

JERZY MILANOWSKI, RYSZARD TESMER

*Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie*

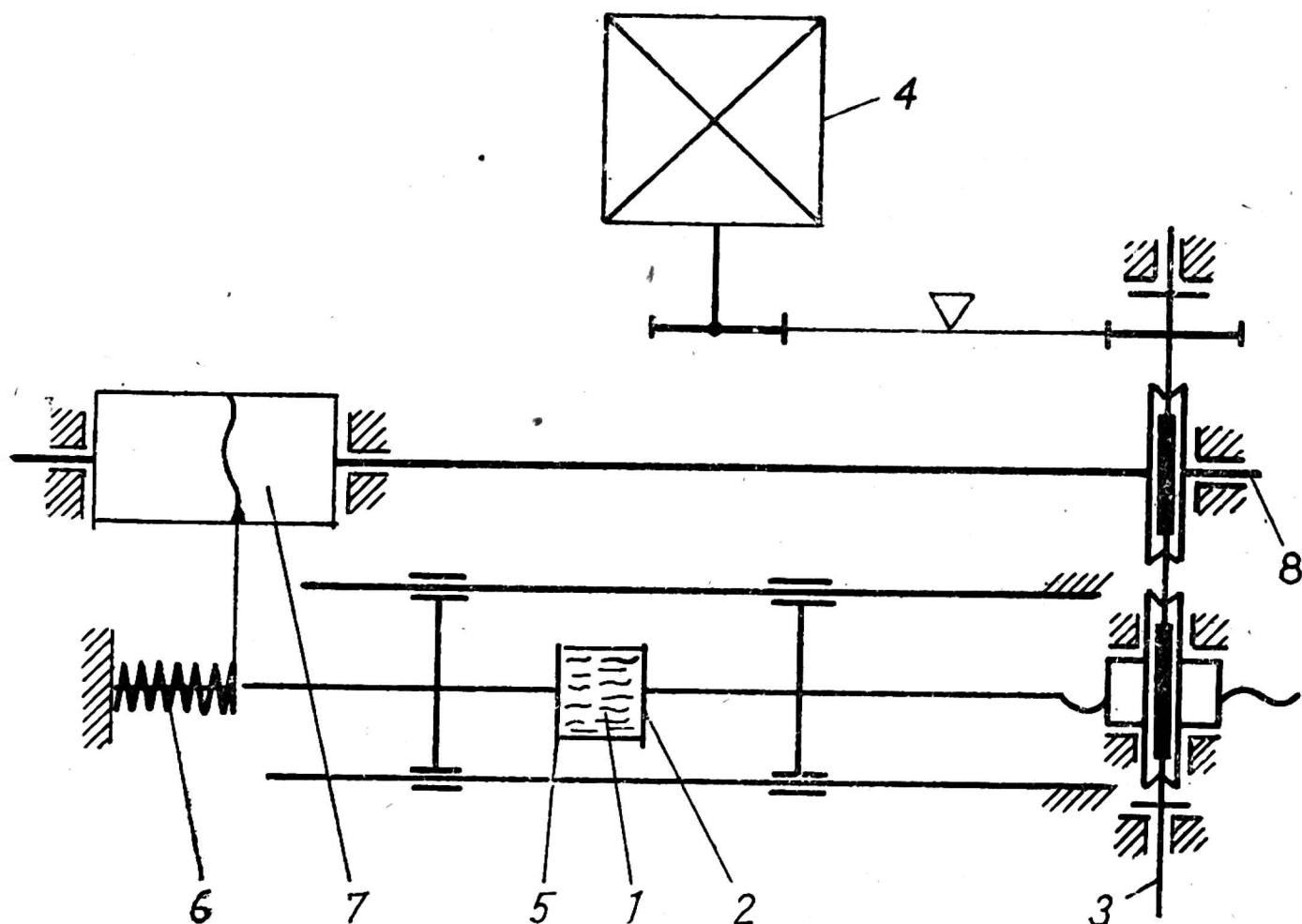
## WPLYW TEMPERATURY I Szybkości ODKSZTAŁCEN NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE MIĘSA MROŻONEGO

Właściwości mechaniczne mięsa mrożonego zależą istotnie od jego temperatury i szybkości odkształceń. Badania wpływu temperatury na takie parametry mięsa jak: moduł Younga  $E$ , liczbę Poissona  $\nu$ , graniczną wytrzymałość na ściskanie, udarność  $U$ , prowadzili między innymi: Cziżow [1], Gurwic i inni [2, 3, 4]. Wyniki tych badań w większości nie dają się bezpośrednio wykorzystać w praktyce technologii przemysłu spożywczego ze względu na to, że zakres temperatur w jakich prowadzone były badania nie pokrywa w pełni zakresu stosowanego w przechowywaniu mięsa. Szerszych badań wpływu szybkości odkształceń na właściwości mechaniczne mięsa dotychczas nie realizowano.

Celem niniejszej pracy są kompleksowe badania wpływu temperatury i szybkości odkształceń na właściwości mechaniczne mięsa, a szczególnie określenie zakresu wartości temperatur i szybkości odkształceń przy których występują zjawiska: kruchego pęknięcia lub plastycznego odkształcenia. Znajomość tych zakresów jest istotna ze względu na technologiczne możliwości rozdrabniania mięsa mrożonego z wykorzystaniem jego odkształceń w postaci ściskania.

