

PROJEKTOWANIE FORM MEBLI O SCHEMATACH SWOBODNIE PODPARTYCH BELEK O DOWOLNYM KSZTAŁCIE

Agata Kozikowska

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

FURNITURE FORM DESIGN WITH SCHEMES OF SIMPLY SUPPORTED BEAMS OF ANY SHAPE

Abstract

The paper deals with shaping furniture forms with static schemes of simply supported beams of any shape. The most unfavourable cases of gravitational load were found for various types of beams on the basis of bending moment influence lines. Diagrams of maximum bending moments in all cross-sections were presented for these loads. The characteristics of optimal bar and plate shapes were discussed and many examples of the optimal solutions were shown. The paper is addressed to architects, interior designers, and furniture designers with an interest in understanding of structural behaviour principles of such structures and in shaping their optimal forms.

Streszczenie

Przedmiotem pracy jest kształtowanie form mebli, których płaskim schematem statycznym jest swobodnie podparta belka o dowolnym kształcie. Na podstawie linii wpływowych momentów zginających znaleziono najbardziej niekorzystne przypadki grawitacyjnych obciążeń dla różnych typów takich belek. Zaprezentowano odpowiadające tym obciążeniom wykresy maksymalnych momentów zginających we wszystkich przekrojach. Omówiono cechy charakterystyczne przekrojów prętów i płyt, dobranych w oparciu o obwiednie maksymalnych momentów i na wielu przykładach pokazano te optymalne rozwiązania. Praca jest skierowana do architektów, projektantów wnętrz i projektantów mebli zainteresowanych zrozumieniem zasad pracy takich konstrukcji i kształtowaniem ich optymalnych form.

Keywords: furniture design; simply supported beam of any shape; structural forms

Słowa kluczowe: projektowanie mebli; belka swobodnie podparta o dowolnym kształcie; formy strukturalne

WPROWADZENIE

Wielu architektów i konstruktorów na przestrzeni lat doceniało pozytywny wpływ oddziaływania konstrukcji na estetyczną formę obiektów i zachęcało do poszukiwania form konstrukcji związanych z jej właściwościami. Salvadori podkreślał, że piękna konstrukcja jest materialnym objawieniem się praw natury [M. Salvadori, 2001, s. 21]. Mies van der Rohe twierdził, że ekspresja dzieła architektury powinna być przejawem jego wewnętrznej struktury [J. Sławińska, 1997, s. 46 za P.C. Johnson, 1956, s. 219]. Uważał, że form architektonicznych nie można „wynaajdować”, rządzą się bowiem własnymi prawami, wynikającymi z włas-

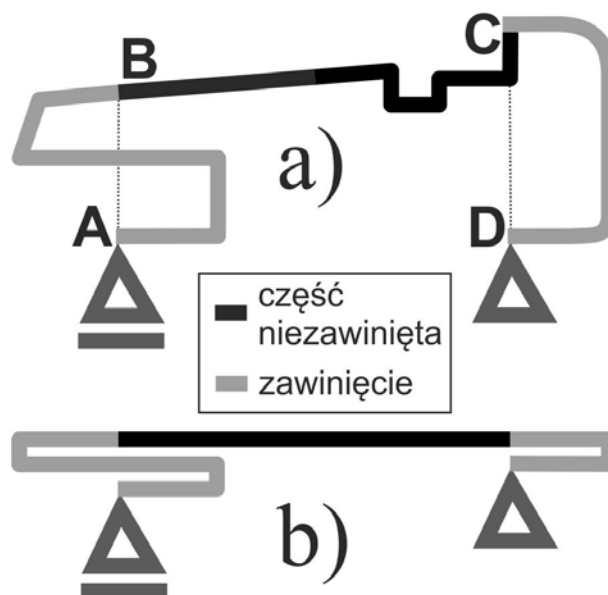
cza z nowoczesnej techniki [J. Sławińska, 1997, s. 41]. Był przekonany, że takie formy mają wielką siłę wyrazu i można je traktować jako dzieła sztuk plastycznych. Allen pisał, że znalezienie dobrej formy ustroju nośnego powinno być głównym celem architekta i inżyniera [A. Allen, W. Zalewski, 2010, s. 612]. Siegel zachęcał do poznawania podstawowych praw rządzących mechaniką sił, które są doskonałym bodźcem do wykrywania nowych form [C. Siegel, 1974, s. 10]. Propagował ideę szukania form strukturalnych, opartych na jedności z konstrukcją. Basista analizował, w jaki sposób funkcja i konstrukcja mebli wywierały wpływ na ich formy

w historii meblarstwa, a także oceniał właściwości mebli wpływające na ich estetykę [A. Basista, 1999, s. 38-46]. Wymieniał Le Corbusiera, Franka Lloyd Wrighta i Ludwiga Miesa van der Rohe, którzy za nieuczciwe uznawali formy nie odzwierciedlające ich przeznaczenia i niezgodne z konstrukcją. Z drugiej strony wspominał też okres rokoka, który jako jedyne „usiłował wykazać, że forma może pozostać całkowicie niezależna od struktury mebli” [A. Basista, 1999, s. 45-46]. Pisał, że piękno mebla zależy od wielu jego cech: kształtu, kompozycji, proporcji i materiału [A. Basista, 1999, s. 39]. Wyniki przedstawionej pracy mogą być wykorzystane przez architektów i projektantów mebli do projektowania form opartych na znajomości pracy konstrukcji w odniesieniu do mebli o schematach swobodnie podpartych belek o dowolnym kształcie. Zagadnienia projektowania mebli o różnych schematach statycznych były poruszane w innych artykułach autorki [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, 5-19], [A. Kozikowska, 2015b, s. 20-34].

W analizowanych w artykule meblach prętowych i płytowych, obciążanych w większości przypadków tylko grawitacyjnie, występuje zginanie, ścinanie i rozciąganie lub ściskanie. Przy założeniu jednorodności, izotropowości i liniowo-sprężystego charakteru materiału tych mebli oraz niewielkich wymiarów ich przekrojów poprzecznych jest możliwe uwzględnianie w nich tylko momentów zginających. Dlatego kształty poprzecznych przekrojów prętów i płyt mebli są dostosowywane tylko do wielkości naprężeń normalnych od momentów zginających. Analiza przebiegu momentów daje podstawy do określenia optymalnych form mebli tylko z warunku wytrzymałości konstrukcji. Istotne jest również zapewnienie meblom właściwej sztywności i stateczności, ale te zagadnienia nie są omawiane w artykule.

Płaskim schematem statycznym omawianych mebli jest pręt o kształcie dowolnie zakrzywionym lub załamany w płaszczyźnie pionowej, podparty w sposób umożliwiający obrót na obu końcach oraz przesuw w poziomie na co najmniej jednym końcu. Pręt może mieć zawinięcia, gdy jakieś jego fragmenty są powyżej lub poniżej innych, a zawinięcie może mieć dowolną liczbę fałd. Może być zarówno pojedyncze, gdy linia pionowa przecina je w dwóch niesąsiadujących punktach, tzn. bez uwzględniania odcinków pionowych (np. w kształcie $>$, $<$, C, 7), ale również wielokrotne, tzn. mające trzy rozłączne punkty przecięcia z linią pionową (np. w kształcie S, Z lub więcej punktów). Reakcje w takim schemacie obciążanym grawitacyjnie są tylko pionowe, a wartości momentów zginających mogą być

obliczane jak dla poziomej swobodnie podpartej belki poddanej działaniu zewnętrznego obciążenia [Z. Dyląg (i inni), 1993, s. 207, 210, 217], [B. Shihua, G. Yaoging, 2008, s. 56], [A. Ghali (i inni), 2009, s. 33] lub jak dla wspornika z utwierdzeniem w dowolnym miejscu pręta poddanego działaniu zewnętrznego obciążenia i reakcji podpór [M. Salvadori, R. Heller, 1975, s. 152-153]. Dlatego schemat omawianych tu mebli obciążanych grawitacyjnie jest nazywany statycznie wyznaczalną belką o dowolnym kształcie. Nowacki stosuje taką terminologię do statycznie wyznaczalnej belki o osi zakrzywionej, załamanej i łamanej [W. Nowacki, 1976, s. 82, 84, 88-89] oraz do belki zakrzywionej [W. Nowacki, 1976, s. 83-85]. Obciążenia poziome analizowanych mebli są uwzględniane tylko wówczas, gdy na jakichś częściach mebli nie występują momenty zginające od sił pionowych. W takich przypadkach schemat mebla jest ramowy (ma zarówno pionowe, jak i poziome reakcje). W schemacie swobodnie podpartej belki o dowolnym kształcie obciążonej grawitacyjnie zawsze występuje część niezawinięta między liniami pionowymi przechodzącymi przez podpory oraz mogą występować zawinięcia poza i/lub pomiędzy tymi liniami. Podział schematu przykładowej belki ABCD na część niezawiniętą BC oraz zawinięcia AB i CD jest pokazany na rycinie 1a. Określenie „między i poza liniami pionowymi przechodzącymi przez podpory” jest w artykule stosowane wymiennie z prostszym określeniem – „między i poza podporami”.



