

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Automatyki Mechanicznej

074

A

Główny wykonawca mgr inż. Jan Jabłkowski

Wykonawcy Marzena Bachtin, Jan Jabłkowski, Witold Płaskowski
Krystyna Fijałkowska

Konsultant

Nr zlecenia 1410.02.B

Komputerowa symulacja dynamiki
ruchów robota prostego.

Etap 6. Optymalizacja i racjonalizacja
konstrukcji robota PR-02.

Zleceńodawca Problem węzkowy 06.1

Pracę rozpoczęto dnia 1.04.81r

zakończono dnia 15.02.82r

Kierownik Zespołu

Kierownik Ośrodka

doc.dr inż. A.Serwach

p.o Z-cy dyr.d/s
Automatyki

dr inż. T.Gałązka

dr inż. T.Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 40

Egz. 1 BOINTE

rysunków 19

Egz. 2 OAM

fotografii —

Egz. 3 OAM

tabel 18

Egz. 4 OBN

tablic —

Egz. 5

załączników 2

Egz. 6

Nr rejestr. 4776

el

Analiza deskrypcyjowa: **MODELOWANIE MATEMATYCZNE + SYMULACJA KOMPUTEROWA**
OPTIMALIZACJA MATEMATYCZNA + ROBOTY PROSTE

Analiza dokumentacyjna Sprawozdanie obejmuje etap 6 zlecenia. Omówiono zmiany i uzupełnienia wprowadzone w modelach. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dla zmian obciążenia, uszczelnienia, ciśnienia zasilania, temperatury otoczenia, ustawienia zderzaków, powierzchni i skoku amortyzatora. Zbadano celowość użycia amortyzatora olejowego, uproszczonej struktury zasilania, skróconej długości siłownika. Do sprawozdania dołączone procedurę optymalizacyjną służącą do automatycznego poszukiwania wartości os najwyżej 5-ciu parametrów wg zadanego kryterium optymalizacji i przy zadanych ograniczeniach żądanych wartości tych parametrów. Dołączone również analizę drgań mechanicznych /przebiegów/ względem kierunku ruchu napędów/ w różnych konfiguracjach całego robota.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. J.Jabłkowski, K.Fijałkowska: "Komputerowa symulacja dynamiki ruchu robota prostego. Etap 01. Nr rej.2688.
2. J.Jabłkowski, K.Fijałkowska, W.Płaskewski: "Komputerowa symulacja dynamiki ruchów robota prostego. Etap 1. Opracowanie modeli matematycznych dynamiki robota prostego". Nr rej.2815.
3. J.Jabłkowski, K.Fijałkowska, W.Płaskewski: "Komputerowa symulacja dynamiki ruchów robota prostego. Etap 2. Uruchomienie modeli dynamicznych na maszynie matematycznej". Nr rej.2937
4. J.Jabłkowski, K.Fijałkowska, W.Płaskewski, J.Mikosz: "Weryfikacja modeli dynamiki robota w oparciu o wyniki badań stanowiskowych i laboratoryjnych". Etap 3. Nr rej.4537
5. J.Jabłkowski, K.Fijałkowska, W.Płaskewski, J.Mikosz: "Opracowanie końcowe zweryfikowanych modeli. Etap 4. Program optymalizacji robota Pr-02". Etap 5. Nr rej.4586.

62-5P - Innowacje w postaci modelu symulacyjnego
zobacz: 62-82, 62-83, 62-84, 62-85, 62-86, 62-87, 62-88, 62-89, 62-90, 62-91, 62-92, 62-93, 62-94, 62-95, 62-96, 62-97, 62-98, 62-99, 62-100

SPIS TRESCI

| | str. |
|--|------|
| 1. Wstęp | 2 |
| 2. Standardowy przebieg CHOWANIE, WYSUW | 2 |
| 3. Model tarcia | 6 |
| 4. Badania symulacyjne | |
| 4.1. Zmiany obciążenia | 10 |
| 4.2. zmiana ustawienia zderzaków | 10 |
| 4.3. Zmiana ciśnienia zasilania | 15 |
| 4.4. Zmiana temperatury powietrza | 15 |
| 4.5. Zmiana sposobu uszczelnienia tłoka | 17 |
| 4.6. Zmiana skoku amortyzatora | 17 |
| 4.7. Zmiana powierzchni amortyzatora | 19 |
| 4.8. Zmiana struktury zasilania | 21 |
| 4.9. Amortyzator olejowy | 25 |
| 4.10. Zmiany obciążenia dla skoku amortyzatora 0.03m. | 26 |
| 4.11. Siłownik o długości 40 cm | 28 |
| 5. Wnioskowski | 30 |
| | |
| Załącznik 1 - Opis bloku optymalizacyjnego dla maksimum pięciu parametrów. | 32 |
| Załącznik 2 - Badania symulacyjne drgań mechanicznych roboty PR-02 w pełnej konfiguracji. | 37 |

1. Wstęp.

W porównaniu z modelem ruchu robota PR-02, zamieszczonym w sprawozdaniu z etapu 4, wprowadzone następujące modyfikacje:

- zweryfikowana została masa części ruchomej modułu M1;
- przyjęte, że powietrze w komorach siłownika i amortyzatorów podlega podczas ruchu przemianie adiabatycznej;
- model tarcia uległ zmianie: zastosowane dwa spisy siły tarcia, jeden dla fazy ruchu początkowej i drugi dla większych wartości przesunięcia tłoka /rozdz.3/.

Badania symulacyjne prowadzone były w kierunkach:

- uzyskania przebiegów nominalnych ruchu odpowiadających jak najwierniej rzeczywistości, ze zwróceniem szczególnej uwagi na CHOWANIE tłoczyska /rozdz.2/
- na modelu nominalnym wprowadzenie zmian, nie naruszających konstrukcji robota jak: zwiększanie wartości obciążenia, obniżanie ciśnienia zasilania, praca w obniżonej i podwyższonej temperaturze, zmiana ustawienia zderzaków.
- zbadanie efektu niewielkich zmian konstrukcyjnych możliwych do przeprowadzenia dla robota PR-02 typu: zmniejszenie tarcia tłoka spowodowanego uszczelnieniem, zwiększenie i zmniejszenie skoku i powierzchni amortyzatorów w połączeniu ze zwiększonym obciążeniem.
- wprowadzenie zasadniczych zmian konstrukcyjnych, do których zaliczone: zastosowanie uproszczonej struktury zasilania, użycie amortyzatora olejowego do hamowania ruchu przy odłączeniu amortyzatora napędzającego, skrócenie siłownika o 200 mm poprzez zmniejszenie przestrzeni martwych komory 1 i 2.

2. Standardowy przebieg CHOWANIE i WYSUW

Początkowy etap badań symulacyjnych miał na celu najlepsze dopasowanie modelu teoretycznego do badań stanowiskowych. Dysponowane parametrami modelu wziętymi bezpośrednio z pomiarów jak: wymiary siłownika i amortyzatorów, masa części ruchomej modułu, temperatura powietrza, ciśnienie zasilania i atmosferyczne. Pozostałe parametry uzyskiwane w sparciu o wykresy: przemieszczenia LB, przyspieszenia D2LB, ciśnienia w komorze 1-PK1.

Wykres zależności ciśnienia w komorze 1 pozwala na ustalenie współczynnika opróżniania komory 1-KO1.

Wykres zależności przyspieszeń w funkcji czasu służy do porównań przy dopasowywaniu współczynników tarcia, współczynników przepływu komory 2 i komór amortyzatorów.

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych łącznie z wykresami badań stanowiskowych.

Dążono do uzyskania zgodności następujących charakterystycznych danych ruchu:

- czas rozpoczęcia ruchu
- wartość maksymalnego przyspieszenia w początkowej fazie ruchu
Max 1D2LB
- czas rozpoczęcia hamowania
- minimalna wartość przyspieszenia występująca w fazie hamowania
- czas trwania ruchu.

Uznano, że uzyskane dopasowanie spełnia wymagane warunki, a zatem może służyć jako wzorzec standardowy. Kolejne badania symulacyjne, w których zmieniano były różne parametry, struktura zasilania, rodzaj amortyzatora, bazowały na modelu standardowym.

Dobrą zgodność badań symulacyjnych ze stanowiskowymi uzyskano również dla wykresu zależności ciśnienia w komorze 1 od czasu. Przedstawiono dwa wykresy na rysunku 2. W modelu przyjęto, że powietrze w komorach siłownika i amortyzatora podlega przemianom adiabatycznym.

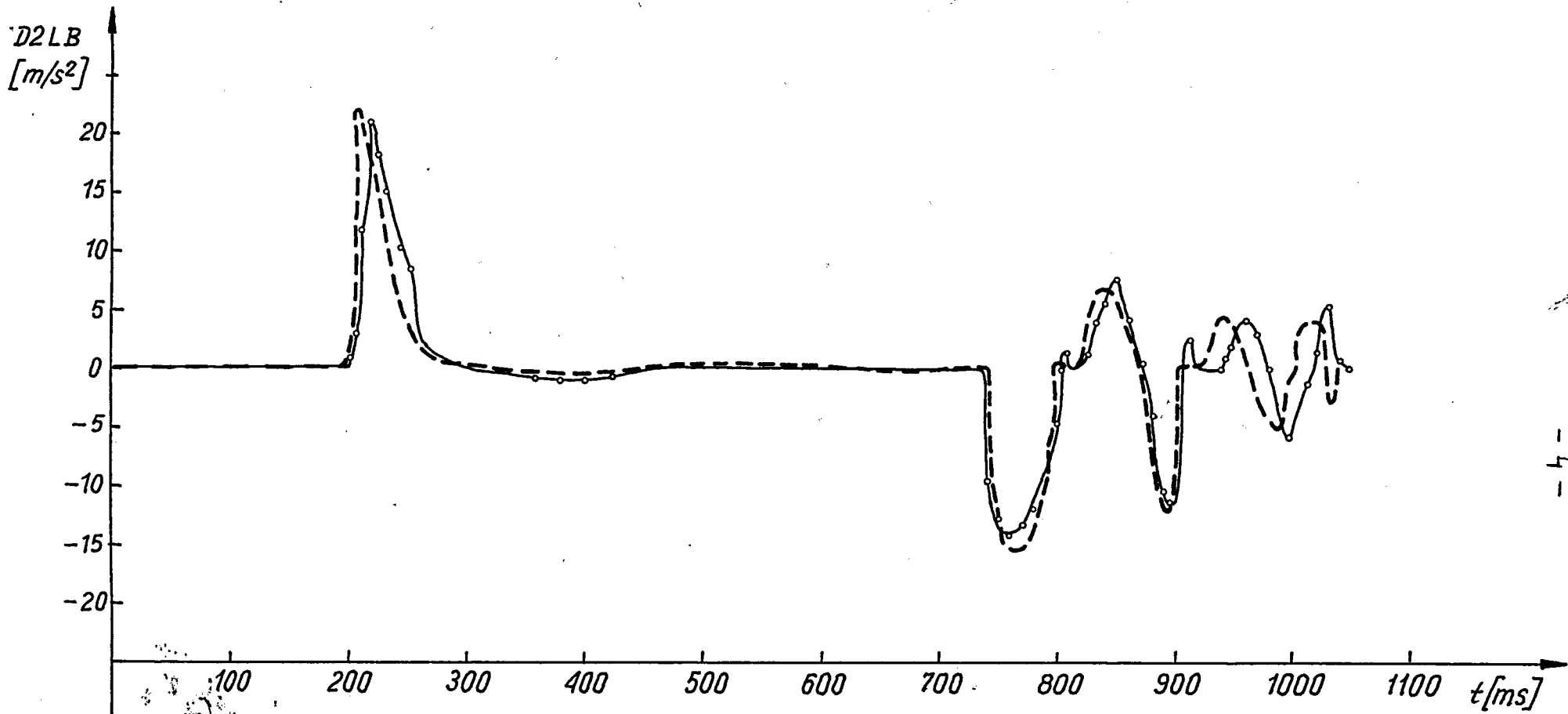
Na modelu CHOWANIE przeprowadzono dalsze badania symulacyjne, natomiast ruch w przeciwnym kierunku WYSUW rozpatrywano porównując go z badaniami stanowiskowymi oraz kierunkiem CHOWANIE.

Wykresy przyspieszeń i ciśnień w badaniach stanowiskowych /etap 3/ pokazują dwa różne przebiegi w kierunku WYSUW, charakteryzujące się odmiennymi czasami rozpoczęcia ruchu, rozpoczęcia hamowania oraz wartościami maksymalnymi i minimalnymi przyspieszeń.

Stwierdzono, że różnice te wynikają przede wszystkim ze zmienionej wartości siły tarcia statycznego T_1 . Stan 1 wg oznaczeń z opracowania /etap 3/ o wcześniejszym czasie rozpoczęcia ruchu przybliżono w modelu symulacyjnym, udając współczynnikowi tarcia statycznego wartość $T_1=250N$. Dopuszczano również współczynniki: napełniania komory 1/na podstawie wykresu zależności ciśnienia w komorze 1 od czasu/, sprężniania komory 2, współczynnik tarcia kinetycznego i inne wartości stałe: wymiary, temperaturę, ciśnienie zasilania przedstawiono bez zmian w porównaniu z kierunkiem CHOWANIE.

W tabeli 1 przedstawiono porównanie wyników stanowiskowych /oznaczonych jako eksperyment/, z badaniami symulacyjnymi.

Zastosowano jednakowe modele do symulacji stanu 1 i 4 przyjmując jednocześnie różne wartości siły tarcia T_1 , odpowiednio 250N i 415N.



