

Jacek ABRAMCZYK
Politechnika Rzeszowska

GEOMETRYCZNE KSZTAŁTOWANIE PROSTOLINIOWYCH POWŁOK BUDOWLANÝCH Z BLACH TRAPEZOWYCH ZA POMOCĄ PRZESTRZENNYCH CZWOROBOKÓW

Artykuł zawiera opis nowego sposobu kształtowania geometrycznego powłok z płaskich arkuszy blachy trapezowej, deformowanych do postaci przestrzennej w czasie montażu w powłoce. Prezentowany sposób pozwala na to, żeby każdy arkusz miał pozostawioną swobodę odkształceń poprzecznych w czasie montażu w powłoce. Znaczącą rolę w procesie geometrycznego kształtowania odgrywa dokładność projektowania miejsc mocowania fałd arkusza do kierownic powłoki. Mocowany arkusz nie powinien być poddany na montażu żadnej dodatkowej deformacji (poza deformacją swobodną) wymuszającej zmianę szerokości jego fałd, w celu dopasowania tej szerokości do źle zaprojektowanego rozstawu miejsc mocowania. Sposób pozwala przyjąć funkcje matematyczne opisujące stopnie skręcenia kolejnych fałd powłoki, umożliwia uzyskanie i kontrolę stosunkowo małego wyężenia fałd pochodzącego od deformacji podczas montażu, przy czym zdeformowane swobodnie arkusze powłoki zachowują zdolność przenoszenia obciążeń w stopniu porównywalnym do fałd płaskopółciowych dachów, a uzyskana forma architektoniczna powłoki może być bardzo atrakcyjna.

1. Wprowadzenie

Artykuł prezentuje nowy sposób kształtowania geometrycznego powłok wykonanych z płaskich arkuszy blachy trapezowej, deformowanych w czasie montażu do postaci powłokowej. Podczas montażu w powłoce arkusz jest mocowany do kierownic powłoki i wówczas zmienia swój kształt – z płaskiego na przestrzenny, przez co ulega przewidzianej (we wstępnej fazie projektowania) deformacji. Odpowiednia technika wzajemnego łącenia płaskich arkuszy podłużnymi brzegami w czasie montażu pozwala na realizację powłok prostoliniowych, o niemal dowolnej postaci geometrycznej, rys. 1., [1, 2].

Jednokierunkowe profilowanie płaskiego, trapezowego arkusza umożliwia jego poprzeczne zginanie i skręcanie w stosunkowo szerokich zakresach, rys. 2., 3., [3-5]. Badania doświadczalne i analizy teoretyczne wskazują, że zakres możliwych deformacji arkuszy tylko w nieznacznym stopniu ogranicza różnorodność form geometrycznych powłok. Zakres zbioru nieskończenie wielu możli-

wych postaci powłokowych, które przyjmuje arkusz poddany różnym deformacjom, wynika z konieczności ograniczenia jego wyężenia, a zwłaszcza nieprzekraczania sprężystego zakresu pracy arkusza w powłoce.



Rys. 1. Prostoliniowa powłoka budowlana złożona ze zdeformowanych arkuszy blachy trapezowej



Rys. 2. Swobodnie skręcona powłoka złożona z dwóch arkuszy, podparta prostoliniowymi elementami

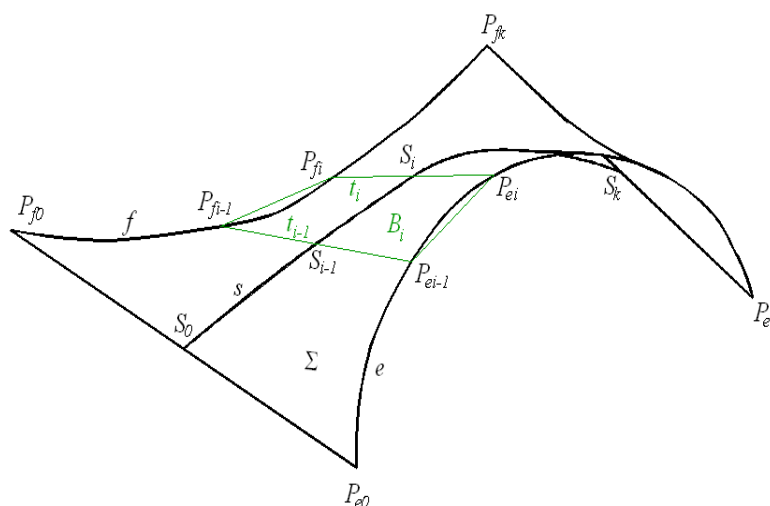


Rys. 3. Swobodnie zgięta i skręcona powłoka złożona z trzech arkuszy podpartych krzywoliniowymi elementami

Powłoki zrealizowane na terenie województwa podkarpackiego potwierdzają podaną obserwację [1]. Projektowane prostoliniowe powłoki mogą przyjmować oryginalną formę architektoniczną [6-9].

