

ZAGADNIENIA KOMPUTEROWEGO STEROWANIA W WARUNKACH RÓWNOWAGI KINETYCZNEJ KONSTRUKCJI

Tadusz Chyży, Andrzej Kazberuk
Mikołaj Syczewski, Rościśław Tribiło

Politechnika Białostocka

Streszczenie

W artykule przeprowadzono analizę warunków sterowania mikrokomputerowego oraz warunki pracy urządzeń wykonawczych i elektroniki kontrolno-pomiarowej w sterowalnych konstrukcjach inżynierskich. Przedstawiono koncepcję transformacji układów budowlanych ze stanu równowagi statycznej do stanu równowagi kinetycznej. Prezentowane rozwiązanie umożliwia zwiększenie nośności konstrukcji, zwiększenie bezpieczeństwa użytkownika oraz zapewnia bezpieczną pracę układu w nieprzewidywalnym stanie obciążeń zewnętrznych, np. obciążenia sejsmiczne.

1 Wstęp.

Dynamiczny postęp w dziedzinie inżynierii materiałowej i związany z tym rozwój przemysłu elektronicznego umożliwił opracowanie nowoczesnych technologii masowej produkcji układów scalonych wielkiej skali integracji. Pozwoliło to połączyć w jedną strukturę wielu funkcji komputera, takich jak: pamięci stałe i zmienne, układy komunikacji poprzez porty wejścia-wyjścia, oraz jednostki arytmetyczno-logicznej. W ten sposób zrealizowano mikrokomputery jednoukładowe [1, 2]. Ich stosunkowo niska cena oraz dostępność stworzyły szeroką perspektywę stosowania także w układach elektroniki kontrolno-pomiarowej i sterującej w zastosowaniu do konstrukcji budowlano-inżynierskich.

W niniejszym artykule autorzy przedstawiają zagadnienia związane z mikrokomputerowym sterowaniem oraz optymalizacją nośności w układach budowlanych pracujących w zakresie równowagi kinetycznej, poddanych obciążeniom zmiennym, zarówno w funkcji czasu, jak i w funkcji położenia (obciążenia ruchome).

2 Analiza belki w warunkach równowagi kinetycznej.

W układach konwencjonalnych z ruchomą siłą, maksymalny stan wyężenia konstrukcji powodowany jest siłą umieszczoną w połowie rozpiętości takiego układu belkowego, co wynika ze wzoru na rozkład momentu pod siłą ruchomą [3]

$$M_x^{\max} = R_A \cdot x = P_{(t,x)} \cdot \frac{l-x}{l} \cdot x = P_{(t,x)} \cdot \left(x - \frac{x^2}{l}\right), \quad (1)$$

oraz ze wzoru normowego na nośność obliczeniową przekroju jednokierunkowo zginanego [4]

$$M_R = \alpha_p \cdot W \cdot f_d, \quad (2)$$

gdzie:

$P_{(t,x)}$ - obciążenie zmienne w funkcji czasu i położenia,

l - rozpiętość belki,

W - wskaźnik wytrzymałości przekroju,

α_p - obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej,

f_d - wytrzymałość obliczeniowa stali.

Ze wzorów (1) i (2) wynika, że dla prostych belek o stałym przekroju (np. z profili walcowanych), znaczna część nośności jest niewykorzystana. Dlatego w celu efektywniejszego wykorzystania nośności przekroju, przy dowolnym stanie obciążeń, autorzy artykułu proponują układ, którego stan równowagi został przesunięty w zakres równowagi kinetycznej.

Proponowane rozwiązanie polega na redukcji stanu momentowego poprzez transformację oddziaływań do sił osiowych przekroju. Model konstrukcji pokazano na rysunku 1 gdzie:

Rys.1

1. - belka,
2. - i-ten układ wykonawczy siłownik,
3. - ciągnio nośne,
4. - głowice centrujące z układem kontroli napięcia cięgna,
5. - mikroprocesorowy układ kontrolno-sterujący,
6. - magistrale kontrolno-pomiarowe i sterujące.

