schemacie ramy czterowęzłowej o zakrzywionych prętach, źródło: [https://www.praktiker.pl/produkt,34132,833/stoacutel\\_ogrodowy\\_york\\_\\_110cm.html](https://www.praktiker.pl/produkt,34132,833/stoacutel_ogrodowy_york__110cm.html), r) schemat zastępczy stolika z ryc. 4q z obciążeniem, s) podział schematu stolika z ryc. 3q na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, t-u) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 4q, v) stolik, źródło: [http://www.alibaba.com/product-detail/new-design-home-furniture-square-tea\\_1219620548.html](http://www.alibaba.com/product-detail/new-design-home-furniture-square-tea_1219620548.html), w) stolik, źródło: <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml>, x) stolik, źródło: <http://www.deco-et-ambiances.fr/fr/boutique/fiche/table-basse-table-basse-ronde-design-en-nickel-et-verre-8804.html>, y) stolik, źródło: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/b1/19/dd/b119ddce41f38da76b2f586b7a7f10fd.jpg>, z) stolik, źródło: <http://officestock.co.za/home-furniture/coffee-tables/fosakri-coffee-table/>, aa) stół bankietowy, źródło: <https://www.atozpartyrental.net/products/tables/banquet-table-4x30-seats-4-6/>. Rys. autorka

