

Eugeniusz Rusiński, Wojciech Zabłocki, Robert Zwiernik
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechnika Wrocławska

KOMPJUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA STRUKTUR NOŚNYCH POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Streszczenie. Podano charakterystykę programów stosowanych w analizie i syntezie ustrojów pojazdów samochodowych. Omówiono zakres tematyczny programów. Zaznaczono specyfikę zagadnień projektowych, ilustrując przykładami zastosowań.

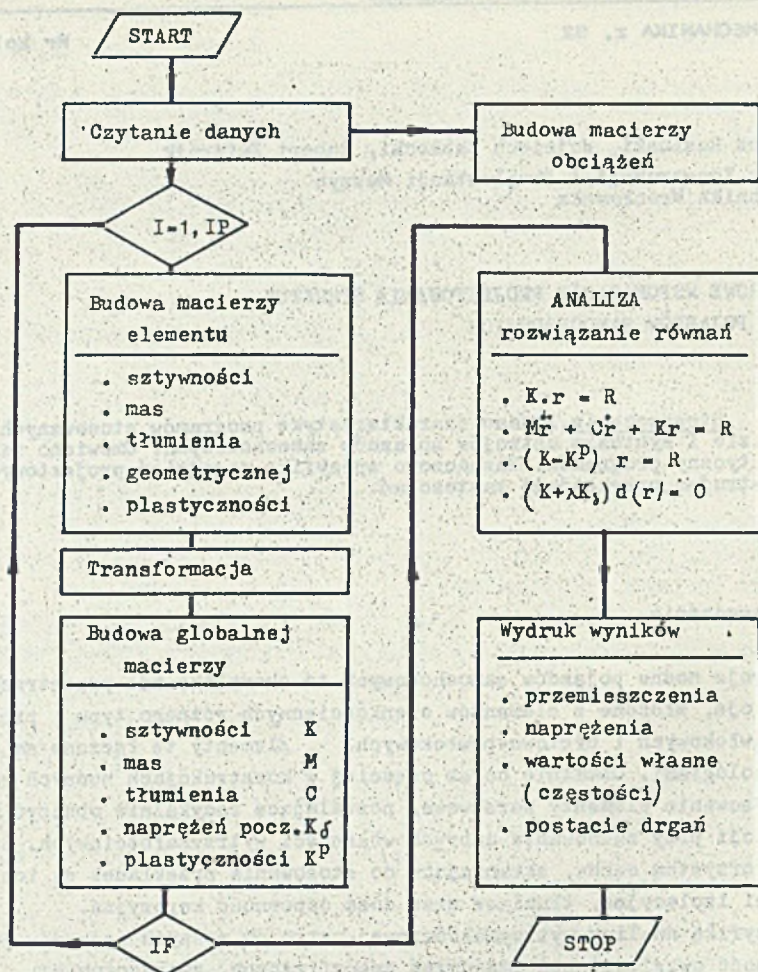
1. Wprowadzenie

Ustroje nośne pojazdów samochodowych to skomplikowane przestrzenne konstrukcje, złożone z elementów cienkościennych różnego typu pręto - wych, powłokowych i prętowo-powłokowych. Elementy te łączone są różnymi technologiami. Ostatnio coraz częściej w konstrukcjach nośnych znajdują zastosowanie elementy warstwowe, pozwalające radykalnie obniżyć masę konstrukcji przy zachowaniu dobrych własności wytrzymałościowych. Szczególnie korzystną cechą, skłaniającą do stosowania przekładek są ich dobre własności izolacyjne, tłumiące oraz duża odporność korozyjna.

Specyfiką analizy wytrzymałościowej ustrojów nośnych pojazdów jest konieczność uwzględnienia zagadnień specyficznych, związanych z:

- nieswobodnym skręcaniem prętów cienkościennych [1] stosowanych np. w ramach podwozi samochodów ciężarowych [2],
- uwzględnieniem rzeczywistej sztywności nitowanych i spawanych spoinami otworowymi połączeń (węzłów) ram podwozi [3],
- stosowaniem elementów warstwowych w nadwoziach i ramach pojazdów ciężarowych [4].

