

Edward Tomasiak

Instytut Budowy Maszyn

STOSOWANIE ZAWORÓW PRZELEWOWYCH
JAKO ZAWORÓW BEZPIECZEŃSTWA

Streszczenie. Przy stosowaniu w układach hydraulicznych typowych zaworów przelewowych jako bezpieczeństwa mogą wystąpić pewne ograniczenia, spowodowane zbyt dużą wartością nadwyżki ciśnienia w stanie przejściowym w stosunku do ciśnienia ustawionego. Z porównań charakterystyk dynamicznych stosowanych zaworów przelewowych jako zaworów bezpieczeństwa uwidaczniają się różnice w ich funkcjonowaniu.

Wykaz oznaczeń:

Symbol	Jednostka	Nazwa parametru
B	N/m^2	moduł sprężystości objętościowej oleju
c	N/m	szywność sprężyny
f	$\frac{N \cdot s}{m}$	współczynnik tarcia lepkiego
G	N	ciężar elementu ruchomego
m	kg	masa elementu ruchomego
p	N/m^2 , bar	ciśnienie
S	m^2	powierzchnia czynna elementu ruchomego
t	s	czas
T_0	N	siła napięcia wstępnego sprężyny
x	m, mm	przemieszczenie tłoczka
V	m^3	objętość układu hydraulicznego
Q	l/s	objętościowa wartość przepływu
Q_1	l/s	przepływ spowodowany zmianą objętości
Q_2	l/s	przepływ spowodowany wpływem ściśliwości oleju

Wprowadzenie

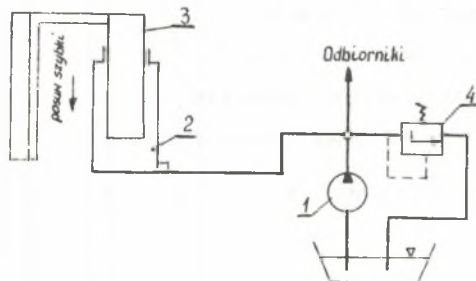
Pośród elementów hydrauliki siłowej zawory stanowią odrębną grupę i zadaniem ich jest nastawianie i regulacja ciśnienia w układzie. Z uwagi na przeznaczenie można wyodrębnić różne odmiany zaworów, z których najczęściej w układach napędowych są stosowane zawory przelewowe lub bezpieczeństwa.

Podczas pracy zawór przelewowy utrzymuje stałą wartość ciśnienia w układzie przez odprowadzenie nadmiaru czynnika, a zawór bezpieczeństwa zabezpiecza układ przed nadmiernym wzrostem ciśnienia; zawór przelewowy jest zawsze otwarty, a zawór bezpieczeństwa jest zamknięty i otwiera się tylko wtedy, gdy nastąpi wzrost ciśnienia powyżej wartości ustawionej.

Przyjmuje się, że w większości przypadków każdy zawór przelewowy może być użyty jako zawór bezpieczeństwa [1]. W takim przyjęciu z uwagi na funkcjonalność omawianych zaworów może wystąpić pewna niekonsekwencja. Stosując zawory przelewowe jako bezpieczeństwa zmieniamy każdorazowo nie tylko warunki pracy, ale również warunki początkowe, a tym samym zmieniamy ich właściwości dynamiczne. W wyniku tego mogą wystąpić ograniczenia w ich stosowaniu ze względu na wartość przesterowania ciśnienia w stanie przejściowym [2].

Mając na uwadze zabezpieczenie układu przed przeciążeniem zawór bezpieczeństwa powinien mieć takie właściwości dynamiczne, aby przesterowanie ciśnienia w stanie przejściowym było zerowe lub bardzo małe. Analiza dynamiczna zaworów przelewowych [2] wykazała, że zawory te dość wolno reagują przy szybkim wzroście ciśnienia w wyniku czego występuje znaczne przesunięcie fazowe (opóźnienie) pomiędzy przemieszczaniem się elementu ruchomego, czyli otwieraniem się zaworu, a narastaniem ciśnienia. Stąd można przypuszczać, że ten sam zawór przelewowy zastosowany, przy zmienionych warunkach pracy i warunkach początkowych, jako zawór bezpieczeństwa nie polepszy szybkości działania, a co za tym idzie powiększy wartość przesterowania ciśnienia w stanie przejściowym.