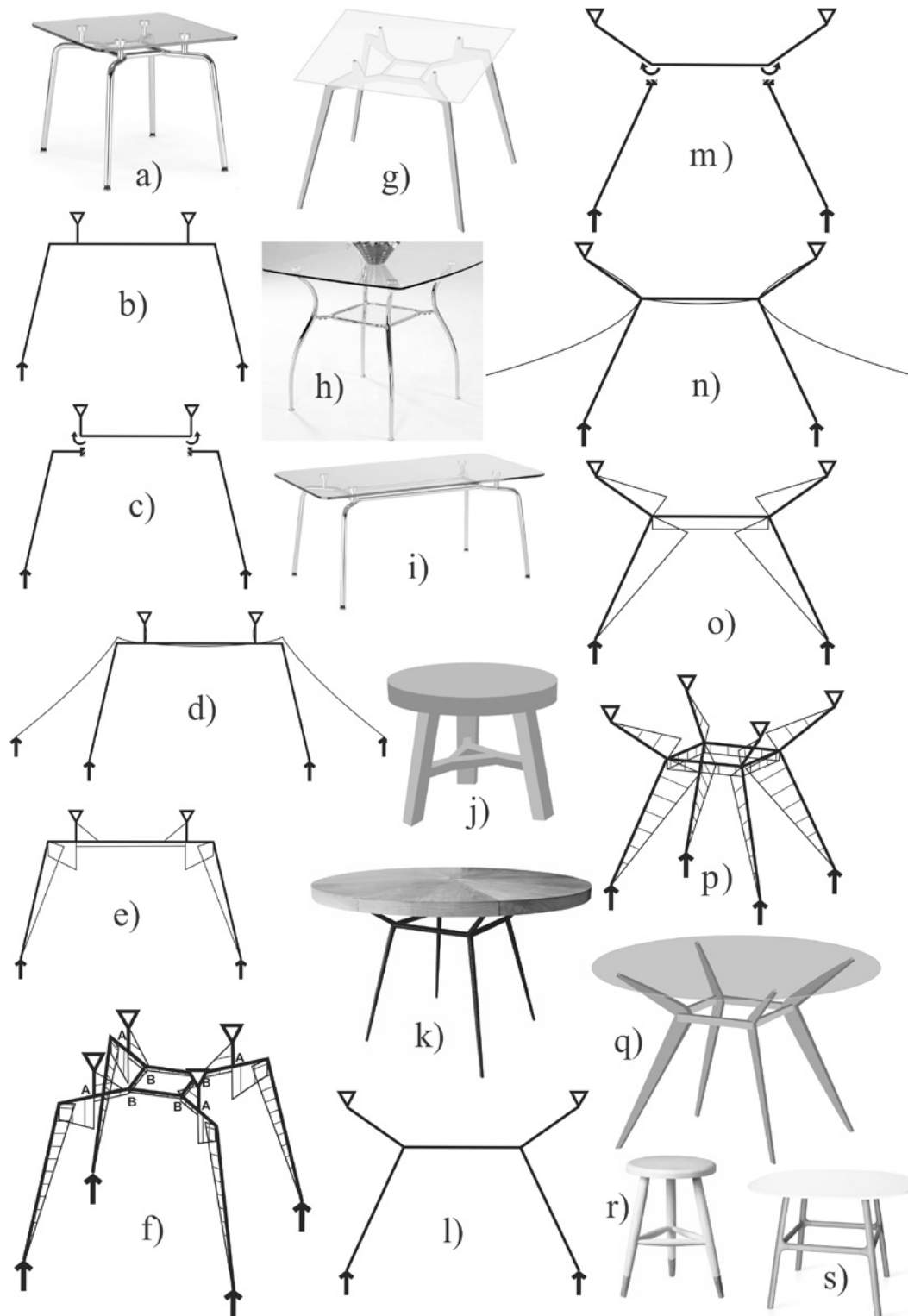
Wsporniki mebli z ryc. 4 są przyłączone do ramy w trójprętowych węzłach (jeden pręt wspornikowy i dwa pręty ramy). W takim przypadku moment przekazany przez wspornik na ramę rozkłada się w węźle na dwa momenty na prętach ramy, a proporcje wielkości tych momentów zależą od sztywności prętów ramy (im pręt jest sztywniejszy, tym ma większy moment). Zakładając jednakowy materiał prętów i jednakowe pola ich przekrojów, proporcje momentów zależą tylko od długości prętów i ich połączeń na końcach (sztywnych lub przegubowych). W przypadku stołu z ryc. 4a moment na pręcie poziomym ramy jest o wiele mniejszy, ponieważ pręty pionowe ramy są znacznie krótsze i sztywniejsze (ryc. 4e). Stoliki pokazane na ryc. 4q oraz 4v-4z mają ramy o zakrzywionych prętach, które są zginane nie tylko przez momenty przekazane przez wsporniki, ale również przez siły skupione (ryc. 4s). Jednak, w przypadku niewielkich krzywizn prętów ram, przekazane momenty mają znacznie większy wpływ na zginanie ram. W przestrzennych schematach mebli, przedstawionych na ryc. 4a, 4h, 4l, 4m, 4o, 4q, 4w, 4x oraz 4z, w miejscu połączenia dwóch płaskich pionowych ram występuje węzeł łączący cztery poziome pręty. W przypadku symetrycznego obciążenia każda z obu pionowych ram pracuje niezależnie w płaszczyźnie pionowej, tak jakby tego węzła nie było. Podobnie trójprętowe węzły ram mebli z ryc. 4i-4k oraz sześcioprętowy węzeł z ryc. 4y nie wpływają na pracę płaskich ram pionowych pod symetrycznym obciążeniem. W stolikach z ryc. 4n, 4v oraz 4aa w przypadku pionowego symetrycznego obciążenia zginanie występuje tylko w bocznych wspornikowo-ramowych częściach. Poziome pręty tych mebli, łączące te boczne części, pełnią tylko rolę stężającą. Równomiernie wyteżone konstrukcje ram mebli z ryc. 4 mają poziome pręty ram o stałej wysokości przekrojów, zaś pręty połączone przegubowo z blatem o wysokości malejącej ku górze.

