

Jerzy Józwik, Maciej Włodarczyk ¹⁾, Daniel Adamowicz ²⁾

ANALIZA NUMERYCZNA MES WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH ŚCIAN BOCZNYCH KABIN DŹWIGÓW OSOBOWYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę numeryczną MES wytrzymałości wybranych rozwiązań konstrukcyjnych ścian bocznych kabiny windy osobowej opracowanych na potrzeby firmy Lift Service. W pracy zastosowano wytyczne norm określających wymogi opisujące obciążenia projektowanych konstrukcji. Wyniki analizy zaprezentowano w postaci rozkładów naprężeń i przemieszczeń..

Słowa kluczowe: MES, dźwigi osobowe, ściany boczne, kabiny wind.

WSTĘP

Koncepcja rozwiązań technicznych przypominających dźwig sięga czasów starożytnego Rzymu. W przekazach historycznych można odnaleźć informacje o zastosowaniu takich urządzeń w budynku Koloseum, już w roku ok. 50 n.e., gdzie funkcjonowało około dwudziestu takich maszyn. Pierwsze windy towarowe służyły w kopalniach do wydobywania urobku, bądź pracowników na powierzchnię. Jeszcze do niedawna windy można było spotkać tylko w budynkach mieszkalnych, które miały co najmniej 5 pięter. Jednak obecne trendy w budownictwie wskazują, że windy instaluje się również w niższych budynkach (niekiedy nawet dwupiętrowych). Obecnie stosuje się rozwiązania z napędem elektrycznym oraz hydraulicznym, rzadziej śrubowym [6]. W omawianym przypadku jest to winda osobowa linowa, dla której została przeprowadzona analiza numeryczna MES w celu zmniejszenia kosztów, skrócenia czasu montażu, poprawienia estetyki wnętrza kabiny.

W pracy przedstawiono analizę numeryczną MES wytrzymałości wybranych rozwiązań konstrukcyjnych ścianek bocznych kabiny windy osobowej. Ściany boczne kabin wind stanowią wyposażenie wewnętrzna dźwigu osobowego, którego konstrukcja musi spełniać wymagania normy EN 81-1:1998. Na potrzeby analizy opracowano trzy modele numeryczne różniące się między sobą rozwiązaniami przyjętymi w zakresie przetłoczeń w centralnej części ściany bocznej kabin windy.

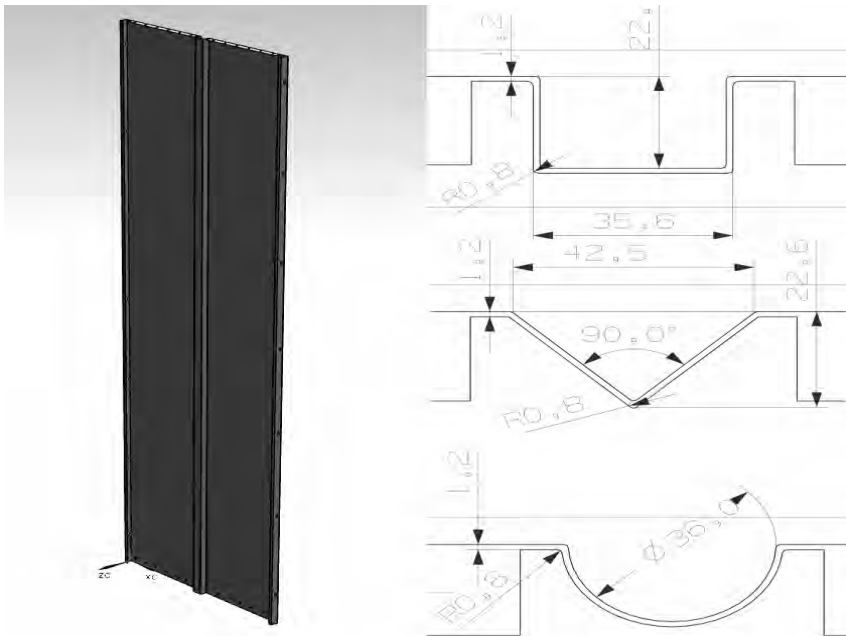
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Produkcji.

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Podstaw Inżynierii Produkcji.