Dla zobrazowania problemów związanych ze stosowaniem zaworu przelewowego jako typowego zaworu bezpieczeństwa przytoczono przykład jaki miał miejsce przy hydraulicznym odciążaniu suwaka suportu pionowego tokarki karuzelowej KBB800 (rys. 1). Pompa 1 (typu PZ 1) zasila układ napędowy oraz cylinder 2. Nurnik 3 jest związany z suwakiem i odciąża go podczas pracy obrabiarki. W celu zabezpieczenia układu przed prze-

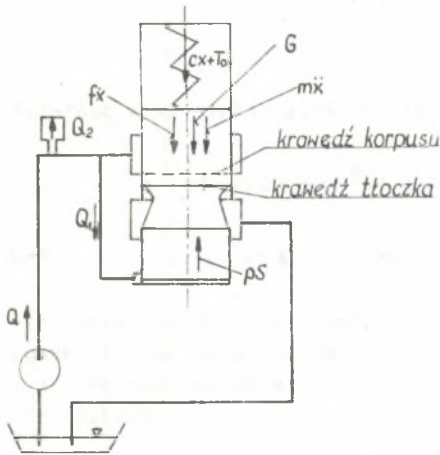


Rys. 1. Schemat hydrauliczny odciążenia suwaka

ciążeniem, które może wystąpić w czasie włączania posuwu szybkiego w dół, wbudowano zawór bezpieczeństwa 4 (typu UZPX-16). Podczas badań prototypu okazało się, że zastosowany zawór nie spełnił zadania i w momencie włączenia posuwu szybkiego w dół nastąpiło zniszczenie instalacji (pęknięcie przewód). W dalszych badaniach prototypu zastosowano zawór dwustopniowy typu ZP-41 i omawiane zjawisko nie występowało.

Analiza wzrostu ciśnienia przy zamkniętym zaworze

Jak już wspomniano, zawór bezpieczeństwa podczas pracy jest zamknięty i każdorazowo wzrost ciśnienia powyżej wartości na nim ustawionej będzie powodował przemieszczanie się elementu ruchomego jeszcze w zakresie zaworu zamkniętego (wynika to z przekrycia krawędzi sterującej odpływem) przy nadal wzrastającym ciśnieniu; zawór otworzy się z pewnym opóźnieniem. Przyjęto, że przecieki przy zamkniętym zaworze i w układzie oraz opory ruchu, spowodowane tarciami suchym, w trakcie przesuwu tłoczka nie występują. W momencie gdy tłoczek przemieszcza się w zakresie przekrycia krawędzi, można napisać równanie dynamiczne ruchu (rys. 2):



Rys. 2. Schemat układu z zaworem bezpieczeństwa

$$m\ddot{x} + f\dot{x} + cx + T_0 + G = pS \quad (1)$$

oraz równanie przepływu:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

a po podstawieniu za Q_1 i Q_2

$$Q = S\dot{x} + \frac{V}{B} \dot{p} \quad (2)$$

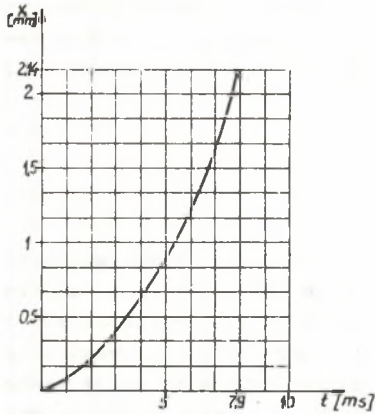
Po zróżniczkowaniu równania (1) i podstawieniu \dot{p} z (2) otrzymuje się:

$$\ddot{x} + \frac{f}{m} \dot{x} + \frac{1}{m} \left(c + \frac{S^2 B}{m} \right) x = \frac{QBS}{mV} \quad (3)$$

Podstawiając parametry stałe według [2] otrzymuje się:

$$\ddot{x} + 32,0028 \dot{x} + 147450 x = 398788,6 \quad (3a)$$

Rozwiązaniem równania (3) jest zależność na przemieszczanie się tłoczka zaworu:



Rys. 3. Zależność przemieszczenia tłoczka w funkcji czasu

$$\begin{aligned}
 x = & - 0,5871 \cdot 10^{-5} + 0,2704 t + \\
 & + (- 22,26 \cdot 10^{-5} \sin 1214,19 t + \\
 & + 0,5871 \cdot 10^{-5} \cos 1214,19 t) \exp(-16,0028 t)
 \end{aligned} \quad (4)$$

Rys. 3 przedstawia graficznie zależność (4).

