

Figure 6 – Airbeams masts [1]

The 10m version has been tested in the Northern hemisphere as well as desert conditions with success and although it was originally conceived to enable 2 people at a time to cross a 10m gap, it has been successfully tested with up to 8 people on the bridge at one time. It is extremely easy and quick to deploy, taking two people not more than 5 minutes from commencing inflation to the time they can deploy it over the gap. The latter can be achieved over a river by floating the ends across and 'walking' the APB up the far side from the nearside. On dry terrain it can again be 'walked' over the gap.

It is probably the only bridge that is capable of being inflated and deployed from the air to arrive either fully inflated, or at least partially inflated when it hits the ground, so that those requiring it can immediately, with no previous experience, place it in position to enable personnel to cross the ravine/river.

Larger versions have been built to carry a middle size car across a gap of up to 20m, but with improved material technology, we believe that it would be possible to increase this distance considerably as well as decrease the overall weight of the system.

### 3.4 Masts

The high mast of 20m is shown above. 30m versions have been designed for quick deployment to carry surveillance and listening equipment as well as to act as repeater stations and antennae. Smaller versions can act as aerials, traffic warning hazards and for mounting video cameras in both civilian and military applications. Their packaged size enables them to be carried in all versions up to 30m by personnel, rather than vehicles and as they are so quick to deploy and recover (approx. 5-10 minutes for each operation, depending on height) they make an ideal system for use in many applications from rescue to surveillance, traffic control and signaling.

### REFERENCES

1. Airbeams LLC, Inftatable Structures. Products, 2004
2. Vertigo-inc. Aviation Inflatable Maintenance Shelter, 2004

*Rajczyk Marlena, Kalinowski Jarosław*

## ANALIZA NAPRĘŻEŃ I PRZEMIESZCZEŃ PRZEGRODY TRÓJWARSTWOWEJ

### WPROWADZENIE

Wraz ze polepszeniem parametrów eksploatacyjnych współczesnych komputerów (moc obliczeniowa, pamięć operacyjna, pojemność pamięci masowych) obserwuje się coraz większe zapotrzebowanie na dokładne obliczenia coraz większych układów konstrukcyjnych.

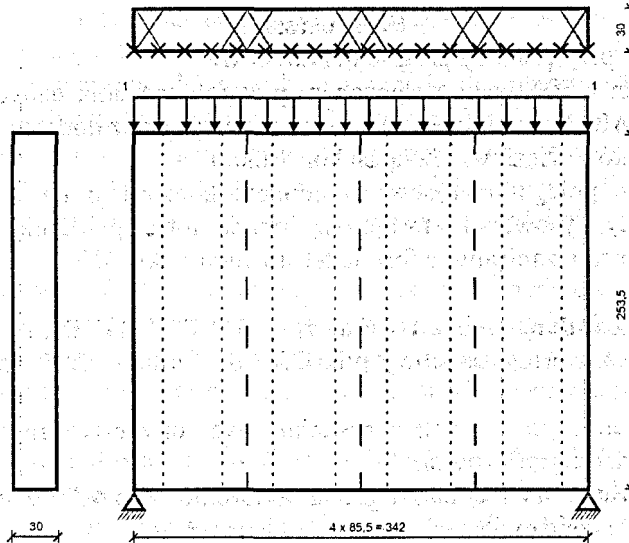
Przy obliczaniu dużych układów konstrukcyjnych metodą elementów skończonych (MES) naturalnym jest poszukiwanie stabilnego systemu operacyjnego, umożliwiającego skuteczne obliczanie w relatywnie krótkim czasie jak największych zadań na powszechnie dostępnych komputerach. Obliczenia często trwają wiele godzin i wymagają znacznych zasobów sprzętowych.

System działa pod kontrolą systemu operacyjnego DOS/WINDOWS i LINUX. Aktualnie pod kontrolą systemu operacyjnego Linux FEMA-MES można wykonywać obliczenia statyczne i dynamiczne dużych modeli konstrukcji do 99999 węzłów.