BUDOWA MODELI NUMERYCZNYCH

Koncepcja metody elementów skończonych zakłada, że każdą wielkość (na przykład: odkształcenie, przemieszczenie, naprężenie) opisaną za pomocą funkcji ciągłej w danym obszarze aproksymuje się modelem dyskretnym [4]. Model ten jest złożony ze zbioru funkcji ciągłych w skończonej liczbie podobszarów, zwanych elementami, na jakie podzielono rozpatrywany obszar. Poszczególne funkcje ciągłe z podobszarów definiowane są przez wartości funkcji pierwotnej z wnętrza rozważanego obszaru, zwanych węzłami. Niezbędnym warunkiem otrzymania żądanej dokładności jest przyjęcie funkcji kształtu dostatecznie dokładnie odwzorowujących rzeczywiste wielkości fizyczne w elemencie. Przy spełnieniu tego warunku i coraz gęstszym podziale obszaru na elementy otrzymane wartości wyników mogą zbliżyć się do rozwiązania dokładnego [2, 3].

Opracowane w środowisku CAD systemu Unigraphics NX modele zostały poddane obciążeniu określone w normie EN 81-1:1998. Zamodelowane elementy ścian wykonano z komponentami wzmacniającym w postaci przetłoczeń, zaprezentowanych odpowiednio na rys.1. Materiałem przyjętym do analizy była stal S235JR, tak jak w obiekcie rzeczywistym. Przyjęto trzy rodzaje przetłoczek, a mianowicie: V-kształtne, U-kształtne oraz o kwadratowym przetłoczeniu o wymiarach gabarytowych 697,6x2325mm. Charakterystykę tego materiału przyjęto jako liniową i określono ją zgodnie z danymi przedstawionymi w literaturze [1].



Rys. 1. Geometria profilu oraz rodzaje wzmocnień

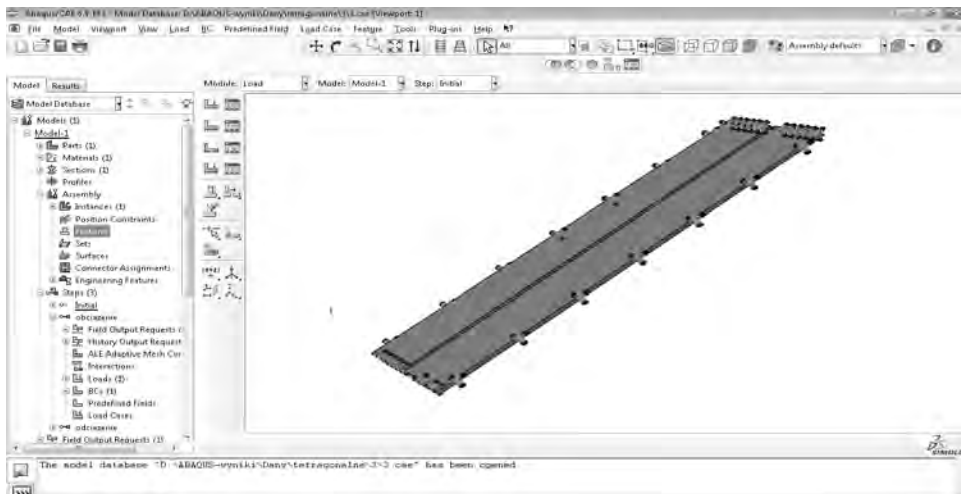
W oparciu o przepisy dotyczące bezpieczeństwa budowy i instalowania dźwignów można odnaleźć szczegółowo określone wymagania oraz wytyczne dotyczące części konstrukcyjnej i wytrzymałościowej projektowanych urządzeń dźwigowych. Określają one zarówno wymiary, kształty jak również ładowności dźwigu. W badaniach uwzględniono wytyczne zawarte w normie: EN 81-1:1998. Norma zakłada, że każda ściana kabiny windy powinna mieć taką wytrzymałość, aby siła 300 N, przyłożona w dowolnym miejscu prostopadle do ściany, skierowana od wewnątrz kabiny na zewnątrz i równomiernie rozłożona na powierzchni koła lub kwadratu o wielkości 5 cm^2 nie powodowała:

- żadnych odkształceń trwałych,
- odkształceń sprężystych większych niż 15mm.

Na podstawie tych wytycznych określono pole działania ciśnienia $A=12,62\text{mm}^2$, o wartości $P=0,6\text{MPa}$.

