ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 41 Nr kol. 269

Doc. dr h. inż. Jerzy Antoniak
Katedra Maszyn Górniczych

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH I RUCHOWYCH NIEKTÓRYCH TWORZYW SZTUCZNYCH STOSOWANYCH JAKO OKŁADZINY W NAPĘDACH CIERNO-CIĘGNOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki dotyczące badań zmęczeniowych i trwałości termoplastycznych tworzyw sztucznych stosowanych jako okładziny w napędach cierno-cięgnowych.

1. Wstęp

Na proces sprzężenia ciernego stalowej liny z okładziną koła pędnego mają zasadniczy wpływ własności fizykomechaniczne ciał pary trącej oraz warunki i parametry tarcia. Względy bezpieczeństwa, zmienność warunków pracy urządzeń wyciągowych, dążność do maksymalnego wykorzystania przenoszonych przez napędy cierno-cięgnowe dopuszczalnych sił sprzężenia oraz chęć uzyskania odpowiednich podstaw dla właściwego projektowania i obliczania wytrzymałości tych napędów przy dużej różnorodności stosowanych tworzyw sztucznych jako okładzin, narzucają konieczność dokładnego poznania własności mechanicznych i ruchowych tych materiałów konstrukcyjnych.

2. Tworzywa konstrukcyjne poddane badaniom

Badaniami objęto następujące tworzywa sztuczne stosowane jako okładziny kół pędnych w urządzeniach wyciągowych:

- TP-OFB, gumowa taśma przenośnikowa z przekładkami bawełnianymi, produkowana przez ZZG Miechowice. Ogólny skład chemiczny tworzywa przedstawia się następująco: materiał wyjściowy - kauczuk syntetyczny, kauczuk naturalny, regeneraty kauczuku, plastyfikator - stearyna, parafina, kalafonia, smoła z drzew iglastych, wypełniacz - sadza aktywna, baryt, talk,

kaolin, kreda, antyutleniacz AR, środek wulkanizujący siarka, przyspieszacz wulkanizacji organiczny M. Barwa taśmy czarna. Twardość protektorów zewnętrznych taśmy określono na 70° Shore'a.

- GSz, Skega 49-7VB, guma produkowana na bazie polimerów butadienowo-nitrylowych w Szwecji z przeznaczeniem na okładziny kół pędnych, barwy czarnej, brak dokładnego składu chemicznego. Twardość według Shore'a wynosiła 73°.
- PCW-W4, Poltar produkcji ZTS w Wieliczce. Tworzywo otrzymane przez polimeryzację chlorku winylu, plastyfikator ftalen dwu-2 etyloheksylowy, wypełniacz sadza aktywna, stabilizator dwucjandwuamid. Twardość według Shore'a wynosiła w zależności od produkcji od 70 do 98°.
- Modar-R3, materiał winylowo-kauczukowy produkowany przez Spółdzielnię "Spoiwo" w Radomiu. Główne składniki to polichlorek winylu typu D z kauczukiem syntetycznym Hycar 1041. Kolor wykładziny czerwonawy, twardość według Shore'a 92°.
- Kautex, tworzywo sztuczne na osnowie polichlorku winylu, produkowane przez firmę W. Oxe Witten-Ruhr. Twardość według Shoré a wynosiła 84°. Kolor elementów wykładziny brązowy.
- RB, tworzywo sztuczne produkcji radzieckiej, przeznaczone na okładziny kół pędnych do maszyn wyciągowych wielolinowych. Brak składu chemicznego. Kolor elementów biały, twardość według Shore'a wynosiła 94°.

Wszystkie tworzywa sztuczne poddane badaniom wchodziły w skład materiałów technicznych tzw. polimerów wielkocząsteczkowych i należały do grupy tworzyw termoplastycznych. Duża różnorodność budowy cząstek polimerów wynikająca z określonego składu chemicznego i metody polimeryzacji, dodatkowe procesy technologiczne i wulkanizacja, a także rodzaj i wielkość przyłożonego obciążenia jak i temperatury powodują zmianę własności mechanicznych tych tworzyw w rozmaitych obszarach czasu i częstości obciążania. Na podstawie badań reologicznych [2] można zaszeregować materiały TP-OFB i GSz do tworzyw o różnym stopniu

usieciowania w budowie molekularnej, natomiast pozostałe materiały do grupy o nieusieciowaniu w budowie molekularnej. Podział taki ułatwia przewidywanie niektórych z ich własności lepkosprężystych [3].

3. Cel przeprowadzonych badań laboratoryjnych i ruchowych

Podstawowym celem wykonanych badań było:

- określenie wytrzymałości zmęczeniowej wykładzin wykonanych z różnych materiałów przy zastosowaniu obciążenia tętniącego dodatniego
- porównawcze określenie trwałości wykładzin.

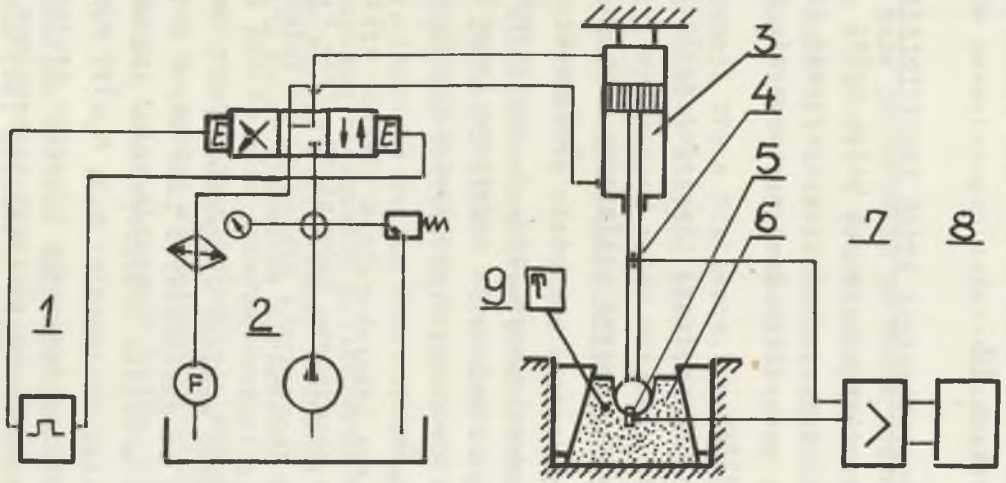
4. Badania zmęczeniowe wykładzin

Badania zmęczeniowe wykładzin przeprowadzono na pulsatorze o napędzie hydraulicznym, rys. 1, zbudowanym w laboratorium Katedry Maszyn Górniczych. Dodatkowe badania zmęczeniowe przeprowadzono w warunkach eksploatacyjnych na kołach pędnych maszyn wyciągowych.

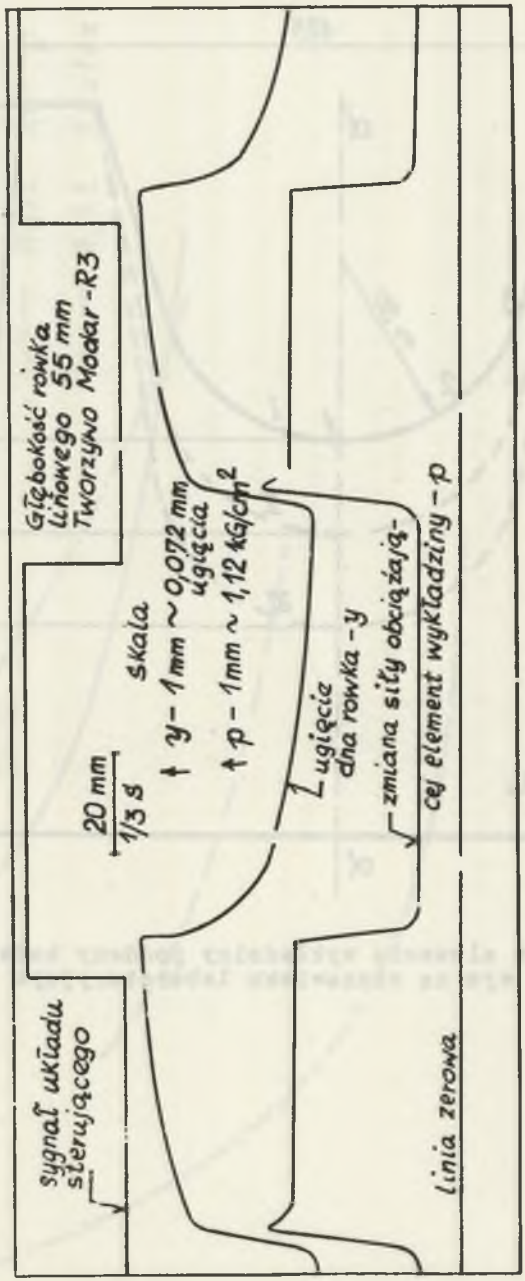
Na stanowisku laboratoryjnym element wykładziny był poddawany obciążeniu tętniącemu dodatniemu, rys. 2, które modelowało obciążenie rzeczywiste wykładzin na kołach pędnych. Obciążenie to było realizowane zmienną siłą osiową działającą na model liny. Zarówno element wykładziny jak i model liny miały te same wymiary co wykładziny i lina użyte do badań ruchowych. Badania laboratoryjne przeprowadzono dla następujących częstotliwości zmian obciążenia: 0,3; 0,433; 0,65 Hz oraz dla różnych głębokości dna rowka linowego wykładziny, rys. 3. Podczas badań zmęczeniowych mierzono następujące wielkości: temperaturę wybranych punktów rozmieszczonych na powierzchni czołowej elementu wykładziny oraz na obwodzie dna rowka linowego (punkty te zaznaczono na rys. 3), siłę występującą w drągu obciążającym model liny, odkształcenia dna rowka linowego oraz narastanie pęknięć zmęczeniowych na powierzchni rowka linowego elementu wykładziny.