### *Opis stanowiska badawczego*

Badania przeprowadzono na stanowisku w skład którego wchodziły; maszyna wytrzymałościowa „Tensometer Type W” produkcji Monsanto Tensometer (Wielka Brytania), której budowę przedstawiono na schemacie kinematycznym (rys. 1) oraz urządzenie do zamrażania Ultra-Kriostat typ N-180 produkcji NRD. Maszyna wytrzymałościowa wyposażona jest w dwie płytki ściskające między którymi umieszczano badaną próbkę 1. Płytkę napędzana jest ze stałą prędkością z silnika 4 poprzez układ przekładni 3 o nastawianym skokowo przełożeniu. Druga płytkę 5 działa na czujnik siły 6, wartość siły rejestrowana jest na rejestratorze 7, którego bęben napędzany jest silnikiem 4 przez przekładnię 8. Zgodnie z opisem technicznym maszyny wytrzymałościowej nie-



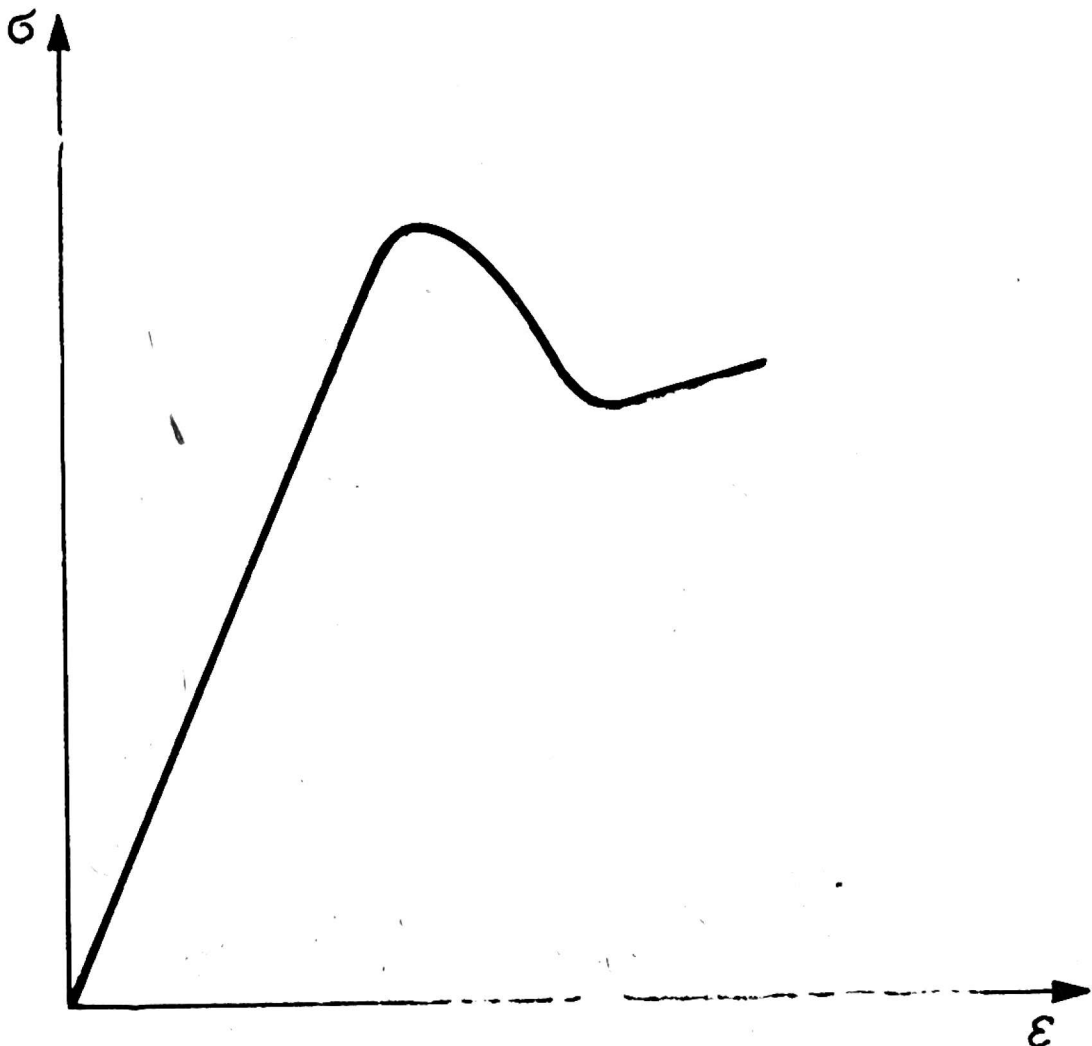
Rys. 1. Schemat kinematyczny maszyny wytrzymałościowej

dokładność wskazań siły wynosi w najmniej korzystnym przypadku  $\pm 2\%$ . Odczytu sił z wykresów dokonywana za pomocą specjalnego liniału wchodzącego w skład wyposażenia maszyny z dokładnością do  $\pm 250\text{N}$  ( $\pm 25\text{kG}$ ). Próbki mięsa przygotowywano przez wycinanie ich nożem rurkowym z mięśni szkieletowych poprzecznie prążkowanych trzody chlewnej tak aby udział struktur łącznotkankowych (środmięsna, omięsna wewnętrzna) był możliwie jednakowy w każdej próbce. Włókna mięśniowe ułożone były w próbkach zgodnie z kierunkiem odkształcania (ściskanie wzdłuż włókien). Tak przygotowane próbki walcowe umieszczano w tulejkach z tworzywa sztucznego PCV o średnicy wewnętrznej i wysokości równej  $0,041\text{ m}$  i zamrażano do temperatury  $263\text{ K}$  ( $-10^\circ\text{C}$ ), następnie wyrównywano powierzchnie czołowe próbek i po wyjęciu ich z tulejek zamrażano ponownie do żądanej temperatury. Temperaturę w komorze zmrażania kriostatu stabilizowano automatycznie i jednocześnie kontrolowano termometrem wewnątrz próbki wzorcowej z dokładnością  $\pm 1\text{K}$ . Po wyrównaniu temperatur na zewnątrz i wewnątrz próbek i przetrzymaniu ich przez określony czas w tych warunkach umieszczano je między wychłodzonymi do danej temperatury płytkami ściskającymi maszyny wytrzymałościowej i prowadzono proces odkształcania. Odczyty odkształceń dokonywane były przymiarem z dokładnością

