

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

074 ŚRODEK ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH A

Zespół Zastosowań Robotów Przemysłowych

Główny wykonawca mgr inż. Maciej Oleksiuk *Ol*

Wykonawcy A. Czyżewski, W. Osman, mgr inż. M. Różycki,  
mgr inż. K. Skotnicki, mgr inż. G. Szkaradek

Konsultant -

Nr zlecenia RP-80

Telemanipulator z napędem hydraulicznym  
i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg.

Zadanie 2.4.

Badania modelu użytkowego.

Zleceniodawca CPBR 7.1

Pracę rozpoczęto dnia maj 89

zakończono dnia 30.07.89

Kierownik Zespołu

Kierownik Oddziału *Osłowska*

*u.2. Ol*  
dr inż. R. Sawwa

Z-ca Dyr. d/s  
Automatyki

*Ol*  
mgr inż. L.M. Przybylski

dr inż. T. Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 43

Egz. 1 BOINTE

rysunków 36

Egz. 2 OAR

fotografii -

Egz. 3 Instytut Odlewnictwa

tabel

Egz. 4

tablic -

Egz. 5

załączników -

Egz. 6

Nr rejestr. 6319

4

## Analiza deskrypcyjowa

Manipulator + badania

## Analiza dokumentacyjna

Przedstawiono ~~wzrost~~ wyniki badań modelu użytkowego  
telemanipulatora.

## Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Opracowanie telemanipulatora Etap I. Opracowanie założeń telemanipulatora. Nr rej. 5322
2. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zadanie 1.1.-Projekt wstępny telemanipulatora Projekt układu hydraulicznego. Nr-rej. 5724
3. Telemanipulator ... . Zadanie 1.2. Opracowanie dokumentacji modelu użytkowego. Nr rej. 5949
4. Telemanipulator ... . Zadanie 2.3. Opracowanie programu badań. Nr rej. 5965
5. Telemanipulator ... . Zadanie 2.2. Nadzór autorski nad wykonaniem modelu użytkowego Nr rej. 6250.

338.45:62/69].002.1/.2.001.5

UKD

MAP-252/83-6000

Roboty przemysłowe  
- badania

## S p i s t r e ś c i

1. Wstęp .....	3
2. Przebieg badań .....	3
2.1. Pomiary zasięgów telemanipulatora .....	3
2.2. Sprawdzenie wytrzymałości na obciążenie technologiczne .....	7
2.3. Sprawdzenie prędkości ruchów roboczych .....	8
2.4. Badania symulacji obciążenia na dźwigni sterującej ..	11
2.5. Pomiary ciśnień w obwodach roboczych napędów .....	13
2.6. Sprawdzenie poprawności działania układu chłodzenia..	15
2.7. Badanie poprawności działania dźwigni sterującej.....	16
2.8. Badania zdolności manipulacyjnej .....	17
3. Wnioski .....	18

## 1. Wstęp

Badania modelu użytkowego telemanipulatora wykonano w oparciu o program badań powstały w wyniku realizacji zadania 2.1 celu nr 80. Przyrządy i aparatura użyta podczas badań została opisana w sprawozdaniu nr 5965.

## 2. Przebieg badań.

### 2.1. Pomiary zasięgów telemanipulatora.

Pomiar polega na sprawdzeniu rzeczywistych zasięgów ruchów poszczególnych stopni swobody telemanipulatora.

#### 2.1.1. Zasięg poziomy.

Zasięg poziomy jest to odległość pomiędzy osią obrotu telemanipulatora a osią sworznia mocującego pozycjoner na ramieniu górnym.

Pomiaru zasięgu maksymalnego dokonano w następujący sposób: Zamocowano do pozycjonera pion, który przeprowadzono przez oś sworznia wykorzystując do tego celu smarownicę umieszczoną w jego osi. Ramię górne ustawiono poziomo ( największa odległość pionu od osi telemanipulatora ). Ramię dolne wysunięto w skrajne przednie położenie. Zmierzono za pomocą taśmy odległość od pionu do krawędzi podstawy telemanipulatora - 5250 mm. Po uwzględnieniu, że odległość krawędzi podstawy od osi obrotu telemanipulatora wynosi 625 mm uzyskano zasięg maksymalny 5875 mm.

Pomiaru zasięgu minimalnego dokonano w następujący sposób: Ramię górne ustawiono w skrajne, dolne położenie a ramię dolne w skrajne, tylne. Zmierzono za pomocą taśmy odległość od pionu do krawędzi podstawy telemanipulatora, która wyniosła 850 mm. Po uwzględnieniu odległości krawędzi podstawy od osi obrotu telemanipulatora uzyskano zasięg minimalny 1475 mm.

Błąd wskazań i odczytu przy tych pomiarach wynosi  $\pm 5$  mm. Błąd metody polega na niedokładności ułożenia taśmy wzdłuż promienia.

W karcie zadania wdrożeniowego określono jedynie zasięg

maksymalny, który powinien wynosić conajmniej 4000 mm. To wymaganie jest więc spełnione.

Uzyskane zasięgi różnią się od projektowanych znacznie (4350 mm i 1250 mm). Wynika to z konieczności przedłużenia tłoczyska cylindra napędzającego oś X aby uniknąć kolizji pomiędzy tym tłoczyskiem a poprzeczką ramienia dolnego.

### 2.1.2. Zasięg pionowy.

Zasięg pionowy jest to odległość osi sworznia mocującego pozycjoner do ramienia górnego od poziomu podłogi.

Pomiaru zasięgu pionowego dokonano mierząc długość linki pionu zamocowanej do osi sworznia z wykorzystaniem umieszczonej tam smarownicy. Ramię górne ustawiono w skrajnym, górnym położeniu a ramię dolne ustawiono pionowo, co sprawdzono pionem. Wynik pomiaru 3750 mm.

Sprawdzono też zasięgi minimalne:

- dla położenia ramion dolnego ( skrajne tylne ), górnego (skrajne dolne ) uzyskano wynik 885 mm.
- dla położenia ramion dolnego ( skrajne przednie), górnego (skrajne dolne ) pomiar był niemożliwy, gdyż dla zasięgów poziomych większych niż  $0,7 x_{max}$  ograniczenie ruchu w dół stanowi opieranie się pozycjonera o podłogę.

W stosunku do projektu i wymagań określonych w karcie zadania wdrożeniowego zasięg pionowy jest za mały o 250 mm tzn o 6,25 %.

W dokumentacji prototypu należy przesunąć otwór mocowania cylindra napędu osi Y o ok. 50 mm w górę zapewniając osiągnięcie zakładanej wartości maksymalnego zasięgu pionowego. Zwiększenie przy tej okazji wartości minimalnej tego zasięgu nie zmniejsza walorów użytkowych telemanipulatora ze względu na usytuowanie osi tarczki pozycjonera ( miejsca mocowania chwytaka ) 780 mm poniżej osi sworznia, co przy 3 stopniach swobody pozycjonera zapewni podjęcie przedmiotu z poziomu podłogi w całym obszarze roboczym telemanipulatora.

### 2.1.3. Kąt obrotu wokół osi pionowej telemanipulatora.

Ograniczenie obrotu wokół osi pionowej telemanipulatora

wynika ze sposobu poprowadzenia zasilania szafy sterującej umieszczonej na części obracającej się i jest realizowane wyłącznikami krańcowymi w formie indukcyjnych czujników zbliżeniowych. Pomiar kąta martwego polega na pomiarze rozstawu tych czujników umieszczonych na obwodzie okręgu o promieniu 660 mm. Pomierzona odległość między nimi za pomocą przymiaru wynosi 660 mm, co oznacza, że kąt martwy wynosi  $60^{\circ}$  ( kąt trójkąta równobocznego ), a kąt obrotu  $300^{\circ}$ .

Błąd przymiaru wynosi  $\pm 1$  mm, co odpowiada kątowi ok  $0,1^{\circ}$ .

Wynik pokrywa się z założeniami.

#### 2.1.4. Kąt odchylenia pozycjonera.

Kąt odchylenia pozycjonera wynika bezpośrednio z konstrukcji handlowego napędu obrotowego zapewniającego obrót o  $180^{\circ}$ .

Wymagany kąt  $\pm 90^{\circ}$  jest zapewniony.

#### 2.1.5. Kąt pochylania pozycjonera.

Kąt pochylania pozycjonera zmierzono kątomierzem mierząc odchylenie tarczki pozycjonera od pionu i od poziomu w dwóch skrajnych położeniach cylindra napędu pochylania. Wynik pomiaru  $90^{\circ}$ , co pokrywa się z wymaganiami określonymi w karcie zadania wdrożeniowego.

Niestety odchylenie powierzchni tarczki od pionu w skrajnym położeniu wynosi  $8^{\circ}$ , co może być dla użytkownika niewygodne. Należy w konstrukcji prototypu tak przesunąć punkt zamocowania cylindra, aby za pomocą głębokości wkręcenia ucha na tłoczysko można było ustalić poziomą i pionową pozycję tarczki. Przy obecnym wykonaniu zakres regulacji jest niedostateczny.

#### 2.1.6. Kąt obrotu pozycjonera.

Kąt obrotu pozycjonera wynika bezpośrednio z konstrukcji handlowego napędu obrotowego zapewniającego obrót o  $180^{\circ}$ .

Wymagany kąt  $180^{\circ}$  jest więc zapewniony.

## 2.2. Sprawdzenie wytrzymałości na obciążenie technologiczne.

### 2.2.1. Przebieg próby.

W przestrzeni roboczej telemanipulatora ustawiono słup oporowy, na którym zamocowano czujnik siły firmy Hottinger o zakresie do 5000 N wyskalowany na ściskanie pakietem obciążników w pełnym zakresie wskazań (dokładność skalowania  $\pm 5\%$ ). W czujnik siły wkręcono trzpień o kulistym zakończeniu. Podczas próby dociskano tarczką pozycjonera do trzpienia w kierunku osi czujnika siły. Kuliste zakończenie pomagało w osiowym obciążaniu czujnika. Dokonano rejestracji przebiegu zmian siły obciążenia w czasie.

Pomiarów dokonano dla następujących ustawień ramion telemanipulatora i kierunków siły:

- obciążenie w kierunku X- w obszarze minimalnych wartości x (Wykr. 1)
- obciążenie w kierunku X+ w obszarze minimalnych wartości x (Wykr. 2)
- obciążenie w kierunku Z+ w obszarze maksymalnych wartości x (Wykr. 3)

Ponadto dla maksymalnego zasięgu x dokonano rejestracji przebiegu siły w kierunku Y- w następujący sposób:

Czujnik siły przykręcony do podstawy wraz z trzpieniem o zakończeniu kulistym położono na podłodze tak, aby mierzył siłę skierowaną pionowo w dół. Opuszczając ramię górne wywierano nacisk na czujnik aż do wartości obciążenia 5000 N. Przebiegi sił w czasie zostały pokazane na Wykr.4 i 5 (dla dwóch skrajnych położań pozycjonera w osi pochylania).

Przedstawione powyżej przypadki obciążenia są najbardziej niekorzystne dla wytrzymałości konstrukcji (obok obciążenia siłą ciężkości).

### 2.2.2. Dyskusja wyników.

Telemanipulator przeszedł powyższą próbę z wynikiem pozytywnym w sensie wytrzymałości konstrukcji.

Dodatkowym celem, jaki przyświecał wykonawcom przy tych badaniach, było sprawdzenie przydatności pomiaru ciśnienia w

cylin drach napędów do generowania sygnału sprzężenia zwrotnego od siły obciążenia. Odpowiedź w tym względzie jest negatywna. Zmiana obciążenia zewnętrznego nie wpływa w istotny sposób na wartość ciśnienia w nieruchomym cylindrze ( Wykr. 1 do 5 ). Brak środków i czasu nie pozwolił na głębsze zbadanie tego zjawiska. Niemniej wniosek z tej próby jest jednoznaczny: ciśnienia w cylindrach nie mogą być przydatne w realizacji sprzężenia zwrotnego od siły.

### 2.3. Sprawdzenie prędkości ruchów roboczych.

#### 2.3.1. Sprawdzenie prędkości maksymalnych.

Sprawdzenie polega na pomiarze czasu przejścia elementu związanego z tarczką pozycjonera pomiędzy dwoma punktami odległymi o 1 m. Odcinek bazowy wybrano w obszarach przestrzeni roboczej, w których dana oś uzyskuje ze względu na przyjęte napędy i kinematykę prędkości maksymalne. Pomiarów dokonano w ten sposób, że ustawiono dwa czujniki zbliżeniowe odległe od siebie o 1 m w wybranej dla danej osi przestrzeni ( dla osi X w zakresie  $x > 0,7 x_{max}$  przy ruchu w kierunku  $x+$ , dla osi Y w okolicy połowy zakresu przy ruchu w kierunku  $y-$  ). Przemieszczenie w pobliżu tych czujników elementu mechanicznego związanego z pozycjonerem było mierzone częstotliciomierzem pracującym jako stoper elektroniczny pracujący na tej samej stronie zbrocza.

Pomierzone czasy dla poszczególnych osi przedstawiono poniżej:

Y-	3,022	3,001	3,470	$t_{\text{sr}}=3,164$ s	$v_{\text{max}}=0,316$ m/s
Y+	4,659	4,691	4,786	$t_{\text{sr}}=4,721$ s	$v_{\text{max}}=0,212$ m/s
X+	3,510	3,610	3,450	$t_{\text{sr}}=3,523$ s	$v_{\text{max}}=0,284$ m/s
X-	8,488	8,790	8,851	$t_{\text{sr}}=8,710$ s	$v_{\text{max}}=0,115$ m/s

Pomiaru maksymalnej prędkości w osi Z dokonano przez pomiar czasu pomiędzy dwoma pikami ciśnienia roboczego występującymi przy rozpoczęciu i zakończeniu obrotu. Pomiar ten jest obarczony błędem metody polegającym na uwzględnieniu czasu procesu przejściowego w momencie startu, ale wobec długiego czasu ruchu ustalonego błąd ten nie przekracza 5%.

Z Wykr. 6 i 7 odczytać można następujące wartości czasu



obrotu o kąt  $300^\circ$ : 15,2 14,6  $t_{sr}=14,9$  s  $\omega_{max}=20,1$   $^\circ/s$ .

Podobną metodę przyjęto przy pomiarach czasu obrotu poszczególnych osi pozycjonera. W tym przypadku jednak należy uwzględnić proces przejściowy ze względu na stosunkowo długi czas jego trwania w stosunku do czasu obrotu kąt odpowiadający pełnemu zakresowi dla danej osi. Cylindry wahliwe stanowiące napęd osi t i w posiadają hamulce ruchu krańcowego zwalniające obrót w zakresie krańcowych  $7^\circ$ . Przebieg ciśnień w komorach cylindrów wahlwych pokazany na Wykr. 8-11 pozwala na określenie czasu odrotu o kąt  $173^\circ$ .

Układ hydrauliczny napędzający te osie posiada zawory dławiące jednostronnego działania zapewniające przy zastosowaniu zasilacza ciśnieniowego szeroki zakres regulacji przepływu, a więc prędkości organu wykonawczego. Na Wykr. 12-15 pokazano przebiegi ciśnień przy nastawach zaworów dławiących zapewniających wolniejszy, umożliwiający operatorowi reagowanie ruch pozycjonerem.

Uzyskano następujące maksymalne prędkości ruchów pozycjonera:

odchylenie 3,3 s  $\omega = 52^\circ/s$

pochylenie 2,25 s  $\omega' = 40^\circ/s$  i 3,3 s przy ruchu "pod siebie"  
 $\omega = 27,3^\circ/s$

obrót 2,5 s  $\omega = 69^\circ/s$

W stosunku do wymagań określonych w karcie zadania wdrożeniowego nie osiągnięto zadawalających wyników:

X 0,284 m/s wobec wymaganego 1 m/s czyli 28,4%

Y 0,316 m/s wobec wymaganego 1 m/s czyli 31,6%

W stosunku do założeń nie osiągnięto zadawalających wyników dodatkowo w dwóch kolejnych osiach:

Z  $20,1^\circ/s$  wobec wymaganych  $30^\circ/s$  czyli 67%

u  $40^\circ/s$  wobec wymaganych  $45^\circ/s$  czyli 89%

Powyższe zestawienie wskazuje pozornie, że telemanipulator jest zbyt wolny w stosunku do wymagań sformułowanych w karcie zadania wdrożeniowego. Doświadczenia zdobyte podczas uruchomienia i badań telemanipulatora przy kilkudziesięciu godzinnej pracy prowadzą jednak do następujących wniosków:

1) Podczas pracy pozycjonera z maksymalnymi prędkościami operator, uwzględniając czas reakcji człowieka, nie jest w stanie opanować maszyny. Za najwygodniejsze, a dostatecznie

szybkie należy uznać doświadczalnie dobrane prędkości:

w osi t  $15^{\circ}/s$

w osi u  $18^{\circ}/s$

w osi w  $15^{\circ}/s$ .

Należy skorygować wymagane prędkości maksymalne do poziomu najwygodniejszego dla operatora. Dokonano nastaw zaworów dławiających zapowniających wyżej określone prędkości. Istotne jest to, że nastawianie prędkości obrotu poszczególnych osi pozycjonera jest proste i może być wykonywane przez operatora w zależności od potrzeb i umiejętności. Dostęp do śrub regulacyjnych jest wygodny.

2) Prędkość obrotowa wokół osi Z jest dostatecznie duża i na maksymalnych zasięgach x są poważne trudności z efektywną pracą ( prędkość liniowa wynosi wówczas 2 m/s ). Trudności te ujawniły się podczas prób obciążenia technologicznego w osi Z. Niemożliwy okazał się wolny podjazd do słupa oporowego ustawionego na maksymalnym oddaleniu w osi X. Dopiero zmiana rozdzielacza w osi Z 4WRE10E64 na 4WRE10E16 poprawiła znacznie możliwości sterowania szczególnie w zakresie małych prędkości. Należy podkreślić, że przy minimalnych wartościach x maksymalna prędkość liniowa w osi Z przekracza 0,5 m/s, co, jak wynika z doświadczeń zdobytych podczas badań, jest wartością maksymalną dla średnio wprawnego operatora. Uzyskana prędkość Z' ze względu na możliwości operatora jest optymalna i nie powinna być zwiększana. W związku z powyższym należy skorygować postawione w tym zakresie wymagania do poziomu odpowiadającego możliwościom operatora.

3) Maksymalne prędkości w osiach X i Y są nieco za małe i powinny zostać zwiększone w prototypie. Ze zdobytych doświadczeń wynika, że nie powinny one jednak przekraczać 0,4 m/s, biorąc pod uwagę czas reakcji operatora. Parametr ten w tego typu urządzeniach produkowanych na świecie zawiera się pomiędzy 0,25 a 1 m/s ale np firmy japońskie przyjmują nie więcej niż 0,38 m/s, a najbardziej uznane w tej dziedzinie firmy europejskie ( Andromat - Francja i Klein - RFN ) 0,7 m/s. Przyjęte nieco na wyrost założenie prędkości liniowych 1 m/s okazało się w świetle doświadczeń błędne i należy je skorygować do poziomu technicznie uzasadnionego.

W stosunku do powyżej sformułowanego wymagania uzyskano jednak

wynik niezadawalający.

Możliwa jest poprawa tego parametru w prototypie poprzez podniesienie dolnej granicy ciśnienia zasilania oraz zmniejszenie oporów przepływu. Na Wykr. 16 pokazano przebieg ciśnień w komorach cylindra napędu osi X przy obciążeniu telemanipulatora masą 500 kg. Wynika z niego, że w najniekorzystniejszych przypadkach ciśnienie zlewowe przekracza 40 bar przy czym dla kierunku x- znaczna jego część jest miarą zbyt dużych strat. Również dla osi Y możliwe jest osiągnięcie poprawy, co widać na Wykr. 18.

