

WPŁYW WŁASNOŚCI REOLOGICZNYCH OLEJÓW ROŚLINNYCH JADALNYCH
NA OPORY PRZETŁACZANIA W KANAŁACH CYLINDRYCZNYCH APARATURY
SPOŻYWCZEJ

Kazimierz Jasik, Zbigniew Matulis, Grzegorz Ossowski

Instytut Maszyn Roboczych Politechniki Poznańskiej

WSTĘP

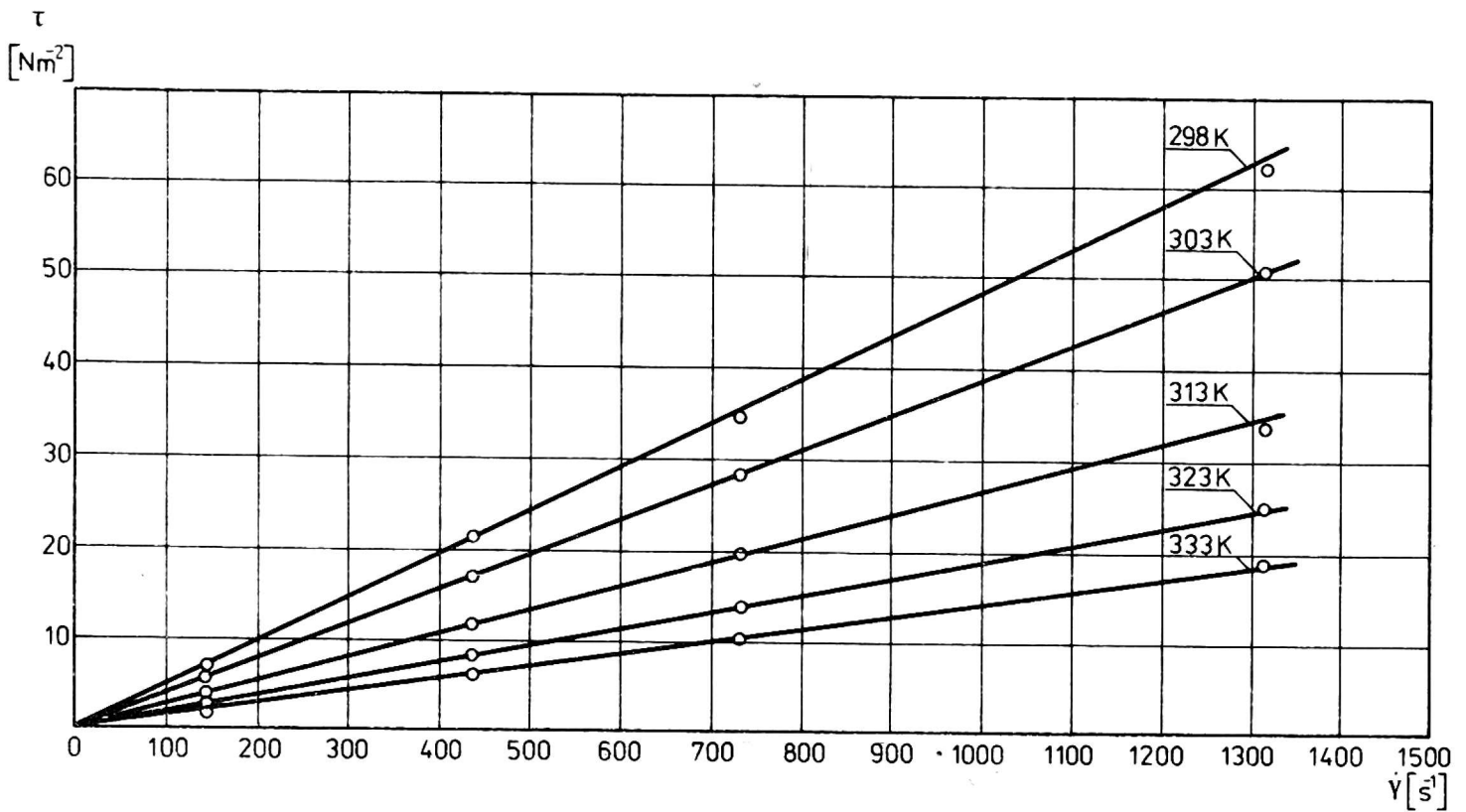
Wzrost wymagań w stosunku do maszyn i aparatów spożywczych, wyrażający się żądaniem konstrukcji maszyn i aparatów o wyższych wydajnościach, mniejszych energochłonnościach oraz dążeniem do automatycznej regulacji i do komputerowego sterowania procesami wymaga dokładnego określania i poznania istotnych zależności: własności fizyczne produktu spożywcze - parametry procesu - optymalna konstrukcja.

W dostępnej literaturze są prezentowane wyniki badań olejów w zakresie ich własności fizycznych na użytek technologiczny [2, 3, 5].

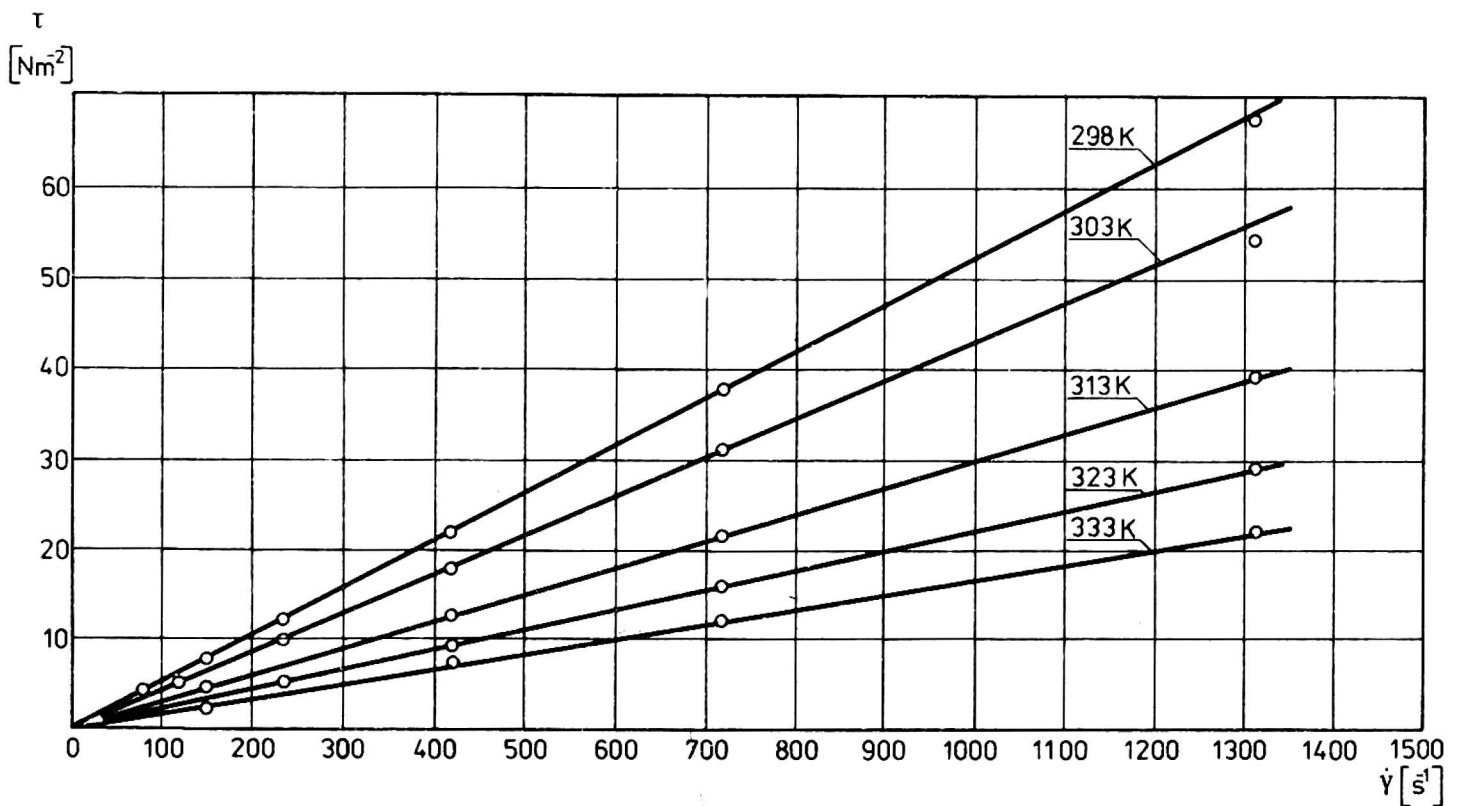
Celem pracy jest więc określenie wpływu własności reologicznych grupy olejów roślinnych jadalnych, stosowanych w przemyśle tłuszczowym, na spadek ciśnienia (oporów) przepływu w kanale cylindrycznym w zależności od rodzaju olejów, temperatury i promienia kanału cylindrycznego.