Meble przedstawione na ryc. 5 mają płaskie schematy i wykresy momentów tych schematów takie

jak mebli z ryc. 4. Moment przy utwierdzeniu wspornika w ramie rozkłada się na dwa momenty na prętach ramy proporcjonalnie do ich sztywności (ryc. 5e i 5o). Jednak w przestrzennym schemacie mebli z ryc. 5 występuje łączyna w kształcie wielokąta (ryc. 5k, 5r i 5s) lub rozgałęzionego wielokąta (ryc. 5a i 5h-5j). Wykresy momentów na łączynie występują w płaszczyznach pionowych, a ich wartości wynikają z równowagi momentów w węzłach. Wielokątne łączyny mebli z ryc. 5k, 5r i 5s oraz wielokątne części łączyn mebli z ryc. 5a i 5h-5j bez rozgałęzień (np. kwadratu o wierzchołkach B z ryc. 5f) mają dwa pręty zamiast jednego pręta płaskiej ramy i razem przenoszą ten moment. Dlatego wartości tych momentów i dobrane na ich podstawie optymalne wysokości przekrojów są mniejsze niż poziomych prętów płaskich ram. Wartości momentów rozgałęzień łączyn z ryc. 5a i 5h-5j (np. prętów AB z ryc. 5f) i ich optymalne wysokości przekrojów są takie same jak poziomych prętów płaskich ram. Optymalne przekroje prętów ram pomiędzy węzłami i blatem są takie, jak mebli z ryc. 4: wydłużone w płaszczyznach pionowych zawierających te pręty i stopniowo malejące od węzła do przegubowego połączenia z blatem.

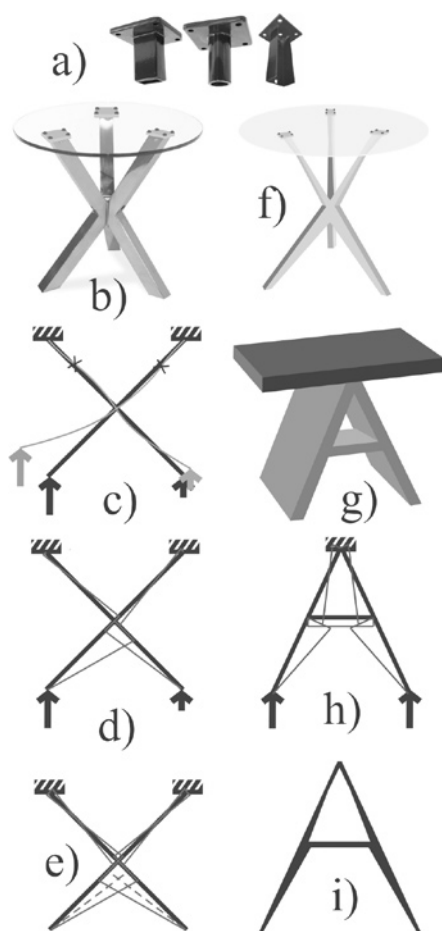
Na ryc. 6 pokazany jest wpływ sztywnego połączenia mebli z blatem na pracę konstrukcji tych mebli i ich optymalne przekroje. Taki sposób połączenia powoduje, że zerowe wartości momentów i najmniejsze grubości optymalnych przekrojów prętów lub płyt ram utwierdzonych w blacie są oddalone od blatu. Ponadto pręty utwierdzone są sztywniejsze i przyjmują na siebie jeszcze większą część momentu przekazanego na węzeł ramy, jeśli w węźle spotkają się z prętami poziomego ryglu (ryc. 6h).