Dobrze udokumentowany format pliku wejściowego DAT umożliwia przygotowanie programów do generowania lub przetwarzania plików wejściowych.

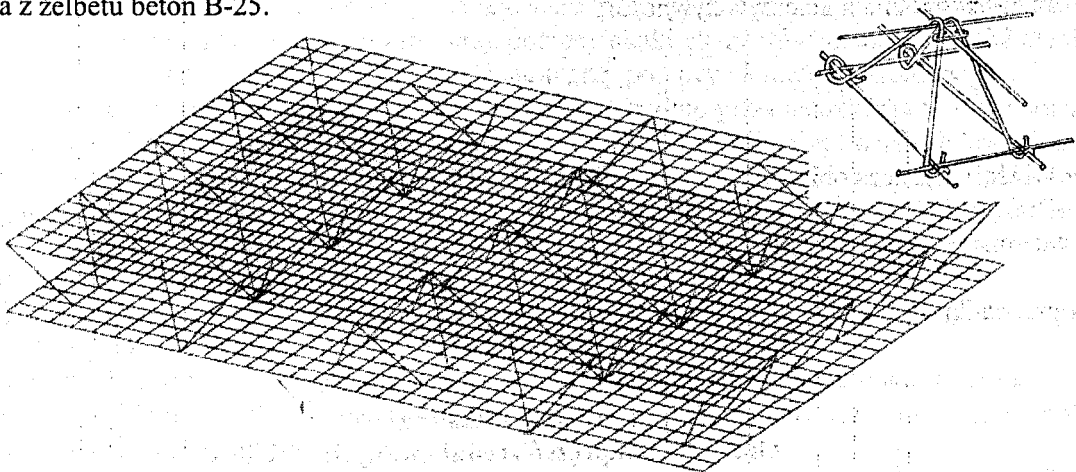
Jako przykład możliwości zastosowania systemu do niestandardowych obliczeń konstrukcji wybrano, analizę konstrukcji trójwarstwowej ściany osłonowej (dwie płyty połączone stalowymi łącznikami) obciążonej obciążeniem ciągłym z dwóch stron o zmiennej długości.

## 2. OPIS KONSTRUKCJI



Rys. 1 – Schemat konstrukcji płyty trójwarstwowej wraz z przedstawionym schematem obciążenia

Analizowany element konstrukcji stanowi przegrodę budowlaną trójwarstwową, składającą się z dwóch płyt o wymiarach długość 342 cm, wysokość 253,5 cm, grubość 8 cm ułożonych równolegle do siebie w odległości 30 cm od swoich osi symetrii połączonych między sobą pięcioma żebrami złożonymi z czterech prętów stalowych ułożonych jak na rys. 2. Połączenia są rozmieszczone w jednakowych odstępach w taki sposób, iż pierwsze połączenie łączy lewe krawędzie, a ostatnie prawe krawędzie płyty. Całość konstrukcji jest wykonana z żelbetu beton B-25.



Rys.2 – Aksonometria analizowanej konstrukcji

Warunki brzegowe są ustalone w taki sposób, iż wzdłuż dolnej krawędzi blokują możliwość ruchu w kierunku pionowym (Y), a wzdłuż krawędzi pionowych uniemożliwiają przemieszczenia poziome (X). Wzdłuż wszystkich poprzednio określonych krawędzi blokowany jest ruch płyty w kierunku Z. Identyczne warunki brzegowe jak dla płyty czołowej są określone dla płyty tylnej.

Płyta jest obciążona obciążeniem ciągłym jednostkowym na cm długości jak na rys. 1, na całej górnej krawędzi przedniej płyty tj. 342 cm.

### Opis oprogramowania

Do wykonania obliczeń użyto systemu FEMA-MES wykorzystującego do obliczeń metodę elementów skończonych. System ten służy do obliczeń statycznych i dynamicznych modeli konstrukcji.