Do pomiaru temperatury użyto termofilu, natomiast do pomiaru siły i odkształcenia, specjalnie zbudowanych czujników opartych

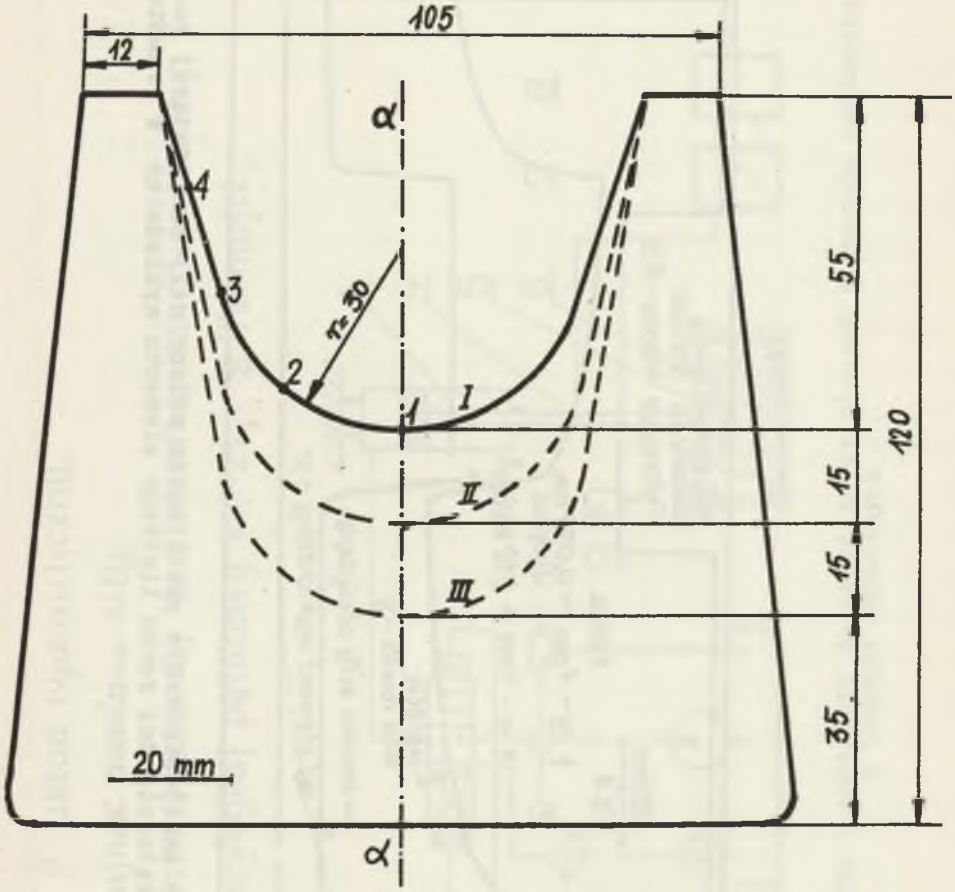
1 Układ sterujący, 2 Układ hydrauliczny,
3 Siłownik, 4 Czujnik pomiaru siły,
5 Czujnik pomiaru przemieszczenia, 6 Element badanej wykładziny,
7 Wzmacniacz, 8 Oscylograf pętlicowy K12-21, 9 Termofil,



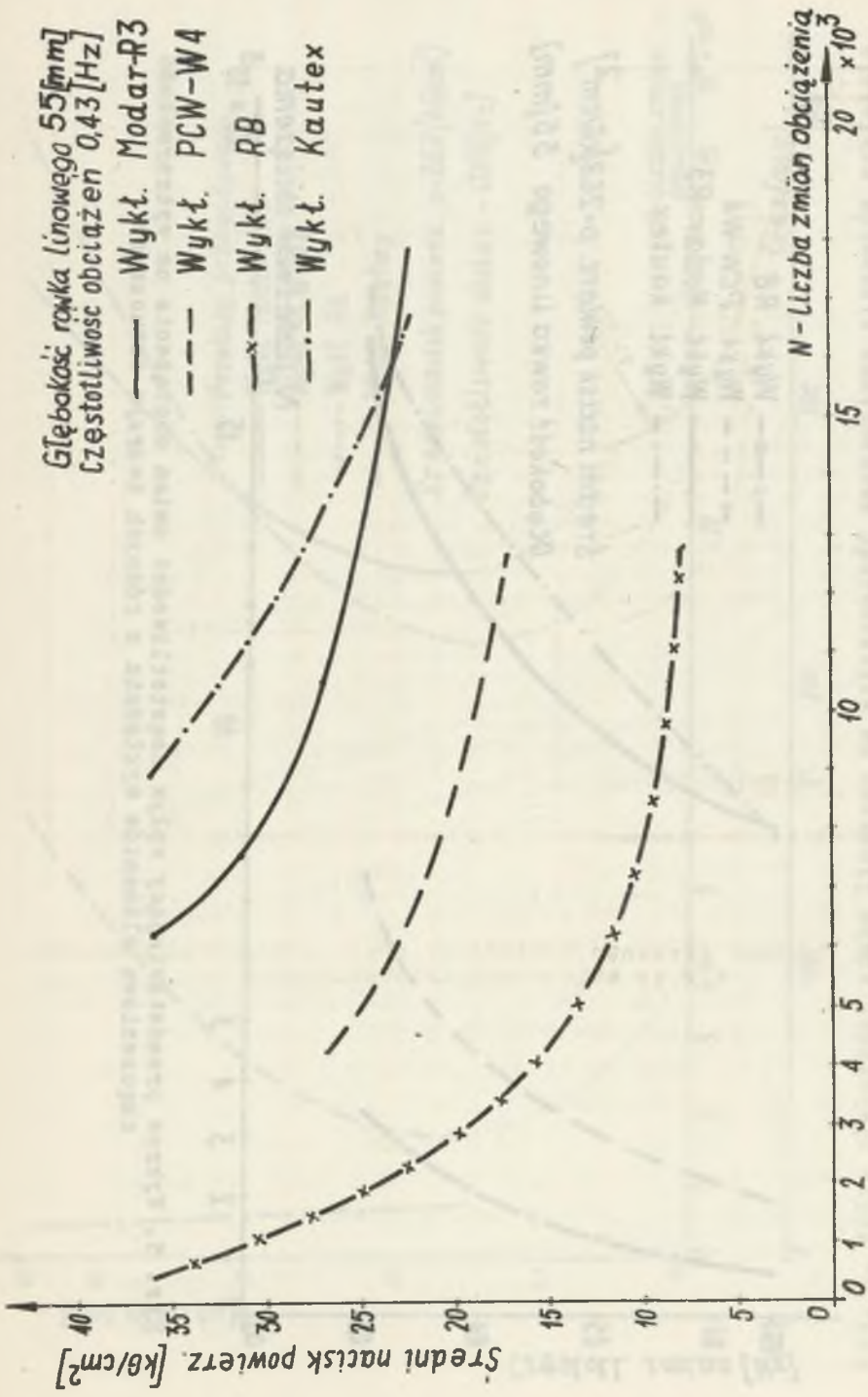
Rys. 1. Schemat stanowiska i aparatury do badań zmęczeniowych elementów wykładziny z tworzyw sztucznych



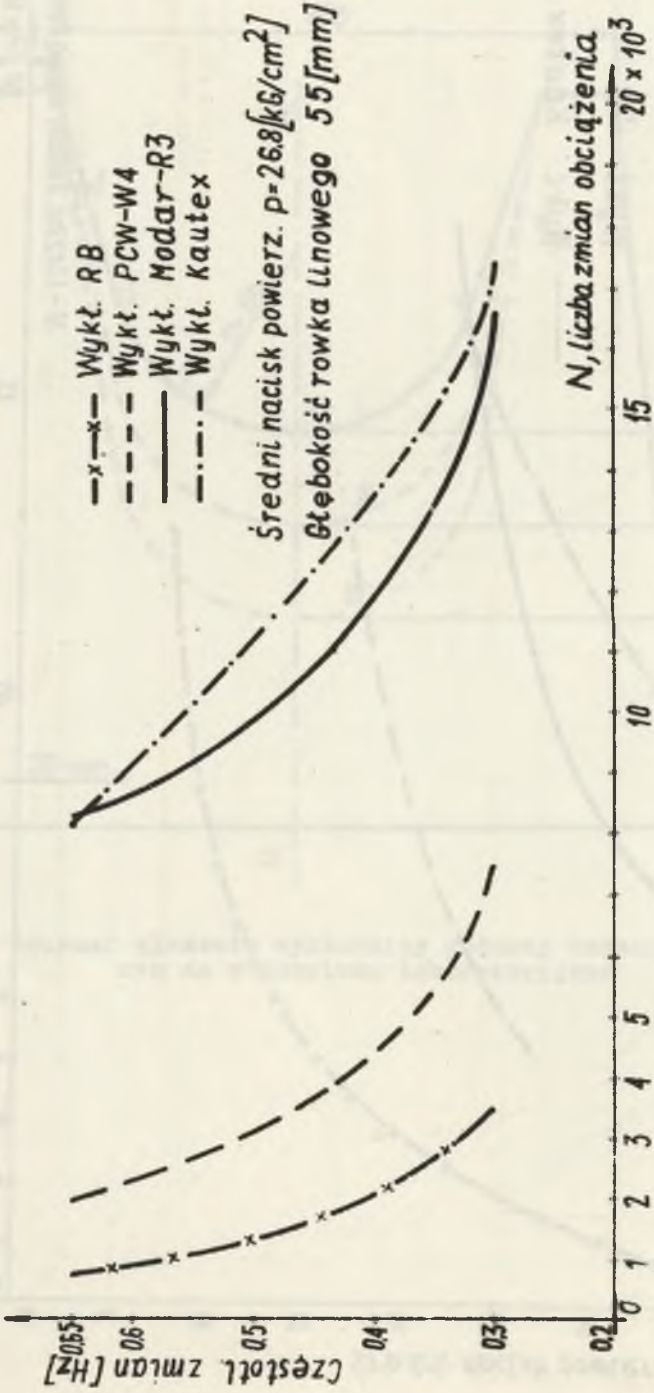
Rys. 2. Wycinek oscylogramu z zarejestrowanym przebiegiem zmiany siły obciążającej rowek linowy oraz zmianą odkształcenia dna rowka linowego elementu wykładziny w czasie



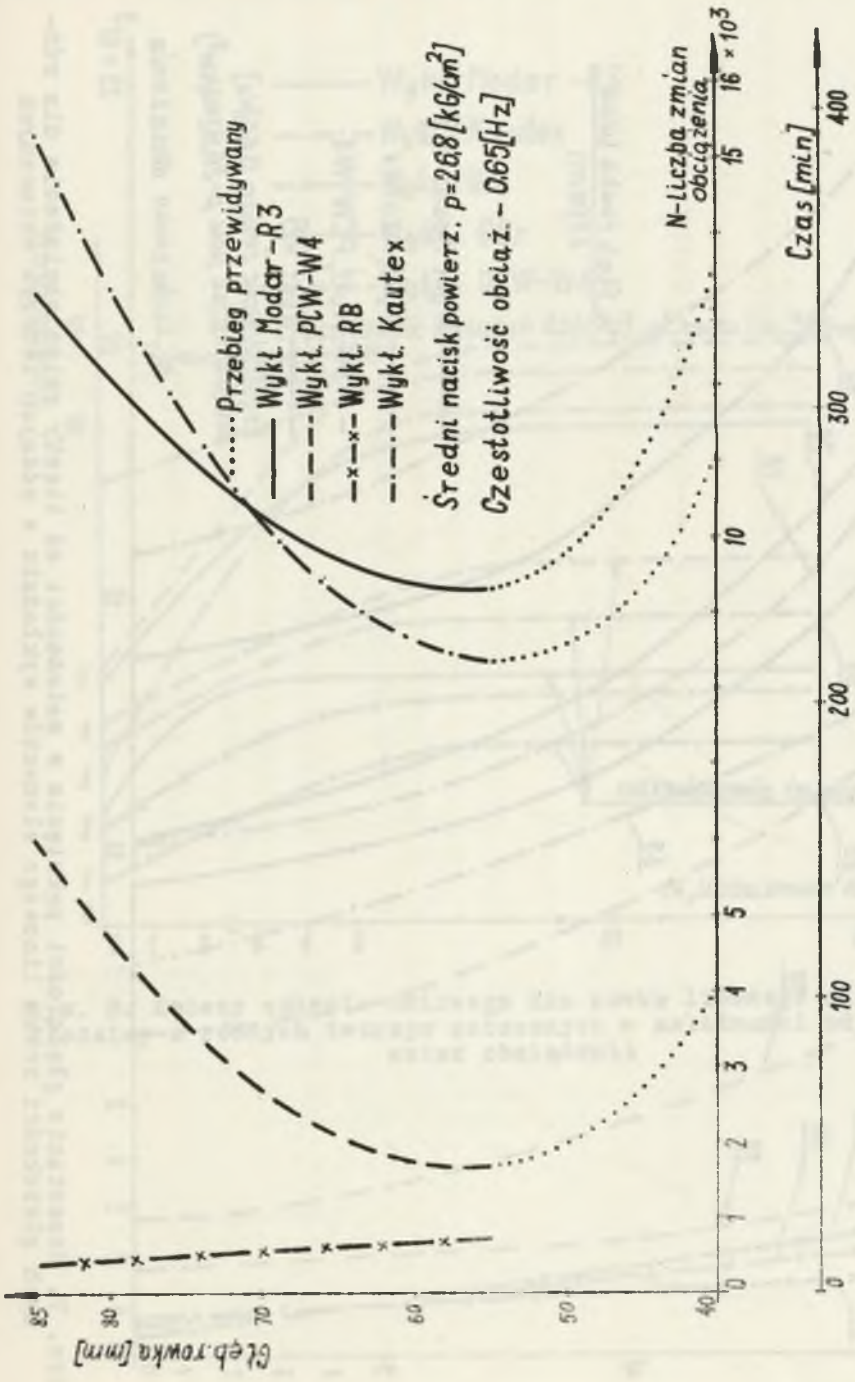
Rys. 3. Schemat elementu wykładziny poddany badaniom zmęczeniowym na stanowisku laboratoryjnym



