

Karol WILCZYCH

**BADANIA TEMPERATUROWE PEŁZANIA TULEJOWYCH GUMOWO-METALOWYCH
ŁĄCZNIKÓW TYPU "SILENTBLOCK"
Z RÓŻNYMI TULEJAMI GUMOWYMI**

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań temperaturowych pełzania dwóch rodzajów gumowo-metalowych łączników typu "silentblock" poddanych skręcaniu. Łączniki te mają tę samą postać konstrukcyjną, a różnią się tylko tulejkami gumowymi. Badania obejmowały pomiar pełzania łączników w zakresie temperatur od 253 K do 353 K oraz charakterystyk statycznych przed i po zakończeniu przebiegu pełzania. Przedstawiono graficznie przebiegi pełzania, prędkości pełzania, modułu odkształcenia postaciowego oraz temperaturowego współczynnika sztywności w zakresie temperatur od 253 K do 353 K.

1. WSTĘP

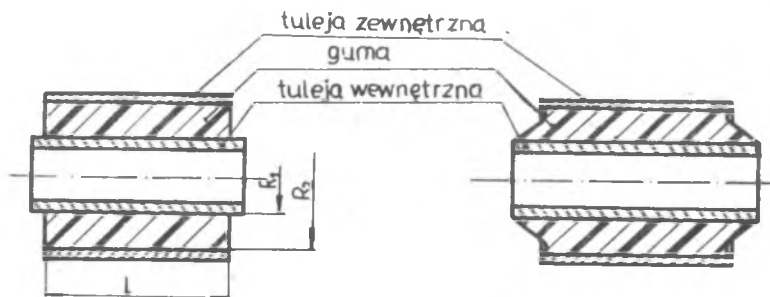
We współczesnych pojazdach mechanicznych (samochodach, czołgach, lokomotywach itp.) gumowe oraz gumowo-metalowe łączniki sprężyste znajdują coraz większe zastosowanie. W szczególności gumowo-metalowe łączniki sprężyste znalazły zastosowanie jako elastyczne przeguby w amortyzatorach, resorowych połączeniach sworzniowych, w połączeniach drążków reakcyjnych przejmujących reakcję sił bezwładności czy w elastycznych połączeniach wahaczy. W przeciwieństwie do przegubów smarowanych nie posiadają luzów, a w czasie przenoszenia reakcji węzłów eliminują uderzenia dynamiczne. Cenną zaletą tych łączników jest możliwość pracy w warunkach ograniczonej konserwacji.

Tulejowe gumowo-metalowe łączniki sprężyste składają się głównie z dwóch współosiowych tulei metalowych, pomiędzy którymi znajduje się guma w sposób trwały powiązana z obu tulejami [1 - 3].

Ze względu na technologię wykonania łączniki te dzielą się na:

- a) silentblocki,
- b) flexiblocki.

Silentblock (rys. 1a) składa się z dwóch współosiowych tulei metalowych, pomiędzy które wprasowano pod dużym naciskiem tęgą gumę. W trakcie wykonywania silentblocku uzyskuje się w nim wstępny stan naprężenia, na skutek którego powstaje trwałe połączenie pomiędzy tulejami metalowymi a gumą.



Rys. 1. Tulejowe gumowo-metalowe łączniki sprężyste
a - silentblock, f - flexiblock

Flexiblock (rys. 1b) składa się zasadniczo z dwóch tulei metalowych także współosiowych, pomiędzy którymi została zwulkanizowana guma.

Prac badawczych poświęconych gumowo-metalowym łącznikom sprężystym jest niewiele. Wynika to przede wszystkim z braku specjalistycznego oprzyrządowania czy też gotowych stanowisk badawczych oraz spowodowane jest tajemnicą strzeżoną przez poszczególne firmy produkujące te elementy. Niektóre wyniki badań statycznych i dynamicznych dwóch gatunków gum oraz silentblocków, których tuleje gumowe wykonane zostały z tych samych gum, przedstawiono w pracach [4,5].

2. PRZEDMIOT I CEL BADAŃ

Mając na uwadze, że silentblocki stosowane w pojeździe mechanicznym pracują w dość szerokim zakresie temperatur, podjęto badania wybranych dwóch typów silentblocków w temperaturach obniżonych i podwyższonych. Silentblocki te miały tę samą postać konstrukcyjną, a różniły się tylko tulejkami gumowymi.

Tulejki gumowe wykonane były ze zwulkanizowanych mieszanek gumowych o różnym składzie chemicznym, lecz ich twardości były do siebie zbliżone. I tak, tulejka gumowa oznaczona symbolem 60/32 miała twardość $57 \pm 3^{\circ} \text{Sh}$, zaś tulejka o symbolu 47 miała twardość $58 \pm 3^{\circ} \text{Sh}$.

Badania statycznego pełzania przeprowadzono na stanowisku badawczym pozwalającym na realizację w silentblocku dewiatorowego stanu naprężenia poprzez obciążenie go parą sił o stałym w czasie momencie skręcającym. Dokładność odczytu kąta skręcania wynosiła 40° . Badany łącznik był umieszczony wraz z uchwytem w komorze temperaturowej wymiennika ciepła. W przypadku przeprowadzenia prób w temperaturach podwyższonych przez wymiennik ciepła przepływała podgrzana woda destylowana, natomiast podczas prób przeprowadzonych w obniżonych temperaturach - ochłodzony alkohol etylowy.