Proces analizy konstrukcji składa się z trzech etapów:

- preprocessingu (przygotowania danych wejściowych),
- processingu (właściwego procesu obliczeniowego),
- postprocessingu (przetwarzania i analizy wyników).

#### Preprocessing

Przygotowanie danych przy pomocy programu AutoCAD

Najbardziej wygodnym i efektywnym sposobem przygotowywania danych do obliczeń w systemie jest użycie programu AutoCAD. Program został przystosowany poprzez dodanie elementów menu, procedur generowania elementów, bloków więzów i obciążeń konstrukcji.

Przygotowanie danych polega na rysowaniu modelu konstrukcji na warstwach odpowiadających elementom konstrukcji. Przy rysowaniu stosuje się standardowe polecenia AutoCADa, co zwiększa efektywność pracy. Model zostaje zapisany w formie tekstowego pliku DXF.

#### Zamiana zbioru DXF na zbiór DAT - DXF2DAT

Program DXF2DAT konwertuje tekstowy plik DXF do formatu DAT zrozumiałego przez program obliczeniowy MES.

Format DXF jest przenośnym formatem rysunku stworzony przez firmę AutoDesk do wymiany informacji pomiędzy programami graficznymi.

Plik w formacie DAT zawiera dane dla programu obliczeniowego MES w postaci grup współrzędnych węzłów, topologii elementów skończonych, materiałów i obciążeń.

#### Optymalizacja danych - OPT

W zagadnieniach dotyczących obliczeń statycznych i dynamicznych dużych konstrukcji kluczowym zagadnieniem wpływającym na ilość potrzebnej pamięci i czas obliczeń jest szerokość niezerowego półpasma macierzy sztywności. Szerokość niezerowego półpasma macierzy sztywności zależy bezpośrednio od maksymalnej różnicy numerów węzłów, do których przylegają końce dowolnego elementu skończonego konstrukcji.

Program OPT poszukuje optymalnej permutacji numeracji węzłów, dającej minimalną szerokość niezerowego półpasma macierzy sztywności.

#### Processing

##### Obliczenia właściwe - OBLMES

Właściwy proces obliczeniowy wykonywany jest przez program OBLMES.

Obliczenia konstrukcji polegają na ułożeniu i rozwiązaniu standardowego układu równań zapisanego w postaci macierzowego równania różniczkowego

$$B \cdot \dot{q}(t) + C \cdot q(t) + K \cdot q(t) = P(t), \quad (1)$$

lub w przypadku statyki

$$K \cdot q(t) = P(t). \quad (2)$$

#### Postprocessing

##### Obliczenia naprężeń zredukowanych - HUBER

Po wykonaniu obliczeń statycznych konstrukcji, dla każdego elementu skończonego uzyskujemy szereg danych charakteryzujących jego odkształcenia, siły wewnętrzne i składowe tensora naprężeń. Na podstawie analizy pojedynczych składowych złożonego tensora naprężeń nie można określić wyteżenia konstrukcji. Aby umożliwić analizę wyteżenia elementów konstrukcji obliczane są naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera.

##### Wyświetlanie konfiguracji konstrukcji i wyników obliczeń

Najbardziej efektywnym sposobem kontroli danych, opisujących model konstrukcji i analizę wyników obliczeń jest wizualizacja graficzna.

System został wyposażony w szereg programów do prezentacji wyników obliczeń takich jak program GMES; oraz programy umożliwiające przekazanie wyników obliczeń (interfejsy) do wyspecjalizowanych programów graficznych np. AutoCAD.

### Modyfikacje oprogramowania

W celu wykonania cyklu obliczeń stworzono dwa nowe programy AUTOGEN i PWYKRES specjalizowane do wykonania określonego wcześniej zadania.