**Ryc. 5.** Meble wspornikowo-ramowe z czterewęzłową ramą zginaną momentami z wielokątnym ryglem (łączyną): a) stolik z ryglem o kształcie rozgałęzionego kwadratu (□), źródło: <http://kamilameble.pl/podstawy-metalowe/142-stolik-hello-table-gl.html>, b) płaski schemat zastępczy stolika z ryc. 5a z obciążeniem, c) podział płaskiego schematu stolika z ryc. 5a na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, d-e) linia ugięcia i wykres momentów płaskiego schematu stolika z ryc. 5a, f) wykres momentów stolika z ryc. 5a w aksonometrii, g) forma stolika z ryc. 5a wynikająca z pracy konstrukcji, h) stolik z ryglem o kształcie rozgałęzionego kwadratu, źródło: <http://www.wayfair.com/Chintaly-Imports-Daisy-Dining-Table-CNI2554.html>, i) stolik z ryglem o kształcie rozgałęzionego prostokąta, źródło: <http://kamilameble.pl/podstawy-metalowe/143-stolik-hello-table-duo-gl.html>, j) stolik z ryglem/łączyną o kształcie rozgałęzionego trójkąta równobocznego, k) stolik, źródło: <http://www.houzz.com/photos/293433/Frank-Dining-Table-modern-dining-tables.jpg>, l) płaski schemat zastępczy stolika z ryc. 5k z obciążeniem, m) podział płaskiego schematu stolika z ryc. 5k na ramę i wsporniki z przyporządkowanymi im obciążeniami, n-o) linia ugięcia i wykres momentów płaskiego schematu stolika z ryc. 5k, p) wykres momentów stolika z ryc. 5k w aksonometrii, q) forma stolika z ryc. 5k wynikająca z pracy konstrukcji, r) stółek, źródło: [http://stronywnetza.urzadzamy.pl/produkty/bialy-stolek-drewniany-north-south-home,8\\_752,9\\_116.html](http://stronywnetza.urzadzamy.pl/produkty/bialy-stolek-drewniany-north-south-home,8_752,9_116.html), s) stółek, źródło: <http://www.mootic.pl/produkt/minuscule-table/433>.

Rys. autorka



**Ryc. 6.** Meble wspornikowo-ramowe z prętami lub płytami utwierdzonymi w blacie: a) przykłady sztywnych połączeń pręta z blatem, b) stolik z ramą zginaną momentami zginającymi tylko w przypadku niesymetrycznego obciążenia, c-d) linia ugięcia i wykres momentów stolika z ryc. 6b, e) obwiednia momentów stolika z ryc. 6b, f) forma stolika z ryc. 6b wynikająca z pracy konstrukcyjnej, g) stółek z trójwęzłową ramą zginaną momentami, h) wykres momentów stolka z ryc. 6g, i) zmiana grubości płyt stolka z ryc. 6g wynikająca z pracy konstrukcyjnej. Rys. autorka

## PODSUMOWANIE

W artykule omówiono zasady optymalnego kształtowania przekrojów prętów i płyt mebli o wspornikowo-ramowych schematach statycznych. Założono, że płyty i pręty są bardzo cienkie i dlatego uwzględniano tylko ich zginanie. Zastępczy schemat każdego mebla otrzymano, traktując sztywny blat jako fikcyjne podłoże, do którego została podwieszona rama o trzy-, cztero- lub pięciowęzłowym płaskim schemacie statycznym. Do węzłów ramy przyłączono płaskie wsporniki obciążone na swobodnych końcach reakcjami rzeczywistego podłoża na grawitacyjne obciążenie mebli. Analiza pracy płaskich schematów odbywała się w dwóch etapach. Jako pierwsze uwzględniano zginanie wsporników spowodowane pionowymi siłami skierowanymi do

góry. Wartości momentów zginających statycznie wyznaczalnych wsporników nie zależą od ich przekrojów, występują w płaszczyznach pionowych zawierających te pręty, rosną liniowo wraz z oddalaniem się od kierunku sił obciążających i w przypadku najczęściej występujących niezawiniętych wsporników są największe w ich utwierdzeniach w węzłach ramy. Drugim etapem analizy pracy konstrukcji mebla było zginanie ramy spowodowane oddziaływaniem wsporników. Momenty i/ lub siły obciążające ramę były przyłożone w jej węzłach i przeciwne do reakcji w utwierdzeniach wsporników. Poziome pręty ram mają stałe wykresy momentów i stałe przekroje poprzeczne optymalnych konstrukcji, wydłużone w płaszczyznach pionowych. Pozostałe pręty ram mają duże momenty i duże przekroje w węzłach, zerowe wartości momentów i małe przekroje pomiędzy sztywnymi węzłami oraz w końcowych węzłach połączonych przegubowo z blatem.