### 2.3.2. Sprawdzenie prędkości średnich.

Sprawdzenie polega na pomiarze czasu wykonania przemieszczenia pomiędzy skrajnymi punktami obszaru roboczego niezależnie dla każdej osi:

oś X - maksymalny zasięg względny 3844 mm ( kąt obrotu  $110^{\circ}$  )

czas przejścia w kierunku x+ 24,5 25,0 28,5 s

średni czas przejścia w kierunku x+ 26 s

prędkość średnia w kierunku x+ 0,149 m/s

czas przejścia w kierunku x- 29 31 30 s

średni czas przejścia w kierunku x- 30 s

prędkość średnia w kierunku x- 0,128 m/s

oś Y - maksymalny zasięg względny 2560 mm ( kąt obrotu  $50^{\circ}$  )

czas przejścia w kierunku y+ 13,5 11,5 13,3 s

średni czas przejścia w kierunku y+ 12,8 s

prędkość średnia w kierunku y+ 0,2 m/s

czas przejścia w kierunku y- 11 11 9 s

średni czas przejścia w kierunku y- 10,3 s

prędkość średnia w kierunku y- 0,248 m/s

oś Z - maksymalny zasięg ( kąt obrotu )  $300^{\circ}$

czas przejścia w kierunku z+ 15,2 14,6

średni czas przejścia w kierunku z+ 14,9 s

prędkość średnia w kierunku z+ 20,1°/s

prędkość średnia w kierunku z- ze względu na symetrię układu jest taka sama

oś t, u, w - prędkości w tych osiach wynikają z nastaw zaworów dławiących i mogą osiągać dowolne wartości z przedziału od 0 do wartości maksymalnej określonej w p.2.3.1.

#### 2.4. Badania symulacji obciążenia na dźwigni sterującej.

Po wykonaniu dźwigni sterującej okazało się, że opory ruchu przy cylindrach symulacji obciążenia podłączonych do instalacji hydraulicznej są trudnowyczuwalne. W trakcie prób bez symulacji obciążenia sterowanie dźwignią odbywało się bez najmniejszego wysiłku. W związku z tym w stosunku do programu badań dokonano w tym punkcie zmiany polegającej na pomiarze ciśnień w komorach cylindrów symulacji a nie sił bezpośrednio na rękojeści dźwigni sterującej. Pomiar ten jest dokładniejszy, gdyż jego wynik, nie zależy od położenia dźwigni i prostszy w realizacji.

Układ symulacji obciążenia składa się z trzech identycznych części, z których każda odpowiada jednej z trzech osi X, Y, Z. Każdy z tych obwodów był badany niezależnie. Oprócz ciśnień rejestrowano też napięcia sterujące na wejściu do zaworów przelewowych proporcjonalnych utrzymujących ciśnienie w cylindrach symulacji. Rejestrowano ciśnienia w tej osi, która wykonywała ruch.

##### Oś Y.

Dokonano rejestracji przebiegu ciśnień podczas podnoszenia i opuszczania ramienia górnego bez obciążenia (Wykr. 19) i z obciążeniem masą 500 kg (Wykr. 20) przy różnych wzmocnieniach sygnału wejściowego na wzmacniacz elektrohydrauliczny. Na Wykr. 19 wzrost ciśnienia w końcu cyklu podnoszenia wiąże się z działaniem hamulca ruchu krańcowego. Siodło przy opuszczaniu może się wiązać z cyklicznymi zmianami ciśnienia zasilania. Zjawisko to należałoby jednak poddać jeszcze dalszym badaniom laboratoryjnym. Po zmianie nastaw próbę powtórzono z obciążonym pozycjonerem. Zmiana ciśnień wynika najprawdopodobniej ze zmiennej wartości ciśnienia zasilania. Zamiast dyszy ograniczającej na zasilaniu należałoby zastosować zawór redukcyjny, zapewniający stały poziom ciśnienia zasilania układu symulacji.

##### Oś Z.

Na wykr. 21 przedstawiono wyniki badań układu symulacji w osi Z. Obciążenia w osi Z mogą wynikać bądź z sił poprzecznych w stosunku do płaszczyzny telemanipulatora bądź z oporów ruchu w postaci tarcia i sił bezwładności. Podczas rejestracji wykorzystano ten drugi przypadek. Obrotów dokonywano w obu

kierunkach o kąt około  $90^{\circ}$ . Rejestrowano ciśnienie tylko po jednej stronie łopatki cylindra wahliwego i dla porównania napięcia sterujące zaworem proporcjonalnym. Nastawy wzmocnienia były różne dla każdego z kierunków ruchu. Podczas ruchu w kierunku odpowiadającym komorze, w której zainstalowano czujnik ciśnienia, widać wyraźną proporcjonalność napięcia odpowiadającego rzeczywistym obciążeniom i ciśnieniu. Przy ruchu w przeciwną stronę w komorze tej panuje ciśnienie linii zlewowej. Przeregulowania w momencie przesterowań wynikają z pulsacji obciążenia i ciśnienia podczas zmiany kierunku ruchu.

#### Oś X.

Obwód symulacji w osi X uległ awarii w trakcie badań po wykonaniu uruchomienia ( Wykr. 22 ) i nie jest możliwe przeprowadzenie dyskusji. Wynik próby tej osi negatywny.

#### Współpraca 3 osi.

Podczas badań wykonano próby manipulacji telemanipulatorem z włączoną symulacją wszystkich trzech osi głównych. Przy większych nastawach wzmocnienia maszyna była trudna do opanowania. Polegało to na tym, że przy występowaniu większych oporów na dźwigni, operator wykonywał mimowolnie niezamierzone ruchy w innych kierunkach.

Wydaje się celowe poddanie układu symulacji dalszym badaniom oraz synchronizacji nastaw. Dla technologa powinien być dostępny do regulacji jedynie wyjściowy poziom wzmocnienia sygnału sprzężenia zwrotnego np. ustawiany dyskretnie dla obciążeń od 0 do 5000 N co 1000 N. Wszystkie pozostałe regulacje powinny zostać wykonane w ramach uruchamiania.

### 2.5. Badanie ciśnień w obwodach roboczych napędów.

Pomiarów dokonano mierząc ciśnienia w obu komarach (roboczej i zlewowej) napędów poszczególnych osi przy ruchu danego napędu w obu kierunkach w pełnym zakresie. Rejestracji ciśnień dokonano w funkcji kąta obrotu i w funkcji czasu dla obciążenia masą 500 kg i bez obciążenia.

Jako przyrządy pomiarowe użyto czujniki ciśnienia firmy Hottinger o zakresie 200 bar skalowane za pomocą manometru klasy 0,2 o zakresie 250 bar oraz potencjometr CW 18 do pomiaru

kąta jako argumentu funkcji.

#### Oś X.

Na Wykr. 23 i 24 pokazano przebiegi ciśnień w osi X bez obciążenia w funkcji kąta obrotu ramienia dolnego. Przy ruchu w kierunku  $x+$  po wykonaniu obrotu o kąt  $94^\circ$ , co odpowiada zasięgowi  $x=4489$  mm napęd staje się generatorem. Oznacza to, że sprzężenie zwrotne od siły realizowane w oparciu o pomiar ciśnień w napędach może być stosowane tylko w zakresie do  $x_{\max}=4489$  mm.

Cykliczny charakter zmian ciśnień na Wykr. 24 wynika z cyklu ciśnienia zasilania. Duże wartości ciśnienia po stronie zlewowej dochodzące do 36 bar wskazują na konieczność zmniejszenia oporów linii zlewowej drogą zwiększenia przekroju instalacji hydraulicznej w tym obwodzie.

Przebiegi ciśnień w funkcji czasu pokazane na Wykr. 25 i 26 potwierdzają powyższe wnioski.

Na Wykr. 16 pokazano przebieg ciśnień w czasie przy obciążeniu telemanipulatora masą 500 kg. Przy ruchu w kierunku  $x+$  charakter wykresu nie uległ zmianie. Wzrosła jedynie wartość ciśnienia na tłoczeniu od 6 do 40 bar. Natomiast ruch powrotny odbywał się pod pełnym ciśnieniem 140 bar. Przy ustawieniu ciśnienia zasilania pomiędzy 70 a 140 bar napęd w osi X nie był w stanie zapewnić ruchu w kierunku  $x-$ . Dopiero podniesienie dolnego poziomu ciśnienia do 105 bar umożliwiło płynny ruch w całym zakresie  $x$  w obu kierunkach.

#### Oś Y.

Na Wykr. 17 i 18 pokazano przebiegi ciśnień w osi Y bez obciążenia w funkcji kąta obrotu ramienia górnego. Wysoka wartość ciśnienia po stronie zlewowej ( do 64 bar ) świadczy o zbyt dużych oporach przepływu. Przekroje tej gałęzi instalacji hydraulicznej muszą ulec zwiększeniu.

Na Wykr. 27 przedstawiono przebiegi ciśnień w funkcji czasu bez obciążenia, a na Wykr. 28 z obciążeniem masą 500 kg. Znacznie niższe ciśnienia zlewowe wynikają z zastosowania rozdzielacza proporcjonalnego o suwaku umożliwiającym większy przepływ ( 4WRE10E64 zamiast 4WRE10E16 ). Niemniej należy dążyć do dalszego obniżenia oporów linii zlewowej.

#### Oś Z.

Na Wykr. 6 i 7 przedstawiona przebiegi ciśnień w funkcji

czasu. W osi Z ciśnienia nie zależą od kąta i rejestracje w funkcji czasu są zupełnie jednoznaczne. Na Wykr. 29 i 30 przedstawiono te same zależności ale przy małych prędkościach. Jeżeli nie uwzględniać zmian ciśnienia zasilania, to nie widać jakiś wyraźnych różnic. Na Wykr. 31 i 32 przedstawiono przebiegi ciśnień przy telemanipulatorze obciążonym masą 500 kg umieszczoną raz na minimalnym a raz na maksymalnym zasięgu x. Różnice zaznaczyły się jedynie w wartościach ciśnień w stanach przejściowych (podczas zmian kierunku ruchu). Dla zapewnienia ruchu ustalonego ciśnienie minimalne wynosiło 48 bar.

#### Oś t.

Na Wykr. 8, 9, 14 i 15 przedstawiono przebiegi ciśnień w osi t. Wzrost ciśnienia roboczego w ostatecznej fazie wynika z działania hamulca ruchu krańcowego. Wtedy też następuje zdecydowane zwolnienie ruchu a więc przepływu, wyrażające się spadkiem ciśnienia zlewowego o ok 10 bar.

#### Oś u.

Na Wykr. 33, 34, 35 i 36 przedstawiono przebiegi ciśnień napędu osi u. Znaczne wartości (od 24 do 28 bar) ciśnień zlewowych powinny zostać obniżone poprzez zwiększenie przekrojów w tej gałęzi instalacji hydraulicznej.

#### Oś w.

Na Wykr. 10, 11, 12 i 13 przedstawiono przebiegi ciśnień w napędzie osi w. Znacznie większe ciśnienia robocze w tym napędzie w porównaniu z napędem osi t wynika najprawdopodobniej z błędów wykonania modułu w pozycjonera (brak współosiowości, owal i inne błędy kształtu i położenia). Trudności z montażem tego modułu zgłaszano w trakcie wykonywania telemanipulatora. Należy zwrócić większą uwagę w przyszłości na kontrolę jakości wykonania poszczególnych podzespołów.

### **2.6. Sprawdzenie poprawności działania układu chłodzenia.**

Wstępnie uruchomiono telemanipulator z nastawą ciśnienia zasilania 70 - 140 bar. Podczas różnego rodzaju prób i badań, w ciągu co najmniej 8-godzinnej pracy bez obciążenia telemanipulatora, układ nie wymagał chłodzenia (przyrost temperatury nie przekraczał  $30^{\circ}\text{C}$ ).

Po obciążeniu telemanipulatora masą 500 kg zapewnienie płynnego ruchu w pełnym zakresie osi X wymagało podniesienia dolnego poziomu ciśnienia do wartości 105 bar. Spowodowało to skrócenie w cyklu pracy pompy bez obciążenia. Po 2 godz pracy przy obciążeniu 500 kg przyrost temperatury w zbiorniku przekroczył 30° C przy niechłodzonym obiegu. Przepływ wody chłodzącej na poziomie 2 dm<sup>3</sup>/min wystarcza do stabilizacji temperatury na poziomie 50°C.

Warunki cieplne układu zależą w istotny sposób od cyklu pracy obciążenia. Objętość hydroakumulatora wystarcza w zasadzie do pokrycia poboru mocy w pełnym zakresie ruchu każdego z napędów z wyjątkiem osi Z ( przy pracy z małymi prędkościami ) i X. Przy pracy tych osi czasy pracy biegu jałowego i roboczego pompy są podobne. Podobnie jest przy pracy kilku osi jednocześnie. W stanie gotowości ( gdy nie pracuje żaden z napędów ) ciśnienie rozładowuje się wg krzywej wykładniczej. Dolna nastawa ciśnienia zasilania stanowi poziom odcięcia tej krzywej i w istotny sposób określa warunki temperaturowe pracy zasilacza hydraulicznego. Przy poziomie 105 bar stosunek czasu pracy pompy pod obciążeniem do pracy na biegu jałowym wynosił ok. 0,28. Przy poziomie 70 bar ok. 0,08.

Przy ekstremalnych warunkach pracy potwierdzono poprawność obliczeń wskazujących na konieczność stosowania chłodnicy. Przewidywane warunki eksploatacyjne (duże zapylenie) powodują konieczność stosowania chłodnicy wodnej mimo wielu jej wad. Należy jednak podjąć próby zastosowania w prototypie telemanipulatora chłodnicy innego typu ( o mniejszej powierzchni wymiany ).

## 2.7. Badanie poprawności działania dźwigni sterującej

Zgodnie z wymaganiami sprawdzono własności funkcjonalne dźwigni. Stwierdzono:

- samoczynny powrót dźwigni w położenie neutralne,
- wygodne poruszanie dźwignią - obszar ruchu rękojeści jest łatwo dostępny dla operatora,
- samoczynne zerowanie sygnału w położeniu neutralnym dźwigni.

Tak więc wymagania funkcjonalne zostały spełnione.

W wyniku badań stwierdzono jednak szereg usterek, które



należy wyeliminować w prototypie:

- niską niezawodność połączenia wałka potencjometru z elementem ruchomym dźwigni,
- niewłaściwe umieszczenie przycisku zezwolenia sprzężenia zwrotnego,
- zbyt wiotką konstrukcją ramion dźwigni,
- trudności w montażu instalacji elektrycznej na dźwigni spowodowane zbyt szczupłym miejscem,
- zbyt dużą masę dźwigni wynikającą z użycia przeciwwag; należy je zamienić układem sprężyn.

Wady powyższe nie zmieniają ogólnie pozytywnej oceny modelu użytkowego dźwigni sterującej.

Zgodnie z wymaganiami ciśnienia niezbędne do przesterowania dźwigni w położenie krańcowe powinny być mniejsze niż 25 bar. Stwierdzono przesterowywanie się dźwigni w położenie krańcowe w osi Y już przy ciśnieniu 12 bar a w osi Z 20 bar. W osi X próby nie przeprowadzono z powodu awarii zaworu nieusuniętej do czasu zakończenia badań.

Wobec dużego podobieństwa obwodów należy oczekiwać również w tym wypadku pozytywnego wyniku próby.

## 2.8. Badania zdolności manipulacyjnej.

Badanie zdolności manipulacyjnej ma na celu odpowiedź na pytanie, na ile dokładnie operator jest w stanie sterować telemanipulatorem. Doświadczenia zdobyte podczas prób manipulacji pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Uzyskanie zadanej pozycji zależy przede wszystkim od jej odległości od operatora, przy czym szczególnie trudna jest ocena współrzędnej  $x$ . Dla większych wartości  $x$  (powyżej  $2/3 x_{\max}$ ) błędy zawierają się w przedziale 5 - 10 cm. Przy widoczności punktu, który należy osiągnąć, możliwe jest stosunkowo dokładne dojście z kierunku w osi Y - 1 do 2 cm. Dojście do zadanej pozycji w osi Z związane jest z przeregulowaniami (po zatrzymaniu się występują wahania telemanipulatora). Wynika to z użytego układu napędowego - silnik hydrauliczny z przekładnią wielostopniową i hamulcem. Przebieg ruchu w tej osi jest następujący:

Nawet dla niewielkich otwarć rozdzielacza proporcjonalnego

silnik kasuje najpierw wszelkie luzy pomiędzy nim a wieńcem zębatym umieszczonym na podstawie telemanipulatora. Jednocześnie następuje zwolnienie hamulca osi Z. Po wykasowaniu luzów silnik wraz z elementami ruchomymi przekładni, mając już pewną prędkość a więc energię kinetyczną, powoduje rozpoczęcie obrotu nieruchomej dotychczas części telemanipulatora. W pierwszym okresie ruchu następuje więc znaczne przyspieszenie. W momencie zatrzymania hamulec natychmiast blokuje kółko hamulcowe, a bezwładność ruchomej części powoduje drgania w zakresie istniejących luzów pomiędzy hamulcem a wieńcem zębatym. W tym stanie dokładność zadanej pozycji zależy w istotny sposób od dokładności wykonania zespołu redukcji prędkości obrotowej osi Z. Sumaryczny luz zredukowany do osi Z mierzony przez amplitudę drgań ramienia przy hamowaniu wynosi  $1,4^{\circ}$ . W prototypie należy zastosować wolnoobrotowy silnik hydrauliczny SOK. Ograniczy to luzy pomiędzy silnikiem a wieńcem do luzu międzyzębnego na jednej tylko parze kół zębatych. Należy również dążyć do ograniczenia strefy nieczułości na dźwigni sterującej w osi Z tak, aby rozdzielacz proporcjonalny pracował również w zakresie niewielkich otwarć. Dokonaną w trakcie badań zmianę wersji rozdzielacza zapewniającego dokładniejsze sterowanie w zakresie niewielkich przepływów znacznie poprawiła własności manipulacyjne w osi Z.

2. Układ sterowania pozycjonerem umożliwia jego ustawienie w zadanej pozycji pod warunkiem ograniczenia prędkości ruchu do wartości podanych w p.2.3.1.1).

3. Osiągana dokładność ruchu jest całkowicie wystarczająca do prac związanych z manipulacją masami oraz za- i wyładowczych. W zastosowaniu do zadań technologicznych należy poprawić czułość w osi Z i ograniczyć drgania.

4. Potwierdzono założenie konieczności symulacji na dźwigni sterującej obciążeń telemanipulatora przy pracach typu czyszczenie odlewów czy usuwanie nadlewków.

### 3. Wnioski.

1. Telemanipulator spełnia wymagania w zakresie zasięgów za wyjątkiem osi Y, której zasięg jest o 6,25 % mniejszy od zakładanego. W dokumentacji prototypu należy wykonać poprawkę

zapewniającą wypełnienie założeń w tym zakresie.

2. W pozycjonerze w module "u" należy zmienić punkt mocowania cylindra zgodnie z wnioskami zamieszczonymi w p.2.1.5.

3. Konstrukcja nośna i napędy z wynikiem pozytywnym przeszły próby obciążeń technologicznych siłą 5 kN i masą 500 kg.

4. Telemanipulator nie spełnia wymagań w zakresie prędkości ruchu w 2 spośród 6 osi:

X - 28 % zakładanej prędkości

Y - 32 % zakładanej prędkości

Ze zdobytych doświadczeń wynika, że założono zbyt duże prędkości w stosunku do możliwości operatora i jego czasu reakcji, co wynikało z za małych doświadczeń w tym zakresie w momencie formułowania zadania.

