

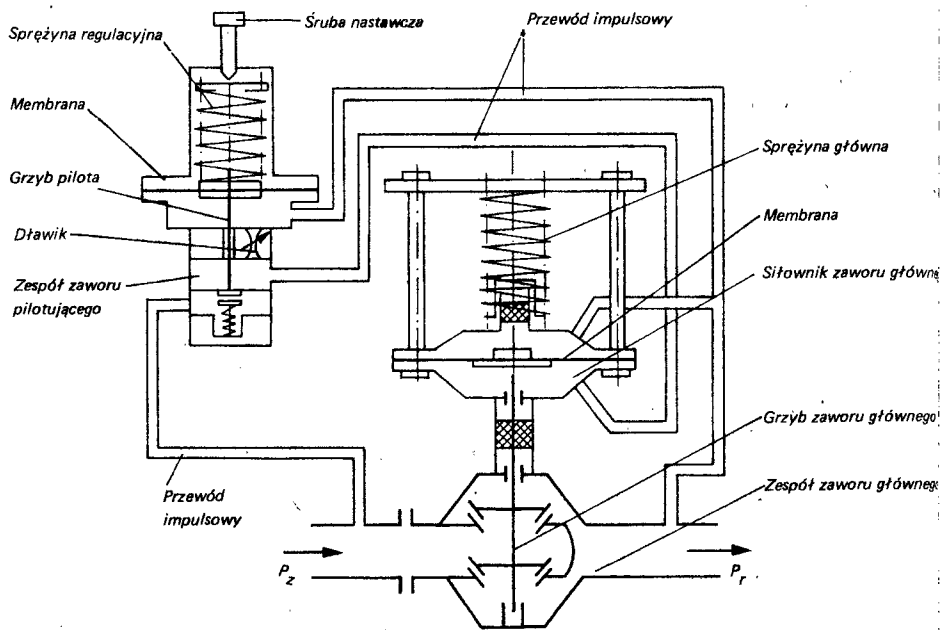
mgr inż. BARBARA OMYLIŃSKA  
mgr inż. STEFAN FRYDLIŃSKI  
dr inż. ANDRZEJ SERWACH  
Przemysłowy Instytut  
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP  
W a r s z a w a

## DOBÓR PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH REGULATORA CIŚNIENIA ZA POMOCĄ KOMPUTERA

*W artykule opisano zastosowanie maszyny analogowo-hybrydowej WAT-1001 do doboru parametrów konstrukcyjnych hydraulicznego regulatora ciśnienia bezpośredniego działania. Jest to regulator całkujący. W modelu matematycznym uwzględniono graniczne warunki pracy regulatora, ponieważ oddziałują w istotny sposób na proces regulacji. Dla opisu działania regulatora w warunkach granicznych użyto innych równań niż te, które opisują jego pracę w stanach pośrednich. Dla wyboru odpowiednich równań wykorzystano sterowanie logiczne komputera. Z uwagi na to, że liczba możliwych do przyjęcia wartości dobieranych parametrów konstrukcyjnych jest ograniczona, do ich wyboru zastosowano procedurę prób i błędów.*

### 1. Wstęp

W opisywanym przypadku zastosowano dobór właściwych wartości parametrów konstrukcyjnych regulatora za pomocą komputera, ponieważ ten sposób daje znaczne oszczędności czasu i kosztów procedury projektowania. Projektowany typoszereg regulatorów jest używany do stabilizacji ciśnienia wody gorącej za regulatorem w zakresie od 0,1 do 10  $\text{kg/cm}^2$ . Ciśnienie przed regulatorem nie może przekraczać 16  $\text{kg/cm}^2$ . Regulatory te pracują bez energii pomocniczej. Są one zunifikowane z innymi typoszeregami regulatorów przepływu, ciśnienia i temperatury bezpośredniego działania tworząc wspólnie system MOTOSTAT Krajowego Systemu Automatyki i Pomiarów POLMATIK.



Rys.1. Schemat ideowy analizowanego regulatora ciśnienia

## 2. Model matematyczny

W modelu matematycznym regulatora uwzględniono tylko jego podstawowe właściwości statyczne i dynamiczne, takie jak:

- rezystancję obciążenia;
- kapacytancję obciążenia;
- równanie równowagi sił na grzybie zaworu głównego;
- równanie równowagi sił na grzybku zaworu pilotującego;
- charakterystykę przepływową zaworu głównego;
- charakterystykę przepływową dzielnika ciśnienia w zaworze pilotującym.