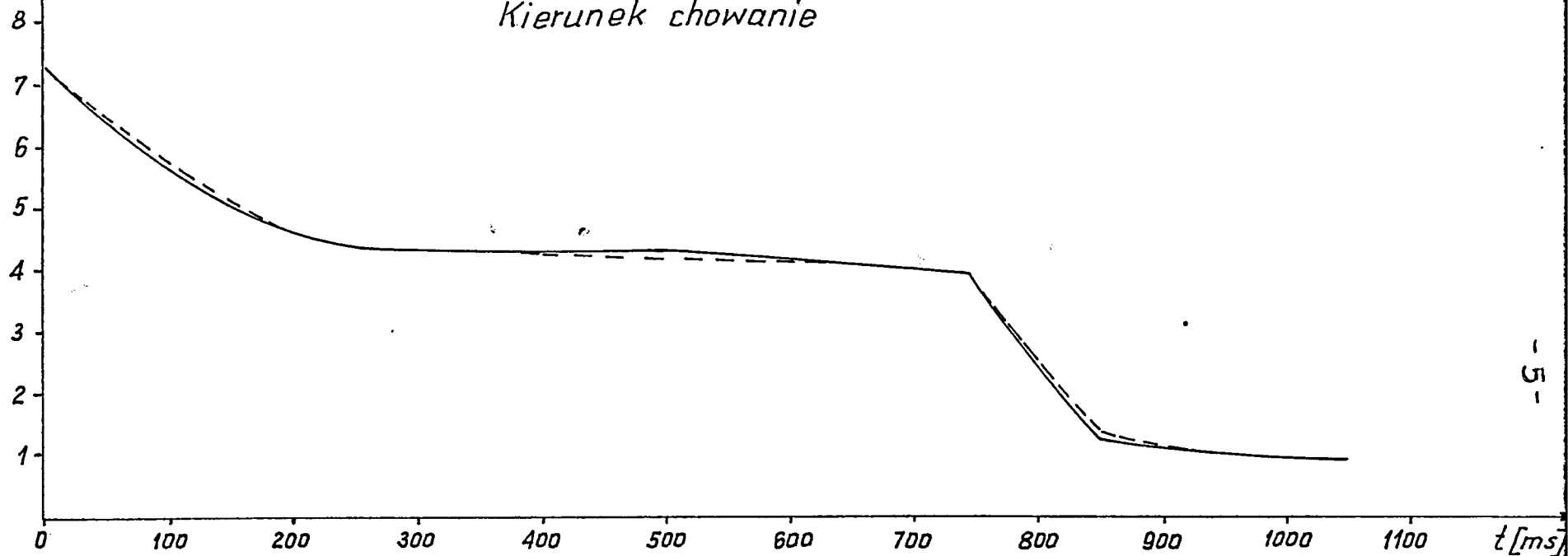
CHOWANIE

— stan 3°

--- badanie symulacyjne

Rys. 1.

PK1
[$\times 10^{-1}$ Mpa]



— stan 3
--- badanie symulacyjne

Rys. 2

Tabela 1

| T1 /N/ ekspe- ryment | Pecząt. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Pecząt. hamow. /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Czas trwania ruchu /ms/ |
|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 415 | 190 | 234 | 720 | -1.91 | 971 |
| stan 4 | 190 | 235 | 720 | -1.88 | 950 |
| 250 | 50 | 132 | 680 | -1.86 | 943 |
| stan 1 | 60 | 12 | 670 | -1.5 | 950 |

W obu przypadkach przyjęto jednakową wartość współczynnika opisującego przepływ powietrza w amortyzatorze hamującym KAW. Różna wartość siły tarcia w dwóch stanach może wynikać z innego założenia uszczeltek. W eksperymencie mogła również ulec zmianie wartość współczynnika KAW, na co wskazuje brak takiej dobrej zgodności dla czasu trwania ruchu w obu stanach.

Pełne wielkości charakteryzujące ruch wykazują dobre dopasowanie modelu do rzeczywistości.

W kierunku WYSUW występuje większa wartość współczynnika tarcia kinetycznego $T_0=150N$ w porównaniu z wartością dla kierunku CHOWANIE, gdzie T_0 przyjęto jako $90N$.

3. Model tarcia

W badaniach symulacyjnych zastosowano dwa modele tarcia.

Pierwszy odnosi się do fazy początkowej ruchu, gdy przemieszczenie tłoka LB nie przekracza 1 mm .

Siła działająca na ruchomą część modelu F wynosi:

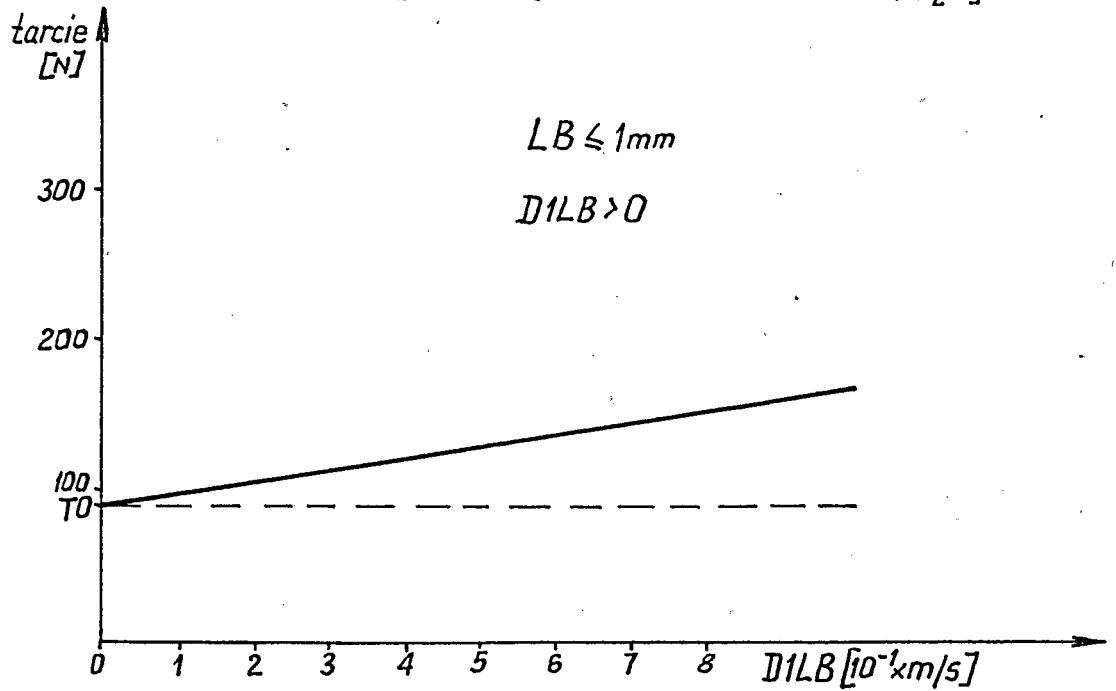
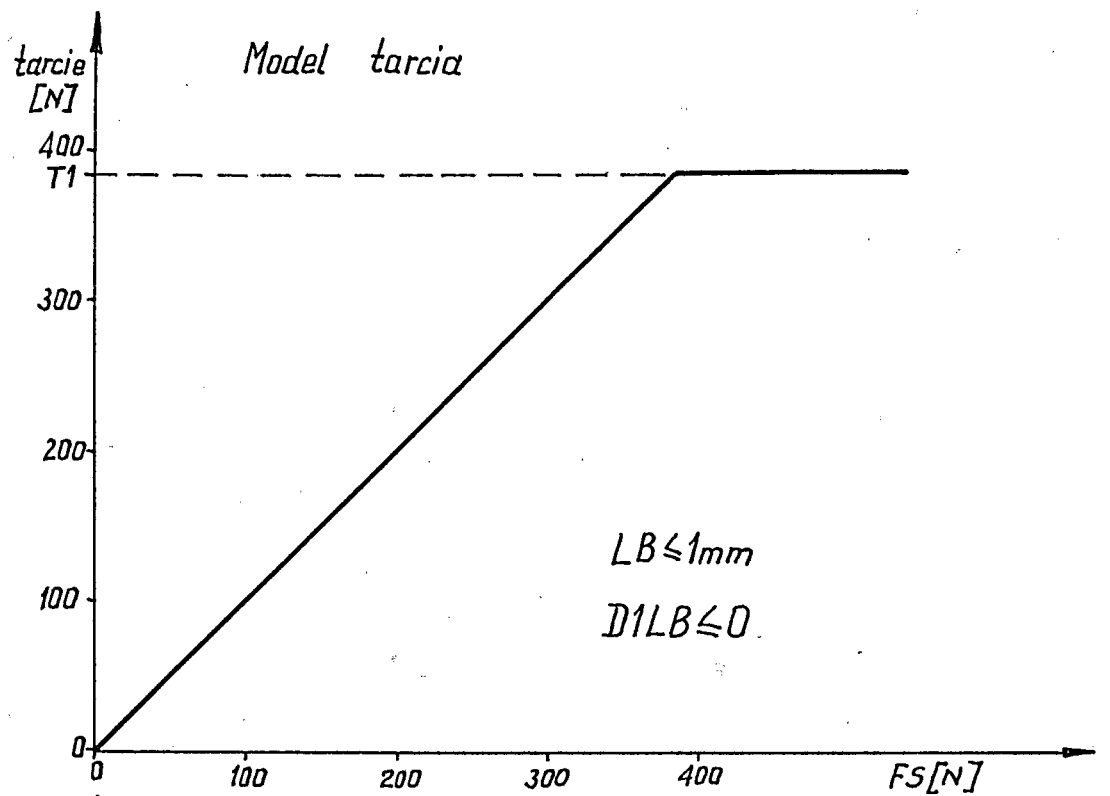
$$F = FS - T$$

gdzie T oznacza siłę tarcia, zaś

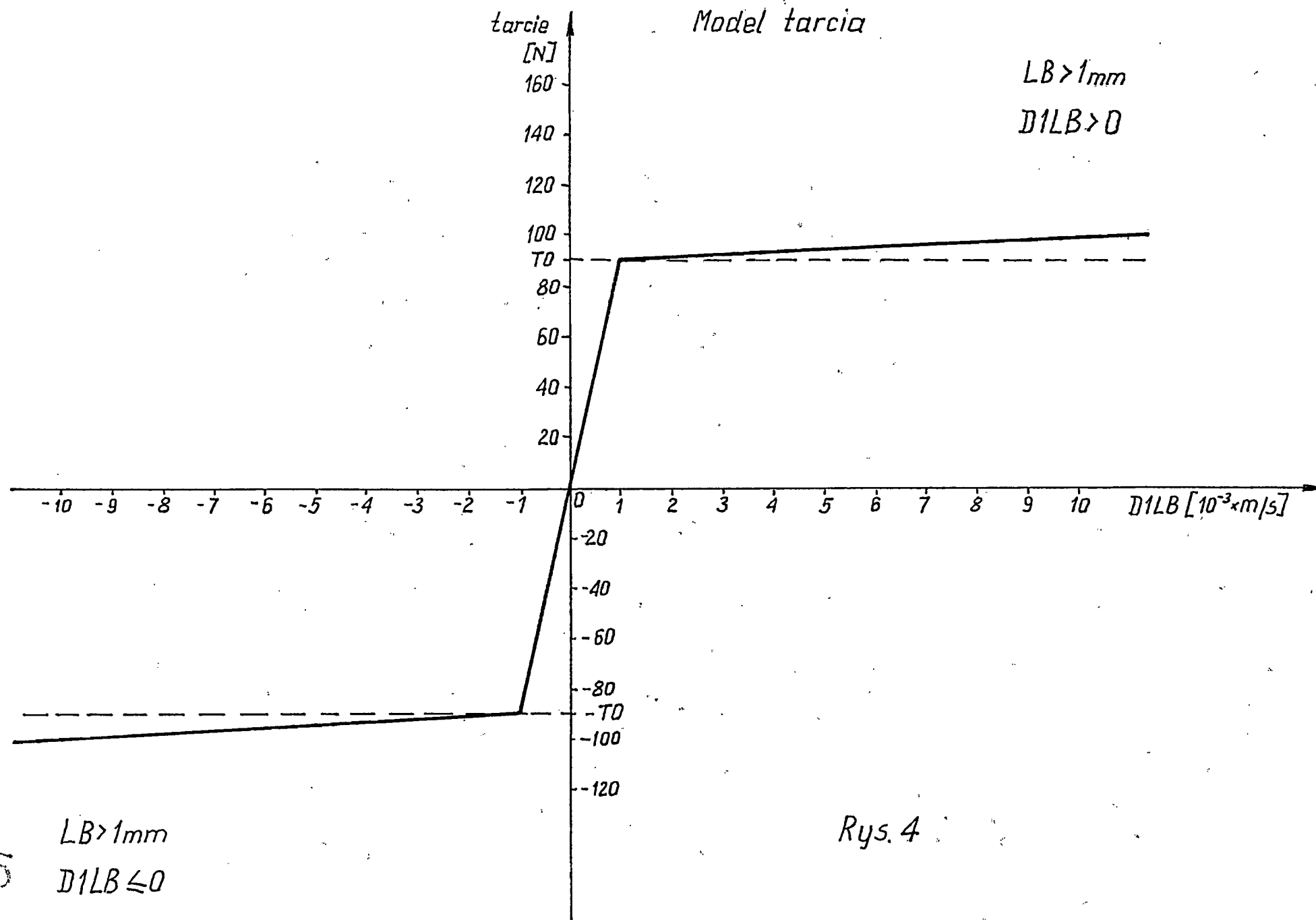
$$FS = PK2 \cdot S2 - PK1 \cdot S1 + FA + 23$$

We wzorze tym $PK2$ i $PK1$ określają ciśnienia panujące w kamerze 2 i 1 silownika, $S2$ i $S1$ - powierzchnię tłoka po stronie 2 i 1 kamery silownika. FA jest siłą pędzącą z oddziaływania amortyzatorów, zaś czynnik 23 wynika z różnic powierzchni $S2-S1$ pomnożonych przez ciśnienie atmosferyczne. W momencie startu kamera 1 ulega opróżnieniu natomiast kamera 2 napełnia się. Gdy siła FS osiąga wartości dodatnie działa w kierunku poruszenia tłoczyska. Sprzeciwia się jej siła tarcia przeciwna, co do znaku i równa do wartości. Siła tarcia nie pozwala na ruch i narasta, aż do osiągnięcia wartości $T1$, której następnie nie przekracza.