Ryc. 1. Podział swobodnie podpartej belki ABCD w schemacie rzeczywistym mebla a) i zastępczym b): BC – część niezawinięta; AB, CD – zawinięcia; źródło: rys. autorka

Fig. 1. Division of simply supported beam ABCD in actual scheme of piece of furniture a) and corresponding scheme b): BC – uncoiled part; AB, CD – coiled parts; source: drawing by the author

Najbardziej niekorzystne warianty grawitacyjnych obciążeń są znajdujące na podstawie linii wpływowych momentów, wykonywanych metodą kinematyczną [D. S. Prakash Rao, 1997, s. 110-153], [R. C. Hibbeler, 2012, s. 205-223]. Metoda ta jest stosowana w artykule do zastępczych schematów belek, złożonych z poziomych prętów, prostopadłych do występującego pionowego obciążenia (ryc. 1b). Wykonywanie linii wpływu metodą kinematyczną dla obciążanych grawitacyjnie poziomych schematów zastępczych zostało omówione we wcześniejszym artykule autorki [A. Kozikowska, 2015b, s. 22-23]. Krytyczne położenia obciążeń są uzależnione od obecności lub braku zawinięć schematu oraz od położenia tych zawinięć względem linii pionowych przechodzących przez podpory. Dlatego dobór optymalnych form mebli jest przeprowadzany w odrębnych klasach belek bez zawinięć oraz z zawinięciami między i/lub poza podporami.

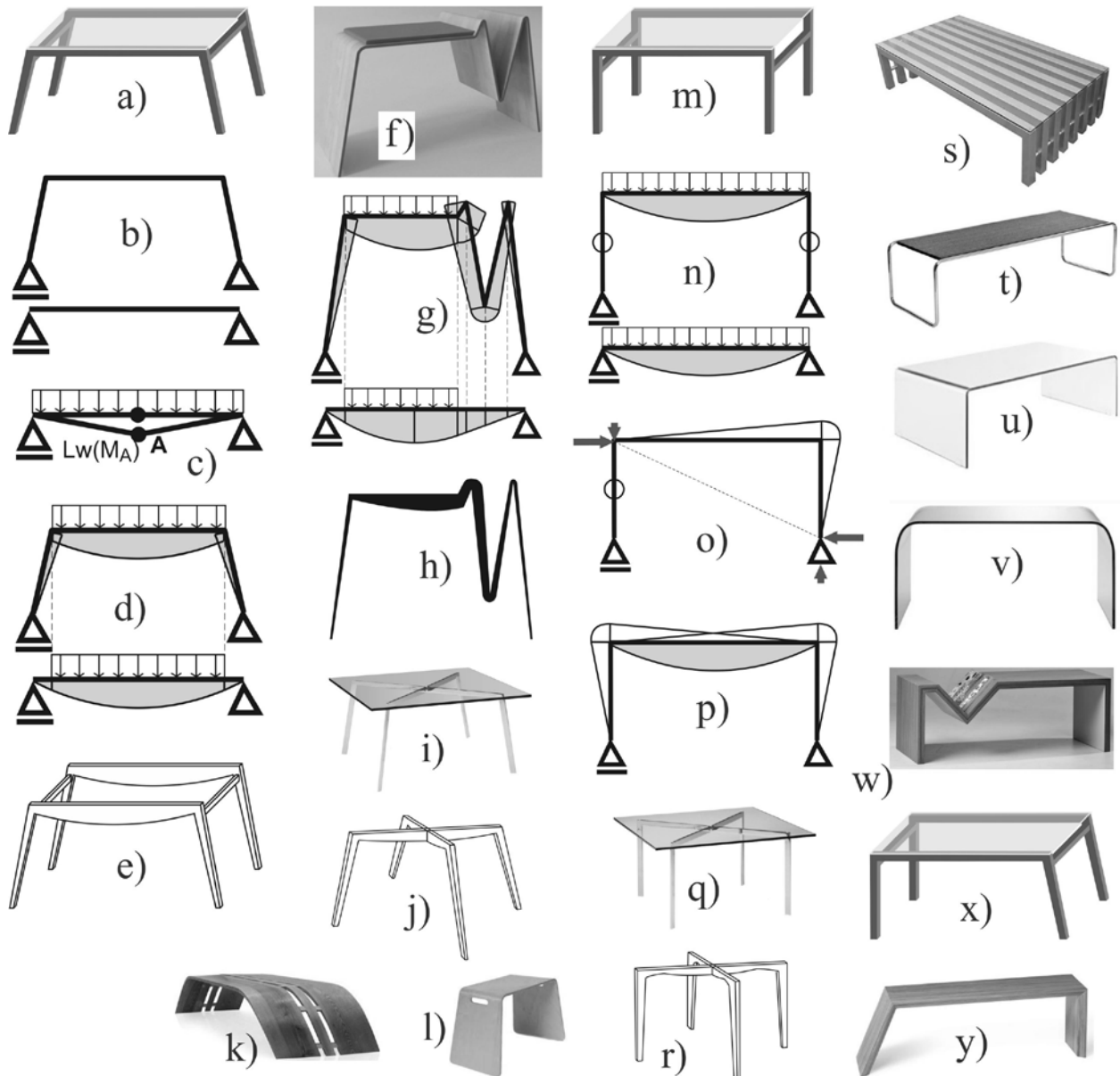
1. SWOBODNIE PODPARTA BELKA BEZ ZAWINIĘĆ

Na rycinie 2 pokazane są meble o schematach zakrzywionych belek bez zawinięć. Schematem zastępczym takich belek jest swobodnie podparta prosta belka, pokazana na rycinie 2b. Analiza linii wpływu momentu w punkcie A, pokazana na rycinie 2c, ujawnia występowanie jedynego najbardziej niekorzystnego przypadku obciążenia. Największy moment od obciążenia do dołu występuje w każdym punkcie pręta na dole, gdy obciążany jest cały pręt, a jeśli nie jest to możliwe – gdy obciążenie występuje na jak największej części pręta. Dlatego wykres momentów z ryciny 2d jest jednocześnie obwiednią maksymalnych momentów i na jego podstawie została dobrana opty-

malna forma stołu, przedstawiona na rycinie 2e. Podobnie obciążenie skierowane do dołu, umieszczone we wszystkich możliwych miejscach mebli z rycin 2f, 2i, 2k i 2l, jest jedynym przypadkiem obciążenia, który musi być uwzględniany. Grubość płyty ławki z ryciny 2f, dostosowana do wykresu momentów od takiego obciążenia z ryciny 2g, jest pokazana na rycinie 2h, a optymalne wysokości przekroju prętów stołu z ryciny 2i – na rycinie 2j. Meble zamieszczone na rycinach 2m, 2q oraz 2s-2y mają ten sam schemat zastępczy w postaci swobodnie podpartej prostej belki i powinny być projektowane z uwzględnieniem obciążenia grawitacyjnego na całości. Jednak na obu końcach lub jednym końcu tych mebli występują pręty pionowe, które nie mają momentów od obciążenia grawitacyjnego. Dlatego dobierając formę tych mebli, należy uwzględnić obciążenie poziome i ramowy schemat z podporą nieprzesuwaną pod pionowym prętem (ryc. 2o). Taki przypadek obciążenia powoduje zginanie pionowego pręta i wpływa na formę optymalnej konstrukcji. Razem z siłą poziomą przyłożoną jest siła pionowa do dołu, zapobiegająca powstaniu w jednej z podpór reakcji do dołu. W przypadku mebli oznaczałoby to odrywanie nogi od podłoża. Optymalne formy mebli o schematach belek o dowolnym kształcie bez zawinięć mają największą wysokość przekroju w pobliżu środka rozpiętości belki, a symetrycznie dokładnie w środku. Meble zaprezentowane na rycinach 2i i 2q oraz ich optymalne konstrukcje były omówione w artykule autorki o stołach [A. Kozikowska, 2013b, s. 21-22]. Analiza pracy innych mebli o schematach swobodnie podpartych belek bez zawinięć została przedstawiona w artykule autorki o meblach belkowych i ramowych [A. Kozikowska, 2010b, s. 56-65].