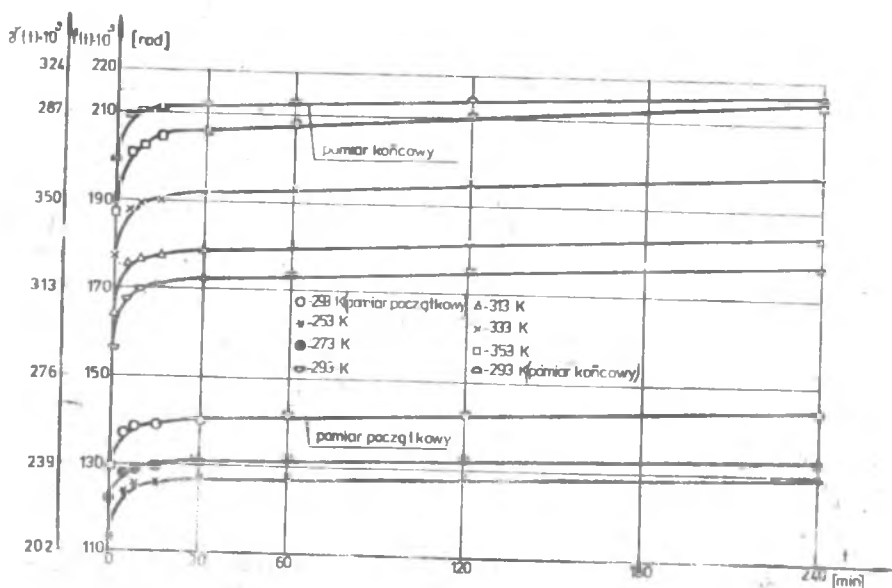
W celu uzyskania czynnika grzewczego lub chłodzącego o stałej temperaturze w układ włączono ultratermostat umożliwiający prowadzenie badań z

dokładnością ± 1 K. Wyniki badań oparto na próbach pelzania w zakresie temperatur od 253 K do 353 K.

3. OMÓWIENIE BADAŃ. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

Ponieważ tulejka gumowa silentblooku pracuje we wstępnym stanie naprężenia, co uwarunkowane jest technologią montażu, działania określonych temperatur i stanu obciążenia niewątpliwie przyczyni się do przyspieszenia procesów relaksacyjnych, a tym samym do zmiany charakterystyki (sztywności) łącznika.

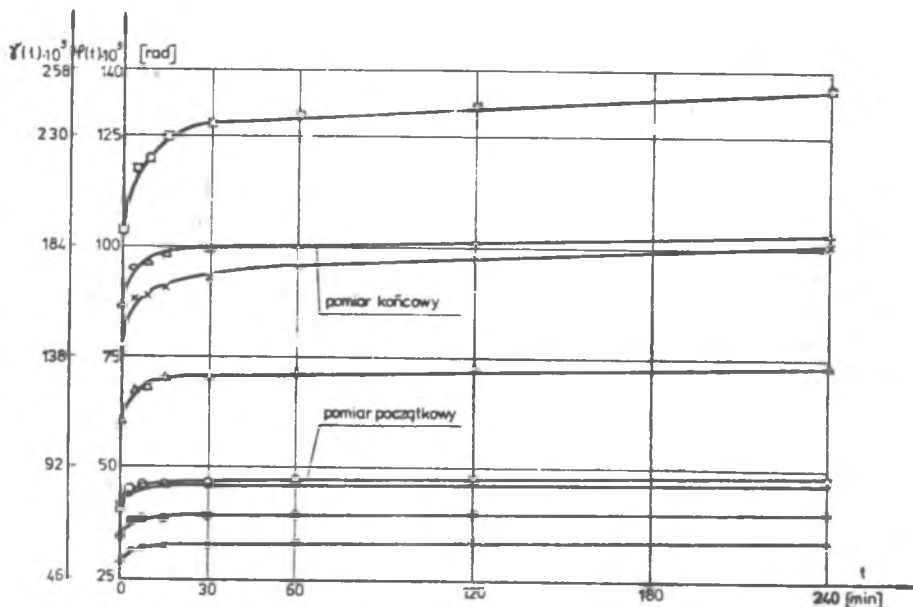
Dlatego też, aby zaobserwować zmiany tych charakterystyk prowadzono badania kolejno w następujących temperaturach: 293 K (pomiar początkowy), 253 K, 273 K, 293 K, 313 K, 353 K, 353 K i 293 K (pomiar końcowy), wykonując w danej temperaturze: pomiar charakterystyki statycznej przed pelzaniem, ujmującej zależność wartości kąta skręcenia φ od obciążenia quasi statycznego trwającego 1 min, właściwe badania pelzania w czasie 240 min oraz pomiar charakterystyki po pelzaniu. Po przeprowadzeniu powtórnego pomiaru charakterystyki statycznej łącznika był on z urządzenia badawczego wymontowany i po dwóch dniach powtórnie użyty do badań w kolejnej temperaturze. Symbole punktów pomiarowych dla różnych temperatur na wszystkich wykresach oznaczono jednakowo, zgodnie z opisem zamieszczonym na rys. 2.



Rys. 2. Krzywe pelzania silentblooku 60/32 przy różnych poziomach temperatur

Badania pełzania przeprowadzono obciążając łącznik momentem skręcającym $M_s = 60 \text{ kGcm} = 5,086 \text{ Nm}$, wywołującym naprężenie w warstwie tulejki gumowej przylegającej do tulejki metalowej zewnętrznej $G_{\frac{1}{2}}(R_2) = 0,372 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} = 3,647 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$.