Z równowagi węzła C można wyznaczyć wartości sił w cięgnie napinającym S oraz wartość obciążenia osiowego H

Rys. 2

$$\sum X = -S_A^i \cdot \cos \alpha_i + S_B^i \cdot \cos \beta_i = 0, \quad (3)$$

$$\sum Y = S_A^i \cdot \sin \alpha_i + S_B^i \cdot \sin \beta_i - W_i = 0,$$

skąd

$$S_A^i = W_i \cdot \frac{\cos \beta_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)}, \quad (4)$$

$$S_B^i = W_i \cdot \frac{\cos \alpha_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)}.$$

Wartości sił poziomych

$$H_A^i = S_A^i \cdot \cos \alpha_i, \quad H_B^i = S_B^i \cdot \cos \beta_i. \quad (5)$$

Po podstawieniu równań (4) otrzymamy, że

$$H_A^i = H_B^i = H_i,$$

przy czym siła osiowa H_i ma wartość

$$H_i = W_i \cdot \frac{\cos \alpha_i \cdot \cos \beta_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)} = W_i \cdot \frac{1}{\tan \alpha_i + \tan \beta_i}. \quad (6)$$

Przy n -tej liczbie układów wykonawczych siła osiowa H będzie sumą sił osiowych wprowadzonych przez każdy z siłowników W_i

$$H = \sum_{i=1}^n H_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{1}{\tan \alpha_i + \tan \beta_i}. \quad (7)$$

Trygonometryczne funkcje kątów podane są wzorami

$$\alpha_i = \arctan \left(\frac{b_i + \Delta b_i}{l_i} \right), \quad \beta_i = \arctan \left(\frac{b_i + \Delta b_i}{l - l_i} \right), \quad (8)$$

gdzie:

b_i - długość minimalna i -tego siłownika,

Δb_i - zakres zmian długości i -tego siłownika.

Podstawową cechą prezentowanego rozwiązania jest możliwość dowolnego kształtowania schematu zastępczego (obliczeniowego) belki, gdyż punkty przyłożenia siłowników do układu belkowego można traktować jako podpory

pośrednie o regulowanych parametrach; przykładowo jako więzy sprężyste o regulowanej podatności $\frac{1}{k_i}$, lub jako więzy z możliwością zadawania konkretnych przemieszczeń Δ_i . Schemat zastępczy pokazano na rysunku 3.

Rys. 3

Rozpatrzono dwa schematy:

Schemat belki ciągłej.

W tym schemacie przyjmuje się, że ugięcia w punktach podporowych $i = 1..n$, nie zmieniają się i w szczególnym przypadku są równe zero, czyli

$$y_{i=1..n} = 0. \quad (9)$$

Przypadek jest szczególnie przydatny przy przenoszeniu obciążeń o charakterze ciągłym, na przykład od ciężaru własnego konstrukcji. Natomiast dla obciążenia skupionego znajdującego się w danej chwili czasowej w przedziale $x_j \in \langle l_i, l_{i+1} \rangle$ można przyjąć model

$$y_i = y_{i+1} = 0, \quad (10)$$

gdyż tego typu schemat eliminuje możliwość wystąpienia sił rozciągających w układach siłownikowych. W obu przypadkach momenty zginające

$$M_{i=1..n} \neq 0. \quad (11)$$

Schemat belki ciągłej przegubowej.

W tym przypadku momenty zginające na i -tej podporze zakłada się jako zerowe

$$M_{i=1..n} = 0, \quad (12)$$

lub jak w poprzednim schemacie

$$M_i = M_{i+1} = 0. \quad (13)$$

W obu przypadkach ugięcia na podporach pośrednich będą różne od zera

$$y_{i=1..n} \neq 0. \quad (14)$$

W zależności od przyjętego modelu zależy rozkład sił W_i w siłownikach, wartość siły osiowej H oraz rozkład sił wewnętrznych w samej konstrukcji belkowej.

3 Układy sterowania i kontroli.

Podstawowym zadaniem układów sterowania i kontroli jest zapewnienie bezpiecznej pracy konstrukcji. Warunek ten determinuje szczegółowe zadania poszczególnych podukładów [5], które są następujące:

- Układy kontroli i sterowania:

- kontrola i pomiar parametrów obciążenia zewnętrznego, w tym wartości obciążeń oraz ich położenia,
- sterowanie urządzeniami wykonawczymi,
- kontrola parametrów granicznych poszczególnych elementów układu i zapewnienie bezpiecznej pracy konstrukcji,
- gromadzenie informacji o historii pracy układu oraz umożliwienie okresowej obsługi operatorskiej.