$T1$ to współczynnik tarcia statycznego. Jego wartość, jako parametr modelu, dopasowana była w chwili, w której nastąpił ruch, czyli



Rys. 3.



Rys. 4

01

przewyciężeniu siły tarcia statycznego. Z chwilą wystąpienia ruchu wartość siły tarcia spada i istnieje dalej tarcie kinetyczne TK. Dla zerowej prędkości wynosi ono T_0 i różnie ze wzrostem prędkości $D1LB$

$$TK = T_0 + KV \cdot D1LB$$

Gwałtowna zmiana siły tarcia z T_1 na T_0 przejawia się w pikach przyspieszenia otrzymanych podczas badań stanowiskowych oraz symulacyjnych. Wzrasta bowiem raptownie siła $F=FS-T$.

Model tarcia dla początkowej fazy ruchu przedstawione na rysunku 3. Wartości współczynników T_0 , T_1 i KV znajdujące się na rysunku wynoszą:

$$T_1 = 385 \text{ N}$$

$$T_0 = 90 \text{ N}$$

$$KV = 75 \text{ N s/m}$$

i są równo parametrem pasowania modelu symulacyjnego. Parametr T_0 wyznacza się poprzez maksimum przyspieszenia występującego przy rozpoczęciu ruchu.

Parametr KV uzyskano z analizy sumarycznej wielkości tarcia kinetycznego w fazie ustabilizowanej ruchu tłoczyska, gdy porusza się ono ruchem jednostajnym bez przyspieszeń. Wtedy siła FS równoważona jest siłą tarcia TK . Prędkość przesuwu tłoka w tej fazie można wyliczyć z badań stanowiskowych, gdzie prowadzony był pomiar przesunięcia LB w funkcji czasu, jako tangens kąta nachylenia krzywej $LB/t/$. Siłę oddziaływania amortyzatora napędzającego znajdującą się we wzorze na siłę FS wyznaczone poprzez znalezienie przebiegu symulacyjnego najbardziej zbliżonego do wyników badań stanowiskowych.

Drugi model tarcia zastosowane do ruchu, w którym przesunięcie przekracza 1 mm.

Dla małych prędkości, co do wartości bezwzględnej nie przekraczającej $DD1LB$, tarcie jest funkcją liniową prędkości $D1LB$ i wynosi:

$$T = KV_1 \cdot D1LB$$

gdzie KV_1 wyraża się wzorem

$$KV_1 = T_0/DD1LB$$

Wartość siły tarcia dla prędkości $DD1LB$ wynosi T_0 - tę samą wartość jaką przyjmuje współczynnik tarcia kinetycznego w początkowej fazie ruchu.

11

Dla prędkości przekraczających DD1LB tarcie kinetyczne wyrażają te same wzory, co w modelu pierwszym, KV nie ulega zmianie. W drugim modelu tarcie opisywane jest zarówno dla dodatnich, jak ujemnych prędkości.

Na rysunku 4 przedstawiono drugi model tarcia. Prędkość DD1LB ustalono na 1 mm/s.

Stosowanie w modelu symulacyjnym mniejszych wartości DD1LB prowadzi do wystąpienia nieprawidłowych pików przyspieszenia.

4. Badania symulacyjne

4.1. Zmiany obciążenia

W standardowym przebiegu obciążenie siłownika wynosi 1 kilogram. Masa M_1 używana w równaniach ruchu jest sumą masy ruchomej części tłoczyska oraz obciążenia. Przyjęto maksymalny zakres zmiany masy obciążającej M do 20 kg. Wpływ resnącej masy na kolejne fazy ruchu przedstawiono w tabeli 2. Zaznaczone najbardziej interesujące dane: czasy rozpoczęcia i zakończenia ruchu, czas rozpoczęcia fazy hamowania, maksymalną wartość przyspieszenia Max D2LB występującą przy rozruchu i minimalną wartość tego przyspieszenia występującą przy hamowaniu Min D2LB. Umieszczone również w tabeli końcową wartość prędkości jako podlegającą stałej kontroli.

Tabela 2

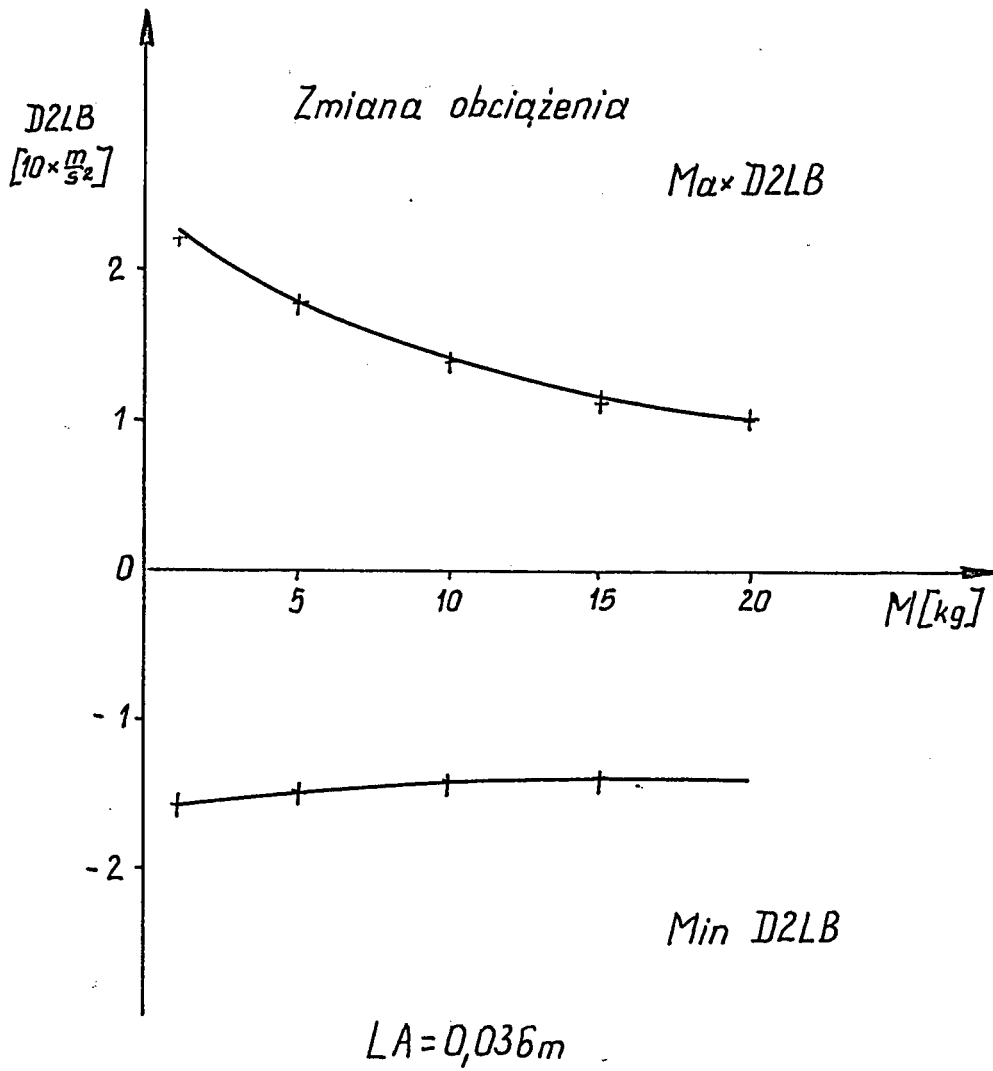
| M /kg/ | Począt. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Począt. hamow. /ms/ | Min D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ² xm/s/ |
|-----------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 210 | 222 | 740 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| 5 | 210 | 177 | 750 | -1.48 | 1040 | 8.96 |
| 10 | 210 | 138 | 750 | -1.47 | 1041 | 8.21 |
| 15 | 210 | 117 | 760 | -1.46 | 1029 | 3.06 |
| 20 | 210 | 101 | 760 | -1.42 | 1027 | 8.82 |

Minimalna wartość przyspieszenia ulega niewielkiemu obniżeniu ze wzrostem masy. Końcowa prędkość nie przekracza 0,1 m/s. Zależność maksymalnej i minimalnej wartości przyspieszenia od masy przedstawiono na rysunku 5.

Dla zakresu mas do 20 kg badania symulacyjne wskazują na możliwość stosowania takich obciążeń, bez ujemnych skutków.

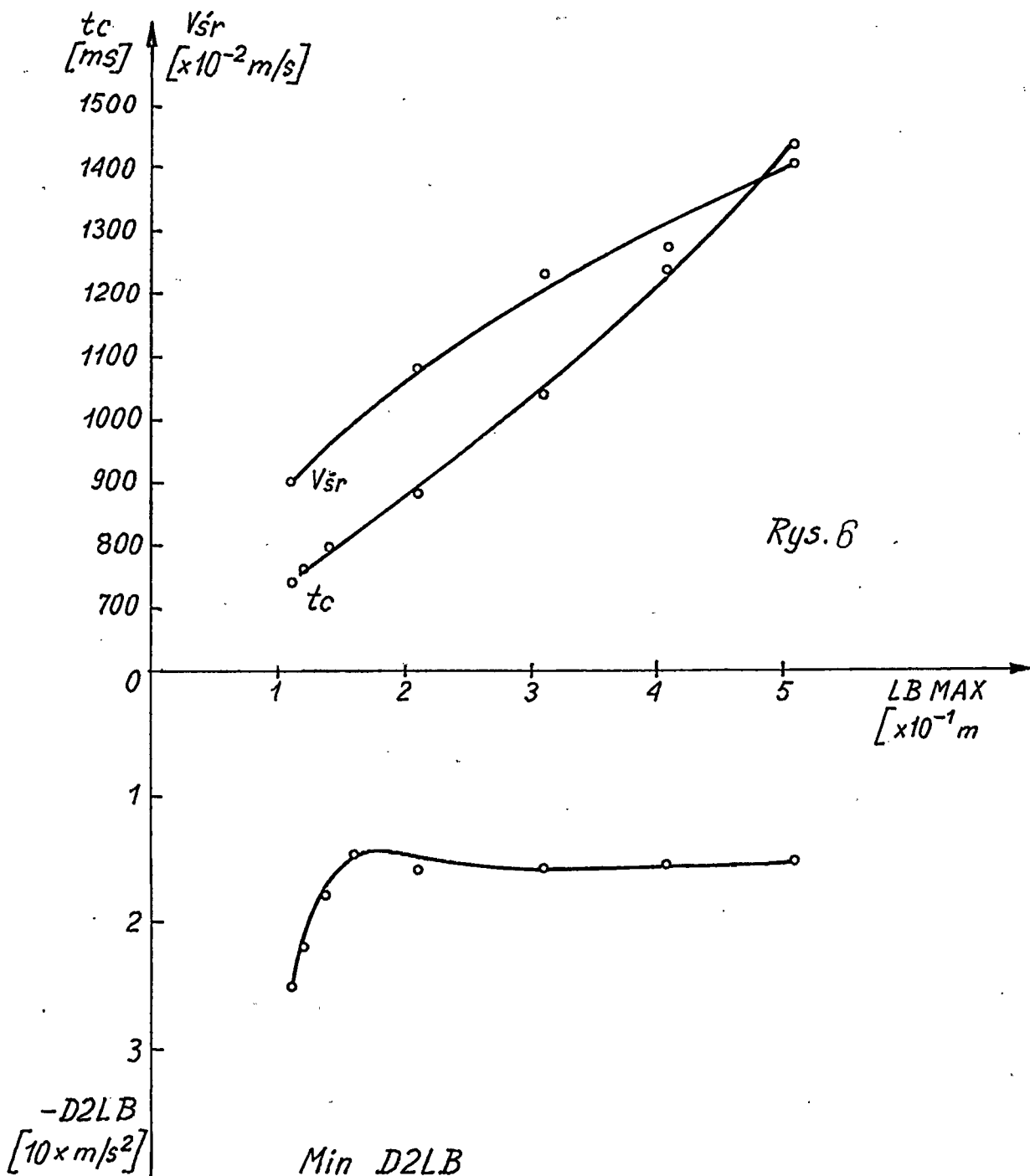
4.2. Zmiana ustawienia zderzaków

Standardowy siłownik ma długość 61,4 cm. Składa się na nią sekcja amortyzatora napędzającego i hamującego LA, tzw. sekcja swobodny siłownika LS, LM1 i LM2 - długość, która pomnożona przez powierzchnię



Rys. 5

Zmiana ustawienia zderzaków



Rys. 6

Rys. 7

AK

tłoczyska siłownika daje przestrzeń martwą komory 1 i 2 odpowiednio.

Rysunek 6 przedstawia schematycznie przypadek standardowy. Celem badań symulacyjnych było zbadanie jaki ma wpływ różny podział całkowitej długości L siłownika, na poszczególne składowe. L we wszystkich przebiegach nie zmienia się:

$$L = 2 \cdot LA + LS + LM1 + LM2 = \text{const.}$$

Nie zmieniane wartości skoku amortyzatora $LA = 0,036 \text{ m}$. Zmiana ustawienia zderzaków powoduje zmianę wielkości $LS, LM1, LM2$. Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych umieszczone w tabeli 3. Zakres ruchu tłoczyska wynosi $LBMAX$, na co składa się:

$$LBMAX = 2 \cdot LA + LS$$

Ze wzrostem długości LS wzrasta czas trwania ruchu to, co wydaje się oczywiste. Interesująca jest natomiast zależność średniej prędkości ruchu obliczonej jako stosunek aktualnej wartości $LBMAX$ do czasu trwania ruchu, od skoku tłoka. Zależność taką przedstawiono na rysunku 2.1, łącznie wykres czasu trwania ruchu i prędkości średniej w funkcji $LBMAX$. Zauważane wzrost średniej prędkości ruchu ze wzrostem wielkości LS .

Należy podkreślić, że końcowa prędkość tłoczyska we wszystkich przypadkach nie przekroczyła $0,06 \text{ m/s}$.