Uzyskane wartości pomiarowe kąta skręcenia dla poszczególnych czasów, średnie z czterech prób, stanowiły dane do wyznaczenia krzywych pełzania.

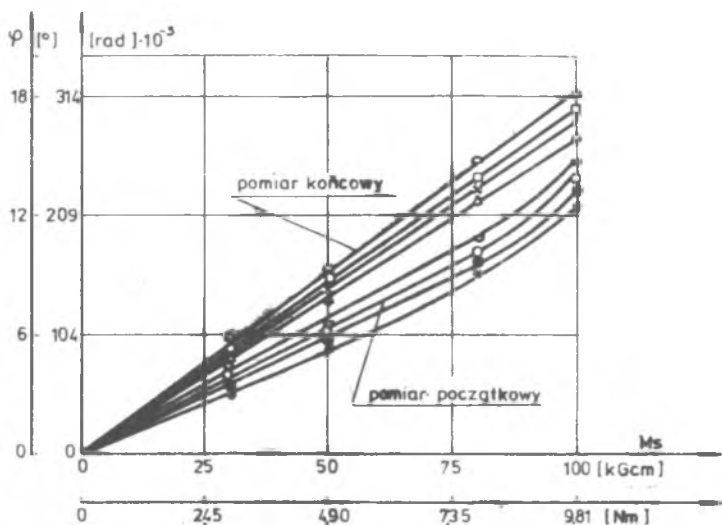


Rys. 3. Krzywe pełzania silenblocku 47 przy różnych poziomach temperatur

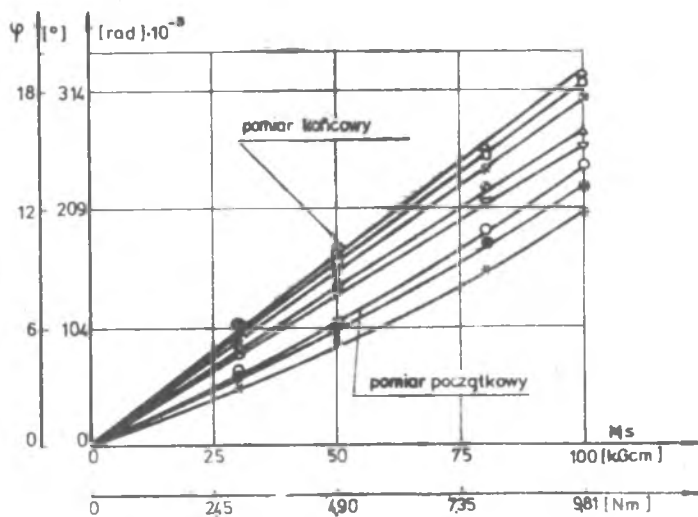
Graficzne ujęcie zmian kąta skręcenia oraz odkształcenia postaciowego w czasie dla różnych temperatur zostało naniesione w układzie liniowym (rys. 2,3), a pomiary charakterystyk statycznych przed oraz po próbie pełzania przedstawiono na rys. 4,5,6, i 7.

Z przebiegu charakterystyk statycznych, będących izochronami dla $t=1 \text{ min}$ widać, że dla przyjętego w czasie badań pełzania poziomu obciążenia obydwa rodzaje silenblocków we wszystkich temperaturach znajdowały się w zakresie liniowym, czyli w zakresie stosowalności zasady superpozycji Boltzmann.

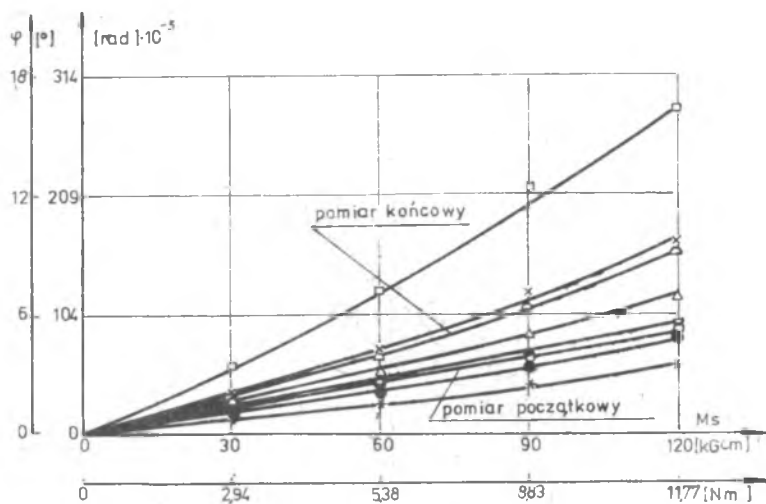
Wielkości odkształceń postaciowych badanych silenblocków dla stosowanych temperatur nanoszono na wykresy w różnych układach, z czego najlepsze rezultaty uzyskano stosując układ podwójnie logarytmiczny, podobnie