Po scałkowaniu równania (2) otrzymuje się funkcję ciśnienia w postaci:

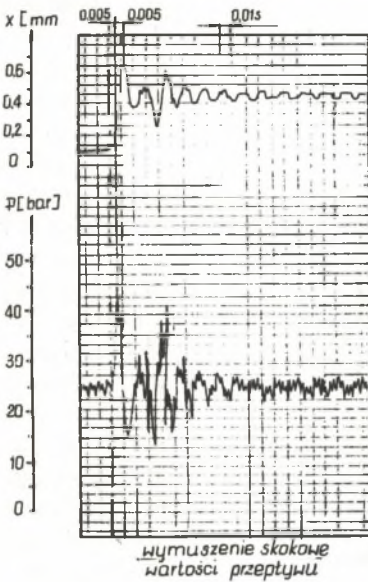
$$\begin{aligned}
 p = & 141,1365 \cdot 10^7 t + (2,9774 \cdot 10^5 \cos 1214,19 t + \\
 & + 25,5646 \cdot 10^5 \sin 1214,19 t) \exp(- 16.0028 t) \dots
 \end{aligned} \quad (5)$$

Podstawiając do zależności (5) czas $t = 7,9$ ms, po którym tłoczek wykonał drogę w zakresie przekrycia krawędzi równą $x = 2,14$ mm, uzyskano wartość ciśnienia $p = 125,5$ bar (ciśnienie ustawione na zaworze 25 bar). Należy przypuszczać, że przy dalszym ruchu tłoczka ciśnienie będzie nadal wzrastało [2].

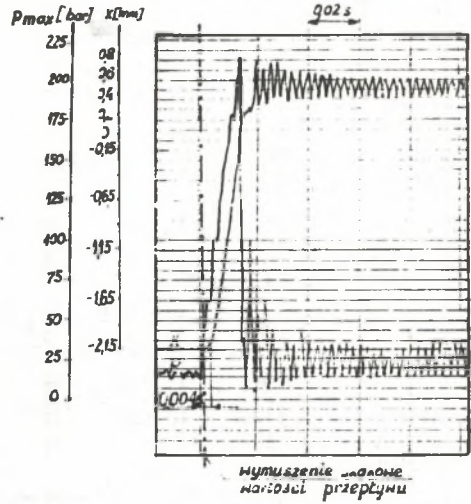
Stan przejściowy badanych zaworów

Badania stanów przejściowych przeprowadzono na typowych zaworach obrabiarkowych: jednostopniowym UZPX-16 oraz dwustopniowym UZPP-16. Przy pomiarach wykorzystano czujniki opisane w pracy [3], i stanowisko badawcze [4].

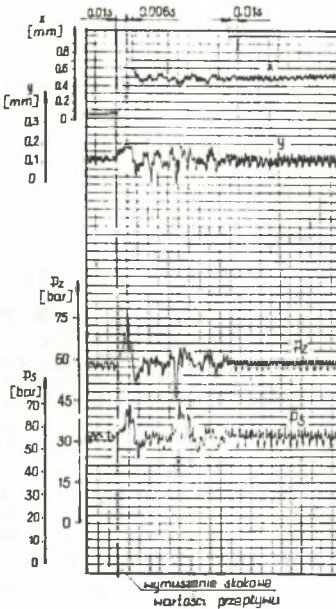
Dla zobrazowania różnic w stanach przejściowych zamieszczono oscylogramy obrazujące pracę zaworu UZPX-16; przelewowego (rys. 4) i bezpieczeństwa (rys. 5) oraz zaworu UZPP-16; przelewowego (rys. 6) i bezpieczeństwa (rys. 7). Oscylogramy wykonano przy ciśnieniu i przepływie nominalnym.