Natomiast minimalna wartość przyspieszenia przekracza dopuszczalną określoną jako 20 ms dla małych wartości LS . Nakłada to ograniczenia na zasięg ruchu dowolny dla siłownika.

W zakresie $LBMAX$ od ok. 21 cm do 55 cm ruchu odbywa się prawidłowe, tzn. nie są przekroczone ograniczenia dotyczące prędkości końcowej i minimalnego przyspieszenia.

Zależność minimum przyspieszenia $Min D2LB$ od skoku tłoka $LBMAX$ przedstawiono na rysunku 7.

Tabela 3

| LS /m/ LM1/m/ LM2/m/ | Początek ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Początek hamow. /ms/ | Min D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10xm/s ² / |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 0.11 0.138 0.293 | 230 | 2.22 | 420 | -2.53 | 740 | 5.82 |
| 0.121 0.133 0.288 | 230 | 2.22 | 430 | -2.27 | 759 | 3.75 |
| 0.141 0.123 0,278 | 230 | 2.22 | 460 | -1.82 | 798 | 3.74 |
| 0.161 0.113 0.268 | 230 | 2.22 | 500 | -1.47 | 825 | 3.98 |
| 0.211 0,088 0,243 | 220 | 2.22 | 590 | -1.59 | 883 | 4.98 |
| 0.311 0.038 0.193 | 210 | 2.22 | 750 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| 0.111 0,028 0.103 | 250 | 2.22 | 950 | -1.56 | 1240 | 4.23 |
| 0.511 0,018 | 290 | 2.22 | 1150 | -1.52 | 1439 | 5.4 |

4.3. Zmiana ciśnienia zasilania

Badania stanowiskowe prowadzone były przy ciśnieniu zasilania $PZ=0.73\text{MPa}$. Istotne jest sprawdzenie jak przebiega ruch przy obniżeniu ciśnienia rebocego.

Przeprowadzone badania symulacyjne dla ciśnienia $PZ=0.588\text{MPa}$. Wyniki opisujące najważniejsze fazy ruchu przedstawione w tabeli 4. porównując dla ciśnienia standardowego $0,73\text{MPa}$ i obniżonego $-0,583\text{MPa}$.

Tabela 4

| PZ /MPa/ | Pecząt. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Pecząt. hamow. /ms/ | Min D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ² xm/s/ |
|-------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 0,73 | 210 | 2.22 | 740 | -1.58 | 1044 | 3.95 |
| 0,588 | 320 | 2.22 | 800 | -1.61 | 1097 | 3.54 |

Wynikające z obniżonego ciśnienia opóźnienia poszczególnych faz w porównaniu z ciśnieniem standardowym, zmniejszają się dla kolejnych faz ruchu. Opóźnienie fazy rozpoczęcia ruchu wynosi 90 ms, początku hamowania już 60 ms, zaś całkowity ruch trwa dłużej o 43 ms. Obniżone ciśnienie spowodowało niewielkie skrócenie czasu hamowania z 304 ms dla przebiegu standardowego do 287 ms. Minimalna wartość przyspieszenia /D2LB/ nie przekracza przyjętej za dopuszczalną wielkość 20 m/s.

Natomiast końcowa wartość prędkości /D1LB/ jest niewiele mniejsza od 0,1 m/s, którą uznano za maksymalną dozwoloną w rzeczywistym ruchu.

4.4. Zmiana temperatury powietrza

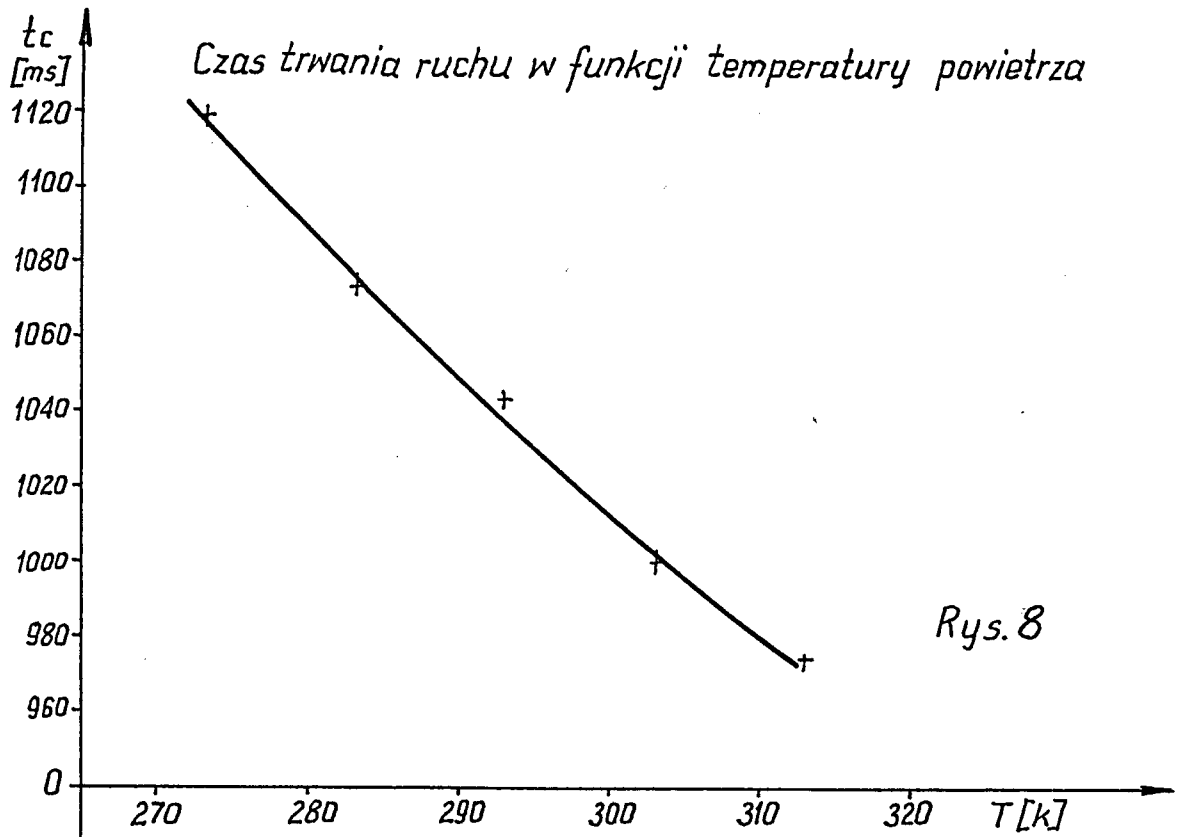
Badania stanowiskowe prowadzone były w temperaturze $TK=273\text{K}$ czyli w temperaturze pokojowej.

Uznano za realne warunki pracy w zakresie temperatur od 0°C do 40°C /czyli TK od 273K do 313K /.

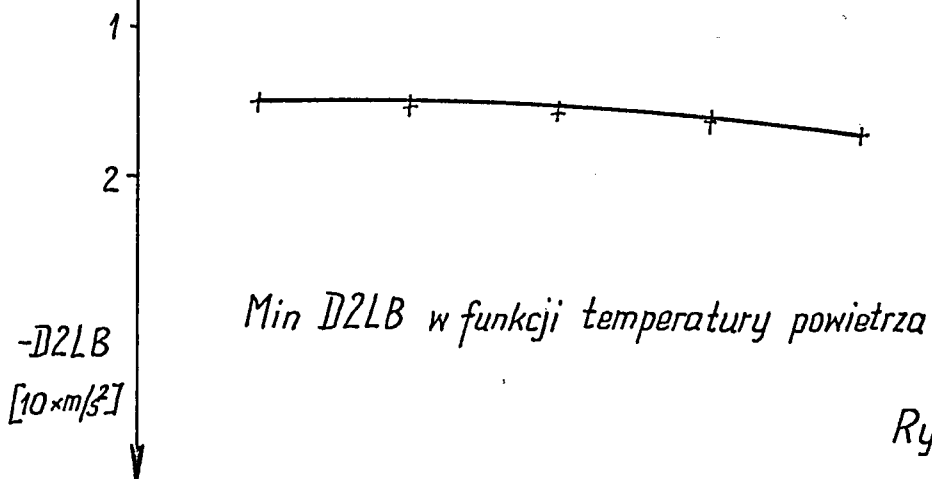
Wyniki badań symulacyjnych dla temperatur 273K , 283K , 293K , 303K , 313K przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5

| TK/K/ | Pecząt. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Pecząt. hamow. /ms/ | Min D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu ms | Końcowa prędkość /10xm/s/ |
|-------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 273 | 210 | 2.22 | 800 | -1.48 | 1120 | 7.61 |
| 283 | 210 | 2.22 | 770 | -1.54 | 1074 | 5.72 |
| 293 | 210 | 2.22 | 740 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| 303 | 200 | 2.22 | 720 | -1.66 | 999 | 4.79 |
| 313 | 200 | 2.22 | 700 | -1.71 | 974 | 7.11 |



Rys. 8



Rys. 9

Zaobserwowano wzrost czasu trwania ruchu przy obniżeniu temperatury i odpowiednio skrócenie tego czasu ze wzrostem temperatury. Zależność czasu trwania ruchu od temperatury powietrza przedstawiona na rysunku 8. Stwierdzono wzrost minimalnej wartości przyspieszenia Min D2LB z rosnącą temperaturą. Charakter tej zależności przedstawia rys.9. Minimum D2LB nie przekracza -20 m/s^2 dla tego zakresu temperatur. Również końcowa wartość prędkości nie przekracza dopuszczalnej.

4.5. Zmiana sposobu uszczelniania tłoka

W modelu tarcia przyjętym w badaniach symulacyjnych wartości współczynników tarcia wynoszą: kinetycznego $T_0=90\text{N}$, statycznego $T_1=385$ oraz $KV = 75 \text{ Ns/m}$.

Zbadano wpływ uszczelnienia tłoka, od którego zależy wartość współczynników tarcia, na parametry ruchu. W badaniu symulacyjnym zmniejszone dwukrotnie wartości współczynników tarcia. Wyniki przedstawiono w tabeli 6, porównując z danymi przebiegu standardowego.

Tabela 6

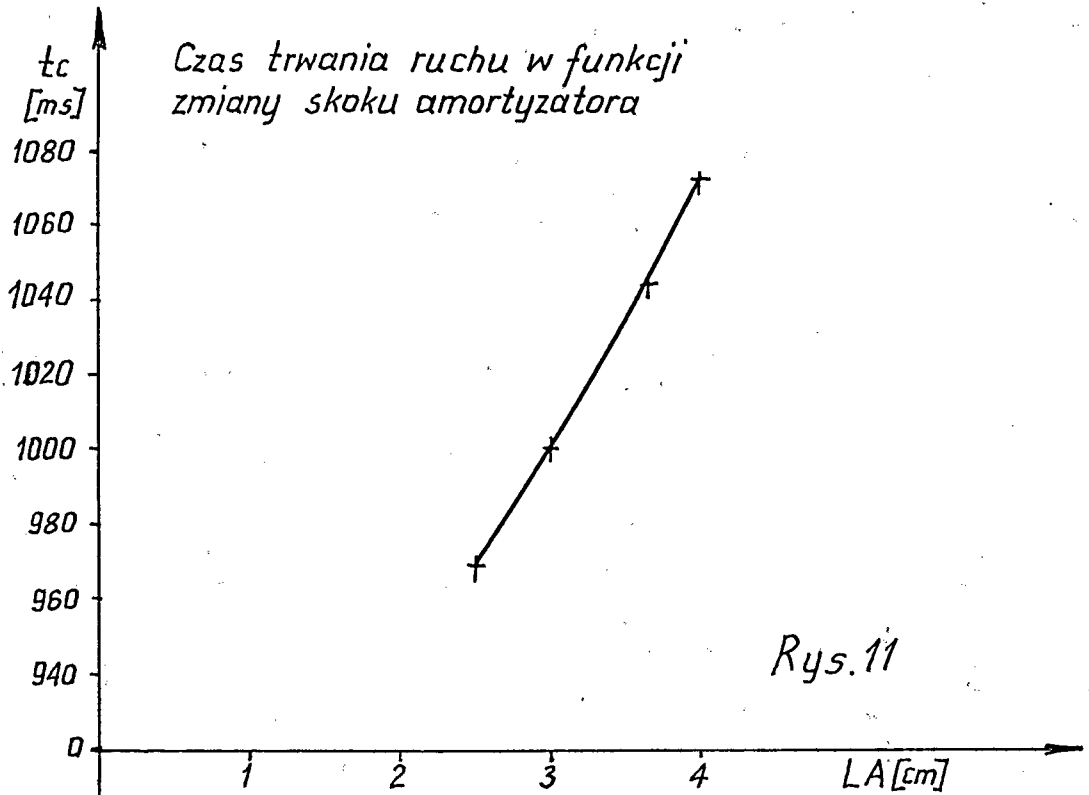
| Współ. tarcia | Peczątk. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Peczątk. hamow. /ms/ | Min D2LB /10xm/s ² / | Czas trwania ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ² xm/s/ |
|--|---------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------|---|
| T ₀ =90 T ₁ =385 KV=75 | 210 | 2.22 | 740 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| T ₀ =45 T ₁ =192 KV=37 | 160 | 1.39 | 700 | -1.84 | 1006 | 7.94 |

Czas rozpoczęcia ruchu został skrócony o 50 ms dla zmniejszonego tarcia ze względu na wartość współczynnika T₁. Dzięki temu skrócony został czas ruchu. Uszczelnienie nie miało natomiast wpływu na długość fazy hamowania.

4.6. Zmiana skoku amortyzatora

Skok amortyzatora LA zmieniony był w taki sposób, aby wartość $LB_{MAX} = 2 \cdot LA + LS$

/gdzie LS jest skokiem siłownika, w obszarze, gdzie nie oddziałują amortyzatory/, nie uległa zmianie w porównaniu z wartością standardową $LB_{MAX}=0,383 \text{ m}$. Standardowa wartość $LA=0,036\text{m}$, zaś $LS=0,311\text{m}$. Wyniki badań symulacyjnych zgromadzone w tabeli 7.



