

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

Zespół Zastosowań Robotów Przemysłowych

440
Główny wykonawca mgr inż. Maciej Oleksiuk BE10
dis

Wykonawcy A. Czyżewski, W. Osman

Konsultant

Nr zlecenia S 1254 - Badanie i optymalizacja układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym.

Zlecaniodawca
praca własna

Prace rozpoczęto dnia marzec 1992 zakończono dnia
Kierownik Zespołu Kierownik Ośrodka
doc. dr inż. R. Sawwa mgr inż. L.H. Przybylski
Z-ca kier. d/s
Badawczo-badawczych
dr inż. J. Jabłkowski

Praca zawiera:

stron 10

rysunków 15

fotografii

tabel 1

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OAR

Egz. 3 OAR

Egz. 4

Egz. 5

Egz. 6

Nr rejestr. 6828

Analiza deskryptorowa

Manipulator + badania + symulacja

Analiza dokumentacyjna

Przedstawiono wyniki badań układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Opracowanie telemanipulatora. Etap I. Opracowanie założeń telamanipulatora. Nr rej. 5322.
2. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 1.1 Projekt wstępny telemanipulatora. Projekt układu hydraulicznego. Nr rej. 5724
3. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 1.2 opracowanie dokumentacji modelu użytkowego. Nr rej. 5949
4. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 2.3 Opracowanie programu badań. Nr rej. 5965
5. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 2.2 Nadzór autorski nad wykonaniem modelu użytkowego Nr rej. 6250.
6. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 2.4 Badania modelu użytkowego. Nr rej. 6319
7. Telemanipulator z napędem hydraulicznym i sterowaniem ręcznym o udźwigu 800 kg. Zad. 4.2 Badania prototypu telemanipulatora. Nr rej. 6570
8. Telemanipulator. Stanowisko i badania eksploatacyjne. Pk.2: ruchomienie i badania wstępne stanowiska technologicznego z telemanipulatorem. Nr rej. 6784.

UKD

PIAP-252/83-6000

Spis treści

1. Wstęp (budowa i działanie układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym).....	3
2. Warunki badań.....	5
3. Przebieg badań.....	6
3.1. Badanie stanowiskowe statycznych charakterystyk funkcjonalnych części elektrohydraulicznej i dobór nastaw.....	6
3.2. Badanie czujnika siły na telemanipulatorze.....	8
3.3. Charakterystyka statyczna płytki PKS.....	8
3.4. Badania statyczne układu symulacji.....	8
4. Wnioski.....	10

1. Wstęp.

Celem niniejszej pracy było zbadanie własności i dostosowanie parametrów układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym do wymagań operatora dla wybranych warunków obciążenia. Występowanie człowieka we współpracy z maszyną stanowi trudny do obiektywnej oceny układ i wymaga znacznego nakładu pracy w celu zapewnienia obiektywnych, wiarygodnych wyników. Stąd konieczność wykonania tych badań również z myślą o przygotowaniu telemanipulatora przeznaczonego do prac technologicznych do ewentualnego wdrożenia.

Układ symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym (Rys. 1) składa się z trójosiowego przetwornika siły, elektronicznego układu przetwarzania PKS, zaworów przelewowych proporcjonalnych wraz ze wzmacniaczami HL-AVL 12, układu kryz, rozdzielaczy trójpołożeniowych WE oraz cylindrów wahliwych z układem sprężyn powrotnych zainstalowanych na dźwigni sterującej. Począwszy od czujnika siły układ symulacji posiada trzy niezależne, identyczne funkcjonalnie tory o nieco innych nastawach wzmocnienia.

Siły występujące na organie roboczym mierzone są za pomocą trzyosiowego czujnika umieszczonego pomiędzy ramieniem górnym a pozycjonerem. Osie układu współrzędnych tego czujnika pokrywają się z osiami układu związanego z operatorem i osiami dźwigni sterującej, niezależnie od położenia telemanipulatora. Niezależnie od ustawienia narzędzia np. nacisk pionowy jest odbierany jako pionowy, a poziomy jako poziomy itd. (czujnik mierzy każdą z składowych obciążenia niezależnie, z błędem nie większym niż 15 %- wpływ obciążeń w pozostałych osiach na wskazania w osi nieobciążonej). Ponieważ na czujniku umieszczony jest pozycjoner wraz z narzędziem, a więc w osi pionowej jest on

obciążony siłą, stąd wskazania tej osi są korygowane w układzie PKS o o wartość wstępnego obciążenia.

Niewygórowane wymagania metrologiczne w stosunku do tego czujnika wynikają z faktu, że operator nie jest w stanie ocenić, czy opór dźwigni wynosi np 30 czy 40 N, natomiast bez trudu wyczuje zmianę o 1N, stąd liniowość i dokładność w granicach 10- 15% jest dostateczna.

Analogowy sygnał obciążenia danej osi z czujnika siły ($\pm 5V$) przetwarzany jest w układzie PKS na dwa sygnały: sygnał proporcjonalny do wartości obciążenia (0- +6V) i dwa sygnały dwustanowe zależne od znaku (24V=). Każdy z dwu sygnałów znaku podawany jest na odpowiadający mu elektromagnes rozdzielacza trójpołożeniowego sterującego daną osią. W położeniu neutralnym rozdzielacz zapewnia połączenie pomiędzy oboma komorami wahliwego cylindra oporowego, dzięki czemu w przypadku braku sygnału obciążenia operator może bez dodatkowych oporów przesterowywać dźwignię w danej osi. Opory przepływu i sprężyny powrotne zostały tak dobrane, aby zapewnić samoczynny powrót dźwigni w położenie neutralne w przypadku jej puszczenia przez operatora a jej przesterowanie bez symulacji obciążenia odbywało się bez wysiłku. W rękojeści znajduje się klucz, który w przypadku puszczenia dźwigni zapewnia przesterowanie rozdzielaczy WE w położenie neutralne i zerowanie sygnału symulacji obciążenia niezależnie od aktualnej wartości rzeczywiście występującego obciążenia. Stanowi to zabezpieczenie na wypadek błędu lub zasłabnięcia człowieka.

Sygnał analogowy podawany jest na układ zawór proporcjonalny - wzmacniacz HL-AVL przetwarzający go na proporcjonalny sygnał ciśnienia. Ciśnienie to podawane jest do jednej z komór cylindra oporowego (w zależności od znaku siły czyli stanu rozdzielacza WE) i odbierane przez operatora jako opór proporcjonalny od rzeczywistego obciążenia występującego na narzędziu.

W układzie PKS znajduje się nastawa pewnej strefy nieczułości zapewniającej, że sygnały mniejsze niż ta

nastawa nie będą wogóle przetwarzane. Zabezpiecza to układ przez drganiemii wynikającymi ze wzmocnienia niewielkich obciążeń o zmiennych wartościach, które może wyczuć operator, a które nie wynikają bezpośrednio z wykonywanej operacji technologicznej i stanowią zakłócenia.

Dla zapewnienia odpowiednich warunków współpracy operatora z telemanipulatorem przeznaczonym do prac technologicznych należy dla danych warunków obciążenia uznanych za nominalne dostosować następujące nastawy:

- nastawa zera sygnału wyjściowego z czujnika siły (szczególnie ważne dla osi Y) potencjometrem na płycie PKS.
- nastawa wzmocnienia sygnału wyjściowego z czujnika siły potencjometrem na płycie PKS,
- nastawa zera sygnału wyjściowego ze wzmacniacza HL-AVL potencjometrem na tym wzmacniaczu,
- nastawa prądu Diethera elektromagnesu zaworu proporcjonalnego potencjometrem na wzmacniaczu HL-AVL,
- nastawa wzmocnienia sygnału ciśnieniowego poprzez dobór kryz: zasilającej całą część hydrauliczną układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczymi i zasilającej osobno każdą z gałęzi tego układu odpowiadającej danej osi,
- nastawa sprężyn zaworu przelewowego.

Dwóch ostatnich nastaw dokonuje się w momencie uruchamiania telemanipulatora na stałe i nie przewiduje się ich zmian w trakcie eksploatacji urządzenia.

2. Warunki badań.

Zestaw podstawowych przyrządów i aparatury do wykonania badań przedstawiono poniżej:

Przyrządy pomiarowe.

Badania układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym telemanipulatora obejmują pomiary: siły,

ciśnienia, położenia i napięcia.

Pomiaru siły dokonano za pomocą czujnika siły o zakresie 0-5000 N, klasy 1.

Pomiaru ciśnienia dokonano za pomocą manometrów oraz czujników ciśnienia o zakresie 0-20 MPa, klasy 1.

Pomiaru położenia dokonano w sposób pośredni mierząc napięcie na czujniku przemieszczenia.

Pomiarów napięcia dokonano woltomierzami cyfrowymi.

Urządzenia pomocnicze.