W badaniach przyjęto następujące założenia: minimalny koszt jednostkowy oraz ciężar konstrukcji, krótki czasu montażu, poprawę estetyki wnętrza kabiny poprawę wytrzymałości zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych ścian bocznych kabiny windy. Można zauważyć, że przy tak przedstawionych funkcjach celu, przyjęta optymalizacja jest wielokryterialną. W konstrukcji dźwigu założono, że przy danych wymiarach na jedną część kabiny będą przypadać trzy profile. Przyjmując takie założenie otrzymuje się skrócenie czasu montażu przy większych windach oraz poprawienie estetyki wnętrza kabiny.

Programem wykorzystanym do analizy MES był system Abaqus. Po uprzednim importowaniu geometrii z systemu NX i odpowiednim podziale na partycje obiektu zostały zdefiniowane w module „Load” warunki brzegowe. W miejscach mocowania (na powierzchniach cylindrycznych otworów profilu) zostały odebrane wszystkie translacyjne i rotacyjne stopnie swobody (rys. 2).



Rys. 2. Interfejs użytkownika

Analizy prowadzono wieloetapowo. Etap pierwszy obejmował obciążenie ściany bocznej windy przyjętym ciśnieniem $P=0,6\text{MPa}$. Etap drugi obejmował odciążenie konstrukcji. W dalszej części badań symulacyjnych wygenerowano siatki elementów skończonych. Dla porównania przeprowadzono analizę na dwóch siatkach: typu tetragonalnego czterowzłowej oraz heksagonalnego typu C4D8. W rezultacie do dalszych analiz przyjęto siatkę heksagonalną, jako najlepiej odwzorowującą stan naprężeń w badanym obiekcie. Wyniki porównawcze wpływu rozmiaru elementu skończonego na jakość uzyskanego rozwiązania przedstawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Wyniki analizy wielkości elementów skończonych

Wielkość elementu skończonego [mm]	Naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera - Misesa	
	Stan obciążony [MPa]	Stan odciążony [MPa]
8	42,03	$3,117 \cdot 10^{-3}$
6	45,97	$2,288 \cdot 10^{-2}$
5	67,78	$4,936 \cdot 10^{-2}$
4	92,96	0,1130
3	92,96	0,1130

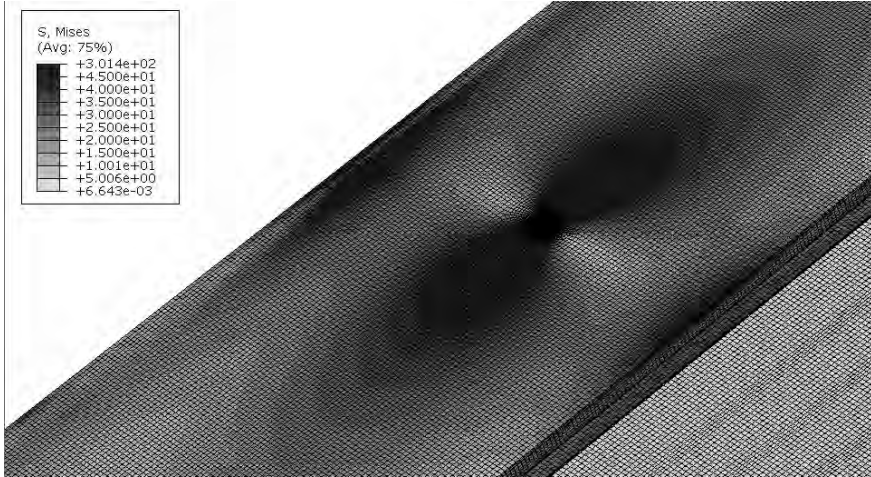
Głównym celem przeprowadzonej symulacji było wyznaczenie optymalnego rozmiaru elementu skończonego, który będzie używany w dalszych analizach numerycznych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wielkość optymalna siatki pozostaje na 4mm, dalszy podział wydaje się bezzasadny ze względu na rozbudowę zadania obliczeniowego, ze względu braku mocy obliczeniowej jednostki, na której prowadzone była symulacja oraz brak różnicy pomiędzy jakością wyników siatek 3 i 4mm.

Po wyznaczeniu optymalnej wielkości elementów skończonych następnym etapem było przeprowadzenie analizy MES. W analizie przemieszczano w modelu miejsca przyłożenia obciążenia, wyznaczając położenie strefy obciążenia w wyniku czego wystąpiły największe naprężenia w konstrukcji. Na podstawie przeprowadzonej analizy MES zaobserwowano wartość maksymalną naprężeń zredukowanych, w punkcie węzłowym. Po wyznaczeniu najsłabszego miejsca konstrukcji dodatkowo zagęszczono siatkę elementów skończonych w miejscu przyłożenia siły. Dzięki temu otrzymano lepsze przybliżenie rozwiązania w miejscu przyłożenia siły.