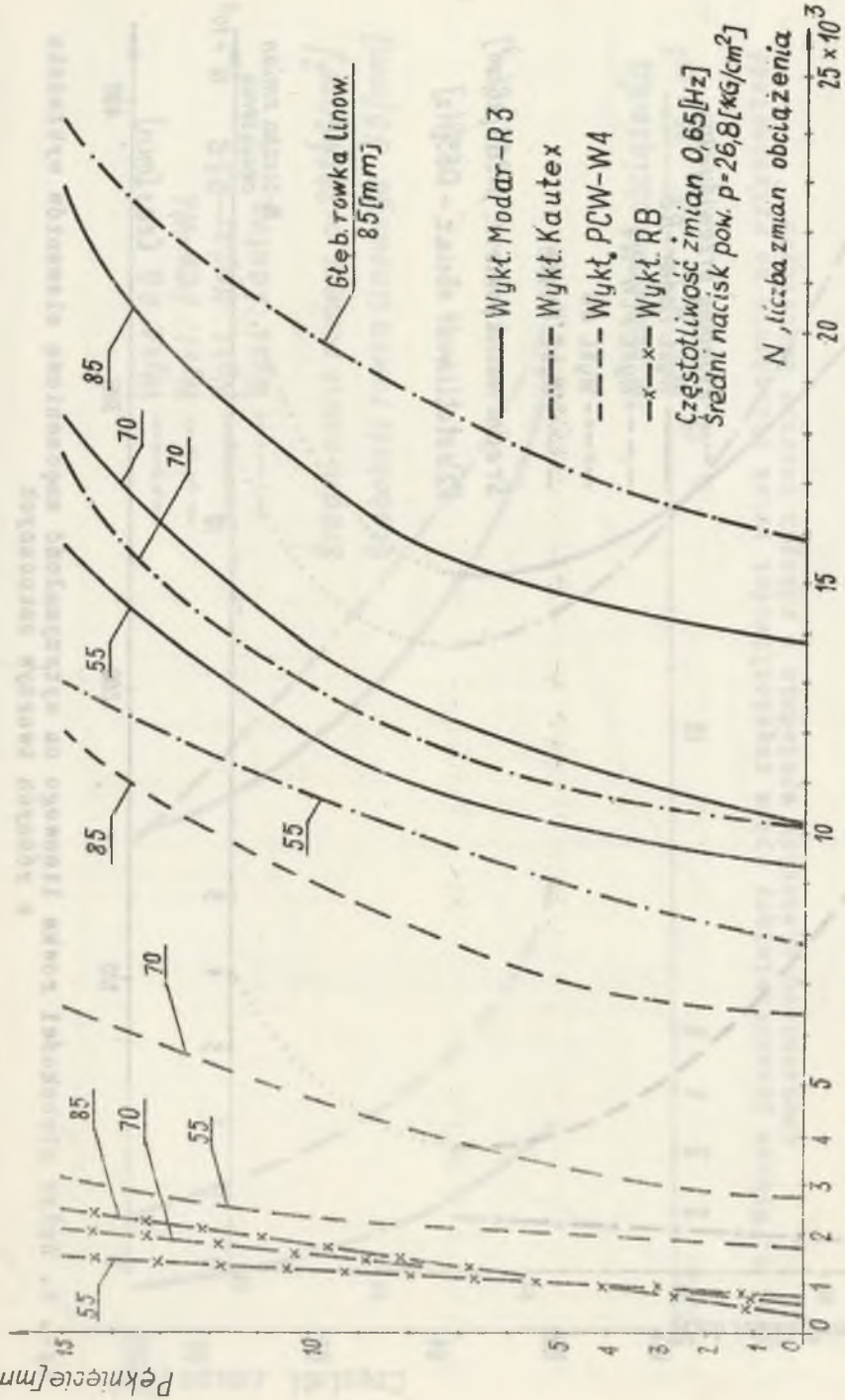
Rys. 4. Wykresy zmęczeniowe elementów wykładzin z różnych tworzyw sztucznych badanych na obciążenie tętniące dodatnie



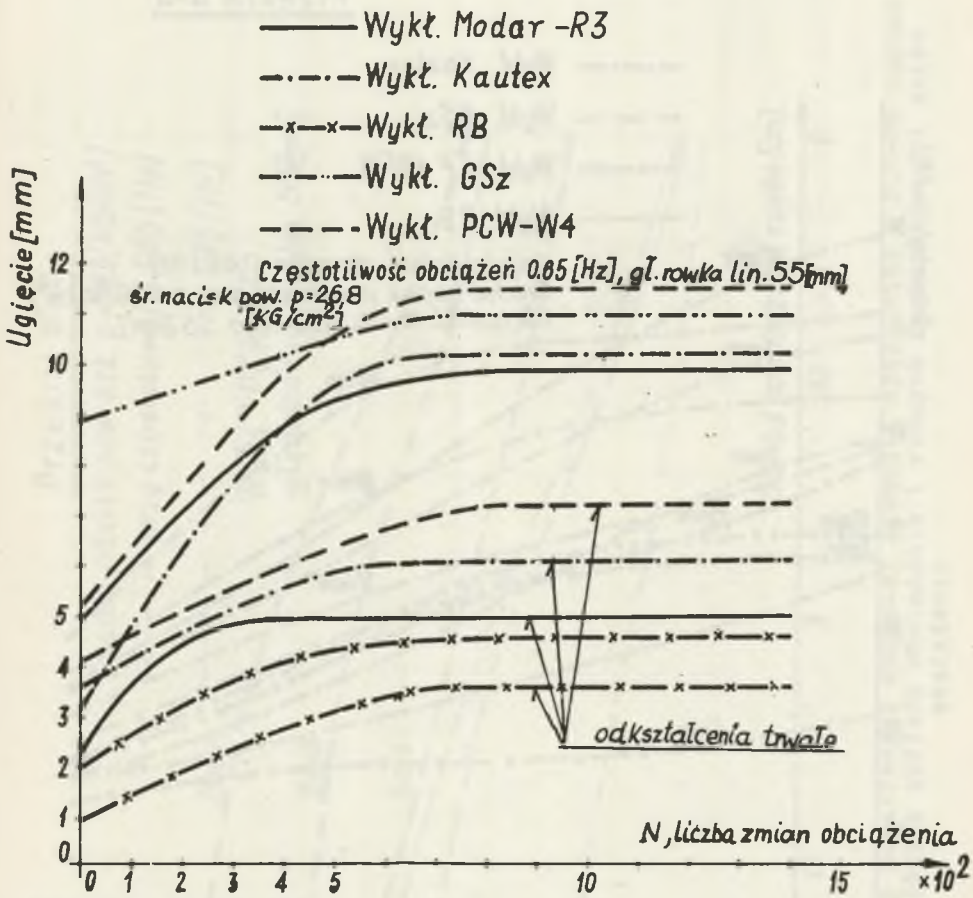
Rys. 5. Wykres przedstawiający wpływ częstotliwości zmian obciążenia na wytrzymałość zmęczeniową elementów wykładzin z różnych tworzyw sztucznych



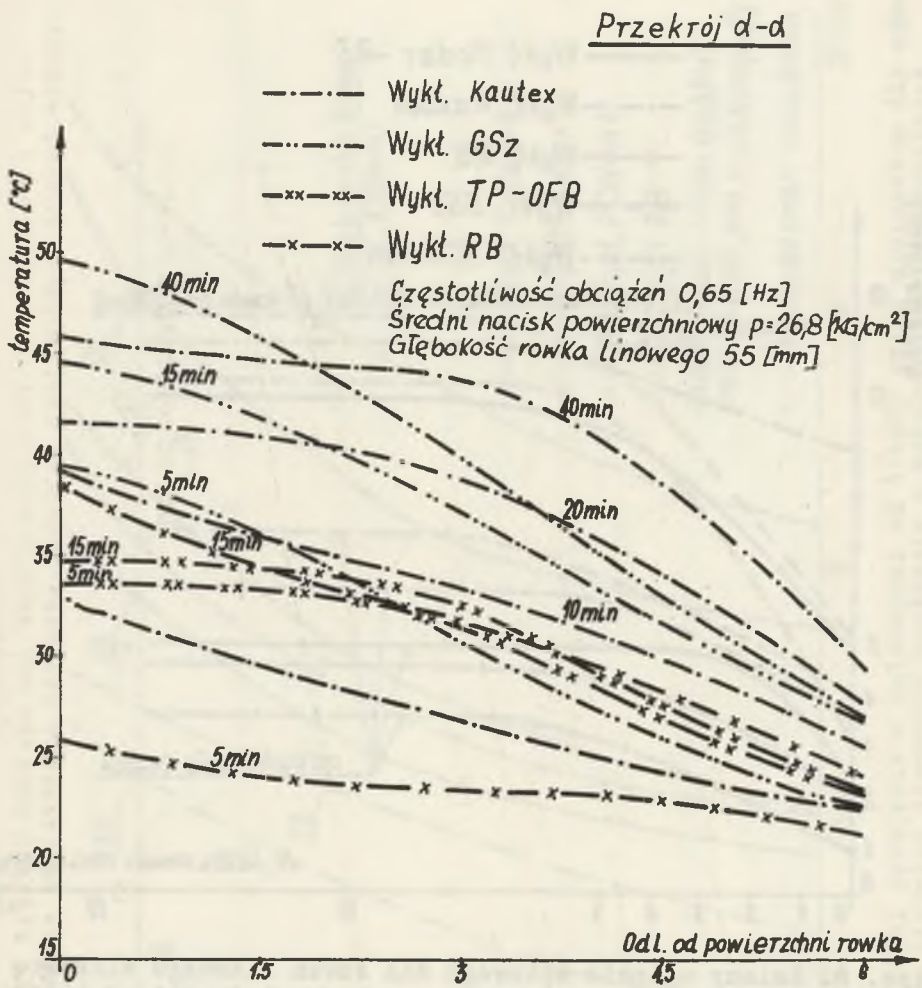
Rys. 6. Wpływ głębokości rowka linowego na wytrzymałość zmęczeniową elementów wykładzin z różnych tworzyw sztucznych