Wspomaganie procesu konstruowania zastosowano w etapie analizy wytrzymałości oraz związanej z tym optymalizacji konstrukcji. Programy analizy wytrzymałościowej oparto na metodzie elementów skończonych [5]. Zastosowana metoda pozwoliła zachować ogólny schemat postępowania, wspólny większości zagadnień. Programy zbudowane są z szeregu wspólnych bloków (w praktyce w postaci podprogramów) o standaryzowanym układzie połączeń. Schemat blokowy systemu, ukazujący jego merytoryczną zawartość, pokazano na rys.1.



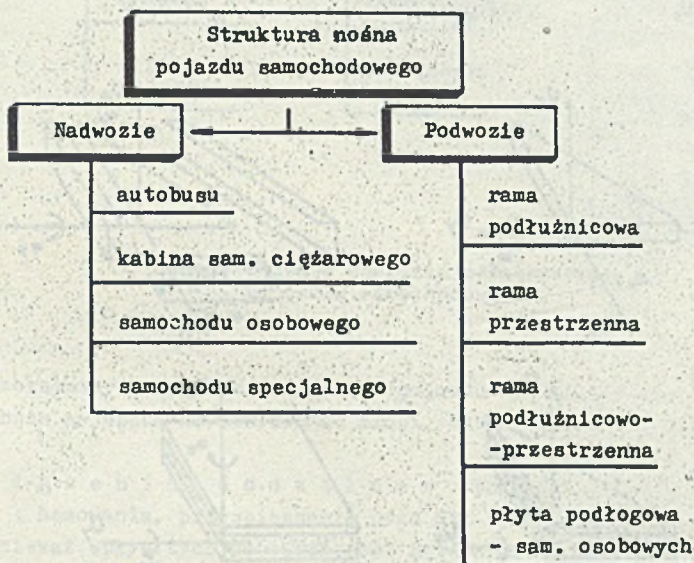
Rys.1. Schemat blokowy

Przy wspomaganiu komputerowym konstruowania struktur nośnych pojazdów do ważniejszych zagadnień zalicza się:

- model obliczeniowy,
- obciążenia zewnętrzne,
- analizę wytrzymałościową,
- weryfikację doświadczalną.

2. Model obliczeniowy

Podstawowymi układami nośnych pojazdów samochodowych są : struktura nośna autobusu, rama samochodu ciężarowego z kabiną oraz struktura nośna nadwozia osobowego. Ogólnie ustroje nośne możemy podzielić na nadwozie i podwozie. Podział struktur nośnych podzespołów samochodowych przedstawiono na schemacie blokowym (rys.2) .



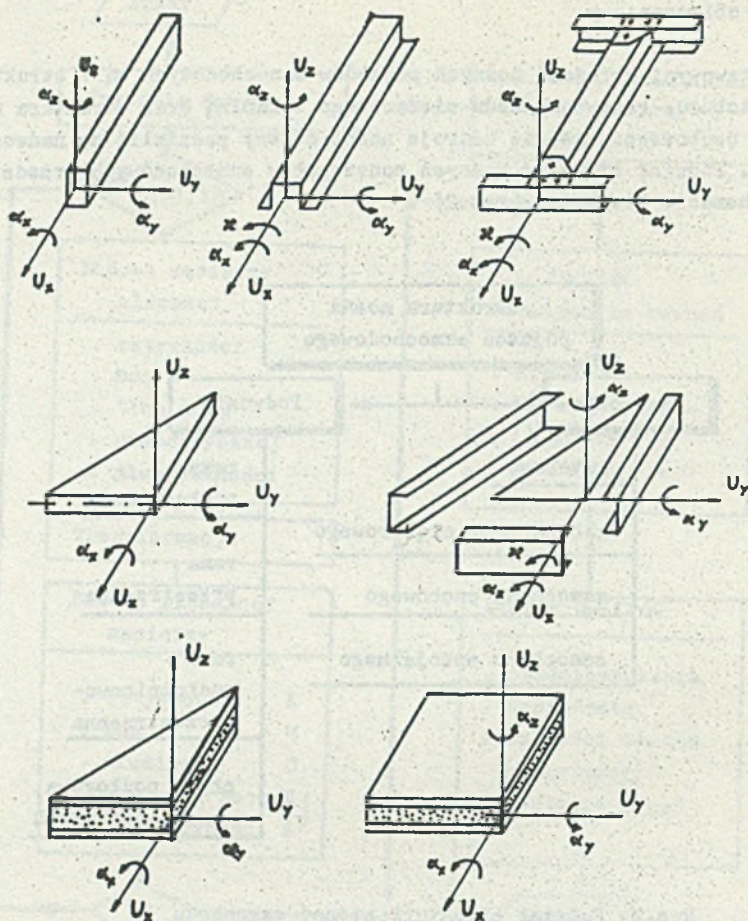
Rys.2. Podział struktury nośnej samochodu