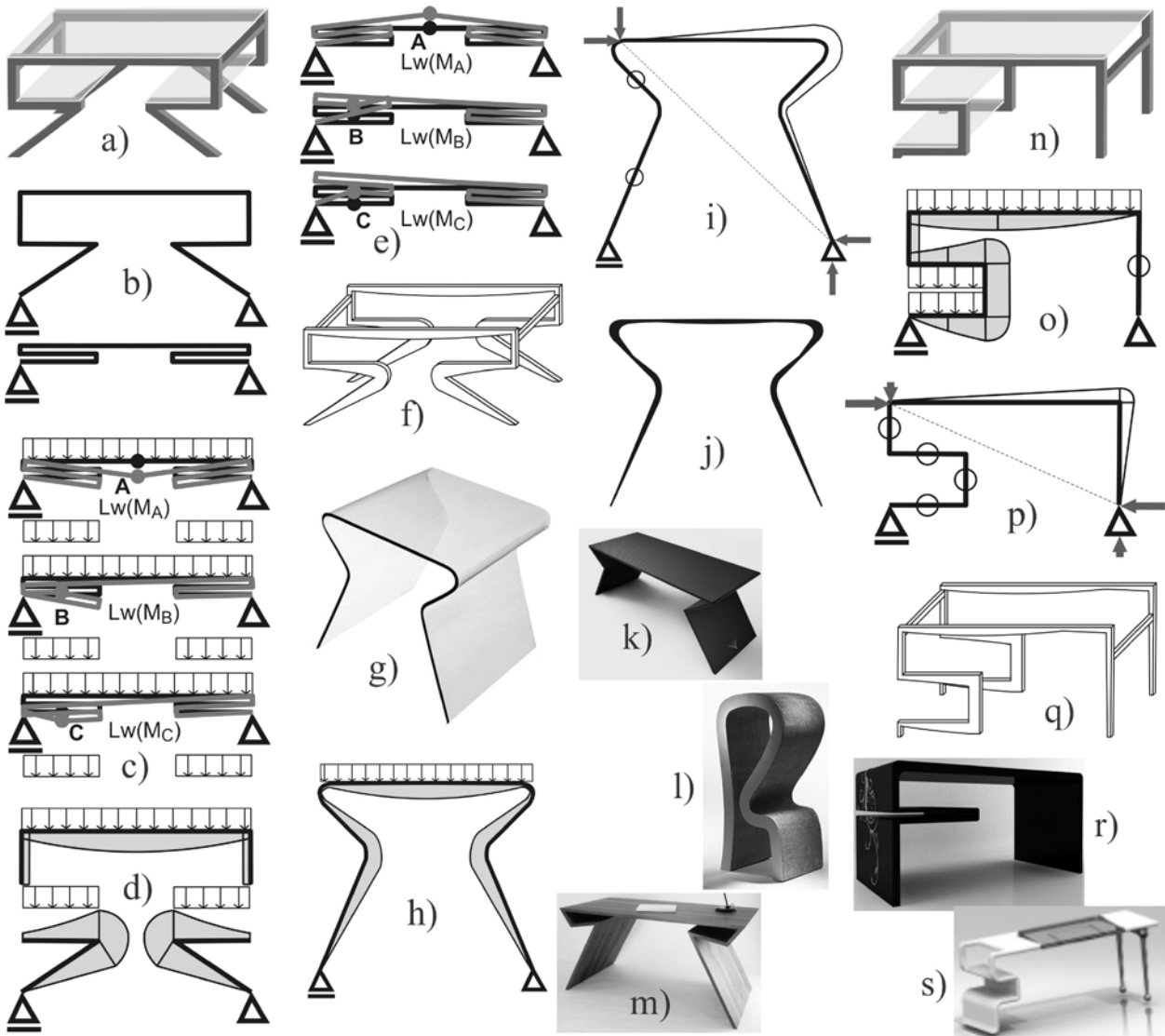
Ryc. 2. Meble o schemacie swobodnie podpartej belki bez zawinięć: a) stół z nachylnymi nogami; b) rzeczywisty i zastępczy schemat stołu z ryc. 2a; c) linia wpływu momentów na dole z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; d) wykres momentów stołu z ryc. 2a z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na dole; e) forma stołu z ryc. 2a wynikająca z pracy konstrukcji; f) ławka (źródło: <http://impressivemagazine.com/2012/04/25/impressive-pulse-seating-bench-tank-design-studio/>); g) wykres momentów ławki z ryc. 2f z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na dole; h) zmiana grubości płyty ławki z ryc. 2f wynikająca z pracy konstrukcji; i) stół z nachylnymi nogami i ryglem w kształcie krzyża; j) forma stołu z ryc. 2i wynikająca z pracy konstrukcji; k) ławka (źródło: <http://homegallerydesign.com/natural-beauty-timber-bench-design-with-traditional-techniques/>); l) stolik (źródło: <http://homegallerydesign.com/cool-wooden-table-design-kids-furniture-ideas/>); m) stół z pionowymi nogami; n) wykres momentów stołu z ryc. 2m z maksymalnymi wartościami na dole od pionowego obciążenia; o) wykres momentów stołu z ryc. 2m od poziomego obciążenia; p) obwiednia momentów stołu z ryc. 2m; q) stół z pionowymi nogami i ryglem w kształcie krzyża, projekt: Mies van der Rohe (źródło: <http://hivemodern.com/pages/product485/knoll-mies-van-der-rohe-barcelona-table/>); r) forma stołu z ryc. 2q wynikająca z pracy konstrukcji; s) stolik, źródło: <http://www.houzz.com/photos/13627944/City-Stainless-Steel-Rectangular-Coffee-Table-modern-coffee-tables>; t) stolik (źródło: <http://www.houzz.com/photos/10815332/Blox-Coffee-Table-in-Black-modern-coffee-tables>); u) stolik (źródło: <http://www.houzz.com/photos/5183891/Transparent-Coffee-Table-in-Clear-modern-coffee-tables>); v) stolik (projekt: Pietra Chiesa (źródło: <http://www.houzz.com/photos/8089814/Fontana-Coffee-Table-by-FontanaArte-modern-coffee-tables>)); w) ławka (źródło: <http://dgnhom.pw/designer-hall-tables/popular-designer-hall-tables-with-table-yoyo-furniture-auckland-and-wellington/>); x) stolik; y) ławka (źródło: <http://www.archiproducts.com/es/productos/99481/banco-de-madera-sin-respaldo-nook-nola-industrier.html>); oprac.: autorka

Fig. 2. Furniture of scheme of uncoiled simply supported beam: a) table with slanted legs; b) actual and corresponding scheme of the table from Fig. 2a; c) influence line of moment at the bottom with most unfavourable gravitational load; d) moment diagram of the table from



Ryc. 2.