Artykuł pomaga rozwijać umiejętności intuicyjnej analizy pracy konstrukcji mebli o wspornikowo-ramowych schematach statycznych i pokazuje możliwości praktycznego zastosowania wiedzy o przebiegu sił wewnętrznych do optymalnego kształtowania form mebli.

## LITERATURA

1. **Addis B., Addis W. (1994)**, *The Art of the Structural Engineer*, Artemis, London.
2. **Addis B. (2002)**, *Creativity and Innovation: The Structural Engineer's Contribution to Design*, Routledge, London.
3. **Dyłaż Z., Krzemińska-Niemiec E., Filip F. (1993)**, *Mechanika budowli t 2*, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok.
4. **Karnovsky I. A., Lebed O. (2010)**, *Advanced Methods of Structural Analysis*, Springer, NY.
5. **Kolendowicz T. (1977)**, *Mechanika budowli dla architektów*, Arkady, Warszawa.
6. **Kozikowska A. (2010a)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji wspornikowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4.
7. **Kozikowska A. (2010b)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji belkowej oraz ramowej*, „Architecturae et Artibus” nr 4.
8. **Kozikowska A. (2013a)**, *Forma a konstrukcja mebli. Meble o konstrukcji płyt zginanych jednokierunkowo*, „Architecturae et Artibus” nr 1.
9. **Kozikowska A. (2013b)**, *Forma a konstrukcja mebli. Stoły*, „Architecturae et Artibus” nr 3.
10. **Kozikowska A. (2015a)**, *Kształtowanie form mebli o schematach swobodnie podpartych krzywymi belek i wsporników przyłączonych do końców belek*, „Architecturae et Artibus” nr 4.
11. **Kozikowska A. (2015b)**, *Kształtowanie form mebli o schematach zakrzywionych swobodnie podpartych belek ze wspornikami przyłączonymi poza końcami belek*, „Architecturae et Artibus” nr 4.