W fazie wspomagania komputerowego przy projektowaniu ustrojów nośnych pojazdów samochodowych ważne jest określenie modelu teoretycznego. W modelu tym wyróżnia się część strukturalną oraz matematyczną. Model strukturalny określa się poprzez idealizację ustroju nośnego za pomocą elementów skończonych.

W modelach obliczeniowych konstrukcji nośnych konieczne jest użycie różnego typu elementów równocześnie. Zestawienie elementów pokazano na rys.3.

W fazie idealizacji konstrukcji stosowane są m.in. nietypowe i oryginalne elementy, takie jak :

- prętowy, z uwzględnieniem teorii nieswobodnego skręcania oraz rzeczywistej sztywności skrętnej węzłów,
- prętowo-tarczowy, prętowo-płytowy i prętowo-powłokowy,
- przekładkowy (belkowy, tarczowy, płytowy i powłokowy) .



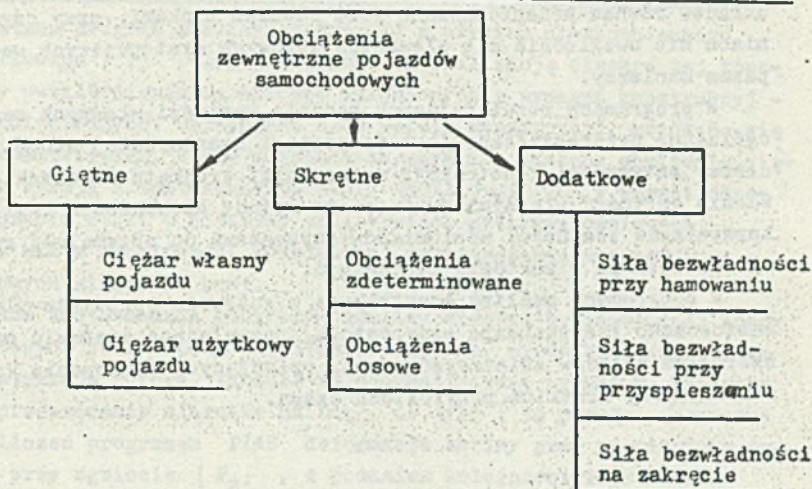
Rys.3. Rodzaje elementów skończonych

3. Obciążenia zewnętrzne

Na pojazd samochodowy działają trzy grupy obciążeń zewnętrznych (rys. 4), które decydują o wytrzymałości doraźnej ustroju nośnego.

Do pierwszej grupy zalicza się obciążenia giętne, które pochodzą od ciężarów poszczególnych elementów i zespołów samochodu oraz ładunku użytecznego. W obciążeniu tym nie uwzględnia się mas nierezorowanych, osi przedniej oraz tylnego mostu z resorami i kołami.

Obciążenie skrętne wywołane jest momentem skręcającym pojazd. Moment ten powstaje podczas jazdy samochodem po nierównościach drogi i na przeszkodach drogowych (dziury, krawężniki). Najbar-



Rys.4. Rodzaje obciążeń zewnętrznych pojazdów samochodowych

dzień niekorzystny przypadek obciążenia pojazdu występuje, gdy jedno z kół samochodu najjeżdża na nierówność drogi, zaś drugie traci kontakt z jezdnią.

Obciążenia dodatkowe pochodzą głównie od sił bezwładności: hamowania, przyspieszania oraz sił bocznych (jazda na zakręcie). Ponieważ wpływ tych obciążeń jest bardzo mały, pomija się je w zagadnieniach wytrzymałościowych ustrojów nośnych pojazdów.