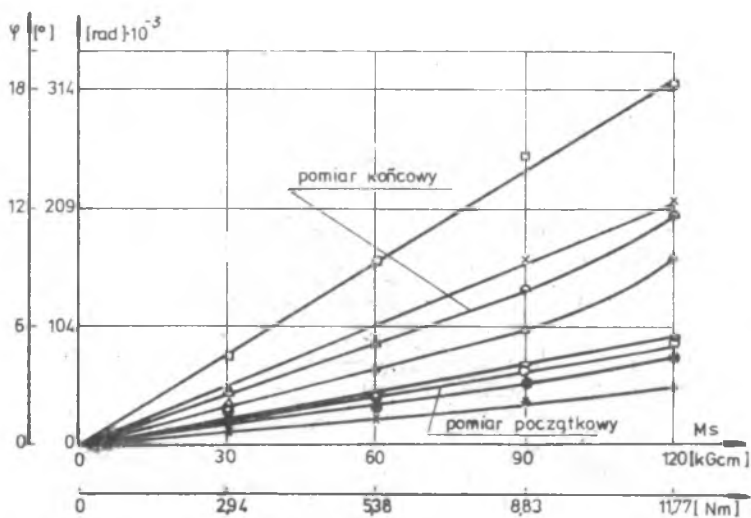
Rys. 4. Charakterystyki statyczne silentblocku 60/32 przed próbą pełzania



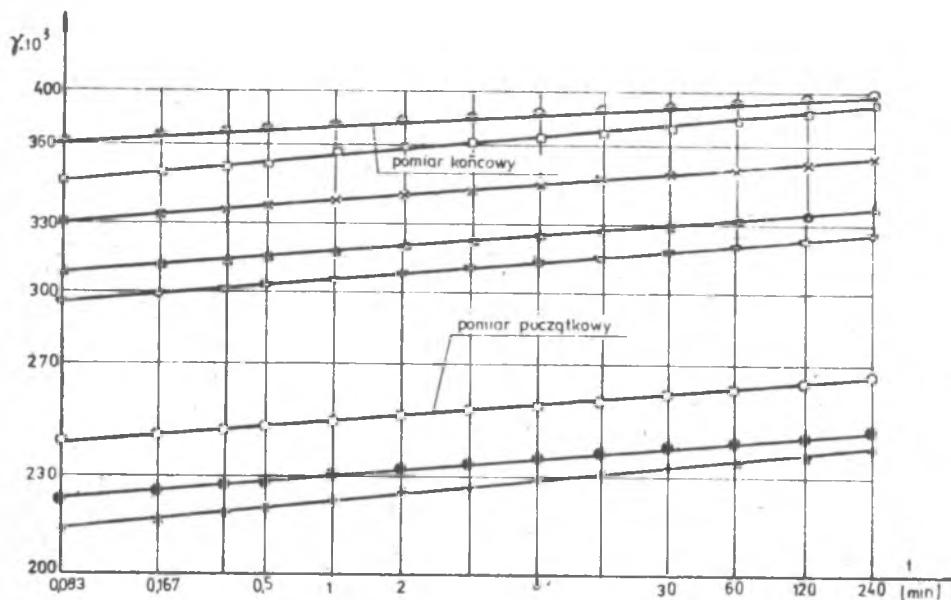
Rys. 5. Charakterystyki statyczne silentblocku 60/32 po próbie pełzania



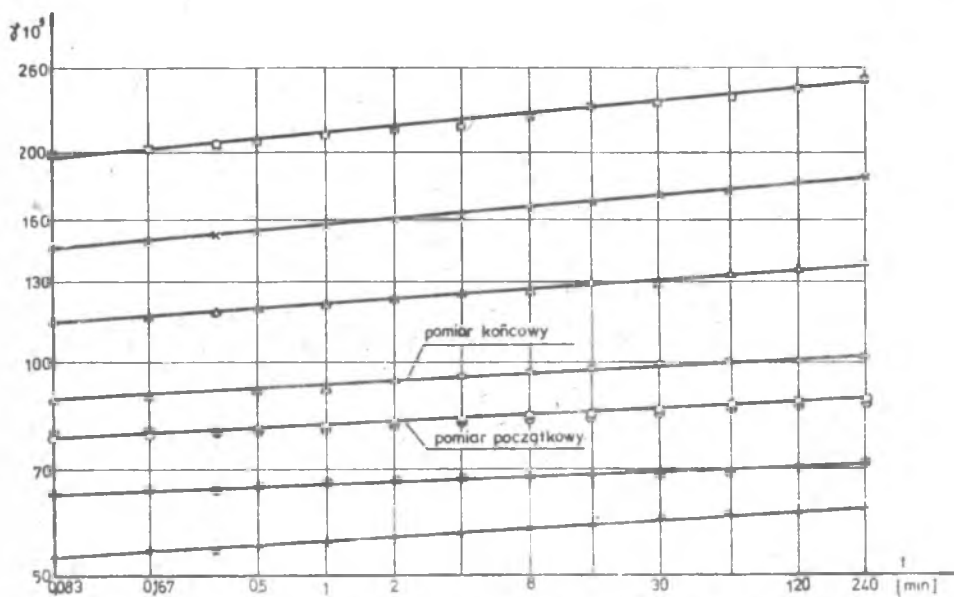
Rys. 6. Charakterystyki statyczne silentblooku 47 przed próbą peizania



Rys. 7. Charakterystyki statyczne silentblooku 47 po próbie peizania



Rys. 8. Przebieg pelzania silentblocku 60/32 przy różnych poziomach temperatur



Rys. 9. Przebieg pelzania silentblocku 47 przy różnych poziomach temperatur

jak to uczyniono w pracach [4,5], w którym na poziomej osi odmierzone czas a na osi pionowej odkształcenia postaciowe (rys. 8 i 9).