Należy więc zmienić wymagania określone w karcie zadania wdrożeniowego w zakresie prędkości z 1 m/s na 0,4 m/s.

5. Wyniki pomiarów prędkości na pozostałych osiach są zadowalające uwzględniając możliwości reakcji operatora.

6. Pomiar ciśnienia wskazuje na właściwy dobór napędów i odpowiedni zapas mocy z ograniczeniem w osi X opisanym w p. 2.5.

7. Układ chłodzenia spełnia wymagania. W celu optymalizacji konstrukcji należy dążyć do zmniejszenia chłodnicy.

8. Konstrukcja dźwigni sterującej umożliwia zgodne z założeniami sterowanie modelem użytkowym telemanipulatora. Dla potrzeb prototypu należy opracować poprawioną wersję uwzględniającą uwagi zawarte w p. 2.7. oraz w sprawozdaniu nr 6250.

9. Wobec wniosków wynikających przy okazji badań obciążeń technologicznych, sformułowanych w p. 2.2.2., należy przeprowadzić dodatkowe badania układu sprzężenia zwrotnego od siły z wykorzystaniem modelu trójosiowego przetwornika siły opracowanego w PIAP w celu nr 60. Badania te powinny też spowodować ograniczenie liczby nastaw w układzie symulacji obciążenia.

10. Po kilkudziesięciogodzinnej pracy telemanipulatora nastąpiło rozszczelnienie złącza obrotowego pozycjonera. Konstrukcję tego złącza należy w prototypie zmienić zapewniając odpowiednią trwałość.

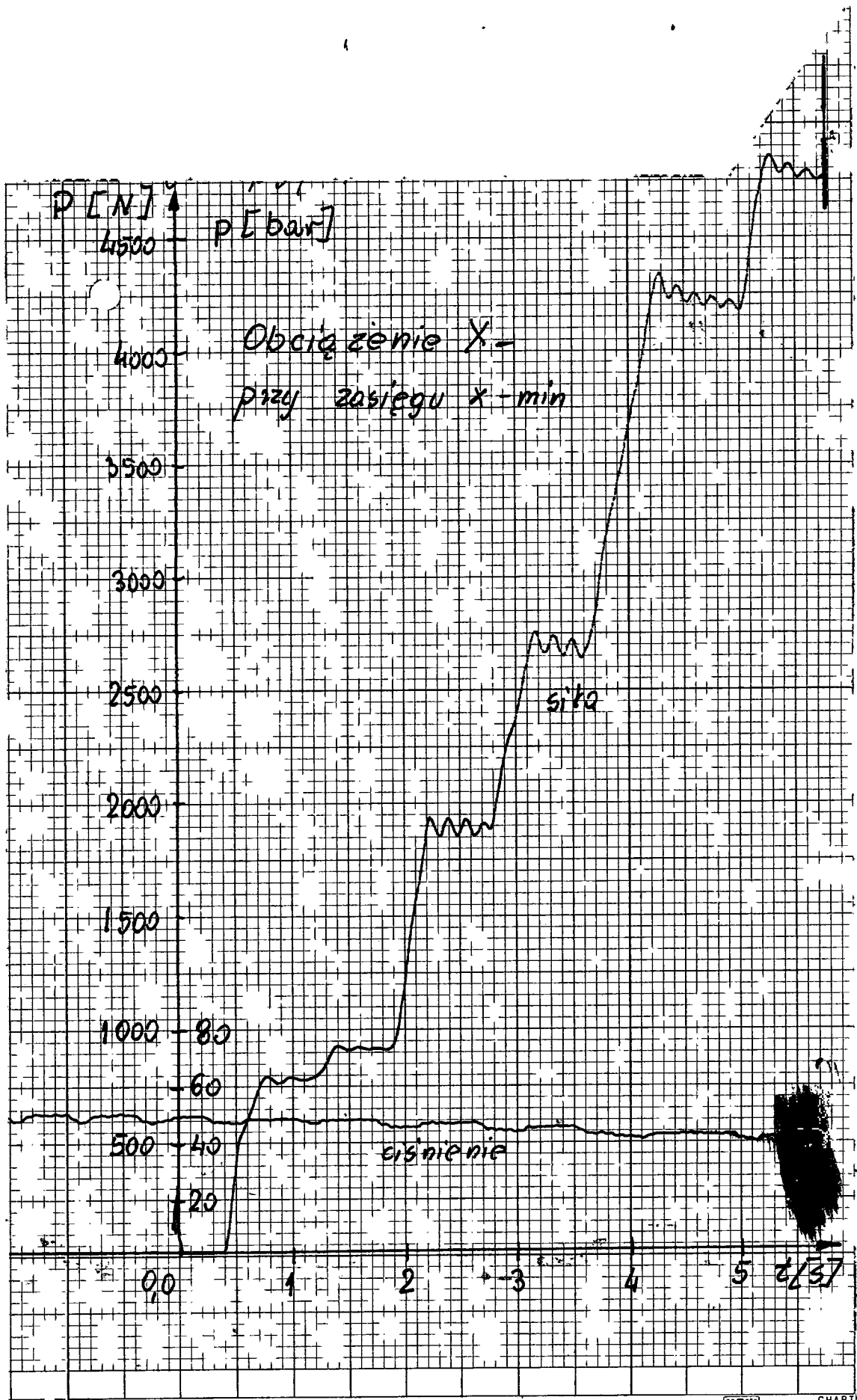
11. Należy wymienić filtr zlewowy na filtr z wkładem papierowym

w celu poprawy poziomu czystości oleju. Stosowany układ filtrów nie spełnia wymagań w tym względzie, co doprowadziło do zawieszenia się suwaka rozdzielacza proporcjonalnego.

12. Możliwości manipulacyjne umożliwiają stosowanie telemanipulatora do prac za- i wyładowczych oraz manipulacyjnych. W zastosowaniach technologicznych wymagana jest poprawa dokładności w osi Z.

13. Ze względu na ogólnie pozytywny wynik badań, wobec zainteresowania telemanipulatorem ze strony przemysłu, należy dążyć do sprzedaży tego modelu użytkowego. Jako pierwsze zastosowanie można przyjąć użycie go do zdejmowanie odlewów z krąty w Hucie Stalowa Wola. Ponieważ to zastosowanie nie wymaga układu symulacji obciążenia, model użytkowy telemanipulatora bardzo dobrze do tego celu nadaje się. Należy tylko przystosować go, niewielkim nakładem pracy, do wdrożenia przemysłowego. Zakres tych prac obejmuje:

- opracowanie i wykonanie nowej, uproszczonej dźwigni sterującej bez cylindrów oporowych i instalacji hydraulicznej,
- opracowanie i wykonanie nowej wersji złącza obrotowego pozycjonera,
- demontaż układu symulacji obciążenia telemanipulatora (pozostanie on w PIAP do dalszych badań),
- wykonanie osłon na zawory i inne czułe elementy układu sterowania,
- wymianę filtra zlewowego na filtr konstrukcji PIAP zapewniający większą dokładność oczyszczania,
- założenie czujnika ograniczającego ruch w kierunku x+ do zasięgu 4489 mm,
- wyczyszczenie i pomalowanie telemanipulatora,
- dokonanie przeglądu wszystkich punktów smarowniczych i wykonanie przesmarowania,
- opracowanie instrukcji obsługi i konserwacji.