4. System specjalistyczny

Opracowany w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej system specjalistycznych programów obliczeniowych układów nośnych pojazdów [6] tworzą programy analizy statycznej i dynamicznej oraz optymalizacji konstrukcji, wykorzystujące elementy prętowe (cienkościenne i lite), płytowe, tarczowe, powłokowe i warstwowe wraz z kombinacjami (np. element prętowo-płytowy itp.) oraz programy analizy sprężysto-plastycznej konstrukcji prętowych.

W procedurach budowy macierzy sztywności konstrukcji stosowane są sposoby jej "oszczędnej" budowy. Wykorzystywana jest symetria i pasmowa budowa macierzy sztywności konstrukcji. W programach analizy macierz sztywności budowana jest blokami i składowana w pamięci zewnętrznej. W procedurach rozwiązywania układów równań liniowych stosuje się metody eliminacji Gaussa przy użyciu minimalnej liczby operacji. Rozwiązywanie

układów równań przeprowadzane jest również blokami, przy czym w obliczeniach nie uwzględnia się elementów zerowych występujących wewnątrz pół - pasma macierzy.

W programach rozwiązujących zadania wartości własnych zagadnienie uogólnione przekształćcane jest do postaci standardowej drogą rozkładu macierzy szywności konstrukcji na czynniki trójkątne Choleskiego. Do określenia wartości własnych zastosowano metodę Richardsona bazującą na wykorzystaniu własności wielomianów Czybyszewa do optymalnej redukcji błędu rozwiązania w wektorze iterowanym.

W programach analizy konstrukcji w zakresie sprężysto-plastycznym zastosowano postępowanie przyrostowe, pozwalające zastąpić cały układ szeregiem układów zlinearyzowanych, opisujących zachowanie konstrukcji w kolejnych, krótkich przyrostach czasu.

5. Przykłady zastosowań

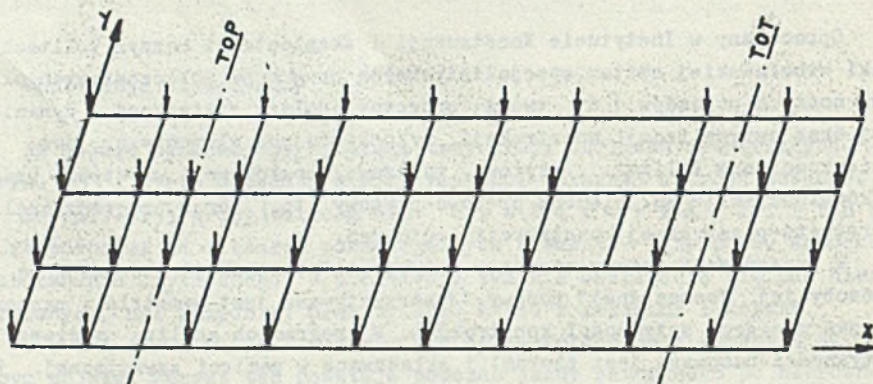
Programy wykorzystano przy projektowaniu układów nośnych:

- ram samochodowych i przyczep o różnej technologii łączenia elementów (wraz z procedurami optymalizacji konstrukcji) ,
- nadwozi autobusów,
- podwozi żurawi samojezdnych,
- kabin samochodów ciężarowych oraz kabin bezpiecznych maszyn budowlanych i ciągników.

Zastosowanie programów zilustrowano przykładami pokazanymi na rys.

5 - 9 .