Bardzo istotne w tym modelu jest użycie dwóch różnych równań dla obliczenia ciśnienia pod membraną siłownika zaworu głównego. W stanach granicznych pracy regulatora (pełne otwarcie lub pełne zamknięcie zaworu głównego) ciśnienie to jest obliczone z charakterystyki statycznej dzielnika ciśnienia. W stanach pośrednich pracy regulatora ciśnienie jest obliczane z równania równowagi sił na grzybie zaworu głównego.

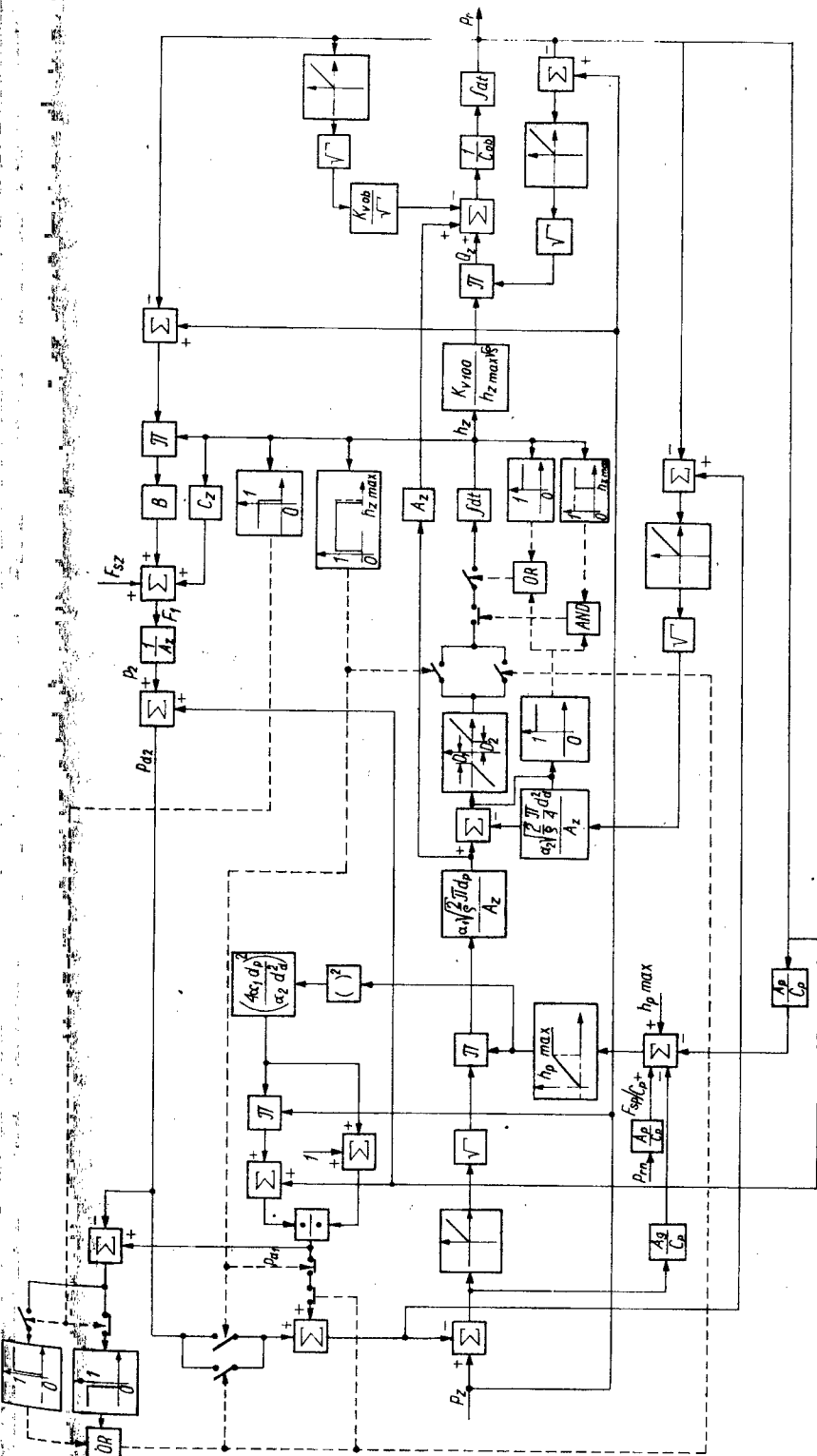
W modelu przyjęto założenie, że źródło ciśnienia zasilania ma nieskończone dużą impedancję wyjściową i dlatego przepływ przez regulator nie wpływa na ciśnienie zasilania. Założenie to wystarczająco dokładnie odwzorowuje rzeczywiste warunki pracy regulatora w najczęstszych zastosowaniach (w ciepłownictwie).