5F3

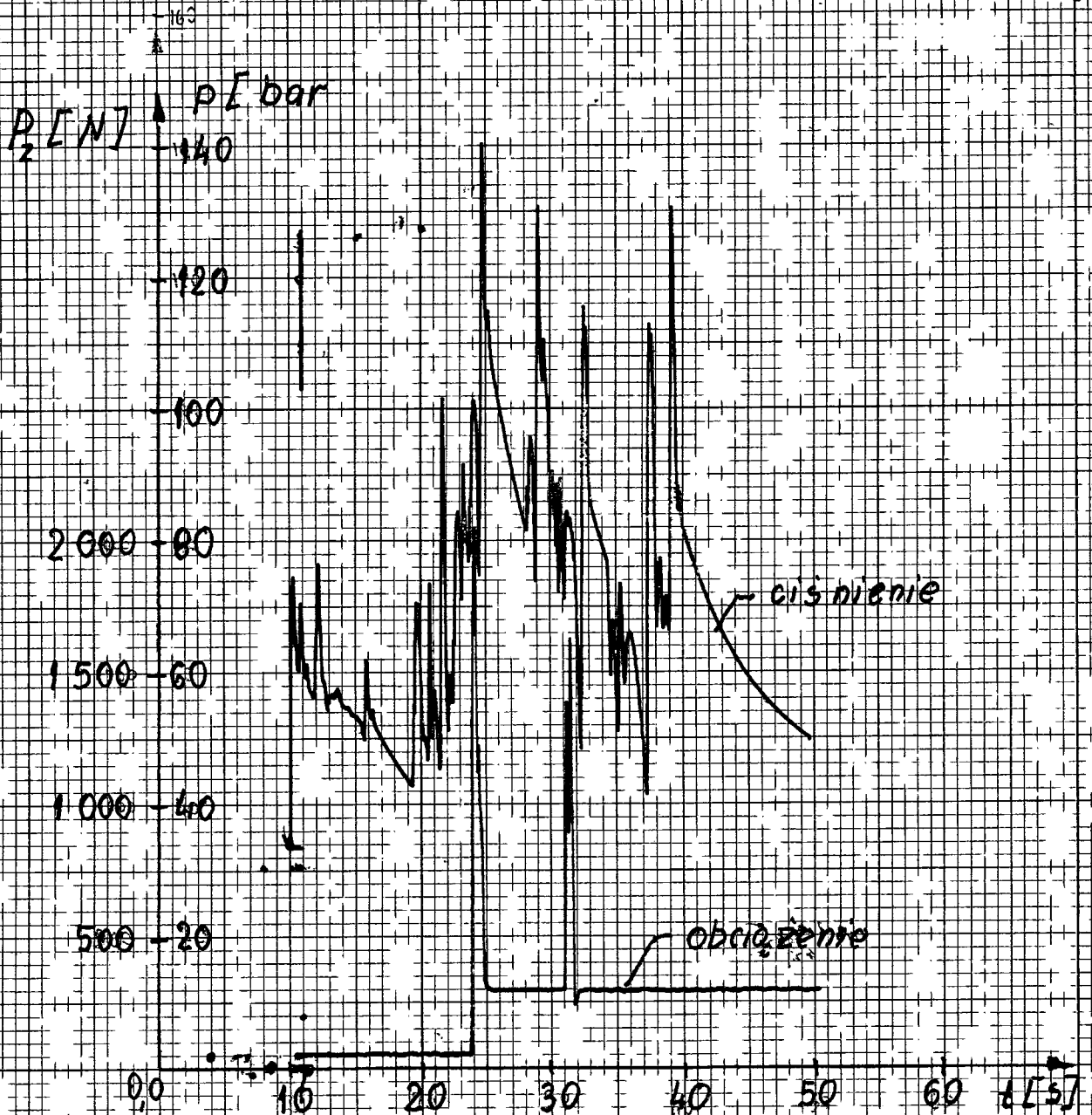
YEW CHART

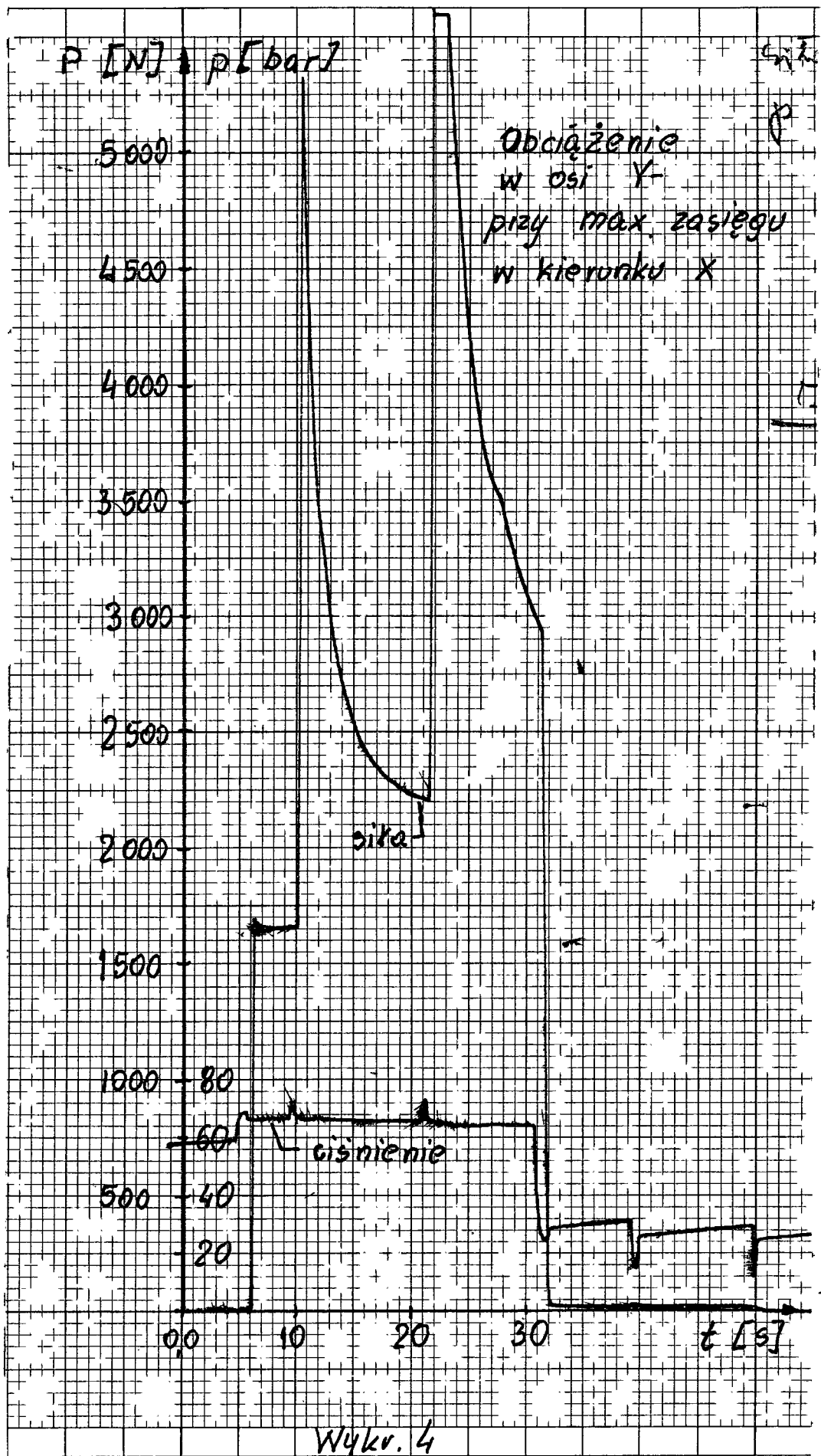
Wykr 1

2



Obciążenie w osi ~~Z~~  
przy max zasięgu ~~X~~

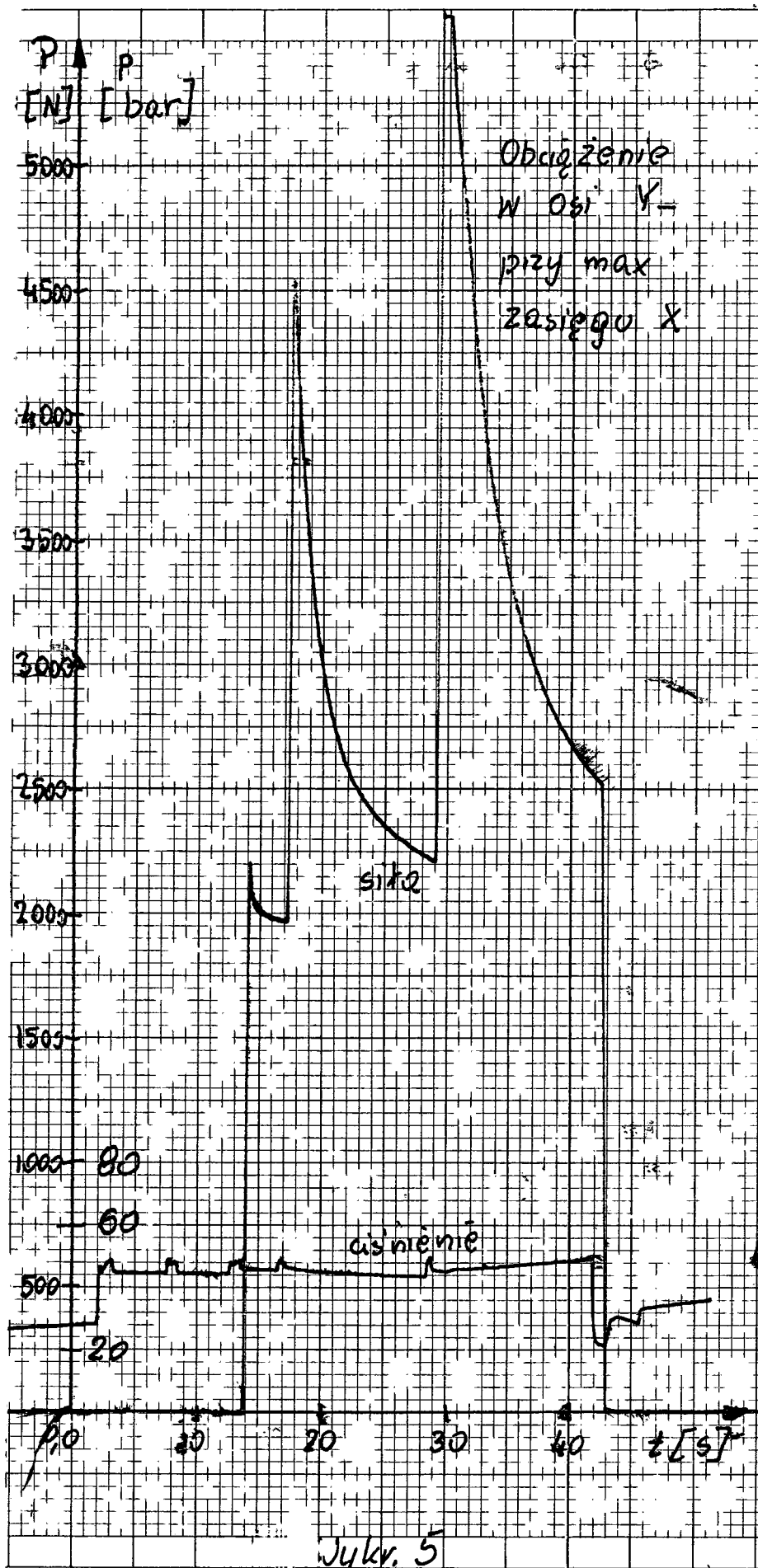


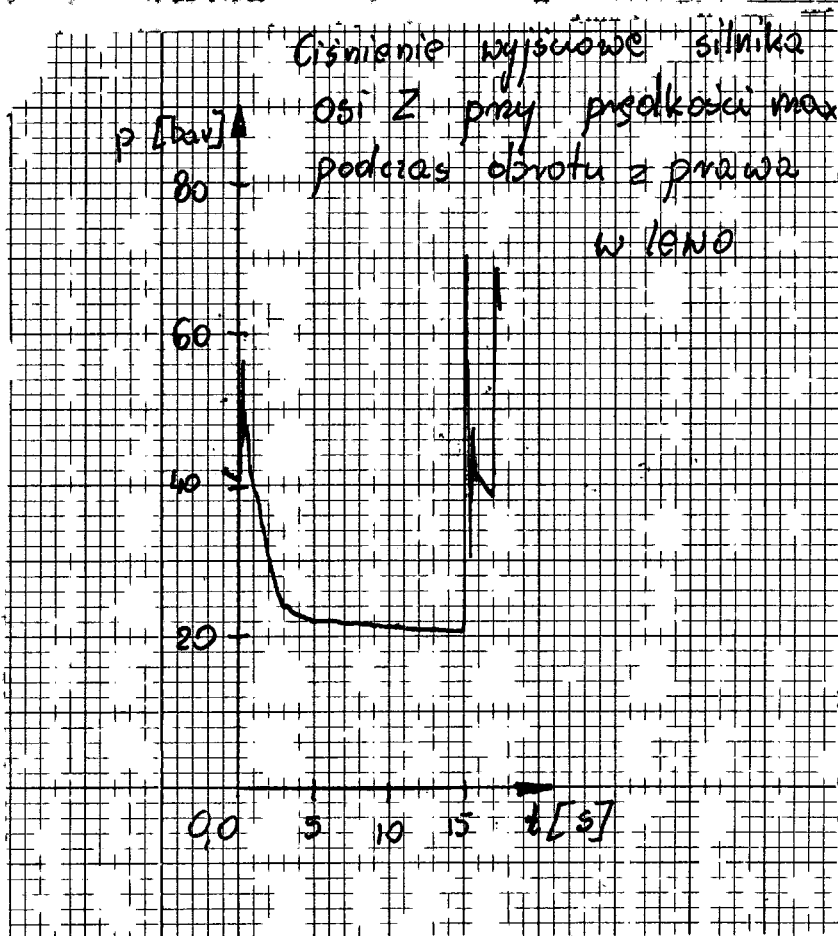
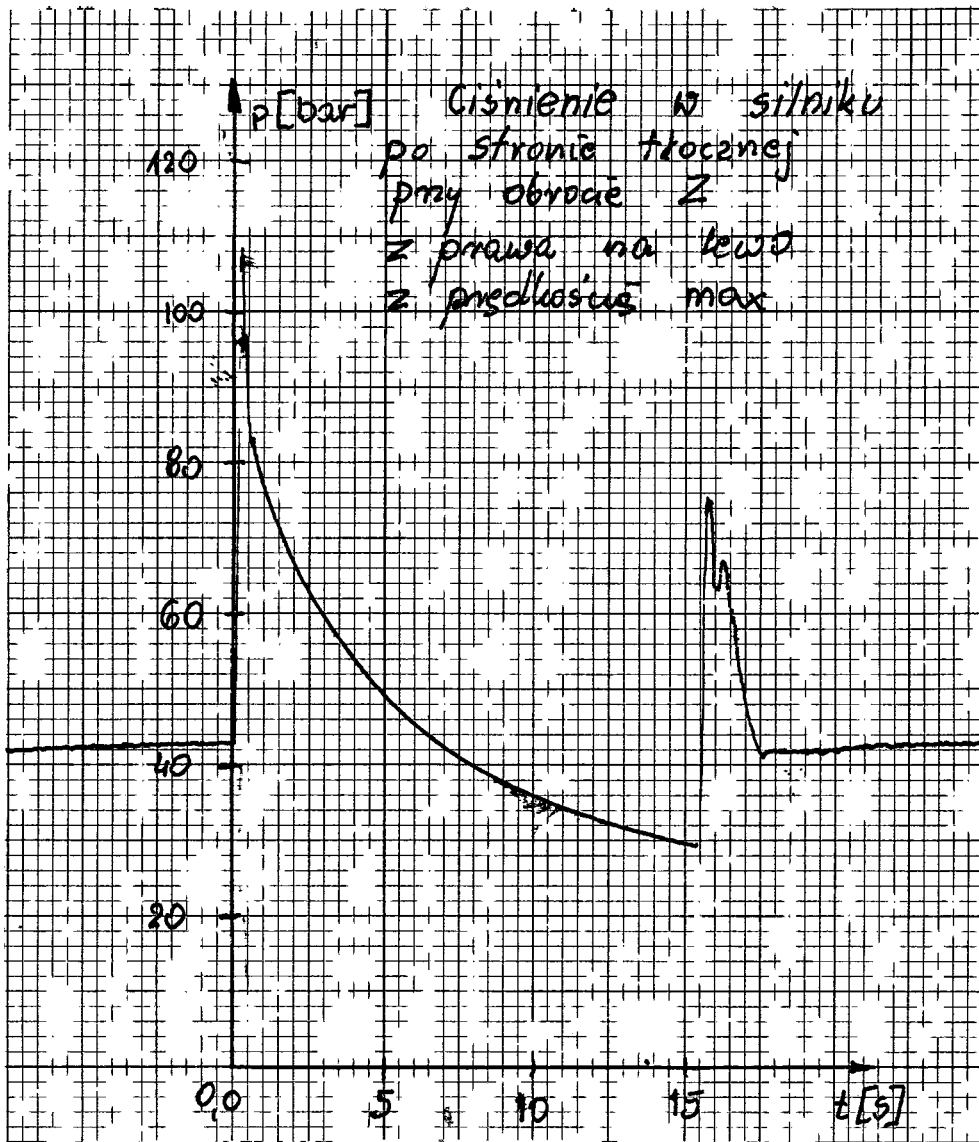


Wykr. 4  
 CHART NO. XY-105

93

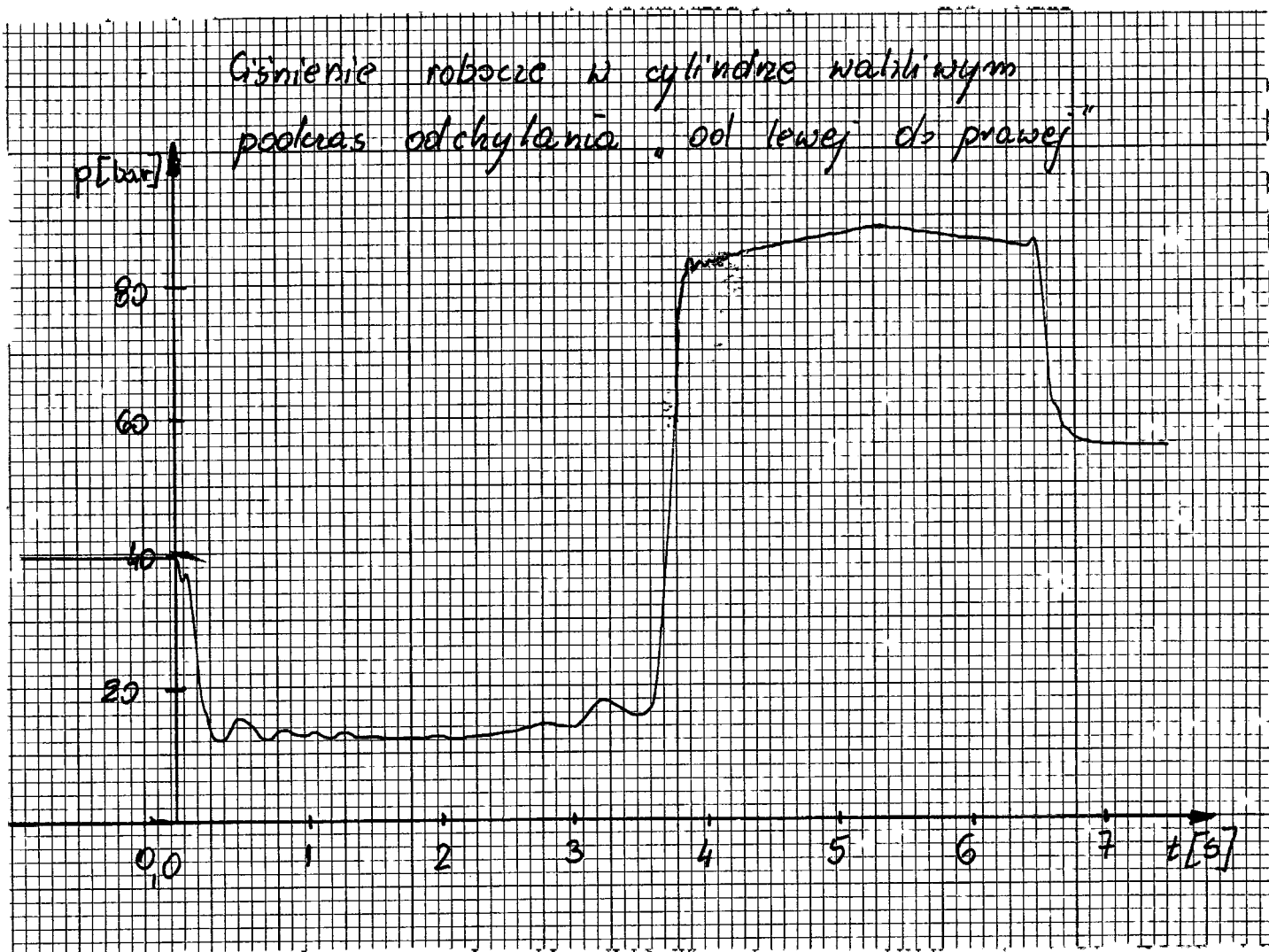




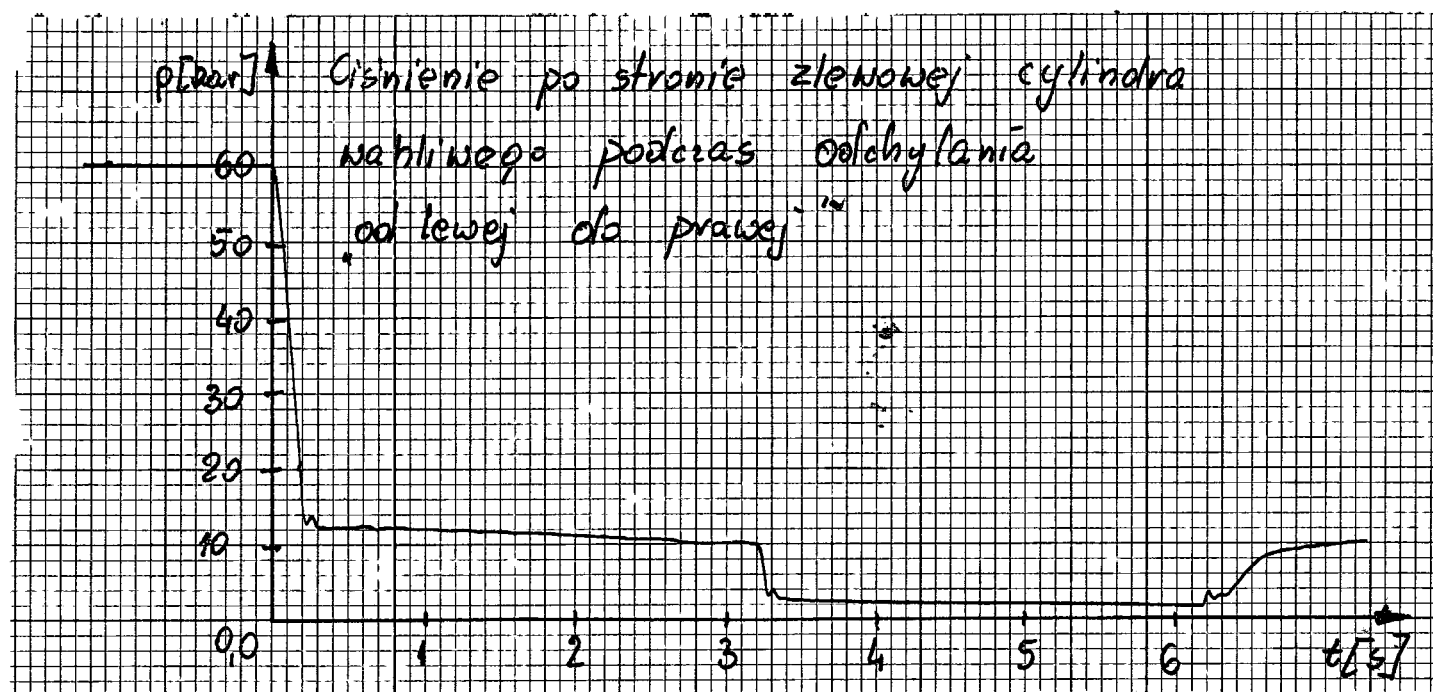


Wykr. 6

Wykr. 7 25



Wykr. 8



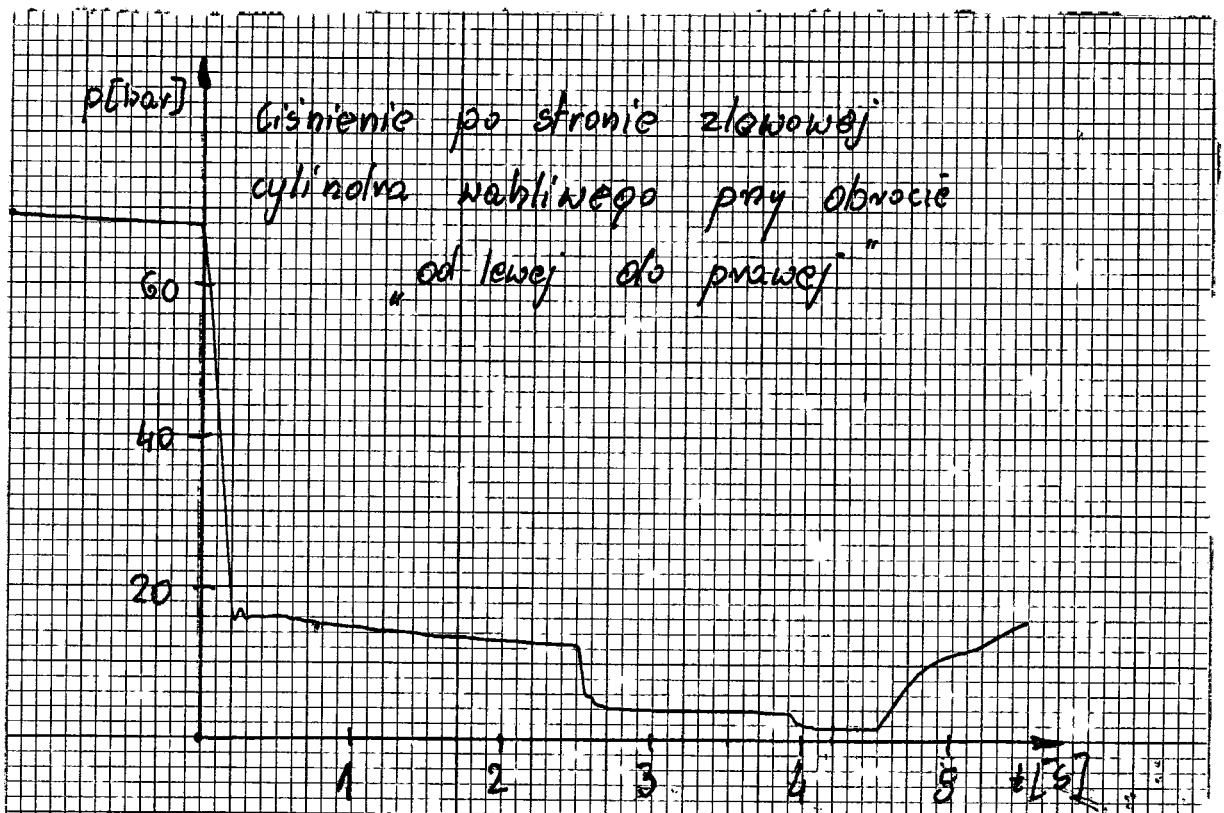
Wykr. 9

ciśnienie po stronie roboczej cylindra  
wahliwego przy obrocie "od lewej do prawej"



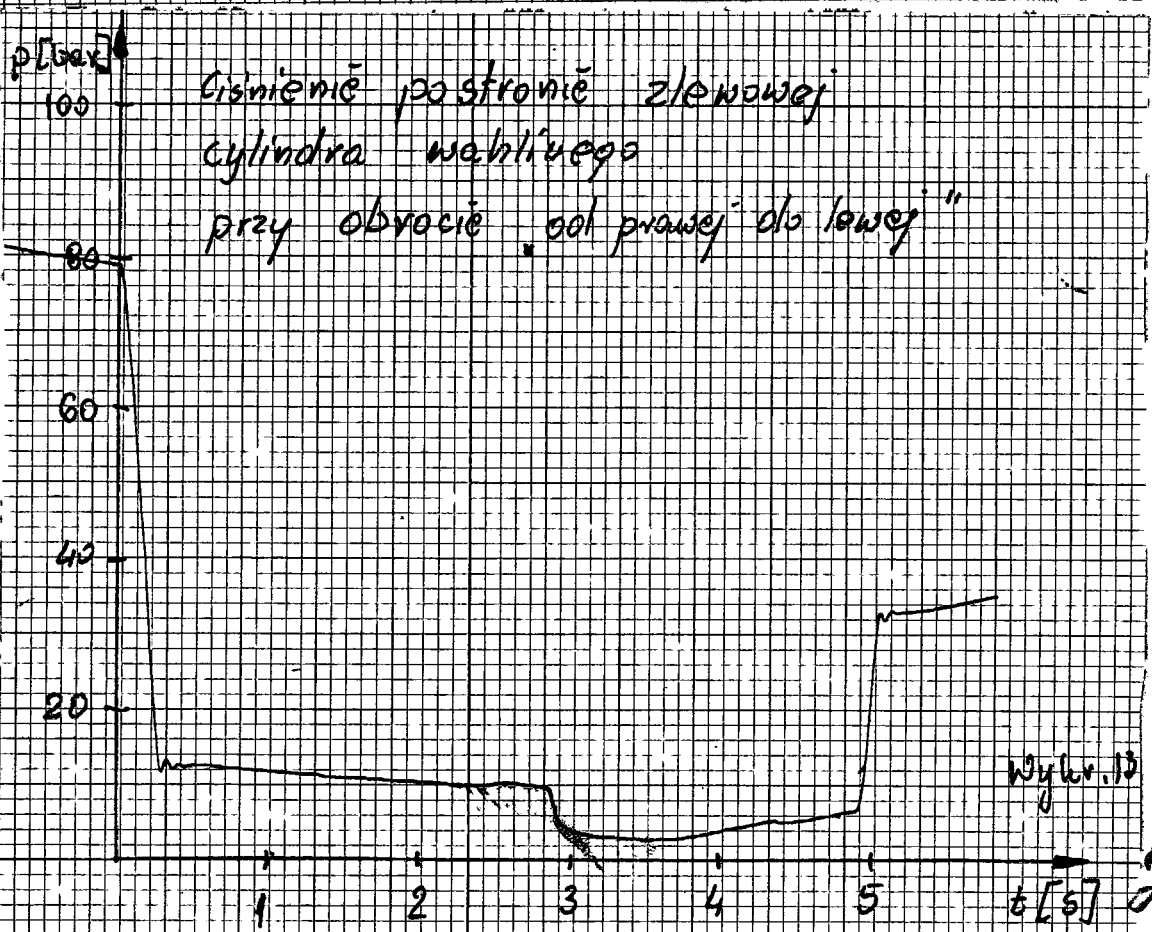
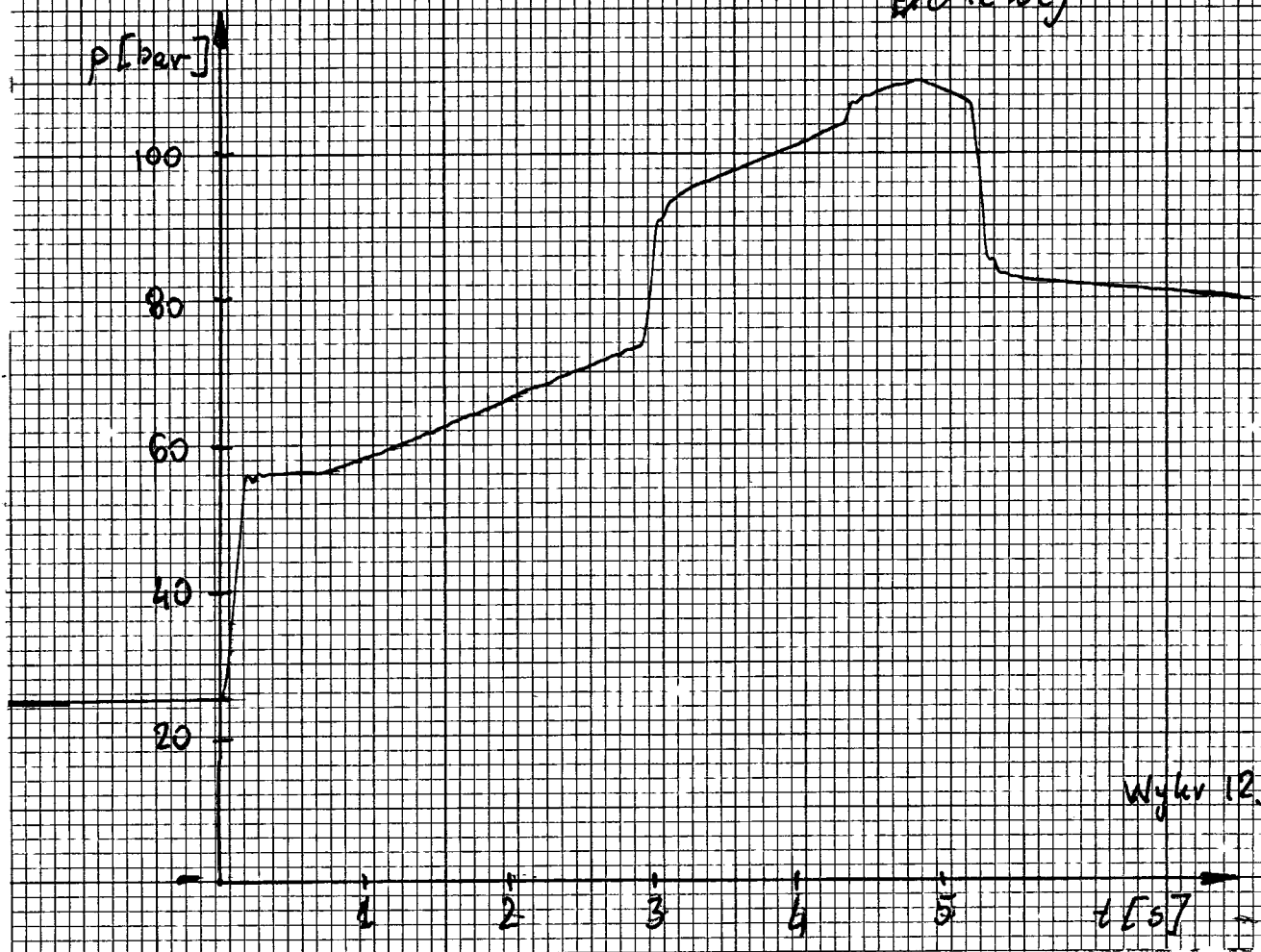
Wyk. 10