WYNIKI ORAZ ANALIZA SYMULACJI NUMERYCZNEJ

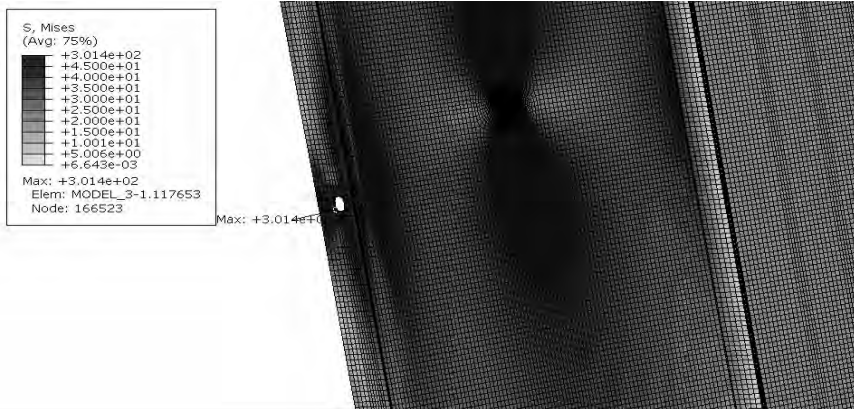
Po przeprowadzeniu obliczeń z wykorzystaniem solver STANDARD systemu Abaqus przeprowadzono analizę wyników, przedstawiając je w postaci kolorowych bitmap rozkładów naprężeń zredukowanych oraz przemieszczeń. Za wyznacznik stanu obciążenia konstrukcji przyjęto poziom naprężenia i przemieszczenia węzłów siatki w stanie obciążonym. Poziomu naprężenia zredukowanego pozwolił na ocenę przekroczenia granicy plastyczności materiału, w której prze-

staje on zachowywać się liniowo co w efekcie prowadzi do trwałych odkształceń. Analiza przemieszczeń maksymalnych węzłów siatki badanego obiektu pozwoliła na stwierdzenie czy przyjęte rozwiązanie konstrukcji ściany pozwoli zachować poziom odkształcenia dopuszczalnego przez normę EN 81-1:1998. Na rys. 3 zaprezentowano rozkład naprężeń w elemencie ściany wzmocnionej profilem o przekroju kwadratowym.



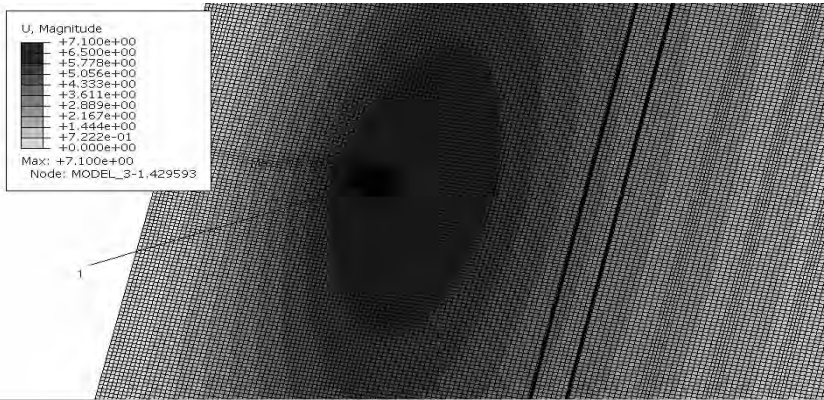
Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych wg Hubera-Misesa w stanie obciążenia profilu o przetłoczeniu kwadratowym

Na rys. 3 można zauważyć, że naprężenia w pełnym obciążeniu, w miejscu przyłożenia siły nie przekraczają wartości z przedziału 75,36÷100,5MPa. Rozkład ich w strefie obciążenia ma charakter równomierny i nie powoduje spiętrzenia naprężenia.