Przeprowadzenie badań wymagało użycia odpowiednich urządzeń pomocniczych zg z dokumentacją elementów mocujących i pomocniczych zamieszczoną w zał. nr 1 WTO.

Badania przeprowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy wykonany w ramach kontynuacji CPBR 7.1. obejmował niezależne badania podzespołów tego układu: czujnika siły, płytek PKS i układu elektrohydraulicznego. Etap obecny stanowił badania całego układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym.

3. Przebieg badań.

3.1. Badanie stanowiskowe statycznych charakterystyk funkcjonalnych części elektrohydraulicznej i dobór nastaw.

Celem badania był dobór nastaw i sprawdzenie charakterystyki statycznej przetwornika elektrohydraulicznego układu symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym. Próby dokonano na stanowisku hydraulicznym z regulowanym ciśnieniem zasilania i regulowanym napięciem sterującym. Polegała ona na tym, że na elektromagnes rozdzielacza WE podano stałe napięcie +24V symulujące znak siły, do wejścia wzmacniacza HL-AVL doprowadzono napięcie, którego wartość zmieniała się co 1 V od 0 do 5V. Ciśnienie zasilania podczas próby utrzymywano

stałe. Pomiarów dokonano dla kilku wartości ciśnienia zasilania badając wpływ jego zmian na uzyskane charakterystyki. Mierzono ciśnienie w komorze cylindra wahliwego. Próbę powtórzono dla drugiej komory i dla wszystkich spośród trzech obwodów. Podczas zdejmowania charakterystyk utrzymywano stałą temperaturę w zakresie $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Doboru średnic kryz dokonano poczynając od 0,5 mm dla kryzy na badanej gałęzi i 0,9 mm dla kryzy zasilającej.

Kryza zas.; osi	Ciśn. zas. [MPa]	Oś	Ciśnienie w cylindrach wahliwych [bar]							Nast.
			Napięcie sterujące [V]							
			0	0,5	1	2	3	4	5	
1,8; 1	4	X+	3	6	8	16	29	32	38	I
	4	X-	2	6	8	14	24	31	37	
	6	X+	3	9	10	20	36	39	42	
	6	X-	3	6	9	18	29	35	40	
1,8; 1	6	Y+	4	16	16	20	28	42	43	
	6	Y-	2	22	22	24	29	38	41	
	10	Y+	5	32	33	37	41	52	53	
	10	Y-	4	35	35	35	42	47	50	
1,6 0,9	10	Z+	4	30	31	36	43	51	56	
	8	X+	3	11	12	23	38	42	46	
	8	X-	3	10	12	20	32	41	46	
	10	X+	4	13	15	24	41	46	50	
1,6; 0,9	10	X-	5	12	13	18	30	43	45	
	6	Y+	3	7	8	13	22	36	38	II
	6	Y-	2	6	7	11	19	30	35	
	10	Y+	4	10	11	17	29	42	45	
10	Y-	2	9	9	14	22	35	43		

Tabl. 1

Wartości pomierzonych ciśnień dla wybranych wielkości kryz, ciśnień zasilania, osi i nastaw sprężyny zaworu przelewowego przedstawiono w tabl. 1. Na wyk. 1 przedstawiono wyniki dla dobranych ostatecznie wartości kryz czyli dla kryzy zasilającej $\varnothing 1,6$ mm i dla kryz na poszczególnych gałęziach

Ø0,9 mm. Przedstawione wyniki wskazują, że maksymalna nieliniowość charakterystyk wynosi 12% w zakresie 0,7 do 4V. Stanowi to dopuszczalny zakres pracy układu symulacji uwzględniając uwagi przedstawione we wstępie.

3.2. Badanie czujnika siły na telemanipulatorze.

Badanie czujnika siły zainstalowanego na telemanipulatorze polegało na pomiarach sygnałów wyjściowych przy obciążonym pozycjonerze. Na wykr. 2 przedstawiono przebieg w czasie napięć sterujących zaworem proporcjonalnym i jednym z elektromagnesów rozdzielacza trójpołożeniowego dla osi Y. Przebieg napięć potwierdza występowanie drgań spowodowanych sprężystością czujnika siły. Model dynamiczny układu telemanipulator- czujnik siły- pozycjoner zawiera bowiem dużą masę zawieszoną na elemencie sprężystym (czujnik) z niewielkim tłumieniem i przy szybkich ruchach prowadzi to do wzbudzania drgań, które w przypadku znaczniejszych sił symulacji na dźwigni sterującej nie mogą być skompensowane przez operatora ze względu na ich amplitudę i szybkość.

Przebiegi w pozostałych osiach pokrywają się z wynikami badań stanowiskowych i badania na obiekcie nie wniosły nic nowego do wykonanych już uprzednio prób.

3.3. Charakterystyka statyczna płytki PKS.

Badanie układu sterowania umieszczonego na płytkach PKS polegało na zdjęciu charakterystyk we- wy w stanach ustalonych dla kilku nastaw wzmocnienia i określeniu najkorzystniejszego wzmocnienia dla przyjętego obciążenia zawętrznego telemanipulatora. Najciekawsze wyniki uzyskano dla płytki PKS 2, na której konieczne jest nastawienie układu kompensacji masy pozycjonera tak, aby przy nieobciążonym pozycjonerze sygnał wejściowy na wzmacniacz

HL-AVL miał wartość zerową. Wynik przedstawiono na Wykr. 4.

3.4. Badania statyczne układu symulacji.

Na Wykr. 5 przedstawiono przebieg w czasie sygnału ciśnienia w cylindrze wahliwym (wyjście) i napięcia na wyjściu do płytki PKS z zasilacza symulującego zmiany obciążenia pozycjonera. Przebiegi są identyczne dla dowolnej nastawy "0" na wzmacniaczu HL-AVL. Fakt ten może być jedną z istotnych przyczyn efektu opisanego we wniosku nr 2.

Istotne dla oceny pracy układu wyniki przedstawiono na Wykr. 6 i 7. Zarejestrowano bowiem przebieg w czasie ciśnienia w komorze cylindra wahliwego podczas dynamicznie zmiennych obciążeń oraz napięcia czujnika przemieszczenia związanego z elektomagnesem zaworu proporcjonalnego stanowiącego sprzężenie zwrotne mające zapewnić proporcjonalność sygnału elektrycznego i ciśnienia. Sprzężenie reaguje jedynie na sygnały powyżej pewnego progu. Przy niewielkich zmianach na wejściu czujnik nie przemieszcza się.

Wykonano więc powtórzenie symulacyjnych badań układu elektrohydraulicznego dla różnych nastaw wzmocnienia wzmacniacza HL-AVL w warunkach obiektowych (bez zdejmowania układu z telemanipulatora). Wyniki przedstawiono na Wykr. 8, 9 i 10. Uzyskano wyraźnie dwustanowy charakter pracy zaworu niepotwierdzający uzyskanych wcześniej wyników badań laboratoryjnych prezentowanych w p. 3.1. Próby powtórzono z identycznym skutkiem dla osi X.

W celu lepszego zobrazowania pracy całego układu symulacji dokonano rejestracji przebiegu czasowego napięcia na czujniku siły i ciśnienia w cylindrze wahliwym dla następujących pięciu wartości wzmocnienia sygnału pokrywających w całości przewidziany zakres pracy telemanipulatora: 1,25 V/1000N, 2,5 V/1000N, 3,75 V/1000N, 5 V/1000N i 6,25 V/1000N. Wyniki przedstawiono na Wykr. 11 do