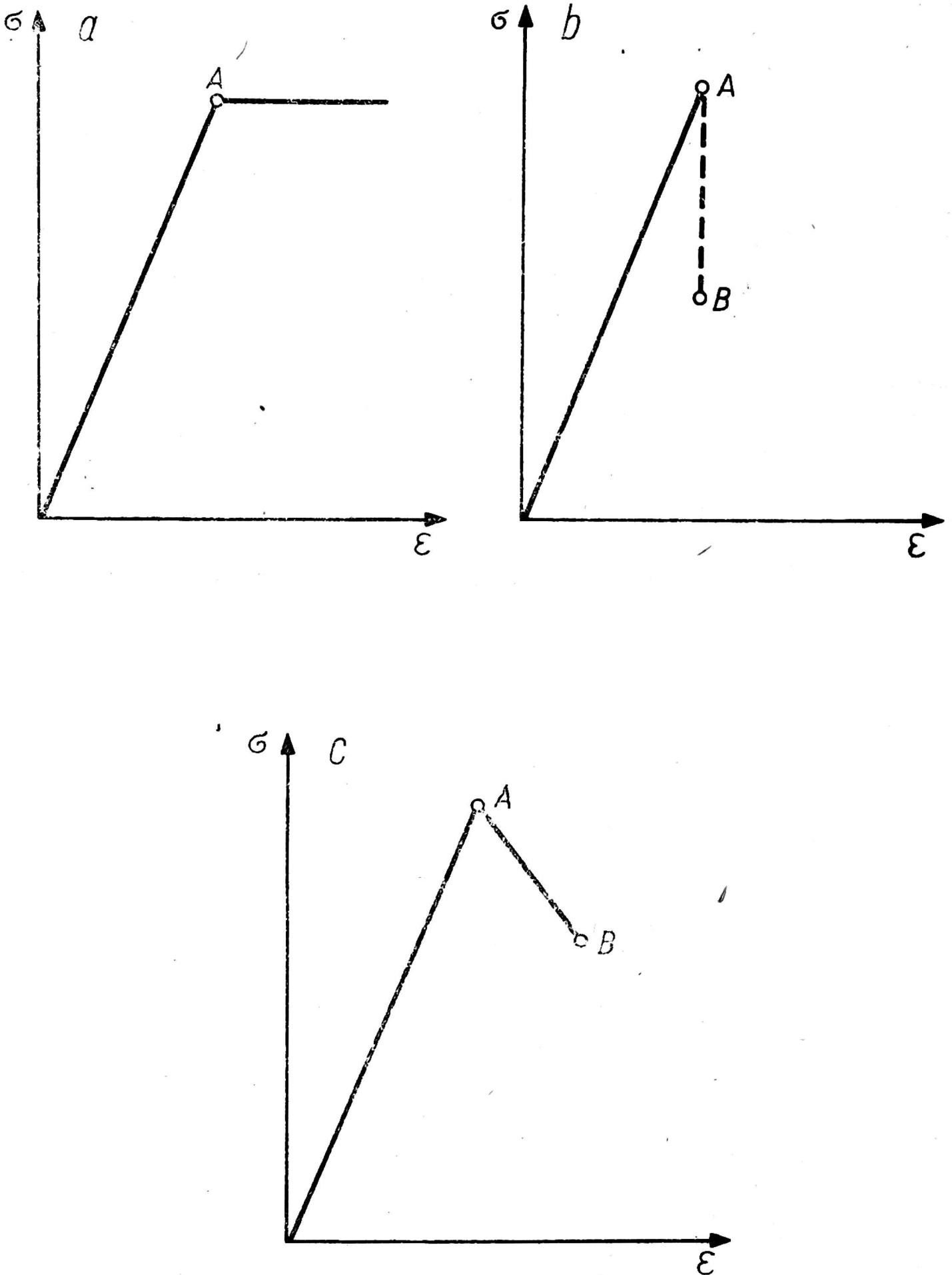
do jednej działki wartość której przy uwzględnieniu przełożenia wynosiła  $\pm 0,1$  mm.

### Zasady interpretacji krzywych ściskania

Badany materiał poddawany był ściskaniu ze stałą prędkością  $v$  w granicach  $1,07 \times 10^{-4} + 8,33 \times 10^{-4}$  m/s (przedział zmienności prędkości ograniczony był możliwościami użytej do badań maszyny wytrzymałościowej), przy różnych temperaturach  $\Theta$  zamrożenia od 228 K ( $-45^{\circ}\text{C}$ ) do 263 K ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) (zakres temperatur przechowywania bloków mięsa zamrożonego). Uzyskane przy tym krzywe ściskania jako funkcje  $\sigma = f(\epsilon)$  gdzie:  $\sigma$  — naprężenie ściskające,  $\epsilon$  — odkształcenie względne, posiadają charakter pokazany na rys. 2. Dla interpretacji tych krzywych wprowadzono tutaj pojęcia odpowiednich materiałów idealnych scharakteryzowanych przebiegami krzywych ściskania. Pierwszym granicznym przypadkiem takiego materiału jest materiał sprężysto-plastyczny (SP). Postać krzywej odkształceń takiego materiału pokazano na rys. 3a. (przy założeniu stałej prędkości odkształceń). Jak widać naprężenia w takim



Rys. 2. Przykładowy przebieg krzywej ściskania



Rys. 3 a, b, c. Krzywe ściskania dla materiałów idealnych; a — sprężysto-plastyczny, b — sprężysto-kruchy, c — sprężysto-plastyczno-kruchy