4. UJĘCIE ANALITYCZNE WYNIKÓW BADAŃ

Zgodnie z zasadą superpozycji Boltzmann'a, związek między odkształceniem a naprężeniem można wyrazić w postaci:

$$\varepsilon_{r\varphi}(t) = \int_0^t \frac{\partial u_{r\varphi}(x, \tau)}{\partial \tau} \Phi(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

gdzie

$$\varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{r} \left(\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - u_\varphi \right) + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} \right], \quad (2)$$

oraz

$$\sigma_{r\varphi}(r) = \frac{M_s}{2\pi r^2}, \quad (3)$$

w których $\Phi(t)$ jest funkcją pełzania odkształcenia postaciowego a wielkość 1 długością tulei gumowej.

Składowe przemieszczenia w przypadku skręcania silentblooku są następujące:

$$u_r = 0 \quad \text{oraz} \quad u_\varphi = r\varphi, \quad (4)$$

czyli:

$$\varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{2} r \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{1}{2} \varphi' r = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{r\varphi}}{G}. \quad (5)$$

Podstawiając do powyższej zależności wartość na $\sigma_{r\varphi}$ ze wzoru (3) oraz całkując w przedziale $R_1 \leq r \leq R_2$ otrzymujemy:

$$\varphi(R_2) = \frac{M_s}{4\pi G l} \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1^2 R_2^2}. \quad (6)$$

Odkształcenie postaciowe tulejki gumowej, które występuje w warstwie przylegającej do zewnętrznej tulei metalowej, wyliczono z zależności przedstawionej w (5), która po wykorzystaniu (3) oraz (6) przyjmuje postać:

$$\varphi = 2 \frac{R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \varphi(R_2). \quad (7)$$

Jeśli oznaczyć działające w chwili $t = 0$ naprężenie w tulei gumowej przez $G_r \varphi(r, 0)$, wtedy korzystając z funkcji Heaviside'a $H(t)$ oraz podstawiając

$$G_r \varphi(r, t) = G_r \varphi(r, 0) H(t) \quad (8)$$

do równania (1) i korzystając z (5) otrzymujemy równanie:

$$\dot{\Phi}(t) = \frac{\pi l}{M_s} r^3 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \quad (9)$$

Po scałkowaniu powyższego równania, przy uwzględnieniu, że $\varphi(R_1, t) = 0$, funkcja pełzania skręcanego tulejowego gumowo-metalowego łącznika ma postać:

$$\Phi(t) = \frac{2\pi l R_1^2 R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2) M_s} \varphi(R_2, t), \quad (10)$$

gdzie:

- $\varphi(R_2, t)$ - kąt skręcania tulei metalowej zewnętrznej w osi próby,
- R_1, R_2 - promień wewnętrzny i zewnętrzny tulei gumowej,
- l - długość tulei gumowej.

Ponieważ przebiegi pełzania silentblocków dla wszystkich poziomów temperatur aproksymowano w układzie podwójnie logarytmicznym linią prostą (rys. 8,9) do analitycznego opisu przebiegów pełzania użyto funkcji:

$$\varphi(t) = E + Ft^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (11)$$

Wtedy, ze względu na (7) funkcja pełzania (10) opisana będzie zależnością

$$\dot{\Phi}(t) = C + Dt^\alpha, \quad (12)$$

gdzie E, F, C, D, α - wielkości stałe zależne od warunków pomiaru. Funkcja (12) jest znaną w literaturze [6] funkcją Duffinga.

4.1. Analiza badań pełzania temperaturowego

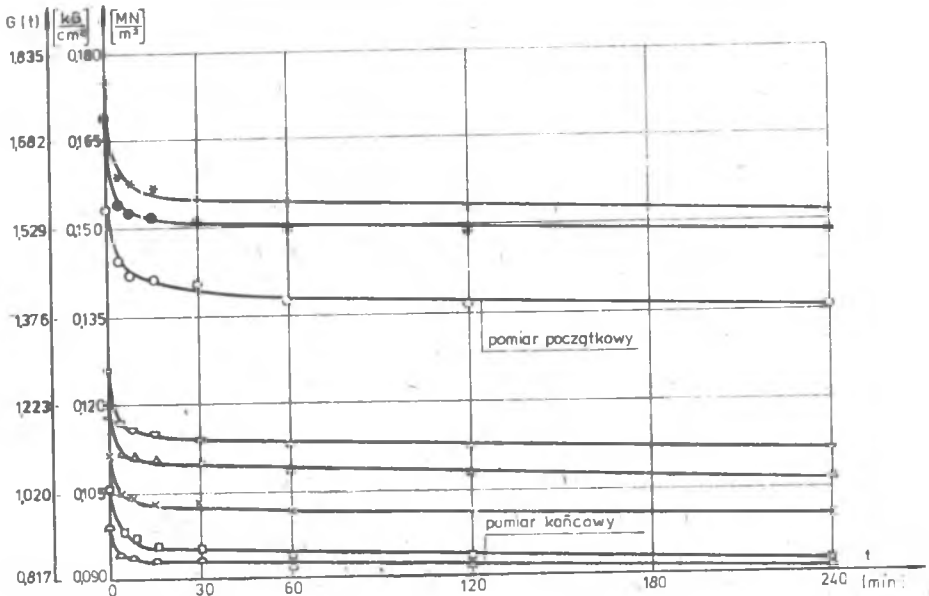
Moduł odkształcania postaciowego można wyznaczyć ze związku