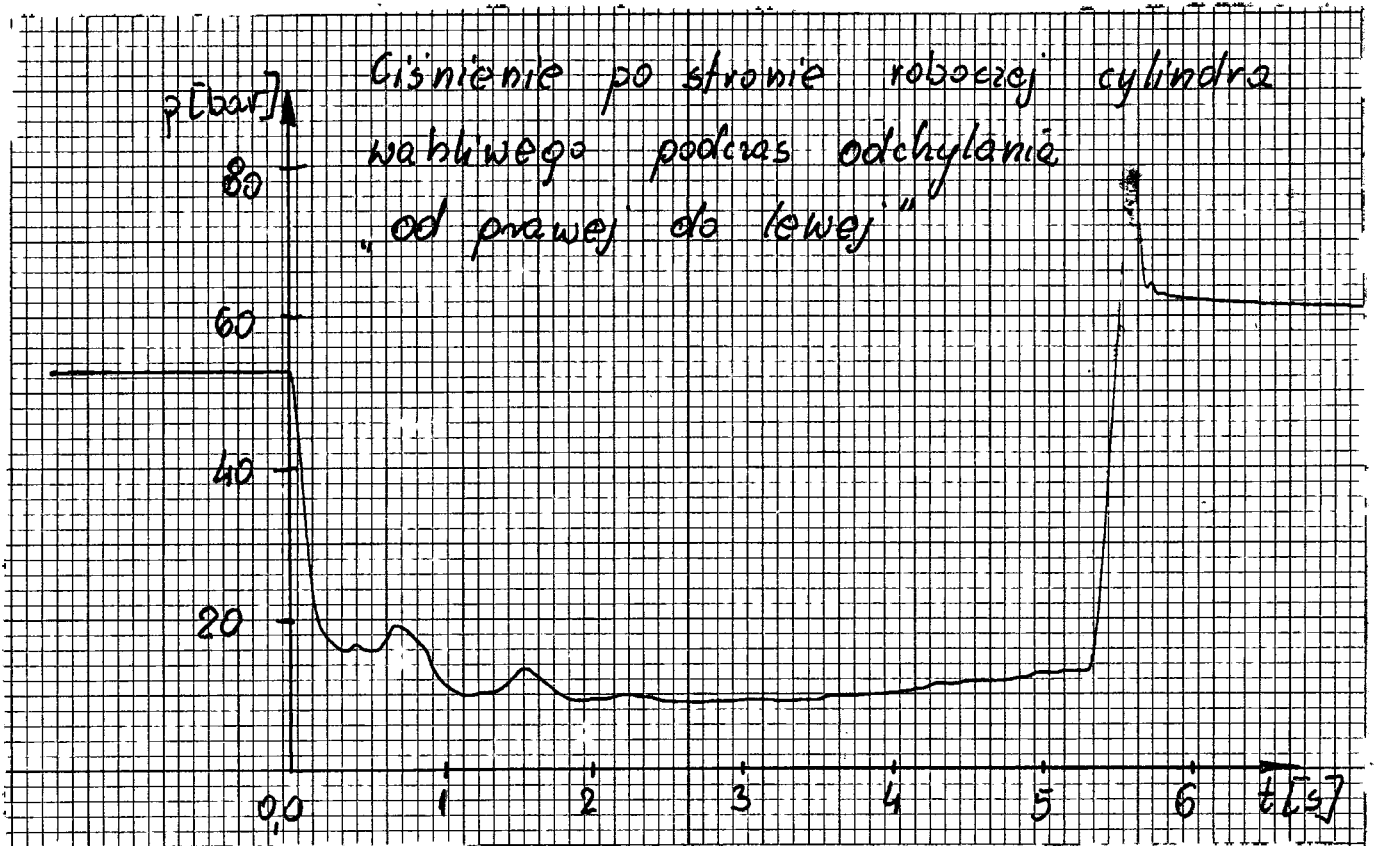
ciśnienie po stronie zlewowej  
cylindra wahliwego przy obrocie  
"od lewej do prawej"



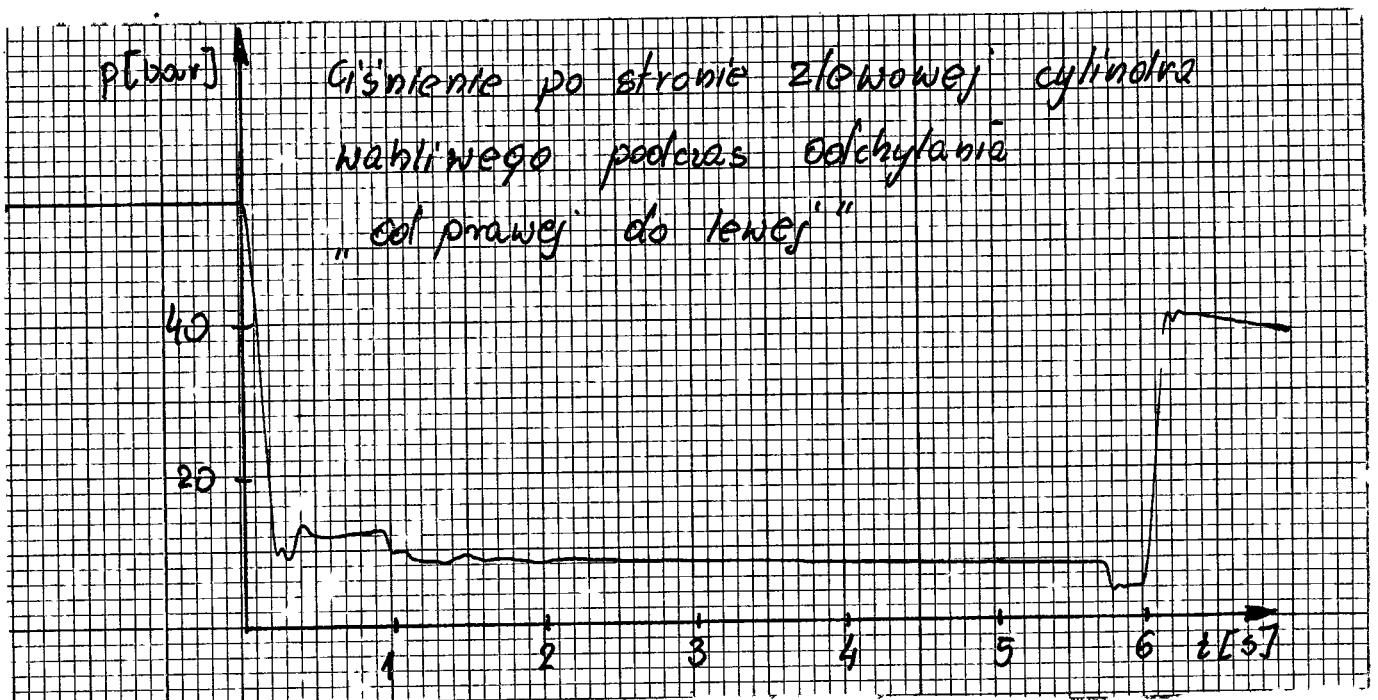
Wyk. 11

Cisnienie po stronie roboczej cylindra  
 wahliwego podczas obrotu „od prawej  
 do lewej”





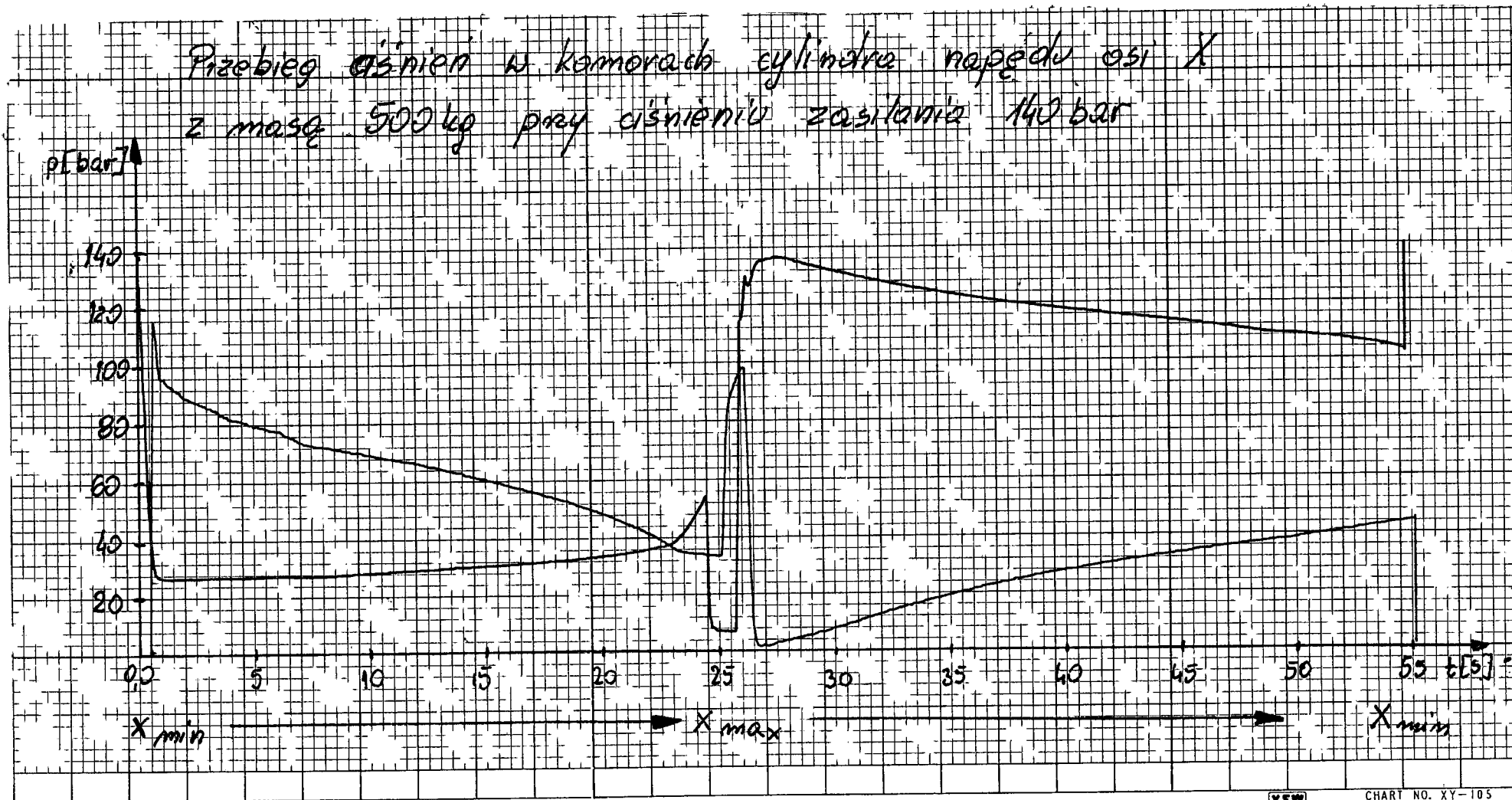
Wykr. 14

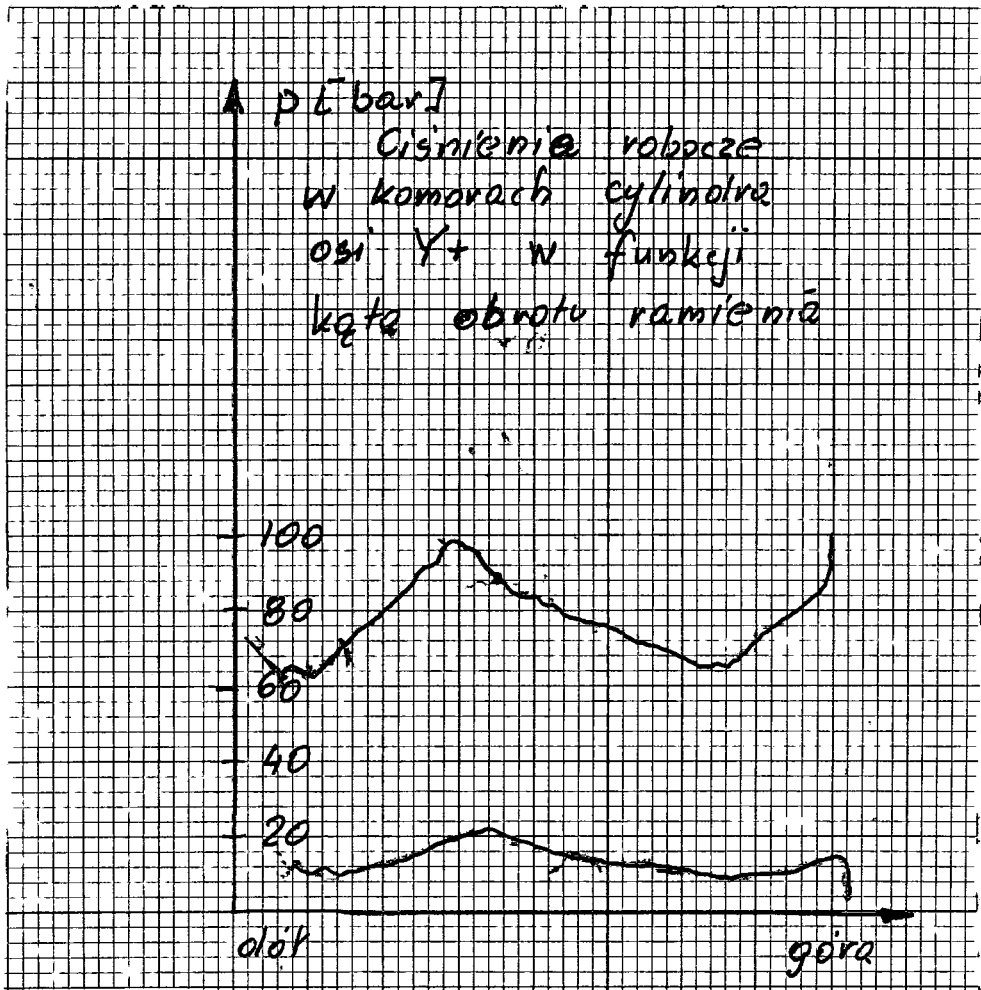


Wykr. 15

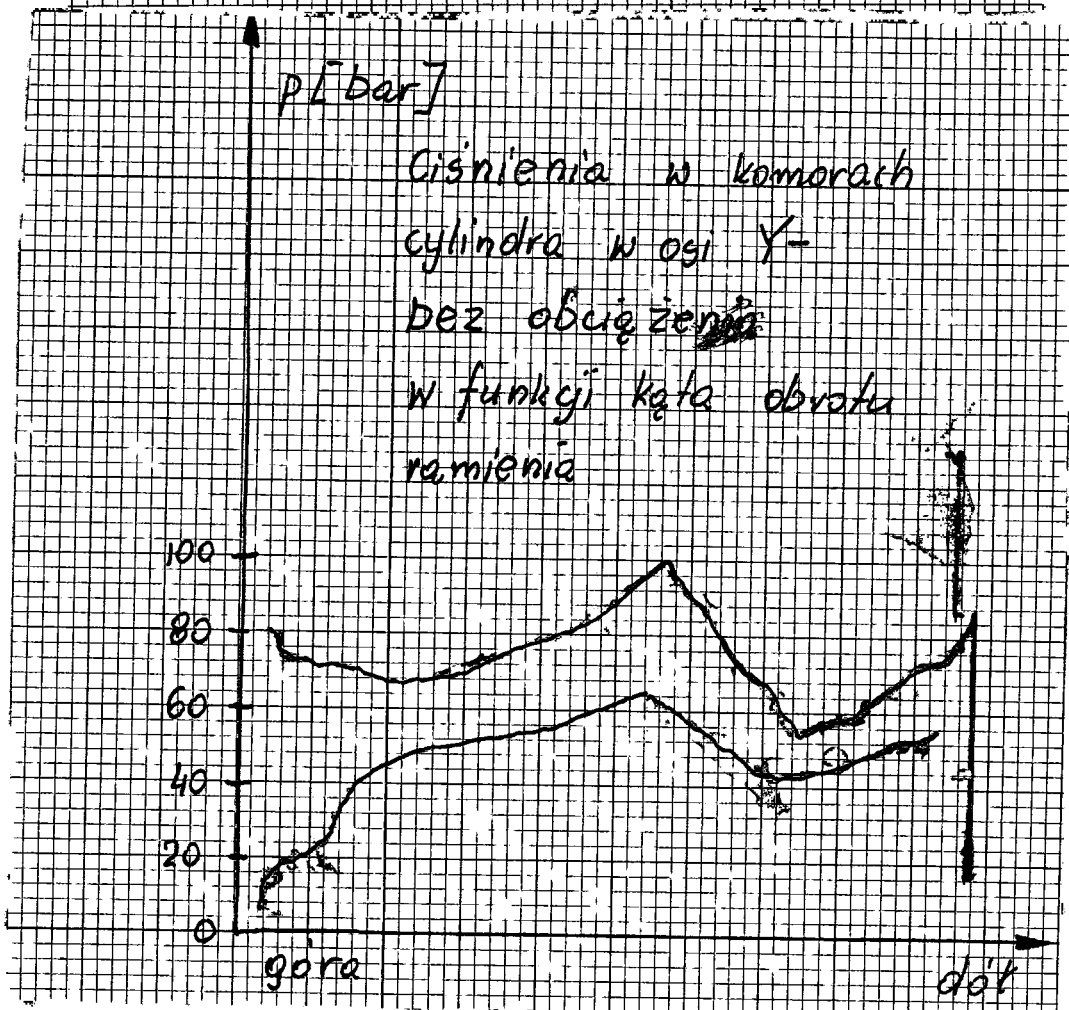
Wykres. 16

Przebieg ciśnienia w komorach cylindra napędu osi X  
z masą 500 kg przy ciśnieniu zasilania 140 bar