Rys.11

D2LB
[$\times 10 m/s^2$]

Min D2LB w funkcji zmiany skoku amortyzatora

Rys.10.

Prowadzone one były zarówno dla mniejszych jak większej wartości LA od standardowej.

Tabela 7

| LA /m/ | Początk. ruchu /ms/ | Max D2LB /10xm/s ² / | Początk. hamow. /ms/ | Min. D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- wania ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ⁻² xm/s/ |
|-----------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 0,025 | 210 | 2.22 | 760 | -2.06 | 969 | 7 |
| 0,030 | 210 | 2.22 | 760 | -1.78 | 1001 | 9.5 |
| 0.036 | 210 | 2.22 | 750 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| 0.040 | 210 | 2.22 | 740 | -1.50 | 1072 | 8.11 |

Skrócenie skoku amortyzatora wyraźnie wpływa na zwiększenie minimum przyspieszenia w fazie hamowania. Dla LA=0.025 m przekracza one wartość 20 m/s uznawaną jako graniczną dopuszczalną.

Wpływ skrócenia długości LA na czas trwania ruchu jest korzystny, gdyż powoduje jego zmniejszenie.

Na rysunku 10 przedstawiono zależność minimum przyspieszenia od długości LA. Efekt zmiany skoku amortyzatora na czas trwania ruchu ukazano na rysunku nr. 11.

4.7. Zmiana powierzchni amortyzatora.

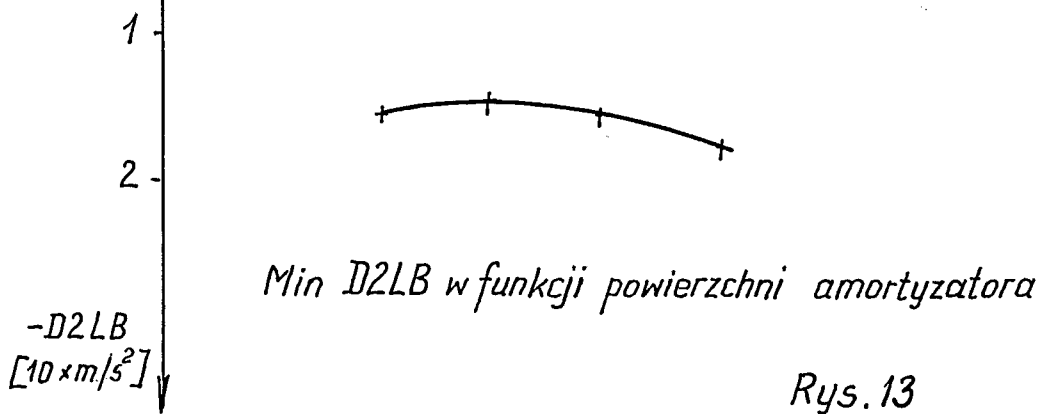
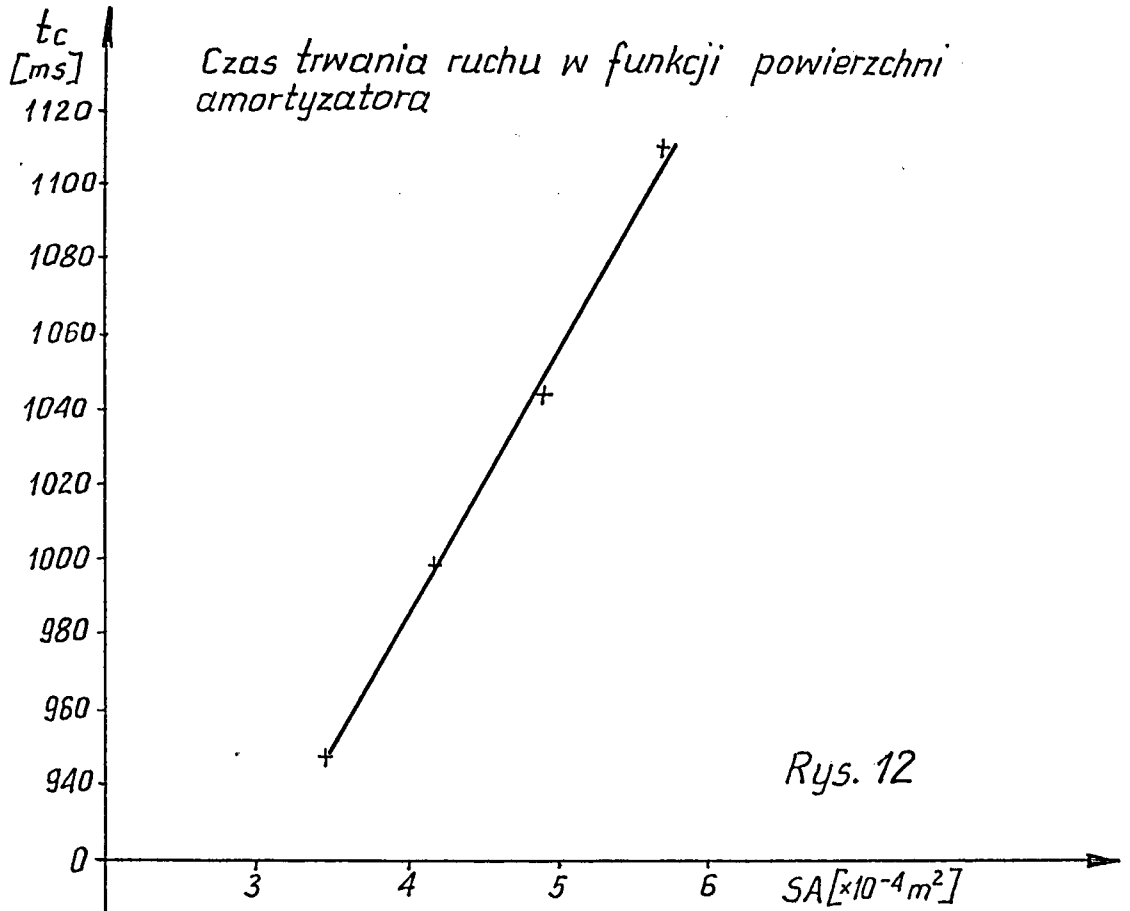
Standardowa wartość średnicy amortyzatora napędzającego i hamującego wynosi 25 mm. Zbadano wpływ zmniejszenia i zwiększania powierzchni amortyzatora na ruch siłownika, odpowiednio dopasowując współczynniki tarcia amortyzatora. Przyjęto, że tarcie amortyzatora rośnie proporcjonalnie do jego obwodu. W tabeli 8 przedstawiono wpływ zmiany promienia amortyzatora R na parametry ruchu.

Tabela 8

| R /mm/ | Początk. ruchu ms | Max D2LB 10xm/s | Początk. hamow. ms | Min. D2LB 10xm/s | Czas trwa- nia ruchu ms | Końcowa prędkość 10 xm/s |
|-----------|-------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 13.5 | 190 | 2.24 | 740 | -1.77 | 1110 | 4 |
| 12.5 | 210 | 2.22 | 740 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| 11.5 | 230 | 2.19 | 750 | -1.45 | 992 | 10.5 |
| 10.5 | 260 | 2.16 | 760 | -1.58 | 947 | 14.2 |

Zmniejszenie średnicy ma korzystny wpływ na skrócenie czasu hamowania, lecz pogarsza końcową prędkość siłownika. Wydłuża natomiast czas rozpoczęcia ruchu, lecz końcowy efekt - czas trwania ruchu ulega skróceniu.

Na rysunku 12 ukazano zależność czasu trwania ruchu w funkcji promienia amortyzatora, zaś na rysunku 13 zależność minimum przyspieszenia od promienia R.



22

Czas hamowania w znacznym stopniu zależy od współczynnika KAH określającego przewodność przepływu powietrza z komory 1-szej silownika do komory amortyzatora. Wzrost przewodności, a zatem zmniejszenie oporu przepływu, powoduje skrócenie czasu hamowania. Podczas badań opisanych w 7 tabelce, współczynnik KAH wynosił 7.3×10^{-10} .

Zbadano, czy nie jest możliwe uzyskanie lepszego tzn. krótszego czasu hamowania dla mniejszej powierzchni amortyzatora, przy jednoczesnym nie przekroczeniu granicznej prędkości końcowej 0,1 m/s. Przeprowadzone badania symulacyjne dla promienia amortyzatora 11.5 mm, zmieniając parametr KAH.

Wyniki ukazane w tabeli 9.

Tabela 9

| KAH / $\times 10^{-10}$ / | Min. D2LB / 10 xm/s^2 / | Czas trwania ruchu /ms/ | Czas hamowania /ms/ | Końcowa prędkość / 10^{-2} xm/s / | |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---|----------|
| 6 | -1.68 | 1026 | 276 | 5.77 | R=11.5mm |
| 7 | -1.43 | 999 | 249 | 11.02 | |
| 7.3 | -1.45 | 992 | 242 | 10.5 | |
| 8 | -1.42 | 976 | 226 | 6.15 | |
| 9 | -1.41 | 952 | 202 | 10.02 | |

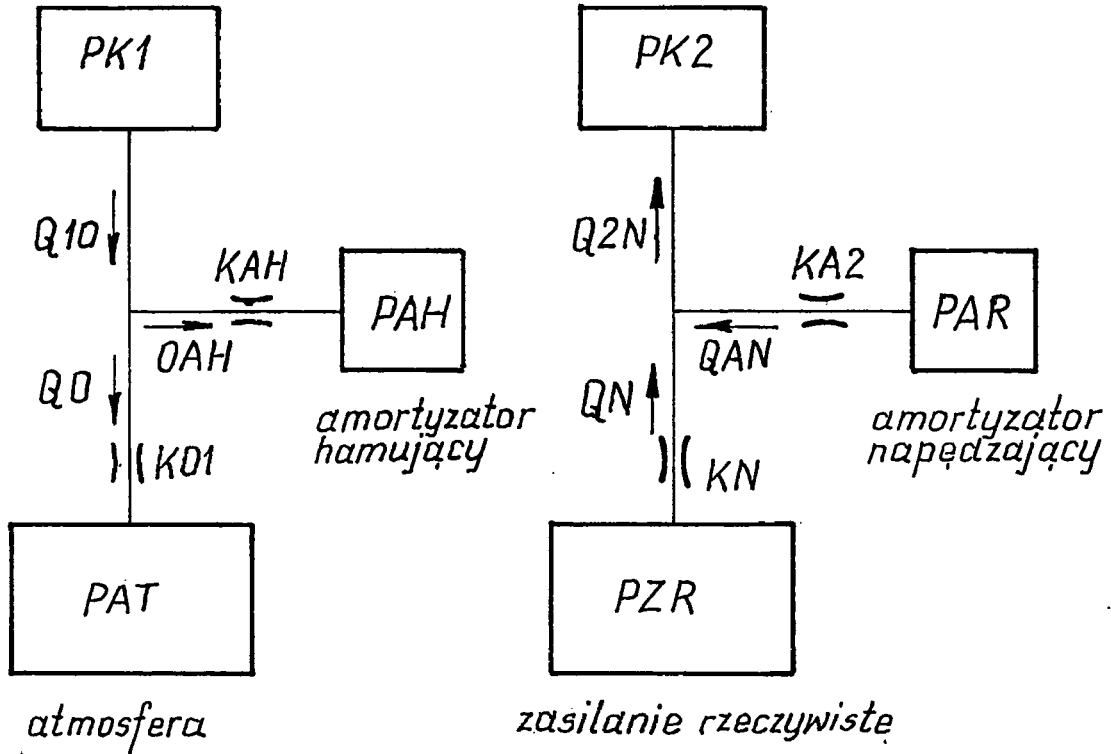
Wartości czasu rozpoczęcia ruchu, Max D2LB i początku hamowania są takie same, jak dla $R=11,5\text{mm}$ w tabeli 8. Dla standardowej wartości promienia amortyzatora 12.5mm i współczynnik KAH= 7.3×10^{-10} czas hamowania wynosi 304 ms. Zmniejszona wartość przewodności przepływu do KAH= 6×10^{-10} dla średnicy amortyzatora zmniejszonej do 11.5mm daje lepsze wyniki w porównaniu ze standardowymi. Czas hamowania krótszy jest o 28 ms, czyli ok.10%, zaś końcowa prędkość mieści się w normie.

4.8. Zmiana struktury zasilania

Standardową strukturę zasilania w uproszczeniu przedstawione na rysunku 14. Komora 1 silownika sprężnia się do atmosfery. Istnieje przepływ powietrza między tą komorą i amortyzatorem hamującym. Ciśnienie atmosferyczne oznaczone PAT, ciśnienie panujące w komorze 1 silownika PK1, zaś ciśnienie w komorze amortyzatora hamującego PAH. Zaznaczone współczynniki opisujące dławienie przepływu KO1 i KAH.

komora 1 siłownika

komora 2 siłownika



Standardowa struktura zasilania

Rys. 14

Z kolei komora 2 siłownika napełnia się poprzez połączenie z rzeczywistym ciśnieniem zasilania PZR. Ciśnienie PZR jest różne od ciśnienia panującego w sieci PZ i mniejsze od tego ciśnienia, nie więcej niż jedną atmosferę. Ciśnienie PZR nie ma stałej wartości w czasie trwania ruchu.

Amortyzator napędzający, w którego komorze panuje ciśnienie PAR połączony jest z komorą 2 siłownika. Ciśnienie w komorze 2 siłownika oznaczone PK2. Zmieniona struktura zasilania charakteryzuje się znacznym uproszczeniem. Zlikwidowane zostały połączenia między komorą 1 siłownika i amortyzatorem hamującym, oraz między komorą 2 siłownika i amortyzatorem napędzającym.

Zarówno amortyzator napędzający i hamujący zasilany jest bezpośrednio z sieci ciśnieniem PZ. Komora 1 siłownika połączona jest poprzez spór dławienia tylko z atmosferą. Komora 2 siłownika zasilana jest ciśnieniem PZR. Do tak zmienionej struktury przedstawionej na rysunku 15 dostosowane zmniejszone powierzchnie tłoczków amortyzatorów. Zmniejszone również współczynnik KAH z 7.3×10^{-10} do 6×10^{-10} , co powoduje większy spór przepływu powietrza.