Na rysunku 4 pokazano schemat mikroprocesorowego układu kontrolno sterującego a na rysunku 5 przedstawiono uproszczony schemat blokowy działania tego układu.

Rys.4

O aktualnych parametrach stanu pracy konstrukcji, takich jak: wartości ugięć, wartości obciążeń zewnętrznych i ich położenia, wartości sił w ciągnie i w układach siłownikowych informują elektroniczne urządzenia pomiarowe i kontrolne, w tym detektory parametrów granicznych, które przesyłają informacje do układu sterującego poprzez linie danych, zwane magistralami kontrolno-pomiarowymi [6]. Schemat urządzeń kontrolno-pomiarowych pokazano na rysunku 6.

Rys.5

Rys.6

- Układy wykonawcze:

- wprowadzenie przeciwsil W odpowiednich do wartości i położenia obciążenia zewnętrznego,
- detekcja i sygnalizacja możliwości przekroczenia parametrów granicznych.

Schemat ideologiczny układu pokazano na rysunku 7. Parametry graniczne siłownika to na przykład jego maksymalna i minimalna długość robocza lub maksymalna siła. Przez medium robocze oznaczono rodzaj zasilania układów wykonawczych a tym samym i typ siłowników, które w związku z tym mogą być układami hydraulicznymi, pneumatycznymi lub elektrycznymi.

Rys.7

Podstawowe warunki poprawnej pracy układu:

- nieprzekroczenie warunków I i II stanu granicznego,
- zapewnienie stateczności konstrukcji w przypadku działania ściskających sił osiowych H ,
- praca w czasie rzeczywistym układów sterujących i wykonawczych. Czas reakcji tych układów musi być nie większy niż szybkość zmian parametrów obciążeń zewnętrznych

$$\tau_s \leq \tau_z, \quad (15)$$

gdzie:

τ_z - szybkość zmian obciążeń zewnętrznych,

τ_s - czas reakcji układów sterujących i wykonawczych.

Czas reakcji układów sterujących i wykonawczych jest zdeterminowany przez:

- bezwładność układów pomiarowych,
- szybkość pomiaru, w tym częstotliwość próbkowania sygnału,
- czas obróbki sygnałów analogowych i konwersji na postać cyfrową,
- szybkość kodowania i przesyłania informacji przez magistrale oraz dekodowania sygnału,
- czas programowej obróbki informacji wraz z procesem decyzyjnym realizowanym przez jednostkę centralną,
- szybkość transmisji i dekodowania sygnałów sterujących,
- czas reakcji układu wykonawczego, zależny od typu urządzenia i medium roboczego.

4 Zakończenie.

Prezentowany układ należy zaliczyć do grupy konstrukcji specjalnych. Jedną z cech układu jest jego skomplikowność, natomiast podstawowe zalety to:

- możliwość pracy konstrukcji w warunkach nieprzewidywalnego stanu obciążeń, na przykład obciążenia sejsmiczne,
- inteligentna oraz aktywna praca układu zapewniająca większe bezpieczeństwo użytkownika,
- zwiększenie nośności w stosunku do analogicznych układów konwencjonalnych,
- automatyczna optymalizacja pracy konstrukcji.