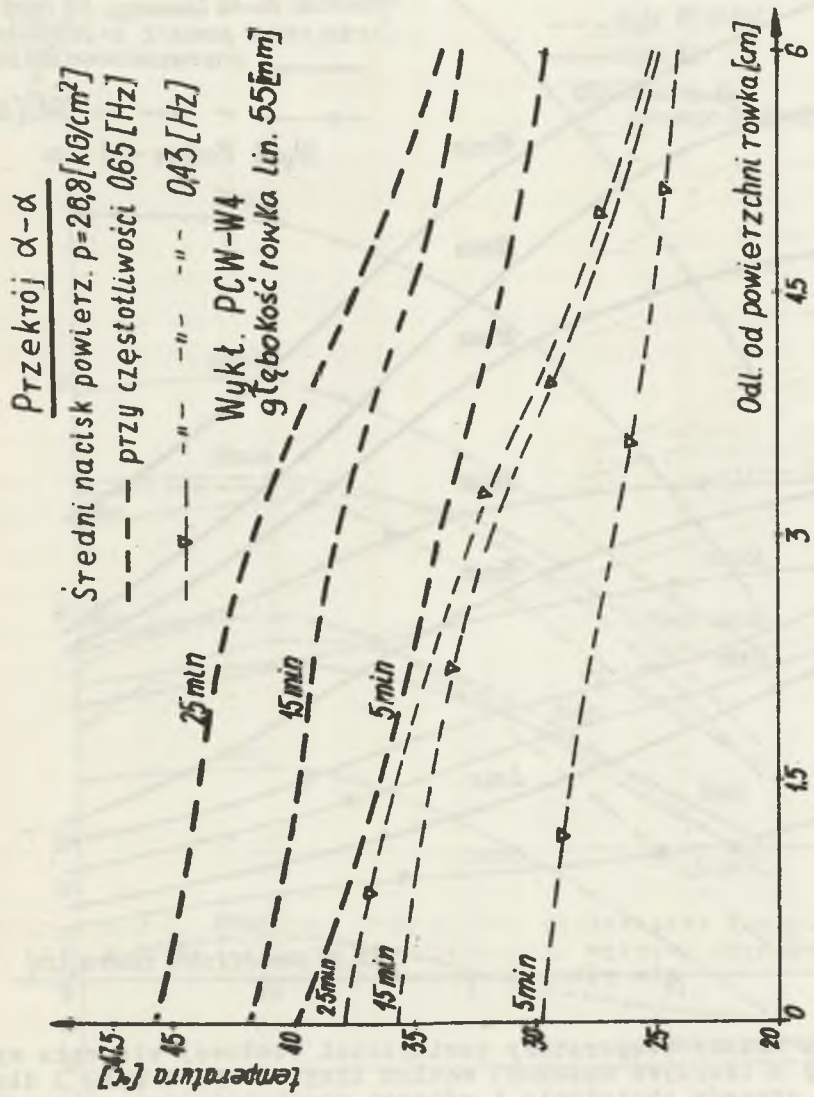
Rys. 7. Narastanie głębokości pęknięcia w zależności od liczby zmian obciążenia dla różnych głębokości rowka linowego elementów wykładzin z różnych tworzyw sztucznych



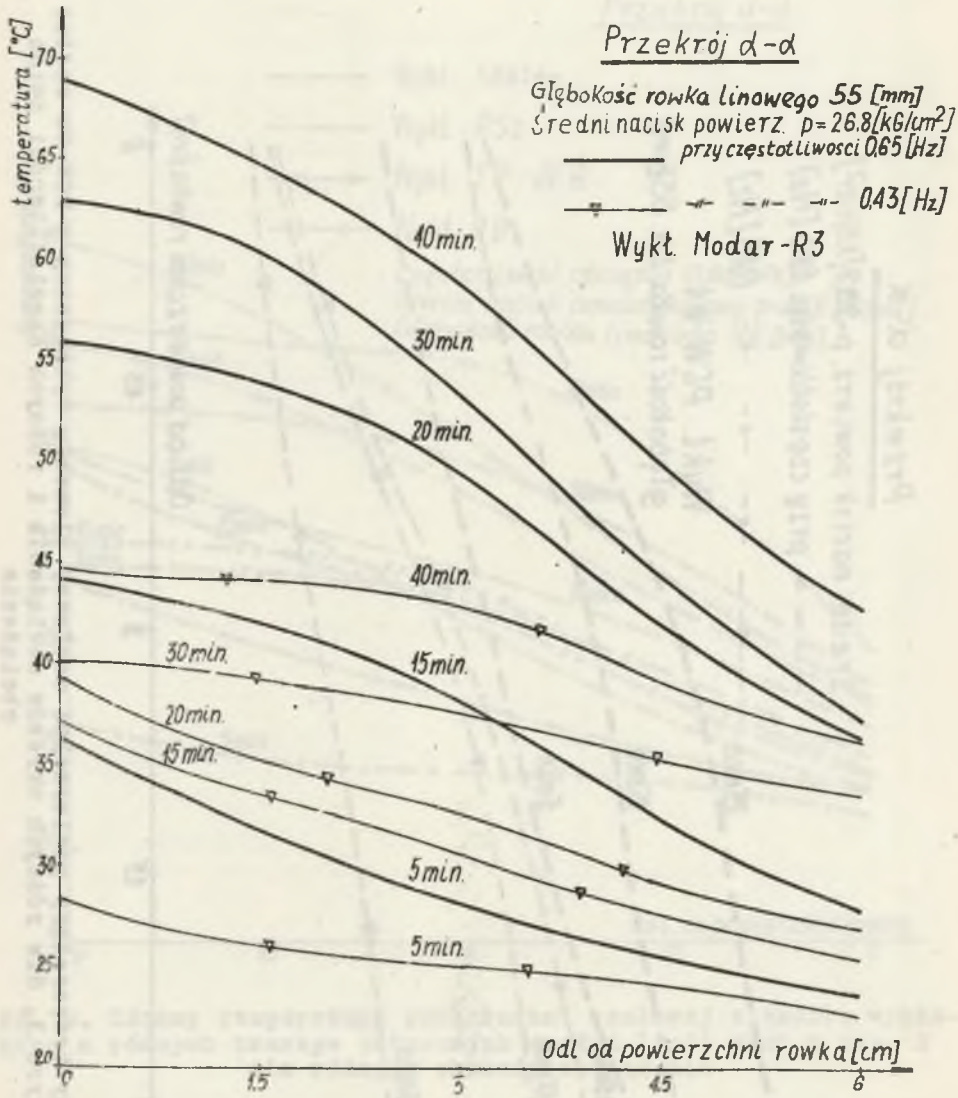
Rys. 8. Zmiany ugięcia osiowego dna rowka linowego elementu wykładziny z różnych tworzyw sztucznych w zależności od liczby zmian obciążenia



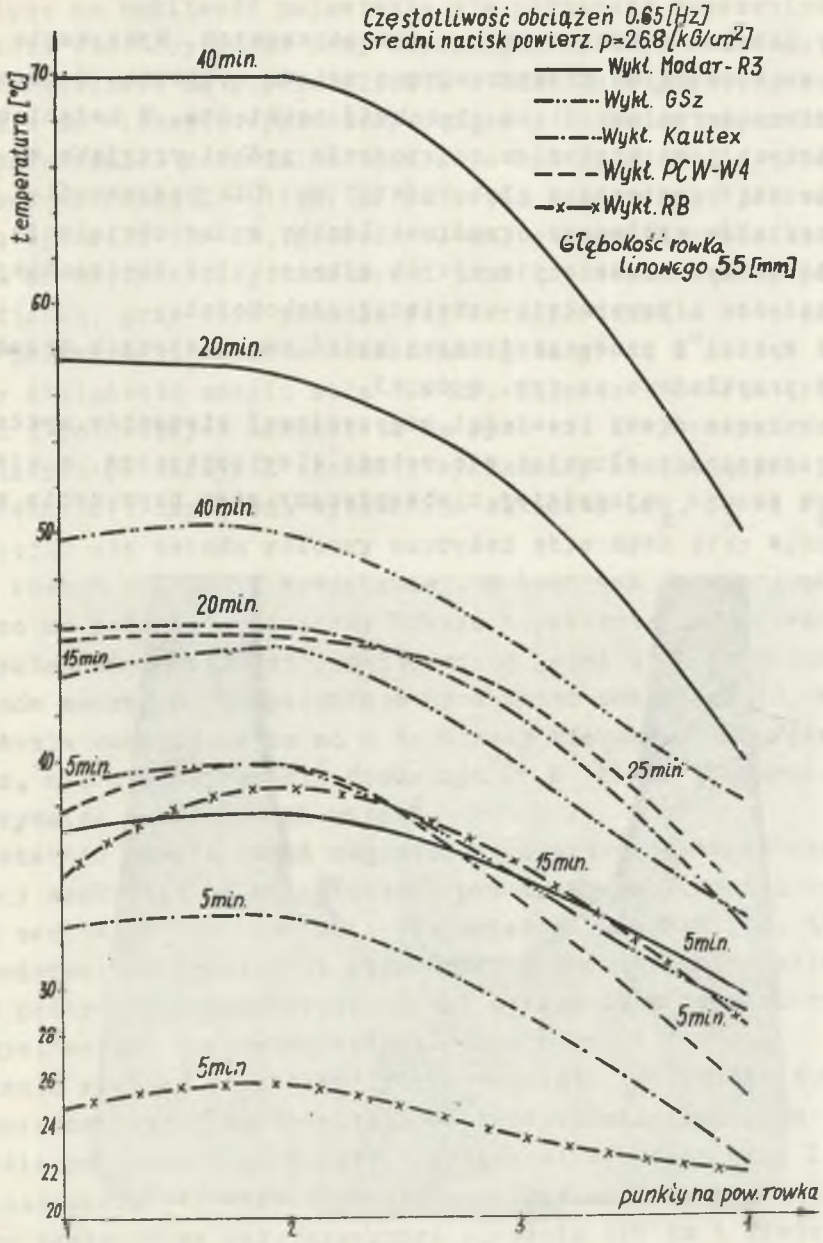
Rys. 9. Zmiany temperatury powierzchni czołowej elementu wykładziny z różnych tworzyw sztucznych wzdłuż linii α-α z rys. 3 dla różnych okresów obciążenia



Rys. 10. Zmiany temperatury powierzchni czołowej elementu wykładziny z PCW-W4 wzdłuż linii α-α z rys. 3, dla różnych okresów obciążania i różnych częstotliwości zmian obciążenia



Rys. 11. Zmiany temperatury powierzchni czołowej elementu wykładziny z tworzywa Modar-R3 wzdłuż linii α-α z rys. 3 dla różnych okresów obciążania i różnych częstotliwości zmian obciążenia



Rys. 12. Zmiany temperatury wzdłuż dna rowka linowego elementu wykładziny z różnych tworzyw sztucznych (punkty jak na rys. 3) dla różnych okresów obciążenia