Schemat blokowy modelu matematycznego jest pokazany na rys.2. Symbole użyte w tym schemacie są opisane w zestawieniu na początku artykułu. Zasady budowy modeli matematycznych tego typu, oraz zestawienia funkcji matematycznych realizowanych przez poszczególne bloki takich schematów blokowych przedstawiono w [ 1 ] i [ 2 ] .

#### Wykaz oznaczeń (do rys.2)

- $A_g$  - powierzchnia efektywna grzybka zaworu pilotującego
- $A_p$  - powierzchnia membrany zaworu pilotującego
- $A_z$  - powierzchnia membrany zaworu głównego
- $B$  - współczynnik siły hydrodynamicznej w głównym zaworze
- $C_p$  - stała sprężyny zaworu pilotującego
- $C_z$  - stała sprężyny zaworu głównego
- $C_{ob}$  - pojemność obciążenia
- $d_p$  - średnica grzybka zaworu pilotującego
- $d_d$  - średnica dławika w zaworze pilotującym
- $D_1$  - ujemna część strefy nieczułości regulatora
- $D_2$  - dodatnia część strefy nieczułości regulatora
- $F_{sp}$  - siła napięcia wstępnego sprężyny zaworu pilotującego
- $F_{sz}$  - siła napięcia wstępnego sprężyny zaworu głównego
- $h_p$  - skok grzybka zaworu pilotującego
- $h_{pmax}$  - maksymalny skok grzybka zaworu pilotującego
- $h_z$  - skok grzyba zaworu głównego

- $h_{z\max}$  - maksymalny skok grzyba zaworu głównego  
 $K_{v100}$  - nominalny współczynnik przepływu zaworu głównego  
 $k_{vob}$  - współczynnik przepływu obciążenia  
 $p_z$  - ciśnienie zasilania  
 $p_{zr}$  - amplituda ciśnienia zasilania przy rozruchu  
 $p_{zz}$  - amplituda przyrostu ciśnienia zasilania przy zakłóceniu  
 $p_r$  - ciśnienie regulowane (za regulatorem)  
 $p_{rn}$  - wartość nastawy ciśnienia regulowanego  
 $p_{rz}$  - maksymalna wartość zakresu nastawy ciśnienia regulowanego  
 $p_d$  - ciśnienie pod membraną siłownika zaworu głównego  
 $p_{d1}$  - ciśnienie  $p_d$  obliczane z charakterystyki statycznej dzielnika ciśnienia  
 $p_{d2}$  - ciśnienie  $p_d$  obliczane z równania równowagi sił na grzybie zaworu głównego  
 $Q_z$  - natężenie przepływu przez zawór główny  
 $t$  - czas  
 $X_h$  - bezwymiarowa strefa nieczułości regulatora (odniesiona do górnej wartości zakresu nastawy)  
 $\alpha_1$  - współczynnik dławienia przepływu w grzybku zaworu pilotującego  
 $\alpha_2$  - współczynnik dławienia przepływu w dławiku zaworu pilotującego  
 $\varphi$  - gęstość cieczy  
 $\tau$  - czas opóźnienia między rozruchem regulatora i momentem wprowadzenia zakłócenia.



Rys. 2. Schemat blokowy modelu matematycznego regulatora

### 3. Program i wyniki obliczeń

Najbardziej interesującą częścią schematu maszynowego dla komputera WAT-1001 jest obwód logiki równoległej, który jest użyty dla wyboru odpowiedniego równania do liczenia ciśnienia pod membraną w stanach granicznych. Obwód ten, zawierający komparatory i elementy NAND jest pokazany na rys.3. (Znaczenie użytych symboli graficznych podano w [ 3 ]).