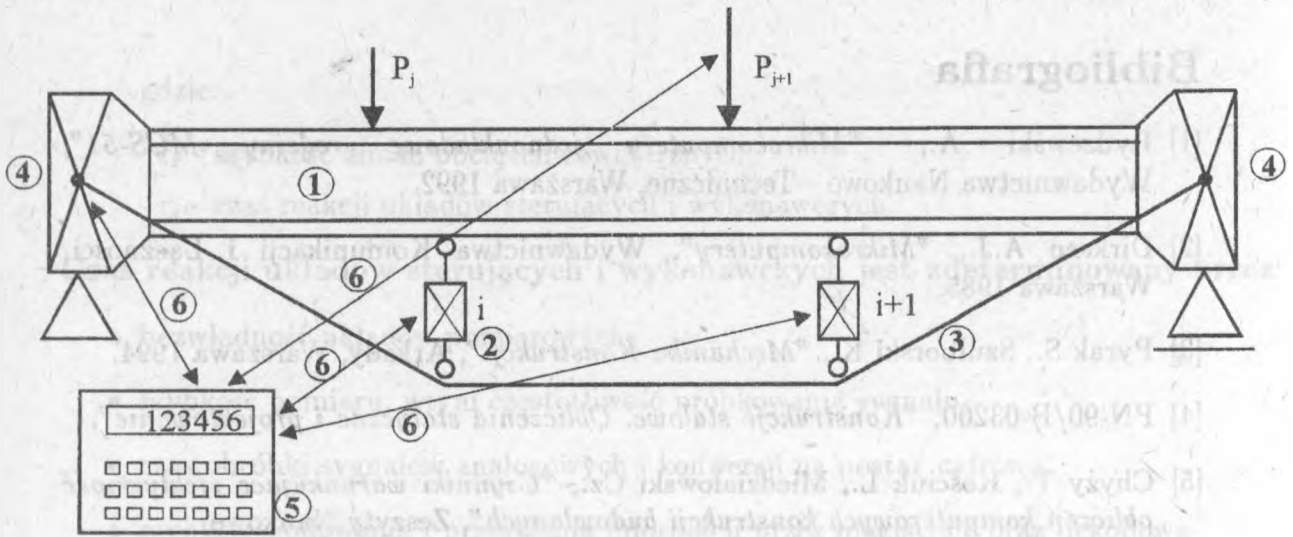
Ze względu na złożoność zagadnień związanych z analizą konstrukcji budowlanych w zakresie równowagi kinetycznej, prace w tej dziedzinie są intensywnie kontynuowane w Katedrze Mechaniki Budowli Politechniki Białostockiej, w tym również dla innych niż prętowe typów konstrukcji.

Bibliografia

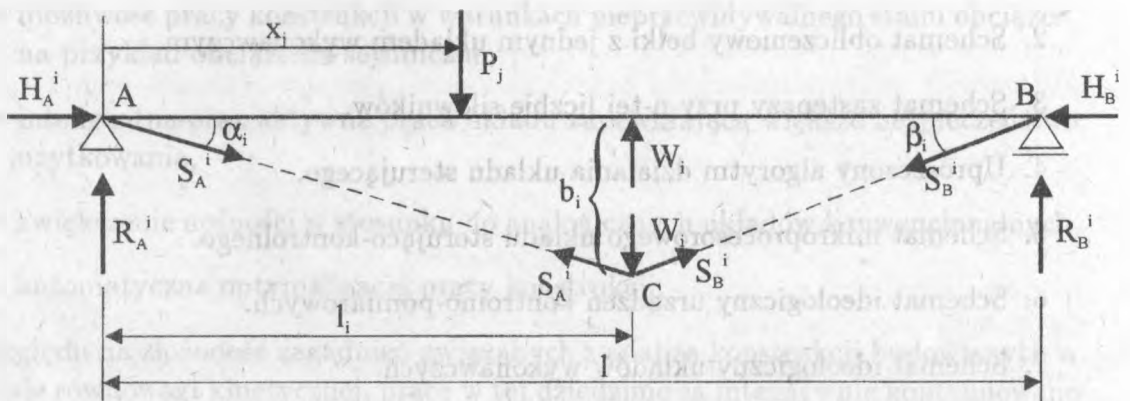
- [1] Rydzewski A., "Mikrokomputery jednoukładowe rodziny MCS-51", Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1992.
- [2] Dirksen A.J., "Mikrokomputery", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
- [3] Pyrak S., Szulborski K., "Mechanika Konstrukcji", Arkady, Warszawa 1994.
- [4] PN-90/B-03200, "Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie".
- [5] Chyży T., Kościuk L., Miedziałowski Cz., "Czynniki warunkujące efektywność obliczeń komputerowych konstrukcji budowlanych", Zeszyty Naukowe "BUDOWNICTWO" nr 5, 1986.
- [6] Borczyński J., Dumin P., Mliczewski A., "Podzespoły elektroniczne. Półprzewodniki", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.