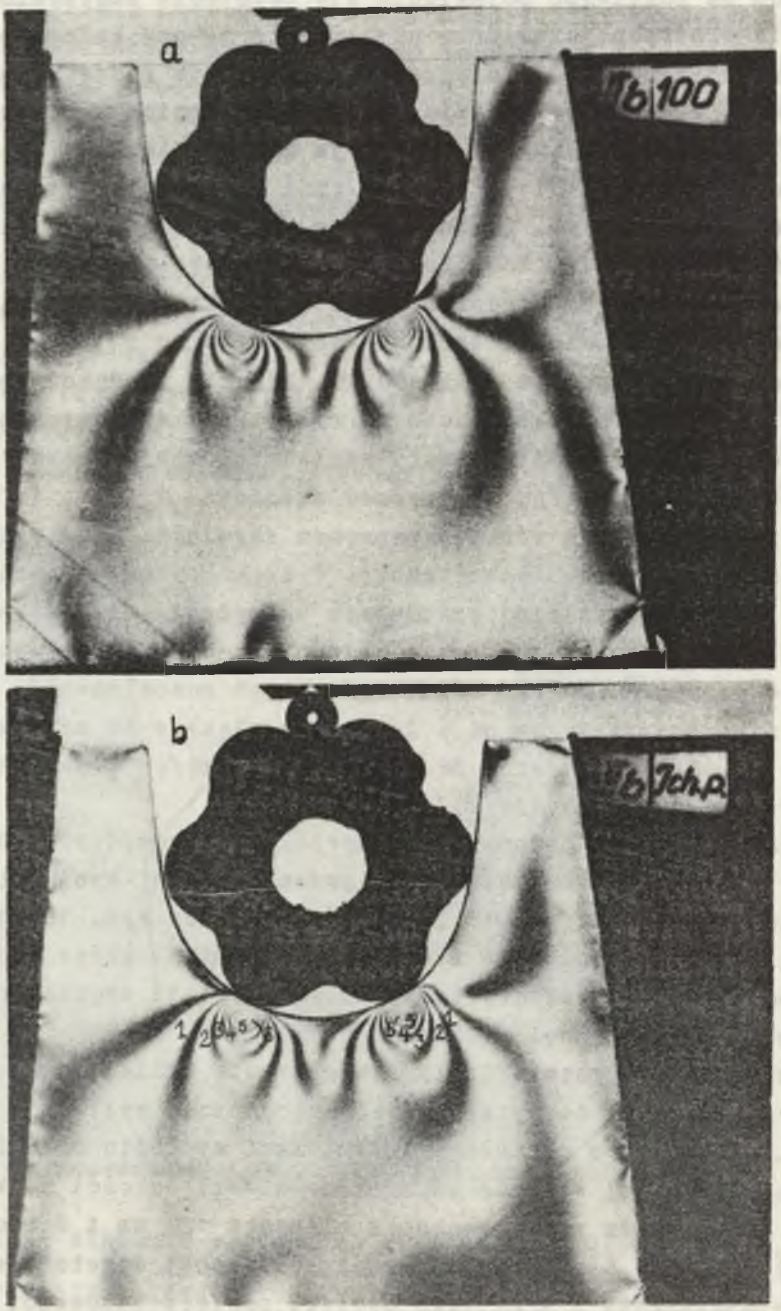
o zasadę działania tensometrów elektrooporowych. Wykrywanie pęknięć zmęczeniowych przeprowadzono metodą optyczną, a przy użyciu mikromierza określano głębokość pęknięcia. W badaniach zmęczeniowych jako kryterium zniszczenia próbki przyjęto wytworzenie się pęknięcia o głębokości 7 mm. Dla poszczególnych materiałów wykładzin określono liczbę zmian obciążenia potrzebną do wytworzenia pierwszych mikropęknięć zmęczeniowych oraz pęknięcia o poprzednio ustalonej głębokości.
Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań zmęczeniowych przedstawiono przykładowo na rys. 4 do 13.
Celem dokonania oceny trwałości zmęczeniowej elementów wykładziny wyznaczono posługując się metodą elastooptyczną, miejsca w których panuje najbardziej niebezpieczny stan naprężenia ze

Rys. 13. Widok elementu wykładziny z tworzywa Modar-R3 z charakterystycznymi pęknięciami zmęczeniowymi i zmianami barwy tworzywa wywołanymi temperaturą samowzbudną, głębokość rowka 70 mm. Element wykładziny był poddany obciążeniu na stanowisku laboratoryjnym

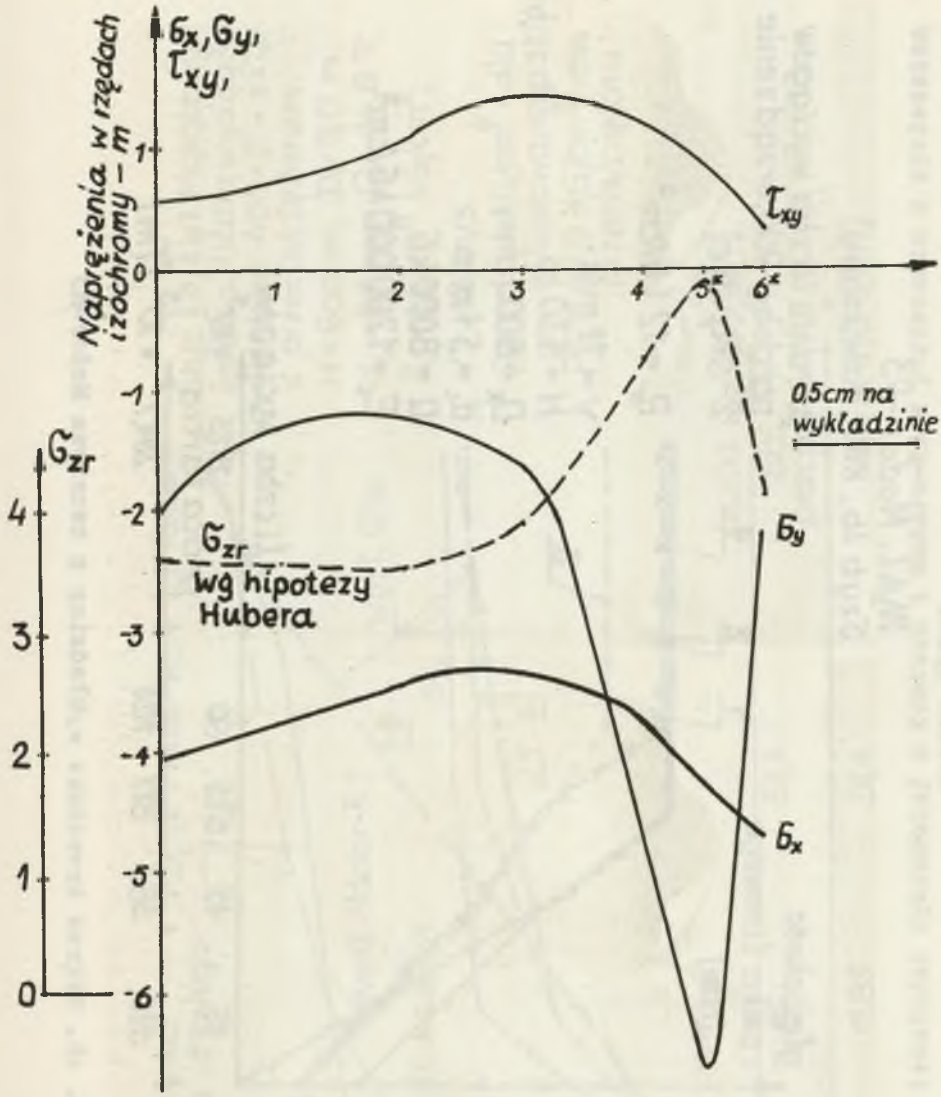
względu na możliwość pojawienia się pęknięcia zmęczeniowego. Badania elastooptyczne przy użyciu polaryskopu kołowego JP-10 przeprowadzono na modelu płaskim o kształcie geometrycznie podobnym do elementu wykładziny poddanej badaniom zmęczeniowym na pulsatorze. Materiałem modelowym był Epidian 201. Stała modelowa wynosiła K = 11,27 kG/cm^2.rząd izochromy. Wysokość modelu wynosiła 120 mm, grubość 10 mm, głębokość rowka linowego 55 i 69 mm. Przebieg izochrom i izoklin ustalono drogą fotograficzną, przy czym podczas rejestracji izoklin zmieniano kąt polaryzacji światła monochromatycznego co 5°, od 0 do 90° przy obciążeniu modelu siłą 100 kG. Zdjęcia izochrom całkowitych i połówkowych zestawiono na rys. 14. W wybranych prostoliniowych przekrojach elementu wykładziny obejmujących rejon koncentracji naprężeń, wyznaczono składowe σ_x, σ_y i τ_{xy} posługując się metodą różnicy naprężeń stycznych przy wykorzystaniu równań równowagi wewnętrznej. W tych też przekrojach wyznaczono na podstawie hipotezy Hubera naprężenia zredukowane. Przykładowo na rys. 15 przedstawiono jeden z otrzymanych wykresów naprężeń. Na podstawie tych badań można ocenić, że naprężenia maksymalne są od 4 do 6 razy większe od naprężeń średnich, np. dla naprężenia średniego 26,8 kG/cm^2, naprężenia maksymalne wynosiły 126 kG/cm^2.

W ostatnim etapie badań zmęczeniowych przeprowadzono obserwacje pracy wykładzin na urządzeniach przemysłowych. Wyniki tych badań zestawiono na rys. 16 i 17, natomiast na rys. 18, 19 i 20, przedstawiono fotografie elementów wykładzin, które zdjęto z kół pędnych z charakterystycznymi pęknięciami zmęczeniowymi i innymi wadami technologicznymi.