2. Założenia nowego sposobu geometrycznego kształtowania prostoliniowych powłok z blach trapezowych

Kształtowanie geometryczne powłoki P_b polega na budowaniu modeli geometrycznych kolejnych arkuszy lub fałd powłoki P_b za pomocą przestrzennych czworoboków B_i , rys. 4. We wstępnym etapie projektowania przyjmowane są funkcje matematyczne opisujące niektóre właściwości geometryczne czworoboków B_i . Najważniejsza z nich jest funkcja realizująca zamierzone skrócenie kolejnych fałd (arkuszy) powłoki, co umożliwia zaplanowanie niewielkiego wyłączenia oraz zachowanie zdolności fałd powłoki do przenoszenia obciążeń użytkowych.



Rys. 4. Geometryczne kształtowanie powłoki P_b za pomocą przestrzennych czworoboków B_i

Opracowany sposób opiera się na zapewnieniu swobody poprzecznym odkształceniom arkuszy deformowanych podczas montażu, przez co deformacja jest nazywana swobodną, wyłączenie fałd jest stosunkowo małe, a poszukiwane formy powłokowe są zróżnicowane.

Inną zaletą sposobu jest zwiększenie dokładności modelowania powłoki w stosunku do znanych sposobów kształtowania powłok, dzięki uwzględnieniu kształtu płaskiej fałdy lub płaskiego arkusza (uwzględnieniu miar kątów uko-

śnych ścieg ich końców poprzecznych) [10]. Dokładność wyznaczania punktów podparcia fałd na kierownicach powłoki odgrywa szczególną rolę w kształtowaniu powłok z blach trapezowych. Mocowane arkusze nie powinny być poddawane żadnym zbędnym, dodatkowym siłom poprzecznym wymuszającym zmianę szerokości ich końców, ponieważ siły te powodują wzrost wyężenia fałd.

Istnieje wzajemnie jednoznaczna zależność pomiędzy długościami linii podparć poprzecznych końców a warunkami podparcia oraz właściwościami geometrycznymi i fizykalnymi każdego arkusza mającego swobodę odkształceń poprzecznych podczas montażu. Zależność tę ujęto w postaci formuły matematycznej opisującej właściwości geometryczne czworoboków B_i , [1, 5], które uznaje się za uproszczone modele geometryczne linii brzegowych fałd powłoki.

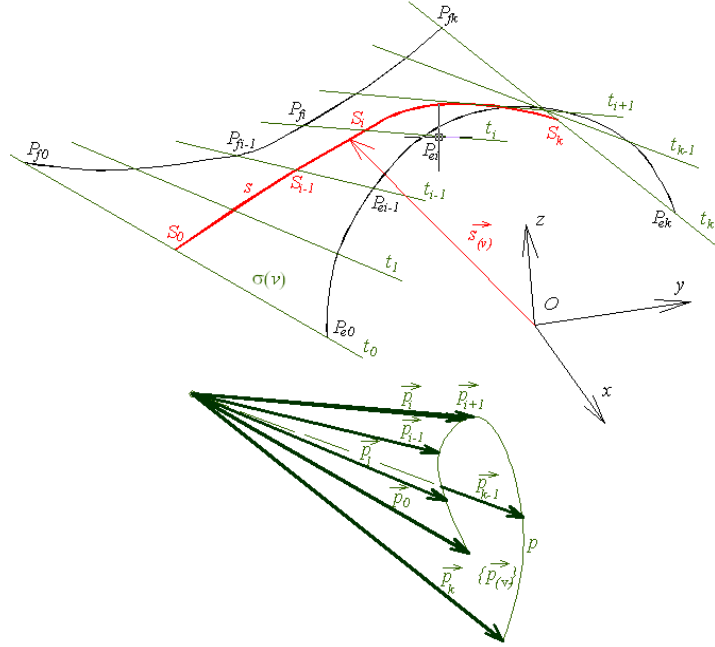
Opracowany nowy sposób kształtowania geometrycznego powłok P_b z blach fałdowych opiera się na następujących założeniach. Zasadniczym wynikiem zastosowania algorytmu działań metody jest skończona liczba tworzących t_i ($P_{ei}P_{fi}$) wycinka Σ (powierzchni prostokreślnej σ) modelującego powłokę P_b . Tworzące t_i są wyznaczane za pomocą czworoboków przestrzennych B_i , których właściwości geometryczne wynikają z właściwości geometrycznych i materiałowych oraz przyjętych warunków podparcia płaskich arkuszy blachy trapezowej. Wierzchołki P_{fi-1} , P_{fi} , P_{ei-1} , P_{ei} czworoboków B_i oraz środki S_{i-1} , S_i przeciwnych podłużnych odcinków brzegowych $P_{fi-1}P_{ei-1}$, $P_{fi}P_{ei}$ tych czworoboków wyznaczają wierzchołki trzech linii łamanych: $\langle P_{f0}, \dots, P_{fi}, \dots, P_{fk} \rangle$, $\langle P_{e0}, \dots, P_{ei}, \dots, P_{ek} \rangle$, $\langle S_0, \dots, S_i, \dots, S_k \rangle$ aproksymujących linie kierujące e , f , s powierzchni σ , przy czym linie e i f wchodzą w skład linii brzegowej wycinka Σ . Linie e , f i s stanowią znaną z geometrii rzutowej figurę Γ wyznaczającą powierzchnię σ , [11-13].