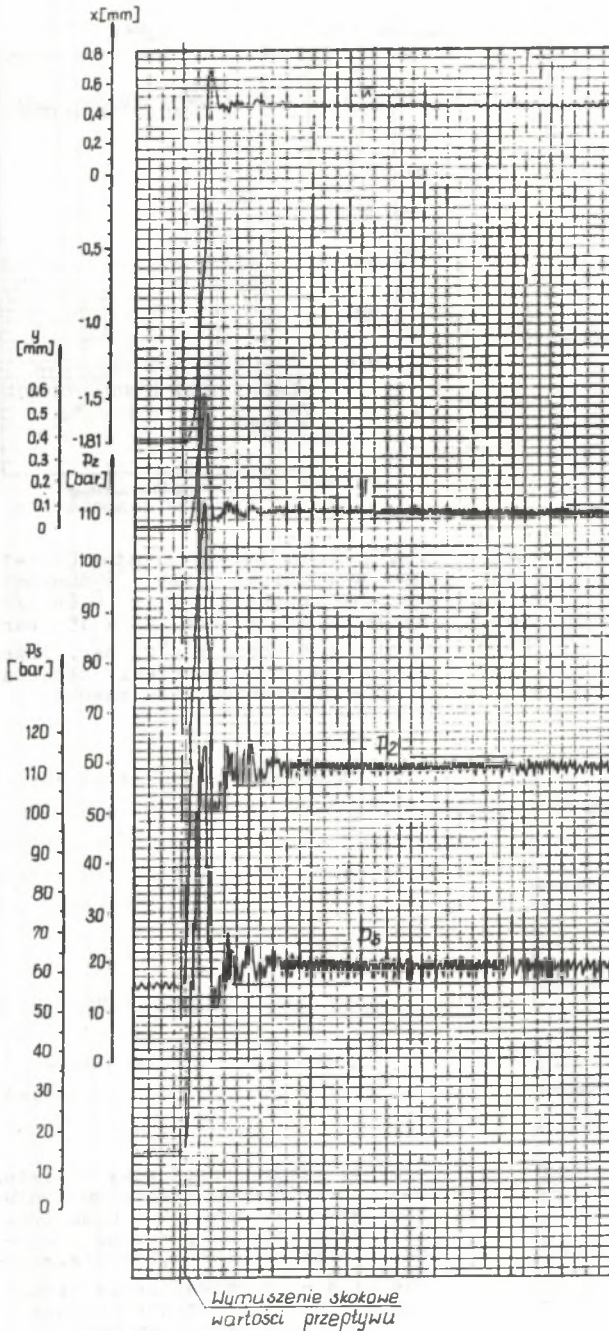
Rys. 4. Zawór przelewowy UZPX-16. Stan przejściowy przy wymuszeniu skokowym przepływu $Q = 0,66$ l/s. Ciśnienie robocze $p = 25$ bar. Przepływ początkowy $Q_p = 0,043$ l/s. Przebiegi: x - przemieszczenie tłoczka, p - ciśnienie przed zaworem



Rys. 5. Zawór bezpieczeństwa UZPX-16. Stan przejściowy przy wymuszeniu skokowym przepływu $Q = 0,66$ l/s. Ciśnienie początkowe $p_0 = 15$ bar, ciśnienie robocze $p = 25$ bar. Przebiegi: x - przemieszczenie tłoczka, p - ciśnienie przed zaworem



Rys. 6. Zawór przelewowy UZPP-16. Stan przejściowy przy wymuszeniu skokowym przepływu $Q = 0,66$ l/s. Ciśnienie robocze $p = 60$ bar. Przepływ początkowy $Q_p = 0,039$ l/s. Przebiegi: x - przemieszczenie tłoczka, y - przemieszczenie grzybka, p_z - ciśnienie przed zaworem, p_s - ciśnienie przed stopniem grzybkowym



Rys. 7. Zawór bezpieczeństwa UZPP-16. Stan przejściowy przy wymuszeniu skokowym przepływu $Q = 0,66$ l/s. Ciśnienie początkowe $p = 15$ bar. Ciśnienie robocze $p_z = 60$ bar.

Przebiegi: x - przemieszczenie tłoczka, y - przemieszczenie grzybka, p_z - ciśnienie przed zaworem, p_s - ciśnienie przed stopniem grzybkowym

Porównując zawór przelewowy już jest otwarty (rys. 4), to wymuszenie przepływu nie powoduje tak wysokiego wzrostu ciśnienia (przebieg p), jak w przypadku zaworu bezpieczeństwa (przebieg p na rys. 5). Po przekroczeniu ciśnienia ustawionego na zaworze (25 bar) występuje bardzo wolny ruch tłoczka (przebieg x) przy równoczesnym szybkim narastaniu ciśnienia. Występująca nadwyżka ciśnienia, w stosunku do ciśnienia ustawionego, powoduje następnie szybki ruch tłoczka przy nadal zamkniętym zaworze; obserwujemy dalej gwałtowny wzrost ciśnienia. Maksymalna wartość ciśnienia w stanie przejściowym osiąga wartość około 213 bar.