12. **Kozikowska A. (2017)**, *Projektowanie form mebli o schematach swobodnie podpartych belek o dowolnym kształcie*, „Architecturae et Artibus” nr 1.
13. **Kozikowska A. (2018)**, *Efficient structural forms as a result of architect and engineer collaboration*, „Architecturae et Artibus” nr 2.
14. **Lin S., Huang Z. (2016)**, *Comparative Design of Structures. Concepts and Methodologies*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
15. **Litewka P., Sygulski R. (2012)**, *Wybrane zagadnienia zaawansowanej mechaniki budowli*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
16. **Millais M. (1997)**, *Building Structures. A conceptual approach*, Taylor & Francis, NY.
17. **Olsen C., Namara S.M. (2014)**, *Collaborations in Architecture and Engineering*, Taylor & Francis, New York.
18. **Pressman A. (2014)**, *Designing Relationships: The Art of Collaboration in Architecture*, Taylor & Francis, New York.
19. **Salvadori M., Heller R. (1975)**, *Structure in Architecture. The Building of buildings*, Prinntice-Hall, New Jersey.
20. **Shihua B., Yaoging G. (2008)**, *Structural Mechanics*, Wuhan University Press, Wuhan.
21. <http://www.theashevillehouse.com/product/bluefield-dining-table/> (ryc. 2n) [12-12-2015].
22. <http://www.lovefurniture.co.uk/living-room/coffee-tables/croosly-coffee-table?zenid=b5os5m9sdpjgst5liqj1ed7ar5> (ryc. 2o) [12-12-2015].
23. <http://www.grangerhertzog.com/v-shaped-glass-coffee-table> (ryc. 2r) [dostęp: 12-12-2015].
24. <http://www.wayfair.com/Pangea-Home-Ella-Console-Table-BEVERLY-CNSL-PHQ1140.html> (ryc. 2s) [dostęp: 12-12-2015].
25. <http://www.potterybarn.com/products/seagrass-x-cross-stool/> (ryc. 2t) [dostęp: 12-12-2015].
26. <http://www.tablefurniture.net/tables/modern-round-kitchen-table-7YMr1AOf-150x150.jpg> (ryc. 3g) [dostęp: 10-07-2017].
27. <http://meble50.pl/meble-pod-zamowienie/550-lawa-martina.html> (ryc. 3h) [dostęp: 10-07-2017].
28. <http://www.etsy.com/listing/118049585/coffee-table-mid-century-modern-custom> (ryc. 3i) [dostęp: 29-12-2012].
29. <http://content.valuecityfurniture.com/ProductImages/0/365675.jpg?impolicyu003dproduct-650x650> (ryc. 3n) [24-07-2017].
30. [https://img0.etsystatic.com/117/0/10175721/il\\_340x270.1023444192\\_tb1e.jpg](https://img0.etsystatic.com/117/0/10175721/il_340x270.1023444192_tb1e.jpg) (ryc. 3o) [24-07-2017].
31. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/22/4f/86/224f867d843ff7d17f7b59e99cb192e0--west-elm-dining-table-mid-century-dining-table.jpg> (ryc. 3p) [24-07-2017].
32. [http://media.eldoradofurniture.com/images/products/marketing/CHIN-153%20Tb1%2001\\_SMALL.jpg](http://media.eldoradofurniture.com/images/products/marketing/CHIN-153%20Tb1%2001_SMALL.jpg) (ryc. 3q) [24-07-2017].
33. [http://www.castrohomefurnishings.com/Nikaia-3-Pieces-Table-Set-in-Tempered-Glass-w-Crossed-N-Shaped-Legs\\_p\\_2099.html](http://www.castrohomefurnishings.com/Nikaia-3-Pieces-Table-Set-in-Tempered-Glass-w-Crossed-N-Shaped-Legs_p_2099.html) (ryc. 3r) [24-07-2017].
34. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/37/6d/8c/376d8c7e9b52552f04a80193ae038daa.jpg> (ryc. 3s) [24-07-2017].
35. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0544/7277/products/IMG\\_0371\\_b063061e-3848-42ae-94b3-700e95f7c859.JPG?v=1478559089](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0544/7277/products/IMG_0371_b063061e-3848-42ae-94b3-700e95f7c859.JPG?v=1478559089) (ryc. 3t) [24-07-2017].
36. <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml> (ryc. 4a, 4h) [12-12-2015].
37. <http://www.lumberlog.com/Living-Room/Coffee-Tables/Snax-Hero-Glass-Top> (ryc. 4g) [12-12-2015].
38. <https://www.onekinglane.com/product/48094/2901627> (ryc. 4i) [dostęp: 12-12-2015].
39. <http://www.tennants.co.uk/Catalogue/Lots/154917.aspx> (ryc. 4j) [dostęp: 12-12-2015].
40. <https://havenly.com/products/view/5402631> (ryc. 4k) [dostęp: 12-12-2015].
41. <http://www.deringhall.com/products/furniture/tables/side-tables/23063/the-dean-oval-side-table-by-gabriel-scott> (ryc. 4l) [dostęp: 12-12-2015].
42. <http://www.ap2b.com/products/swisher-42-round-glass-dining-table> (ryc. 4m) [dostęp: 12-12-2015].