Budowę i położenie pomocniczych czworoboków B_i opisują funkcje zależne od jednego i tego samego parametru v , dzięki czemu możliwy jest do zastosowania znany z geometrii różniczkowej sposób (różny od zaprezentowanego wcześniej) wyznaczania powierzchni σ za pomocą równania wektorowego $\overline{s(v)}$ linii kierującej s oraz pola wektorów $\{ \overline{p_{(v)}} \}$ uzyskanych w wyniku aproksymacji związanych łamaną $\langle S_0, \dots, S_i, \dots, S_k \rangle$ oraz zbiorem wektorów $\{ \overline{p_i} = \overline{P_{ei}P_{fi}} \cdot m \}$, gdzie m jest dowolną liczbą rzeczywistą różną od zera, rys. 5. [14].

Zgodnie z wynikami badań doświadczalnych i analiz teoretycznych [5], przyjęto, że model matematyczny arkusza tworzą:

- pewien ogólny przestrzenny czworobok B_i , przedstawiający linię brzegową arkusza powłoki,
- wycinek W_{pi} paraboloidy prostokreślnej ω_{pi} (zwanej również paraboloidą prostoliniową lub paraboloidą hiperboliczną), wyznaczony za pomocą czworoboku B_i będącego linią brzegową wycinka W_{pi} ,

- formuła matematyczna złożona z równań (1) i (2), opisująca stwierdzone podczas badań doświadczalnych zależności pomiędzy postacią powłokową arkusza a warunkami podparcia oraz właściwościami geometrycznymi oraz materiałowymi tego arkusza.



Rys. 5. Alternatywny sposób wyznaczania powłoki P_b za pomocą linii kierującej i pola wektorów

$$b_e = b (1 + db_{ew} / 100) / \sin \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{przy czym: } f_e = b_1 \cdot \alpha_{jed}^2 \cdot (L^2 + b_2) \cdot (b_3 \cdot \varepsilon^2 + b_4 \cdot \varepsilon + b_5) \cdot (\varphi + b_6),$$

$$b_f = b (1 + db_{fw} / 100) / \sin \varphi \quad (2)$$

$$\text{przy czym: } f_f = b_1 \cdot \alpha_{jed}^2 \cdot (L^2 + b_2) \cdot (b_3 \cdot \varphi^2 + b_4 \cdot \varphi + b_5) \cdot (\varepsilon + b_6)$$

oraz

$b_1 = 0,0000300,$	$b_4 = 0,79,$	$L \text{ [m],}$
$b_2 = 1,00,$	$b_5 = -1,3,$	$\varepsilon [^\circ/10], \varphi [^\circ/10],$
$b_3 = -0,042,$	$b_6 = 24,$	$\alpha_{jed} [^\circ].$

We wzorze (1) przyjmuje się, że jeżeli $\varepsilon \leq 90^\circ$, to $\varepsilon = \varepsilon$ i $\varphi = 180^\circ - \varphi$, a jeżeli $\varepsilon > 90^\circ$, to $\varepsilon = 180^\circ - \varepsilon$ i $\varphi = \varphi$, rys. 6a. Natomiast we wzorze (2) przyjmuje się, że jeżeli $\varphi \leq 90^\circ$, to $\varepsilon = 180^\circ - \varepsilon$ i $\varphi = \varphi$, a jeżeli $\varphi > 90^\circ$, to $\varepsilon = \varepsilon$ i $\varphi = 180^\circ - \varphi$.

W podanych wzorach zastosowano następujące oznaczenia:

- b – wielkość szerokości płaskiego pasma, fałdy lub arkusza odpowiadającego modelowanemu pasmu M_{pi} powłoki,
- L – długość czworoboku B_i , fałdy lub arkusza powłoki,
- L – wielkość długości czworoboku B_i , fałdy lub arkusza powłoki,
- α_{jed} – jednostkowy kąt skrzywienia czworoboku B_i , fałdy lub arkusza powłoki,
- α_{jed} – miara jednostkowego kąta skrzywienia czworoboku B_i , fałdy lub arkusza powłoki,
- α_c – całkowity kąt skrzywienia czworoboku B_i , fałdy lub arkusza powłoki,
- ε, f – kąty narożne czworoboku B_i , kąty ścięć końców fałdy lub arkusza powłoki,
- ε, f – miary kątów narożnych czworoboku B_i , kątów ścięć końców fałdy lub arkusza,
- b_e – długość poprzecznego boku $P_{ei-1}P_{ei-1}$ czworoboku B_i , długość ścięcia końca fałdy lub arkusza powłoki odpowiadającego linii e ,
- b_f – długość poprzecznego boku $P_{fi-1}P_{fi}$ czworoboku B_i , długość ścięcia końca fałdy lub arkusza powłoki odpowiadającego linii f ,
- s – oś fałdy lub arkusza.