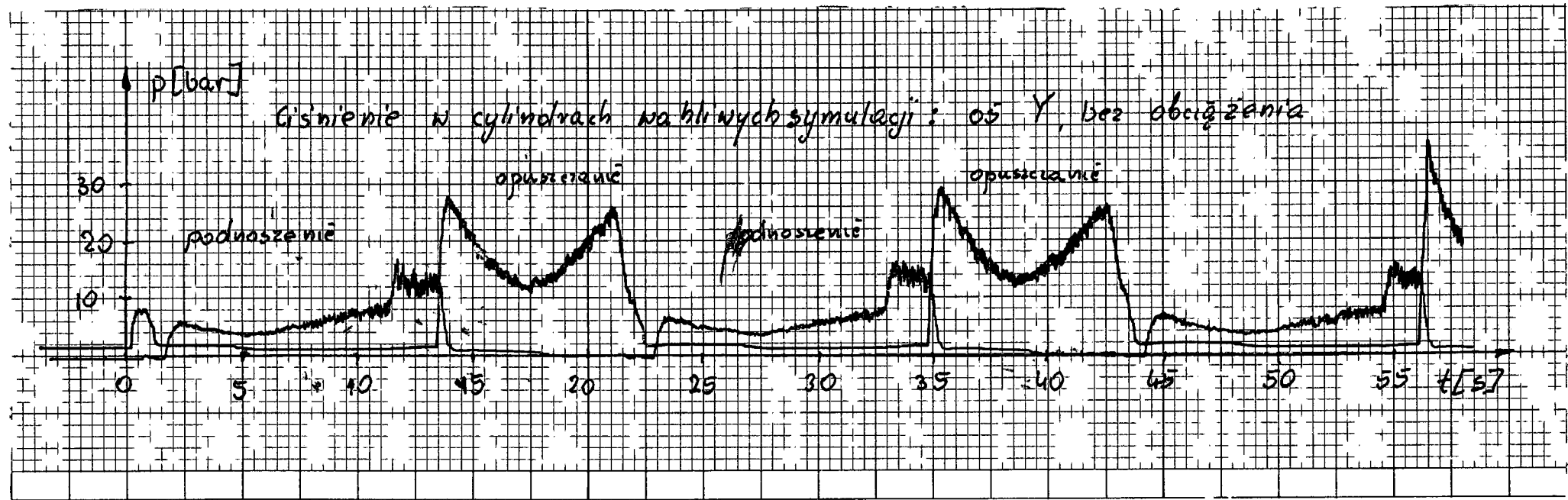
Wykres 7.7



31  
Wykres 18

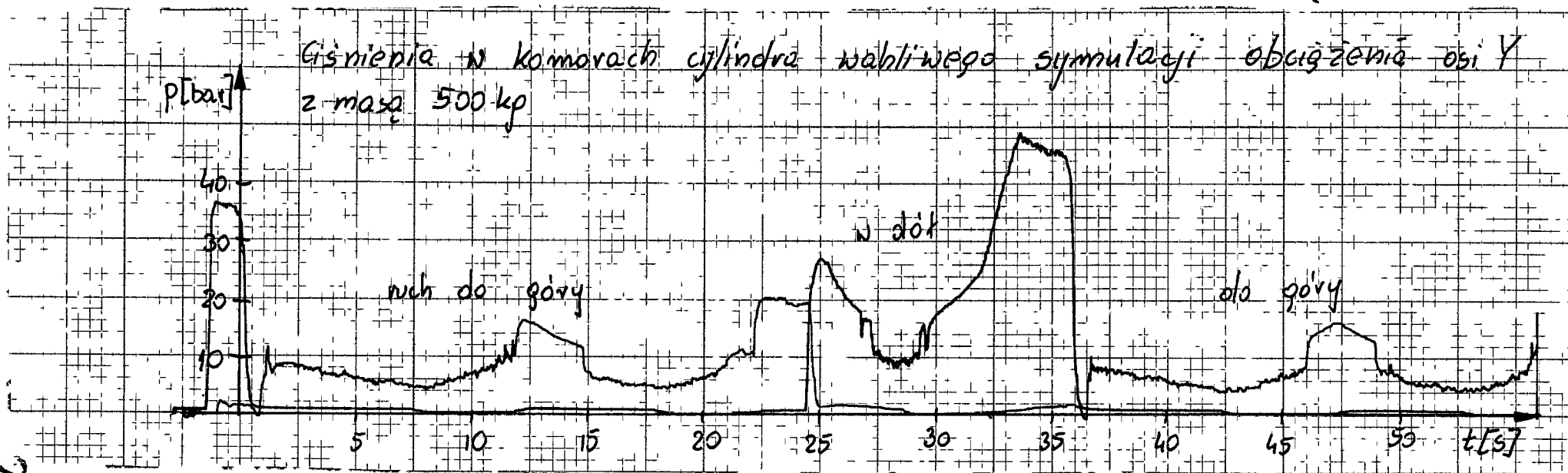
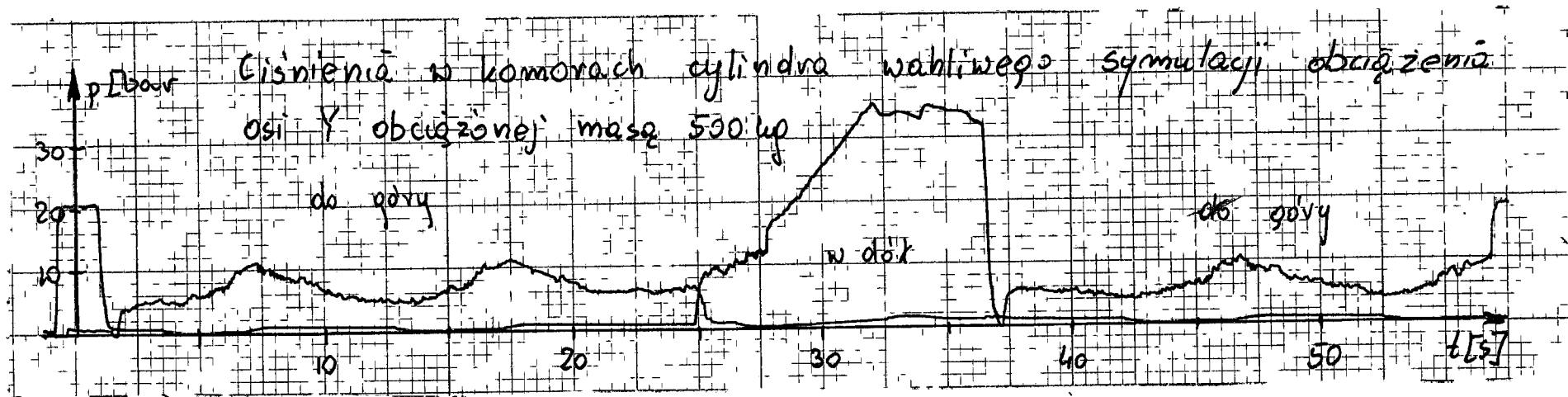


cylin. 13



ciśnienie w cylindrach na bliwych symulacji: oś Y, bez obciążenia

200

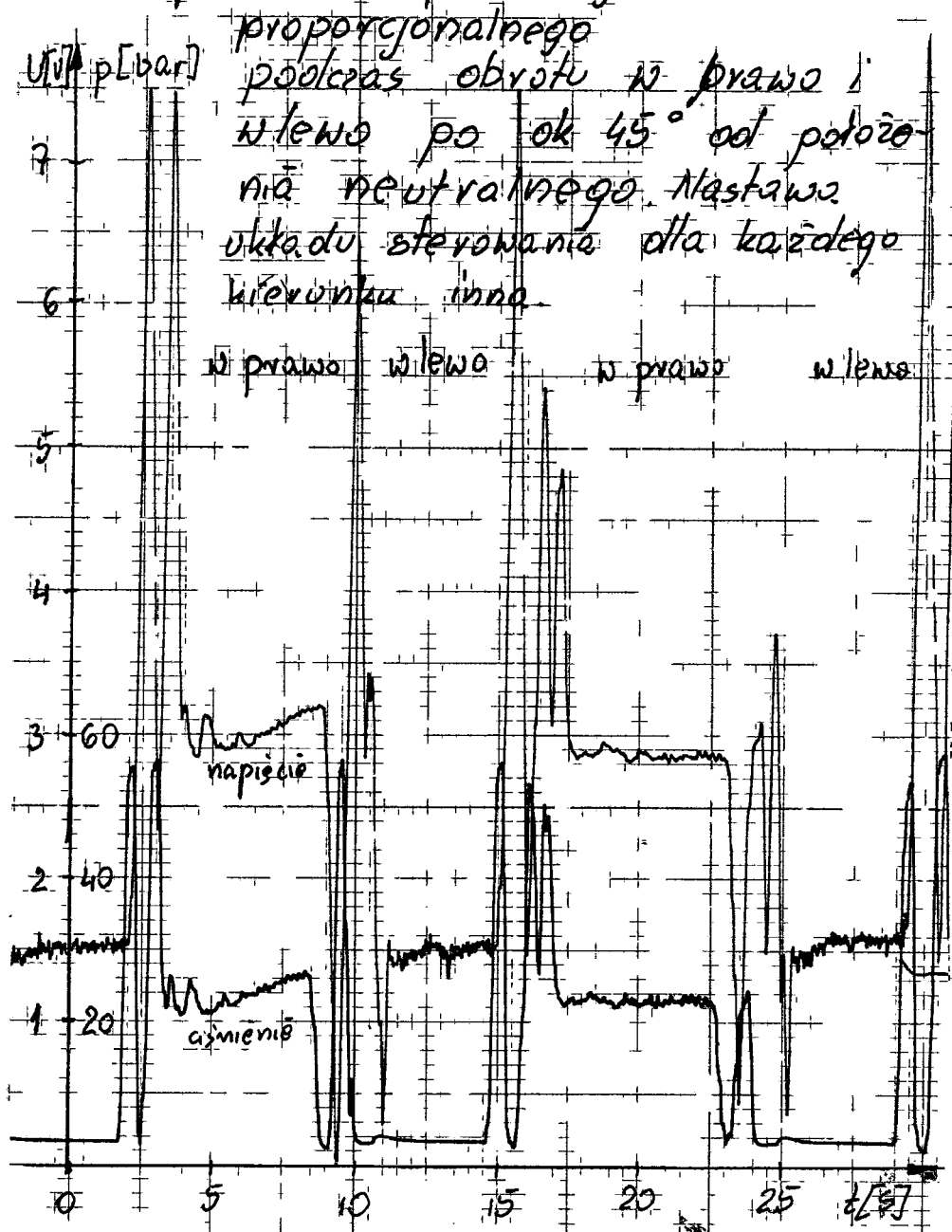


Wyk. 20

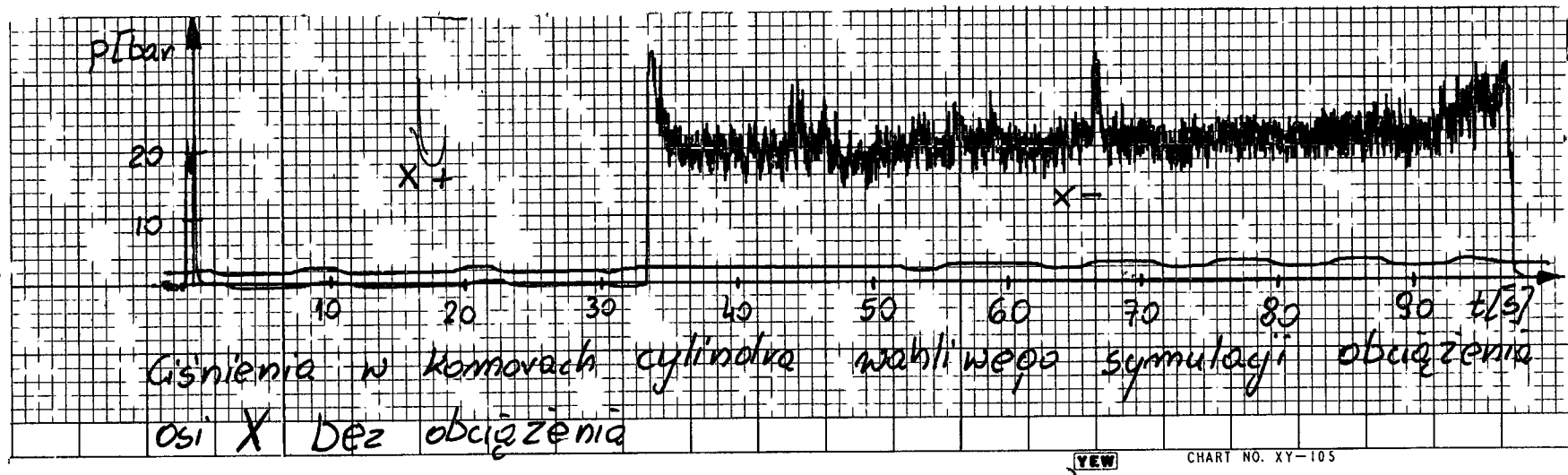
33

Charakterystyki układu symulacji  
obciążenia dla osi Z z masą 500 kg  
dla położenia  $x \approx 0,5 x_{max}$ :

- ciśnienie w jednej z komór cylindra  
wahliwego symulacji obciążenia
- napięcie na elektromagniesie zaworu

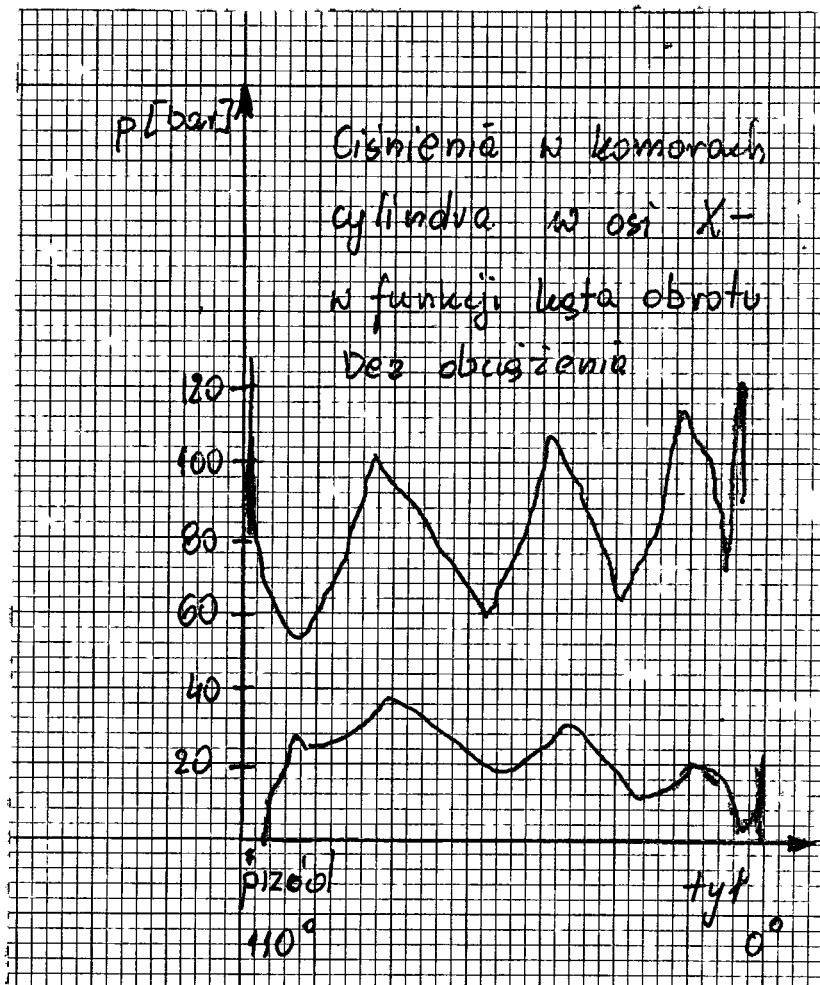
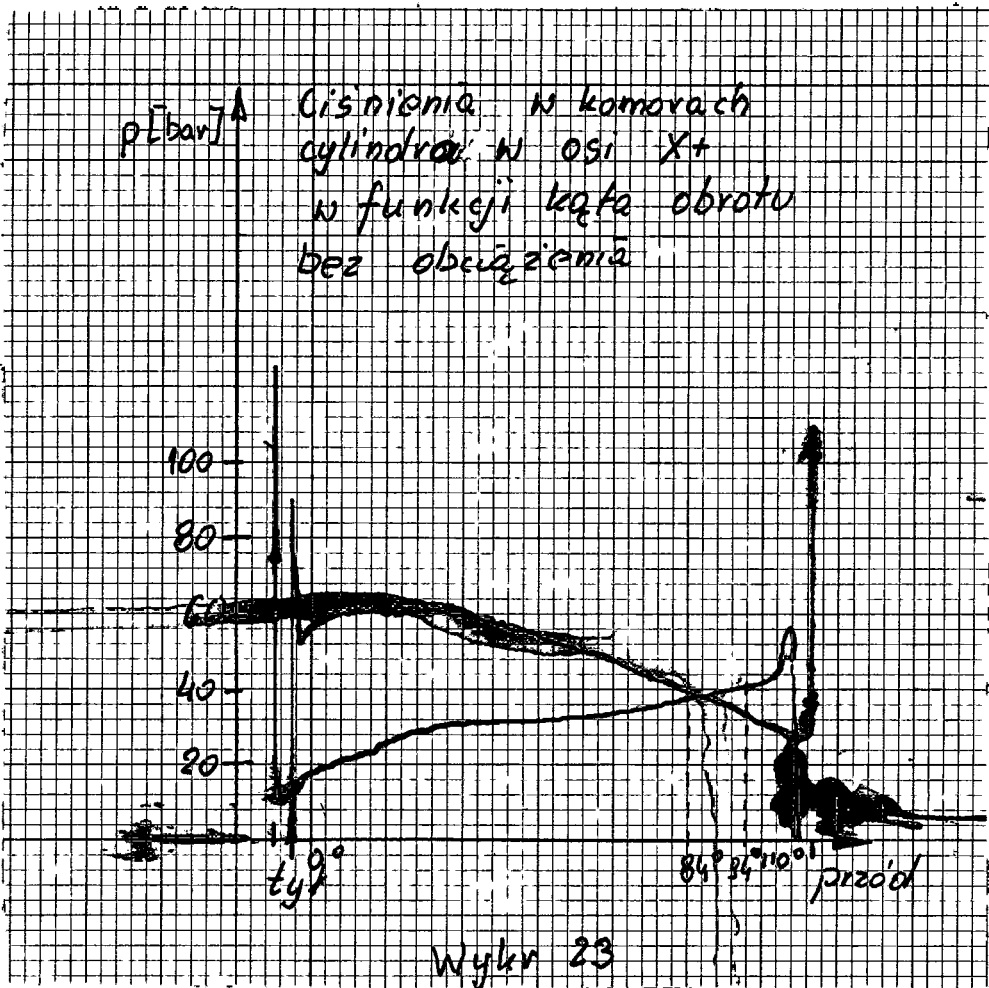