$$G(t) = \frac{1}{2\Phi(t)} \quad (13)$$

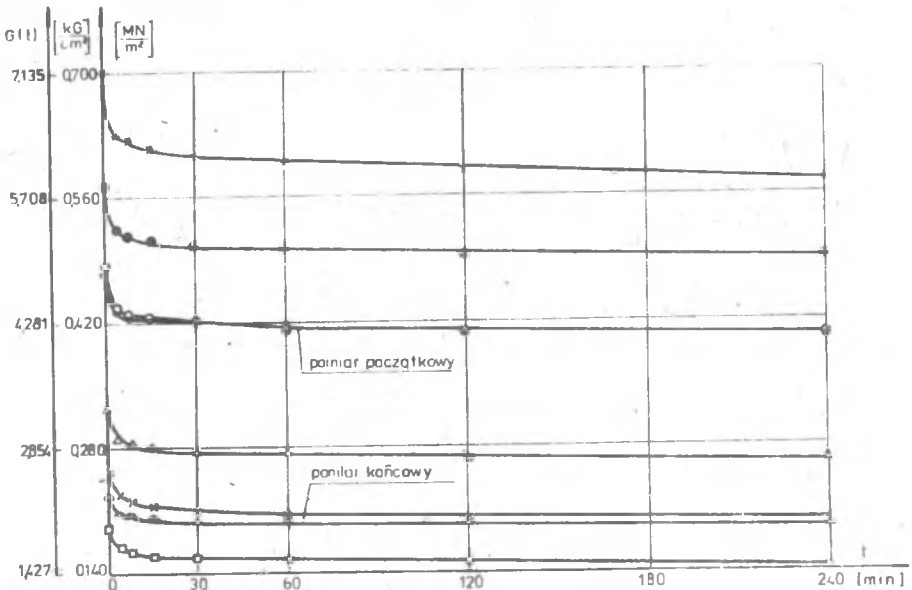
lub bezpośrednio ze wzoru (6). Przyjmuje on postać:

$$G(t) = \frac{M_s}{4\pi l \varphi(R_2, t)} \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right). \quad (14)$$

Obliczone na podstawie wzoru (14) moduły dla różnych poziomów temperatur przedstawiono graficznie na rys. 10 i 11.



Rys. 10. Graficzne przedstawienie modułu odkształcenia postaciowego si-
letnblocku 60/32 w zależności od czasu dla różnych poziomów temperatur



Rys. 11. Graficzne przedstawienie modułu odkształcenia postaciowego si-
letnblocku 47 w zależności od czasu dla różnych poziomów temperatur

Do analitycznego opisu funkcji pełzania potrzebna jest znajomość wielkości C , D i α . Wielkości C i D wyznacza się, znając E i F oraz czynnik stały zależny od wymiaru silentblocku i warunków pomiaru. Ścisłe wyznaczenie wielkości E i F jest bardzo pracochłonne, ale można to uczynić z wystarczającą dokładnością w następujący sposób [7].

Przyjmując, że w chwili t_1 wartość odkształcenia postaciowego wynosi $\eta(t_1)$, a w chwili t_2 wynosi $\eta(t_2)$, wtedy

$$\eta(t_2) = E + Ft_2^\alpha, \quad (15)$$

$$\eta(t_1) = E + Ft_1^\alpha. \quad (16)$$

Przenosząc wielkość E na drugą stronę, dzieląc przez siebie i logarytmując, otrzymujemy wzór na obliczenie parametru α w postaci:

$$\alpha = \frac{\lg \frac{\eta(t_2) - E}{\eta(t_1) - E}}{\lg \frac{t_2}{t_1}}. \quad (17)$$

Do wyznaczania parametru α przyjęto dla wszystkich poziomów temperatur kąty skręcenia odpowiadające czasowi $t_1 = 1$ min oraz $t_2 = 120$ min, a wielkość F wyznaczono z równania (15).

Znając wielkości E i F łatwo już obliczyć współczynniki C i D potrzebne do analitycznego opisu funkcji pełzania (10). Aby oszacować przydatność stosowanego w pracy sposobu wyznaczania współczynników potrzebnych do analitycznego opisu pełzania wyliczono wartości funkcji pełzania dla poszczególnych czasów i temperatur na podstawie danych empirycznych, stosując wzór (10) oraz na podstawie zależności (12). Maksymalne odchyłki są bardzo małe i wynoszą: dla silentblocku 60/32 $\Delta = 2,95\%$ przy temperaturze 253 K, a dla silentblocku 47 $\Delta = 2,76\%$ przy temperaturze 313 K.