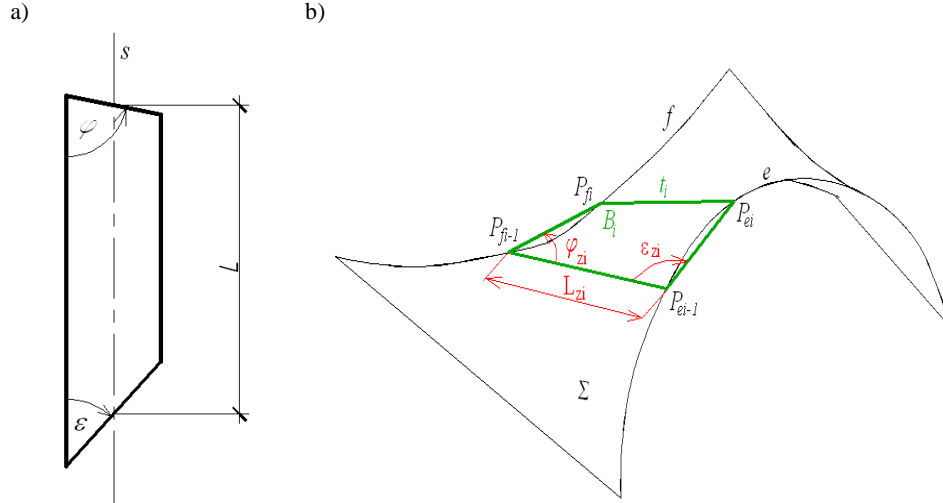
Oznaczenia obiektów geometrycznych lub wielkości opisujących postać geometryczną obiektu fizycznego są pisane kursywą, natomiast oznaczenia innych obiektów, na przykład obiektów fizycznych lub wielkości liczbowe, są pisane czcionką prostą.

Z badań doświadczalnych wynika, że zmiana szerokości zdeformowanego arkusza dokonuje się równomiernie na całej szerokości arkusza i dlatego możliwe jest kształtowanie powłoki za pomocą modelu geometrycznego fałdy uogólnionej, a nawet modeli jeszcze węższych pasm powłoki.

Przyjęto, że czworoboki B_i użyte do modelowania fałd powłoki charakteryzują się następującymi właściwościami geometrycznymi.

Różnica długości przeciwległych boków podłużnych $P_{fi-1}P_{ei-1}$, $P_{fi}P_{ei}$ czworoboków B_i jest na tyle mała, że można uznać oba boki za równe i wynoszące $|P_{fi-1}P_{ei-1}|$, nie powodując konieczności zmiany dokładności kształtowania powłoki P_b . Przyjęto, że dopuszczalna różnica długości obu boków podłużnych powinna wynosić około 4% długości rozpatrywanej fałdy powłoki lub jej pasma M_{pi} , co przy średnim kącie ścięcia obu końców wynoszącym 60° i średniej dłu-

gości pasma M_{pi} wynoszącej 4900 mm daje maksymalnie dopuszczalną szerokość tego pasma modelowanego czworobokiem B_i wynoszącą 100 mm. Liczba pasm modelujących fałdę powłoki zależy od typu arkusza (szerokości jego fałd).



Rys. 6. Czynniki opisujące kształt płaskiego arkusza doświadczalnego (a), czynniki opisujące kształt czworoboku B_i (b)

Czynniki opisującymi właściwości geometryczne czworoboku B_i są, rys. 6b:

- długość L_{zi} boku $P_{fi-1}P_{ei-1}$ odpowiadająca długości pasma M_{pi} ,
- miary kątów ε_{zi} i φ_{zi} o wierzchołkach w punktach P_{fi-1} i P_{ei-1} , odpowiadające miarom kątów ścieg poprzecznych końców pasma M_{pi} ,
- miara kąta nachylenia α_{zi} płaszczyzn $(P_{fi-1}P_{ei-1}P_{ei})$ i $(P_{fi-1}P_{ei-1}P_{fi})$, odpowiadająca mierze kąta skręcenia pasma M_{pi} .