Fig. 2a with shaded maximum values at the bottom; e) form of the table from Fig. 2a resulting from structural behaviour; f) bench (source: <http://impressivemagazine.com/2012/04/25/impressive-pulse-seating-bench-tank-design-studio/>); g) moment diagram of the bench from Fig. 2f with shaded maximum values at the bottom; h) variation of plate thickness for the bench from Fig. 2f resulting from structural behaviour; i) table with slanted legs and cross-shaped apron; j) form of the table from Fig. 2i resulting from structural behaviour; k) bench (source: <http://homegallerydesign.com/natural-beauty-timber-bench-design-with-traditional-techniques/>); l) table (source: <http://homegallerydesign.com/cool-wooden-table-design-kids-furniture-ideas/>); m) table with vertical legs; n) moment diagram of the table from Fig. 2m with shaded maximum values at the bottom for vertical load; o) moment diagram of the table from Fig. 2m for horizontal load; p) envelope of moments of the table from Fig. 2m; q) table with vertical legs and cross-shaped apron, design: Mies van der Rohe (source: hivemodern.com/pages/product485/knoll-mies-van-der-rohe-barcelona-table); r) form of the table from Fig. 2q resulting from structural behaviour; s) table (source: www.houzz.com/photos/13627944/City-Stainless-Steel-Rectangular-Coffee-Table-modern-coffee-tables); t) table (source: www.houzz.com/photos/10815332/Blox-Coffee-Table-in-Black-modern-coffee-tables); u) table (source: www.houzz.com/photos/5183891/Transparent-Coffee-Table-in-Clear-modern-coffee-tables); v) table, design: Pietra Chiesa (source: www.houzz.com/photos/8089814/Fontana-Coffee-Table-by-FontanaArte-modern-coffee-tables); w) bench (source: <http://dgnhom.pw/designer-hall-tables/popular-designer-hall-tables-with-table-yoyo-furniture-auckland-and-wellington/>); x) table; y) bench (source: www.archiproducts.com/es/productos/99481/banco-de-madera-sin-respaldo-nook-nola-industrier.html; fig. by the author



Ryc. 3. Meble o schemacie swobodnie podpartej belki z zawinięciami między podporami: a) symetryczny stół z dwoma zawinięciami; b) rzeczywisty i zastępczy schemat stołu z ryc. 3a; c) linie wpływu momentów na dole części niezawiniętej i na zewnątrz zawinięć z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; d) wykres momentów stołu z ryc. 3a z zacieniowanymi maksymalnymi wartościami na dole części niezawiniętej i na zewnątrz zawinięć; e) linie wpływu momentów na górze części niezawiniętej i wewnątrz zawinięć; f) forma stołu z ryc. 3a wynikająca z pracy konstrukcji; g) stolik, projekt: Hermian Sneyders De Vogel (źródło: <http://www.bonluxat.com/a/hermian-sneyders-de-vogel-pi3d-table.html>); h) wykres momentów stolika z ryc. 3g z zacieniowanymi maksymalnymi wartościami na dole części niezawiniętej i na zewnątrz zawinięć; i) wykres momentów stolika z ryc. 3g od poziomego obciążenia; j) zmiana grubości płyty stolika z ryc. 3g wynikająca z pracy konstrukcji; k) stolik (źródło: <http://rc-designmanufactory.blogspot.com/2012/02/rc-desk.html>); l) stół barowy, projekt: Frank Gehry (źródło: http://www.icollector.com/Frank-Gehry-R-bar-stool-Easy-Edges-Inc-U_i7287805); m) biurko (źródło: http://fym.mx/?attachment_id=1174); n) stół z jednym zawinięciem; o) wykres momentów stołu z ryc. 3n z zacieniowanymi maksymalnymi wartościami na dole części niezawiniętej i na zewnątrz zawinięć; p) wykres momentów stołu z ryc. 3n od poziomego obciążenia; q) forma stołu z ryc. 3n wynikająca z pracy konstrukcji; r) biurko (źródło: <http://prafulla.net/graphics/creativity/cool-office-spaces/>); s) biurko (źródło: <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/>); oprac.: autorka

Fig. 3. Furniture of scheme of simply supported beam with coiled parts between supports: a) symmetrical table with two coiled parts; b) actual and corresponding scheme of the table from Fig. 3a; c) influence lines of moment at the bottom of uncoiled part and on the outside of coiled parts with most unfavourable gravitational load; d) moment diagram of the table from Fig. 3a with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part and on the outside of coiled parts; e) influence lines of moment at the top of uncoiled part and inside coiled parts; f) form of the table from Fig. 3a resulting from structural behaviour; g) table, design: Hermian Sneyders De Vogel, source: <http://www.bonluxat.com/a/hermian-sneyders-de-vogel-pi3d-table.html>; h) moment diagram of the table from Fig. 3g with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part and on the outside of coiled parts; i) moment diagram of the table from Fig. 3g for horizontal load; j) variation of plate thickness for the table from Fig. 3g resulting from structural behaviour; k) table, source: <http://rc-designmanufactory.blogspot.com/2012/02/rc-desk.html>; l) bar stool, design: Frank Gehry, source: http://www.icollector.com/Frank-Gehry-R-bar-stool-Easy-Edges-Inc-U_i7287805; m) desk, source: http://fym.mx/?attachment_id=1174; n) table with one coiled part; o) moment diagram of the table from Fig. 3n with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part and on the outside of coiled parts; p) moment diagram of the table from Fig. 3n for horizontal load; q) form of the table from Fig. 3n resulting from structural behaviour; r) desk, source: <http://prafulla.net/graphics/creativity/cool-office-spaces/>; s) desk, source: <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/>; oprac.: autorka

2. SWOBODNIE PODPARTA BELKA Z ZAWINIĘCIAMI MIĘDZY PODPORAMI

Meble z zawinięciami między podporami powinny być obciążane ciągłym obciążeniem do dołu wszędzie, gdzie jest to możliwe: na części niezawiniętej między podporami oraz na obu zawinięciach. Taki przypadek obciążenia daje maksymalne wartości momentów na dole części niezawiniętej (linia wpływu momentu w punkcie A na ryc. 3c), na zewnątrz lewego zawinięcia (linie wpływu momentów w punktach B i C na ryc. 3c) oraz na zewnątrz prawego zawinięcia (linie wpływu momentów symetryczne do linii w punktach B i C z ryc. 3c). Wykres momentów stołu z ryciny 3a od tego jedynego najbardziej niekorzystnego przypadku obciążenia, będący jednocześnie obwiednią momentów, jest przedstawiony na rycinie 3d, a konstrukcja o wysokościach przekrojów prętów zmieniających się według tego wykresu – na rycinie 3f. Linie wpływu z ryciny 3e pokazują, że w meblach tego typu na górze części niezawiniętej oraz wewnątrz zawinięć nie jest możliwe otrzymanie wykresów momentów od obciążenia grawitacyjnego. Stół z ryciny 3g ma również schemat swobodnie podpartej belki z zawinięciami między podporami. Był on analizowany przez autorkę w artykule o stołach [A. Kozikowska, 2013b, s. 22-23]. Ma on tylko jeden przypadek grawitacyjnego obciążenia, który powinien być rozważony, taki jak pokazany na rycinie 3c. Jednak tutaj obciążenie może być przyłożone tylko na poziomym blacie na górze. Wykres momentów od tego obciążenia jest pokazany na rycinie 3h. Ma on zerowe wartości momentów w górnych węzłach przechodzących przez pionowe linie podpór. Szttywne węzły nie powinny być miejscami konstrukcji o najmniejszym przekroju. Dlatego dodatkowo uwzględniony jest przypadek z obciążeniem poziomym w prawo, dający duży moment w prawym węźle (ryc. 3i). W płycie o zoptymalizowanej grubości, pokazanej na rycinie 3j, obok rozważanych momentów jest uwzględniony moment symetryczny do 3i – z dużą wartością momentu w lewym węźle. Inne meble o schemacie swobodnie podpartej belki z dwoma zawinięciami między podporami są pokazane na rycinach 3k-3m. Symetryczne stoły z rycin 3k i 3m powinny mieć największą grubość płyty w środku części niezawiniętej i we fragmentach zawinięć najbardziej oddalonych od pionowych linii podpór. Niesymetryczny stół barowy z ryciny 3l powinien mieć największą