Spis rysunków

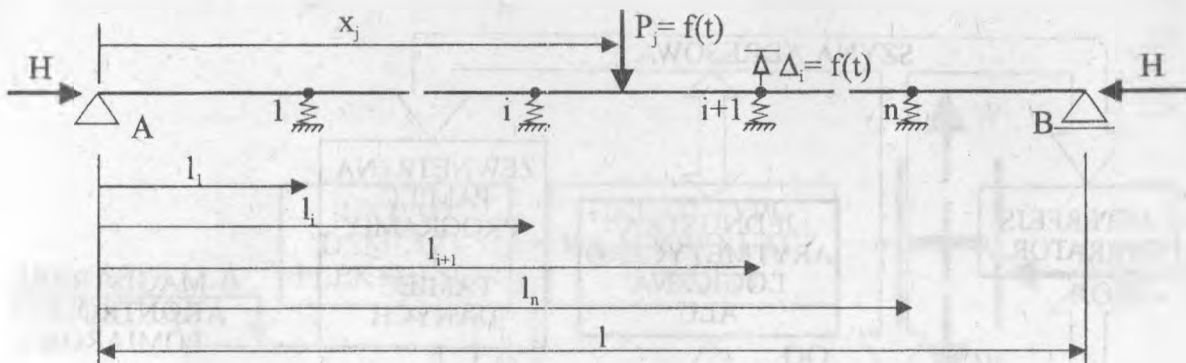
1. Model konstrukcji w stanie równowagi kinetycznej.
2. Schemat obliczeniowy belki z jednym układem wykonawczym.
3. Schemat zastępczy przy n-tej liczbie siłowników.
4. Uproszczony algorytm działania układu sterującego.
5. Schemat mikroprocesorowego układu sterująco-kontrolnego.
6. Schemat ideologiczny urządzeń kontrolno-pomiarowych.
7. Schemat ideologiczny układów wykonawczych.