WYNIKI POMIARÓW NAPRĘŻENIA STYCZNEGO W OLEJACH ROŚLINNYCH

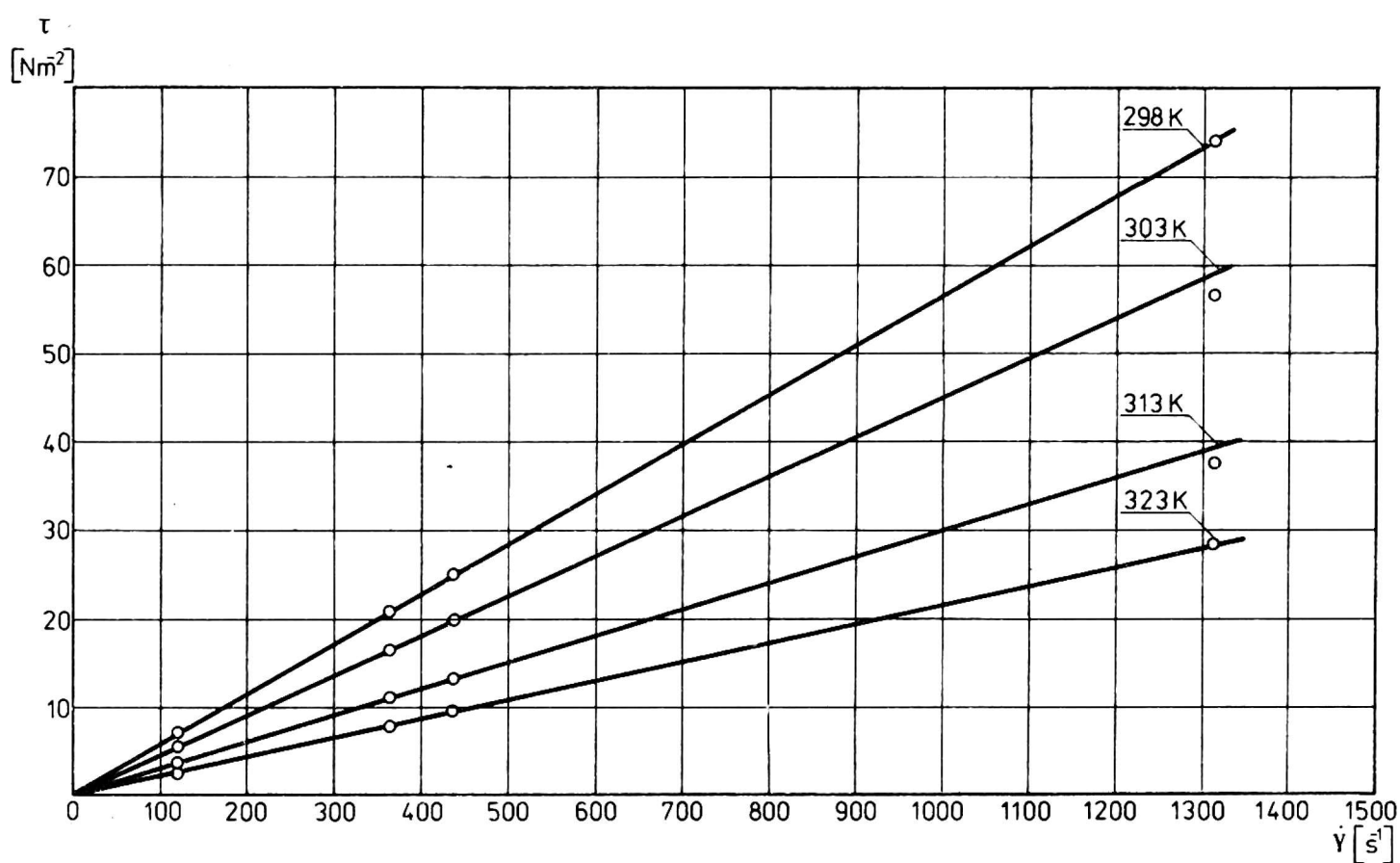
Pomiary naprężeń stycznych wykonano metodą ścinania obrotowego walcowego [1, 5, 6]. Wyniki średnich pomiarów naprężenia stycznego w funkcji szybkości, temperatury i rodzaju oleju przedstawia tabela 1. Wykresy naprężenia stycznego w funkcji szybkości ścinania dla badanych olejów przedstawiają rysunki 1 - 5.



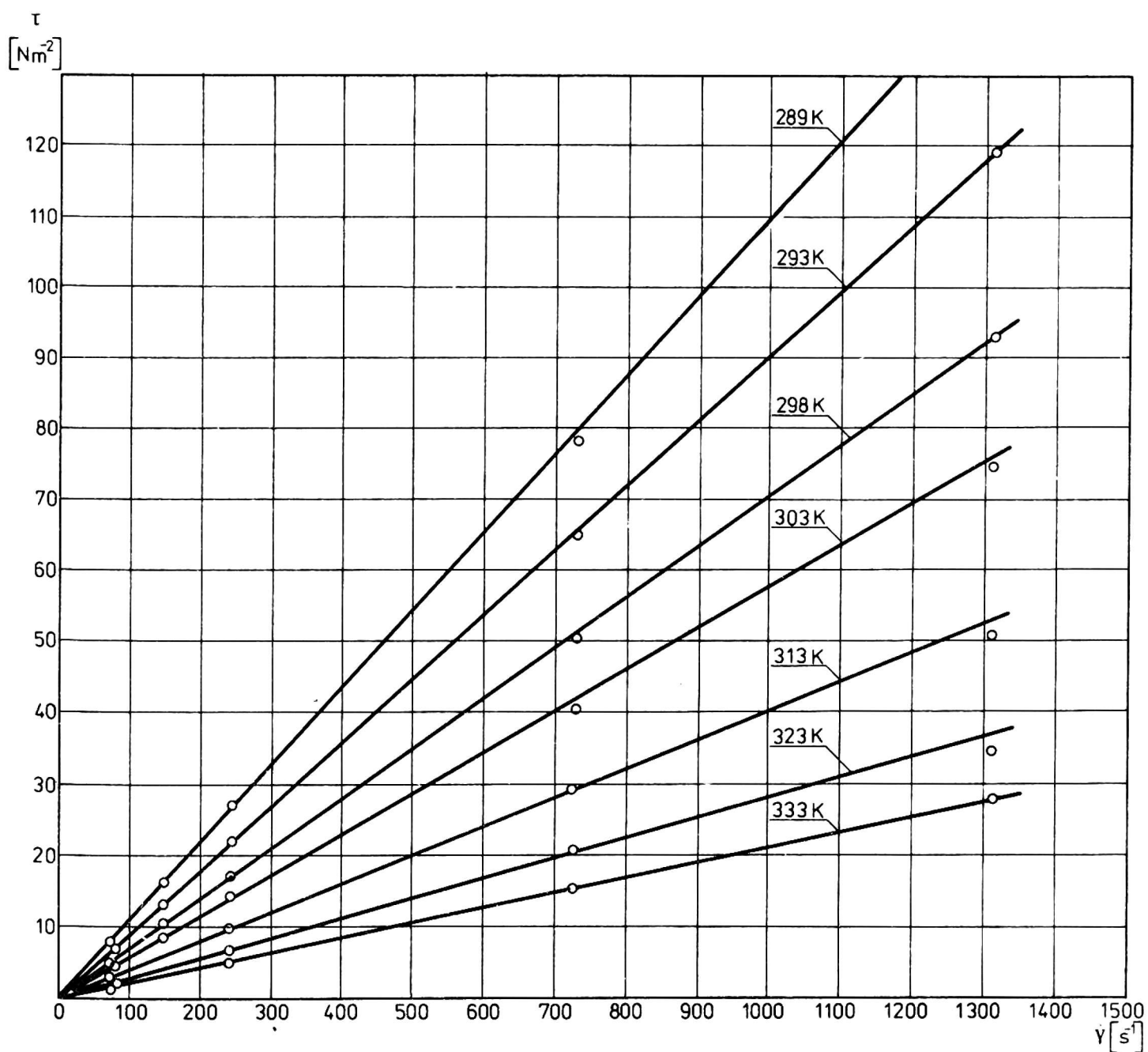
Rys. 1. Wykresy naprężeń ścinających oleju palmowego