Wykres. 22

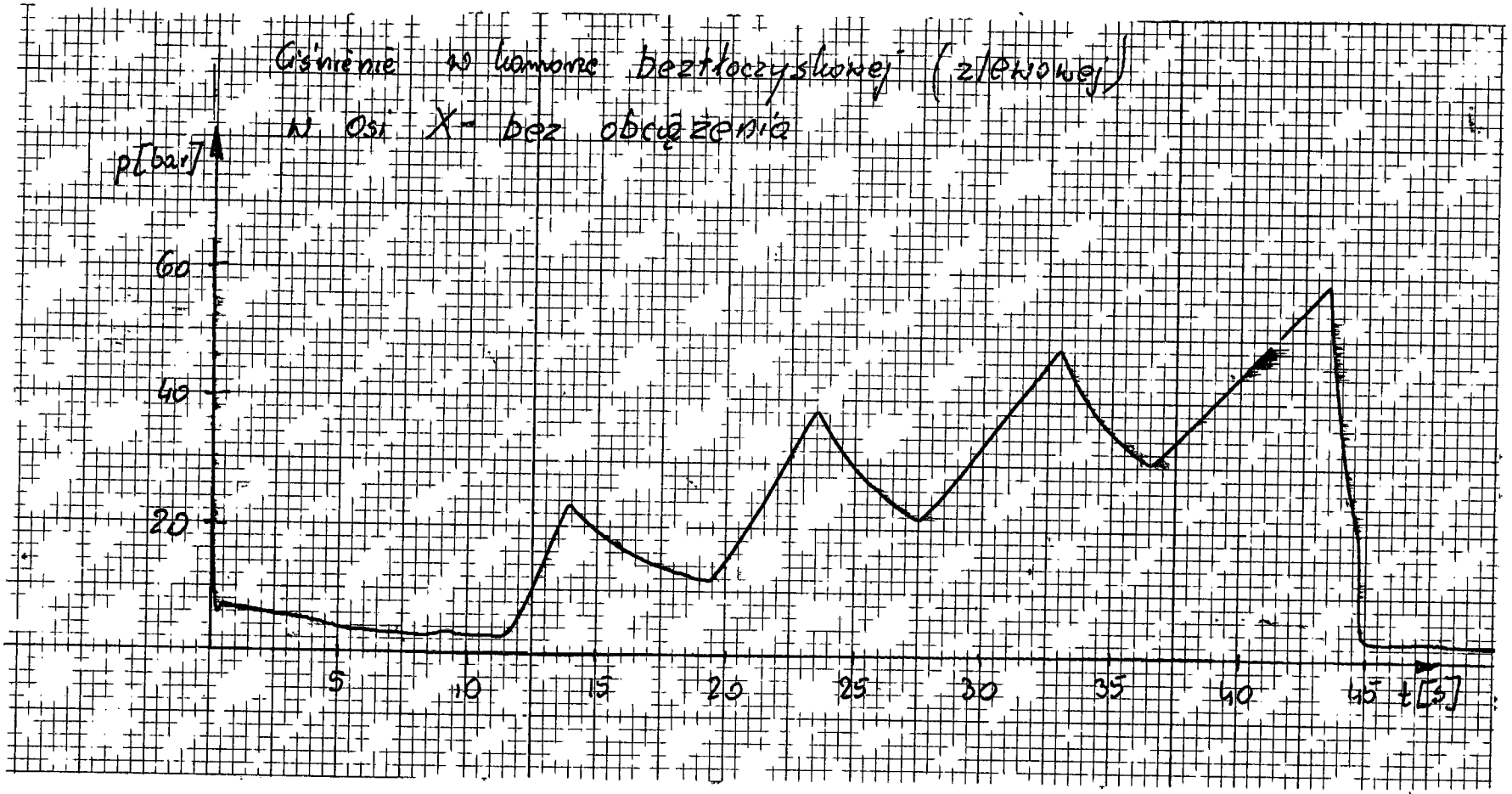


5F3

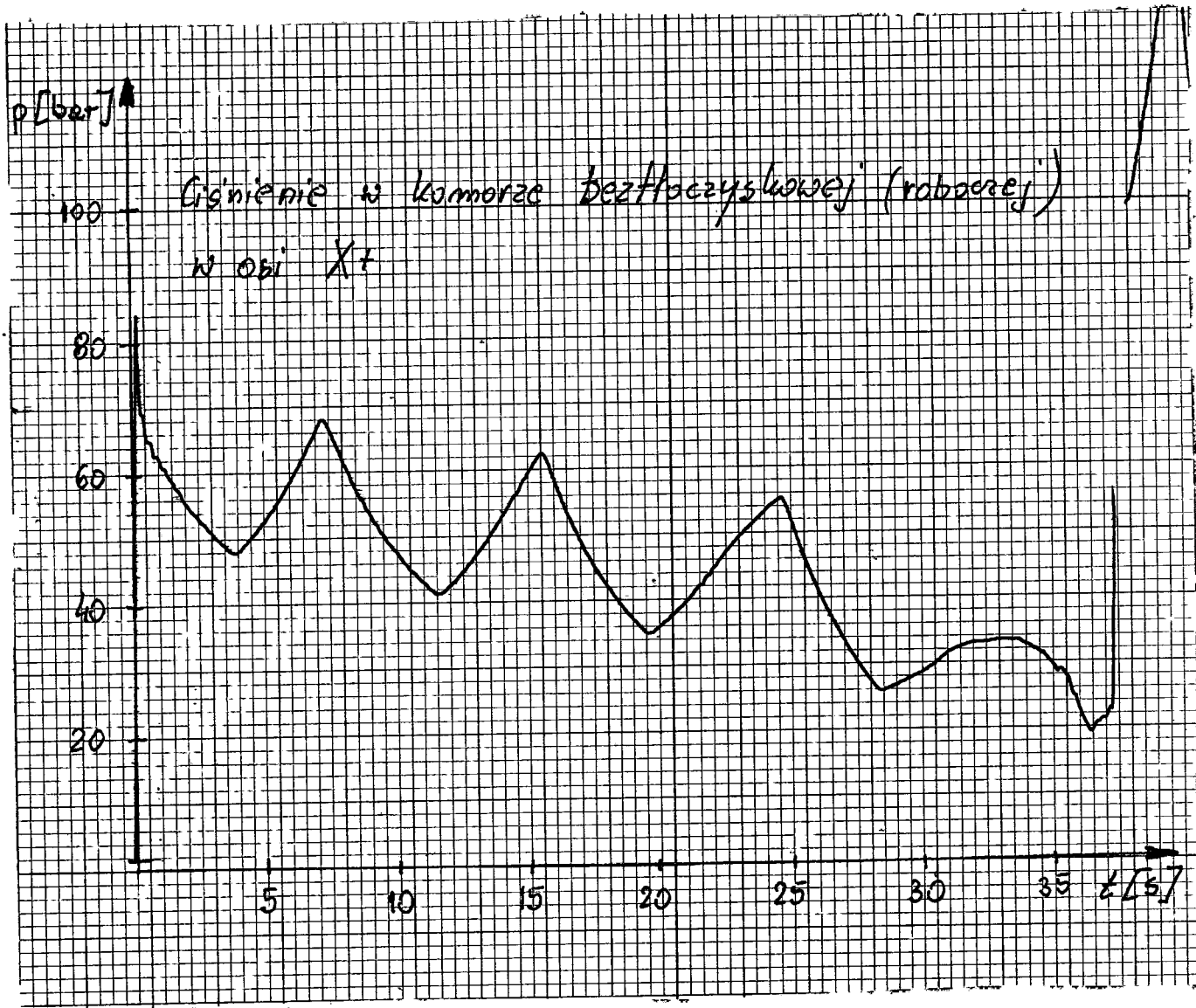
35

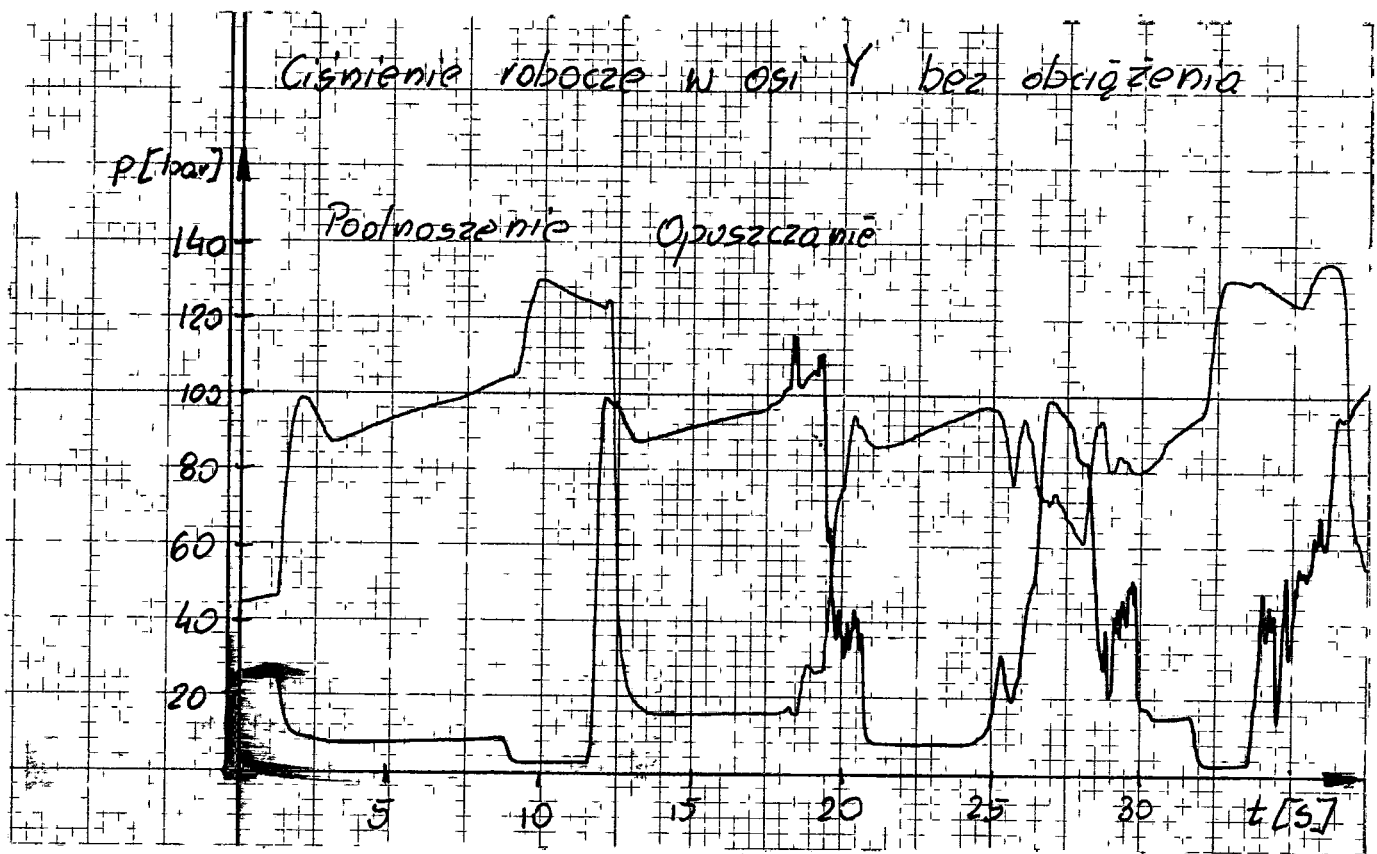


Nykn. 26

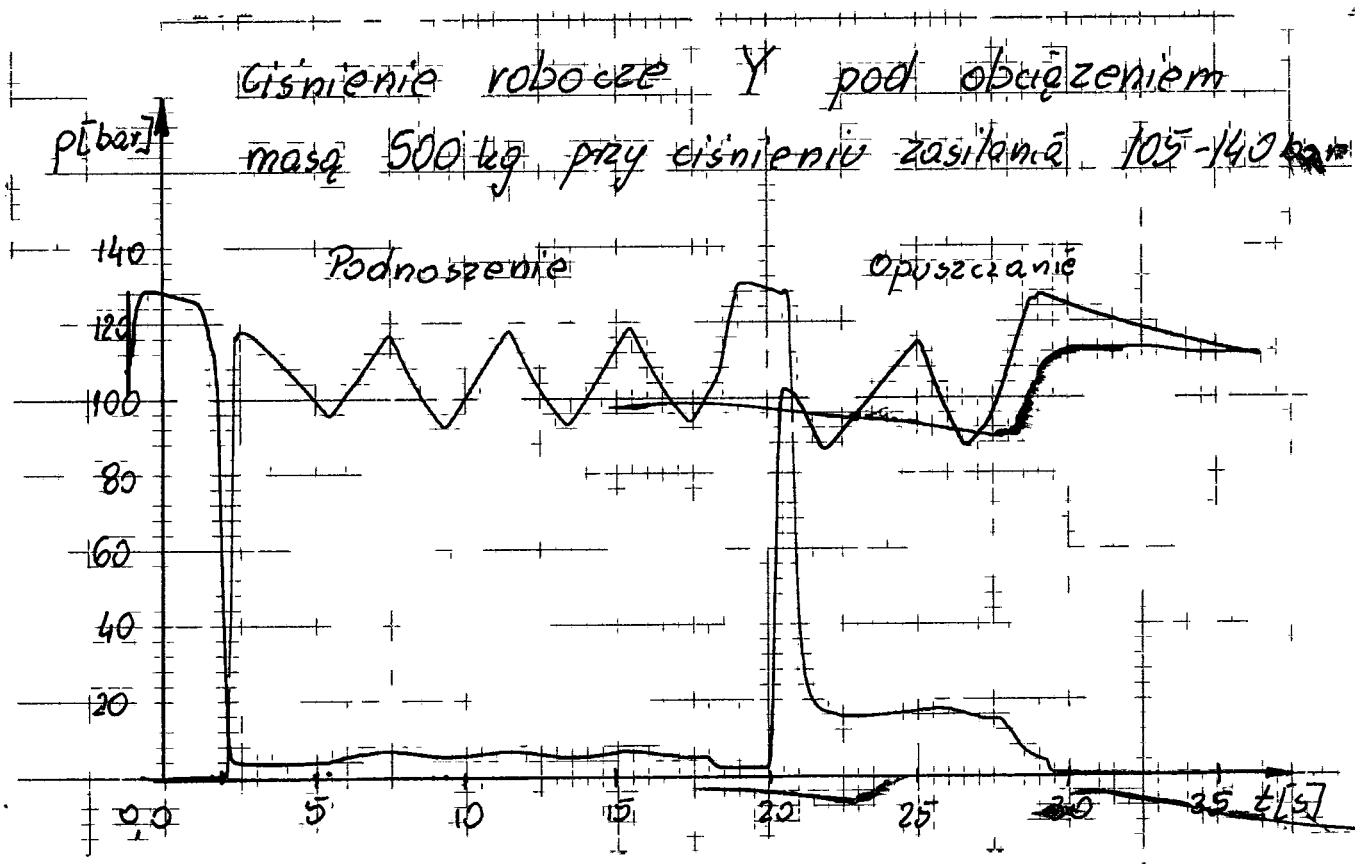


24



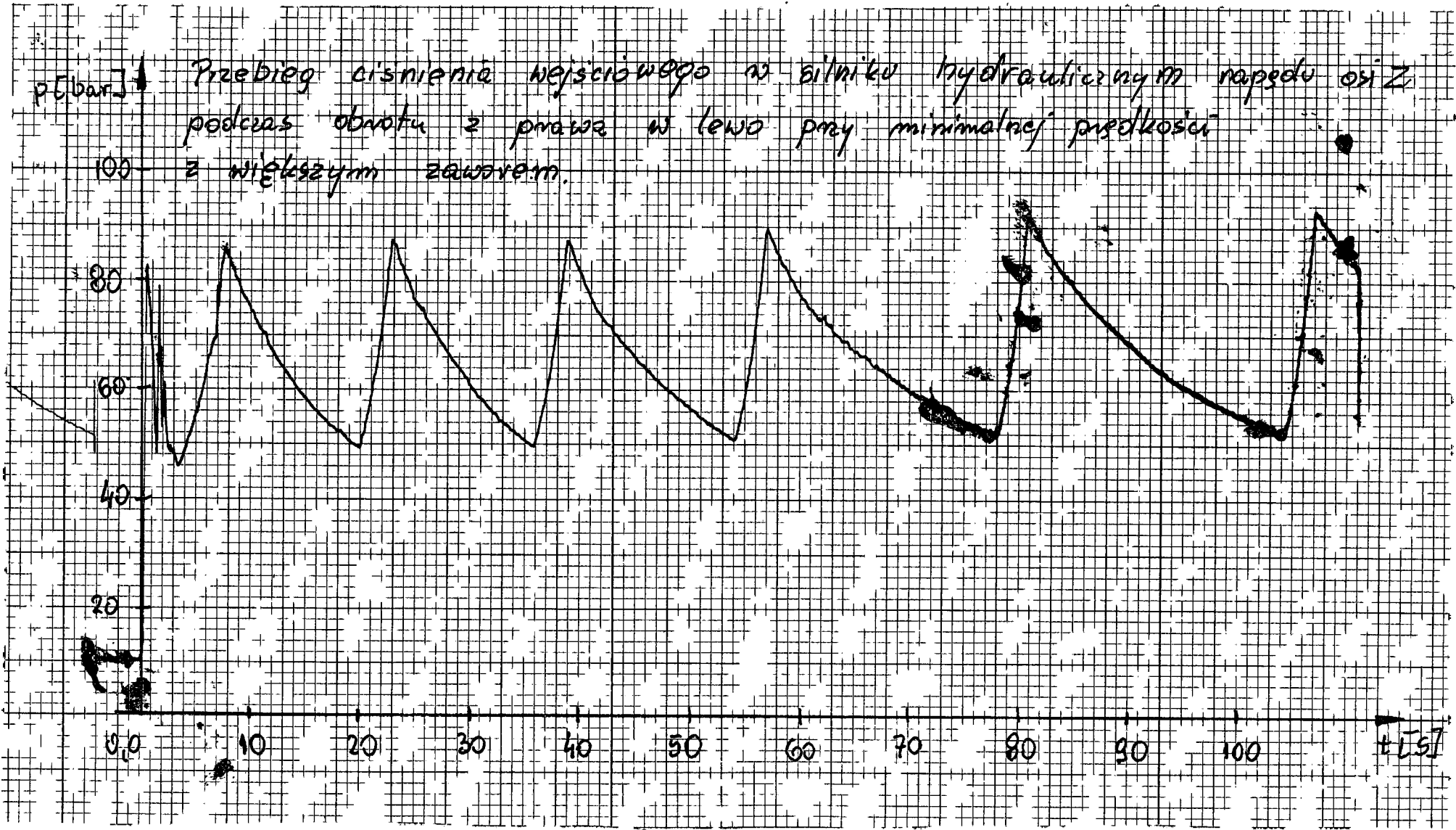






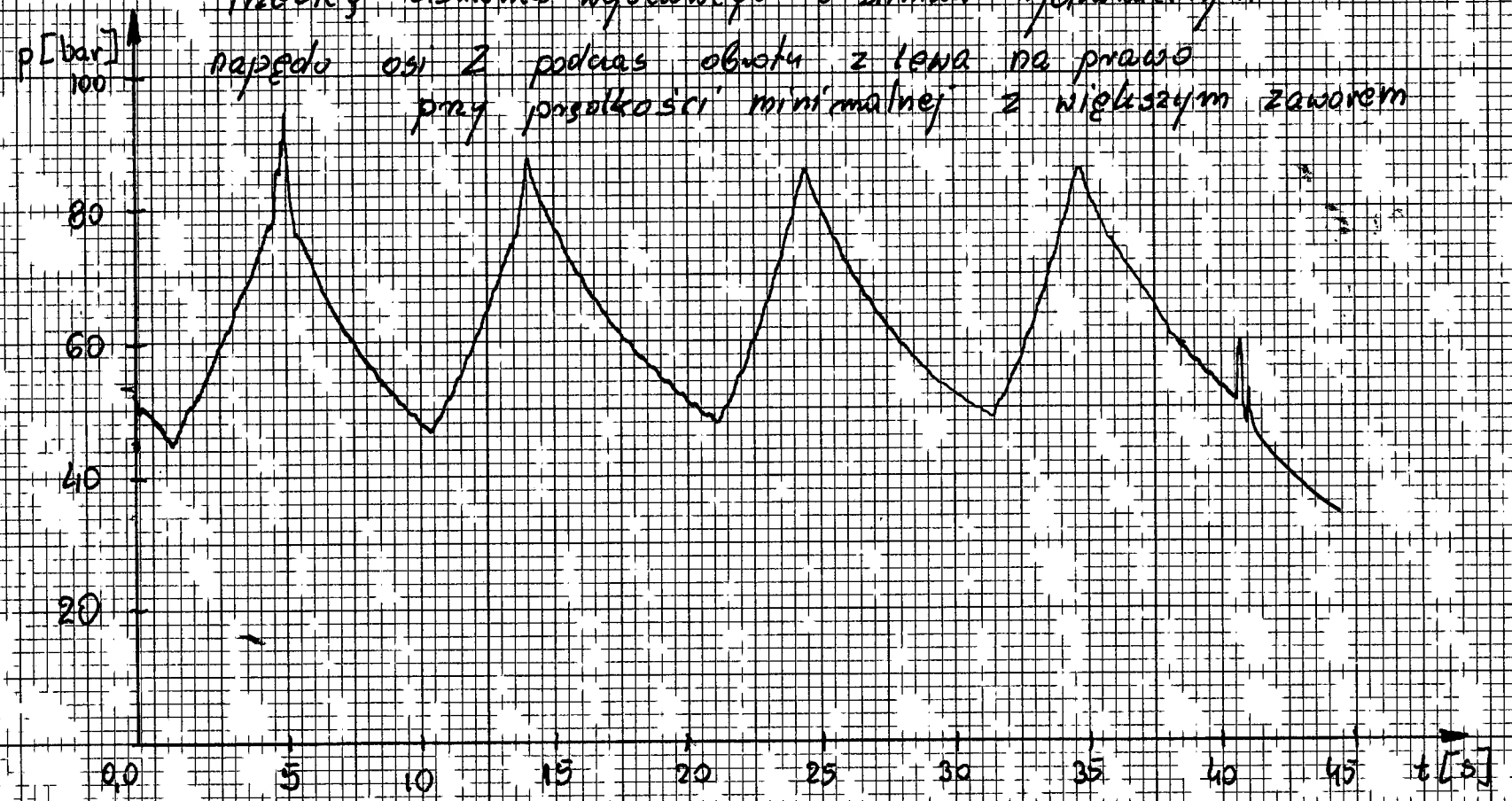
Kybur. 23

$p$  [bar] Przebieg ciśnienia wejściowego w silniku hydraulicznym napędu osi Z podczas obrotu z prawa w lewo przy minimalnej prędkości z większym zaworem.



8/11

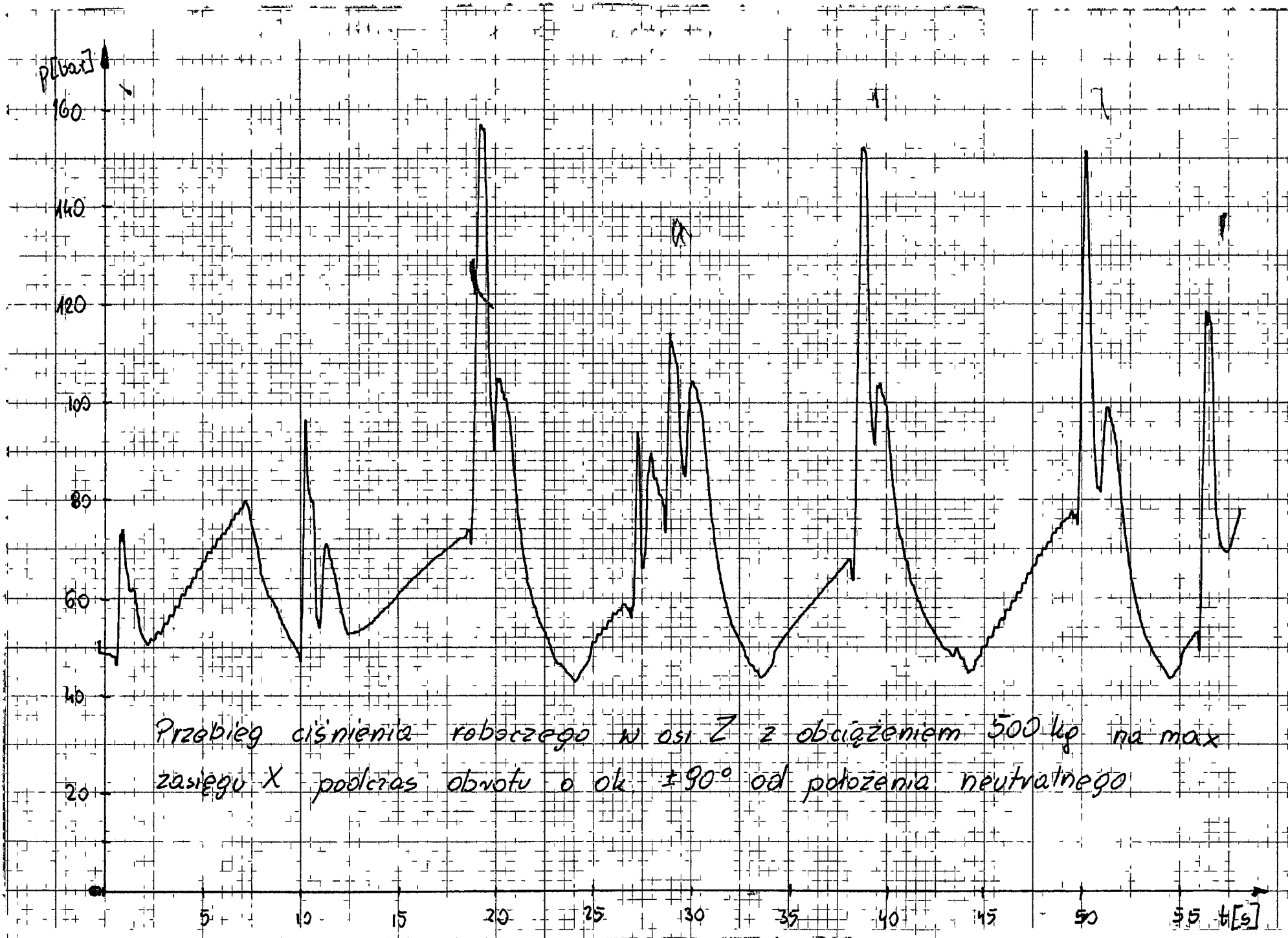
Przebieg ciśnienia wyjściowego w silniku hydraulicznym  
napędu osi Z podczas obrotu z lewa na prawo  