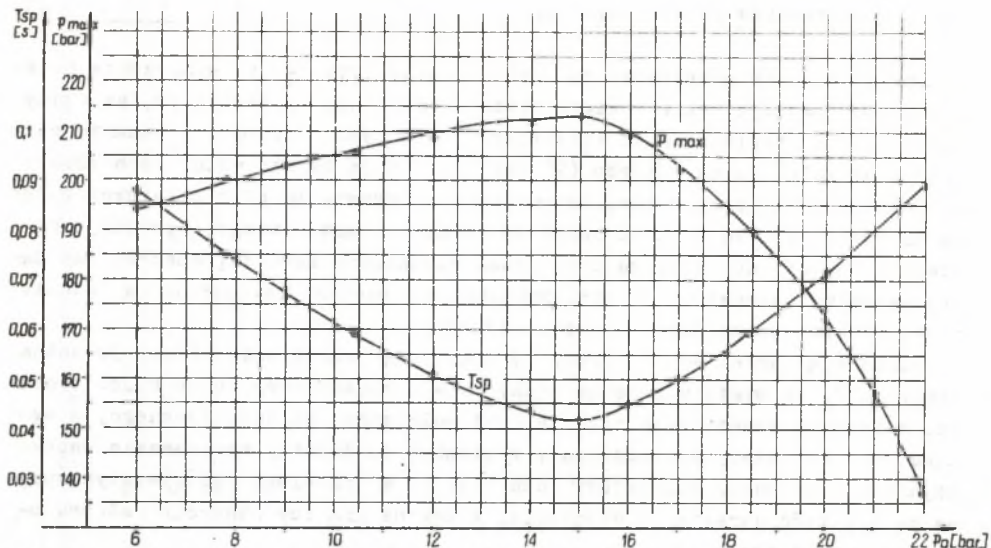
Porównując przebieg x (rys. 5) z analizą teoretyczną (rys. 3) można stwierdzić, że występują pewne odchylenia w początkowej fazie ruchu tłoczka. W rzeczywistości ruch tłoczka jest wolniejszy od teoretycznego, a wynika to, jak należy przypuszczać, z niezbyt dokładnego oszacowania współczynnika tłumienia. Wolniejszy ruch tłoczka w przebiegu rzeczywistym wpływa na szybkość narastania ciśnienia, które na granicy otwarcia zaworu osiąga wartość około 180 bar.

Również zawór przelewowy UZPP-16 (rys. 6) przy wymuszeniu skokowym przepływu jest otwarty i ciśnienie (przebieg p_z) w stosunku do wartości ustawionej 60 bar wzrasta znacznie wolniej niż w przypadku zaworu bezpieczeństwa (rys. 7). Wzrost ciśnienia (przebieg p_z na rys. 7) powyżej wartości ustawionej, powoduje otwarcie grzybka (przebieg y) i przepływ strumienia pomocniczego do zbiornika, co w znacznym stopniu przyspiesza przemieszczanie się tłoczka (przebieg x). Jak należy przypuszczać występujący przepływ strumienia pomocniczego i przepływ spowodowany szybszym ruchem tłoczka w większym stopniu, aniżeli w zaworze jednostopniowym, zmniejsza przepływ spowodowany wpływem ściśliwości. Tak więc procentowy wzrost ciśnienia w układzie badawczym z zaworem dwustopniowym, w stosunku do ciśnienia ustawionego jest mniejszy niż w zaworze jednostopniowym. Maksymalna wartość ciśnienia w stanie przejściowym zaworu wynosi około 112 bar.

Wpływ warunków początkowych na maksymalną wartość ciśnienia w stanie przejściowym

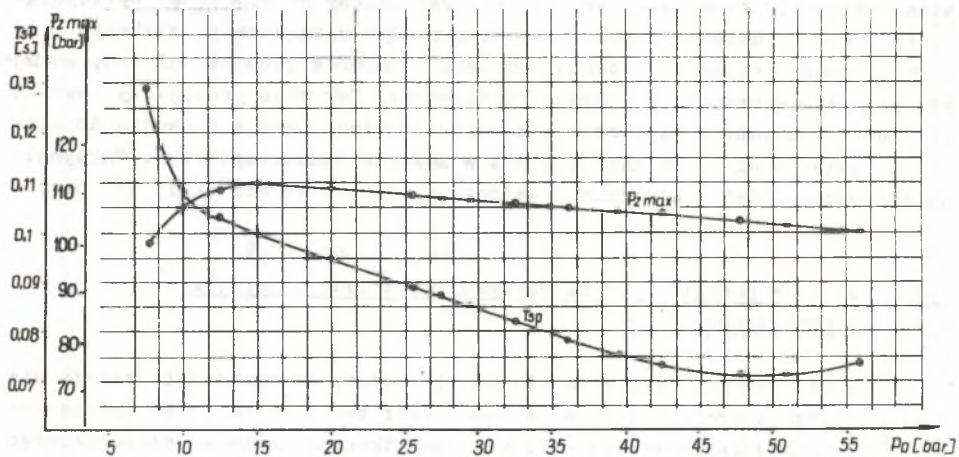
Odpowiedź zaworu, jako elementu nieliniowego, na wymuszenie zależy nie tylko od jego właściwości dynamicznych, lecz także od warunków początkowych [5]. Zagadnienie wyboru warunków początkowych nabiera szczególnego znaczenia przy badaniach zaworów bezpieczeństwa; należy wybrać takie ciśnienie początkowe, przy którym nadwyżka ciśnienia w stosunku do wartości ustawionej będzie największa.