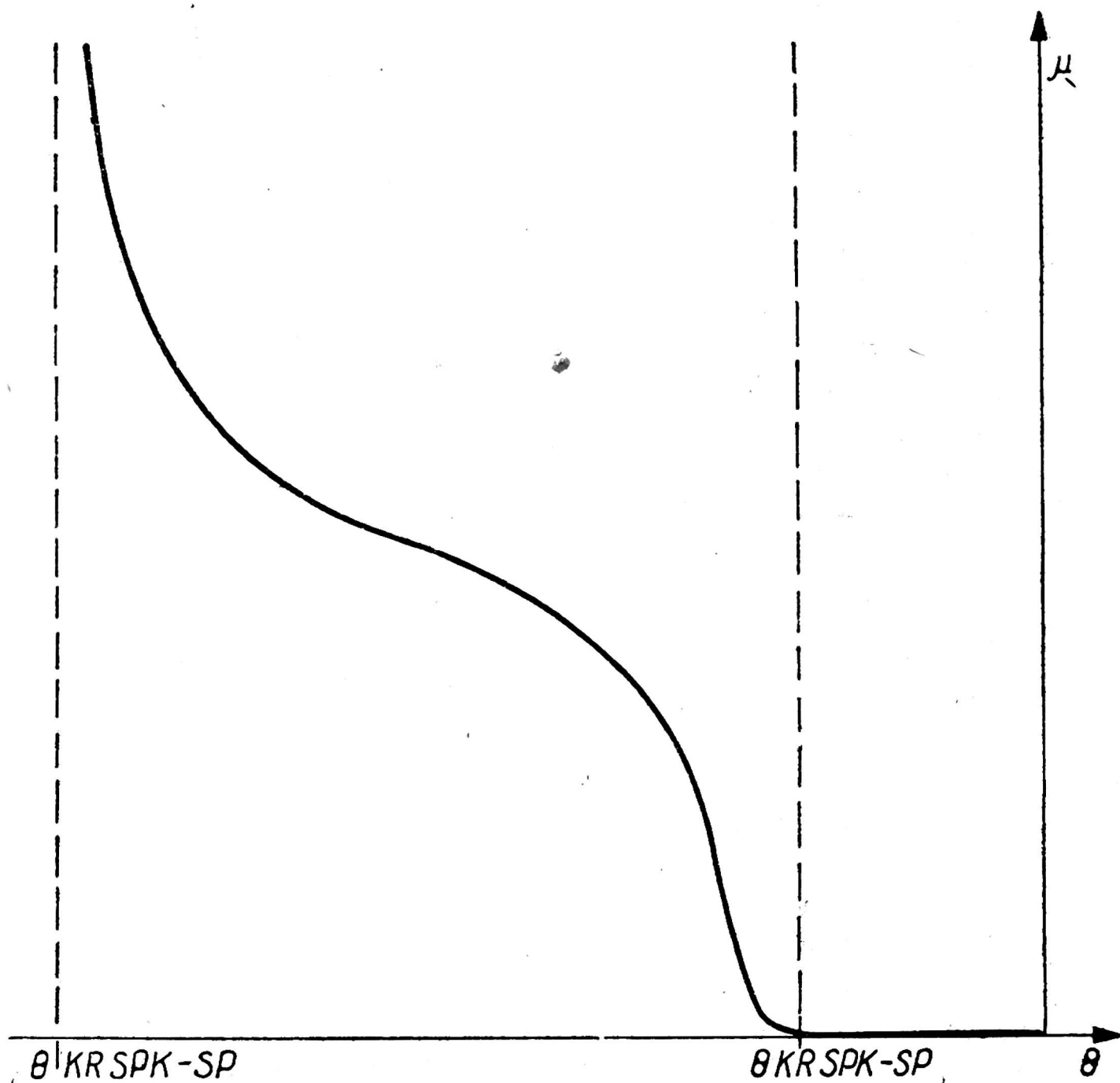
materiale narastają do pewnej wartości związanej z granicą sprężystości (punkt A na rys. 3a.), przy dalszym odkształcaniu naprężenia ustalają się. Drugim granicznym przypadkiem materiału idealnego jest materiał sprężysto-kruchy (SK) charakteryzujący się kruchym pękaniem. Na wykresie (rys. 3b) przejawia się to skokowym zmniejszeniem naprężeń w odkształcanym materiale. Pomiedzy wyodrębnionymi idealizacyjnie przypadkami krańcowymi występuje cała klasa przypadków pośrednich, w których zachowanie się ciała wykazuje zarówno cechy plastycznego płynięcia jak i pseudo-kruszenia. Zachowanie się takich ciał sprężysto-plastyczno-kruchych (SPK) ilustruje rys. 3c. Zachowanie się ciała w obszarze poza punktem B zależy od warunków usunięcia lub pozostawienia materiału między płytkami ściskającymi. Właściwości plastyczno-kruche ciała charakteryzowane będą tutaj za pomocą stosunku:

$$\mu = \frac{\delta\sigma}{\delta\varepsilon} \quad (1)$$

Dla idealnych ciał sprężysto-plastycznych (rys. 3a) współczynnik ten ma wartość 0, zaś dla ciał sprężysto-kruchych  $\infty$ .

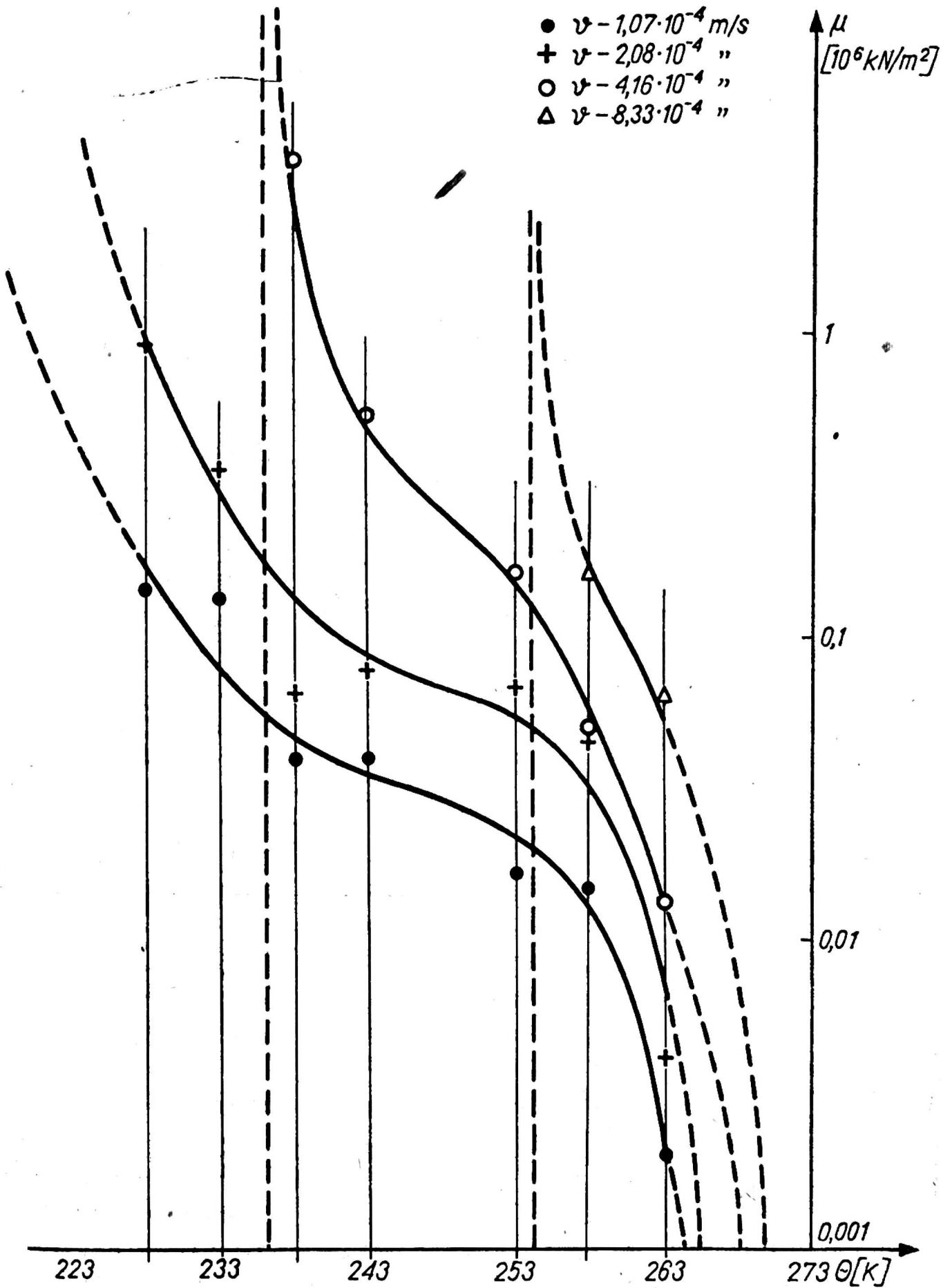
#### *Zależność właściwości mechanicznych mięsa od prędkości odkształceń i temperatury*