## ŹRÓDŁA INTERNETOWE

1. <http://www.cholaonline.com/astonishing-round-coffee-table-with-metal-legs-design-ideas/contemporary-glass-top-coffee-table-with-stainless-steel-multi-pedestal/> (ryc. 1g) [dostęp: 12-12-2015].
2. <http://www.moderncollections.com/criss-cross-glass-wood-coffee-table-lms.html> (ryc. 1l) [dostęp: 12-12-2015].
3. <http://www.amazon.com/Asian-Inspired-X-Shaped-Cocktail-Table/dp/B00S6O711Q> (ryc. 1o) [dostęp: 12-12-2015].
4. <http://nationalfurnituresupply.com/blog/wp-content/uploads/2012/11/Interlocking-End-Table.jpeg> (ryc. 1p) [dostęp: 12-12-2015].
5. <http://dorya.us/collections/visible-occasional-tables/products/s-1130mau-x-end-table> (ryc. 1q) [dostęp: 12-12-2015].
6. <http://dorya.us/collections/contemporain/products/d-1013-delaney-end-table> (ryc. 1r) [dostęp: 12-12-2015].
7. <http://www.progarr.com/en/2911-table-cantori-atlante.html> (ryc. 1s) [dostęp: 12-12-2015].
8. <http://www.carolinarustica.com/currey-company-elsie-stool-cc-7063> (ryc. 1t) [dostęp: 12-12-2015].
9. <http://www.cricketscrush.com/furniture/couef-label-mr-x-stool.html> (ryc. 2a) [dostęp: 12-12-2015].
10. <http://www.bedbathandbeyond.com/1/1/206715-moes-home-collection-redondo-glass-end-table.html> (ryc. 2j) [12-12-2015].
11. <http://furnister.com/collections/dining/products/redondo-dining-table> (ryc. 2l) [dostęp: 12-12-2015].
12. <http://www.mobilyatasarimi.com/tasarim.php?design=1356> (ryc. 2m) [12-12-2015].

35. <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml> (4n) [12-12-2015].
36. <http://www.made.com/fr/jenson-table-a-rallonges-chene-design> (4o) [12-12-2015].
37. <http://costasolestate.com/wp-content/uploads/2015/12/designer-bedrooms-plastic-folding-table-folding-plastic-table.jpg> (ryc. 4p) [dostęp: 10-07-2017].
38. [https://www.praktiker.pl/produkt,34132,833/stoacutel\\_ogrodowy\\_york\\_\\_110cm.html](https://www.praktiker.pl/produkt,34132,833/stoacutel_ogrodowy_york__110cm.html) (ryc. 4q) [dostęp: 12-12-2015].
39. [http://www.alibaba.com/product-detail/new-design-home-furniture-square-tea\\_1219620548.html](http://www.alibaba.com/product-detail/new-design-home-furniture-square-tea_1219620548.html) (ryc. 4v) [dostęp: 12-12-2015].
40. <http://www.meblant.pl/stoly-ki.xml> (4w) [12-12-2015].
41. <http://www.deco-et-ambiances.fr/fr/boutique/fiche/table-basse-table-basse-ronde-design-en-nickel-et-verre-8804.html> (ryc. 4x) [dostęp: 12-12-2015].
42. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/b1/19/dd/b119ddce41f38da76b2f586b7a7f10fd.jpg> (ryc. 4y) [dostęp: 12-12-2015].
43. <http://officestock.co.za/home-furniture/coffee-tables/fosakri-coffee-table/> (ryc. 4z) [dostęp: 12-12-2015].
44. <https://www.atozpartyrental.net/products/tables/banquet-table-4x30-seats-4-6/> (ryc. 4aa) [dostęp: 14-04-2018].
45. <http://kamilameble.pl/podstawy-metalowe/142-stolik-hello-table-gl.html> (ryc. 5a) [dostęp: 12-12-2015].
46. <http://www.wayfair.com/Chintaly-Imports-Daisy-Dining-Table-CNI2554.html> (ryc. 5h) [dostęp: 12-12-2015].
47. <http://kamilameble.pl/podstawy-metalowe/143-stolik-hello-table-duo-gl.html> (ryc. 5i) [dostęp: 12-12-2015].
48. <http://www.houzz.com/photos/293433/Frank-Dining-Table-modern-dining-tables> (ryc. 5k) [dostęp: 12-12-2015].
49. [http://stronywnetrza.urzadzamy.pl/produkty/bialy-stolek-drewniany-north-south-home,8\\_752,9\\_116.html](http://stronywnetrza.urzadzamy.pl/produkty/bialy-stolek-drewniany-north-south-home,8_752,9_116.html) (ryc. 5r) [dostęp: 24-07-2017].
50. <http://www.mootic.pl/produkt/minuscule-table/433> (ryc. 5s) [dostęp: 24-07-2017].