Wybór warunków początkowych przeprowadzono przy ustawieniu zaworu UZPK-16 na ciśnienie nominalne (25 bar), wprowadzając wymuszenie przepływu o wartości nominalnej (0,66 l/s). Wyniki badań przedstawia rys. 8. Przebieg maksymalnej wartości ciśnienia w stanie przejściowym (p_{max}) wykazuje ist-



Rys. 8. Wpływ początkowej wartości ciśnienia (P_0) na charakterystykę dynamiczną zwaoru bezpieczeństwa UZFX-16

P_{max} - maksymalna wartość ciśnienia, T_{sp} - czas trwania stanu przejściowego



Rys. 9. Wpływ początkowej wartości ciśnienia (P_0) na charakterystykę dynamiczną zaworu bezpieczeństwa UZPP-16

P_{zmax} - maksymalna wartość ciśnienia, T_{sp} - czas trwania stanu przejściowego

nienie ekstremum przy ciśnieniu początkowym około 15 bar. Z przebiegu czasu trwania stanu przejściowego (T_{sp}) wynika, że również przy tej wartości ciśnienia początkowego istnieje minimum; zawór wykazuje najkorzystniejsze tłumienie drgań swobodnych.

Podobne badania przeprowadzono na zaworze UZPP-16 (rys. 9) przy ciśnieniu nominalnym (60 bar) i wymuszeniu przepływem nominalnym (0,66 l/s). Przebieg $p_{z \max}$ również wykazuje istnienie ekstremum przy ciśnieniu początkowym około 15 bar, zaś najkorzystniejsze tłumienie drgań swobodnych (przebieg T_{sp}) występuje przy ciśnieniu około 50 bar.

Charakterystyki dynamiczne zaworów bezpieczeństwa

Badania stanów przejściowych przeprowadzono przy ciśnieniu początkowym, które warunkuje maksymalną nadwyżkę. Charakterystyki dynamiczne zaworu UZPX-16 ilustruje rys. 10. Przebieg maksymalnej wartości ciśnienia (p_{\max}) dla zaworu bezpieczeństwa wykazuje charakter rosnący i jest szczególnie niekorzystny przy wartościach przepływów większych od $\frac{1}{2} Q_{nom}$. Bardziej korzystne charakterystyki, w stosunku do zaworu przelewowego, wykazuje zawór bezpieczeństwa przy przepływach mniejszych od $\frac{1}{4} Q_{nom}$. W całym zakresie przepływów czas trwania stanu przejściowego zaworu bezpieczeństwa (T_{sp}) jest krótszy niż dla zaworu przelewowego, jednak wartość ciśnienia maksymalnego w głównym stopniu określa jego przydatność w układzie.