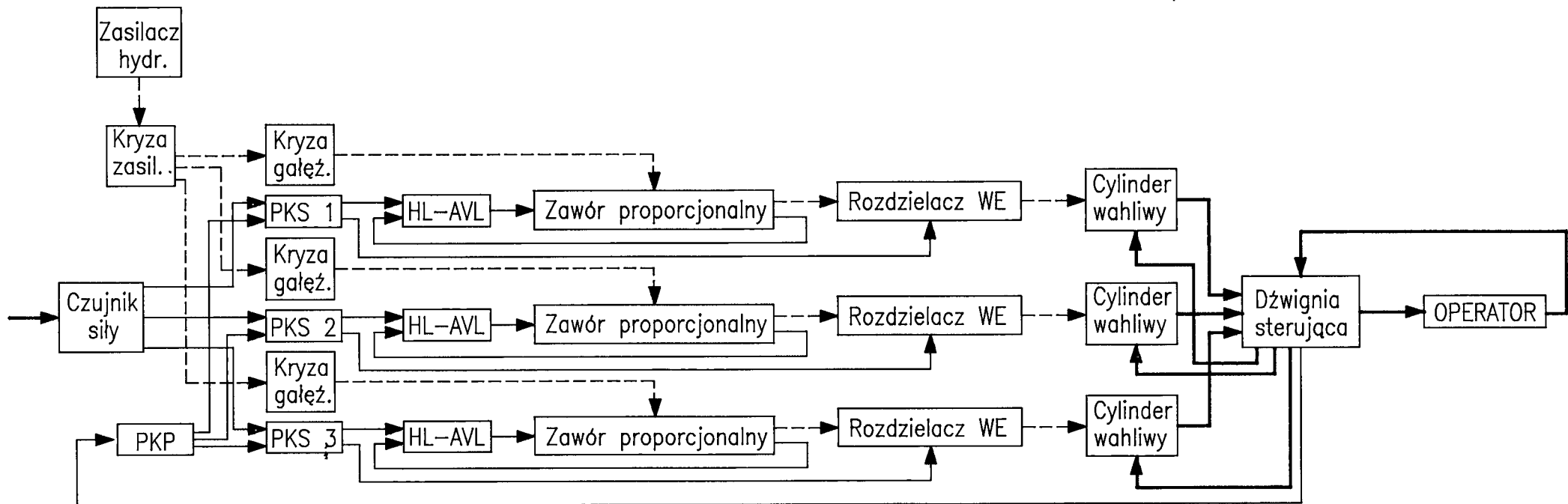
15. Przebieg próby był następujący: na początku próby pozycjoner był nieobciążony- sygnał z czujnika siły i ciśnienie w cylindrze wynosiły odpowiednio 0 V i 0 MPa; na pozycjonerze założone było obciążenie spoczywające początkowo na podłodze; przy powolnym ruchu w górę siła pionowa obciążająca pozycjoner narastała aż do wartości zawieszono ciężaru, w ciągu 0,4 do 0,6 s; przy nagłym zatrzymaniu występowały wahania sił obciążenia wynikające ze zjawiska omówionego w p. 3.2; następnie wykonywano powolny ruch w dół, aż do położenia ciężaru na ziemi, przy czym czas zmniejszania się wartości obciążenia był różny dla poszczególnych prób i wynosił od 0,4 do 1 s. Występujące na Wykr. 12 w ostatniej fazie przeciążenie o wartości 4000 N wynika z nacisku pozycjonera na opór (siła skierowana ku górze- obciążenie ujemne w przyjętym układzie odniesienia). Wartość napięcia na wykresie jest jednak dodatnia ponieważ, jak to zostało pisane we wstępie, sygnał sterujący dzielony jest na "moduł" podawany do wzmacniacza HL-AVL i "znak" odpowiadający kierunkowi działającej siły podawany na elektromagnes rozdzielnicy. Zarejestrowane przy tym przeciążeniu ciśnienie dotyczy "przeciwnej" komory cylindra, a więc nie zmieniło się ono przy wystąpieniu obciążenia, co świadczy o prawidłowej pracy w tym zakresie.

4. Wnioski.

1. Stwierdzono przenoszenie się drgań zawieszono pozycjonera na układ symulacji na dźwigni sterującej telemanipulatora rzeczywistych obciążeń występujących na narzędziu roboczym. Drgania te w istotny sposób zaburzają odczucia operatora o rzeczywistości występujących obciążeniach czynnych. W celu ich eliminacji należy wprowadzić tłumienie zarówno mechaniczne pomiędzy pozycjonerem a ramieniem górnym telemanipulatora jak też w układzie sterowania na płycie PKS 2. Mimo prawidłowej pracy czujnika i przetwornika siły oraz układu przetwarzającego zapewniających proporcjonalny do

M

obciążenia sygnał symulacji, wyniki badań obiektowych nie potwierdziły wcześniejszych, pozytywnych badań laboratoryjnych- układ symulacji jako całość ma dwustanowy charakter pracy. Wynika to z nieprawidłowości pracy zaworów proporcjonalnych polegającej na ich prawie dwustanowym działaniu. Krótki (dwumiesięczny) okres prób nie pozwolił na jednoznaczną identyfikację i wyeliminowanie faktycznej przyczyny tej nieprawidłowości. W celu jednoznacznego jej określenia należałoby powtórzyć badania stanowiskowe zaworów.



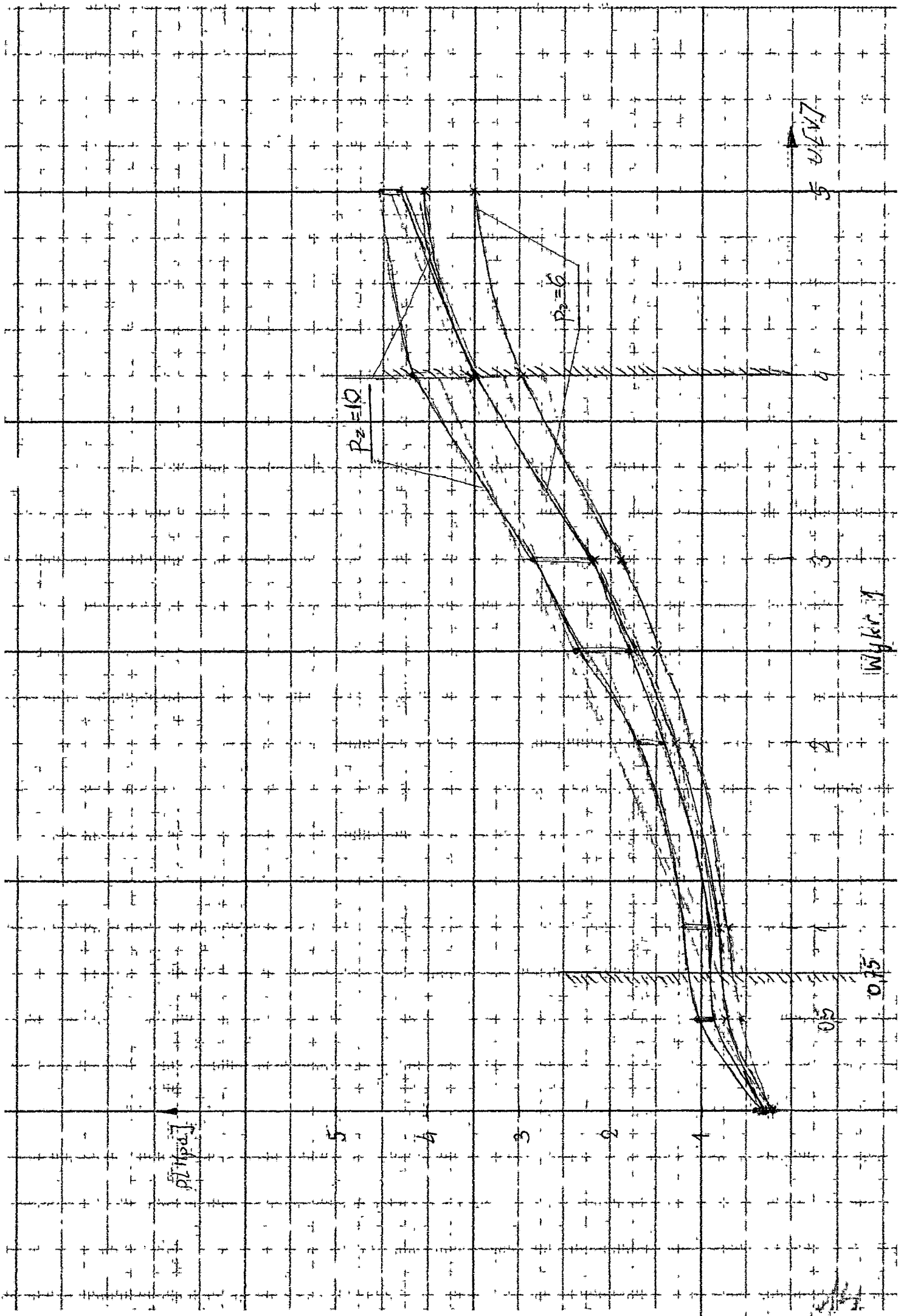
- sygnał elektryczny
- - - sygnał hydrauliczny
- oddziaływanie siłowe

13

Rys. 1. Schemat blokowy układu symulacji obciążenia.