Jak wspomniano zachowanie się mięsa zależy od prędkości odkształcania i od temperatury zamrożenia. W związku z powyższym na podstawie charakteru wykresu  $\mu(\Theta)$ ,  $\mu(v)$  określić można obszary plastycznego i kruchego zachowania się mięsa. Ogólny charakter zmienności występujący na wykresach zależności  $\mu(\Theta)$  ma postać pokazaną na rys. 4. Występujące na wykresie rys. 4 krytyczne wartości temperatur  $\Theta_{KR\ SPK-SP}$  oraz  $\Theta_{KR\ SK-SPK}$  w funkcji  $v$  rozdzielają odpowiednio obszary zachowania się mięsa jako ciała SP od obszarów jego zachowania się jako ciała SPK oraz zachowania się mięsa jako ciała SPK od jego zachowania jako ciała SK. Eksperymentalnie uzyskane wykresy (rys. 5) stanowią fragmenty tego ogólnego wykresu (rys. 4) ze względu na zakres temperatur w którym przeprowadzono badania. Z rysunku tego wynika że krytyczne wartości temperatur  $\Theta_{KR\ SK-SPK}$  i  $\Theta_{KR\ SPK-SP}$  przesuwały się w kierunku wyższych temperatur wraz ze wzrostem prędkości odkształcania. Ogólny charakter zależności  $\mu=f(v)$  pokazano na rys. 6. Przy danej temperaturze zamrożenia dla wartości prędkości  $v > v_{KR\ SPK-SK}$  mięso zachowuje się jak ciało SK, dla wartości prędkości mniejszych od  $v_{KR\ SP-SPK}$  mięso zachowuje się jak ciało SP. Eksperymentalnie uzyskane krzywe  $\mu=f(v)$  stanowiące fragmenty krzywej ogólnej pokazano na rys. 7. Z ry-