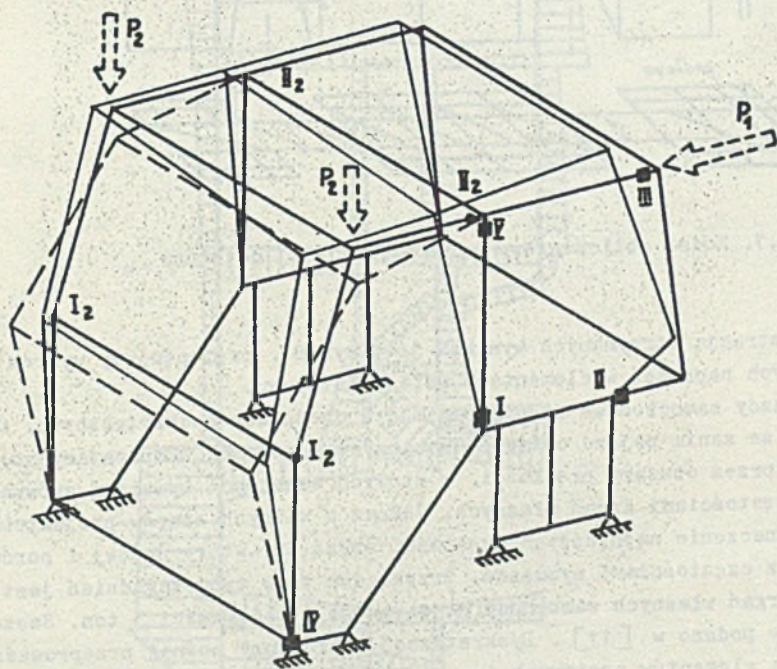
Przykładem zastosowań systemu w analizie i optymalizacji konstrukcji jest rama przyczepy o ładowności 14 ton, której schemat obliczeniowy pokazano na rys.5.



Rys.5. Model ramy przyczepy

Wykorzystano program analizy statycznej z użyciem cienkościennego elementu belkowego [7] . Przeprowadzono optymalizację ciężaru tej konstrukcji przy uwzględnieniu ograniczeń wyłożonych z wymagań konstrukcyjnych i technologicznych. Oprasowano dwie wersje konstrukcji, różniące się zastosowanym materiałem. W obu przypadkach uzyskano znaczne obniżenie ciężaru (30% w wersji z zastosowaniem stali 18G2A oraz 20% w wersji odpowiadającej użyciu stali o niższych własnościach wytrzymałościowych), przy lepszym niż w konstrukcji podstawowej wykorzystaniu własności wytrzymałościowych elementów ramy.

Przykładem zastosowania programów analizy sprężysto-plastycznej konstrukcji prętowych jest kabina bezpieczna ciągnika, wykonana jako przestrzenna konstrukcja rurowa. Zgodnie ze znormalizowaną procedurą badawczą modelowano przewrócenie ciągnika na bok, do tyłu i do przodu. Wyznaczono drogą obliczeń programem PLAS deformacje kabiny przy uderzeniu z tyłu (P_1) i przy zgnioście (P_2), z podaniem kolejności powstawania przegubów plastycznych pokazano na rys.6.

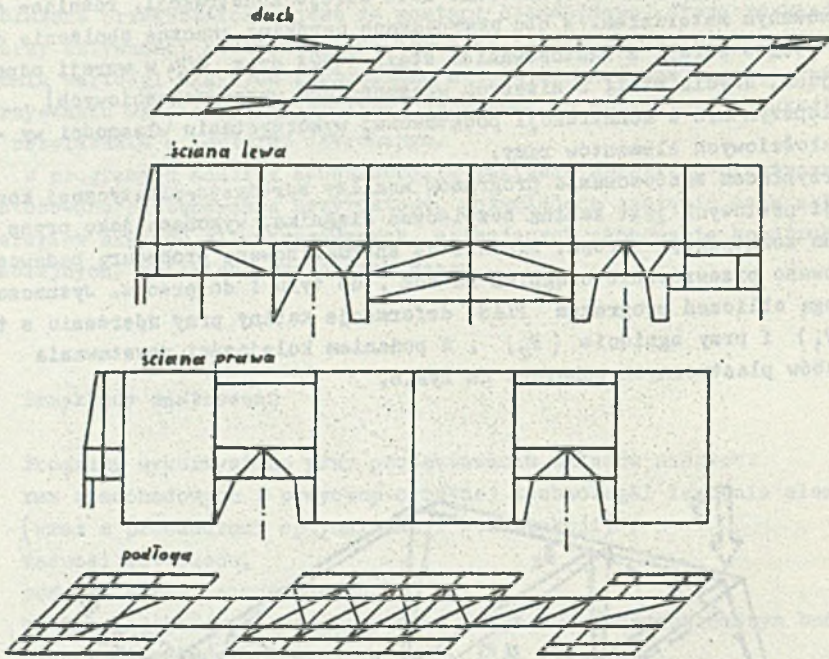


Rys.6. Rozwój stref plastycznych i deformacji w kabynie ochronnej ciągnika

Przeguby plastyczne:

- uderzenie z tyłu
- zgniót z przodu

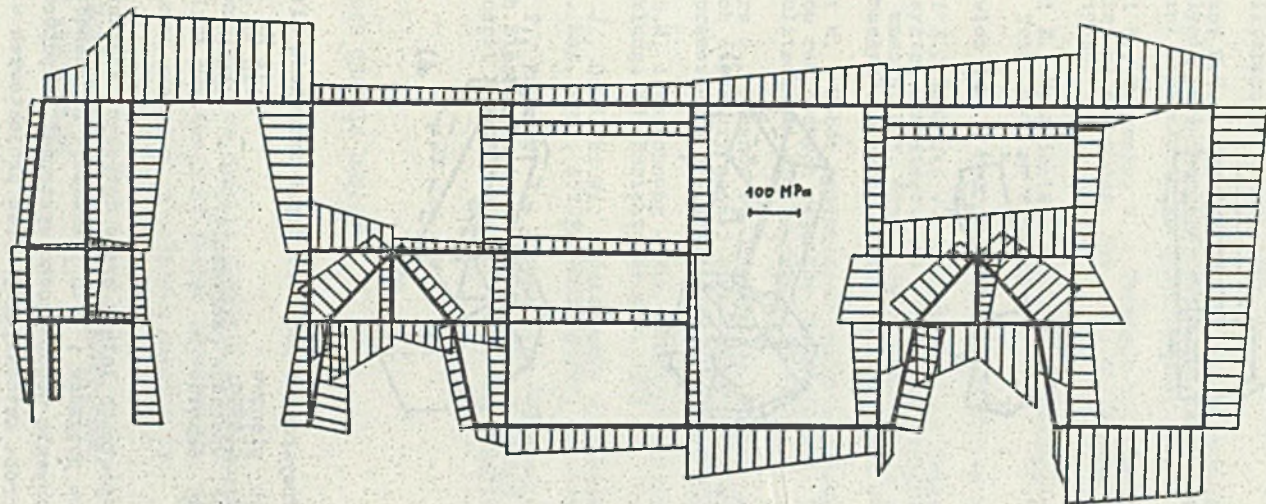
Programy analizy statycznej przestrzennych konstrukcji prętowo-powłokowych stosowano w projektowaniu autobusu [8], którego model obliczeniowy przedstawia rys.7.



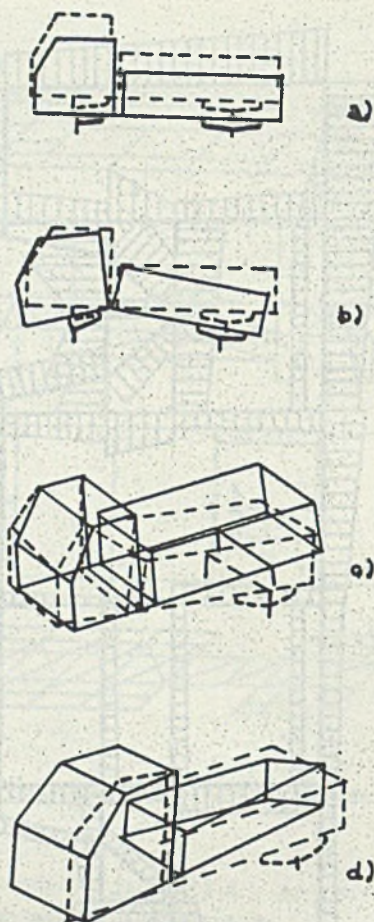
Rys.7. Model obliczeniowy struktury nośnej autobusu

Ilustracją otrzymanych wyników jest rys.8, prezentujący wykres zredukowanych naprężeń w elementach ściany autobusu.