grubość płyty w częściach zawinięć najbardziej wysuniętych do środka mebla oraz w pobliżu środka górnego blatu, z miejscem o maksymalnej grubości przesuniętym w kierunku większego zawinięcia. Maksymalna grubość zawinięcia bardziej odsuniętego od linii podpory i obciążanego (prawego na ryc. 3l) powinna być wyraźnie większa niż mniej odsuniętego i nieobciążanego (lewego na ryc. 3l). Stół pokazany na rycinie 3n ma jedno zawinięcie umieszczone między podporami. Chcąc uzyskać jak największe wartości momentów zginających dla takiego mebla, należy obciążać go do dołu wszędzie, gdzie jest to możliwe, tak jak dla mebla z dwoma zawinięciami między podporami. Wykres momentów od takiego obciążenia jest pokazany na rycinie 3o. Wykres ten nie ma momentów na pionowym przecięciu nad podporą. W optymalnej formie konstrukcji z ryciny 3q wysokość przekroju tego pręta została dobrana na podstawie wykresu momentów od obciążenia poziomego z ryciny 3p. Biurka zaprezentowane na rycinach 3r i 3s również mają schemat swobodnie podpartej belki z jednym zawinięciem między podporami. Zmiana wysokości ich przekrojów, podobnie jak innych mebli o tym schemacie, powinna odbywać się według tych samych zasad jak stołu z ryciny 3n. Płytowy blat lub pręt podtrzymujący blat powinien mieć największy przekrój w pobliżu środka blatu, w miejscu przesuniętym od środka w kierunku zawinięcia tym bardziej, im większa jest rozpiętość zawinięcia, jeśli może być ono obciążane. Wysokość przekroju zawinięcia powinna rosnąć wraz z oddalaniem się od linii pionowej przechodzącej przez podporę, umieszczoną pod tym zawinięciem.

3. SWOBODNIE PODPARTA BELKA Z ZAWINIĘCIAMI POZA PODPORAMI

Meble o schematach zakrzywionych belek z zawinięciami poza podporami powinny być projektowane na podstawie wykresów momentów od trzech następujących przypadków grawitacyjnego obciążenia:

- obciążenie na części niezawiniętej między podporami, dające maksymalne wartości momentów na dole tej części (ryc. 4c);
- obciążenie na obu zawinięciach poza podporami, dające maksymalne wartości momentów na górze części niezawiniętej między podporami (ryc. 4e);

Gehry-R-bar-stool-Easy-Edges-Inc-U_i7287805; m) desk, source: http://fym.mx/?attachment_id=1174; n) table with one coiled part; o) moment diagram of the table from Fig. 3n with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part and on the outside of coiled part; p) moment diagram of the table from Fig. 3n for horizontal load; q) form of the table from Fig. 3n resulting from structural behaviour; r) desk, source: <http://prafulla.net/graphics/creativity/cool-office-spaces/>; s) desk, source: <http://www.universaldesignstyle.com/wheel-chair-accessible-interactive-computer-desk/>; fig. by the author

- obciążenie na lewym zawinięciu poza podporą oraz na części niezawiniętej między podporami, dające maksymalne wartości momentów na zewnątrz lewego zawinięcia poza podporą (ryc. 4g); odwrotnie w przypadku momentów na zewnątrz prawego zawinięcia poza podporą.

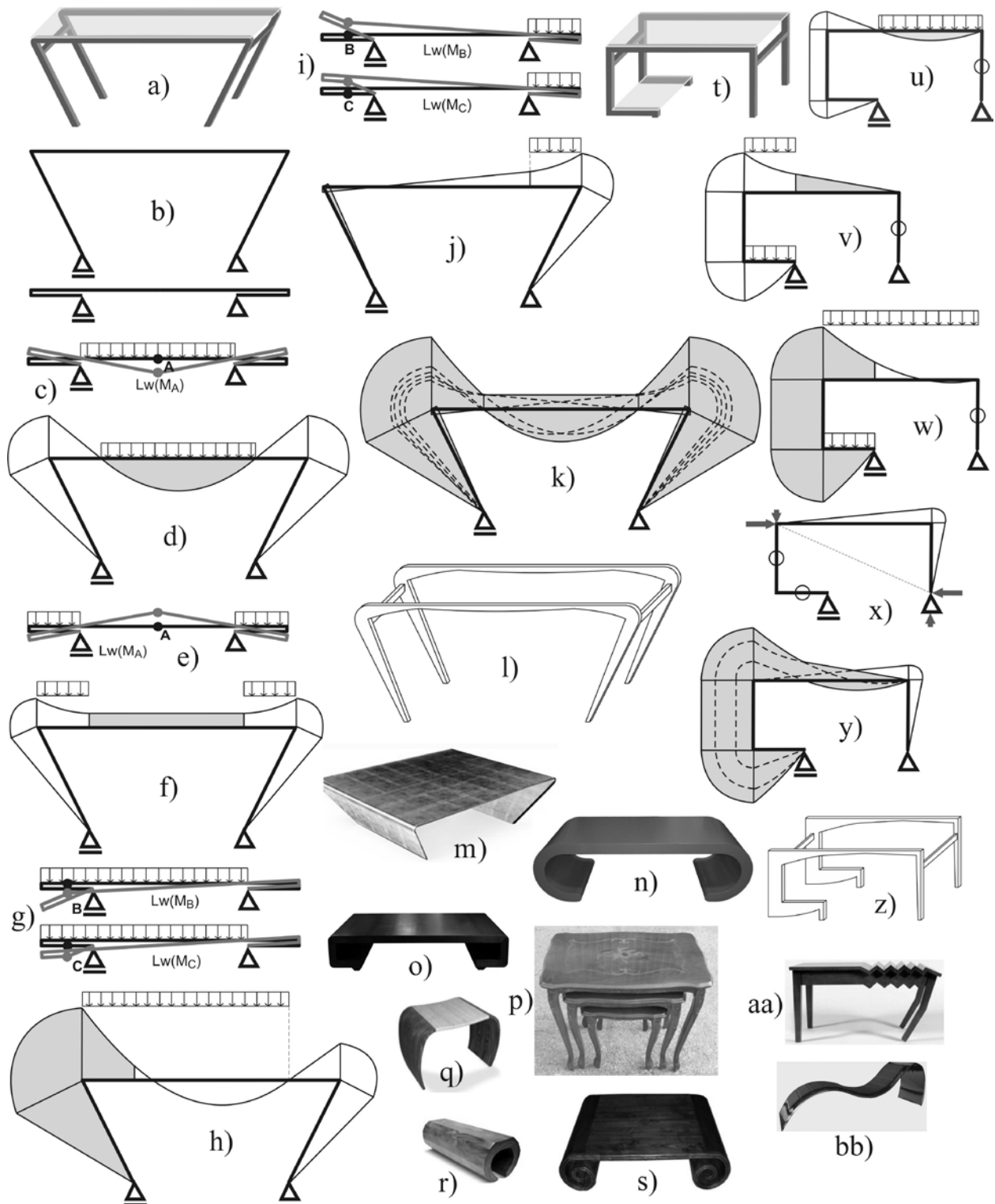
Obciążenie na prawym zawinięciu poza podporą, dające maksymalne wartości momentów wewnątrz lewego zawinięcia poza podporą (ryc. 4i), może być pominięte, ponieważ powoduje odrywanie się lewej nogi od podłoża. Wykresy momentów stołu z ryciny 4a, odpowiadające wszystkim czterem przypadkom obciążenia z zacienionymi maksymalnymi wartościami, są pokazane kolejno na rycinach 4d, 4f, 4h, 4j, a obwiednia wszystkich momentów – na rycinie 4k. Forma konstrukcji stołu z ryciny 4a o wysokościach przekrojów prętów dostosowanych do obwiedni jest zaprezentowana na rycinie 4l. Cechą charakterystyczną tej konstrukcji jest zwiększenie się wysokości przekroju zawinięć tym większe, im dalej od linii pionowych przechodzących przez podpory oraz zwiększenie się wysokości przekroju części niezawiniętej między podporami tym większe, im bliżej jej środka. W innych meblach o tym samym typie wysokość przekroju zawinięć zawsze powinna być zmieniana według tej samej reguły. Natomiast część niezawinięta powinna być pogrubiona w środku w przypadku mebli symetrycznych lub w pobliżu środka w przypadku mebli niesymetrycznych tylko wtedy, gdy jest wyraźnie dłuższa od rozpiętości zawinięć lub gdy zawinięcia nie mogą być obciążane. Wszystkie meble z rycin 4m-4s spełniają ten warunek. Jeśli jednak zawinięcia mogą być obciążane i są wyraźnie dłuższe niż część niezawinięta, to część niezawinięta powinna być o stałej grubości, takiej jak grubość zawinięć nad podporami. Płyta stolika przedstawionego na rycinie 4s nie jest oparta na końcach, ponieważ poza liniami podparć występują wspornikowe zawinięcia w kształcie zwoju. Jednak te zwoje pełnią tylko ozdobną rolę, nie są obciążane i zginane. Dlatego dobór formy tego mebla na podstawie momentu zginającego powinien odbywać się tylko dla swobodnie podpartej zakrzywionej belki z pominięciem tych zwojów, które mogą mieć stałą niewielką wysokość przekroju. W meblach o schemacie swobodnie podpartej belki z jednym zawinięciem poza podporą powinny być rozważane trzy przypadki grawitacyjnego obciążenia, odpowiadające liniom wpływu z rycin 4c, 4e, 4g. Wykresy momentów stołu z ryciny 4t od tych przypadków obciążenia są przedstawione kolejno na rycinach 4u, 4v, 4w. W meblach tego typu wewnątrz zawinięcia nie występują nigdy momenty od obciążenia grawitacyjnego, co wynika z analizy linii wpływu z ryciny 4i. Obwiednia momentów stołu z ryciny 4t, uwzględniająca