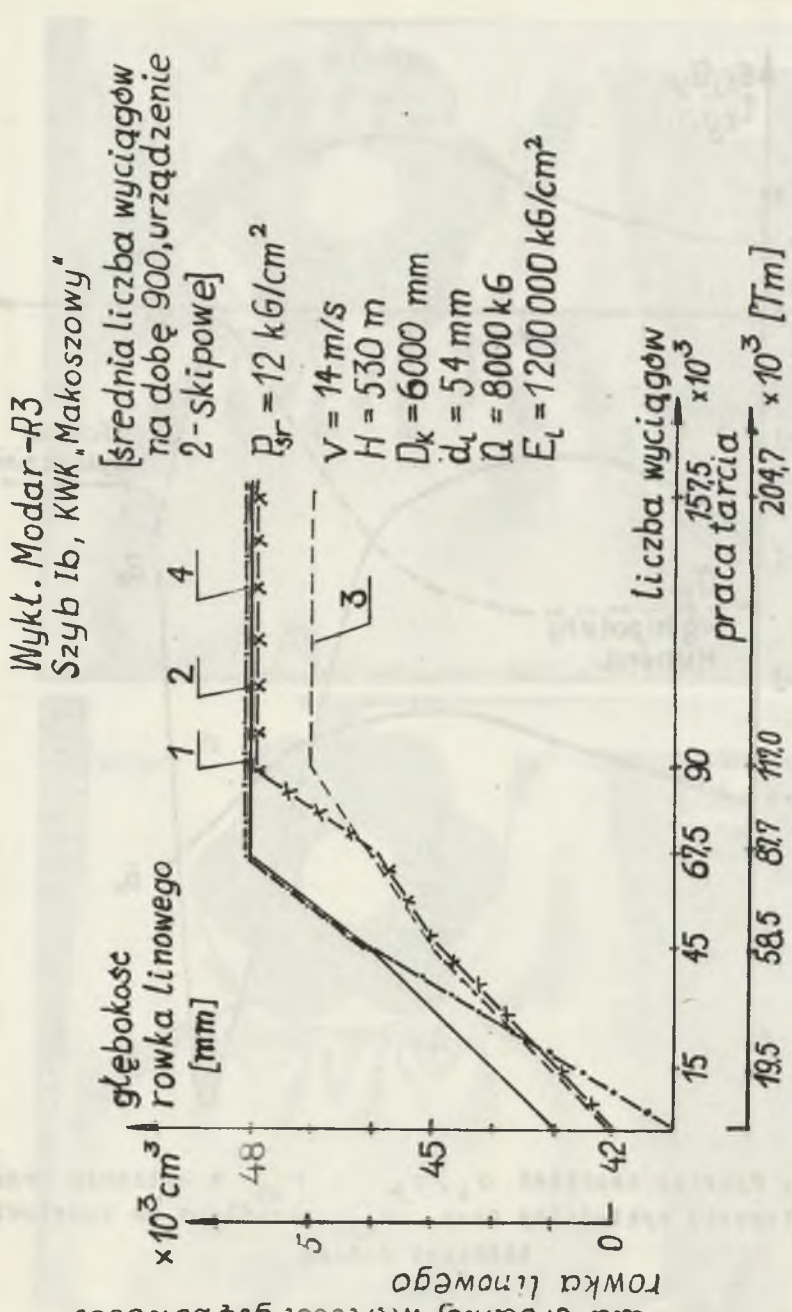
Badania ruchowe potwierdziły stwierdzenie wynikające z badań laboratoryjnych, że wytrzymałość zmęczeniowa wykładzin jest ściśle związana z kształtem i wymiarami wykładzin oraz liny i że najniższą jej wartość uzyskiwano dla głębokości rowka linowego około 55 mm przy wysokości elementu 120 mm i średnicy liny 62 mm (rys. 6), niezależnie od stosowanej częstotliwości zmian obciążenia i średniego nacisku powierzchniowego. Wykładzina z Kautexu (rys. 17), którą zdjęto z koła pędnego po wykonaniu przez urządzenie wyciągowe szybu IIb około 24.10^4 wy-



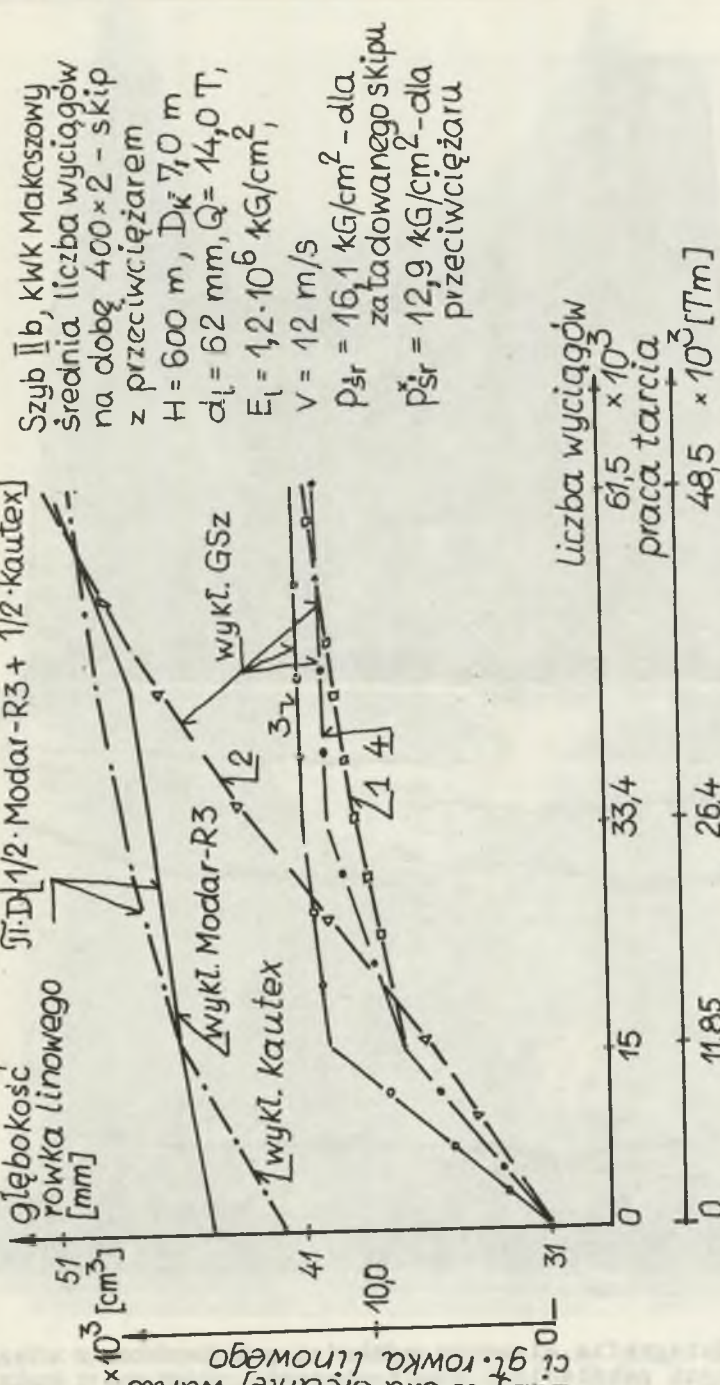
Rys. 14. Zdjęcie fotograficzne izochrom w elemencie wykładziny
a – izochromy całkowite, b – izochromy połówkowe



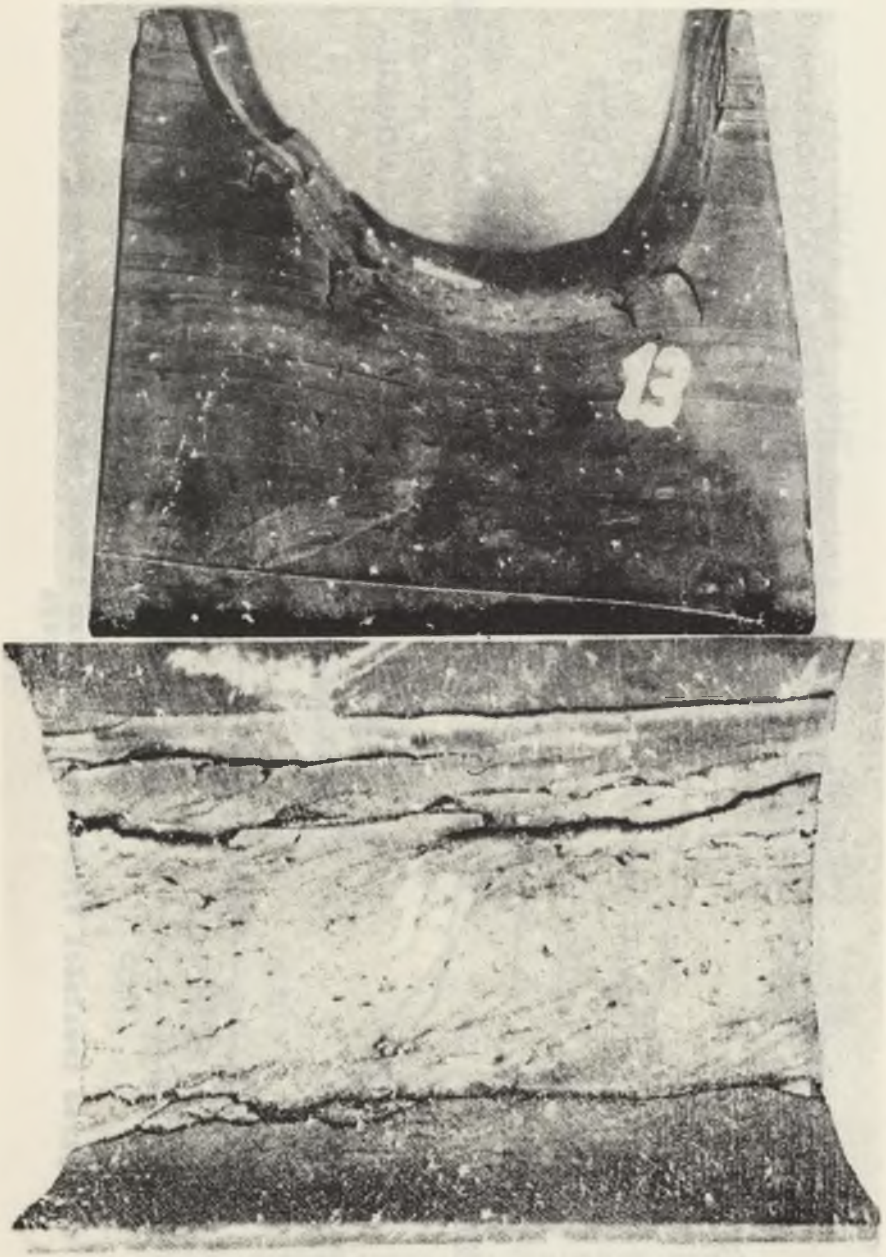
Rys. 15. Wykresy naprężeń σ_x, σ_y i τ_{xy} w wybranym przekroju elementu wykładziny oraz σ_{zr} określone na podstawie hipotezy Hubera



Rys. 16. Wykres trwałości wykładziny z tworzywa Modar-R3

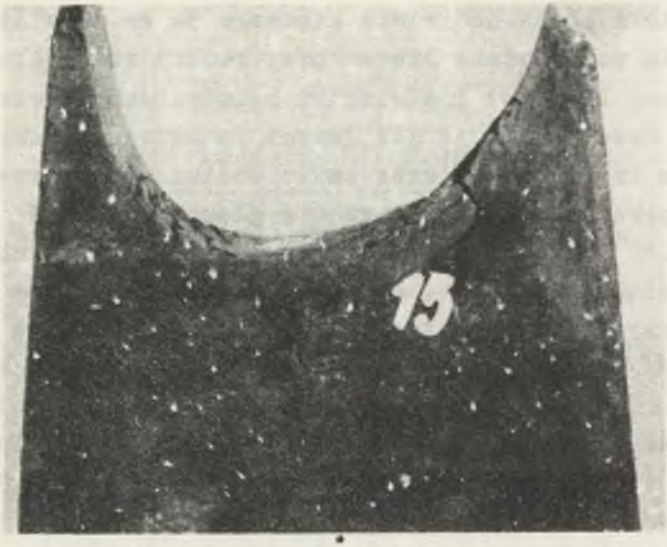


Rys. 17. Wykres trwałości wykładziny z Koutexu 1 Modaru-R3 w porównaniu z wykładziną gumową Skega