Rys. 1



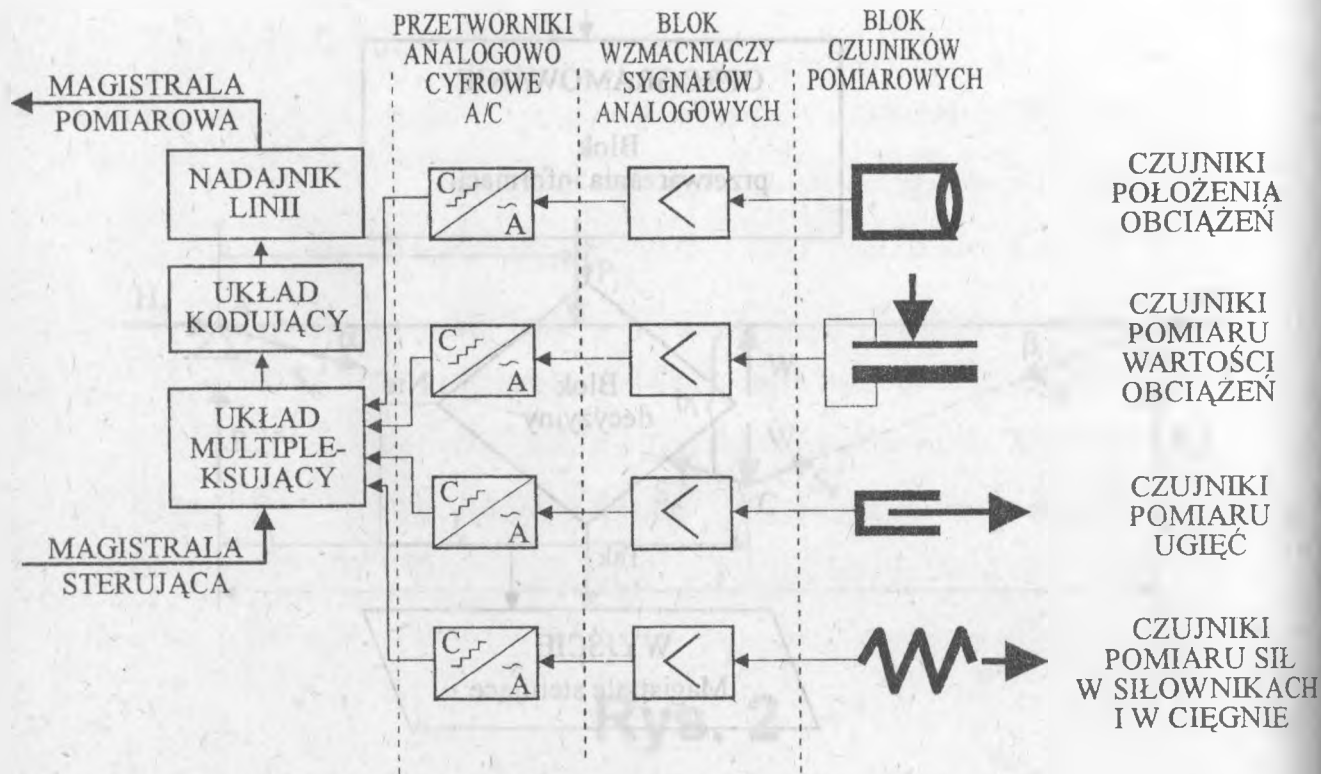
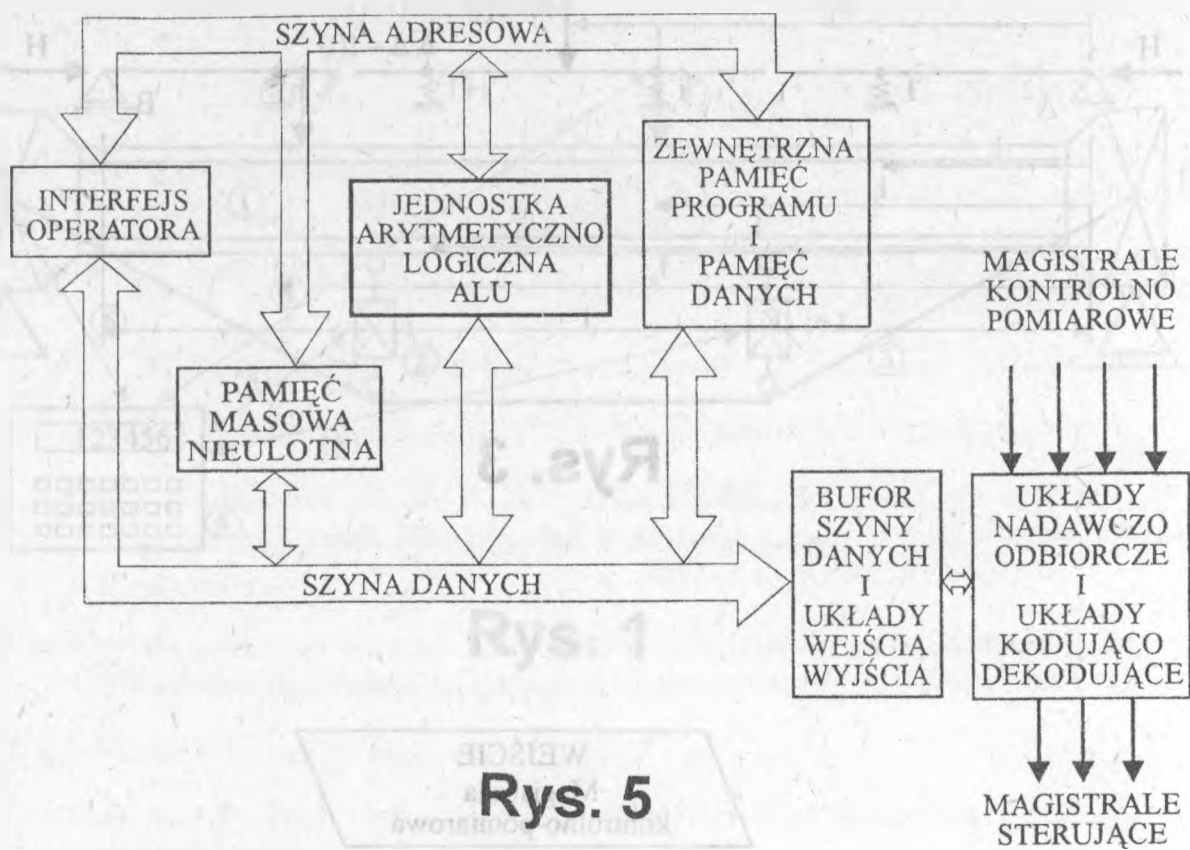
Rys. 2