Ze względu na to, że projektowany typoszereg regulatorów musiał być zunifikowany z innymi typoszeregami regulatorów przepływu, ciśnienia i temperatury tworzących system, liczba dobieranych parametrów była ograniczona. Dokonano doboru następujących parametrów konstrukcyjnych:

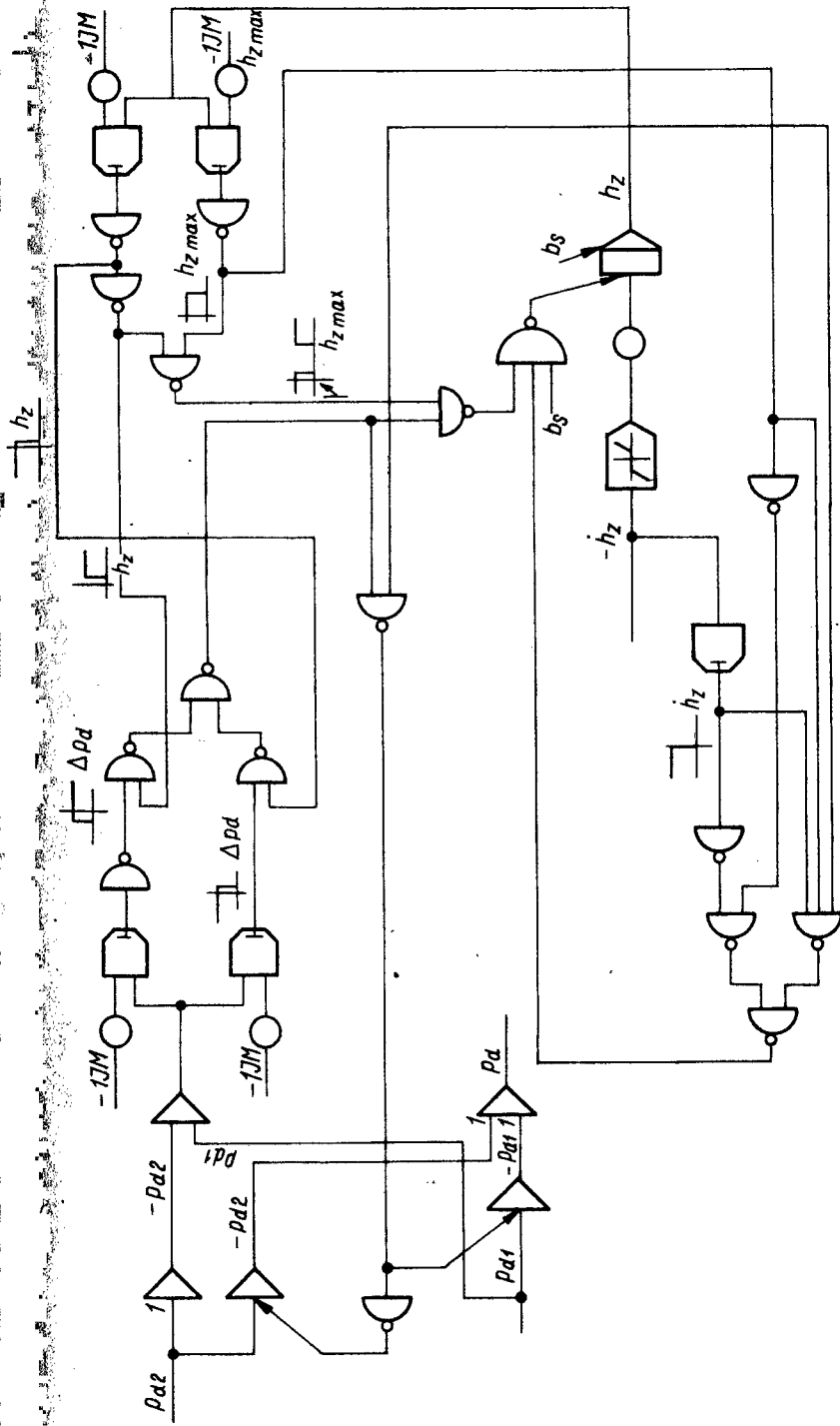
- powierzchnia membrany w siłowniku zaworu głównego (rozpatrywane dwie wartości),

- stała sprężyny siłownika zaworu głównego (rozpatrywane dwie wartości),
- siła napięcia wstępnej sprężyny w siłowniku zaworu głównego (rozpatrywane dwie wartości dla każdego typowymiaru zaworu z typoszeregu),
- średnica dławika w dzielniku ciśnienia (rozpatrywane dwie wartości jako dolną i górną wartość możliwego zakresu zmienności).