C

O



P_z

5

4

3

2

1

$P_z=10$

$P_z=6$

5

4

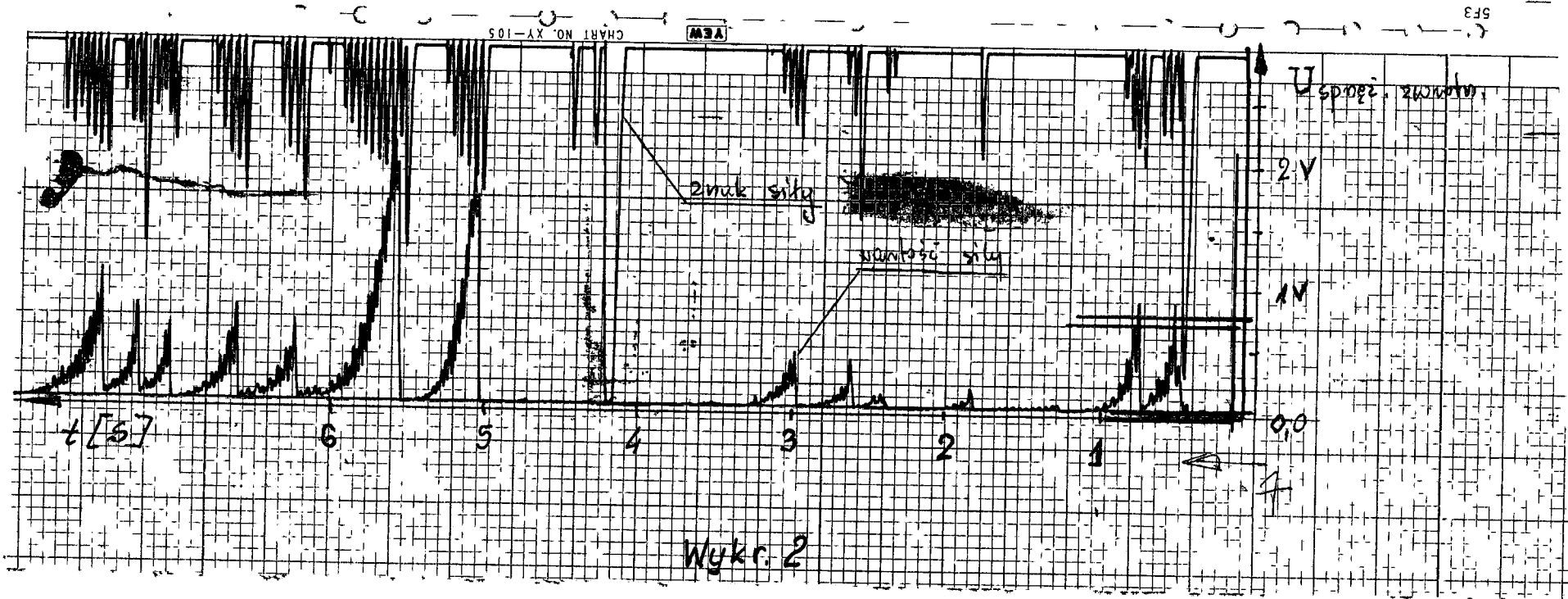
3

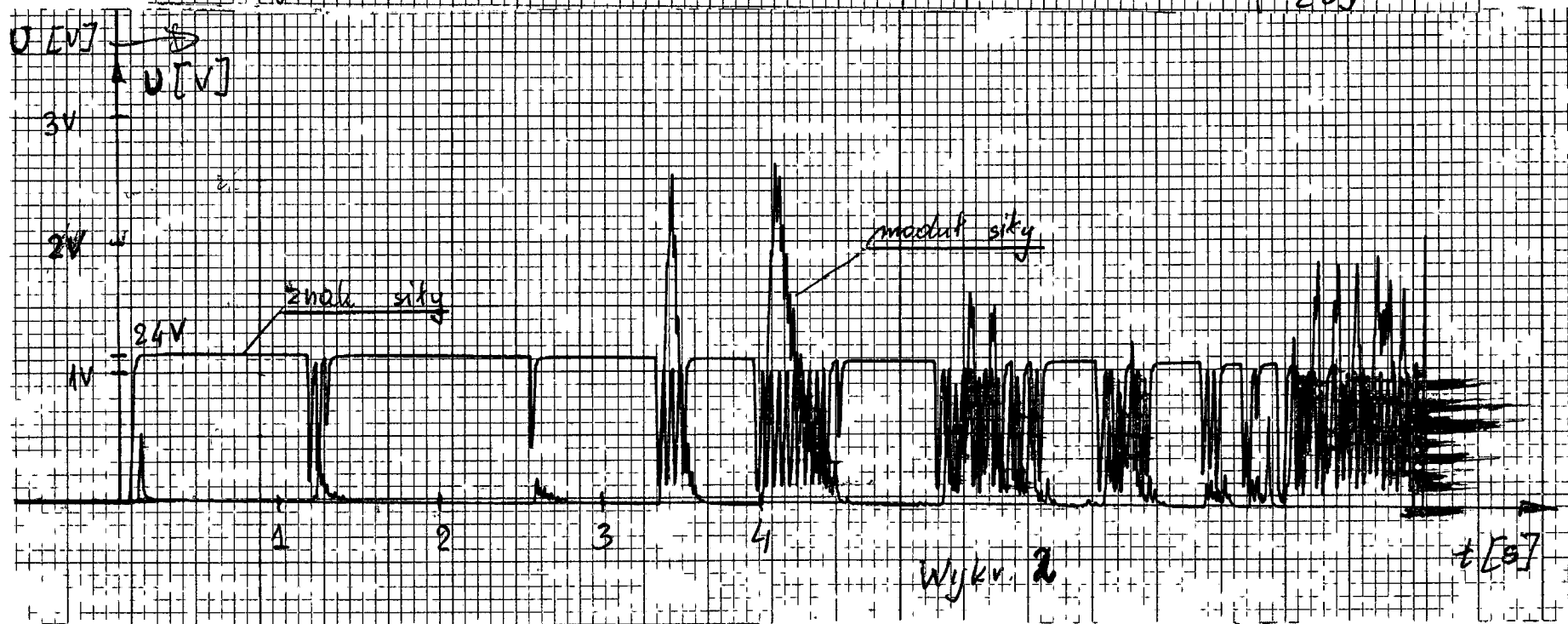
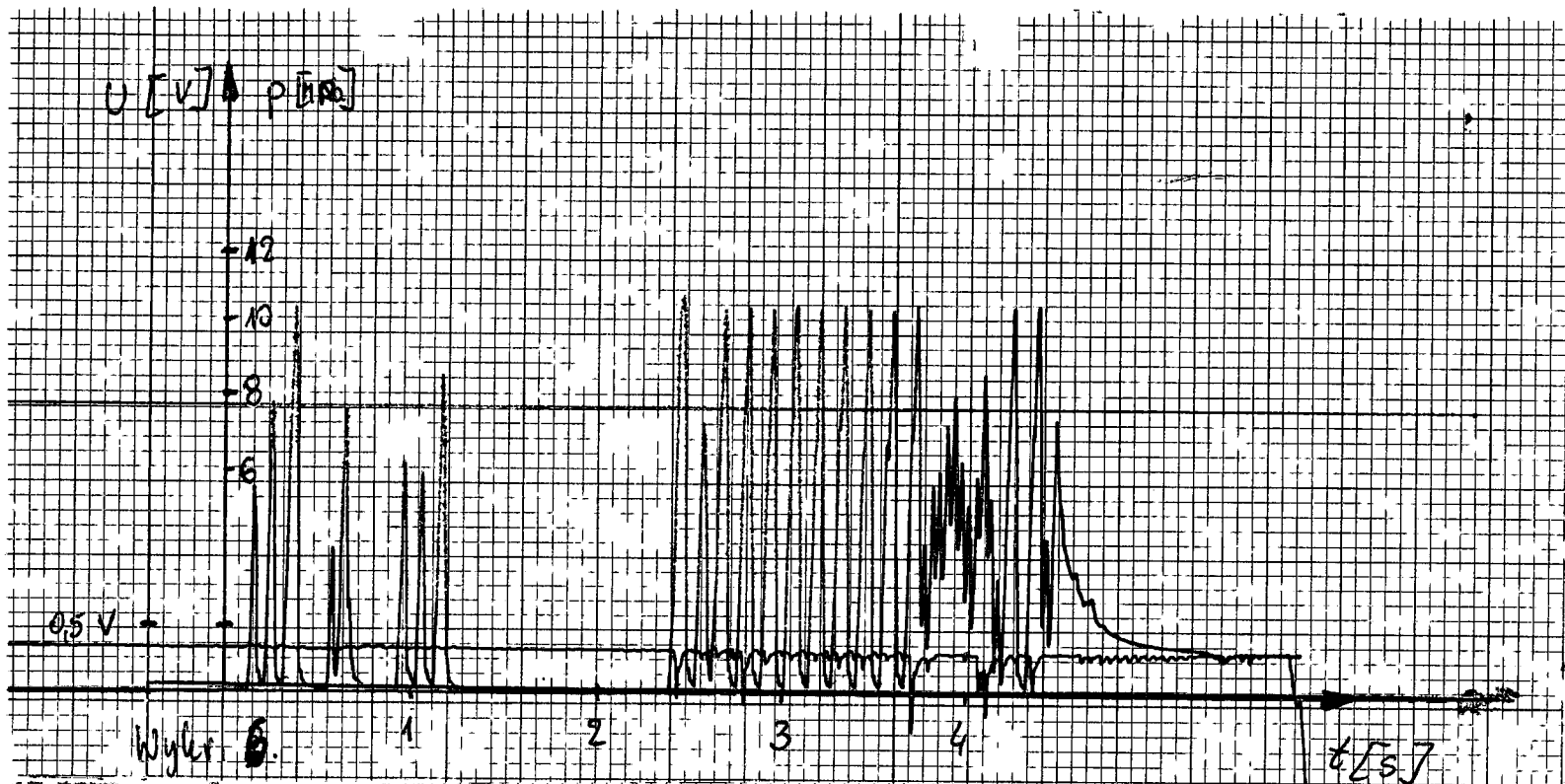
2