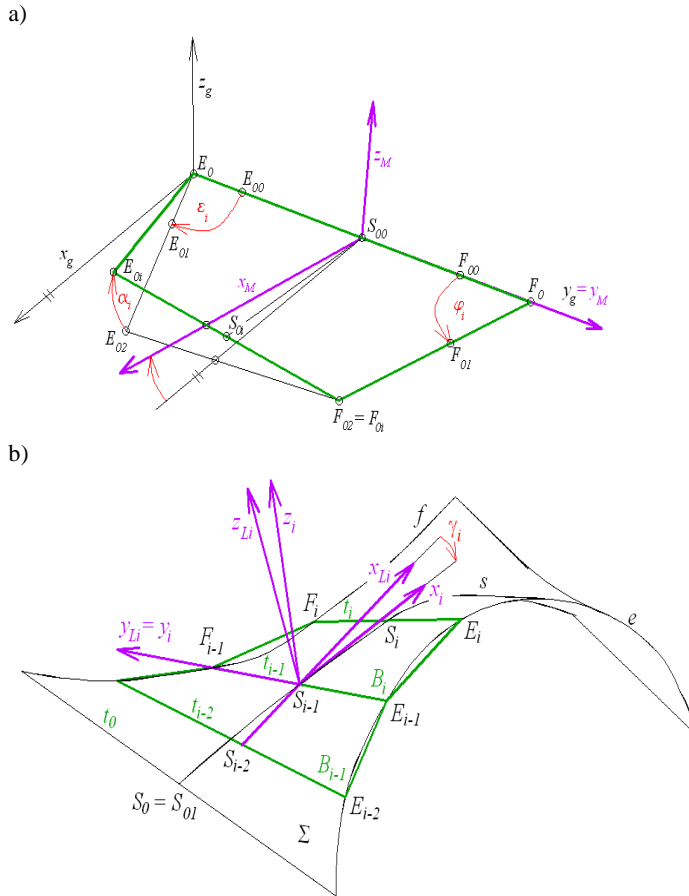
Budowę i położenie pomocniczych czworoboków B_i opisują następujące funkcje zależne od jednego i tego samego parametru v :

- $f_{av} = \alpha(v)$, opisująca skręcenie pasma M_{pi} równe skręceniu α_{zi} czworoboku B_i ,
- $f_{ev} = \varepsilon(v)$ i $f_{fv} = f(v)$, opisujące kąty narożne pasma M_{pi} przystające do kątów wierzchołkowych ε_{zi} i φ_{zi} czworoboku B_i ,
- $f_{gv} = \gamma(v)$, wpływająca na wzajemne położenie sąsiednich pasm M_{pi} powłoki P_b odpowiadające wzajemnemu położeniu kolejno budowanych czworoboków B_i .

3. Algorytm nowego sposobu geometrycznego kształtowania prostoliniowych powłok z blach trapezowych

Podany dalej algorytm prezentuje podstawowe działania sposobu prowadzące do zbudowania zbiorów $\{E_i\}$, $\{F_i\}$ i $\{S_i\}$ punktów linii kierujących e , f i s oraz tworzących t_i geometrycznego modelu Σ powłoki P_b , rys. 7a, b.

Według algorytmu ilościowe postacie funkcji: $\alpha(v)$ opisującej skręcenie, $\varepsilon(v)$ i $f(v)$ opisujących kąty wierzchołkowe, $\gamma(v)$ wpływającej na wzajemne położenie kolejno budowanych czworoboków B_i , przyjmuje się na wstępie. W trójwymiarowej przestrzeni euklidesowej przyjmuje się prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych $[x_g, y_g, z_g]$ o początku w punkcie E_0 (rys. 7a).



Rys. 7. Budowa czworoboków B_i (a), składanie czworoboków B_i w strukturę S_{sr} (b)

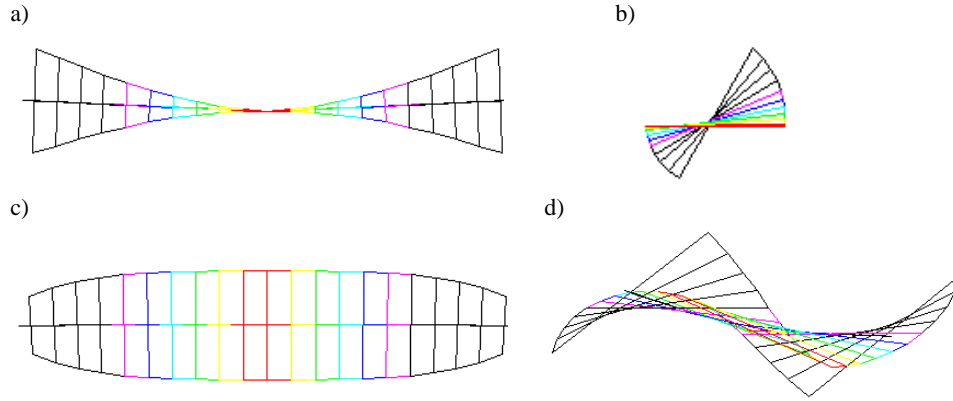
W dodatniej półosi y_g znajduje się punkt F_0 odległy o L_{zi} od E_0 oraz punkty E_{00} , F_{00} i S_{00} leżące wewnątrz odcinka E_0F_0 , przy czym S_{00} jest środkiem tego odcinka. Następnie punkt E_{00} (F_{00}) obraca się wokół osi z_g (prostej równoległej do osi z_g i przechodzącej przez punkt F_0) o kąt ε_{zi} (\mathbf{f}_{zi}), którego miarę wylicza się z funkcji $\varepsilon(v)$ ($\mathbf{f}(v)$), do położenia E_{01} (F_{01}). Z kolei w prostych (E_0 , E_{01}) i (F_0 , F_{01}) znajduje się punkty E_{02} i F_{02} odległe od E_0 o wartości b_e i b_f obliczone ze wzorów (1) i (2) dla odpowiedniej wartości parametru v . Ostatecznie, w celu otrzymania czworoboku $B_i = \langle E_0E_{0i}F_{0i}F_0 \rangle$, punkt E_{02} obraca się do położenia E_{0i} wokół osi y o kąt α_i o mierze $\alpha(v)$, a punkt F_{02} uznaje się za punkt F_{0i} .