Doboru właściwego zestawu wartości tych parametrów dokonano metodą prób i błędów z uwagi na ich ograniczoną liczbę.

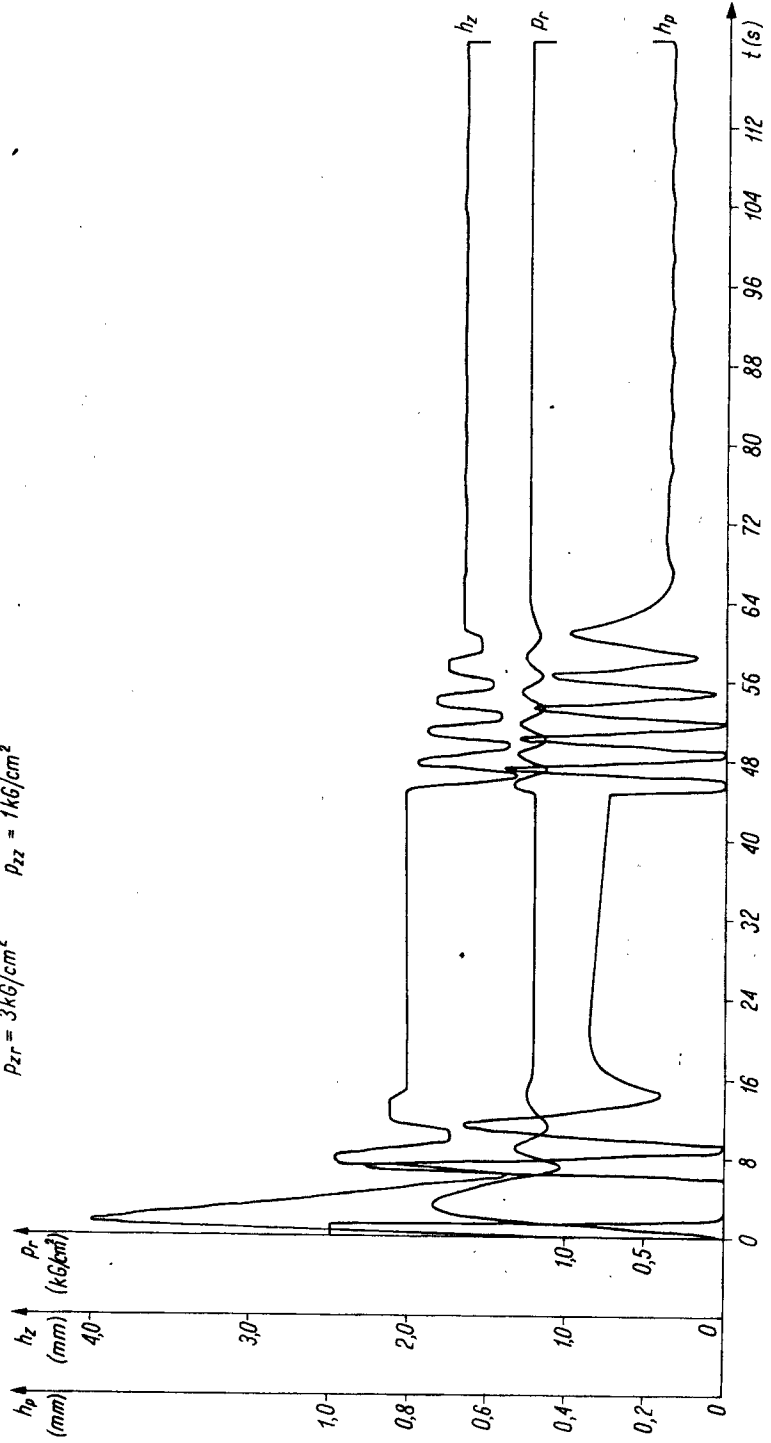
Jako sygnał wejściowy w obliczeniach przyjęto skokową funkcję ciśnienia zasilania, od zera do zadanej amplitudy (rozruch) i po ustaniu pierwszego procesu przejściowego ponowny skok ciśnienia zasilania o zadaną amplitudę, traktowany jako zakłócenie. We wszystkich obliczeniach przyjęto stałą wartość pojemności obciążenia. Rezystancja obciążenia dla każdego typowymiaru zaworu i zakresu nastaw była dobierana w ten sposób, że wartość ustalona skoku grzyba w zaworze głównym zawierała się w granicach od 0,1 do 0,9 maksymalnego skoku zaworu w pełnym zakresie zmian ciśnienia zasilania. Warunki te zostały wybrane na podstawie wstępnych obliczeń i wynikają z ogólnych zasad doboru wymiarów zaworu regulatora do obiektu.