Rys. 18. Fotografia elementu wykładziny z Kautexu z charakterystycznymi pęknięciami zmęczeniowymi, zdjętego z koła pędnego szybu IIb KWK Makoszowy

a – widok z boku, b – widok z góry

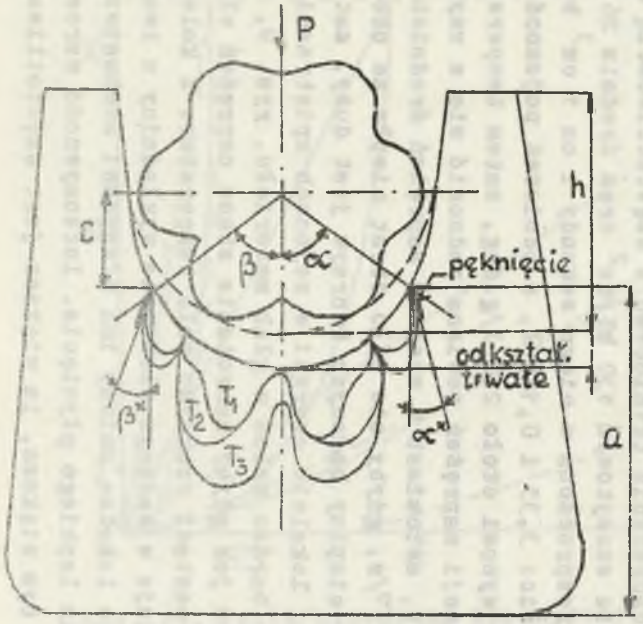


Rys. 19. Fotografia elementu wykładziny z tworzywa Modar-R3 z charakterystycznymi pęknięciami zmęczeniowymi, zdjętego z koła pędnego szybu IIb KWK Makoszowy

Rys. 20. Fotografia elementu wykładziny z gumy Skega z charakterystyczną wadą technologiczną, zdjętego z koła pędnego szybu IIb KWK Makoszowy

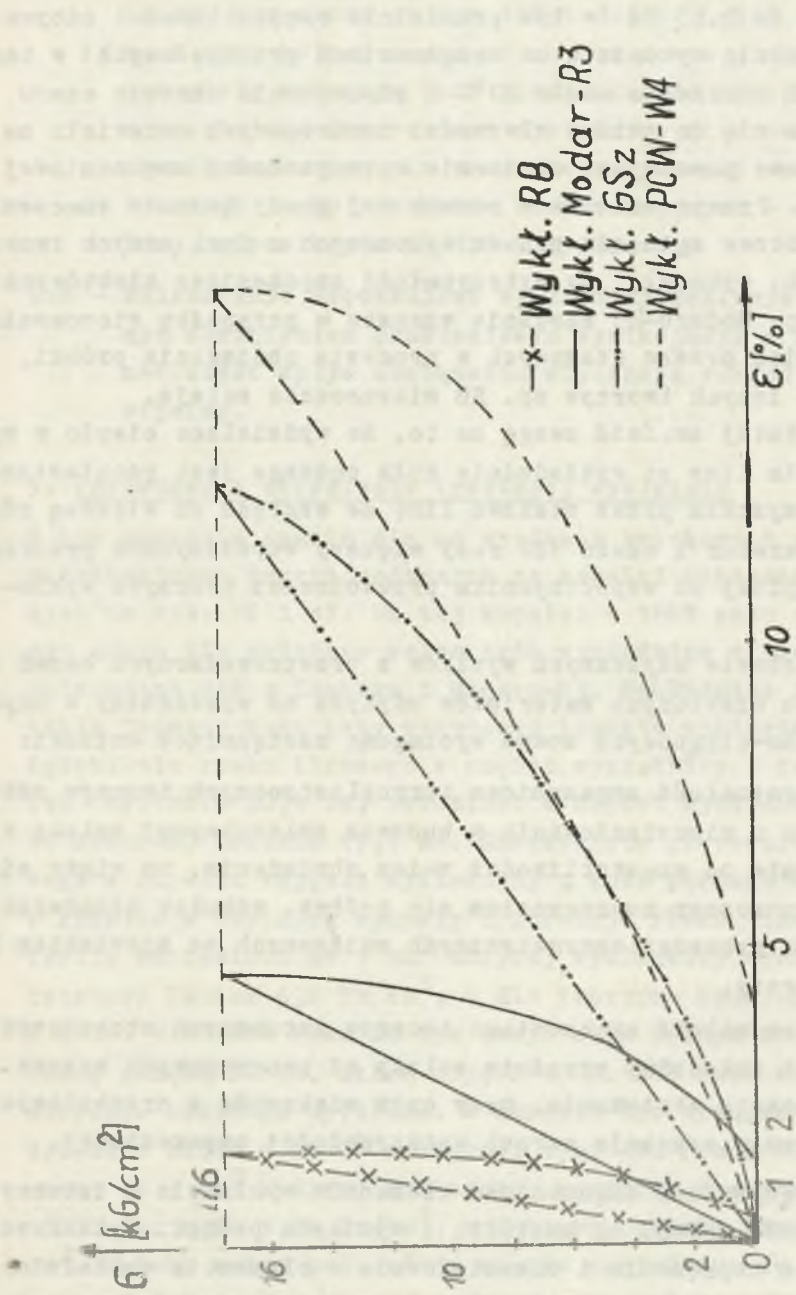
ciągów miała głębokość rowka linowego 54 mm. Wymiana wykładziny była podyktowana stanem powierzchni rowka linowego, poprzecinanej licznymi i głębokimi pęknięciami zmęczeniowymi, rys. 18. Ocenia się, że dla danych technicznych urządzenia wyciągowego (rys. 17), liczba zmian obciążenia potrzebna do wywołania pęknięcia zmęczeniowego o głębokości rzędu 10 mm wynosiła 2.10^6. Na podstawie teorii podobieństwa mechanicznego można wyciągnąć wniosek, że wszystkie wykładziny z przebadanych tworzyw termoplastycznych o nieusieciowaniu w budowie molekularnej i liny tworzące układy geometrycznie pokrewne o deformacji równomiernej co najmniej w kierunku osi pionowej, wykażą tą samą najniższą wytrzymałość zmęczeniową dla głębokości rowka linowego określonego stosunkiem 55/120 i 55/62. Polimery usieciowane użyte jako wykładziny nie wykazały pęknięć zmęczeniowych przy znacznie większej liczbie zmian obciążenia. Podczas laboratoryjnych badań zmęczeniowych wykładzin rejestrowano miejsca w których tworzyły się pęknięcia zmęczeniowe, wyniki zestawiono w tab. 1. Na rysunku zamieszczonym w tabl. 1 zaznaczono warstwice temperatur otrzymane podczas pomiarów ($T_1 > T_2 > T_3$). Porównanie wyników zawartych w tabl. 1 otrzymanymi na podstawie badań elastooptycznych prowadzi do wniosku, że przesunięcie miejsc występowania pęknięć zmęczeniowych w kierunku otwarcia rowka linowego jest spowodowane wystąpieniem w tym rejonie złożonego stanu naprężenia, zmianą krzywizny dna rowka oraz zmianą temperatury samowzbudnej (rys. 12 oraz tabl. 1). Lina wskutek nieznacznego spłaszczenia oraz znacznych odkształceń promieniowych wykładziny w tym także odkształceń trwałych (tabl. 1), styka się z rowkiem wykładziny nie w dwóch punktach jak to przedstawiają zdjęcia z rys. 14, lecz w co najmniej czterech. Przeprowadzone badania zmęczeniowe dotyczyły procesów adiabatycznych ze względu na brak równowagi termicznej badanego elementu wykładziny z otaczającym ośrodkiem, co wynikało z zastosowanej częstotliwości zmian obciążenia przekraczających rząd wielkości $\varkappa/(c_p.\varrho.x^2)=(0,3\div0,5)/1670.10^3.$ $.0,03^2 = 2.10^{-4}$ do $3,4.10^{-4}$ Hz, gdzie $\varkappa$ określone na podstawie badań współczynniki przewodzenia ciepła dla poszczególnych tworzyw zmieniające się liniowo od 0,3 do 0,5 W/m.deg w zakre-

Tablica 1. Wartości średnie wymiarów określających położenie pęknięcia zmęczeniowego elementu wykładziny



Rodzaj wykł.	Wartości średnie						
	h	a	c	α	α*	β	β*
	mm	mm	mm	°	°	°	°
Kautex	55	74	23	50	27	52	30
	85	46	21	48	23	52	24
Modar-R3	55	72	25	49	20	52	20
	85	53	14	46	24	53	15
PCW-W4	55	75	22	54	14	54	21
	85	54	13	54	29	52	24

sie różnicy temperatur od 20 do 40 deg, a dla większych różnic temperatur ustalają się na poziomie wartości 0,52 W/m.deg, c_p pojemność cieplna jednego grama przy p = const, wynosząca około 1670 J/kg.deg, ϱ gęstość, 10^3 kg/m^3, x grubość elementu wykładziny, 0,03 m. Istotną rolę w procesie tworzenia się pęknięć zmęczeniowych odgrywa gradient temperatury samowzbudnej, zależny od częstotliwości zmian obciążenia, wielkości obciążenia w sensie wywołanych naprężeń a także od takich wielkości cieplnych tworzywa jak ciepło właściwe i współczynnik przewodzenia ciepła oraz podatności rozproszenia materiału. Ilość energii rozproszonej w postaci ciepła podczas jednego cyklu obciążenia elementu reprezentuje dynamiczna pętla histerezy. Przykładowo na rys. 21 przedstawiono uzyskane z badań pętle histerezy przy wolno zmienianym obciążeniu. Energia rozproszona powoduje wzrost temperatury, którego wielkość będzie zależeć od pojemności cieplnej elementu wykładziny. Przy ciągłym obciążeniu tętniącym temperatura może osiągnąć wartość stanu ustalonego, zależną od szybkości strat ciepła na otoczenie. Przykładowo biorąc pod uwagę tworzywo GSz o podatności rozproszenia przy ściskaniu rzędu $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ cm^2/kG, które jest poddane naprężeniu tętniącemu z częstotliwością 0,65 Hz i przy naprężeniu szczytowym 130 kG/cm^2 oraz średnim 26,8 kG/cm^2, energia rozproszona w ciągu sekundy i na 1 cm^3 będzie wynosić odpowiednio: 3,35 i 0,125 J, a ponieważ pojemność cieplna tego tworzywa wynosi około 2,0 J/g.deg, zatem temperatura w miejscu koncentracji naprężeń powinna podnosić się z szybkością około 1,67 1°/s, natomiast w miejscu naprężeń średnich z szybkością 0,0625 1°/s, gdyby nie było strat ciepła na otoczenie. Ponieważ opór cieplny badanych tworzyw jest duży, zatem dyfuzja wytworzonej lokalnie energii w rejonach spiętrzenia naprężeń odbywa się bardzo wolno w głąb materiału, rys. 9, 10, 11 i 12. Następuje jak gdyby zamrożenie stanu naprężeń elementu wykładziny w postaci rozkładu pola temperatur. Z kolei temperatura ta powoduje w badanym elemencie wykładziny z tworzywa termoplastycznego lokalne zmiany ich własności mechanicznych, a przede wszystkim lepkiego płynięcia. Intensywność wzrostu temperatury jest tym większa, im większa jest częstotliwość zmian obcią-



Rys. 21. Pętle histerezy sprężystej tworzyw sztucznych stosowanych jako wykładziny kół pędnych

żenia (rys. 5, 10 i 11), a nieznaczne zwiększenie częstotliwości z 0,3 na 0,65 Hz (w tym przedziale częstotliwości odbywa się obciążanie wykładzin na urządzeniach przemysłowych) w temperaturach otoczenia około 20°C i odpowiednim okresie czasu przyczynia się do zmiany własności izotropowych materiału na anizotropowe powodujące obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej wykładzin. Przeprowadzone w ramach tej pracy badania zmęczeniowe na obrotowe zginanie próbek wykonanych z tych samych tworzyw sztucznych, wykazały, że wytrzymałość zmęczeniowa niektórych tworzyw np. Modaru-R3 znacznie wzrasta w przypadku stosowania odpowiednich przerw czasowych w procesie obciążania próbki, natomiast innych tworzyw np. RB nieznacznie maleje.