0.5

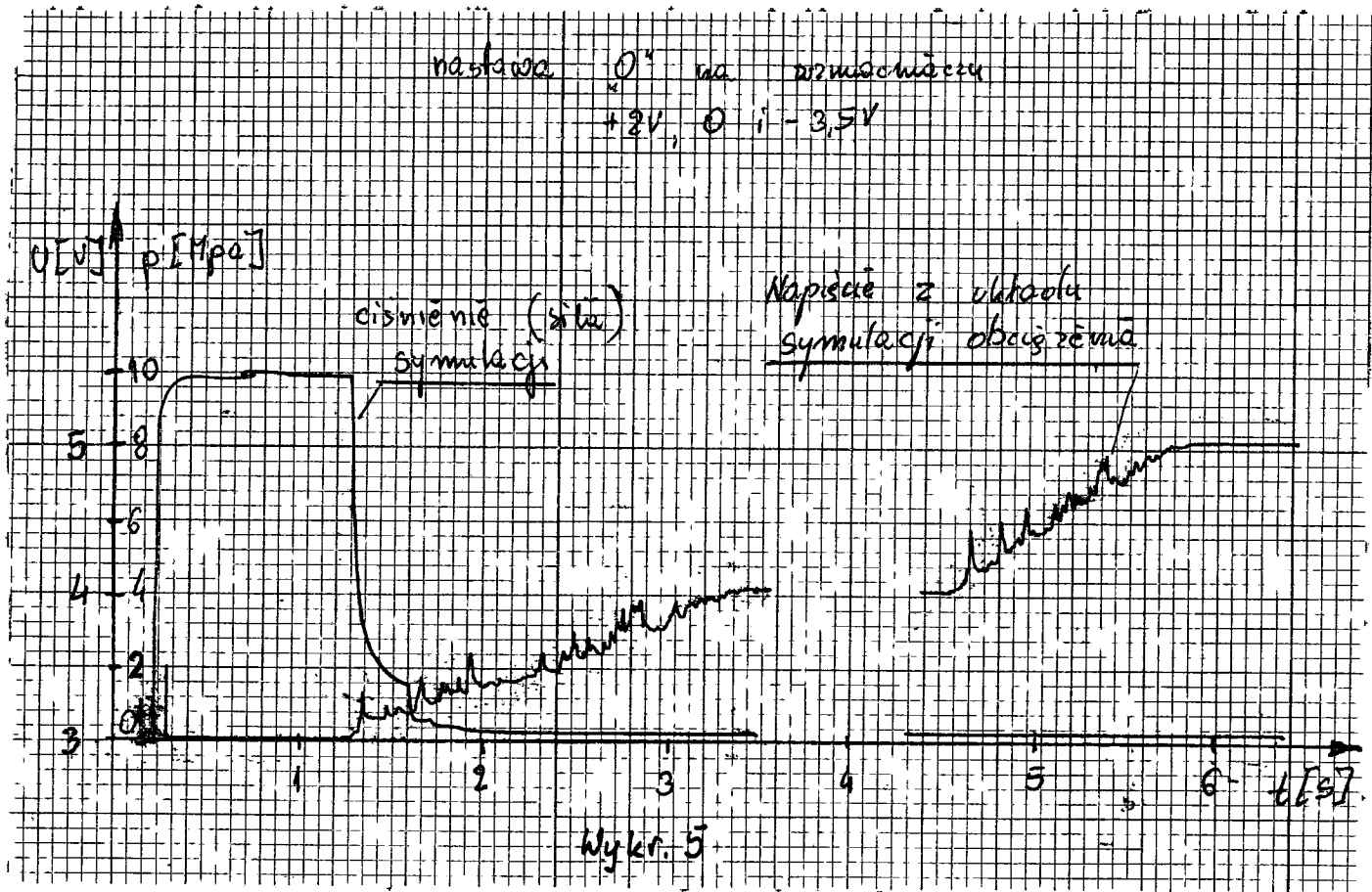
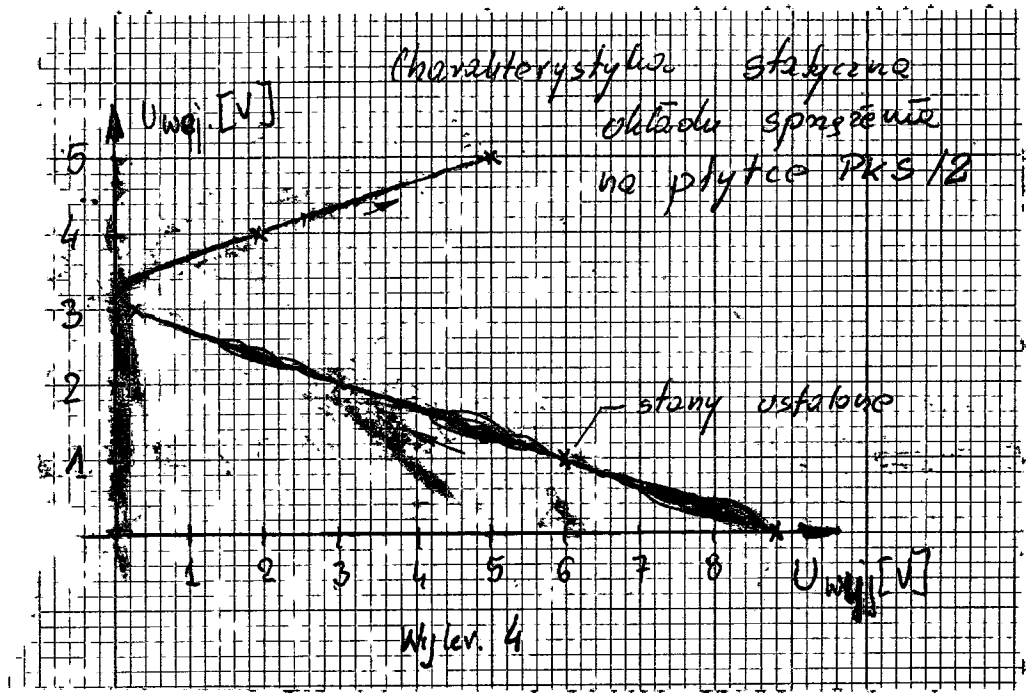
0.75