Typowe wyniki obliczeń są przedstawione na rys.4 (przypadek stabilny) i rys.5 (przypadek niestabilny).



Rys.3. Schemat obwodu logiki równoległej (fragment schematu maszynowego) służący do wyboru właściwego równania dla obliczania ciśnienia pod membraną siłownika

BRU-P/50

 $p_{rz} = 10 \text{ kg/cm}^2$  $p_{rn} = 1 \text{ kg/cm}^2$  $C_z = 50 \text{ kg/cm}^2$  $F_{sz} = 300 \text{ kg}$  $d_d = 1 \text{ mm}$  $A_z = 290 \text{ cm}$  $K_{vob} = 23 \text{ m}^3/\text{h}$  $p_{zr} = 3 \text{ kg/cm}^2$  $p_{zz} = 1 \text{ kg/cm}^2$ 

Rys.4. Przykładowe wyniki obliczeń - przypadek stabilny



BRU-p/50

$$P_{rz} = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{rn} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_z = 50 \text{ kg/cm}$$

$$F_{sz} = 300 \text{ kg}$$

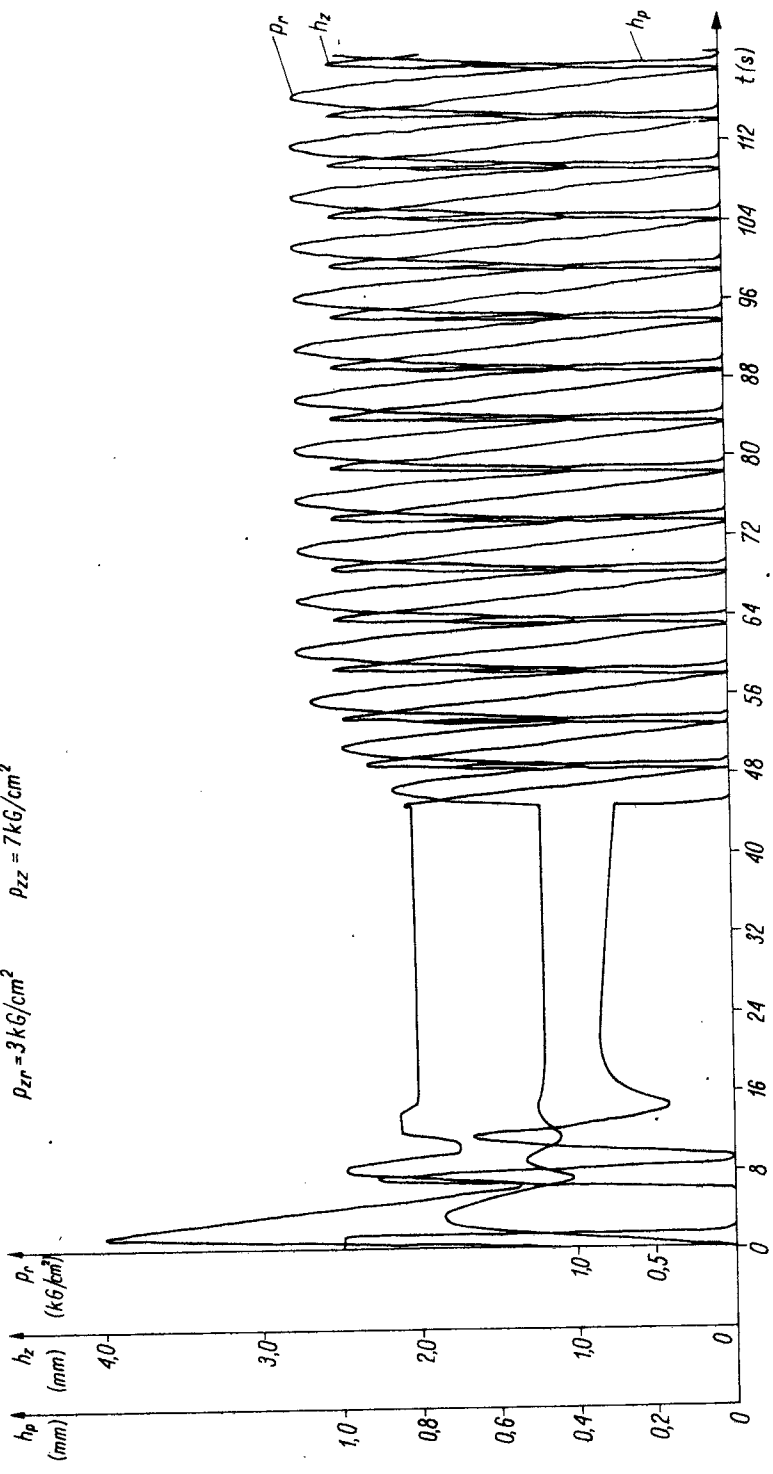
$$d_d = 1 \text{ mm}$$

$$P_{zr} = 3 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{zz} = 7 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_z = 290 \text{ cm}^2$$

$$K_{vob} = 29 \text{ m}^3/\text{h}$$



Rys.5. Przykładowe wyniki obliczeń - przypadek niestabilny

Analiza wszystkich wyników obliczeń pozwala na sformułowanie następujących uwag:

cykl graniczny w procesie regulacji występuje tylko wtedy, gdy grzybek zaworu pilotującego pracuje przekąźnikowo;

całkowicie aperiodyczna odpowiedź przejściowa regulatora występuje tylko wtedy, gdy grzybek zaworu pilotującego jest przez cały czas całkowicie otwarty ( tzn. regulator pracuje na granicy zakresu regulacji);  
stabilność pracy regulatora pogarsza się w miarę wzrostu ciśnienia zasilania;