#### Generowanie schematów danych - AUTOGEN

Program AUTOGEN pracuje w warstwie preprocessingu czyli przygotowania danych. Jego zadaniem jest wygenerowanie plików w formacie dat o unikalnej nazwie charakteryzującej schemat zawierających opis konstrukcji wraz z pojedynczym schematem obciążenia. Dodatkowo jest generowany skrypt dla systemu Linux lub DOS zawierający komendy systemu operacyjnego i wywołania programów MESOBL i HUBER powodujące obliczenie statyki oraz naprężeń zredukowanych. Dzięki zastosowaniu skryptu program możemy w dowolnej chwili przerwać i po wykasowaniu części skryptu rozpocząć od pierwszego nie obliczonego schematu.

Można też kopiując odpowiednie pliki danych i kasując odpowiednie części skryptu rozdzielić pracę na  $n$  niezależnych części wykonywanych na  $n$  niezależnych maszynach. Taka metoda pracy spowoduje skrócenie czasu obliczeń spowodowane sumowaniem mocy procesorów. Po zakończeniu cyklu obliczeń wszystkie pliki należy przekopiować na maszynę gdzie będzie wykonywany proces analizy.

#### Przygotowanie danych do wykresów - PWYKRES

Program PWYKRES pracuje w warstwie postprocessingu czyli obróbki/przetwarzania danych wynikowych. Jego zadaniem jest na podstawie zbiorów SPG (wyniki obliczeń statycznych wygenerowane przez program OBLMES) i RST (naprężenia zredukowane dla poszczególnych elementów skończonych wygenerowane przez program HUBER) utworzenie pliku wynikowego naprężeń lub przemieszczeń dla określonego elementu skończonego lub węzła. Pliki naprężeń z programu pwykres zawierają tabele wszystkich składowych tensora naprężeń, naprężeń zredukowanych w elemencie i w całej konstrukcji dla elementu skończonego o określonym jako parametr numerze. Pliki zawierające przemieszczenia zawierają sześć składowych przemieszczeń (3 translacje i 3 obroty).

#### Przyjęty model konstrukcji

Przedstawioną w punkcie 2 konstrukcję modelowano przy pomocy czterowęzłowych elementów powłokowych. Płytę przednią i tylną modelowano przy pomocy siatki elementów skończonych 32 elementy na szerokość i 24 elementy na wysokość. Żebra modelowano przy pomocy elementów kratowych.

W dolnej i obu bocznych krawędziach zablokowano bezpośrednio przemieszczenia w kierunku Z dla płyty przedniej i tylnej. W kierunku Y dla dolnej krawędzi i w kierunku X dla obu bocznych krawędzi przy pomocy prętów kratowych o przekroju  $1 \text{ cm}^2$  i długości 40 cm zamocowanych na końcach nie połączonych z płytą w kierunku XYZ. Pręty blokujące przesuw są mocowane w każdym węźle wzdłuż opisywanych wyżej krawędzi. W opisywanym przykładzie przy małym obciążeniu konstrukcji i znacznej sztywności podparcia można traktować taki sposób podparcia jak blokadę odpowiednich przesułów.