przy prędkości minimalnej z największym zaworem



Nykn. 30

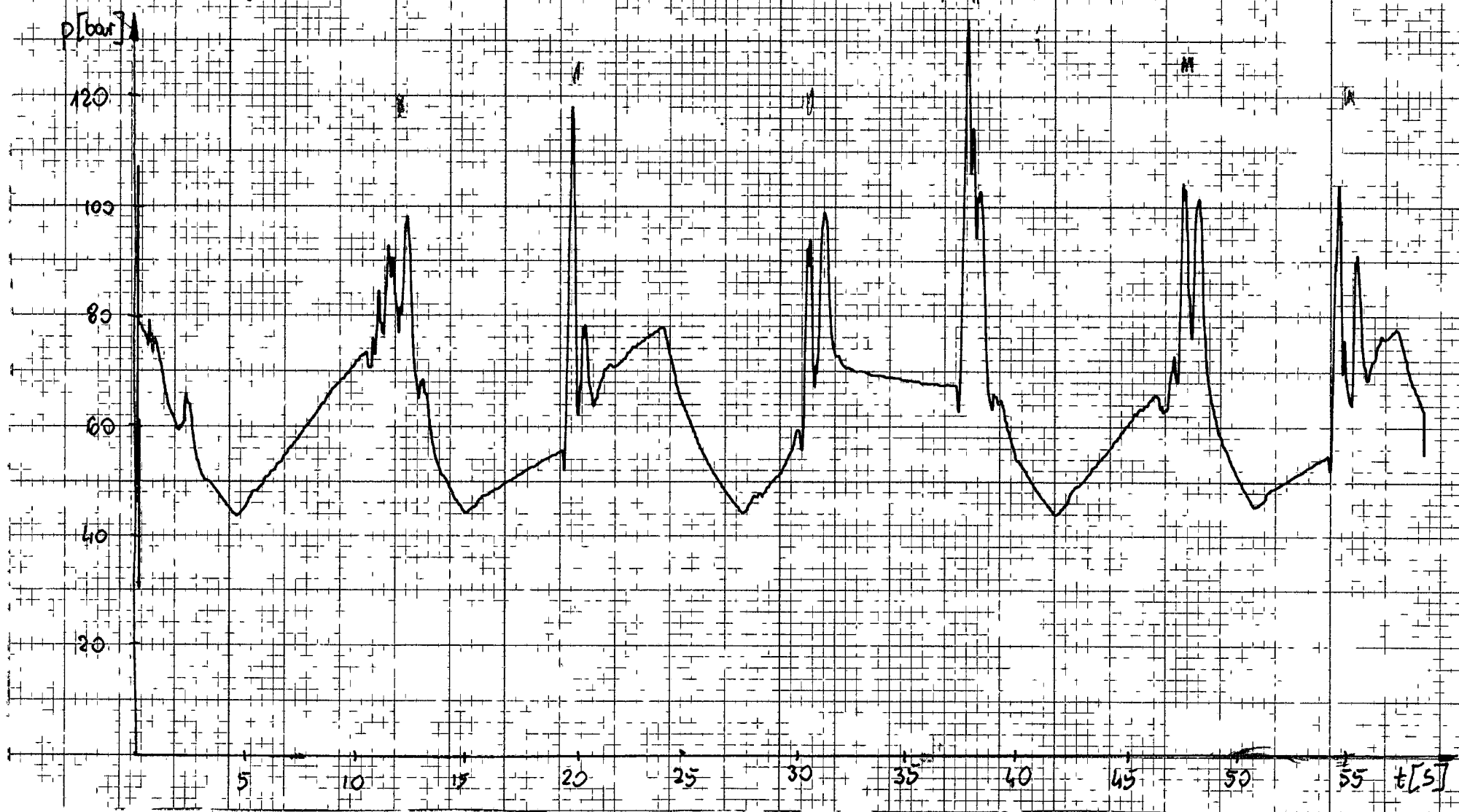
1/20

Wykres. 31



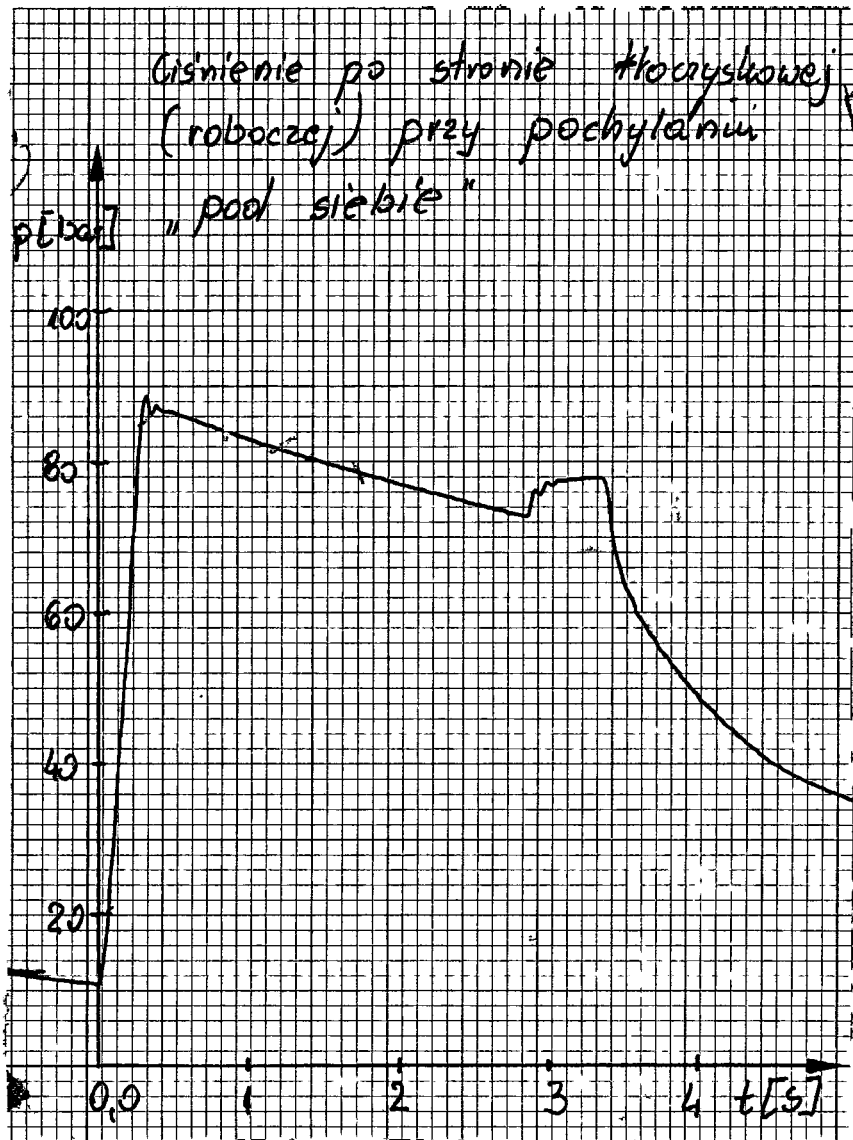
4/3

Przebieg ciśnienia roboczego w osi Z z obciążeniem 500kg na minimalnym  
zasiegu X podczas obrotu o kąt ok.  $\pm 90^\circ$  od położenia neutralnego

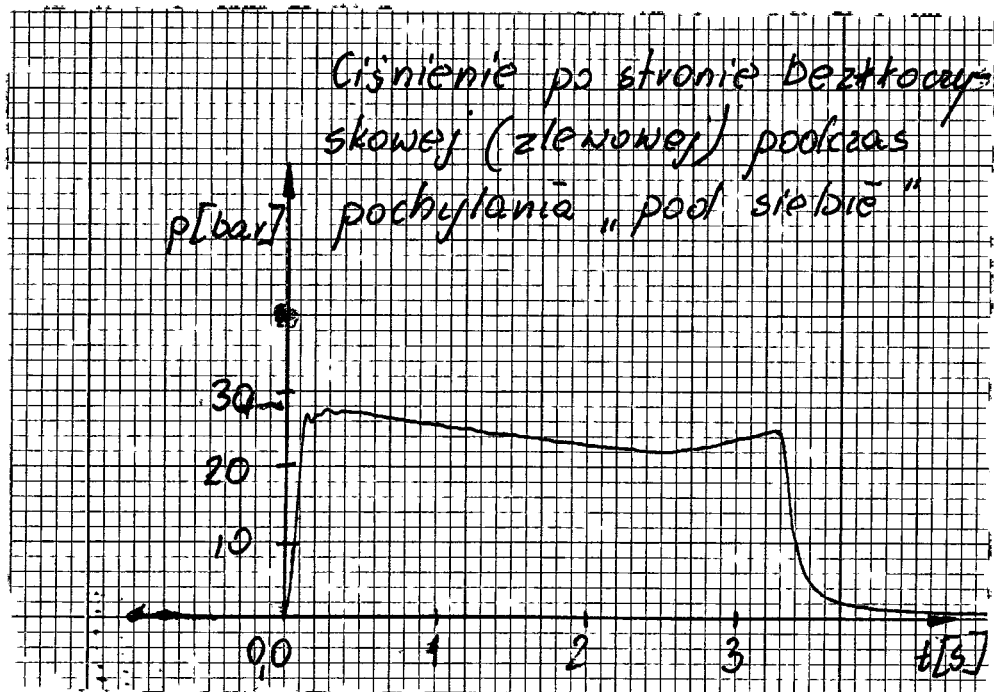


wykr. 32

HH



Wyk. 33

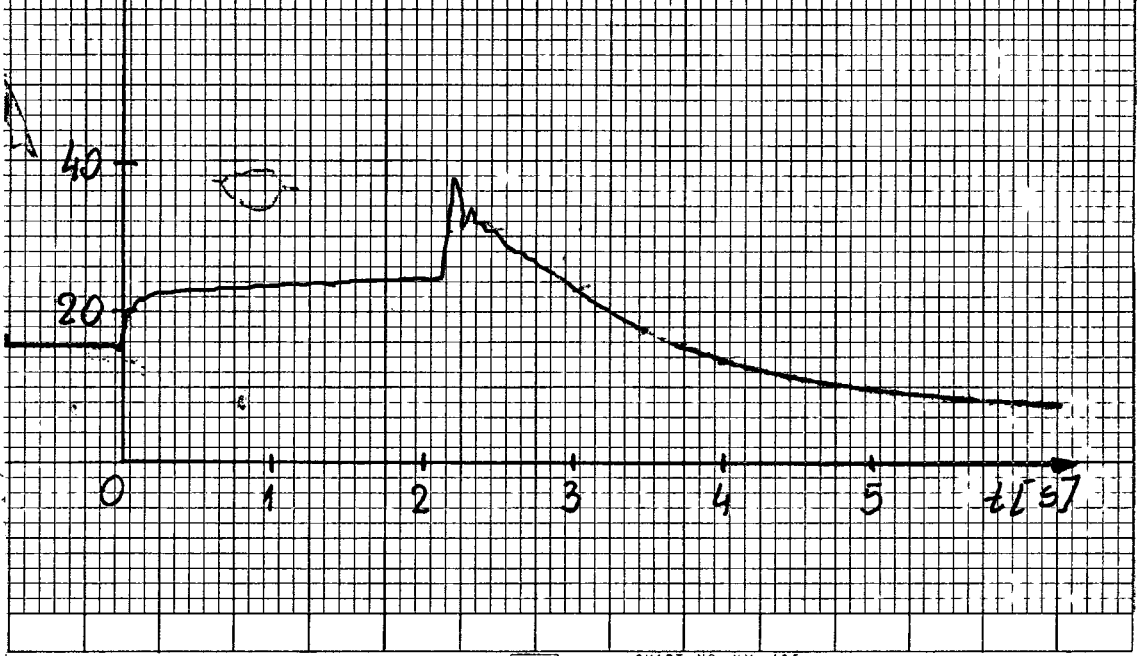


Wyk. 34

Cisnienie po stronie bezkłóczyiskowej  
(roboczej) podczas pochylania "od siebie"



Cisnienie po stronie tłoczącej  
(złazkowej) podczas pochylania  
"od siebie"



Wynr. 36

HP