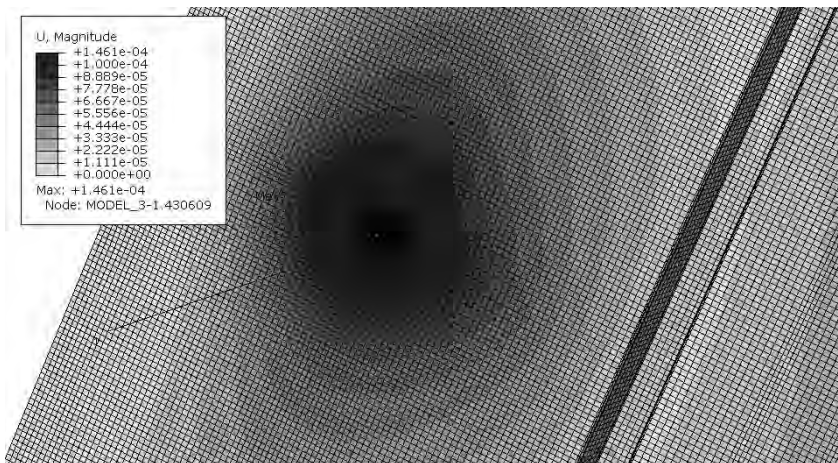
Rys. 4. Wartości maksymalne naprężeń zredukowanych wg Hubera-Misesa w stanie obciążenia profilu o kwadratowym przetłoczeniu w strefie zamocowania

Analizując rozkład naprężeń można zauważyć, że największe naprężenia występują w miejscu mocowania profilu, gdzie odebrano translacyjne stopnie swobody. Maksymalna wartość naprężenia w badanym profilu jest równa 301,4MPa. Tak duża wartość naprężenia jest spowodowana zbyt małym zagęszczeniem siatki elementów skończonych oraz przyjętym uproszczeniem geometrii profilu co do przyjętej powierzchni zamocowania. Wartość ta może być pominięta, ponieważ nie występuje w miejscu obciążenia badanego danego obiektu.



Rys. 5. Ugięcie w stanie obciążenia profilu z kwadratowym przetłoczeniem

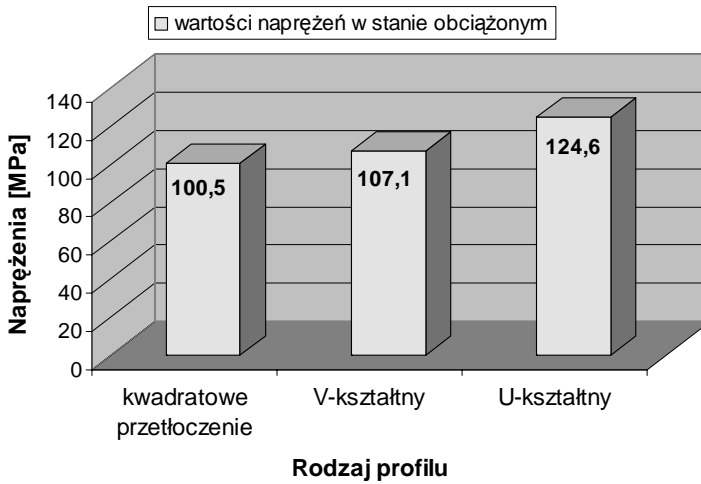
Na rys. 5 przedstawiono wartość ugięcia w badanym profilu. Maksymalna wartość przy największym obciążeniu nie przekracza wartości podanej w normie. Punkt w którym badany obiekt ugina się maksymalnie znajduje się w polu działania siły (punkt 1 na rys. 5). Wartość największego ugięcia w punkcie 1 wynosi 7,1mm, czyli nie przekracza połowy wartości dopuszczalnej określonej w normie EN 81-1:1998.



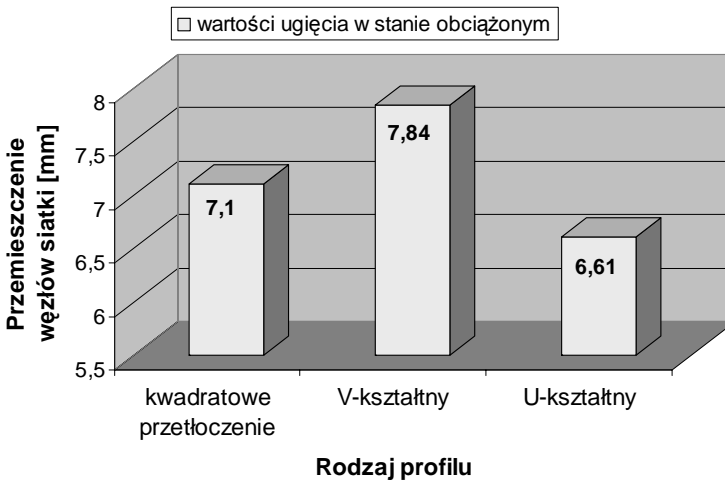
Rys. 6. Ugięcie w stanie odciążony profilu z kwadratowym przetłoczeniem