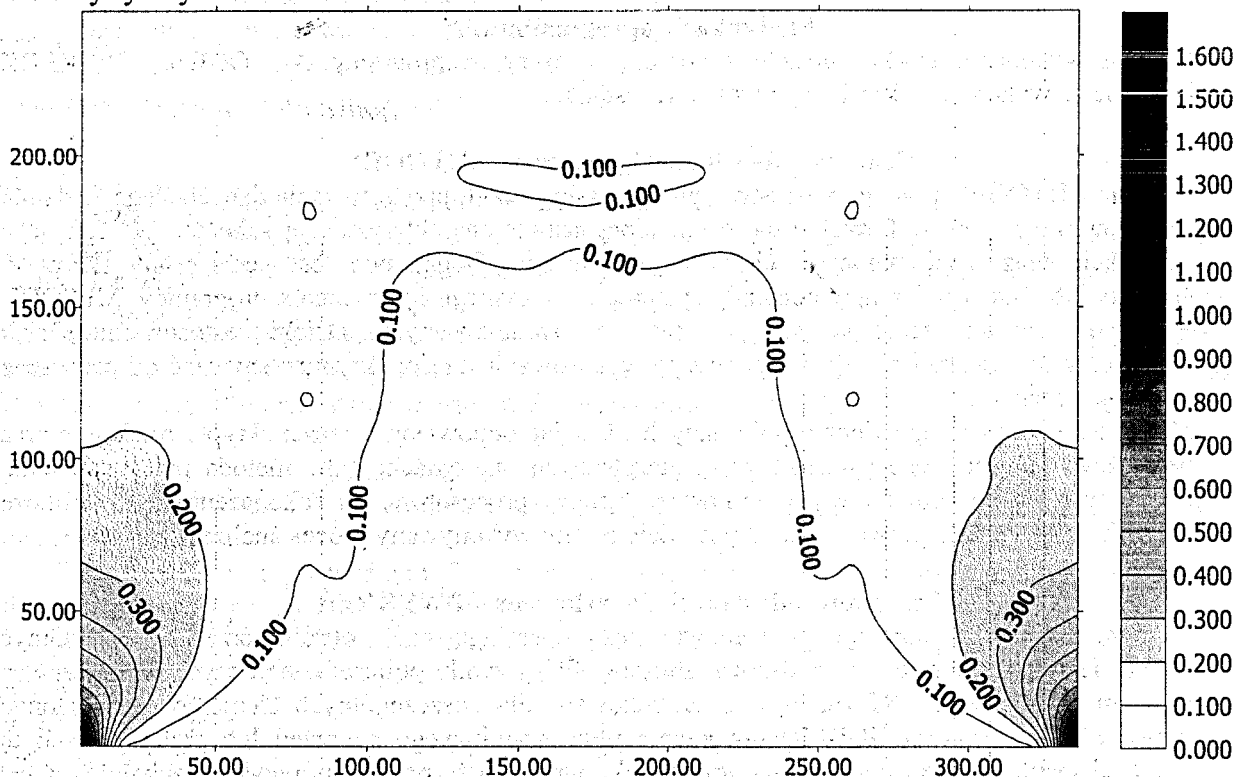
W przypadku gdy schematy przewidują duże obciążenia np. od ciężaru własnego taki sposób zamocowania można traktować jako podłoże sprężyste.

Obciążenie ciągle zarówno z lewej i prawej strony przyjęto o wartości 1 w kierunku Y zamodelowane poprzez wstawienie sił skupionych w węzłach górnej krawędzi przedniej płyty o wartościach sumy połowy długości elementów skończonych z lewej i prawej strony.