Pojazdy samochodowe często pracują w obszarach nadkrytycznych. Oznacza to, że zanim pojazd osiągnie nominalne prędkości eksploatacyjne, musi przejść przez obszary prędkości, w których częstotliwości wymuszeń zrównają się z częstotliwościami drgań własnych. Jednym z ważnych etapów projektowania jest wyznaczenie najniższych częstotliwości drgań struktury nośnej i porównanie ich z częstotliwościami wymuszeń. Przykładem tego typu zagadnień jest analiza drgań własnych samochodu ciężarowego o ładowności 5 ton. Szczegółowe dane podano w [11]. Dyskretyzację struktury nośnej przeprowadzono za pomocą elementów prętowych i powłokowo-płaskich. Otrzymane z obliczeń najniższe częstotliwości drgań własnych podano w opisie rys.9.



Rys.8. Rozkład naprężeń sumarycznych w ścianie autobusu.



Rys.9. Przykładowe postacie drgań samochodu ciężarowego:

a)	pionowe	- 3,12 Hz
b)	giętnie	- 3,48 Hz
c)	wzdłużne (kołysanie)	- 5,52 Hz
d)	skrętne	- 11,04 Hz

Publikowane w ostatnich latach prace dotyczące zagadnień projektowania struktur nośnych pojazdów [9,10] wskazują na rosnące znaczenie automatyzacji konstruowania wspomaganego systemami komputerowymi. Przedstawiony system jest próbą automatyzacji prac projektowych w zakresie analizy wytrzymałościowej ustrojów nośnych pojazdów.

LITERATURA

- [1] Vlasov V.Z. : Tonkostennyye uprugie sterzheni.. Gosud. izdat. fiziko-matem. literatury, Moskwa 1959.
- [2] Shkolnikov M.B. : Applications of the Thin-Walled Beam Theory in the Analysis of Automobile Structures. Int. Conference on Vehicular Structural Mechanics. SAE 840731, 1984.
- [3] Rusiński R., Teisseyre J. : Torsional stiffness of chassis frames with point-welded nodes. Int. Con. on Vehicle Structures. I Mech E, London 1984.
- [4] Rusiński E., Wrzecioniarz P.A. : Rama samochodowa z elementów warstwowych. Tech. Mot. nr 8/1983.
- [5] Zienkiewicz O.C. : Metoda elementów skończonych. Warszawa, Arkady 1972.
- [6] Rusiński E., Zabłocki W., Czmochoński J., Zwiernik R. : Specjalistyczny system komputerowy do analizy wytrzymałościowej ustrojów nośnych maszyn. Mat. Konf. "Nowoczesne metody badawcze w problemach budowy maszyn". Zeszyty Naukowe Politechniki Pozn. Nr 30/1984.
- [7] Zabłocki W. : Dobór optymalnych wymiarów przekrojów poprzecznych elementów ram nośnych pojazdów samochodowych. Praca doktorska, IKiEM Politechniki Wrocławskiej, 1981.
- [8] Teisseyre J., Romanów F., Rusiński E. : Obliczenia na maszynach cyfrowych struktury nośnej nadwozia autobusu miejskiego. Raport serii Sprawozdania nr 042/84, IKiEM Politechniki Wrocławskiej.
- [9] Braess H.H. : Berechnung - Ein wichtiger Teilbereich der Fahrzeugentwicklung. VDI-Berichte Nr 444, 1982.
- [10] Osiecki J., Osmólski W., Waściszewski J. : Metodologia powstawania pojazdu. Mat. Konf. AUTOPROGRES' 83/84, Jadwisin 1984.
- [11] Romanów F., Rusiński E., Słomka A. : Obliczenie ram samochodów ciężarowych Star o rozstawie osi 4 200 i 4 800 i ładowności 12,5 t. Raport serii Sprawozdania nr 308/76 IKiEM Politechniki Wrocławskiej.

COMPUTER - AIDED CHASSIS DESIGN

S u m m a r y

The programs used to chassis analysis and synthesis have been described. The specific character of design problems has been stressed and illustrated by some examples of programs application.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
НЕСУЩИХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

Р е з ю м е

Дана характеристика программ, применяемых при анализе и синтезе несущих систем автомобилей. Обсужден тематический диапазон программ. Обращено внимание на сложность проектных вопросов, иллюстрируя примерами применений.