wykresy od najbardziej niekorzystnych obciążeń grawitacyjnych oraz od obciążenia poziomego, dającego moment w pionowym przęcie na końcu – jest pokazana na rycinie 4y. Konstrukcja dobrana na podstawie tej obwiedni jest uwidoczniła na rycinie 4z. Meble z rycin 4aa i 4bb mają ten sam schemat statyczny i ich optymalna konstrukcja powinna być podobna. Przekrój zawinięcia powinien być tym większy, im jest ono bardziej wysunięte poza linię pionową przechodzącą przez podporę. Część niezawinięta między podporami powinna być najgrubsza w połowie rozpiętości między liniami podpór (według momentu jak na ryc. 4u) tylko wtedy, gdy ta rozpiętość jest znacznie większa niż rozpiętość obciążanej części zawinięcia. W przeciwnym wypadku (tak jak w konstrukcji na ryc. 4z) wysokość przekroju pręta lub płyty części niezawiniętej powinna być największa na końcach, zgodnie z wykresami momentów, pokazanymi na rycinach 4v i 4x.

4. SWOBODNIE PODPARTA BELKA Z ZAWINIĘCIAMI POZA I MIĘDZY PODPORAMI

Najbardziej niekorzystne przypadki ciągłego obciążenia grawitacyjnego w meblach o schematach swobodnie podpartych belek o dowolnym kształcie z zawinięciami zarówno poza, jak i między podporami są przedstawione na rycinie 5. Przypadki te zostały znalezione na podstawie linii wpływu momentów w różnych przekrojach zastępczego schematu. Części schematu z największymi wartościami momentów od każdego przypadku obciążenia zostały zaznaczone na rycinie 5 linią przerywaną po odpowiedniej stronie pręta. Na rycinie 5 obciążenia na wszystkich częściach mebli mają jednakowe intensywności. W przypadku konkretnych mebli intensywności obciążeń powinny być dostosowane do wielkości dostępnej przestrzeni. Meble o schemacie belki o dowolnym kształcie osi powinny być analizowane z uwzględnieniem następujących przypadków obciążenia:

- obciążenie na części niezawiniętej między podporami oraz na obu zawinięciach między podporami (daje maksymalne wartości momentów na dole części niezawiniętej między podporami, ryc. 5a);
- obciążenie na obu zawinięciach poza podporami (daje maksymalne wartości momentów na górze części niezawiniętej między podporami, ryc. 5b);
- obciążenie na lewym zawinięciu między podporami i na prawym zawinięciu poza podporą (daje maksymalne wartości momentów wewnątrz lewego zawinięcia poza podporą, ryc. 5c); odwrotnie w przypadku momentów wewnątrz prawego zawinięcia poza podporą;



Ryc. 4. Meble o schemacie swobodnie podpartej belki z zawinięciami poza podporami: a) stół z dwoma zawinięciami w kształcie 7; b) rzeczywisty i zastępczy schemat stołu z ryc. 4a; c) linia wpływu momentu na dole części niezawiniętej z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; d) wykres momentów stołu z ryc. 4a z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na dole części niezawiniętej; e) linia wpływu momentu na górze części niezawiniętej z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; f) wykres momentów stołu z ryc. 4a z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na górze części niezawiniętej; g) linie wpływu momentów na zewnątrz zawinięcia z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; h) wykres momentów stołu z ryc. 4a z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na zewnątrz zawinięcia; i) linie wpływu momentów wewnątrz zawinięcia z najbardziej niekorzystnym obciążeniem grawitacyjnym; j) wykres momentów stołu z ryc. 4a z zacięowanymi maksymalnymi wartościami wewnątrz zawinięcia; k) obwiednia momentów

stołu z ryc. 4a; l) forma stołu z ryc. 4a wynikająca z pracy konstrukcji; m) stolik, projekt: Guido Porcellato (źródło: <http://www.houzz.com/photos/4243413/Sovet-Italia-Rubino-Square-Coffee-Table-modern-coffee-tables>); n) stolik, projekt: Karl Springer (źródło: <http://www.houzz.com/photos/11840296/Tables-modern-coffee-tables-los-angeles>); o) stolik (źródło: <http://www.houzz.com/photos/13681393/Low-Profile-Cocktail-Table-in-Dark-Walnut-modern-coffee-tables>); p) stolik (źródło: <http://www.harrisonantiquefurniture.co.uk/victorian-style-inlaid-walnut-nest-of-three-coffee-tables---sold-1899-p.asp>); q) stolec, projekt: Sergio Fahrer (źródło: <http://www.bonluxat.com/a/sergio-fahrer-taui-stool.html>); r) stolik (źródło: <http://ctablesguide.com/unusual-coffee-tables-weird-yet-splendid/unusual-coffee-tables-uk/>); s) stolik (źródło: <http://www.esuppliersindia.com/nikunj-arts/wooden-coffee-tables-pr499788-sFP-swf.html>); t) stół z jednym zawinięciem w kształcie C, u) wykres momentów stołu z ryc. 4t z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na dole części niezawiniętej; v) wykres momentów stołu z ryc. 4t z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na górze części niezawiniętej; w) wykres momentów stołu z ryc. 4t z zacięowanymi maksymalnymi wartościami na zewnątrz zawinięcia; x) wykres momentów stołu z ryc. 4t od poziomego obciążenia, y) obwiednia momentów stołu z ryc. 4t, z) forma stołu z ryc. 4t wynikająca z pracy konstrukcji; aa) stół z jednym zawinięciem w kształcie 7 (źródło: <http://www.creohome.com/furniture/livingroom-furniture/234-mebel-s-prikolami.html>); bb) leżanka z jednym zawinięciem (źródło: http://betonix83.wrzuta.pl/obraz/9JOZjRmRqKK/lezaki_na_taras_z_blachy); oprac. autorka