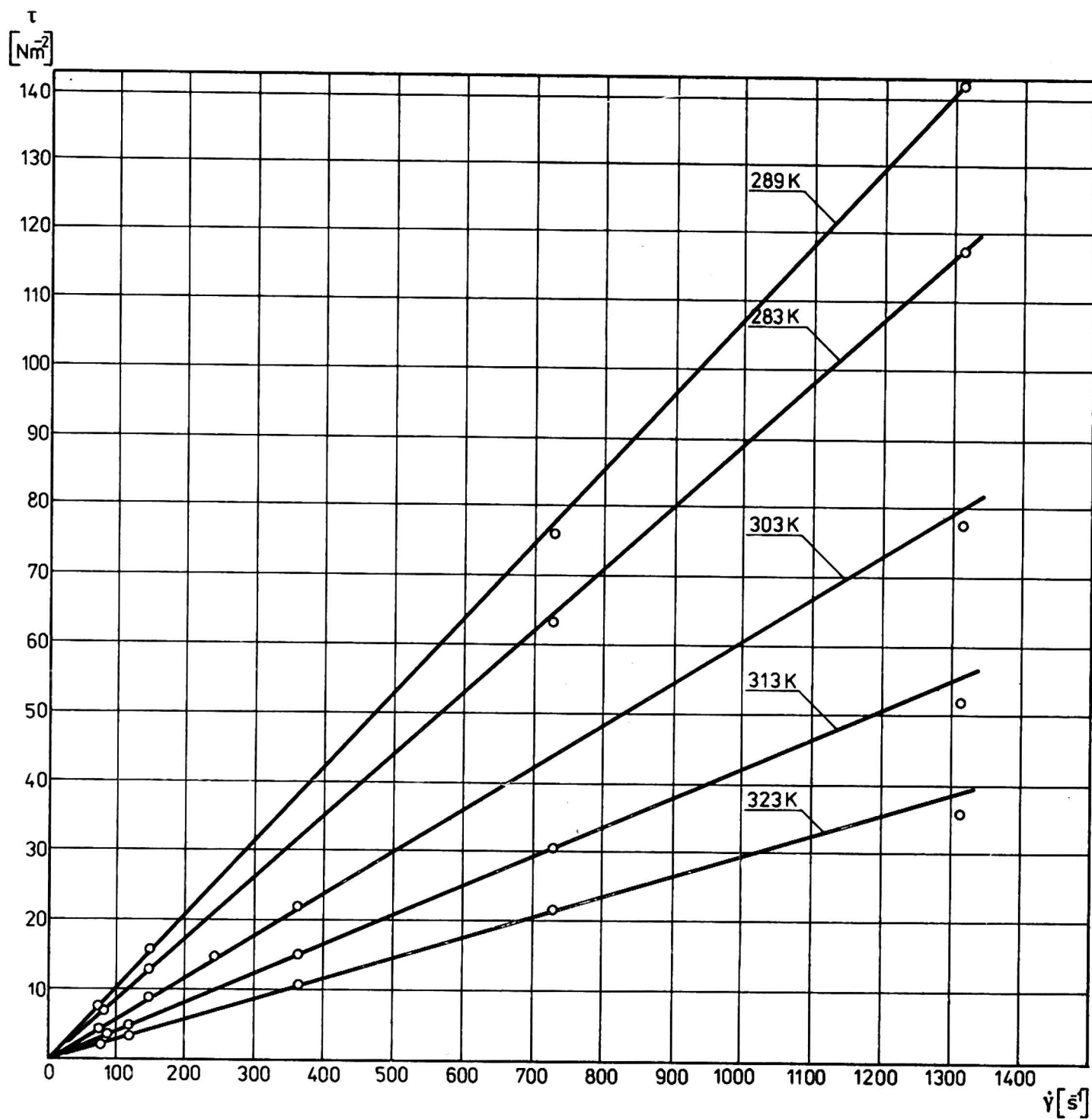
Rys. 2. Wykresy naprężeń ścinających oleju słonecznikowego



Rys. 3. Wykresy naprężeń ścinających oleju kokosowego



Rys. 4. Wykresy naprężeń ścinających oleju rzepakowego rafinowanego



Rys. 5. Wykresy naprężeń ścinających oleju rzepakowego surowego

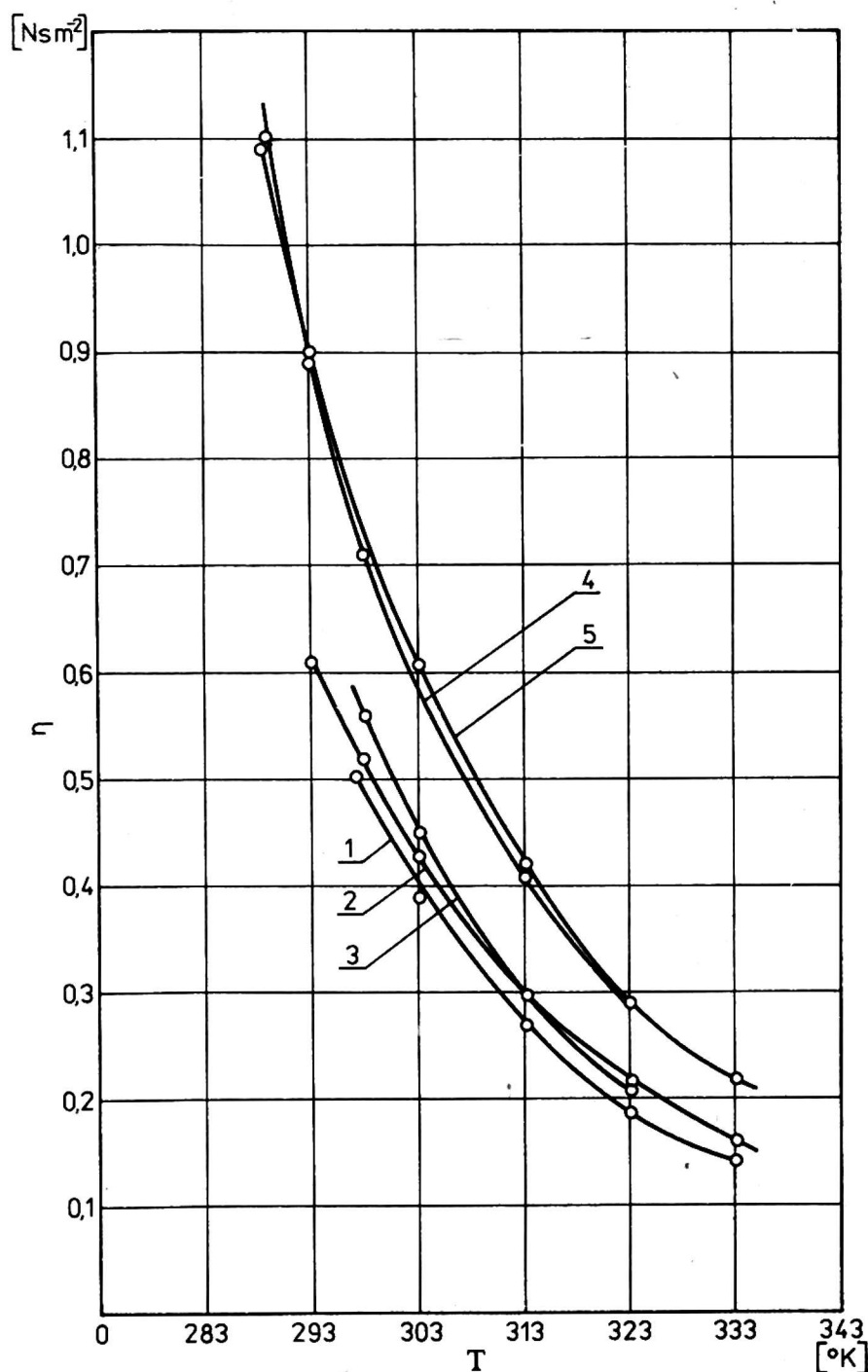
T a b e l a 1

Wyniki pomiarów naprężenia stycznego w zależności od szybkości ścinania i temperatury olejów jadalnych