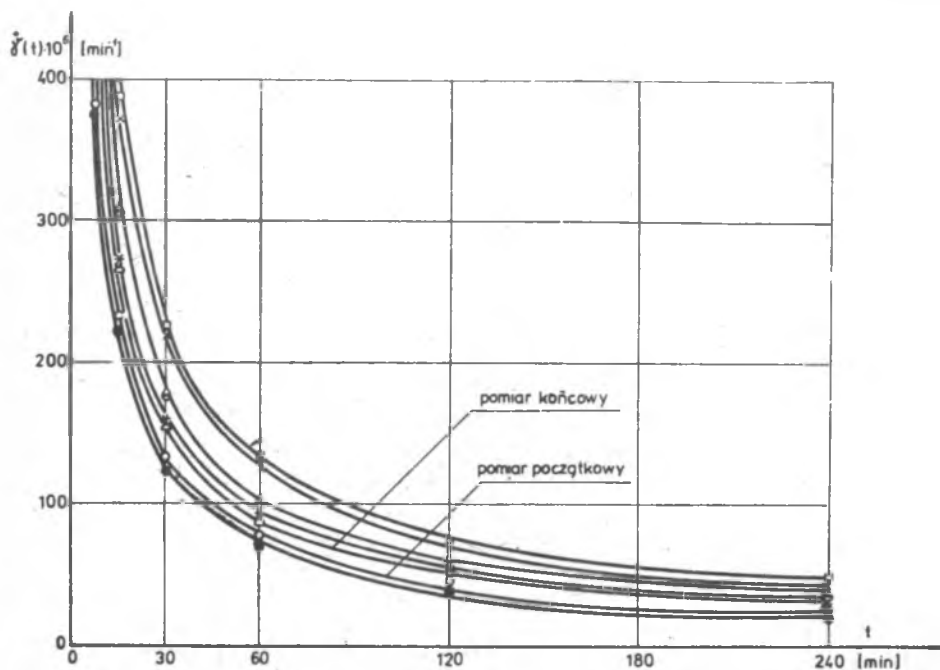
Graficzne przebiegi prędkości pełzania

$$\dot{\eta}(t) = F\alpha t^{\alpha-1}, \quad (18)$$

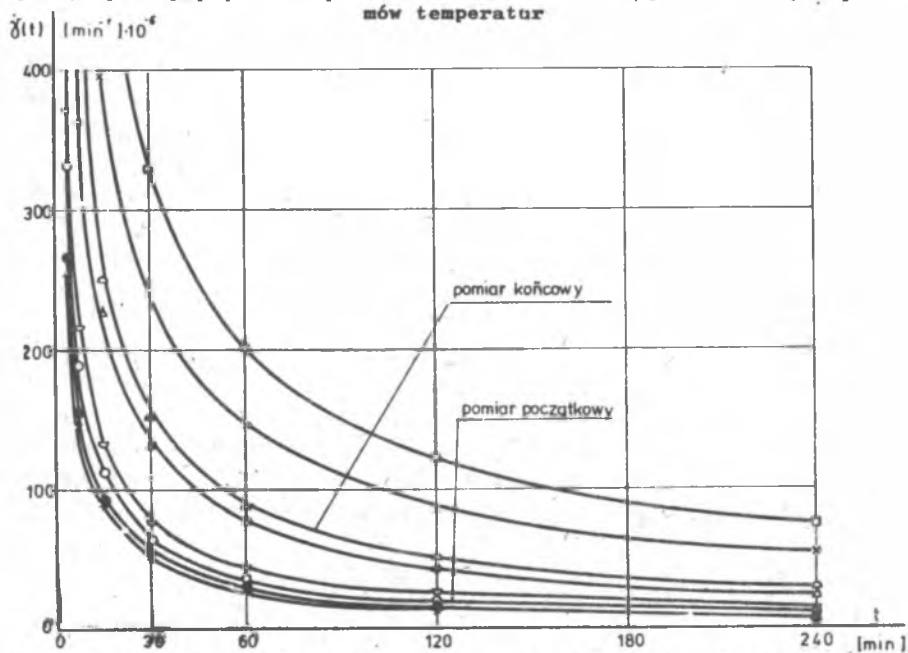
zostały przedstawione na rys. 12 i 13.

Przyjmując wartość modułu odkształcenia postaciowego $G(T_{20}, t)$ w temperaturze 293 K - pomiar początkowy, jako pewne odniesienie, wyznaczono współczynnik zmiany sztywności łącznika, będący iloczynem:

$$\xi(T, t) = \frac{G(T, t)}{G(T_{20}, t)}. \quad (19)$$

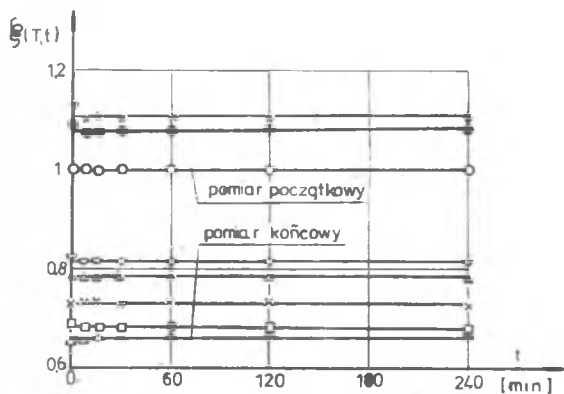


Rys. 12. Wykresy prędkości pełzania silenblocku 60/32 dla różnych poziomów temperatur

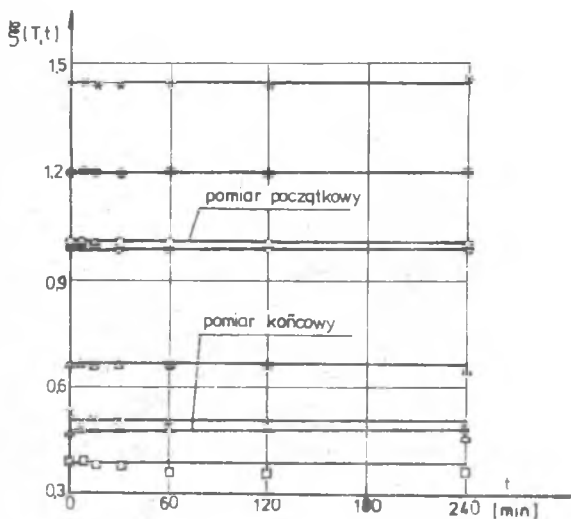


Rys. 13. Wykresy prędkości pełzania silenblocku 47 dla różnych poziomów temperatur

którego wartości przedstawiają zmianę sztywności łącznika w danej temperaturze w stosunku do sztywności początkowej. Okazuje się, że dla danej temperatury współczynnik ten może być przyjęty jako stały dla wszystkich czasów pełzania (rys. 14 i 15).