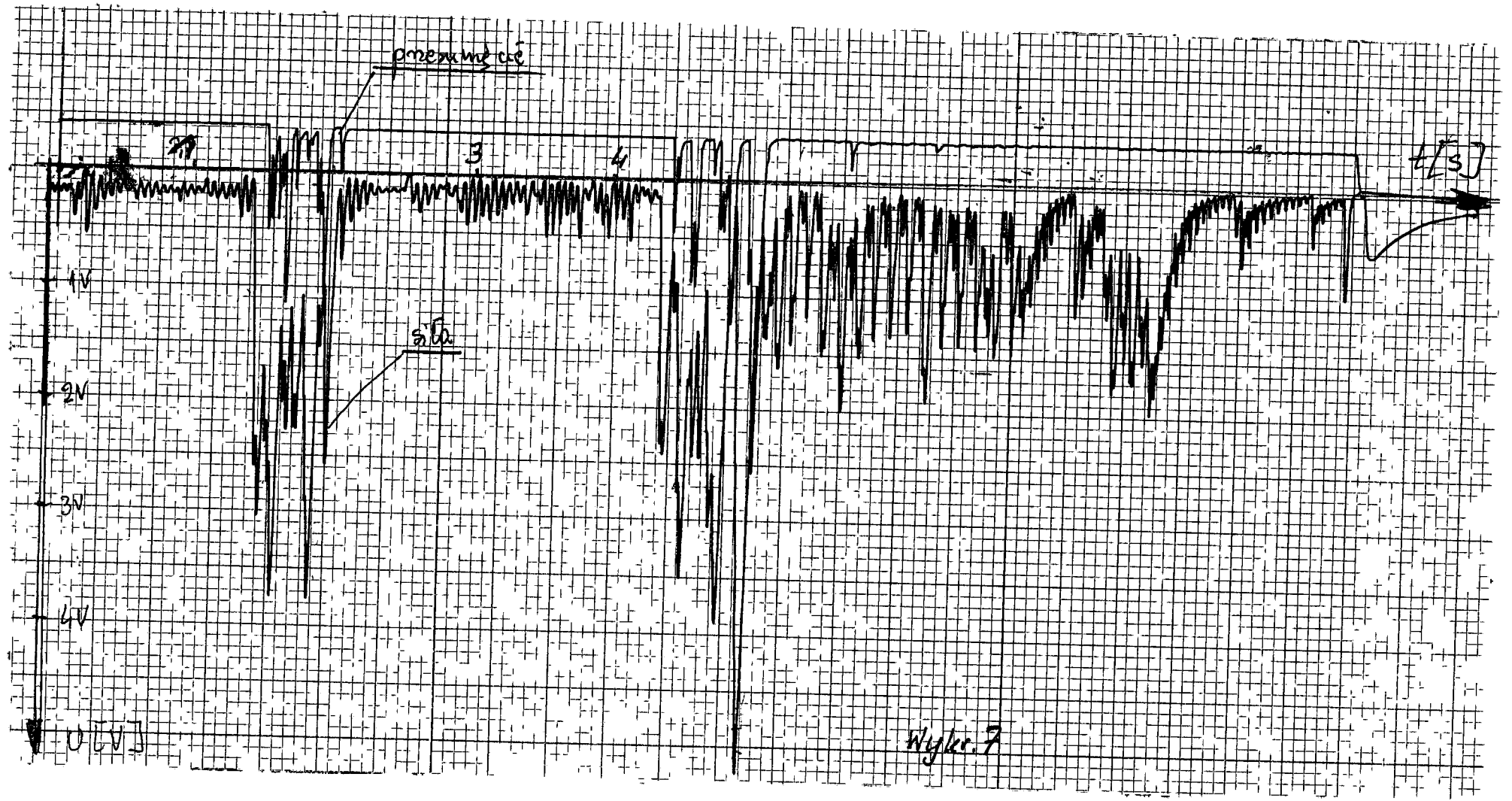
Wjkr. 1





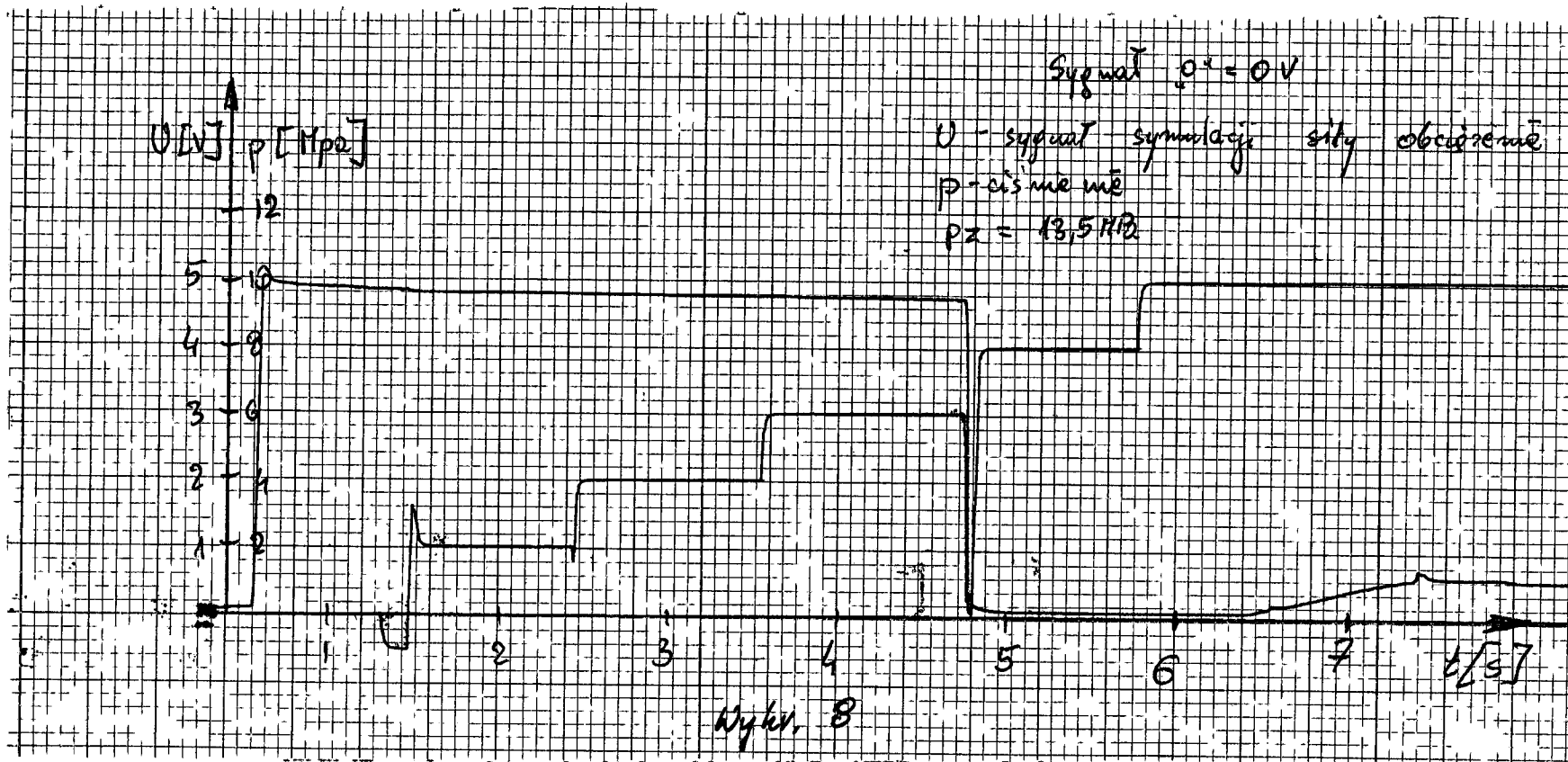
15





17

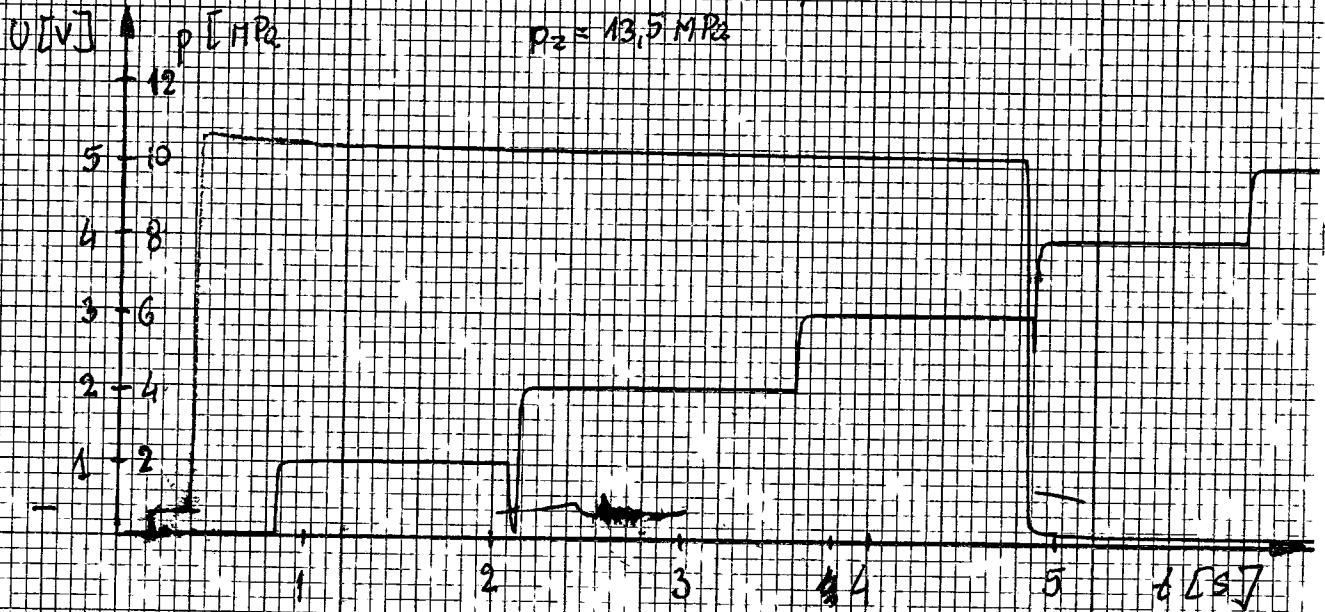
Wykres 7



signal $U^* = 2V$