Efekty zmienionej struktury zasilania dla tak dobranych parametrów przedstawione w tabeli 10.

Tabela 10

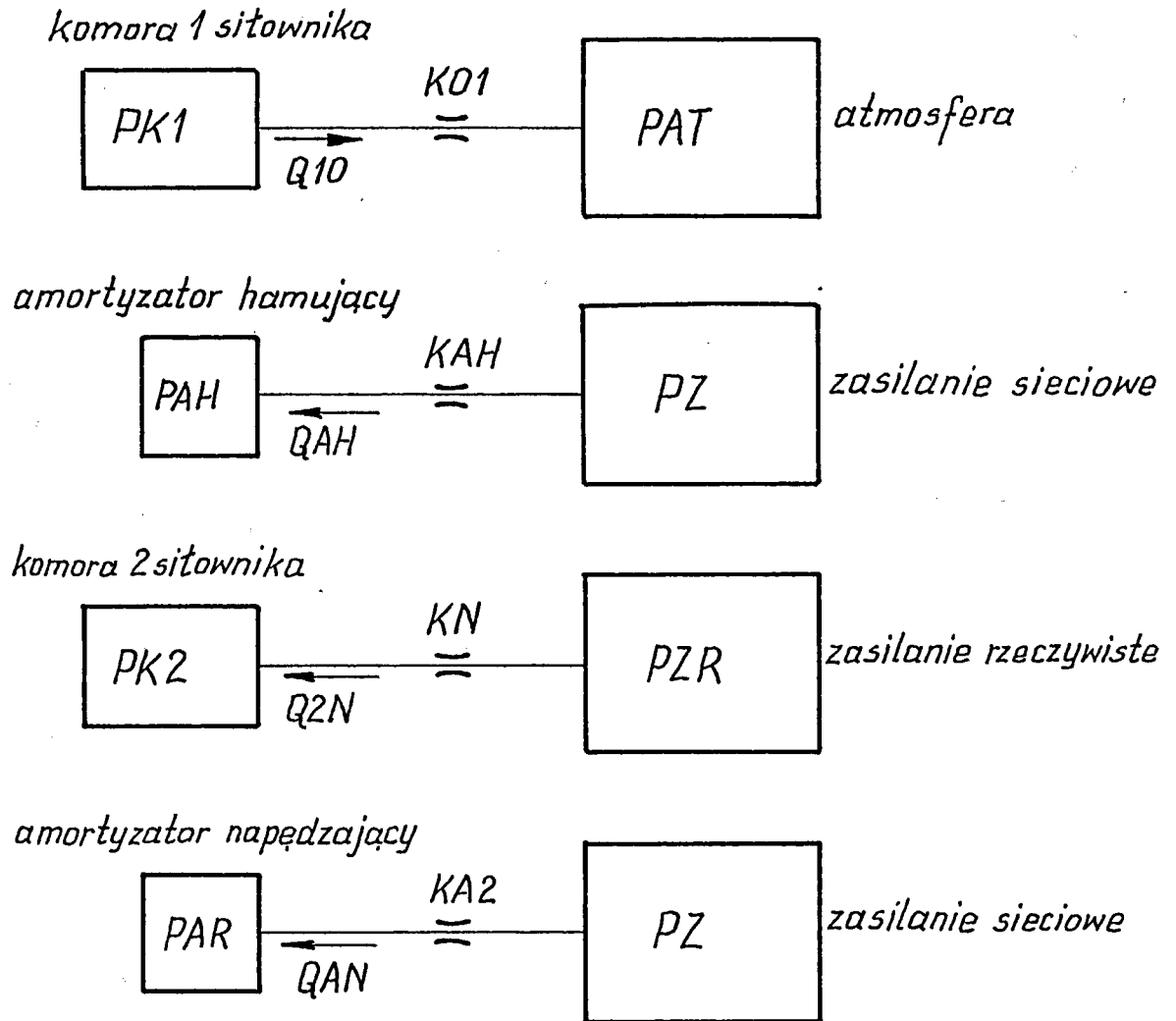
| R | Pecząt. ruchu | Max D2LB | Pecząt. hamow. | Min. D2LB | Czas trwania ruchu | Końcowa prędkość |
|------|---------------|------------------------|----------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| /mm/ | /ms/ | /10xm/s ² / | /ms/ | /10xm/s ² / | /ms/ | 10 ⁻² xm/s/ |
| 8 | 320 | 2.08 | 780 | -2.35 | 932 | 13.72 |
| 9 | 300 | 2.11 | 770 | -1.79 | 965 | 14.02 |

Stwierdzone dla obu wartości R wystąpienie zbyt dużej, powyżej 0,1 m/s prędkości końcowej tłoka siłownika. W przypadku promienia amortyzatora 8 mm dodatkowo zbyt duża jest wartość minimalnego przyspieszenia występującego w fazie hamowania.

Dalsze badania zmienionej struktury prowadzone dla większej wartości promienia R=9mm. Aby uzyskać zmniejszenie prędkości końcowej zwiększone spór dławienia przepływu poprzez zmniejszenie współ-

czynnika KAH. Wyniki strzymane w symulacji komputerowej zebrane w tabeli 11. Dołączane wyniki dla współczynnika KAH= 6×10^{-10} . Wartości Max D2LB, czas rozpoczęcia ruchu i hamowania nie zmieniają się i wynoszą tyle, co dla R=9 mm, w tabeli 10.

Czas trwania ruchu dla KAH= $0,5 \times 10^{-10}$ przewyższa 1500 ms. Zgodnie z instrukcjami w programie symulacyjnym liczenie problemu przerwane jest, gdy zajdzie jedna z dwu możliwości: czas ruchu osiągnie 1,5 sekundy, lub przesunięcie tłoka siłownika LB wyniesie wartość LBMAX.



Zmieniona struktura zasilania

Rys. 15

- 25 -
Tabela 11

| KAH /x10 ⁻¹⁰ / | Min. D2LB /10xm/s ² / | Czas trwania ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ⁻² xm/s/ | |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---|-------|
| 0,5 | -1.87 | pow.1500 | 0.92 | R=9mm |
| 2 | -1.83 | 1266 | 3.8 | |
| 3.5 | -1.80 | 1075 | 4.5 | |
| 6 | -1.79 | 965 | 14.02 | |

Przy uproszczonej strukturze zasilania i zmniejszonej powierzchni amortyzatora, strzymano: przebieg ruchu najkorzystniejszy dla KAH=3.5 x 10⁻¹⁰.

Dla porównania ze standardowym przebiegiem sporządzono tabelę 12.

Tabela 12

| Zasilania R /mm KAH | Początek ruchu ms | Max.D2LB 10xm/s | Początek hamow. ms | Min.D2LB 10xm/s | Czas trwa- nia ruchu ms | Końcowa prędkość 10 xm/s |
|---|-------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| standar. 12.5 7.3x10 ⁻¹⁰ | 210 | 2.22 | 790 | -1.58 | 1044 | 3.85 |
| zmienione 9 3.5x10 ⁻¹⁰ | 300 | 2.11 | 770 | -1.80 | 1075 | 4.5 |

4.9. Amortyzator olejowy

Kolejnym etapem badań symulacyjnych była możliwość stosowania amortyzatora olejowego, służącego jako amortyzator hamujący. Kamera 1 siłownika połączona jest bezpośrednio z atmosferą poprzez dławienie pneumatyczne określone współczynnikiem K01. Kamera 2 siłownika zasilana jest ciśnieniem zasilania PZR, poprzez spór określony współczynnikiem KN. Struktura zasilania dla kamery 1 i 2 nie różni się od przedstawionej na rysunku 8.2. Różnica w strukturze zasilania wynika z braku amortyzatora napędzającego i hamującego o zasilaniu ciśnieniem PZ.

Przyjęto następujący model amortyzatora olejowego hamującego: siła z jaką działa amortyzator na siłownik zależy od powierzchni amortyzatora SAH i ciśnienia oleju PAH.

$$FAH = SAH \cdot PAH$$

Ciśnienie oleju wyraża się wzorem

$$PAH = \frac{QQ^2}{KVRH}$$

gdzie QQ zależy od prędkości siłownika D1LB i powierzchni amortyzatora

$$QQ = D1LB \cdot SAH$$

KVRH jest współczynnikiem zależnym od ścisłości cieczy. Powierzchnia amortyzatora hamującego wynosi SAH=1 x 10⁻⁴ m²

Poszczególne fazy ruchu dla dwóch wartości współczynnika KVRH przedstawione w tabeli 13.

Tabela 13

| KVRH /x10 ⁻¹⁶ / | Początk. ruchu /ms/ | Max.D2LB /10xm/s ² / | Początk. hamow. /ms/ | Min.D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ⁻² xm/s/ |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 10 | 360 | 184 | 800 | -4.14 | 880 | 47 |
| 25 | " | " | " | -1.65 | 860 | 51 |

Początkowe fazy ruchu są spóźnione w porównaniu z przebiegiem standardowym ze względu na brak amortyzatora napędzającego. Zdecydowanie uległ skróceniu czas hamowania do 60ms przy nieprzekrezonej wartości dopuszczalnej minimum przyspieszenia. Natomiast prędkość końcowa znacznie przekracza dopuszczalną. Aby ustalić zasadność stosowania amortyzatora olejowego, należałoby przeprowadzić dalsze badania w tym zakresie. Można by na przykład zmieniać powierzchnię SAH amortyzatora hamującego i odcinek drogi, na którym następuje hamowanie LA. W przebiegu standardowym powierzchnia amortyzatora hamującego wynosi $SA=4.91 \times 10^{-4} m^2$, a więc prawie 5 razy jest większa od powierzchni SAH. Z kolei nie zmieniona została wartość LA w porówniu z przebiegiem standardowym i wynosi $LA=0.036m$.

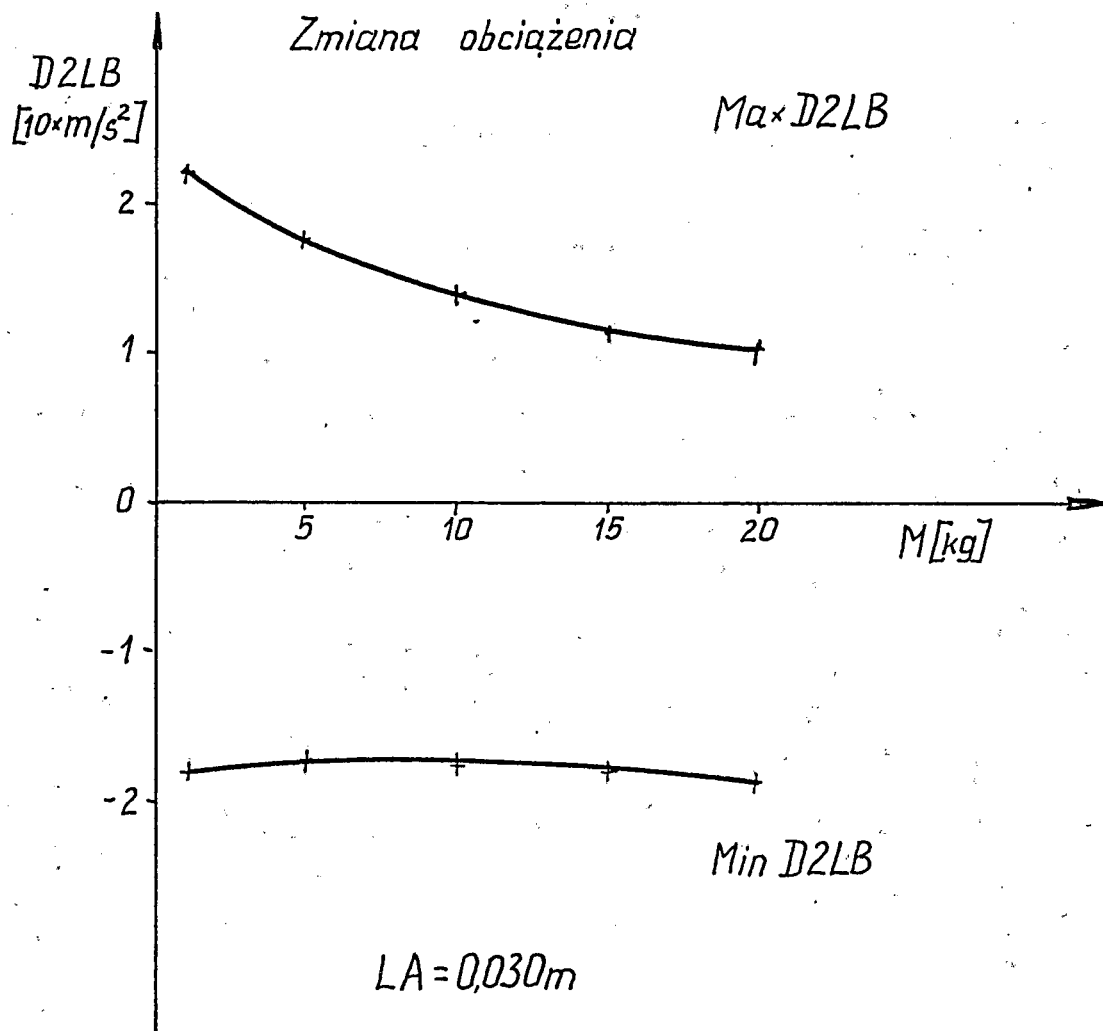
4.10. Zmiany obciążenia dla skoku amortyzatora $LA=0.030 m$

Skrócenie skoku amortyzatora powoduje zmniejszenie czasu hamowania a więc efekt korzystny. Aby zbadać możliwość stosowania amortyzatora o skoku mniejszym od standardowego, należy zastosować pełen zakres obciążeń siłownika. Długość $LA=2,5$ cm już dla obciążenia 1 kg /tzn. $M1=16$ kg/, nie spełnia warunków wymaganych dla ruchu, gdyż minimalna wartość przyspieszenia przekracza $20 m/s^2$. Przeprowadzone badania symulacyjne dla długości skoku amortyzatora $LA=3cm$ i wzrastającej wartości obciążenia M, aż do 20 kg.