Rys. 14. Współczynnik zmiany sztywności silenblecku 60/32 dla różnych poziomów temperatur



Rys. 15. Współczynnik zmiany sztywności silenblecku 47 dla różnych poziomów temperatur

5. WNIOSKI

1. Pomiaru charakterystyk statycznych oraz pełzania badanych łączników w zakresie temperatur 253 K do 353 K wykazały, że zasadniczo wpływ na ich przebieg posiada nie tylko poziom stosowanej temperatury, ale i gatunek gumy. Pomiaru końcowe odkształceń przy temperaturze 293 K silentblocku 60/32 są większe od odkształceń w temperaturze 353 K, a dla silentblocku 47 układają się nieco poniżej punktów pomiarowych dla temperatury 333 K.

Porównując charakterystyki statyczne łącznika przed i po pełzaniu stwierdzono, że przed pełzaniem są one nieco sztywniejsze.

2. Wyniki pomiarów pełzania we wszystkich temperaturach, naniesione w układzie podwójnie logarytmicznym, dają się z wystarczającą dokładnością aproksymować linią prostą, przez co przebieg pełzania może być opisany tym samym równaniem (10).
3. Prędkość pełzania łącznika zależy od stosowanego w badaniach poziomu temperatur i z upływem czasu maleje monotonicznie. Jest ona tym większa, im wyższa jest temperatura, przy czym dla silentblocku 47 najmniejsza prędkość występuje w najniższej temperaturze 253 K, a dla silentblocku 60/32 w temperaturze 273 K.
4. Współczynnik (20) może być miarą określającą liczbowo wpływ temperatury na zmianę sztywności łącznika, a to, że przyjmuje wartości stałe dla wszystkich czasów, świadczy o liniowym wpływie temperatury na zmianę sztywności. Potwierdza to niejako poprawność uzyskanego na podstawie charakterystyk statycznych zakresu liniowości.

LITERATURA

- [1] Poturaev V.N.: Rezinowyje i rezino-metalliozeskije detali maszin. Maszinostrojenie. Moskwa 1966.
- [2] Payne A.R.: Engineering Design With Rubber, MacLaren Sons, LTD London, Interscience Publishers, Inc. New York 1968.
- [3] Jaworski J.: Guma w pojazdach mechanicznych. WKiL, Warszawa 1977.
- [4] Wyleżyb K.: Lepkosprężyste charakterystyki gumy jako tworzywa i gumowo-metalowego łącznika sprężystego typu "silentblock" jako postaci konstrukcyjnej przy odkształceniach ścinających. Zeszyt PTMS Gliwice, 37 (1976), ss. 121-161.
- [5] Wyleżyb K.: Lepkosprężyste charakterystyki gumy i tulejowych gumowo-metalowych łączników typu "silentblock". Mechanika Teoretyczna i Stosowana 4, 15 (1977), ss. 427-447.
- [6] Moskwin W.W.: Soprotiwlenije wjazko-uprugich materialow. Nauka, Moskwa 1972.
- [7] Szulborski K.: Analiza wyników badań pełzania mechanicznego i optycznego materiału modelowego syntezowanego z krajowej żywicy epoksydowej. Mechanika Teoretyczna i Stosowana 4, 10 (1972), ss. 462-484.

Recenzent: Prof. zw. dr inż. Jerzy Zawadzki

Wpłynęło do Redakcji 19.11.1980 r.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ РЕЗИНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЛОК-ШАРНИРОВ
ТИПА САЙЛЕНТ-БЛОК С РАЗЛИЧНЫМИ РЕЗИНОВЫМИ ВТУЛКАМИ

Р е з ю м е

Представлены результаты температурных исследований ползучести двух видов резино-металлических шарниров типа сайлент-блок, подвергнутых скручиванию. Эти шарниры такого же конструкционного решения, но отличаются лишь резиновыми втулками. Исследования охватывали измерения ползучести шарниров в интервале температур от 253 К до 353 К, а также статические характеристики до и после завершения ползучести. Представлены графически процессы ползучести, скорости ползучести, модуля сдвига и температурного коэффициента жесткости в интервале температур от 253 К до 353 К.

THE EXAMINATIONS OF CREEPING OF THE SILENT-BOX TYPE
OF FLEXIBLE BUSHES IN DIFFERENT RUBBER SLEEVES
IN DIFFERENT TEMPERATURE

S u m m a r y

The article presents the results of creeping of two kinds of flexible bushes of the silentblock type which have, been subjected to twisting in different temperature. These both bushes have the same construction but they differ only in rubber sleeves.

The examinations contained the measurement of creeping of flexible bushes in the temperature ranging from 253 K to 353 K as well as the static characteristics before and after creeping. There was presented the graphic course of creeping, creeping speed, shearing modulus as well as the temperature coefficient of rigidity in the temperature ranging from 253 K to 353 K.