Szybkość ścinania s-1	Rodzaj oleju																													
	olej kokosowy						olej palmowy						olej rzepakowy rafinowany						olej rzepakowy surowy						olej słonecznikowy					
	298	303	313	323	298	303	313	323	289	293	298	303	313	323	333	289	203	303	313	323	298	303	313	323	298	303	313	323		
temperatura																														
N s m ⁻²																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
0,1	0,36	0,58	0,81	1,04	1,27	1,50	1,73	1,96	2,19	2,42	2,65	2,88	3,11	3,34	3,57	3,80	4,03	4,26	4,49	4,72	4,95	5,18	5,41	5,64	5,87	6,10	6,33	6,56		
9	0,48	0,67	0,86	1,05	1,24	1,43	1,62	1,81	2,00	2,19	2,38	2,57	2,76	2,95	3,14	3,33	3,52	3,71	3,90	4,09	4,28	4,47	4,66	4,85	5,04	5,23	5,42	5,61		
13,5	0,53	0,72	0,91	1,10	1,29	1,48	1,67	1,86	2,05	2,24	2,43	2,62	2,81	3,00	3,19	3,38	3,57	3,76	3,95	4,14	4,33	4,52	4,71	4,90	5,09	5,28	5,47	5,66		
16,2	0,80	1,15	1,50	1,85	2,20	2,55	2,90	3,25	3,60	3,95	4,30	4,65	5,00	5,35	5,70	6,05	6,40	6,75	7,10	7,45	7,80	8,15	8,50	8,85	9,20	9,55	9,90	10,25		
24,3	1,35	1,99	2,63	3,27	3,91	4,55	5,19	5,83	6,47	7,11	7,75	8,39	9,03	9,67	10,31	10,95	11,59	12,23	12,87	13,51	14,15	14,79	15,43	16,07	16,71	17,35	17,99	18,63		
27,0	1,53	2,27	3,01	3,75	4,49	5,23	5,97	6,71	7,45	8,19	8,93	9,67	10,41	11,15	11,89	12,63	13,37	14,11	14,85	15,59	16,33	17,07	17,81	18,55	19,29	20,03	20,77	21,51		
40,5	2,47	3,71	4,95	6,19	7,43	8,67	9,91	11,15	12,39	13,63	14,87	16,11	17,35	18,59	19,83	21,07	22,31	23,55	24,79	26,03	27,27	28,51	29,75	30,99	32,23	33,47	34,71	35,95		
48,6	2,99	4,47	5,95	7,43	8,91	10,39	11,87	13,35	14,83	16,31	17,79	19,27	20,75	22,23	23,71	25,19	26,67	28,15	29,63	31,11	32,59	34,07	35,55	37,03	38,51	40,00	41,48	42,96		
72,9	4,22	6,44	8,66	10,88	13,10	15,32	17,54	19,76	21,98	24,20	26,42	28,64	30,86	33,08	35,30	37,52	39,74	41,96	44,18	46,40	48,62	50,84	53,06	55,28	57,50	59,72	61,94	64,16		
81,0	4,70	7,15	9,60	12,05	14,50	16,95	19,40	21,85	24,30	26,75	29,20	31,65	34,10	36,55	39,00	41,45	43,90	46,35	48,80	51,25	53,70	56,15	58,60	61,05	63,50	65,95	68,40	70,85		
121,5	7,07	10,61	14,15	17,69	21,23	24,77	28,31	31,85	35,39	38,93	42,47	46,01	49,55	53,09	56,63	60,17	63,71	67,25	70,79	74,33	77,87	81,41	84,95	88,49	92,03	95,57	99,11	102,65		
145,8	8,43	12,65	16,87	21,09	25,31	29,53	33,75	37,97	42,19	46,41	50,63	54,85	59,07	63,29	67,51	71,73	75,95	80,17	84,39	88,61	92,83	97,05	101,27	105,49	109,71	113,93	118,15	122,37		
210,7	12,477	18,715	24,953	31,191	37,429	43,667	49,905	56,143	62,381	68,619	74,857	81,095	87,333	93,571	99,809	106,047	112,285	118,523	124,761	131,000	137,238	143,476	149,714	155,952	162,190	168,428	174,666	180,904		
243	13,91	20,86	27,81	34,76	41,71	48,66	55,61	62,56	69,51	76,46	83,41	90,36	97,31	104,26	111,21	118,16	125,11	132,06	139,01	145,96	152,91	159,86	166,81	173,76	180,71	187,66	194,61	201,56		
364,5	20,76	31,14	41,52	51,90	62,28	72,66	83,04	93,42	103,80	114,18	124,56	134,94	145,32	155,70	166,08	176,46	186,84	197,22	207,60	217,98	228,36	238,74	249,12	259,50	269,88	280,26	290,64	301,02		
437,4	24,92	37,37	49,82	62,27	74,72	87,17	99,62	112,07	124,52	136,97	149,42	161,87	174,32	186,77	199,22	211,67	224,12	236,57	249,02	261,47	273,92	286,37	298,82	311,27	323,72	336,17	348,62	361,07		
729	38,12	57,19	76,26	95,33	114,40	133,47	152,54	171,61	190,68	209,75	228,82	247,89	266,96	286,03	305,10	324,17	343,24	362,31	381,38	400,45	419,52	438,59	457,66	476,73	495,80	514,87	533,94	553,01		
1312	71,69	107,54	143,39	179,24	215,09	250,94	286,79	322,64	358,49	394,34	430,19	466,04	501,89	537,74	573,59	609,44	645,29	681,14	716,99	752,84	788,69	824,54	860,39	896,24	932,09	967,94	1003,79	1039,64		

OKREŚLENIE LEPKOŚCI DYNAMICZNEJ OLEJÓW ROŚLINNYCH JADALNYCH

Analiza wyników naprężeń stycznych w funkcji szybkości ścinania wykazała, że zależność ta jest prostoliniowa dla badanych zakresów szybkości ścinania, zakresów temperatur oraz dla przyjętych rodzajów olejów jadalnych. Badane oleje w przyjętych zakresach są cieczami newtonowskimi. Do obliczeń kanałów cylindrycznych wystarczające więc jest ustalenie lepkości dynamicznej.



Rys. 6. Wykresy lepkości olejów: 1 - palmowego, 2 - słonecznikowego, 3 - kokosowego, 4 - rzepakowego rafinowanego, 5 - rzepakowego surowego

Wyniki obliczeń lepkości dynamicznej dla badanych olejów przedstawia tabela 2. Wykresy lepkości dynamicznej badanych olejów w funkcji temperatury przedstawia rysunek 6.

T a b e l a 2

Lepkość dynamiczna olejów roślinnych jadalnych

Nazwa oleju	Temperatura						
	289	293	298	303	313	323	333
	Lepkość dynamiczna						
N s m ⁻²							
1	2	3	4	5	6	7	8
Kokosowy			0,056	0,045	0,030	0,021	
Palmowy			0,049	0,039	0,027	0,019	0,014
Rzepakowy rafinowany	0,110	0,090	0,071	0,058	0,041	0,029	0,022
Rzepakowy surowy	0,108	0,089		0,061	0,042	0,029	0,022 [4]
Słonecznikowy		0,0608 [3]	0,052	0,043	0,030	0,022	0,016

Dobranie wzorów empirycznych dla wyników pomiarów lepkości dokonano metodą najmniejszych kwadratów. W obliczeniach otrzymano następujące wzory empiryczne:

Olej kokosowy

$$\eta_1 = 10 \left(\frac{1647,8}{T} - 6,7833 \right)$$

Olej palmowy

$$\eta_2 = 10 \left(\frac{1540,82}{T} - 6,488 \right)$$

Olej rzepakowy rafinowany

$$\eta_3 = 10 \left(\frac{1525}{T} - 6,254 \right)$$

Olej rzepakowy surowy

$$\eta_4 = 10 \left(\frac{1520,25}{T} - 6,233 \right)$$

Olej słonecznikowy

$$\eta_5 = 10 \left(\frac{1427,575}{T} - 6,08 \right)$$

Obliczona wartość współczynników korelacji dla dobranych wzorów wynosi $r = 1$. Podane wzory empiryczne są słuszne dla temperatur zgodnych z zakresem badań eksperymentalnych.

OBLICZENIE SPADKÓW CIŚNIENIA W KANAŁE CYLINDRYCZNYM ZMODYFIKOWANYMI WZORAMI HAGENA-POISSEUILLE'A

Spadek ciśnienia w kanale cylindrycznym dla cieczy newtonowskich wyznacza się wzorem Hagena-Poiseuille'a [1, 6]:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \cdot \eta}{\pi \cdot D^4}$$

Dla wyznaczenia spadku ciśnienia w kanałach cylindrycznych dla olejów zmodyfikowano wyżej wymienioną zależność, wprowadzając funkcję temperaturową zamiast lepkości. Wzory zmodyfikowane dla badanych olejów przedstawiają się następująco:

olej kokosowy

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \left[10 \left(\frac{1647,8}{T} - 6,7833 \right) \right]}{\pi D^4}$$

olej palmowy

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \left[10 \left(\frac{1540,82}{T} - 6,488 \right) \right]}{\pi D^4}$$

olej rzepakowy rafinowany

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \left[10 \left(\frac{1525}{T} - 6,254 \right) \right]}{\pi D^4}$$

olej rzepakowy surowy

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \left[10 \left(\frac{1520,25}{T} - 6,233 \right) \right]}{\pi D^4}$$

olej słonecznikowy

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{128 Q \left[10 \left(\frac{1427,575}{T} - 6,08 \right) \right]}{\pi D^4}$$

WYZNACZENIE SPADKÓW CIŚNIENIA W KANALE CYLINDRYCZNYM DLA OLEJU RZEPAKOWEGO RAFINOWANEGO

Jednostkowe spadki ciśnienia oleju rzepakowego rafinowanego przebadano w zależności od wydatku, promienia kanału i temperatury. Wyniki badań przedstawiają rysunki 7 - 14.