W celu dołączenia czworoboku B_i do struktury S_{sr} (stanowiącej przybliżenie wycinka Σ) wykonuje się następujące działania, rys. 7b). Znajduje się środek S_{0i} odcinka $E_{0i}F_{0i}$. Tworzy się nowy prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych $[x_M, y_M, z_M]$ o początku w punkcie S_{00} , osi y_M o zwrocie zgodnym z wektorem $S_{00}F_0$, osi x_M zawartej w płaszczyźnie ($S_{00}F_0S_{0i}$) tak, żeby jej dodatnia półoś tworzyła z wektorem $S_{00}S_{0i}$ kąt ostry. Natomiast w strukturze S_{sr} wyróżnia się następujące specyficzne obiekty związane z uprzednio wstawionym czworobokiem B_{i-1} . Punkt S_{i-1} przyjmuje się za początek kolejnego prostokątnego, prawoskrętnego układu współrzędnych $[x_{Li}, y_{Li}, z_{Li}]$. Dodatnią półoś y_{Li} wyznacza się za pomocą wektora $\overrightarrow{S_{i-1}F_{i-1}}$. Natomiast oś x_{Li} zawiera się w płaszczyźnie (S_{i-1} , F_{i-1} , S_{i-2}) tak, żeby jej dodatnia półoś tworzyła z wektorem $\overrightarrow{S_{i-1}S_{i-2}}$ kąt rozwarty. Następnie układ $[x_{Li}, y_{Li}, z_{Li}]$ obraca się o kąt $\gamma_i = \gamma(v)$ wokół osi y_{Li} , uzyskując nowe jego położenie $[x_i, y_i, z_i]$. W celu wbudowania czworoboku $\langle E_0E_{0i}F_{0i}F_0 \rangle$ w strukturę S_{sr} wiąże się go w sposób sztywny z układem $[x_M, y_M, z_M]$, a następnie przemieszcza układ $[x_M, y_M, z_M]$ tak, żeby stał się identyczny z układem $[x_i, y_i, z_i]$. Tym samym wierzchołki powyższego czworoboku zajmują położenia: E_{i-1} , E_i , F_i , F_{i-1} . Kolejne czworoboki B_j tworzy się i wbudowuje w strukturę S_{sr} analogicznie jak czworobok $\langle E_{i-1}E_iF_iF_{i-1} \rangle$.

4. Wpływ postaci funkcji opisujących budowę i wzajemne położenie czworoboków struktury S_{sr} na postać geometryczną powłoki P_b

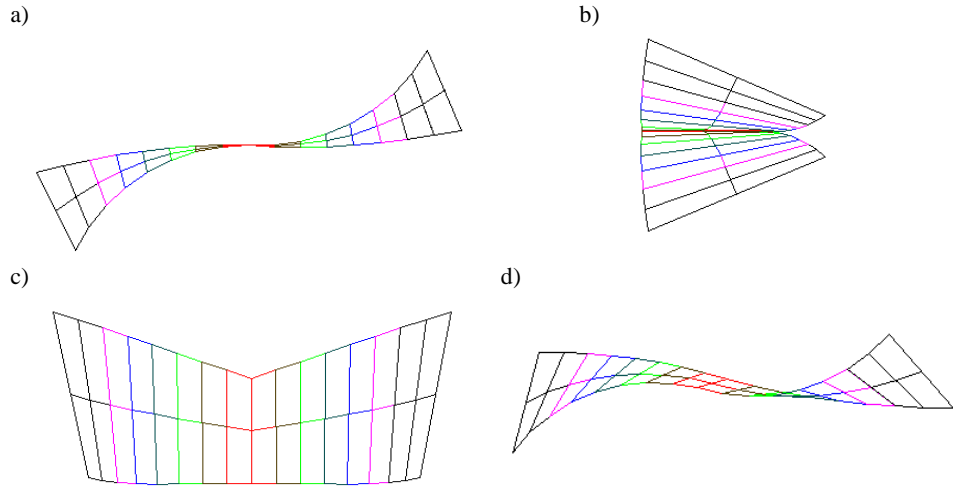
Pokazane dalej rysunki prezentują właściwości geometryczne modeli Σ powłok P_b zbudowanych za pomocą różnych postaci funkcji $\alpha(v)$, $\varepsilon(v)$, $\varphi(v)$ – opisujących właściwości geometryczne, oraz funkcji $\gamma(v)$ – opisującej wzajemne położenie sąsiednich czworoboków struktury S_{sr} .

