

BADANIA SPADKU CIŚNIEŃ PRZEPŁYWU W RUROCIĄGACH W ZALEŻNOŚCI
OD WŁASNOŚCI REOLOGICZNYCH MLEKA ZAGĘSZCZONEGO SŁODZONEGO

Kazimierz Jasik, Zbigniew Matulis, Grzegorz Ossowski

Instytut Maszyn Roboczych Politechniki Poznańskiej

WSTĘP

Teoria konstruowania rurociągów i kanałów do przepływu mleka zagęszczonego słodzonego wymaga weryfikacji w oparciu o badania eksperymentalne i reologiczne. Spotykane w literaturze wyniki badań w tym zakresie [1-4] są fragmentaryczne i niewystarczające.

Celem pracy jest określenie własności reologicznych mleka zagęszczonego słodzonego i ich wpływ na spadki ciśnień (oporów) przepływu w rurociągach i kanałach cylindrycznych w zależności od temperatury, szybkości przepływu i średnicy kanału.

WARUNKI BADAŃ

Do badań zastosowano mleko zagęszczone słodzone wg PN-64/A-86043 produkowane w Zakładzie Mleczarskim w Gostyniu. Badania przeprowadzono na dwóch stanowiskach:

- stanowisku do badań własności reologicznych,
- stanowisku do badań z modelami rurociągów.

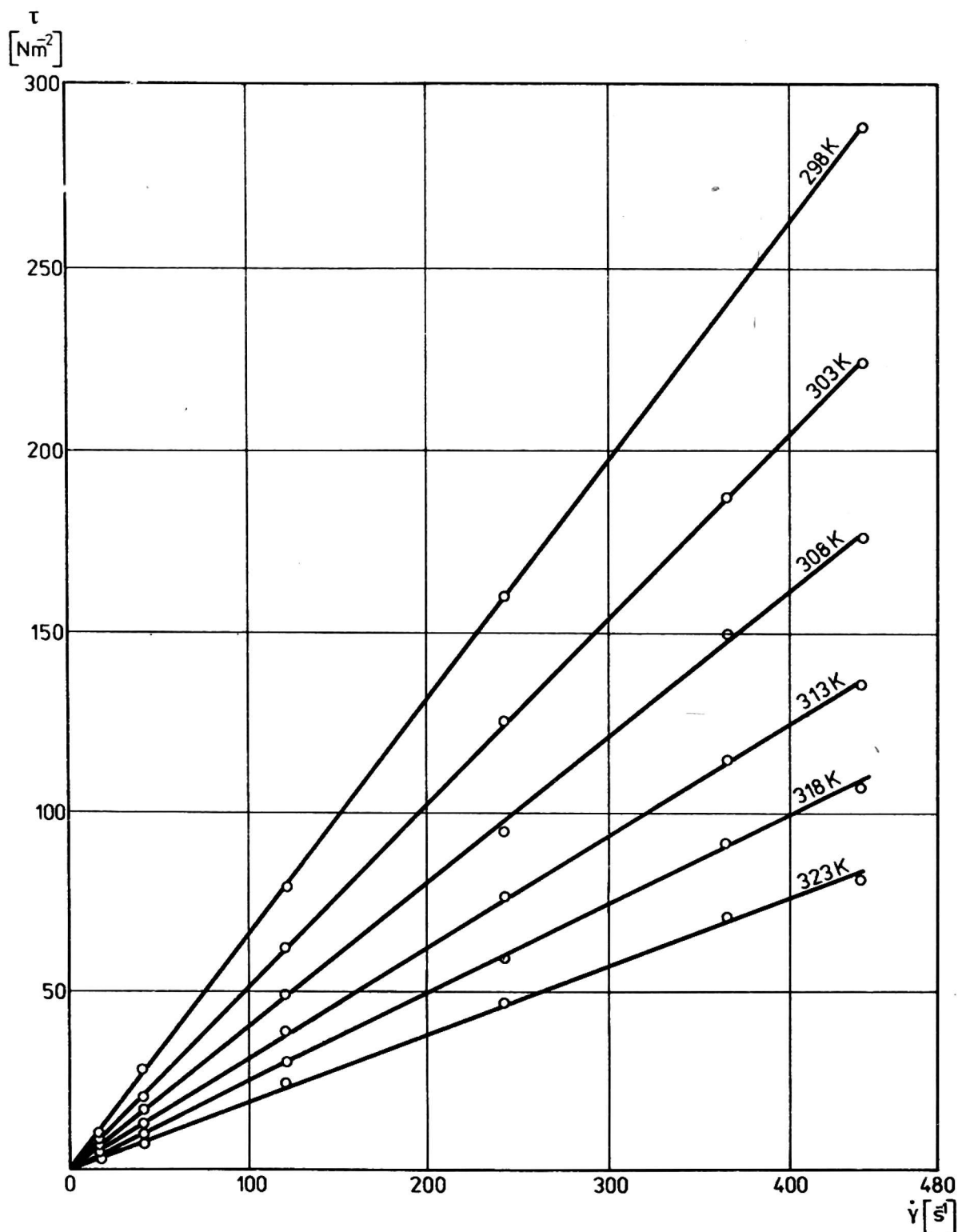
Wykonane badania reologiczne zrealizowano dla temperatur: 298, 303, 308, 313, 318, 323, 328, 333, 338, 343, 348.