U - signal z simulovane cvejnice siti

$p_2 = 13,5 MPa$

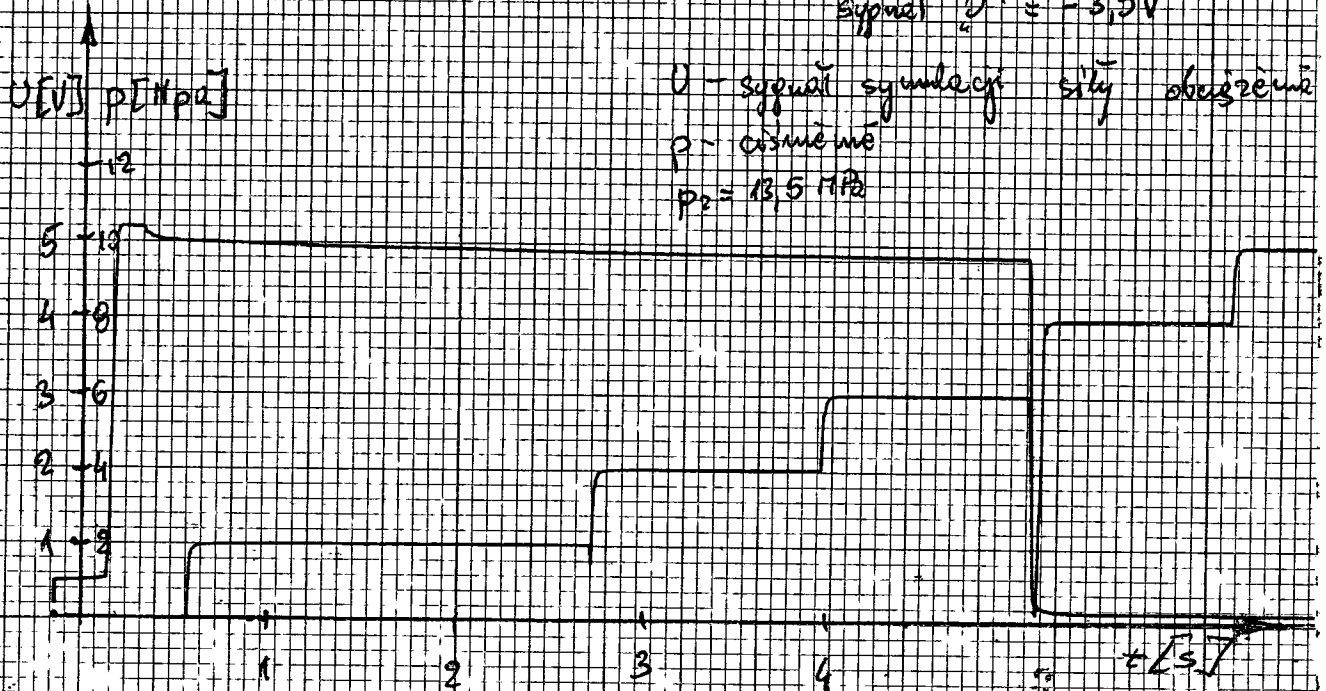


Wykres 9

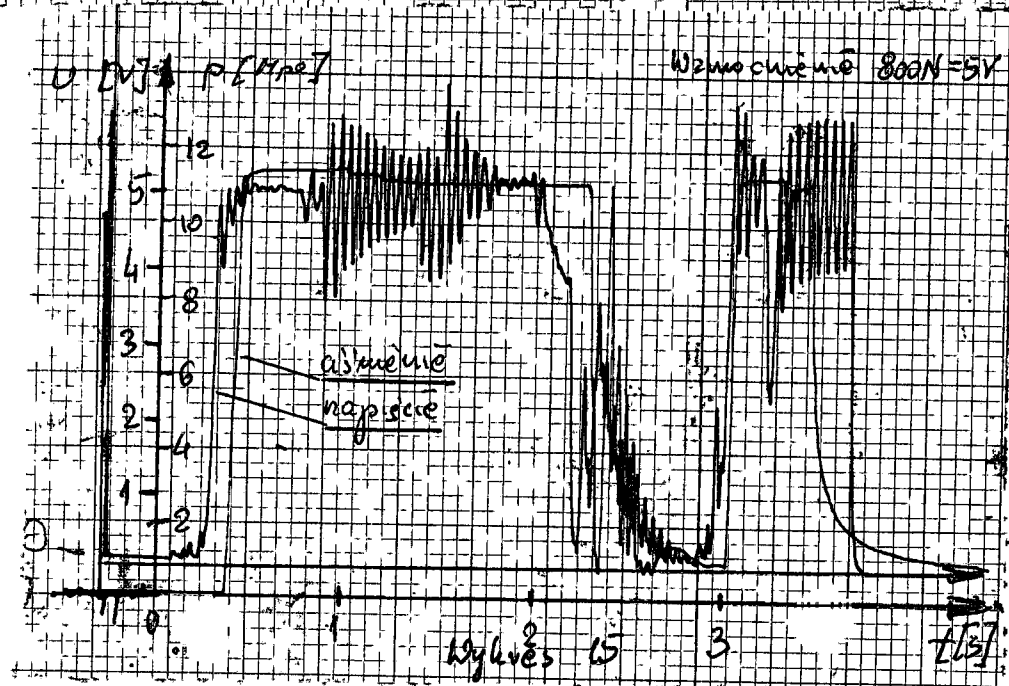
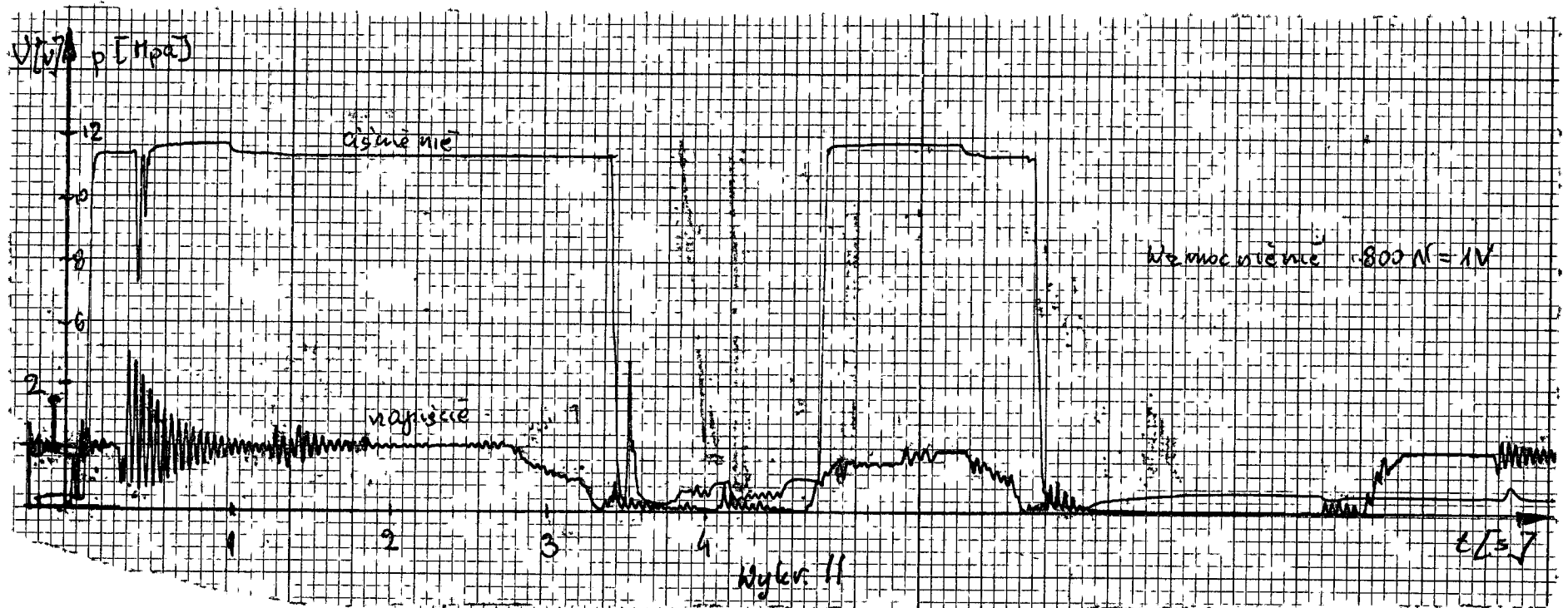
signal $U^* = -3,5V$