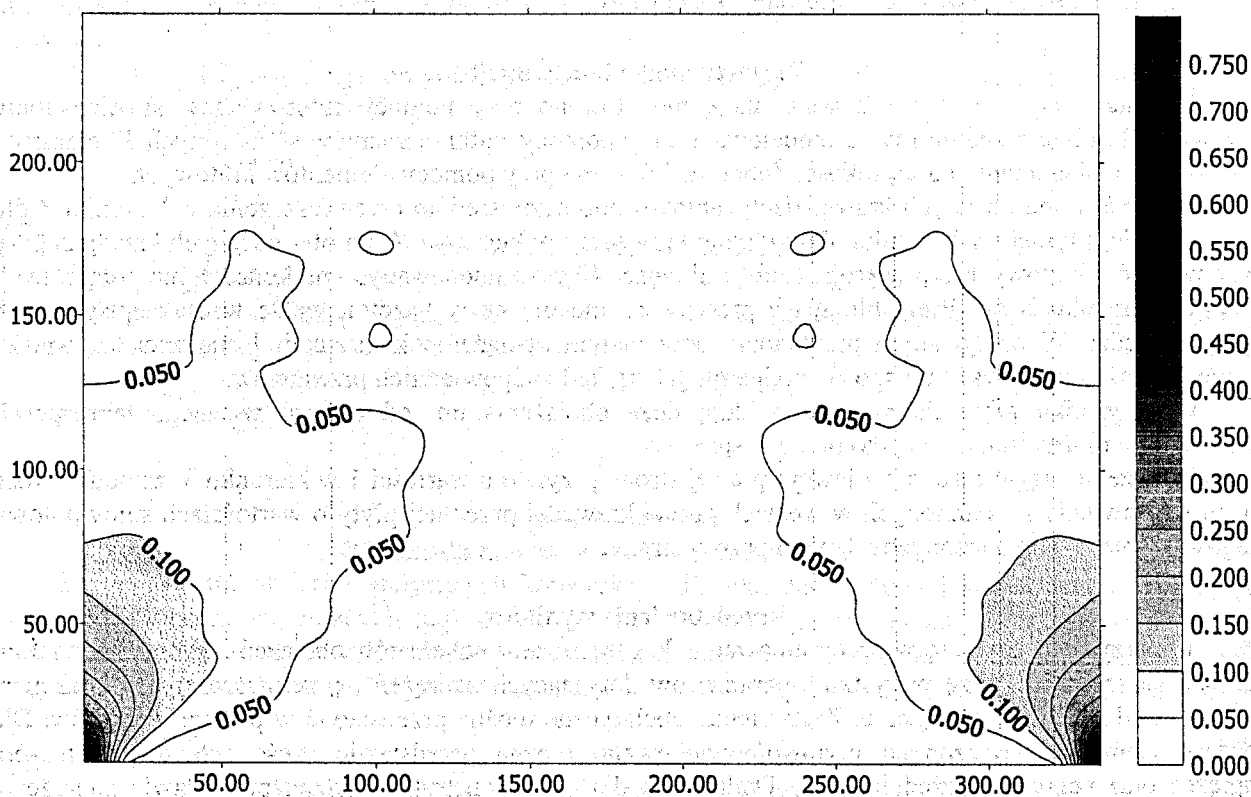
#### Przedstawienie wyników

Tak przygotowany zestaw oprogramowania do generowania schematów obciążeń i analizy konstrukcji pozwala na szeroką analizę wszystkich parametrów dotyczących naprężeń i przemieszczeń konstrukcji w zależności od schematu obciążenia. Zestawienia tabelaryczne można przedstawić w postaci wykresów. Dla każdego elementu skończonego płytowo/powłokowego można przedstawić sześć składowych tensora naprężeń oraz naprężenia zredukowane. Dodatkowo dla całej konstrukcji można przedstawić naprężenia maksymalne w całej konstrukcji. Do obliczeń przyjęto obciążenie ciągle liniowe o wartości  $1 \text{ N/cm}^2$ . Wszystkie charakterystyki materiałów mające w swoich jednostkach długość zostały przeliczone na cm.