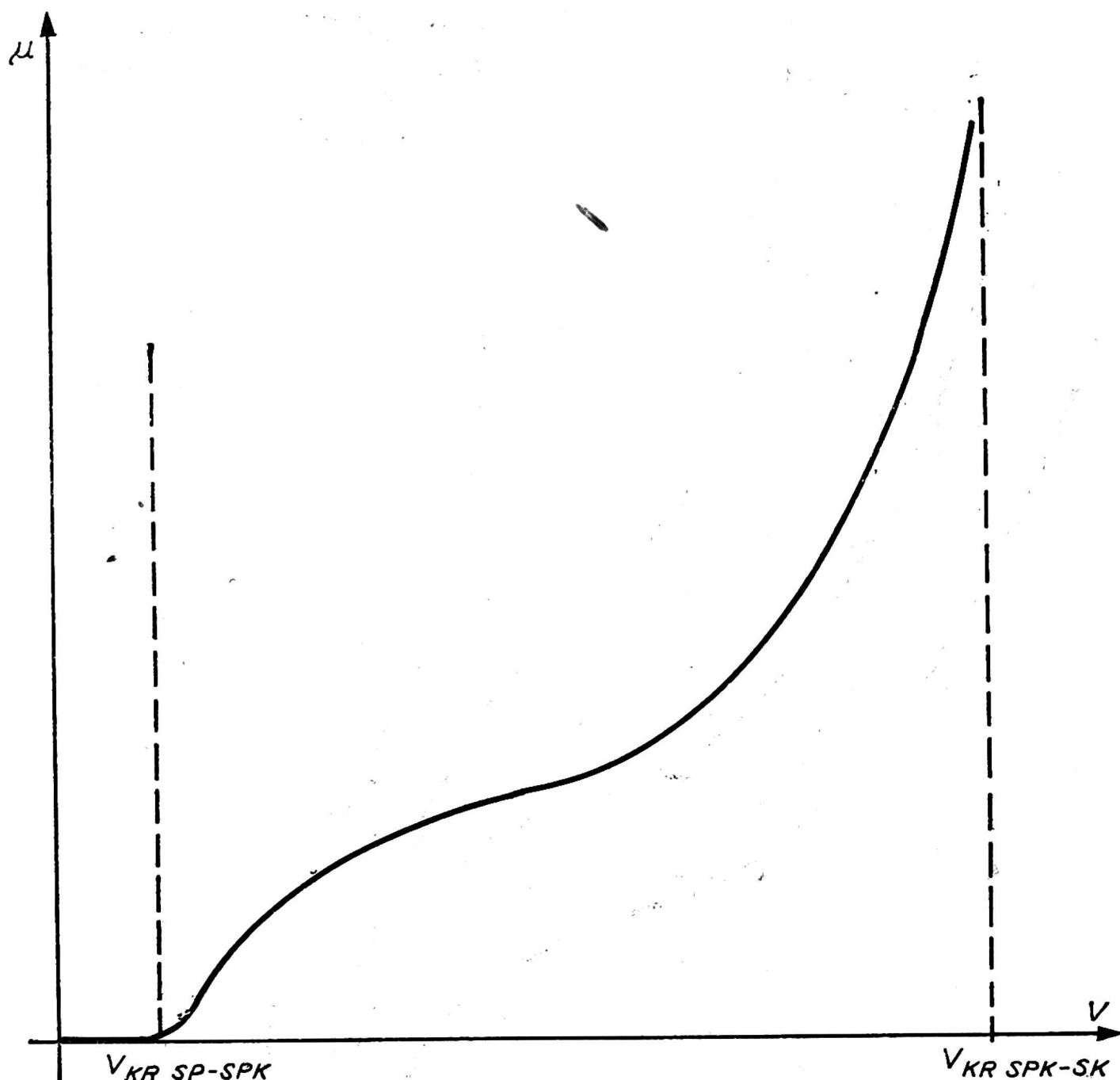


Rys. 4. Ogólny charakter zmienności  $\mu=f(\theta)$

sunku tego wynika, że krytyczne wartości prędkości  $v_{KR SPK-SK}$  i  $v_{KR SP-SPK}$  przesuwają się w kierunku  $v=0$  wraz z obniżaniem temperatury próbki. W oparciu o uzyskane eksperymentalnie zależności  $\mu=f(\theta)$  (rys. 5),  $\mu=f(v)$  (rys. 7) wykonano wykres zależności  $v=f(\theta)$  (rys. 8) dla krytycznych wartości tych parametrów przy których następuje kruche pękanie krzywa A oraz odkształcenie plastyczne krzywa B. Przedstawione krzywe A i B rozdzielają odpowiednio obszar zachowania się mięsa jako ciała SPK od obszarów SK oraz SP.