U - signal symulacji siti obciżeni

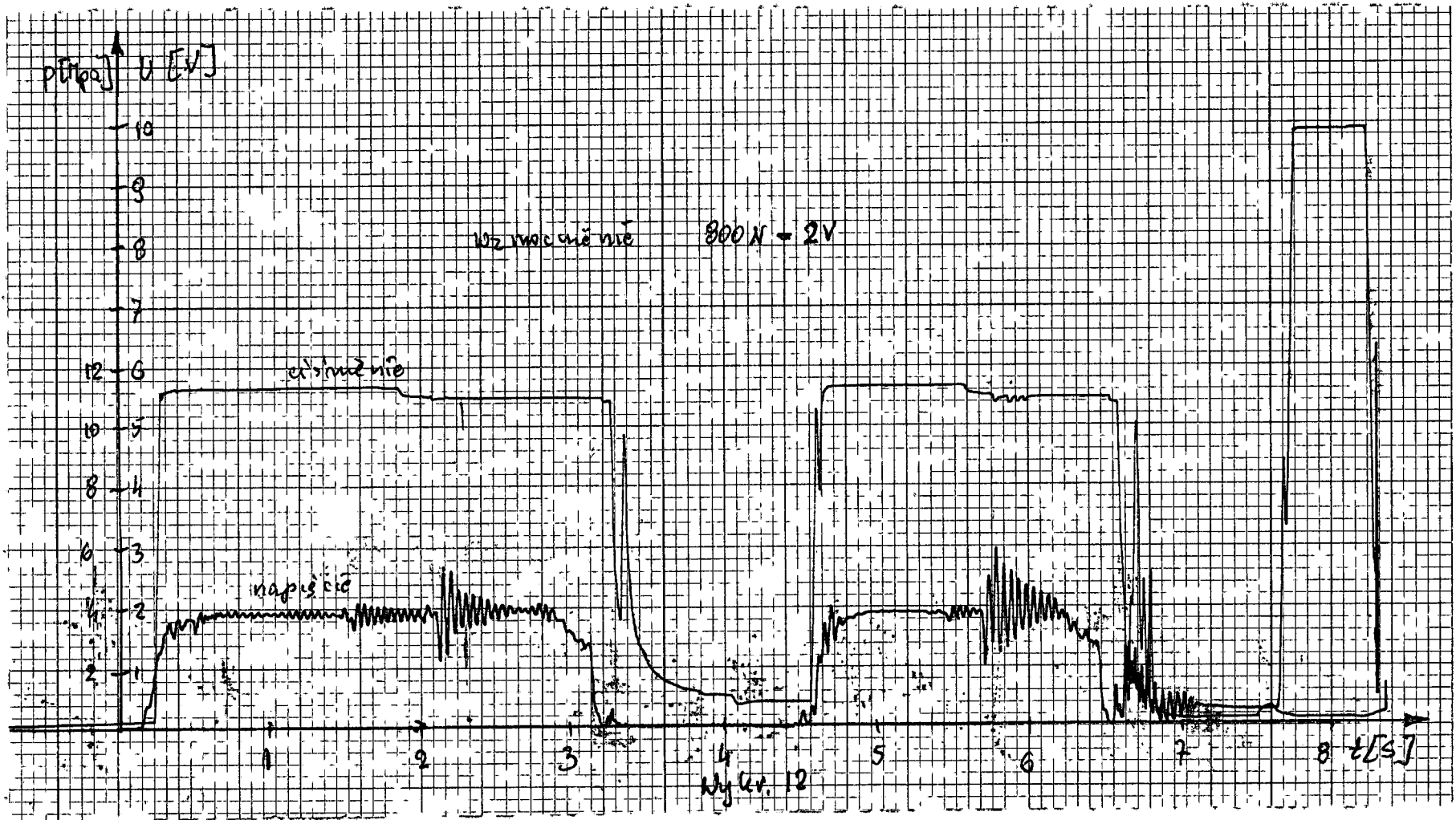
p - ciśnienie
 $p_2 = 13,5 MPa$



Wykres 10



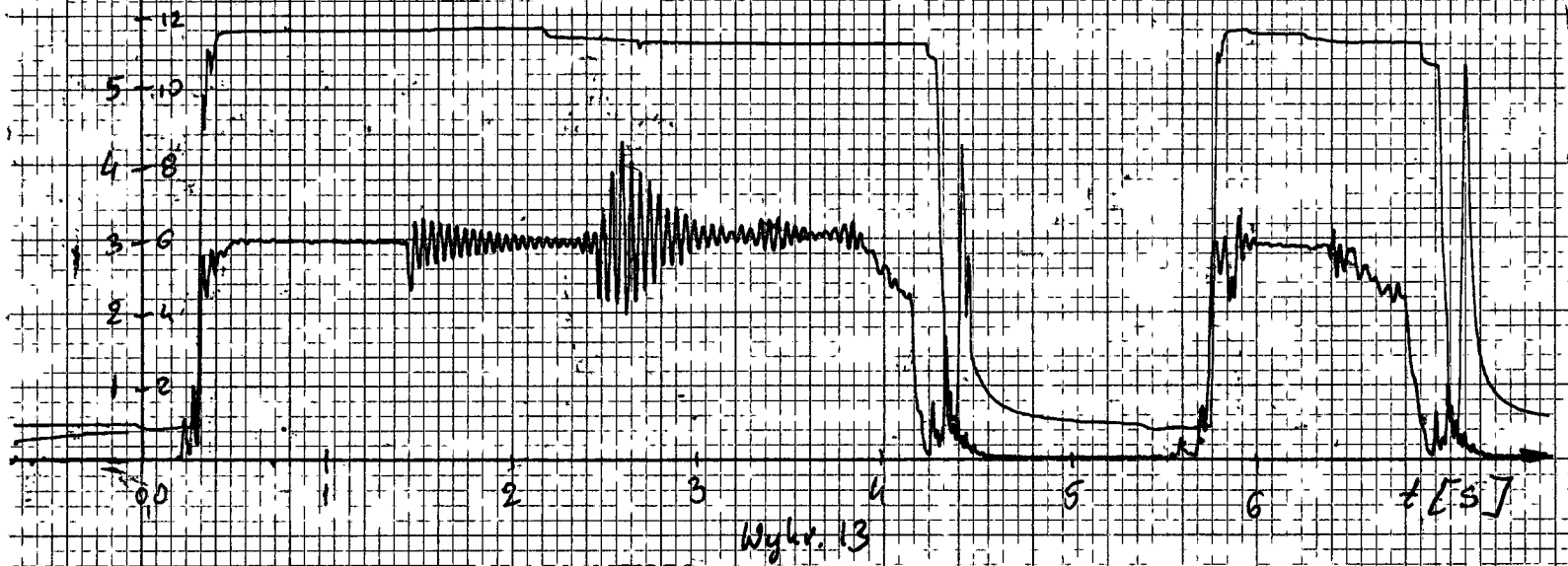
08



21

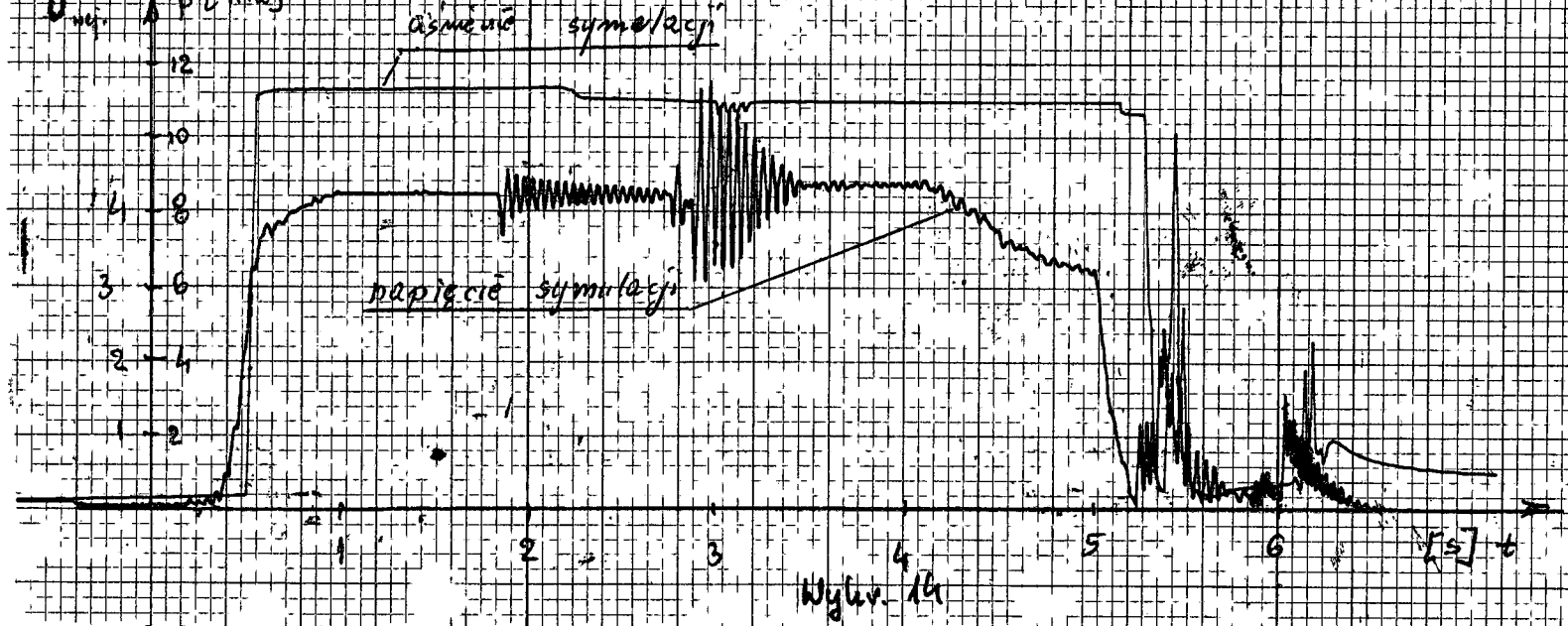
U_{EVJA} PEMP₂

Wzmocnienie 800N = 3V



U_{wyj.} A P [mV]

Wzmocnienie 800N = 4V



766