WNIOSKI

Z badań wynika, że naprężenia ścinające są wprost proporcjonalne do szybkości ścinania oraz że oleje są cieczami newtonowskimi. Wzrost temperatury powoduje spadek wartości naprężeń stycznych. Z opracowanych zależności lepkości od temperatury w postaci wykresów (rys. 6) oraz wzorów empirycznych wynika, że lepkość maleje wraz ze wzrostem temperatury.

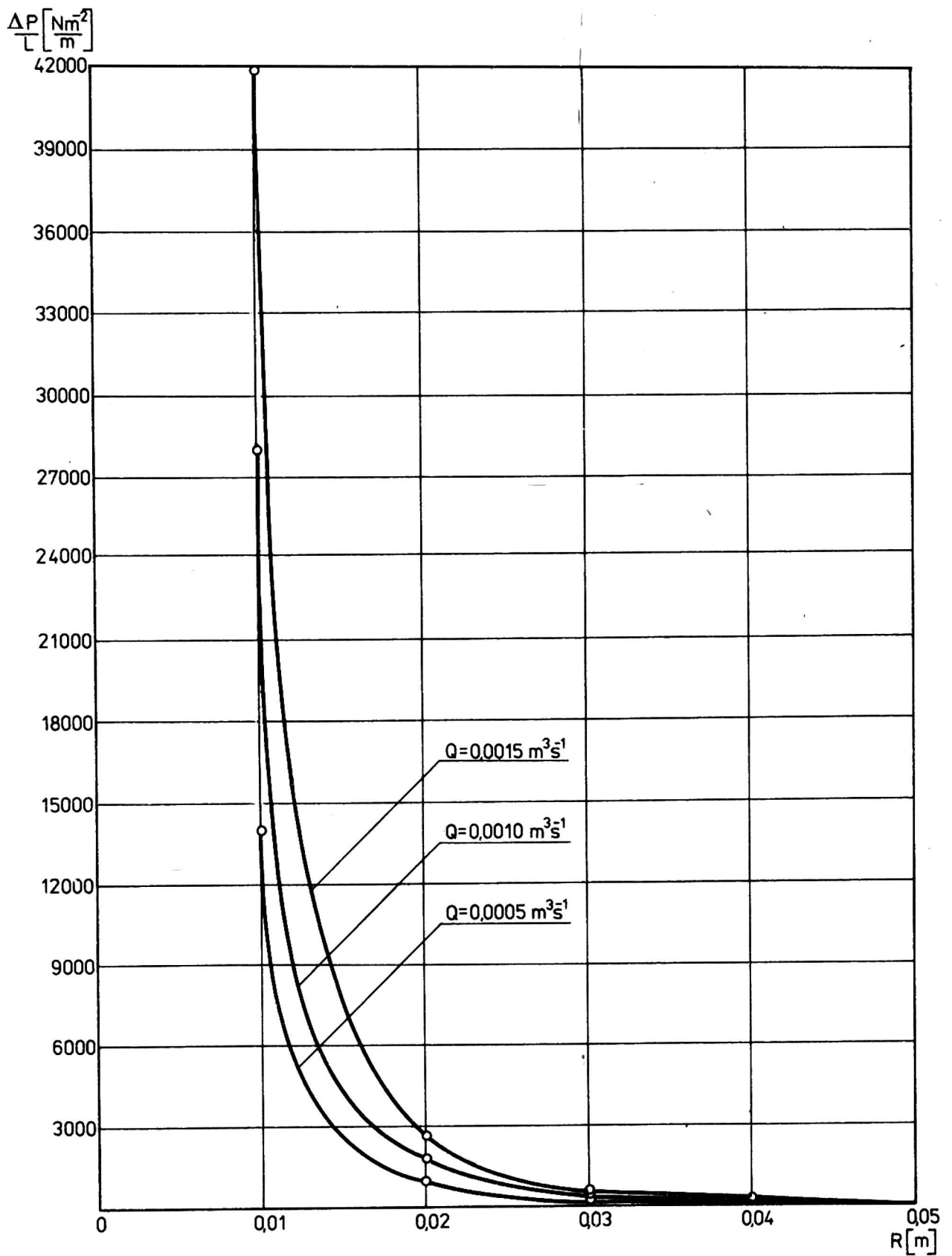
Lepkość oleju rzepakowego rafinowanego η_3 i lepkość oleju rzepakowego surowego η_4 jest większa od lepkości oleju kokosowego η_1 i lepkości oleju słonecznikowego η_5 . Najmniejszą lepkość wykazuje olej palmowy η_2 . Zmierzone lepkości dla jednakowych temperatur można więc uszeregować następująco:

$$\eta_3, \eta_4 > \eta_1 > \eta_5 > \eta_2$$

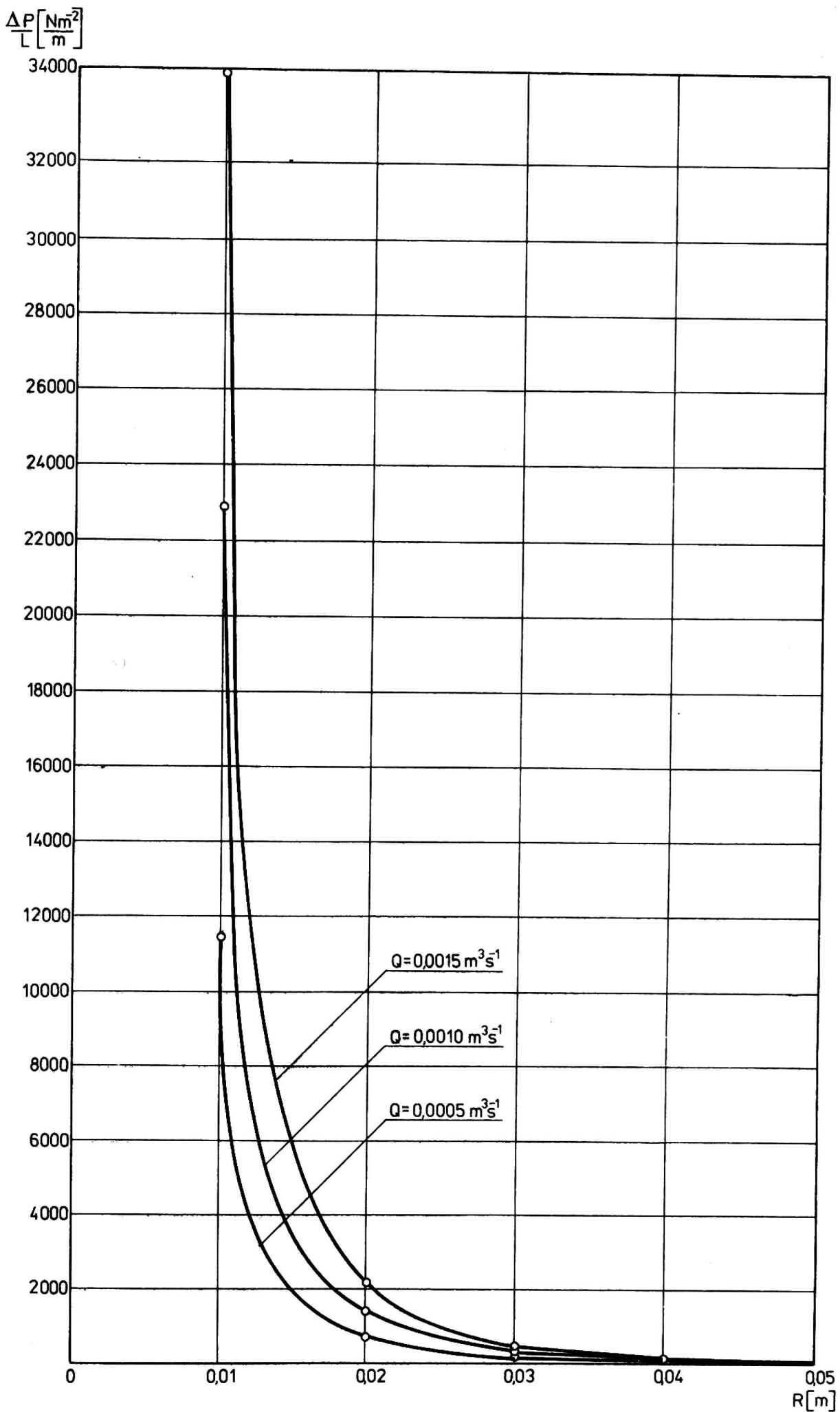
Spadki ciśnienia dla badanych olejów rosną wraz ze wzrostem objętościowego natężenia przepływu i wzrostem długości kanału oraz ze wzrostem lepkości. Spadki ciśnienia maleją z wzrostem promienia kanału cylindrycznego i z wzrostem temperatury. Opierając się na wzorze Hagen-Poiseuille'a można uszeregować spadki ciśnienia analogicznie do uszeregowanych lepkości.