Rys. 5. Uzyskane eksperymentalnie wykresy zmienności  $\mu = f(\theta)$

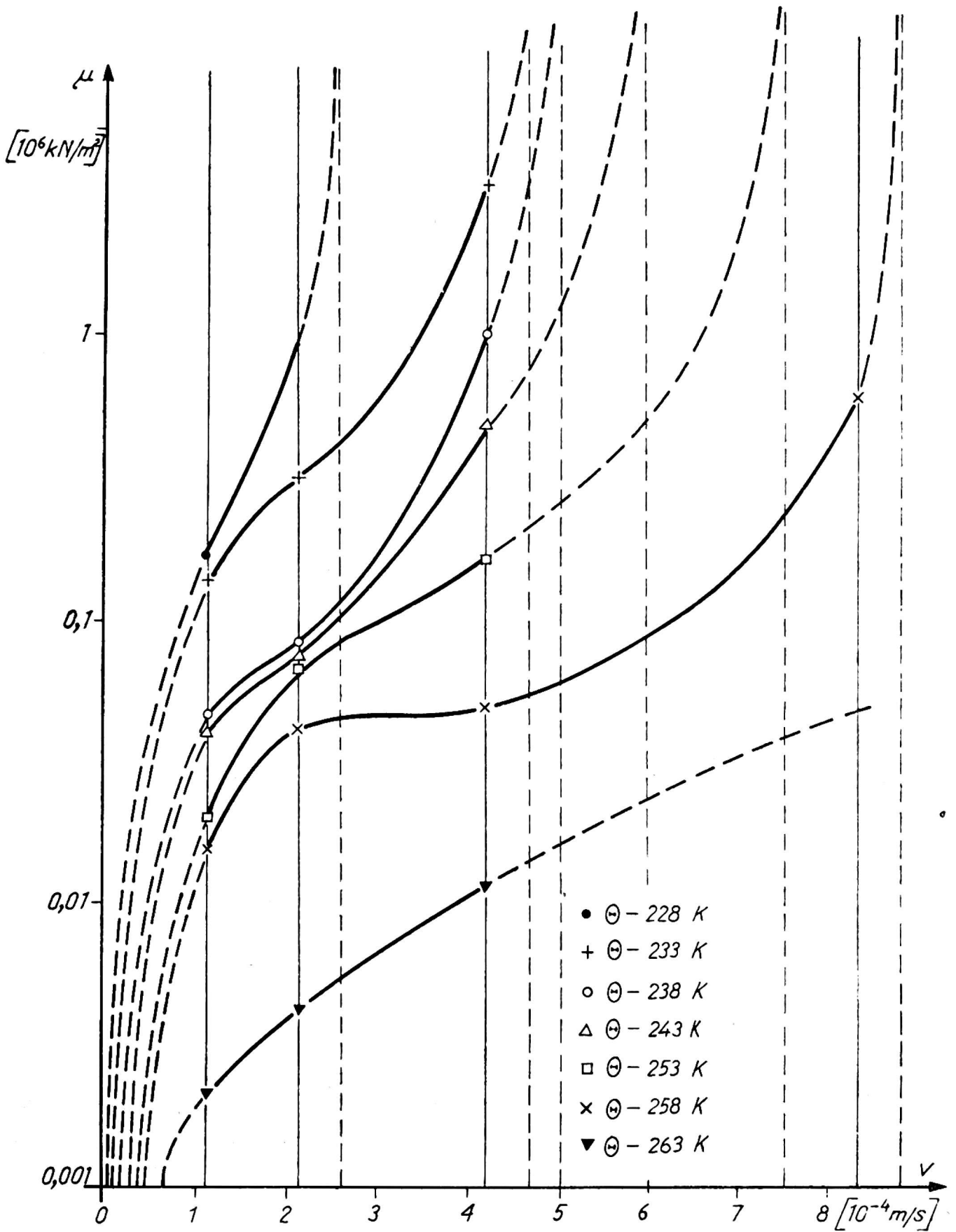


Rys. 6. Ogólny charakter zmienności  $\mu=f(v)$

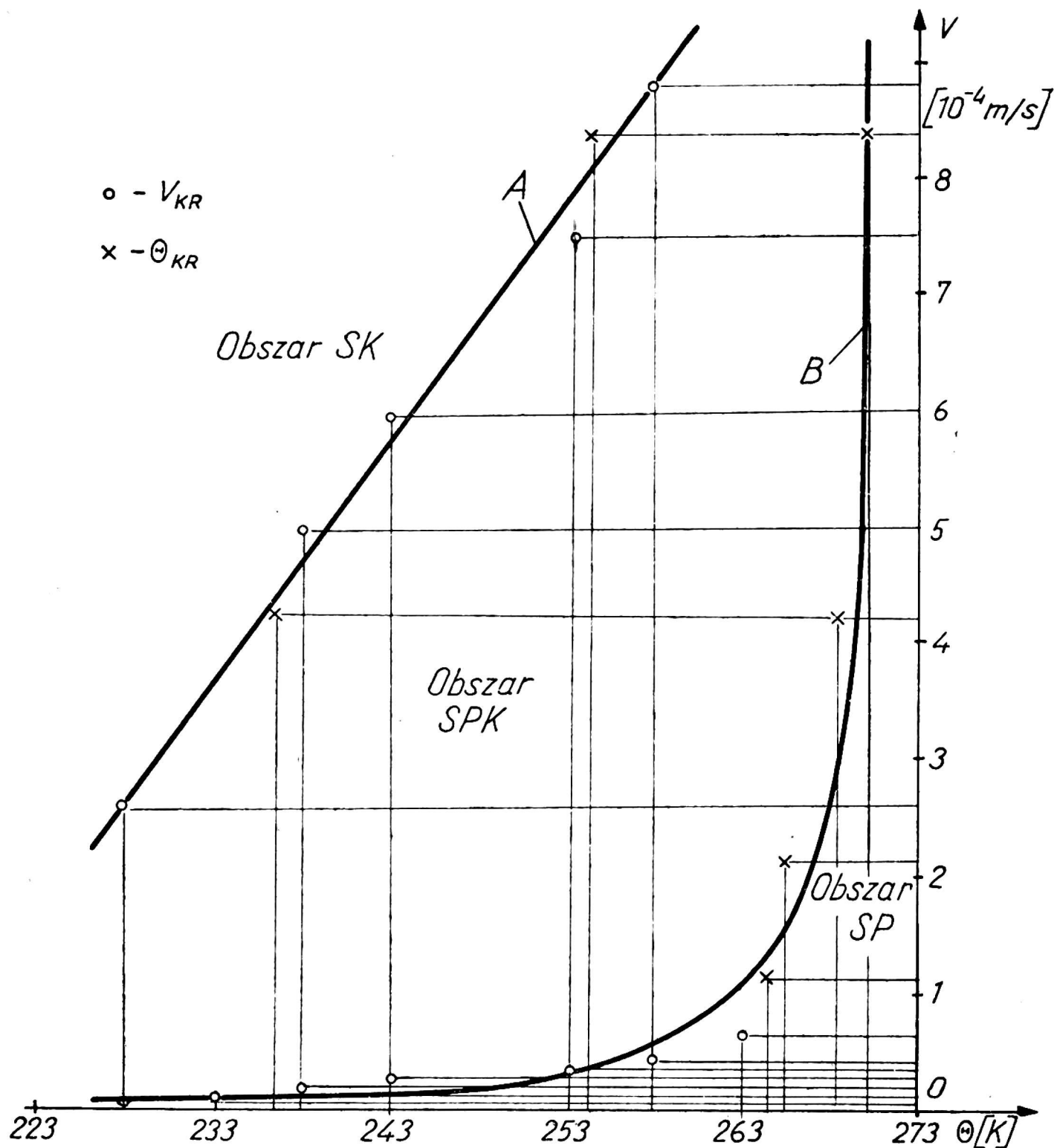
### Zależność modułu Younga od temperatury

W oparciu o informacje literaturowe [3], [4] w przyjętym tutaj przedziale temperatur, stwierdzić można że ogólny charakter zależności modułu sprężystości Younga  $E=f(\Theta)$  przy ustalonej prędkości odkształcenia  $v$  ma charakter pokazany na rys. 9. Na rysunku tym występuje wartość krytyczna temperatury  $\Theta_{KR E}$  poniżej której moduł Younga mięsa mrożonego ustala swoją wartość. Wyniki podane w literaturze [1], [2], [3], [4] odnoszą się w większości do przypadków bardzo małych prędkości odkształceń. Wynikowe zależności  $E=f(\Theta)$  dla różnych prędkości od-