Wyniki umieszczone w tabeli 14.

Tabela 14

| M /kg/ | Początk. ruchu /ms/ | Max.D2LB /10xm/s ² / | Początk. hamow. /ms/ | Min.D2LB /10xm/s ² / | Czas trwa- nia ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ⁻² xm/s/ |
|-----------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 210 | 2.22 | 760 | -1.78 | 1001 | 9.5 |
| 5 | 210 | 1.78 | 760 | -1.73 | 1003 | 7.95 |
| 10 | 210 | 1.38 | 760 | -1.82 | 989 | 6.14 |
| 15 | 210 | 1.17 | 770 | -1.83 | 989 | 10.6 |
| 20 | 210 | 1.01 | 770 | -1.90 | 991 | 11.3 |



Rys. 16

Porównując z tabelą 2 przedstawiającą podobną zależność dla standardowego skoku amortyzatora $LA=0.036$ m, widać zasadnicze różnice w końcowych fazach ruchu, natomiast zależność maksimum przyspieszenia od obciążenia nie uległa zmianie.

Na rysunku 16 wykreślono zależność maksymalnej, minimalnej wartości przyspieszenia od masy M . Nieвелиki wzrost obciążenia wywołuje efekt podobny jak dla standardowego LA - obniżenie wartości $Min.D2LB$.

Dalszy wzrost masy powoduje jednak zmianę tej zależności.

Stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej wartości prędkości końcowej dla masy M powyżej 15 kg. Dla mniejszych obciążeń stosowanie skróconej długości skoku amortyzatora daje pozytywne rezultaty - skrócony czas trwania ruchu w porówniu z przebiegiem standardowym, przy dopuszczalnych wielkościach prędkości końcowej i minimalnego przyspieszenia.

4.11. Siłownik o długości 40 cm

Kolejnym etapem badań wynikających z symulacyjnych było sprawdzenie zachowania siłownika o długości skróconej w porównaniu ze standardową. Na długość siłownika składają się:

- LA - skok amortyzatora napędzającego i LA - skok amortyzatora hamującego
- LS - dystans, w którym na tłoczysko nie działają amortyzatory
- $LM1$ - długość, która pomnożona przez powierzchnię tłoka siłownika daje przestrzeń martwą komory 1
- $LM2$ - analogiczna długość dla komory 2.

Na rysunku 17 w uproszczony sposób przedstawiono te wielkości w skali 1 : 10. W przypadku standardowym $LBMAX = 0.383$ m, $LM1=0.038$ m i $LM2=0.193$ m. Zatem całkowita długość siłownika standardowego wynosi 0.614 m. Siłownik ten określany jako siłownik - 60 cm.

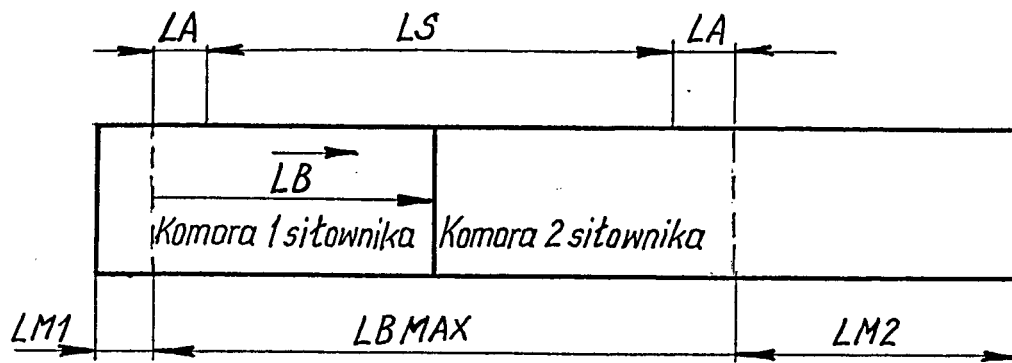
Skrócony siłownik określony jako siłownik - 40cm strzymano poprzez zmniejszenie przestrzeni martwych, przy zachowaniu wartości standardowej $LBMAX$. $LM1$ przyjęte jako 0,018m, zaś $LM2=0.013$ m. Stąd całkowita długość wynosi 0,414 m.

Na rysunku 18 również w skali 1:10 przedstawiono te wielkości.

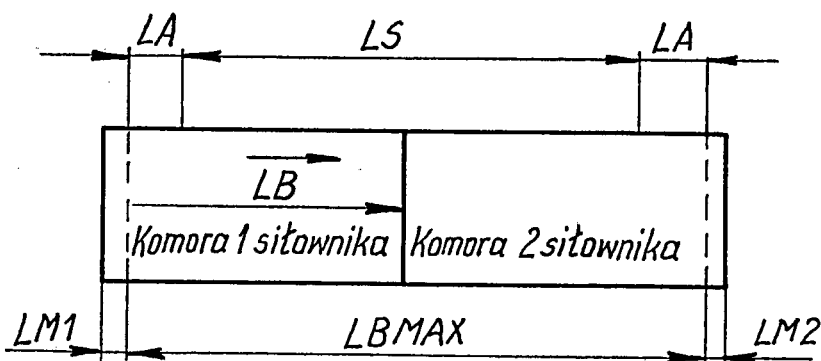
LB oznacza przemieszczenie tłoczyska.

W tabeli 15 umieszczone wyniki badań symulacyjnych dla siłownika -40cm porównując je z danymi strzymanymi dla siłownika 60 cm.

Reszta parametry nie uległy zmianie, jedynie $LM1$ i $LM2$ różnią się od standardowych.



Rys. 17 Schemat ustawienia zderzaków i przestrzeni martwych komór sitownika standardowego 60cm.



Rys. 18 Schemat ustawienia zderzaków i przestrzeni martwych komór sitownika o długości 41cm.

Tabela 15

| Siłownik /cm/ | Początek ruchu /ms/ | Max.D2LB /10xm/s ² / | Początek hamow. /ms/ | Min.D2LB /10xm/s ² / | Czas trwania ruchu /ms/ | Końcowa prędkość /10 ⁻² xm/s/ |
|---------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------|--|
| 40 | 190 | 2.22 | 740 | -1.42 | 1030 | 5.86 |
| 60 | 210 | 2.22 | 750 | -1.58 | 1044 | 3.85 |

Otrzymane wyniki wskazują na pozytywny efekt zastosowania skróconego siłownika. Czas trwania ruchu uległ zmniejszeniu podobnie jak minimalna wartość przyspieszenia. Zmniejszenie wymiarowe siłownika powoduje korzyści wynikające z oszczędności materiału.

Aby jednak podjąć decyzję o zmniejszeniu wielkości LM1 i LM2, należy przeprowadzić badania symulacyjne dla pełnego zakresu obciążeń, temperatur, wahań ciśnienia zasilania itd., podobnie jak było to wykonywane dla standardowych LM1 i LM2.

5. Wnioski

Uzyskany model standardowy robota PR-02 służył do badań wpływu zmian warunków pracy na ruch.

- Stwierdzono, że stosowanie obciążeń do 20 kg jest dopuszczalne, gdyż zachowane są ograniczenia dotyczące prędkości końcowej i minimalnego przyspieszenia.
- Oceniono jaki wpływ posiada obniżenie ciśnienia zasilania na opóźnienie poszczególnych faz ruchu. Całkowity czas trwania ruchu został wydłużony o ok.4% przy obniżeniu PZ o ok.18%.
- Zaobserwowano, że wzrost całkowitego czasu trwania ruchu jest wprost proporcjonalny do obniżania temperatury otoczenia w zakresie od 0°C do 40°C.
- Na skrócenie całkowitego czasu trwania ruchu ma wpływ zmniejszenie skoku amortyzatora LA oraz zmniejszenie powierzchni amortyzatora. Nie należy jednak stosować zbyt małych wartości LA, gdyż powoduje to wystąpienie za dużej wartości minimum przyspieszenia przy hamowaniu LA powinno przekraczać 0,025m /standardowa wartość LA=0.036m/. Z kolei zmniejszona powierzchnia amortyzatora hamującego powoduje przekroczenie granicznej prędkości końcowej czyli 0.1 m/s. Poprawę można uzyskać poprzez zmniejszenie współczynnika przewodności amortyzatora KAH, co wpływa korzystnie na końcową prędkość ksztem wydłużonego czasu ruchu.

- Zmiana ustawienia zderzaków, a więc długości skoku siłownika LBMAX przejawia się we wzroście czasu trwania ruchu dla rosnącego LBMAX. Jednocześnie wzrasta średnia prędkość ruchu przy zachowaniu ograniczeń na Min.D2LB i końcową prędkość, co należy uznać jako efekt pozytywny.
- Dwukrotne obniżenie tarcia powoduje niewielkie skutki: skrócenie o ok.4% czasu trwania ruchu oraz wcześniejsze wystąpienie wszystkich faz ruchu.
- Wprowadzenie znacznie uproszczonej struktury zasilania powinno być poprzedzone badaniami symulacyjnymi dotyczącymi zmian temperatury, obciążenia, ciśnienia Pz i skoku siłownika. Na razie stwierdzono, że można uzyskać podobne przebiegi ruchu dla nominalnego obciążenia, temperatury i ciśnienia zasilania, w porównaniu z modelem standardowym.
- Zastosowanie amortyzatora olejowego ^(w badanej konfiguracji) skraca wprawdzie znacznie czas trwania ruchu, czas hamowania wynosi tylko 60-80 ms, lecz końcowa prędkość 4 - 5 razy przekracza dopuszczalną 0.1 m/s. Aby zdecydować o celowości użycia amortyzatora olejowego, należy przeprowadzić badania zmieniające parametry amortyzatora jak jego powierzchnia, skok.
- Zastosowanie amortyzatora pneumatycznego o skróconym skoku LA=0.030m w pełnym zakresie obciążenia do 20 kg powoduje przekroczenie granicznej wartości prędkości końcowej 0.1 m/s dla obciążeń ok.15 kg i powyżej. Dla mniejszych wartości można stosować ze względu na czas ruchu krótszy o ok.40 ms.
- Warto zająć się zastosowaniem siłownika o długości 40 cm, skracając standardowy o 20 cm, poprzez zmniejszenie przestrzeni martwych komory 1 i 2. Spowodowałoby to znaczne oszczędności materiałowe, a dążyłoby bardzo podobne efekty do siłownika 60 cm. Uzyskanie korzystnego rezultatu dla nominalnego obciążenia, temperatury, ciśnienia Pz i innych parametrów nie wystarcza. Należałoby przeprowadzić podobne badania jak dla standardowego siłownika 60 cm w pełnym zakresie zmian parametrów.
- Badania symulacyjne pozwoliły na stwierdzenie jakie zmiany można wprowadzać z korzyścią dla przebiegu ruchu, prestety konstrukcji oszczędności. Wskazały również ograniczenia jakich należy przestrzegać, aby nie przekroczyć założonych wartości dopuszczalnych charakteryzujących ruch.

Opis bloku optymalizacyjnego
dla maksimum pięciu parametrów

Blok optymalizacyjny składa się z trzech części:

1. Blok ograniczeń optymalizacji /warunki brzegowe/,
2. Blok wyliczający wartości funkcji kryterium optymalizacji,
3. Procedura WCZYT

Blok ograniczeń optymalizacji umieszczony jest w bloku DYNAMIC w sekcji NOSORT. Zadaniem jego jest badanie, czy w czasie symulacji nie zostały przekroczone warunki brzegowe parametrów optymalizacji.

Blok wyliczający wartość funkcji kryterium umieszczony jest w bloku TERMINAL. Zadaniem jego jest wyliczenie składowych funkcji kryterium, jeżeli takie istnieją, oraz wyliczenie wartości funkcji kryterium dla danego układu parametrów optymalizacji.

Blok składający się z procedury WCZYT wykonuje obliczenia, które poprzednio były wykonywane przez procedury WCZYT, ZMIANA, WAROPT, a opisane w poprzednim sprawozdaniu /etap 4 /. Tak więc zadaniem procedury WCZYT jest:

1. Wczytywanie wartości początkowych i końcowych przedziałów zmienności parametrów optymalizacji, wartości dyskretyzacji podziałów oraz kroku minimalnego.
2. Zmiana wartości parametrów optymalizacji po każdym przebiegu symulacyjnym.
3. Porównanie wartości kryterium optymalizacji z wartością kryterium do tej pory największej i drukowanie jej oraz układu parametrów, jeżeli ta wartość była większa, lub równa poprzedniej najlepszej.
4. Zmiana wartości początkowych i końcowych oraz kroku dyskretyzacji parametrów optymalizacji, aby z żadaną dokładnością uzyskać wartości parametrów optymalizacji w otoczeniu szukanego punktu optymalnego.

Procedura WCZYT ma następującą postać:

WCZYT (L, AP, AK, DA, DMA, BP, BK, DB, DMB, CP, CK, DC, DMC, DP, DK, DD, DMD, EP, EK, DE, DME, WK, XDOT1, KOPT, A,B,C,D,E)

gdzie:

WEJSCIA

L - całkowita wartość określająca ilość parametrów $L \in \langle 1, 5 \rangle$:

| | | |
|--------|---|---|
| AP, AK | } | Wartości początkowe i końcowe przedziałów zmienności parametrów optymalizacji |
| BP, BK | | |
| EP, EK | | |

DA...DE - Wartości kroku dyskretyzacji przedziałów zmienności odpowiednich parametrów

DMA...DME - wartości kroku minimalnego dyskretyzacji przedziałów zmienności odpowiednich parametrów

XDOT1 - parametr, którego wartość dla pierwszego przebiegu symulacyjnego musi być mniejsza od zera, a dla następnych przebiegów większa od zera

WYJSCIA

KOPT - określa, po którym przybliżeniu ma być zakończona optymalizacja /wartość całkowita/

A, B, C, D, E - wartość parametrów optymalizacji dla następnego przebiegu symulacyjnego.