błąd statyczny regulatora powiększa się w miarę obniżania wartości nastaw;

minimalne ciśnienie zasilania, umożliwiające regulację, jest bardzo uzależnione od siły napięcia wstępnej sprężyny w siłowniku zaworu głównego.

#### 4. Podsumowanie

Głównym rezultatem obliczeń jest dobór podstawowych parametrów konstrukcyjnych regulatora. Dobrano ich następujące wartości:

powierzchnia membrany siłownika zaworu głównego  $290 \text{ cm}^2$ ,  
stała sprężyny siłownika zaworu głównego  $50 \text{ kg/cm}$ ,  
wstępne napięcie sprężyny siłownika zaworu głównego  $150 \dots 300 \text{ kg}$ .  
(w zależności od jego typowymiaru),  
średnica zastępcza dławika w zaworze pilotującym (zmienna, nastawialna) w zakresie  $1 \dots 1,8 \text{ mm}$ .

Powyższe wartości zostały wybrane w oparciu o następujące kryteria:  
minimalizacja błędów statycznych regulacji,  
redukcja amplitudy cyklu granicznego,  
minimalizacja ciśnienia rozruchowego,  
minimalizacja przecieków w zaworze głównym (co jest zależne od siły napięcia wstępnej sprężyny w siłowniku zaworu głównego).

Wyniki obliczeń zostały sprawdzone i potwierdzone przez badania eksperymentalne wybranych przypadków w fazie badań prototypów regulatora.

## Literatura

- [1] Serwach A.: Modelowanie dynamiki układów hydraulicznych za pomocą maszyn matematycznych. 1974, t. XXI, z. 3.
- [2] Serwach A.: Metody modelowania procesów ciągłych za pomocą maszyn analogowych. Biuletyn MERA-PIAP. 1975, nr 1/2.
- [3] Zasady działania podstawowych członów operacyjnych maszyny WAT 1001. Biuletyn MERA-PIAP. 1975, nr 1/2.