Rysunki 8a-d przedstawiają rzuty związane modelu geometrycznego Σ powłoki P_b powstałego przy założeniu: $\varepsilon(v) = \varphi(v) = 90^\circ$, $\alpha(v) \neq \text{const}$ i $\gamma(v) = 0^\circ$.



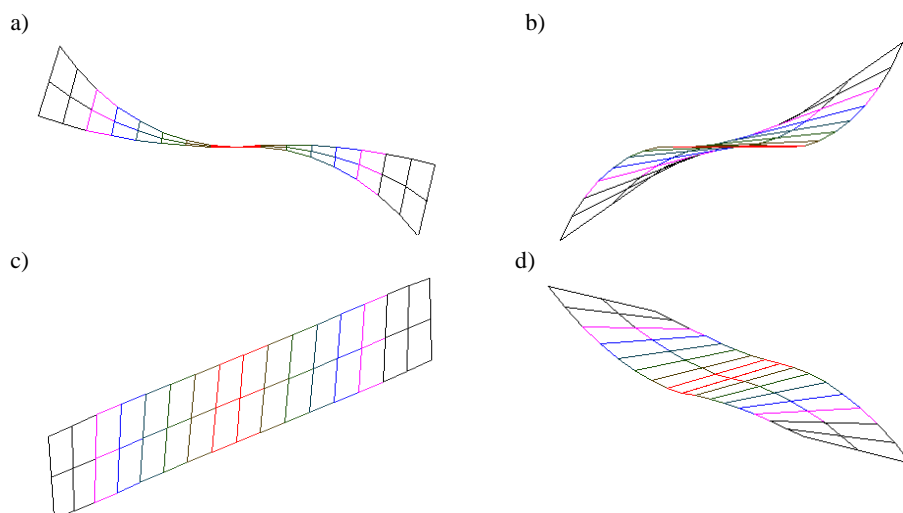
Rys. 8. Rzut z przodu modelu Σ (a), rzut od lewej modelu Σ (b), rzut z góry modelu Σ (c), widok aksonometryczny modelu Σ (d)

Rysunki 9a-d przedstawiają rzuty związane modelu Σ powstałego przy założeniu: $\varepsilon(v) = 90^\circ$, $\varphi(v) = 110^\circ$, $\alpha(v) \neq \text{const.}$ i $\gamma(v) = \text{const.} \neq 0^\circ$.



Rys. 9. Rzut z przodu modelu Σ (a), rzut od lewej modelu Σ (b), rzut z góry modelu Σ (c), widok aksonometryczny modelu Σ (d)

Rysunki 10a-d przedstawiają rzuty związane modelu Σ powstałego przy założeniu: $\varepsilon(v) = 60^\circ$, $\varphi(v) = 180^\circ - \varepsilon(v)$, $\alpha(v) \neq \text{const.}$ i $\gamma(v) \neq 0^\circ = \text{const.}$



Rys. 10. Rzut z przodu modelu Σ (a), rzut od lewej modelu Σ (b), rzut z góry modelu Σ (c), widok aksonometryczny modelu (d)

Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że:

- postać funkcji $\gamma(v)$ wpływa przede wszystkim na krzywizny linii s oraz częściowo na krzywizny linii e i f ,
- postać funkcji $\alpha(v)$ wpływa przede wszystkim na krzywizny linii e i f ,
- postaci funkcji $\varepsilon(v)$ i $\varphi(v)$ wpływają na kąty nachyleń tworzących modelu Σ do linii kierujących e i f ,
- od zależności występujących pomiędzy funkcjami $\varepsilon(v)$ i $\varphi(v)$ a funkcją $\alpha(v)$ oraz funkcją $\gamma(v)$ zależą właściwości geometryczne linii e i f .

5. Podsumowanie

Zaprezentowany sposób geometrycznego kształtowania powłok prostoliniowych wykonanych z blach trapezowych opiera się na wynikach badań doświadczalnych. Z analizy wyników tych badań wynika, że zasadne jest kształtowanie powłoki za pomocą modeli geometrycznych kolejnych jej fałd. Modele te należy tworzyć za pomocą odpowiednio „wąskich” czworoboków przestrzennych B_i , których właściwości geometryczne po pierwsze wynikają z wyników badań doświadczalnych (funkcje f_e i f_f we wzorach: (1) i (2)), po drugie uzależnia się od zakładanych wstępnie matematycznych postaci funkcji: $\alpha(v)$, $\varepsilon(v)$, $\varphi(v)$ i $\gamma(v)$. Od tych postaci funkcji zależą właściwości geometryczne linii kierujących e , f i s oraz samej powierzchni prostokreślnej σ .