Warto tutaj zwrócić uwagę na to, że wydzielone ciepło w wyniku tarcia liny po wykładzinie koła pędnego jest pochłaniane przede wszystkim przez stalową linę ze względu na większą różnicę temperatur i około 120 razy większy współczynnik przewodności cieplnej od współczynnika przewodności tworzywa wykładziny.

Na podstawie uzyskanych wyników z przeprowadzonych badań zmęczeniowych niektórych materiałów użytych na wykładziny w napędach cierno-cięgnowych można wyciągnąć następujące wnioski:

4.1 - wytrzymałość zmęczeniowa termoplastycznych tworzyw sztucznych o nieusieciowaniu w budowie molekularnej zależy wyraźnie od częstotliwości zmian obciążenia, co wiąże się ze znacznym nagrzewaniem się próbek, wskutek nieodwracalnych przemian energetycznych związanych ze zjawiskiem histerezy,

4.2 - wytrzymałość zmęczeniowa tworzyw sztucznych stosowanych jako okładziny wyraźnie zależy od programowych przerw w procesie obciążania, przy czym większość z przebadanych tworzyw wykazuje wzrost wytrzymałości zmęczeniowej,

4.3 - wytrzymałość zmęczeniowa elementów wykładzin w istotny sposób zależy od kształtu i wymiarów próbek. Wytworzony stan naprężenia i odkształcenia w elemencie wykładziny charakteryzuje się lokalnymi zwyżkami wartości naprężeń (4 do 6 razy większymi od średnich) zmiennych w czasie w

pobliżu istotnych zmian krzywizny dna rowka linowego. Zmiany krzywizny są tym istotniejsze, gdyż oprócz znacznych odkształceń sprężystych dna rowka linowego badane materiały wykazują duże odkształcenia trwałe. Najniższą wytrzymałość zmęczeniową wykładziny otrzymuje się dla określonego stosunku charakterystycznych wymiarów rowka linowego i obu elementów konstrukcyjnych - wykładziny i liny, odpowiednio 55/120 i 55/62.

4.4 - zniszczenie zmęczeniowe wykładziny jest wywołane zmiennym obciążeniem promieniowym wynikającym z nacisku liny, natomiast wpływ obciążenia stycznego wykładziny jest pomijalny.

5. Porównawcze określenie trwałości wykładzin

W tym zakresie oparto się na wynikach uzyskanych z badań eksploatacyjnych przeprowadzonych na kopalni Makoszowy zestawionych na rys. 16 i 17. Na tej kopalni w 1967 roku na kole pędnym szybu IIb założono celem prób wykładzinę w jednej drugiej składającą się z Kautexu i Modaru-R3. Wykładzina ta pracowała około jednego roku przy wykonanej liczbie wyciągów 24.10^4. Zgłębienie rowka linowego w części wykładziny z tworzywa Kautex wyniosło 20,4 mm, natomiast w części wykładziny z tworzywa Modar-R3 średnio 19,1 mm. Rzeczywista głębokość rowka linowego w okresie zdjęcia wykładziny z koła pędnego wynosiła 54 mm, a różnice w ubytkach wynikły z korekcji rowka linowego. Praca tarcia odniesiona do 1 cm^3 zużytej wykładziny wynosiła dla tworzywa Kautex 6,8 Tm/cm^3, a dla tworzywa Modar-R3 7,3 Tm/cm^3. Z kolei 9.6.1968 roku na tym samym kole pędnym założono wykładzinę gumową Skega, którą zdjęto 13.9.1968 roku wskutek nadmiernego bocznego wytarcia. W okresie tym urządzenie wyciągowe wykonało około $6,2.10^4$ wyciągów, rys. 17. Praca tarcia odniesiona do 1 cm^3 zużytej wykładziny wynosiła dla pierwszych 15000 wyciągów 1,24 Tm/cm^3, w dalszym okresie wzrosła do 3 Tm/cm^3. Należy tutej podkreślić to, że wykładzina ta poddana długotrwałym badaniom zmęczeniowym na stanowisku laboratoryjnym nie wykazała żadnych pęknięć zmęczeniowych. Elementy tej wykła-

dziny wykonane w postaci bloków miały także wadę technologiczną wynikającą ze złej wulkanizacji, rys. 20. Na kole pędnym szybu IIb od 13.9.68 roku pracuje do chwili obecnej wykładzina z tworzywa Modar-R3. Tworzywo sztuczne Modar-R3 zastosowano jako wykładzinę na kole pędnym szybu Ib, rys. 16. Wykładzina ta pracuje od 4.12.1967 roku do chwili obecnej. W tym okresie czasu urządzenie wyciągowe wykonało około 30.10^4 wyciągów. Średnia praca tarcia zużyta na wytarcie 1 cm^3 wykładziny wynosi około 16,0 Tm/cm^3, natomiast w okresie od 1.7.1968 do 3.11. 1968 roku wynosiła 17,2 Tm/cm^3. Otrzymane wartości pracy tarcia odniesionej do 1 cm^3 zużytej wykładziny są bardzo wysokie i przeszło dwukrotnie większe od otrzymanych dla szybu IIb dla tworzywa Modar-R3 i kilkakrotnie większe od otrzymanych dla tworzywa Skega.

Różnice te mogą wynikać przede wszystkim z większych nacisków powierzchniowych występujących na kole pędnym szybu IIb a także z niezrównoważonego kręcenia się liny nośnej wynikłego z zastosowania w tym szybie skipu i przeciwciężaru.

Przeprowadzone badania zużycia elementów wykładziny z różnych tworzyw sztucznych na ścieranie przy różnych naciskach powierzchniowych wykazały, że najbardziej odpornym (w warunkach laboratoryjnych) jest tworzywo Skega, następnie Modar-R3, Kautex, PCW-W4 i jako ostatnie RB. Wyniki te jednak nie znalazły potwierdzenia w badaniach eksploatacyjnych w których najbardziej odpornym tworzywem na ścieranie okazał się Modar-R3. Z badań ruchowych wynika, że ścieranie rowka linowego wykładzin z tworzywa Modar-R3 i Kautex przebiega zbyt wolno szczególnie w zakresie określonym stosunkiem 55/120 i 55/62, co ułatwia przedwczesne zniszczenie zmęczeniowe wykładziny. Pragnąc uzyskać większą trwałość wykładziny należałoby w podanym wyżej zakresie głębokości rowka linowego przyspieszać jego ścieranie przez stosowanie operacji przetaczania rowka.

Zastosowanie wykładzin z tworzyw mało odpornych na niewielkie zmiany temperatury samowzbudnej przy nawet średnich naciskach i stosunkowo dużej intensywności wydobycia powoduje szybkie niszczenie wykładzin i tak np. na szybie IIb kopalni Makoszowy wykładzina z PCW-W4 pracowała zaledwie 16 godzin, na ko-

palni Knurów poślizg niesprężysty liny który miał miejsce na długości około 30 m spowodował zniszczenie całej wykładziny z tworzywa RB, na tej samej kopalni po około 100 wyciągach trzeba było wymienić nową wykładzinę z tworzywa RB rozwarstwioną przez smar konserwacyjny liny.

6. Uwagi końcowe

Przy doborze tworzyw sztucznych na okładziny kół pędnych należy uwzględnić:

- wielkość średniego nacisku powierzchniowego liny na żłobek, przy czym tworzywo Modar-R3 i Kautex może być stosowane do nacisków rzędu 25 kG/cm^2 z równoczesnym liczeniem się, że nastąpi szybkie niszczenie zmęczeniowe wykładziny, tworzywa PCW-W4 i RB mogą być bezpiecznie stosowane w zakresie nacisków do 10 kG/cm^2 przy małej częstotliwości zmian obciążenia, mniejszej od 0,3 Hz, natomiast tworzywa gumowe jak Skega lub taśma przenośnikowa mogą być stosowane w zakresie nacisków do 15 kG/cm^2 i dużej częstotliwości zmian obciążenia,
- częstotliwość zmian obciążenia elementów wykładziny, która zależy od głębokości szybu, średnicy koła pędnego, prędkości jazdy i liczby wyciągów na zmianę lub dobę. Wszelkie przerwy w ruchu urządzenia w zasadzie przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości zmęczeniowej wykładzin,
- wielkość zmian temperatury otoczenia, przy wysokich temperaturach najlepsze własności mechaniczne wykazują wykładziny z tworzywa na bazie gumy,
- zespół własności mechanicznych, termicznych i chemicznych tworzywa mających dodatni wpływ na współpracę wykładziny z liną. Do najważniejszych wielkości należą: twardość w stopniach Shore a, która powinna wynosić około 90°, moduł sprężystości podłużnej i poprzecznej współczynnik lepkości dynamicznej, współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, odporność na zmiany mechanochemiczne, odporność na starzenie, działanie smarów i względnie wysokich temperatur, odporność na szybkie ścieranie i zniszczenie zmęczeniowe,

- uzyskiwaną dla danej pary trącej wielkość współczynnika sprzężenia, przy czym szerokie badania przeprowadzone w licznych krajach wskazują na to, że tworzywa na bazie gumy wykazują większą stałość współczynnika tarcia w czasie od tworzyw na bazie polichlorku winylu,
- dobrą obrabialność tworzywa,
- możliwość występowania wad materiałowych np. niewłaściwa wulkanizacja warstw tworzywa, puste przestrzenie w materiale, rysy itp., które to wady przyczyniają się do szybkiego zniszczenia wykładziny,
- rodzaj urządzenia wyciągowego, jedno lub wielolinowe.

Należy zaznaczyć, że dotychczas nie udało się wyprodukować takiego tworzywa sztucznego, którego własności mechaniczne i inne w pełni odpowiadałyby wymaganiom stawianym przez współpracę liny z wykładziną, szczególnie w ciężkich warunkach pracy np. przy dużych naciskach powierzchniowych i częstotliwościach zmian obciążenia. Tym niemniej tworzywa: Modar-R3, Kautex, TP-OFB i inne na bazie gumy, mogą zadowalająco spełniać w pewnych zakresach nacisków i częstotliwości zmian obciążenia rolę wykładzin kół pędnych maszyn wyciągowych.

LITERATURA

[1] ANTONIAK J. i inni: Badania dotyczące siły tarcia liny po wkładkach wykładzin kół pędnych. Katedra Maszyn Górniczych Pol.Śl. Gliwice, styczeń 1967 r.

[2] ANTONIAK J. i inni: Modele mechaniczne symulujące polimery stosowane jako okładziny kół pędnych. Katedra Maszyn Górniczych Pol. Śl. Gliwice, czerwiec 1967 r.

[3] FERRY J.D.: Lepkosprężystość polimerów. WNT Warszawa 1965 r.

[4] EIRICH F.R. i inni: Rheology. Academic Press. New York and London 1960 r.

[5] DYLĄG Z., ORŁOŚ Z.: Wytrzymałość zmęczeniowa materiałów. WNT Warszawa 1962 r.

[6] KOSTECKI K. i inni: Prace badawcze Katedry Maszyn Górniczych Pol. Śl. Gliwice 1968-69 r.