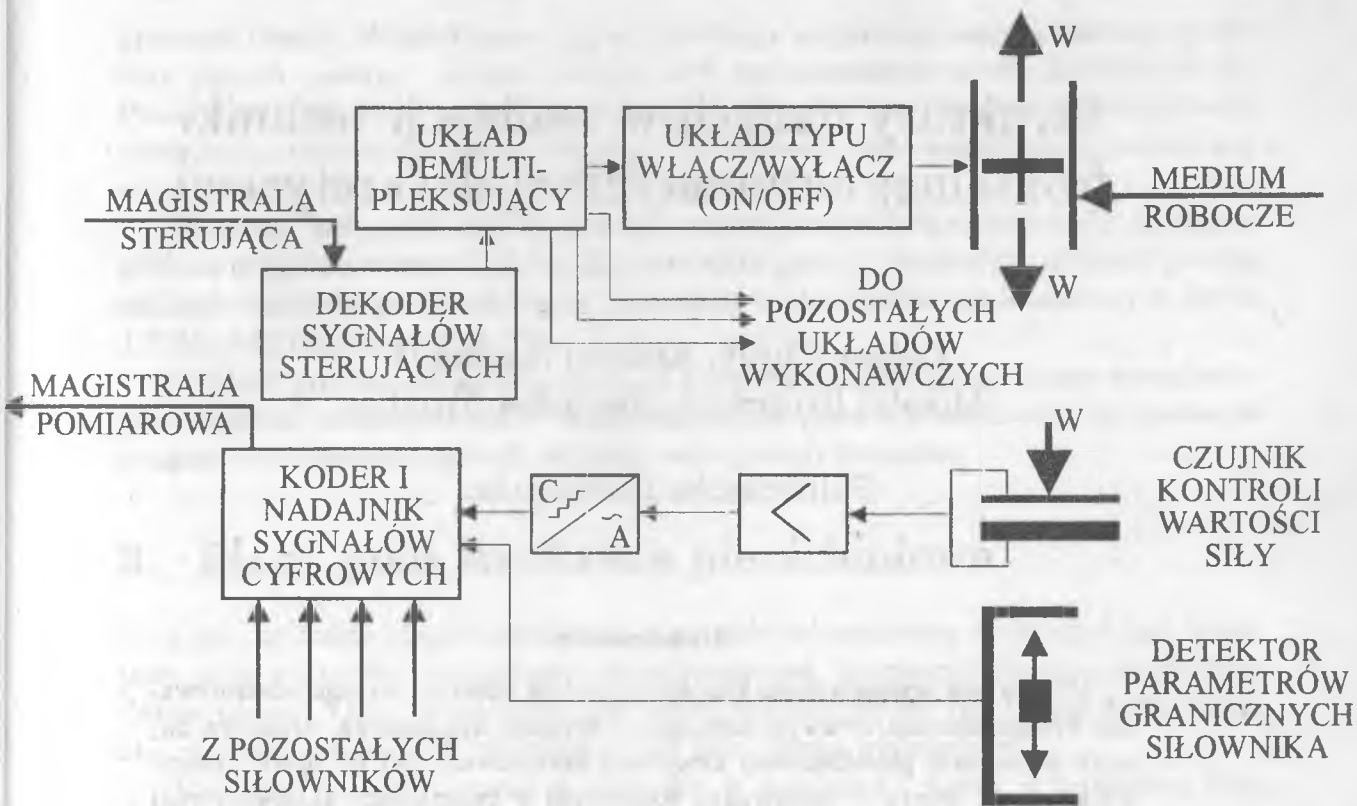


Rys. 3



Rys.4





Rys. 7