Ponieważ jeden z warunków geometrycznych wykorzystywanych w geometrii rzutowej przy wyznaczeniu powierzchni prostokreślnych został w prezen-

towanym sposobie kształtowania geometrycznego powłok zastąpiony warunkiem konstrukcyjnym (zależnym od właściwości geometrycznych i materiałowych arkuszy blachy trapezowej), to wykorzystanie znanej z geometrii rzutowej klasyfikacji powierzchni prostokreślnych w podziale tych powierzchni na grupy wykorzystywane w modelowaniu powłok budowlanych z blach trapezowych o zbliżonym ukształtowaniu napotyka na trudności. Zagadnienie to wymaga szerszego omówienia i wykracza poza ramy artykułu. Dlatego opis algorytmów działań pozwalających na kształtowanie powłok prostoliniowych, których modele geometryczne są wycinkami z góry zakładanego i znanego z geometrii rzutowej rodzaju powierzchni, nie został w tym artykule zamieszczony. Zasadne wydają się działania zmierzające do wyróżnienia wśród powierzchni prostokreślnych takich ich zbiorów, że wycinki powierzchni należących do jednego i tego samego zbioru, modelujące powłokę będą się charakteryzować zbliżonymi właściwościami geometrycznymi wynikającymi z właściwości geometrycznych i materiałowych arkuszy powłoki oraz przyjętych postaci funkcji: $\alpha(v)$, $\varepsilon(v)$, $\varphi(v)$ i $\gamma(v)$.

Prowadzone badania wymagają nie tylko korzystania z programów komputerowych, ale również napisania odpowiednich procedur numerycznych realizujących algorytm działań prezentowanego sposobu kształtowania powłok.

Literatura

- [1] Reichhart A.: Kształtowanie geometryczne i konstrukcyjne powłok z blach fałdowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002.
- [2] Abramczyk J.: Ruled Surfaces as the Models for Corrugated Building Shells. IASS 2004, Symposium Montpellier Shell and Spatial Structures for Models to Realization, September, Montpellier, France, 2004, pp. 280-281.
- [3] Reichhart A.: Corrugated Deformed Steel Sheets as Material for Shells. Proc. International Conference on Lightweight Structures in Civil Engineering, vol. I, Warsaw 1995.
- [4] Abramczyk J.: Właściwości blachy fałdowej wykorzystywane w procesie kształtowania obiektów budowlanych. Materiały VII Sympozjum z cyklu: Nowe osiągnięcia techniki w budownictwie, „Kształtowanie konstrukcji. Konstrukcje z blach fałdowych. Konstrukcje cięgnowe.” Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
- [5] Abramczyk J.: A mathematical – geometric model of the corrugated steel sheet of the building shell. Proc. Conference on Lightweight Structures in Civil Engineering, Local Seminar of IASS, Polish Chapter, Warsaw 2007, pp. 98-101.
- [6] Michajlenko W.E., Obuchowa W.S., Podgornyj A.L.: Formoobrazowanie obołoczek w architekturze. Budiwielnik, Kijew 1972.
- [7] Michajlenko W.E.: O geometrii obołoczek w żywej przyrodzie. Sb. Prikladnaja geometrija i inżyniersnaja grafika, wyp. 12, Budiwielnik, 1971.
- [8] Gioncu V., Petcu D.: Corrugated Hypar Structures. Proc. Inter. Conf. LSCE, Warsaw 1995, pp. 637-644.

- [9] Davies J.M., Bryan E.R.: Manual of stressed skin diaphragm design. Granada, London 1982.
- [10] Reichhart A., Abramczyk J.: On the influence of oblique cutting of profiled steel sheet on its shell shape. Proc. Conference on Lightweight Structures in Civil Engineering, Local Seminar of IASS, Polish Chapter, Warsaw 2006, pp. 172-175.
- [11] Januszewski B.: Geometria wykreślna. Cz. 1, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1990.
- [12] Przewłocki S.: Geometria wykreślna w budownictwie. Arkady, Warszawa 1982.
- [13] Polański S.: Geometria powłok budowlanych. PWN, Warszawa 1986.
- [14] Trajdos T.: Matematyka dla inżynierów. WNT, Warszawa 1981.

A NEW WAY OF GEOMETRICAL SHAPING OF BUILDING SHELLS MADE OF PROFILED STEEL SHEETS

S u m m a r y

The paper presents a new way of geometrical shaping of the rectilinear building shells made of the profiled steel sheets free deformed to the shell shape during assembly work. The shell folds are shaped with the help of the spaces quadrangles. The presented way assures the freedom of transversal strains of the free deformed sheets during assembly, hence the sheets are subject to free deformations. The precision of assigning the supporting points of the sheet folds to the shell directrices plays a significant role in folded shell shaping because the assembled sheets should not be subjected to any useless additional transversal forces modifying the widths of their ends. This way makes it possible to assume the functions describing the twist angles of the successive shell folds at the initial stage of designing. The above activity makes it possible to obtain the small intentional effort and reserve the conveyance capacity of the useful load for the successive shell folds although the shell form can be almost free and attractive.

Złożono w redakcji w listopadzie 2009 r.