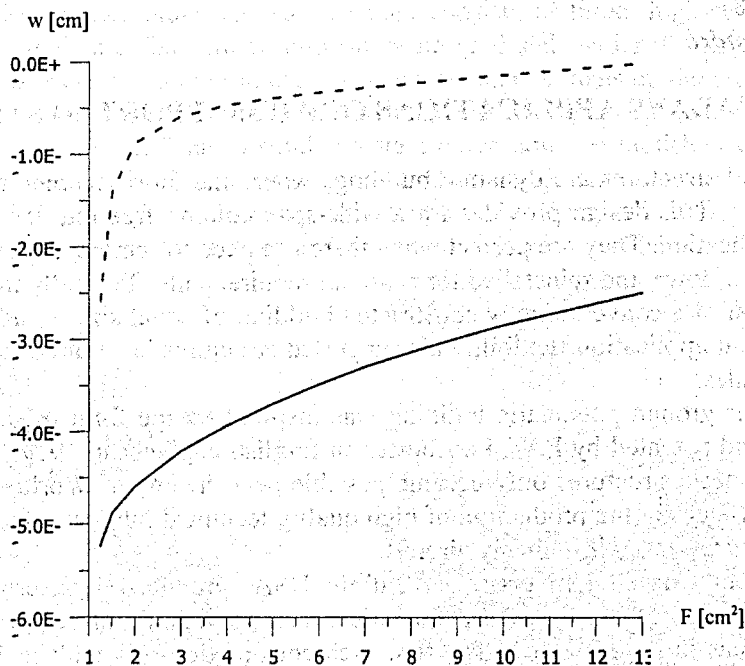
Chcąc określić poszczególne wartości naprężeń lub przemieszczeń należy przemnożyć odczytaną z wykresu wartość przez wartość analizowanego obciążenia ciągłego. Ze względu na dużą liczbę elementów skończonych i ograniczoną wielkość publikacji ograniczono się do przedstawienia wykresów najbardziej charakterystycznych.



Rys. 3 – Naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera dla przedniej powierzchni płyty. Obciążenie jednostkowe na całej długości górnej krawędzi przedniej powierzchni płyty



Rys. 4 – Naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera dla tylnej powierzchni płyty. Obciążenie jednostkowe na całej długości górnej krawędzi przedniej powierzchni płyty



Rys. 5 – Przesunięcia pionowe środka dolnej krawędzi przedniej i tylnej warstwy płyty przy obciążeniu pionowym wzdłuż górnej krawędzi płyty przedniej w zależności od pola przekrojów prętów łączących warstwy płyty. Linia ciągłą zaznaczono przesunięcia dla przedniej obciążonej warstwy płyty. Linia przerywaną zaznaczono przesunięcia dla tylnej warstwy płyty.

#### WNIOSKI

Przedstawione w powyższym artykule oprogramowanie pozwala na proste wygenerowanie schematów obciążenia zarówno w zakresie obciążenia ciągłego liniowego jak i ciągłego na określonej powierzchni.

Dla przedstawionego wariantu płyty jak na rys. 1 i 2 przeprowadzono analizę pracy konstrukcji przy obciążeniu jednostkowym na całej długości górnej przedniej krawędzi w zależności od pola przekroju prętów łączących warstwy.

Połączenia były rozpatrywane jako elementy przenoszące siły osiowe.

Dla małych przekrojów prętów łączących przesunięcia pionowe środka dolnej krawędzi przedniej i tylnej warstwy płyty są duże. Wraz ze wzrostem pola przekrojów prętów łączących można zauważyć polepszenie współpracy warstwy przedniej i tylnej, co wpływa na zmniejszenie przesunięć.

Wg wykresu na rys. 5 dla analizowanej konstrukcji można zaobserwować, że nadmierne zmniejszenie powierzchni przekroju prętów łączących powoduje gwałtowny wzrost przesunięć w obu płytach. W związku, z czym zaleca się stosowanie prętów łączących o przekrojach powyżej tej wartości.

#### LITERATURA

1. PRZYBYŁO W., KALINOWSKI J., C++ and FORTRAN Procedures for Optimum Renumbering of Nodes of Structures, Lightweight Structures in Civil Engineering LSCE'2000 Warsaw - Cracow, 1 December 2000, pp.93-102.
2. PRZYBYŁO W., KALINOWSKI J., System FEMA - MES - 99999, Wersja 1.0. Implementacja w środowisku LINUX. II Sympozjum Naukowo - Techniczne "Badania i diagnostyka mostów", Politechnika Opolska, Opole 9-11 kwietnia 2003.
3. RAJCYK M., KALINOWSKI J., Metodika rascieta mnogoslójnyh elementow na EVM. 56 Mezduarodnaja nauczno-techničeskaja konferencija „Aktualnyje problemy sowremennogo stroitelstwa” Sankt Petersburg 2003.