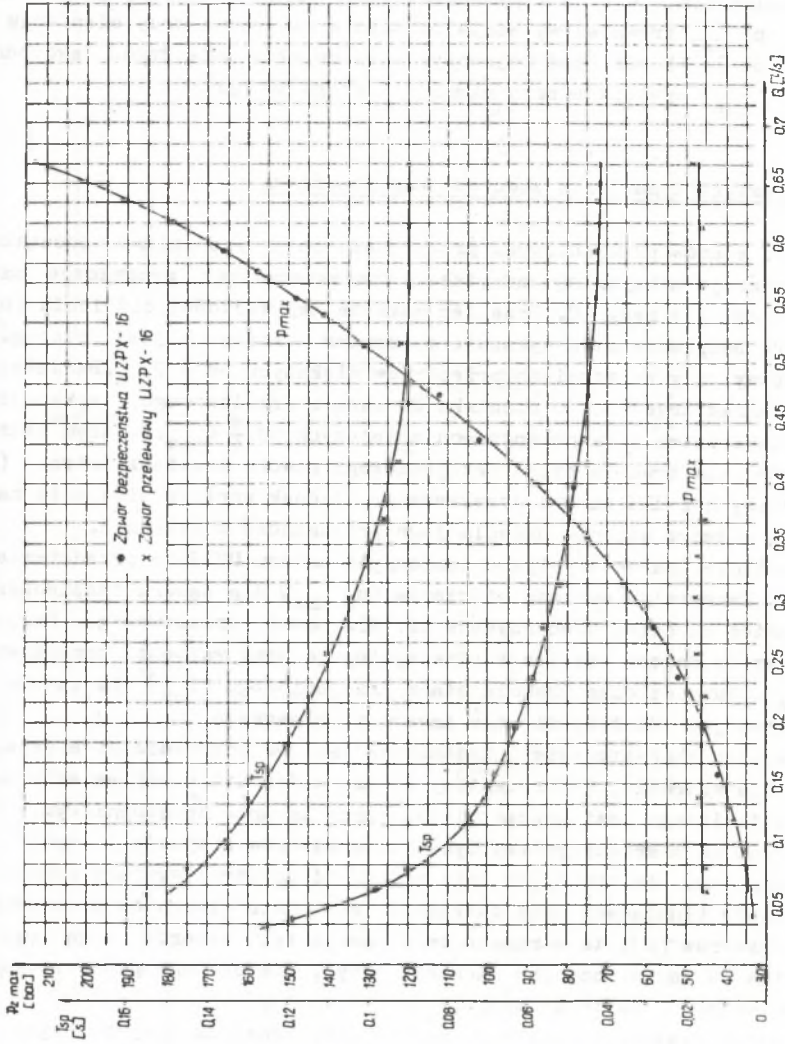
Zestawienie charakterystyk dynamicznych zaworu UZPP-16 przedstawia rysunek 11. Maksymalna wartość ciśnienia ($p_{z \max}$) dla zaworu bezpieczeństwa jest również bardziej niekorzystna niż dla zaworu przelewowego. Najgorsze warunki pracy zaworu bezpieczeństwa występują przy wartości przepływu około $\frac{3}{4} Q_{nom}$. Również czas trwania stanu przejściowego (T_{sp}) dla zaworu bezpieczeństwa jest dłuższy niż dla zaworu przelewowego.

Porównując charakterystyki dynamiczne zaworów bezpieczeństwa (rys. 10 i 11) można stwierdzić, że procentowy wzrost ciśnienia w odniesieniu do ciśnienia ustawionego jest korzystniejszy przy zaworze dwustopniowym.

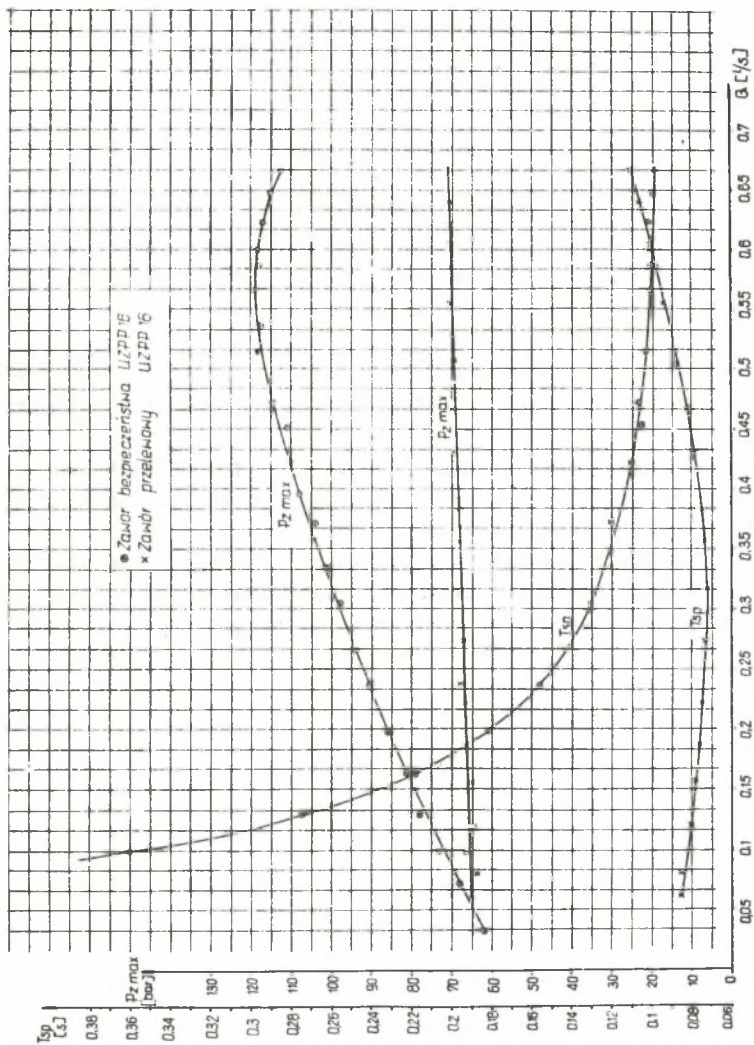
Ponieważ na charakterystyki dynamiczne zaworów decydujący wpływ mają takie parametry konstrukcyjne jak: sztywność sprężyn, wymiary geometryczne elementów tłumiących oraz dokładność wykonania elementów przesuwnych i gniazda zaworów [2], to w ramach tego samego typu zaworów mogą wystąpić odstępstwa od zamieszczonych charakterystyk, spowodowane głównie względami wykonawczymi i materiałowymi.