Fig. 4. Furniture of scheme of simply supported beam with coiled parts beyond supports: a) table with two coiled parts in the shape of 7; b) actual and corresponding scheme of the table from Fig. 4a; c) influence line of moment at the bottom of uncoiled part with most unfavourable gravitational load; d) moment diagram of the table from Fig. 4a with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part; e) influence line of moment at the top of uncoiled part with most unfavourable gravitational load; f) moment diagram of the table from Fig. 4a with shaded maximum values at the top of uncoiled part; g) influence lines of moment on the outside of coiled part with most unfavourable gravitational load; h) moment diagram of the table from Fig. 4a with shaded maximum values on the outside of coiled part; i) influence lines of moment inside coiled part with most unfavourable gravitational load; j) moment diagram of the table from Fig. 4a with shaded maximum values inside coiled part; k) envelope of moments of the table from Fig. 4a; l) form of the table from Fig. 4a resulting from structural behaviour; m) table, design: Guido Porcellato (source: <http://www.houzz.com/photos/4243413/Sovet-Italia-Rubino-Square-Coffee-Table-modern-coffee-tables>); n) table, design: Karl Springer (source: <http://www.houzz.com/photos/11840296/Tables-modern-coffee-tables-los-angeles>); o) table (source: <http://www.houzz.com/photos/13681393/Low-Profile-Cocktail-Table-in-Dark-Walnut-modern-coffee-tables>); p) table (source: <http://www.harrisonantiquefurniture.co.uk/victorian-style-inlaid-walnut-nest-of-three-coffee-tables---sold-1899-p.asp>); q) stool, project: Sergio Fahrer, (source: <http://www.bonluxat.com/a/sergio-fahrer-taui-stool.html>); r) table (source: <http://ctablesguide.com/unusual-coffee-tables-weird-yet-splendid/unusual-coffee-tables-uk/>); s) table (source: <http://www.esuppliersindia.com/nikunj-arts/wooden-coffee-tables-pr499788-sFP-swf.html>); t) table with one coiled part in the shape of C, u) moment diagram of the table from fig. 4t with shaded maximum values at the bottom of uncoiled part; v) moment diagram of the table from Fig. 4t with shaded maximum values at the top of uncoiled part; w) moment diagram of the table from Fig. 4t with shaded maximum values on the outside of coiled part; x) moment diagram of the table from Fig. 4t for horizontal load, y) envelope of moments of the table from Fig. 4t, z) form of the table from Fig. 4t resulting from structural behaviour; aa) table with one coiled part in the shape of 7 (source: <http://www.creohome.com/furniture/livingroom-furniture/234-mebel-s-prikolami.html>); bb) divan with one coiled part (source: http://betonix83.wrzuta.pl/obraz/9JOZjRmRqKK/lezaki_na_taras_z_blachy); fig. by the author



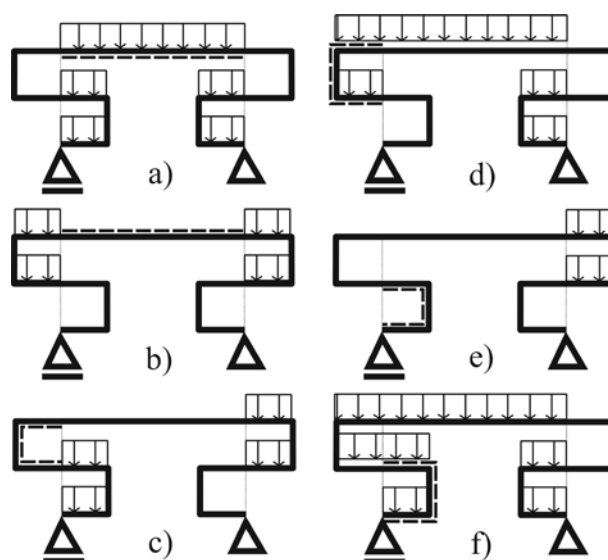
Ryc. 6. Meble o schemacie swobodnie podpartej belki z zawinięciami poza i między podporami: a) stolik (źródło: http://izismile.com/2010/11/30/from_bland_to_bling_offices_get_a_facelift_89_pics-68.html); b) stolik (źródło: <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/>); c) stolik (źródło: <http://www.rafiner.pl/1581/nowoczesne-meble-ogrodowe.html?slide=4#foto>); d) stolik (źródło: <http://store.carbonfiberglass.com/lima-lima-modular-carbon-fiber-table/>); e) stolik, projekt: Prospero Rasulo (źródło: <http://www.houzz.com/photos/4240280/Fiam-Charlotte-Coffee-Table-modern-coffee-tables>); f) stolik (źródło: <http://www.1stfun.com/art/table-furniture-design-art/>); oprac. autorka

Fig. 6. Furniture of scheme of simply supported beam with coiled parts beyond and between supports: a) table (source: http://izismile.com/2010/11/30/from_bland_to_bling_offices_get_a_facelift_89_pics-68.html); b) table (source: <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/>); c) table (source: <http://www.rafiner.pl/1581/nowoczesne-meble-ogrodowe.html?slide=4#foto>); d) table (source: <http://store.carbonfiberglass.com/lima-lima-modular-carbon-fiber-table/>); e) table, design: Prospero Rasulo (source: <http://www.houzz.com/photos/4240280/Fiam-Charlotte-Coffee-Table-modern-coffee-tables>); f) table (source: <http://www.1stfun.com/art/table-furniture-design-art/>); fig. by the author

- obciążenie na lewym zawinięciu poza podporą, na części niezawiniętej między podporami oraz na prawym zawinięciu między podporami (daje maksymalne wartości momentów na zewnątrz lewego zawinięcia poza podporą, ryc. 5d); odwrotnie w przypadku momentów na zewnątrz prawego zawinięcia poza podporą;
- obciążenie na prawym zawinięciu poza podporą (daje maksymalne wartości momentów wewnątrz lewego zawinięcia między podporami, ryc. 5e); odwrotnie w przypadku momentów wewnątrz prawego zawinięcia między podporami;
- obciążenie na lewym zawinięciu poza podporą i między podporami, na części niezawiniętej między podporami oraz na prawym zawinięciu między podporami (daje maksymalne wartości momentów na zewnątrz lewego zawinięcia między podporami, ryc. 5f); odwrotnie w przypadku momentów na zewnątrz prawego zawinięcia między podporami.

Przedstawione przypadki obciążenia dotyczą sytuacji, gdy belka o dowolnym kształcie osi ma dwa zawinięcia, każde z obu stron linii pionowej przechodzącej przez podporę. Te przypadki obciążenia mogą być zastosowane do prostszych schematów z pominięciem obciążeń na niewystępujących częściach schematu lub na częściach, na których obciążenie nie może być przyłożone. W stolikach pokazanych na rycinach 6a i 6b powinny być rozważane wszystkie przypadki obciążeń podane na rycinie 5, przy czym zawinięcia między podporami powinny być obciążane tylko na poziomych fragmentach i dolne obciążenie zawinięć powinno być mniejsze. W meblach przedstawionych na rycinach 6c – 6f obciążenie powinno być przykładane tylko na poziomej części blatu, czyli na części niezawiniętej między podporami i na poziomej części zawinięć poza podporami (ryc. 6c i 6e). Natomiast zawinięcia między podporami na rycinach 6c – 6f nie są obciążane.

Zawinięcia mebli o schematach swobodnie podpartych belek o dowolnym kształcie, zarówno w częściach pomiędzy podporami, jak i poza, zawsze powinny mieć większą wysokość przekroju, im są bardziej oddalone od linii pionowych przechodzących przez podpory. Natomiast optymalna forma części niezawiniętej między podporami występuje w jednym z dwóch wariantów, w zależności od długości tej części oraz rozpiętości obciążanych zawinięć: o stałej grubości oraz o największej grubości w środku (meble symetryczne) lub w pobliżu środka. Stała wysokość przekroju części niezawiniętej pojawia się, jeśli długości obciążanych części zawinięć poza podporami są wyraźnie dłuższe od sumy długości części niezawiniętej



Ryc. 5. Najbardziej niekorzystne przypadki obciążenia mebli o schemacie swobodnie podpartej belki z zawinięciami poza i między podporami, dające maksymalne wartości momentów na częściach prętów oznaczonych linią przerywaną; źródło: rys. autorka
Fig. 5. Most unfavourable load cases of furniture with scheme of simply supported beam with coiled parts beyond and between supports, giving maximum moment values on segments highlighted by dashed line; source: drawing by the author

i rozpiętości obciążanych części zawinięć między podporami. Zwiększenie wysokości przekroju części niezawiniętej w środku lub w pobliżu środka ma miejsce przy dużej sumie długości części niezawiniętej i rozpiętości obciążanych fragmentów zawinięć między podporami i małych rozpiętości obciążanych części zawinięć poza podporami.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zasady doboru optymalnych wysokości przekrojów prętów i płyt mebli o schematach swobodnie podpartych belek o dowolnie zakrzywionej lub załamanej osi. Praca takich mebli polega przede wszystkim na przeniesieniu naprężeń zginających od obciążeń działających do dołu. Dlatego wysokości przekrojów mebli powinny być dobierane na podstawie maksymalnych wartości bezwzględnych momentów zginających od obciążeń grawitacyjnych. Do znalezienia najbardziej niekorzystnych przypadków tych obciążeń wykorzystano linie wpływowe momentów. Na podstawie tych linii znaleziono wszystkie krytyczne przypadki obciążeń i odpowiadające im maksymalne wartości momentów z obu stron pręta we wszystkich przekrojach. Umożliwiło to dobranie kształtów tych mebli z dokładnymi proporcjami wysokości

przekrojów i wykrycie cech charakterystycznych tych optymalnych form.