Spesób umieszczania bloku optymalizującego w programach napisanych w języku CSMP.

⋮

FIXED KOPT1

⋮

XDOT=1

INITIAL

⋮

DYNAMIC

⋮

NOSORT

ograniczenia dla
zmiennych oraz
parametrów
optymalizacji

TERMINAL

•
•
•

ROWNIANIE KRYTERIUM

•
•
•

KOPT, A, B, C, D, E=WCZYT (.x.)

XDOT=1

IF.(KOPT.GE.K)GO TO 1

CALL RERUN

1 CONTINUE

END

STOP

SUBROUTINE WCZYT (...)

RETURN

END

ENDJOB

gdzie K jest liczbą całkowitą określającą ilość przebiegów optymalizacji przy każdorazowym zawężeniu przedziału zmienności parametrów optymalizacji.

Dla przykładu, poniżej zamieszczone program stosowany w pracy opisanej w niniejszym sprawozdaniu i wykorzystujący daną procedurę optymalizacji.

SUBROUTINE WCZYT(L, AP, AK, DA, DMA, BP, BK, DB, DMB, CP, CK, DC, DMC, DP, DK,
XDD, DMD, EP, EK, DE, DME, WK, XDOT1, KOPT, A, B, C, D, E)

C
C PROGRAM WCZYTUJE WARTOSCI POCZATKOWE I KONCOWE PRAZ SKOKU PARAMETROW
C OPTYMALIZACJI
C

INTEGER LZ, ISKAZ, NW, KPOM
REAL A, B, C, D, E, ZP, ZK, DELT, DMIN, ZM, AOPT
COMMON/W/ ZP(5), ZK(5), DELT(5), LZ, ISKAZ, NW, DMIN(5), ZM(5), AOPT(5)
X, KPOM, WKP

DIMENSION YZ(5)
DATA YZ/'-A', '-B', '-C', '-D', '-E'/
IF(XDOT1.GT.0) GO TO 1000
WKP=WK

11 ZP(5)=EP
ZK(5)=EK
DELT(5)=DE
DMIN(5)=DME

C
12 ZP(4)=DP
ZK(4)=DK
DELT(4)=DD
DMIN(4)=DMD

C
13 ZP(3)=CP
ZK(3)=CK
DELT(3)=DC
DMIN(3)=DMC

C
14 ZP(2)=BP
ZK(2)=BK
DELT(2)=DB
DMIN(2)=DMB

C
15 ZP(1)=AP
ZK(1)=AK
DELT(1)=DA
DMIN(1)=DMA

C
DO 16 I=1,5
16 AOPT(I)=ZP(I)
NW=1
LZ=L

KPOM=1
ISKAZ=0
WRITE(6,100)

100 FORMAT(1H1/1X,20HWYNIKI OPTYMALIZACJI,/)
WRITE(6,101) (YZ(I),I=1,LZ)
101 FORMAT(1X,10HWART.KRYT.,2X,5(8HPARAMETR,A2,3X))

1000 CONTINUE
IF(WKP-WK) 9,8,8
9 WKP=WK
WRITE(6,110) WK, (AOPT(I), I=1, LZ)

110 FORMAT(1X,5(1PE11.4,2X))
DO 8 I=1, LZ
ZM(I)=AOPT(I)
8 CONTINUE
IF(ISKAZ.NE.1) GO TO 31
DO 20 I=1, LZ
IF(ZP(I)-ZM(I))1,1,2
1 ZP(I)=ZM(I)-DELT(I)
GO TO 6

Badania symulacyjne drgań mechanicznych
roboty PR-02 w pełnej konfiguracji

Badania symulacyjne modelu robota, zawierającego moduły: obrót, kolumnę i ramię, napędzane silownikami pneumatycznymi opisanymi w sprawozdaniu, objęty następujące zagadnienia:

- 1 - wyznaczenie przebiegów drgań końcówki ramienia robota przy jednoczesnej pracy wszystkich modułów - 4-ry konfiguracje ruchów,
- 2 - wyznaczenie wpływu zmian wielkości masy skupionej, umieszczonej na końcu ramienia, na wielkość maksymalnych przyspieszeń wzdłużnych i poprzecznych ramienia i kolumny,
- 3 - wyznaczenie wpływu amortyzatora dobiegu na wielkość maksymalnych przyspieszeń hamowania.

Ad.1. Przebieg przyspieszeń końcówki ramienia robota, badanego z uwzględnieniem podatności konstrukcji nośnej, różni się od przebiegu napędu nakładaniem się oscylacji własnych o stosunkowo niskiej częstotliwości. Są one słabo tłumione, co sprawia, że stany przejściowe trwają stosunkowo długo i obejmują duże fazy ruchu. Np. impuls rezuchowy wywołuje przebieg własny, który nie zostaje wytłumiony w pewnych przypadkach, nawet do końca fazy ruchu ustalonego silownika. W ten sposób drgania poprzeczne występują praktycznie w całym cyklu roboczym modułu. Czas wytłumienia amplitudy drgań własnych do połowy wynosi $\sim 0,10s$ i jest jednakowy dla kolumny i drgań pionowych ramienia. Dla drgań poprzecznych ramienia, jest jeszcze większy i wynosi $\sim 0,18s$.

Wpływ konfiguracji ruchów modułów na wartości maksymalnych przyspieszeń końcówki ramienia wyraża się następująco:

| D2X1 /m/s ² / | | | D2Z1 /m/s ² / | | |
|--------------------------|--------|----------|--------------------------|--------|----------|
| ramię kolumna | wysuw | chowanie | ramię kolumna | wysuw | chowanie |
| wysuw | 52.345 | 52.345 | wysuw | 40.963 | 30.388 |
| chowanie | 44.042 | 44.042 | chowanie | 41.194 | 30.268 |

Jeśli przeanalizować wartości przyspieszeń zestawione w powyższych tabelkach - widać, że przyspieszenia w kierunku wzdłużnym /x/ nie zależą od tego, czy ramię się cewa, czy wysuwa, lecz zależy od ruchu kolumny i jest ^{tym} większe im mniejsze jest wysunięcie kolumny /Z/.

Analogicznie w kierunku poprzecznym /Z/ wielkość przyspieszeń zależy jedynie od ruchu ramienia i rośnie ze zmniejszeniem jego wysunięcia /X12/.

We wszystkich przypadkach większe wartości ma przyspieszenie w kierunku wzdłużnym, choć w przypadku, gdy kolumna się chowa, a ramię wysuwa, są bliskie sobie. Najbardziej od siebie w przypadku odwrotnym i wówczas D2X1 jest o ok.60% wyższe niż D2Z1. Zjawisko to może stanowić informację dla prawidłowej aplikacji robota w omawianej konfiguracji.

Ad.2. Przeprowadzono symulacje przebiegów drgań dla trzech wielkości masy M1 /masa części ruchomej ramienia łącznie z obciążeniem umieszczonym na jego końcu/.

Poniżej podano zależność maksymalnych wartości przyspieszeń /w [m/s²] końcówki ramienia i kolumny oraz siły czynnej /w [N], od wielkości masy M1

| M1 | 16 | 30 | 35 |
|------|--------|--------|--------|
| D2X1 | 42.005 | 28.308 | 26.071 |
| D2Z1 | 40.850 | 21.855 | 18.741 |
| D2Y1 | 12.589 | 17.446 | 24.244 |
| D2X2 | 12.639 | 13.96 | 16.48 |
| D2Y2 | 7.169 | 9.718 | 12.314 |
| F1T1 | 467,20 | 469,08 | 469,37 |

Wyniki symulacji przedstawiają się następująco: maksymalne wartości przyspieszeń masy ruchomej kolumny rosną ze wzrostem masy M1, natomiast przyspieszenia maksymalne końcówki ramienia rosną ze wzrostem M1, jedynie w kierunku boczny /ruch obrotowy/ natomiast zarówno w kierunku podłużnym /x/ jak i pionowym /Z/ maleją ze wzrostem masy M1. Wyjaśnić to można faktem, że wartość siły czynnej silownika ramienia F1T1 zmienia się minimalnie /poniżej 1%/ tj. praktycznie ^{pozostaje} stała /patrz załączony wykres/.

Ad.3. Dla określenia efektu oddziaływania amortyzatora dobiegu wprowadzono model, w którym siłę hamującą /PAH/ amortyzatora zastąpiono impulsem siły o wielkość 500N i czasie trwania do chwili zatrzymania. Wartość siły obliczona, przyjmując czas działania nie przekraczający 2,4 ms.

Zestawienie wartości szczytowych przyspieszeń /w [m/s²] dla przypadku z amortyzatorem i bez /"twardy zderzak"/ podane niżej.

Wpływ wielkości masy ruchomej na przyspieszenia maksymalne oraz maksimum siły czynnej

a
[m/s²]

50

40

30

20

10

F_{1T1}
[N]

400

200

- $D2X1 = f |M1|$
- $D2Z1 = f |M1|$
- $D2Y1 = f |M1|$
- $D2X2 = f |M1|$
- $D2Y2 = f |M1|$
- $F1T1 = f |M1|$

Kierunek ruchu - wysuwanie

$D2X1$

$D2Z1$

$F1T1$

$D2Y1$

$D2X2$

$D2Y2$

$M1$ [kg]

10

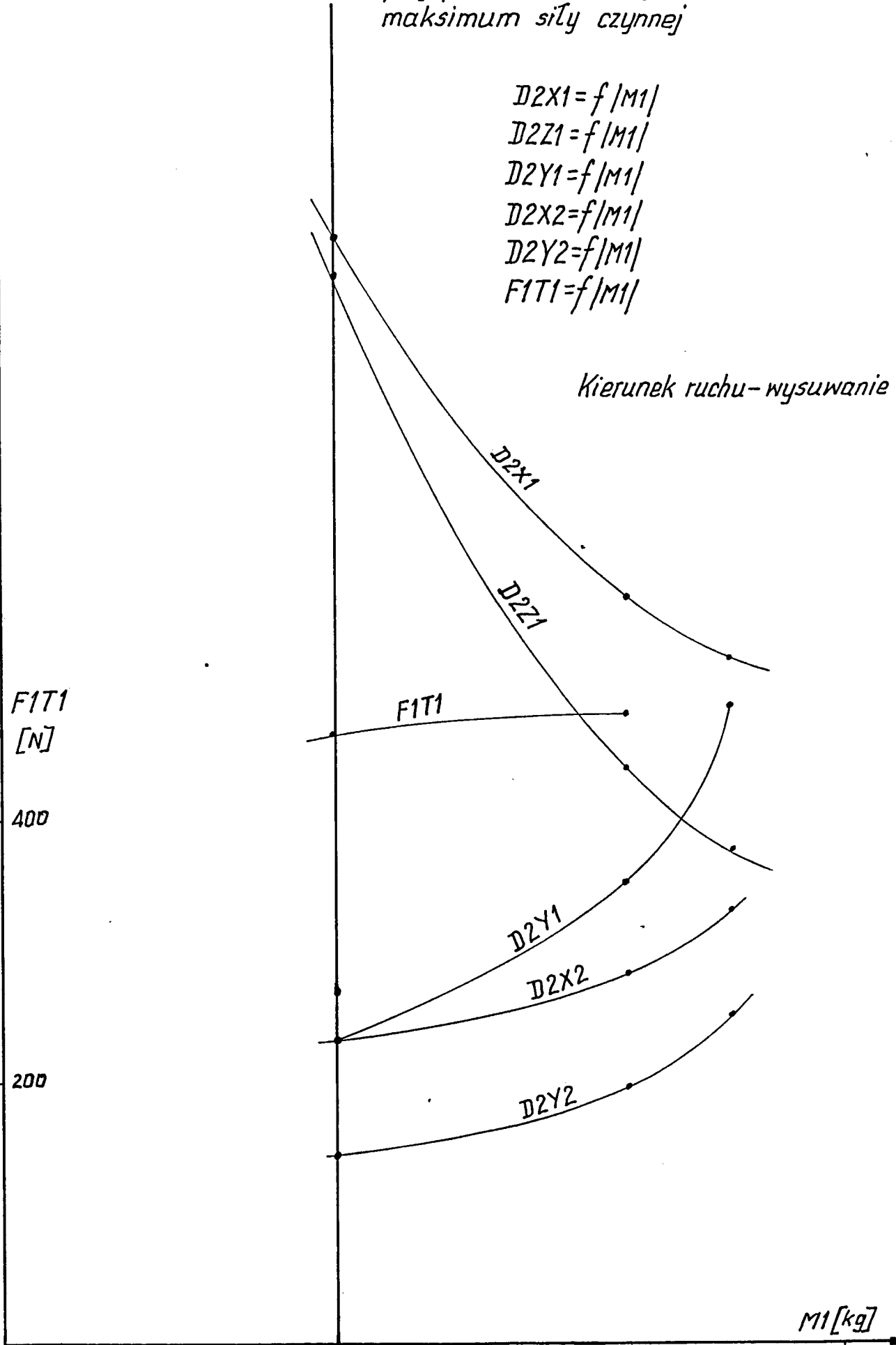
20

30

40

rys 19

HO



| Przyspieszenie | z amortyzatorem | bez amortyzatora |
|----------------|-----------------|------------------|
| D2X1 | 10,76 | 50,75 |
| D2Z1 | 19.43 | 126.99 |
| D2Y1 | 19.518 | 52.056 |

Maksymalna wartość przyspieszenia w kierunku wzdłużnym /x/, przy "twardym" uderzeniu różnie blisko pięciokrotnie, zaś w kierunku pionowym /Z/ ponad sześciokrotnie. Jedynie w kierunku boczny /Y/, o najmniejszej sztywności, wzrost przyspieszenia maksymalnego jest zaledwie nieco ponad 2-krotny. Ze względu na bardzo wysokie wartości przyspieszeń pionowych przy uderzeniu, konieczność stosowania amortyzacji dobiegu jest oczywista.