Na rys. 6 przedstawiono rozkład przemieszczenia węzłów siatki po ustąpieniu obciążenia konstrukcji. Największe przemieszczenie w tym stanie występuje w centrum pola działania siły (oznaczenie 1 na rys. 6) i ma ono wartość równą $1,461 \cdot 10^{-4}$ mm.

Podobną analizę przemieszczeń oraz rozkładu naprężenia zredukowanego przeprowadzono dla pozostałych profili przyjętych w pracy. Wyniki porównawcze przedstawiono na rys. 7 w postaci wykresu. Analizie zostały poddane trzy propozycje profili z różnymi rodzajami przetłoczenia, z kwadratowym przetłoczeniem, U-kształtny i V-kształtny.



Rys. 7. Wartości naprężeń w stanie obciążenia w wybranych typach analizowanej konstrukcji



Rys. 8. Wartość przemieszczeń maksymalnych węzłów siatki w analizowanych przypadkach konstrukcji ścian

Na podstawie analizy wyników zamieszczonych na rys. 7 najlepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest profil z kwadratowym przetłoczeniem, który najlepiej przenosi obciążenia. Z kolei największy poziom naprężeń występuje w konstrukcji z profilem „U”. Stosunkowo niewielka różnica występuje dla profilu typu „V” i modelem z kwadratowym wytłoczeniem. Wszystkie wyniki naprężeń nie przekraczają umownej granicy plastyczności, która jest w równa 235MPa [1]. Badane obiekty nie przekraczają połowy wartości podanej w EN 81-1:1998 .

Największe ugięcie zostało wykazane w profilu V-kształtnym. Najmniejsze ugięcie spośród badanych obiektów wykazuje profil U-kształtny. Wszystkie badane rodzaje profilu nie przekraczają wartości ugięcia zawartego w normie EN 81-1:1998.

WNIOSKI

W oparciu o przeprowadzaną analizę literatury oraz uzyskane wyniki analiz numerycznych MES sformułowano następujące wnioski:

- naprężenia w strefie przyłożenia siły badanych profili w żadnym z analizowanych przypadków nie przekraczały wartości granicy plastyczności,
- optymalnym rozwiązaniem konstrukcyjnym z punktu widzenia odkształceń sprężystych okazał się panel z U-kształtnym przetłoczeniem. Wartość ugięcia sprężystego wyniosła 6,611mm,
- najgorsze rozwiązanie konstrukcyjne w tym aspekcie dotyczy panelu z przetłoczeniem V-kształtnym. Wartość maksymalna ugięcia sprężystego wynosi 7,84mm,
- najlepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym z punktu widzenia naprężeń w punktach charakterystycznych okazał się profil o kwadratowym przetłoczeniu. Maksymalna wartość naprężenia w stanie obciążenia wyniosła 100,5MPa,
- najgorsze rozwiązanie dotyczy profilu U-kształtnego, dla którego maksymalna wartość naprężenia wyniosła 124,6MPa,
- zaproponowane modele profili ścian bocznych kabiny windy osobowej wykazały właściwości wytrzymałościowe spełniające wymogi normy EN 81-1:1998.

PIŚMIENNICTWO

1. Dobrzański L. A.: Podstawy nauk o materiałach i metaloznawstwo. Wydawnictwo naukowo-techniczne Warszawa 1999.
2. Bąk R., Burczyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowe., Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2010.
3. Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2005.

4. Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2005.
5. Getting started with Abaqus version 6.5.
6. Strakosch G. R., Caporale R. S.: The Vertical Transportation Handbook. John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey 2010.

FEM NUMERICAL ANALYSIS OF SELECTED CONSTRUCTION TYPES OF LIFT CAB SIDE WALLS

Summary

This paper presents FEM numerical analysis of structural strength solutions chosen the side walls of the elevator cab developed for the partnership's Lift Service. In the paper the guidelines describing the requirements of the rules governing the burden of the proposed structure. The results of the analysis presented in the form of distributions of stresses and displacements..

Keywords: FEM, personal loft, side wall, lift's cab.