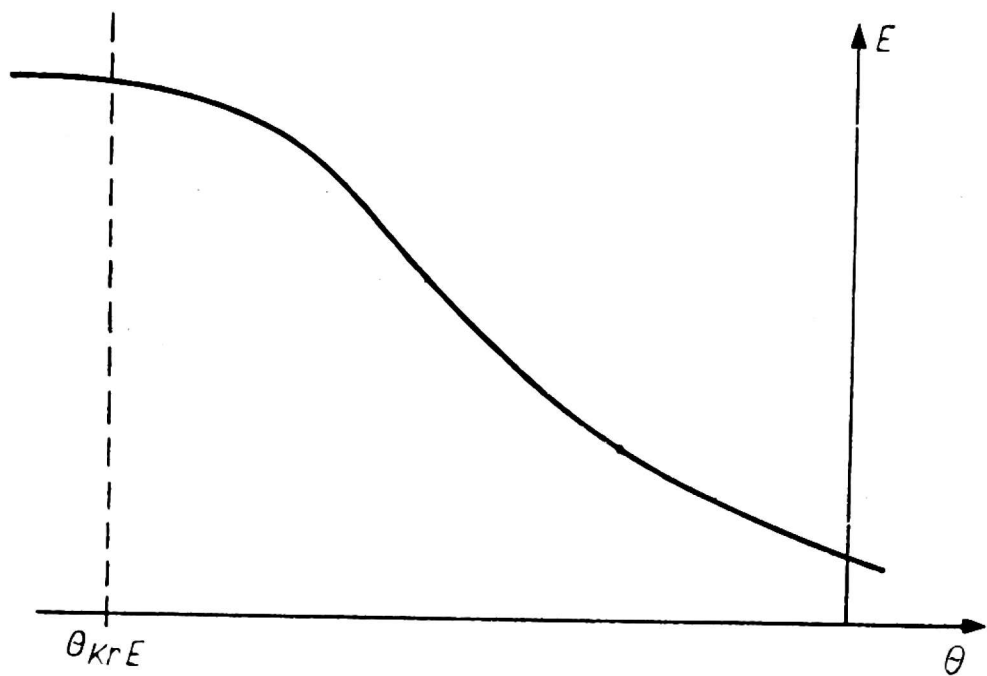


Rys. 7. Uzyskane eksperymentalnie wykresy zmienności  $\mu=f(v)$

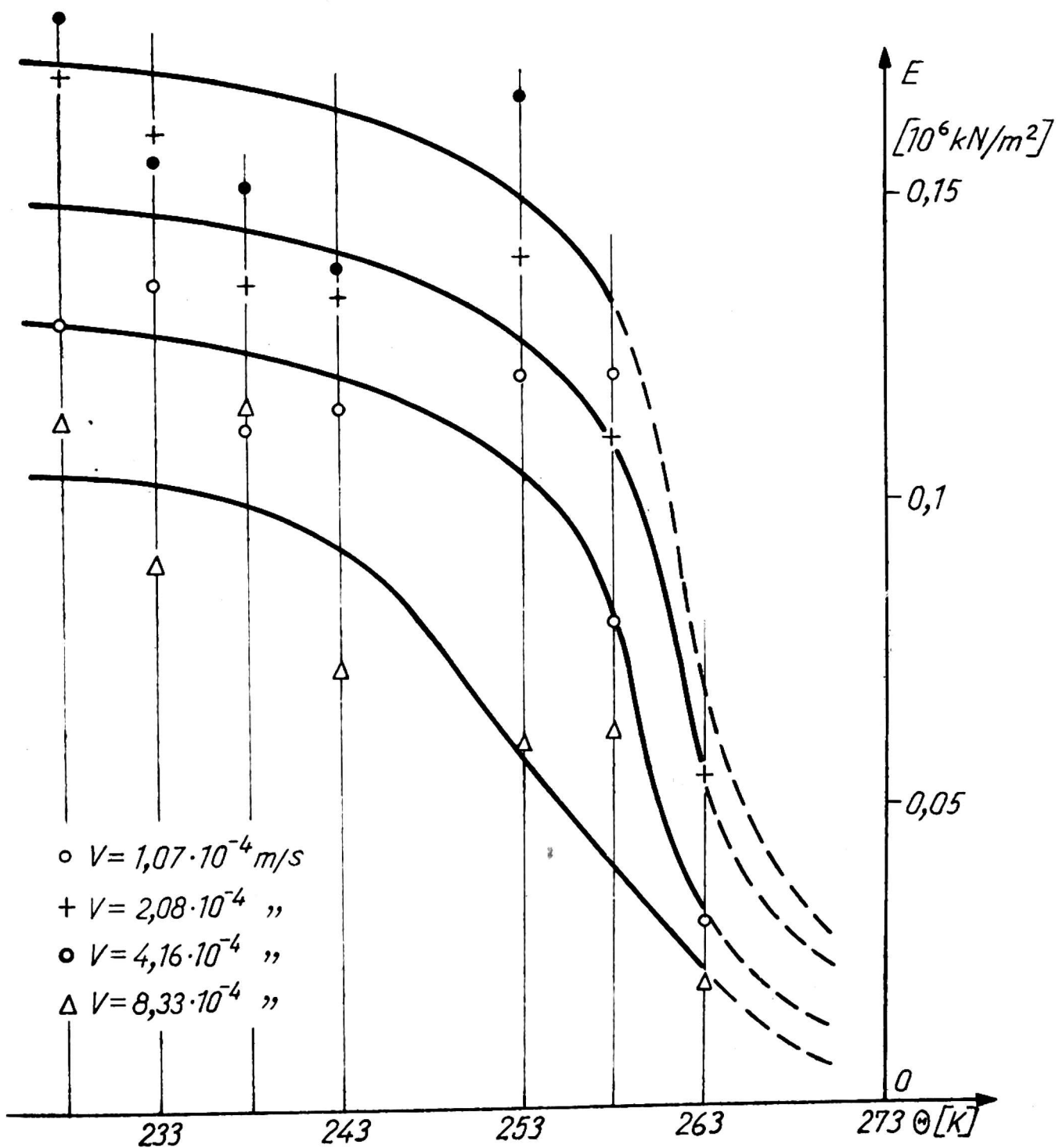


Rys. 8. Wykresy zależności  $v=f(\Theta)$  dla krytycznych wartości parametrów przy których następuje kruche pękanie krzywa A i odkształcenie plastyczne krzywa B

kształceń pokazano na rys. 10. Jak widać z tego rysunku wartość modułu Younga odpowiadająca krytycznej wartości  $\Theta_{KR E}$  zależy istotnie od prędkości odkształceń.



Rys. 9. Ogólny charakter zmienności  $E=f(\theta)$



Rys. 10. Uzyskane eksperymentalnie wykresy zmienności  $E=f(\theta)$

### Wnioski

W wyniku zrealizowanych badań stwierdzono, że mięso mrożone w zależności od temperatury i prędkości odkształceń zachowuje się jak trzy rodzaje ciał:

- ciało sprężysto-krucze  $\mu = \infty$
- ciało sprężysto-plastyczno-krucze  $0 < \mu < \infty$
- ciało sprężysto-plastyczne  $\mu = 0$ .

Podane informacje o wartościach krytycznych prędkości odkształceń  $v_{KR\ SPK-SK}$ , temperatury  $\Theta_{KR\ SK-SPK}$  przy których następuje zmiana zachowania się mięsa mogą być wykorzystane do wyboru wartości parametrów charakteryzujących urządzenia rozdrabniające. Dla określenia pracy kruszenia maszyn rozdrabniających wykorzystywane mogą być podane informacje o zależności modułu Younga  $E$  od temperatury i prędkości odkształceń rys. 10.

### LITERATURA

1. Cziżow G.B.: Procesy cieplne w technologii chłodniczej produktów żywnościowych. WNT, Warszawa 1974.
2. Gurvic V.T., i inni.: Mjasnaja Industrija, 3/1968.
3. Gurvic V.T., Baryšnikova L.P.: Cholodil'naja Technika, 6/1970.
4. Gurvic V.T., Prised'ko N.A.: Cholodil'naja Technika, 5/1969.