Wykaz oznaczeń

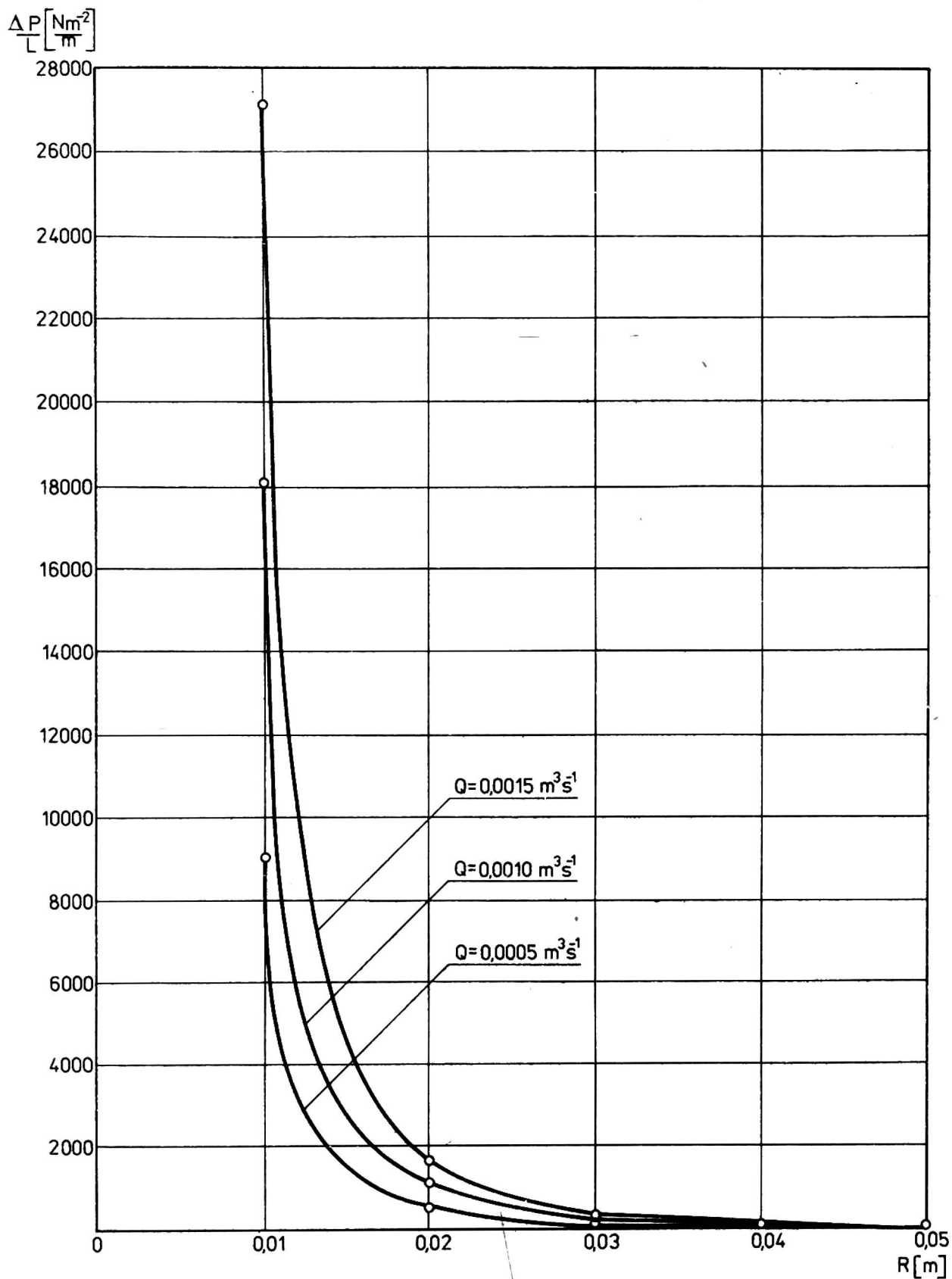
- D [m] - średnica kanału cylindrycznego,
 L [m] - długość kanału cylindrycznego,



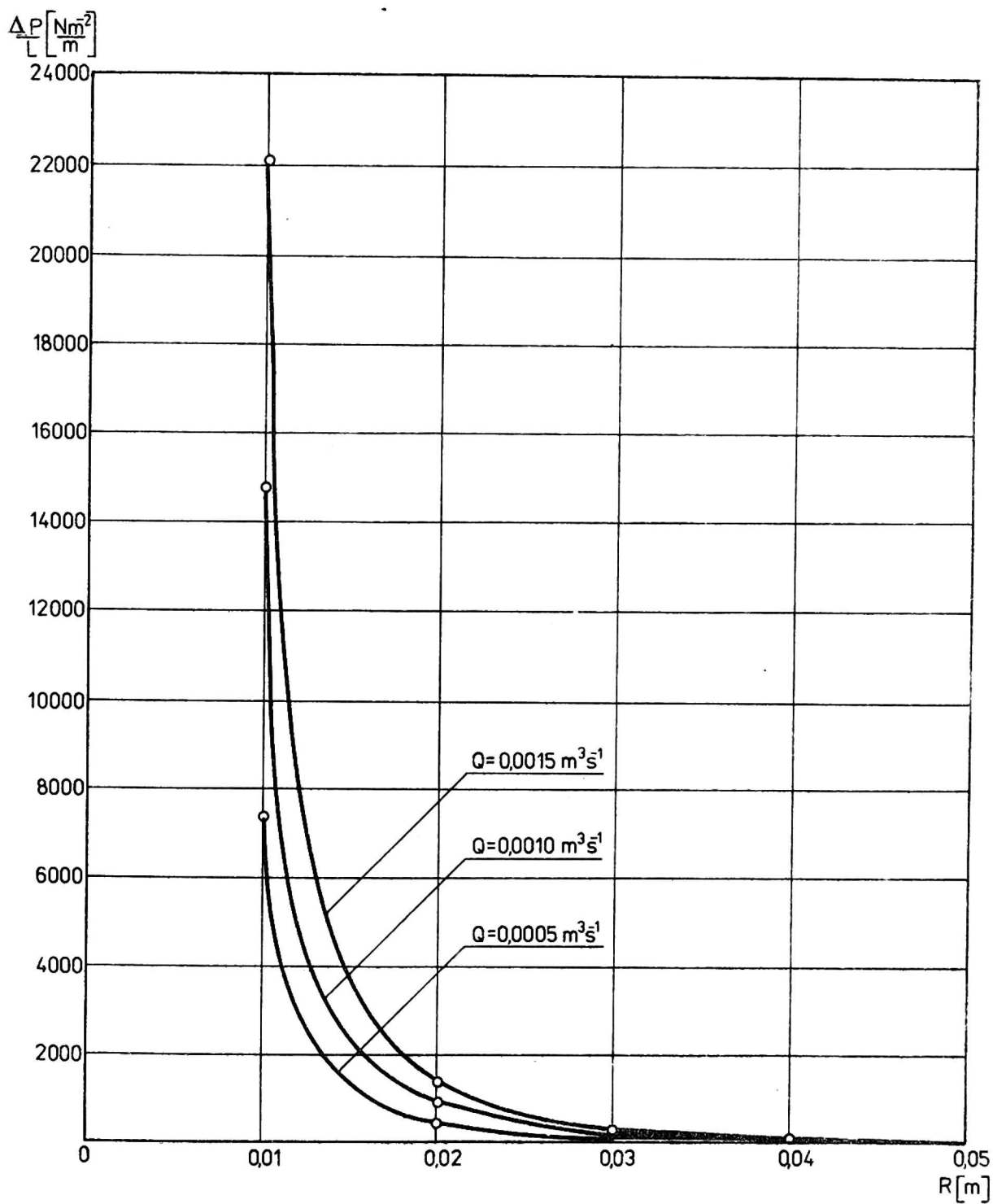
Rys. 7. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 289\text{K}$