Porównując zasadę działania i zespół cech konstrukcyjnych innych zaworów dwustopniowych, np. typu ZP, można przypuszczać, że ich charakterystyki mogą być zbliżone do charakterystyk zaworu UZPP-16.

Znając charakterystykę zaworu UZPX-16 powróćmy do przytoczonego przykładowo przedstawionego na rys. 1. W momencie włączenia posuwu szybkiego sumaryczna wartość przepływu pochodząca od pompy i przepływu, spowodowanego



Rys. 10. Porównanie charakterystyk dynamicznych zaworu przelewowego i bezpieczeństwa ZUPX-16
 P_{max} - maksymalna wartość ciśnienia, T_{sp} - czas trwania stanu przejściowego



Rys. 11. Porównanie charakterystyk dynamicznych zaworu przelewowego i bezpieczeństwa UZPP-16
 $p_2 \text{ max}$ maksymalna wartość ciśnienia, t_{90} - czas trwania stanu przejściowego

malejącą objętością układu wynosi około 0,5 l/s wydajność ta musi być odprowadzona przez zawór bezpieczeństwa. Z przebiegu p_{\max} (rys. 10) wynika, że dla objętościowej wartości przepływu $Q = 0,5$ l/s chwilowa wartość ciśnienia wynosi około 125 bar, czyli przekracza około 400% wartość ustaloną na zaworze. W przypadku zastosowania zaworu dwustopniowego, przyjmując pod względem ilościowym duże podobieństwo charakterystyk zaworu ZP-41 i badanego UZPP-16, chwilowa maksymalna wartość ciśnienia będzie mniejsza niż na zaworze UZPX-16.

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że zmiana warunków pracy i warunków początkowych wpływa w istotny sposób na charakterystyki dynamiczne; wpływ tych zmian jest szczególnie niekorzystny dla zaworu jednostopniowego UZPX-16.

Stosowanie zaworu przelewowego jako zaworu bezpieczeństwa jest ściśle uzależnione od maksymalnego przesterowania ciśnienia w stanie przejściowym.

Stosowanie zaworu przelewowego jednostopniowego UZPX-16 jako zaworu bezpieczeństwa, w zakresie przepływów od $\frac{1}{2} Q_{\text{nom}}$, może nie zabezpieczyć układu napędowego przed przeciążeniem.

Mając na uwadze wytrzymałość stosowanych elementów instalacji hydraulicznej, określoną wartością ciśnienia dopuszczalnego 120 bar, stosowany zawór przelewowy dwustopniowy UZPP-16 jako bezpieczeństwa powinien zabezpieczyć układ przed przeciążeniem w całym zakresie przepływu.

LITERATURA

- [1] Zieliński A.: Napęd i sterowanie hydrauliczne obrabiarek, WNT, Warszawa, 1971.
- [2] Tomasiak E.: Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1973.
- [3] Tomasiak E.: Przegląd Mechaniczny, 20, 1974, 699.
- [4] Tomasiak E.: Przegląd Mechaniczny, 1, 1975, 9.
- [5] Hayashi Ch.: Drgania nieliniowe w układach fizycznych, WNT, Warszawa, 1968.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕЛИВНЫХ КЛАПАНОВ КАК ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ

R e z y m e

Применение переливных клапанов в качестве предохранительных не всегда целесообразно из-за переменных условий работы, которые оказывают решающее влияние на динамическую характеристику. Чрезмерно медленное реагирование клапанов, вызываемое главным образом их инерцией, не ограничивает резкого подъёма давления в системе. Сравнение динамических характеристик переливных клапанов используемых как предохранительные проявляет различия в их действии.

USE OF OVERFLOW VALUES AS SAFETY VALUES

S u m m a r y

Use of overflow values as safety values is often illegitimate because of variable work conditions, which have the basic effect on dynamic characteristics. Too slow values action caused mainly by their inertia does not limit a rapid pressure re-operation in the system. A comparison of dynamic characteristics of overflow values used as safety values indicates a difference in their operation.