LITERATURA

1. **Allen A., Zalewski W. (2010)**, *Form and forces: designing efficient, expressive structures*, Wiley, Hoboken NJ.
2. **Basista A. (1999)**, *Notatki z historii meblarstwa*. ASP Kraków, „Architektura Wnętrz”, Zeszyt Naukowy nr 4, Kraków.
3. **Dyląg Z., Krzemińska-Niemiec E., Filip F. (1993)**, *Mechanika budowli. Tom 2*, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok.
4. **Ghali A., Neville A. M., Brown T.G. (2009)**, *Structural Analysis. A unified classical and matrix approach*, Taylor & Francis, NY.
5. **Johnson P.C. (1956)**, *Mies van der Rohe*, Hatje, Stuttgart.
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 krzywych 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. **Nowacki W (1976)**, *Mechanika budowli*, PWN, Warszawa.
13. **Prakash Rao D. S. (1997)**, *Graphical methods in structural analysis*, Universities Press, Hyderabad.
14. **Salvadori M., Heller R. (1975)**, *Structure in Architecture. The Building of Buildings*, Prinntice-Hall, New Jersey.
15. **Salvadori M. (2001)**, *Dlaczego budynki stoją*, Wydawnictwo Murator, Warszawa.
16. **Shihua B., Yaoging G. (2008)**, *Structural Mechanics*, Wuhan University Press, Wuhan.
17. **Siegel C. (1974)**, *Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa.
18. **Sławińska J. (1997)**, *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa.
2. <http://homegallerydesign.com/natural-beauty-timber-bench-design-with-traditional-techniques/> (ryc. 2k) [dostęp: 25-06-2016].
3. <http://homegallerydesign.com/cool-wooden-table-design-kids-furniture-ideas/> (ryc. 2l) [dostęp: 25-06-2016].
4. <http://hivemodern.com/pages/product485/knoll-mies-van-der-rohe-barcelona-table> (ryc. 2q) [dostęp: 25-06-2016].
5. <http://www.houzz.com/photos/13627944/City-Stainless-Steel-Rectangular-Coffee-Table-modern-coffee-tables> (ryc. 2s) [dostęp: 25-06-2016].
6. <http://www.houzz.com/photos/10815332/Blox-Coffee-Table-in-Black-modern-coffee-tables> (ryc. 2t) [dostęp: 25-06-2016].
7. <http://www.houzz.com/photos/5183891/Transparent-Coffee-Table-in-Clear-modern-coffee-tables> (ryc. 2u) [dostęp: 25-06-2016].
8. <http://www.houzz.com/photos/8089814/Fontana-Coffee-Table-by-FontanaArte-modern-coffee-tables> (ryc. 2v) [dostęp: 25-06-2016].
9. <http://dgnhom.pl/designer-hall-tables/popular-designer-hall-tables-with-table-yoyo-furniture-auckland-and-wellington/> (ryc. 2w) [dostęp: 29-06-2016].
10. <http://www.archiproducts.com/es/productos/99481/banco-de-madera-sin-respaldo-nook-nola-industrier.html> (ryc. 2y) [dostęp: 25-06-2016].
11. <http://www.bonluxat.com/a/hermian-sneyders-devogel-pi3d-table.html> (ryc. 3g) [dostęp: 25-06-2016].
12. <http://rc-designmanufactory.blogspot.com/2012/02/rc-desk.html> (ryc. 3k) [dostęp: 25-06-2016].
13. http://www.icollector.com/Frank-Gehry-R-bar-stool-Easy-Edges-Inc-U_i7287805 (ryc. 3l) [dostęp: 25-06-2016].
14. http://fym.mx/?attachment_id=1174 (ryc. 3m) [dostęp: 29-06-2016].
15. <http://prafulla.net/graphics/creativity/cool-office-spaces/> (ryc. 3r) [dostęp: 25-06-2016].
16. <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/> (ryc. 3s) [dostęp: 25-06-2016].
17. <http://www.houzz.com/photos/4243413/Sovet-Italia-Rubino-Square-Coffee-Table-modern-coffee-tables> (ryc. 4m) [dostęp: 25-06-2016].
18. <http://www.houzz.com/photos/11840296/Tables-modern-coffee-tables-los-angeles> (ryc. 4n) [dostęp: 25-06-2016].
19. <http://www.houzz.com/photos/13681393/Low-Profile-Cocktail-Table-in-Dark-Walnut-modern-coffee-tables> (ryc. 4o) [dostęp: 25-06-2016].
20. <http://www.harrisonantiquefurniture.co.uk/victorian-style-inlaid-walnut-nest-of-three-coffee-tables---sold-1899-p.asp> (ryc. 4p) [dostęp: 25-06-2016].
21. <http://www.bonluxat.com/a/sergio-fahrer-taii-stool.html> (ryc. 4q) [dostęp: 25-06-2016].
22. <http://ctablesguide.com/unusual-coffee-tables-weird-yet-splendid/unusual-coffee-tables-uk/> (ryc. 4r) [dostęp: 29-06-2016].
23. <http://www.esuppliersindia.com/nikunj-arts/wooden-coffee-tables-pr499788-sFP-swf.html> (ryc. 4s) [dostęp: 25-06-2016].
1. <http://impressivemagazine.com/2012/04/25/impressive-pulse-seating-bench-tank-design-studio/> (ryc. 2f) [dostęp: 25-06-2016].

ŹRÓDŁA INTERNETOWE:

1. <http://impressivemagazine.com/2012/04/25/impressive-pulse-seating-bench-tank-design-studio/> (ryc. 2f) [dostęp: 25-06-2016].

24. <http://www.creohome.com/furniture/livingroom-furniture/234-mebel-s-prikolami.html> (ryc. 4aa) [dostęp: 25-06-2016].
 25. http://betonix83.wrzuta.pl/obraz/9JOZjRmRqKK/lezaki_na_taras_z_blachy (ryc. 4bb) [dostęp: 25-06-2016].
 26. http://izismile.com/2010/11/30/from_bland_to_bling_offices_get_a_facelift_89_pics-68.html (ryc. 6a) [dostęp: 29-06-2016].
 27. <http://www.universaldesignstyle.com/wheelchair-accessible-interactive-computer-desk/> (ryc. 6b) [dostęp: 25-06-2016].
 28. <http://www.rafiner.pl/1581/nowoczesne-meble-ogrodowe.html?slide=4#foto> (ryc. 6c) [dostęp: 25-06-2016].
 29. <http://store.carbonfibergear.com/lima-lima-modular-carbon-fiber-table> (ryc. 6d) [dostęp: 25-06-2016].
 30. <http://www.houzz.com/photos/4240280/Fiam-Charlotte-Coffee-Table-modern-coffee-tables> (ryc. 6e) [dostęp: 25-06-2016].
 31. <http://www.1stfun.com/art/table-furniture-design-art/> (ryc. 6f) [dostęp: 25-06-2016].
- Artykuł zrealizowano w ramach projektu badawczego S/WA/1/2016 Politechniki Białostockiej.