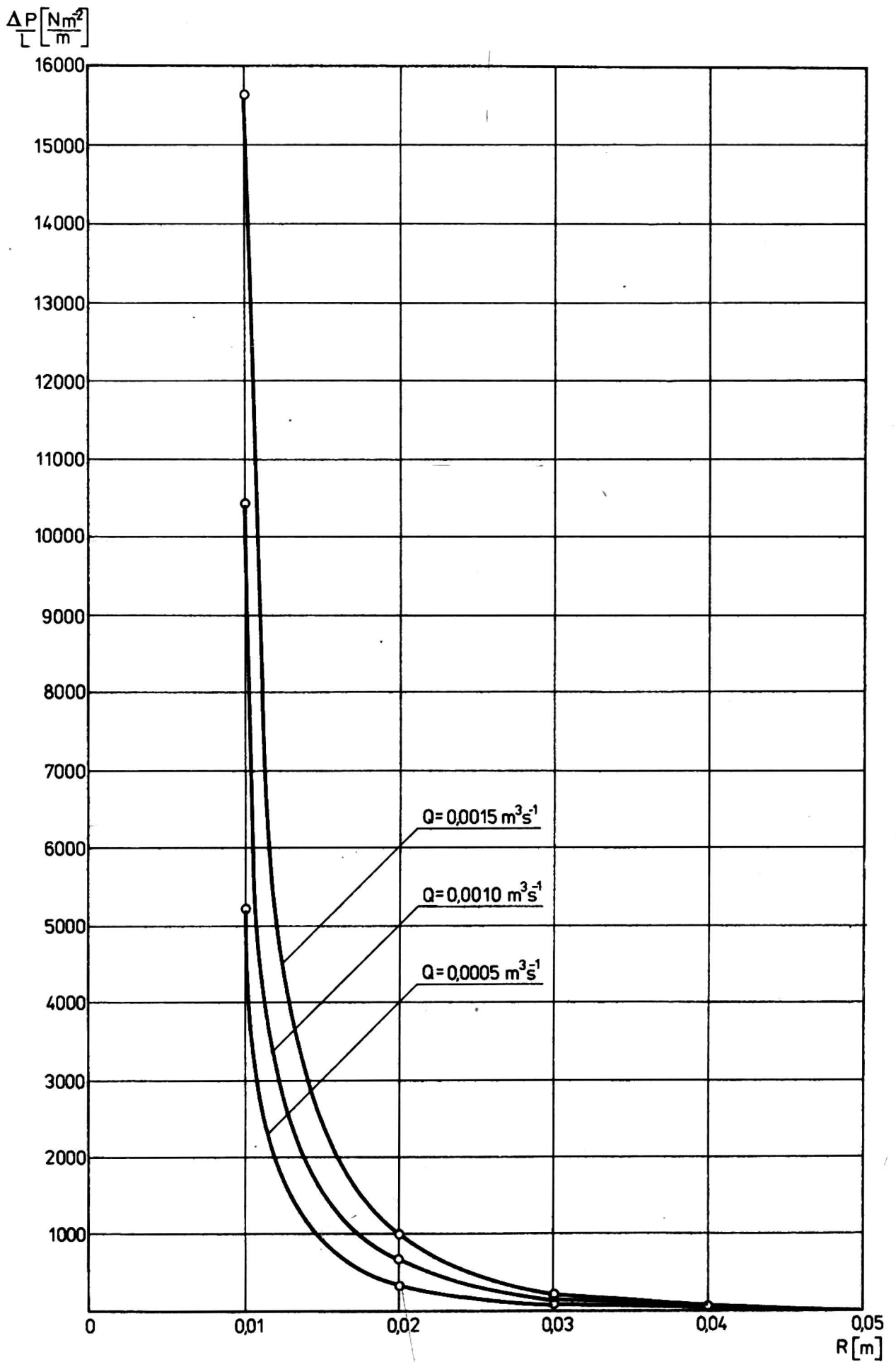
Rys. 8. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 293\text{K}$



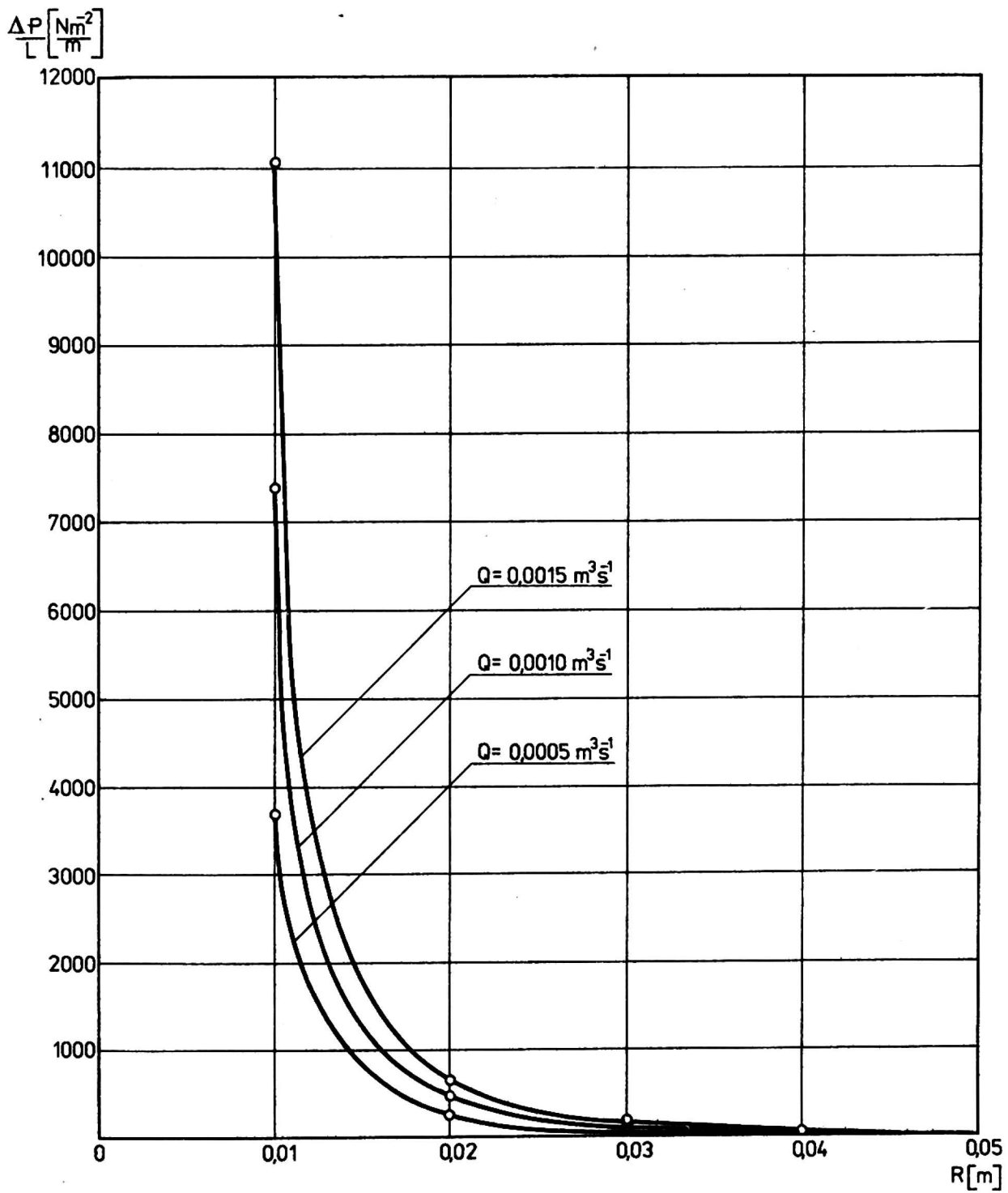
Rys. 9. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 298\text{K}$



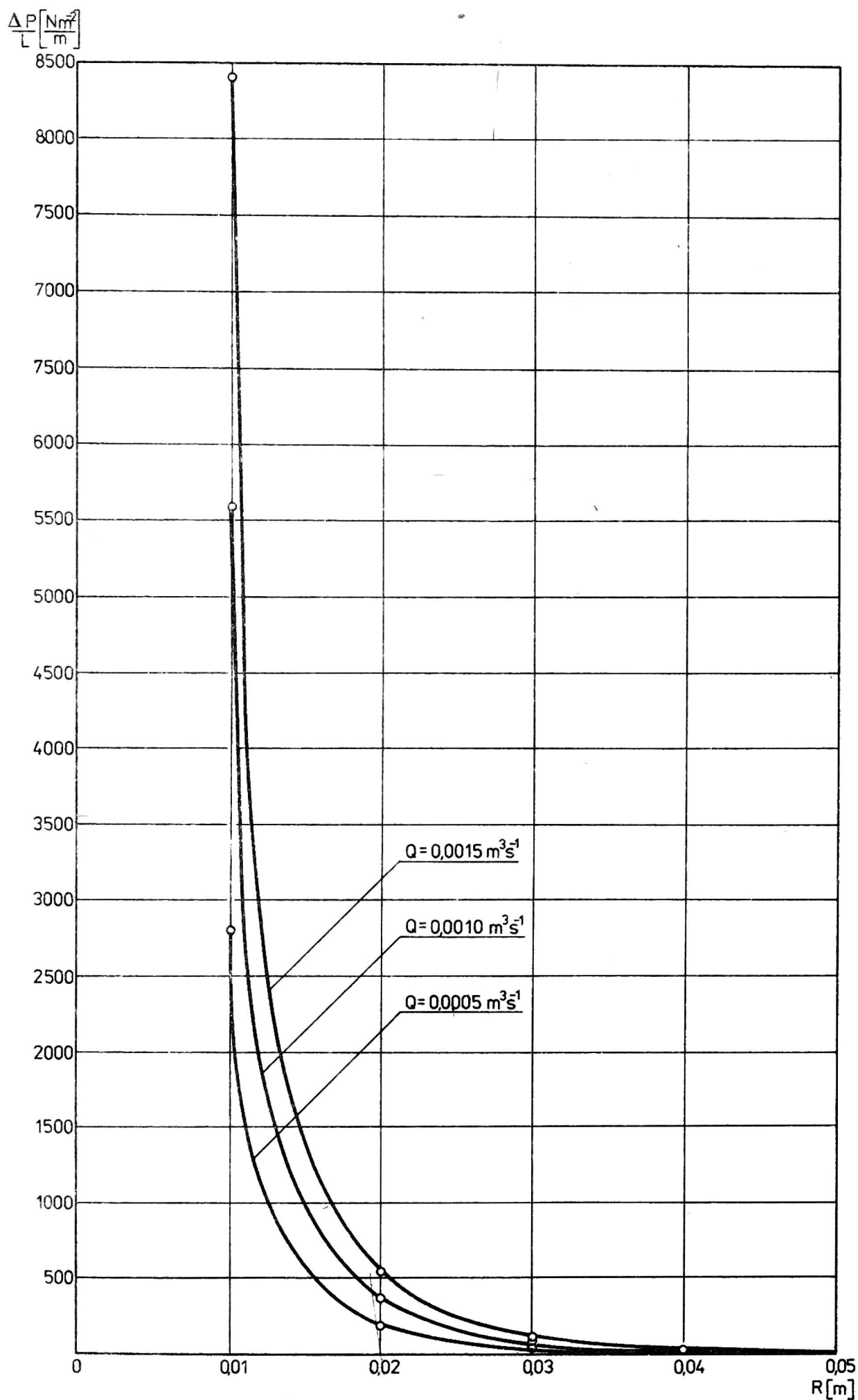
Rys. 10. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 303\text{K}$



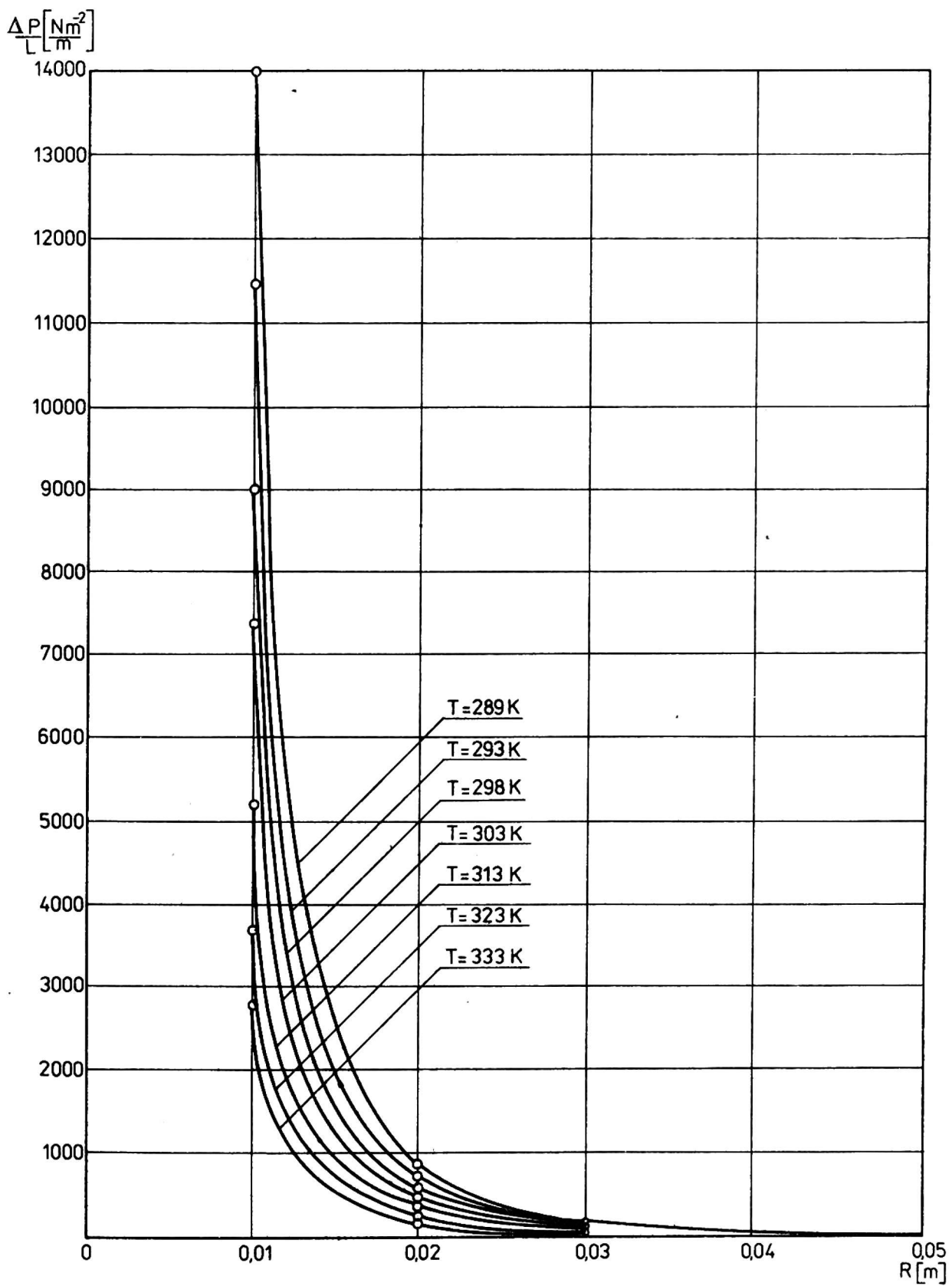
Rys. 11. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 313\text{K}$



Rys. 12. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w T = 323K



Rys. 13. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego w $T = 333\text{K}$



Rys. 14. Wykresy spadku ciśnień oleju rzepakowego rafinowanego

- R [m] - promień kanału cylindrycznego,
 Q [m³ s⁻¹] - objętościowe natężenie przepływu,
 $\dot{\gamma}$ [s⁻¹] - szybkość ścinania,
 Δp [N m⁻²] - spadek ciśnienia w kanale cylindrycznym,
 η [N s m⁻²] - lepkość dynamiczna,
 τ [N m⁻²] - naprężenie ścinające

LITERATURA

1. Kembłowski Z.: Reometria płynów nienewtonowskich. WNT. Warszawa 1973.
2. Muller H. G.: An Introduction to Food Technology. Wyd. W. Heine-
mann Ltd. Londyn, 1973.
3. Niewiadomski H.: Technologia tłuszczów jadalnych WNT. Warszawa
1979.
4. Praca w maszynopisie IMR. 51 - 045/77/B.
5. Sherman P.: Industrial Rheology. London - New York 1970.
6. Wilkison W. L.: Ciecze nienewtonowskie. WNT. Warszawa 1963.

Казимеж Ясик, Збигнев Матулис, Гжегож Оссовски

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ МАСЕЛ
НА ОПОРЫ ПРОКАЧИВАНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ПИЩЕВОЙ
АППАРАТУРЫ

Р е з ю м е

В работе определено касательное напряжение, вязкость и опоры
течения пищевых масел.

Kazimierz Jasik, Zbigniew Matulis, Grzegorz Ossowski

INFLUENCE OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EDIBLE VEGETABLE OILS
ON RESISTANCE TO FORCING THROUGH CYLINDRICAL PASSAGES OF
AN APPARATUS FOR FOOD PRODUCTS

S u m m a r y

Tangential stresses, viscosity and resistance to flow of vege-
table oils are defined in the paper.