Badania oporów przepływu mleka w modelach rurociągów wykonano na średnicach: 0,007, 0,013 i 0,022 i temperaturach: 303 i 313 oraz przy zmiennych wydajnościach.

CHARAKTERYSTYKA REOLOGICZNA MLEKA ZAGĘSZCZONEGO SŁODZONEGO

Mleko zagęszczone słodzone otrzymuje się przez częściowe odparowanie wody ze świeżego pasteryzowanego mleka krowiego. Skład

chemiczny mleka jest następujący: tłuszcz - 8,0%, białko - 7,5%, sacharoza - 44,5%, laktoza - 10,7%, sole mineralne - 1,8%, woda - 27,5%.

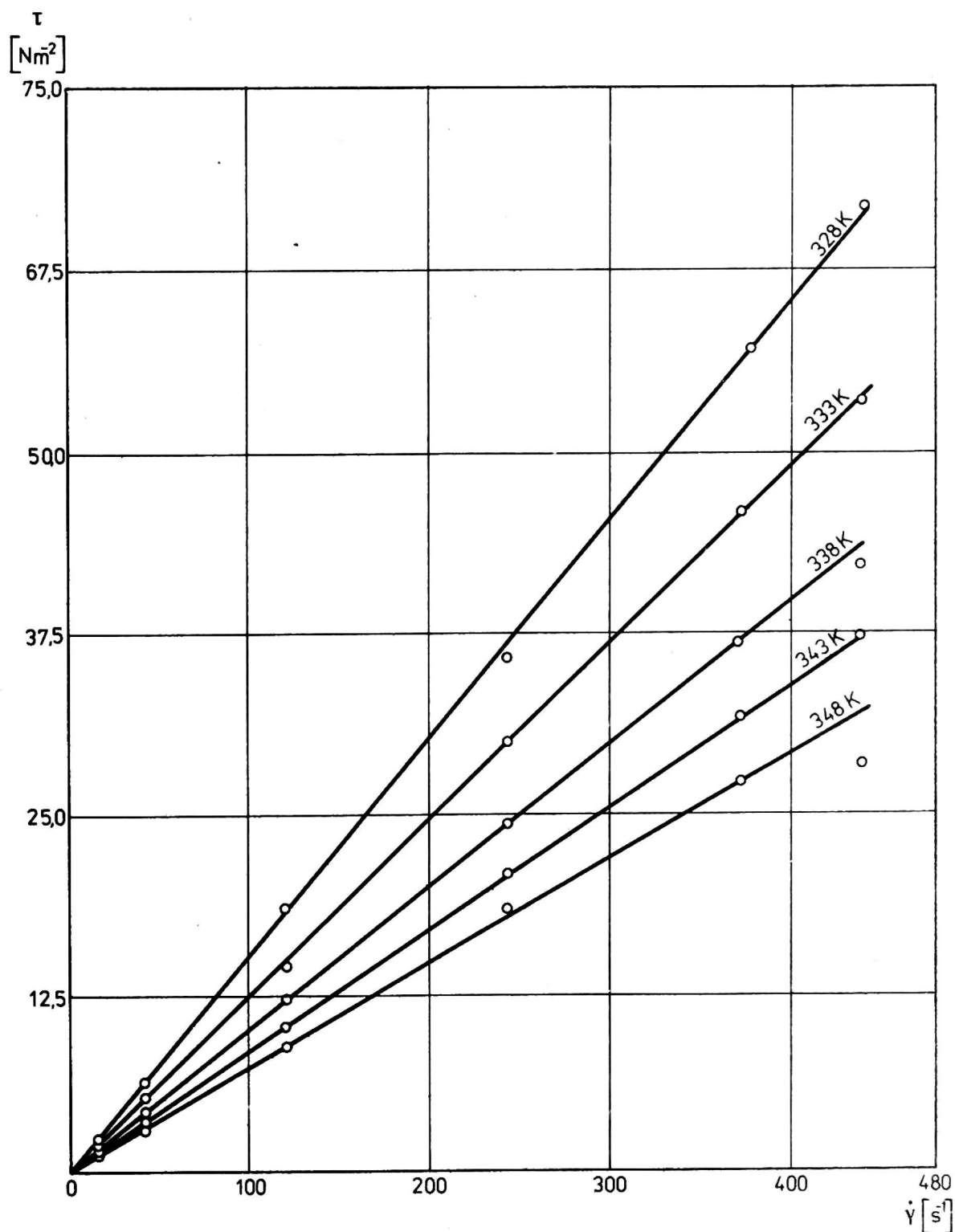


Rys. 1. Zależność naprężenia stycznego od szybkości ścinania i temperatury (w zakresie od 298-323) mleka zagęszczonego słodzonego

Pomiar refraktometrem Abbego wykazał zawartość suchej masy 71%. Średnie wyniki badań naprężenia stycznego w funkcji szybkości ścinania i temperatury przedstawia tabela 1. Na podstawie wyników w tabeli 1 wykonano wykresy krzywych reologicznych przedstawione na rysunkach 1 i 2.

Z otrzymanych wartości naprężeń stycznych ξ w funkcji szybkości $\dot{\gamma}$ obliczono lepkość mleka zagęszczonego słodzonego według wzoru:

$$\eta = \frac{\xi}{\dot{\gamma}}$$



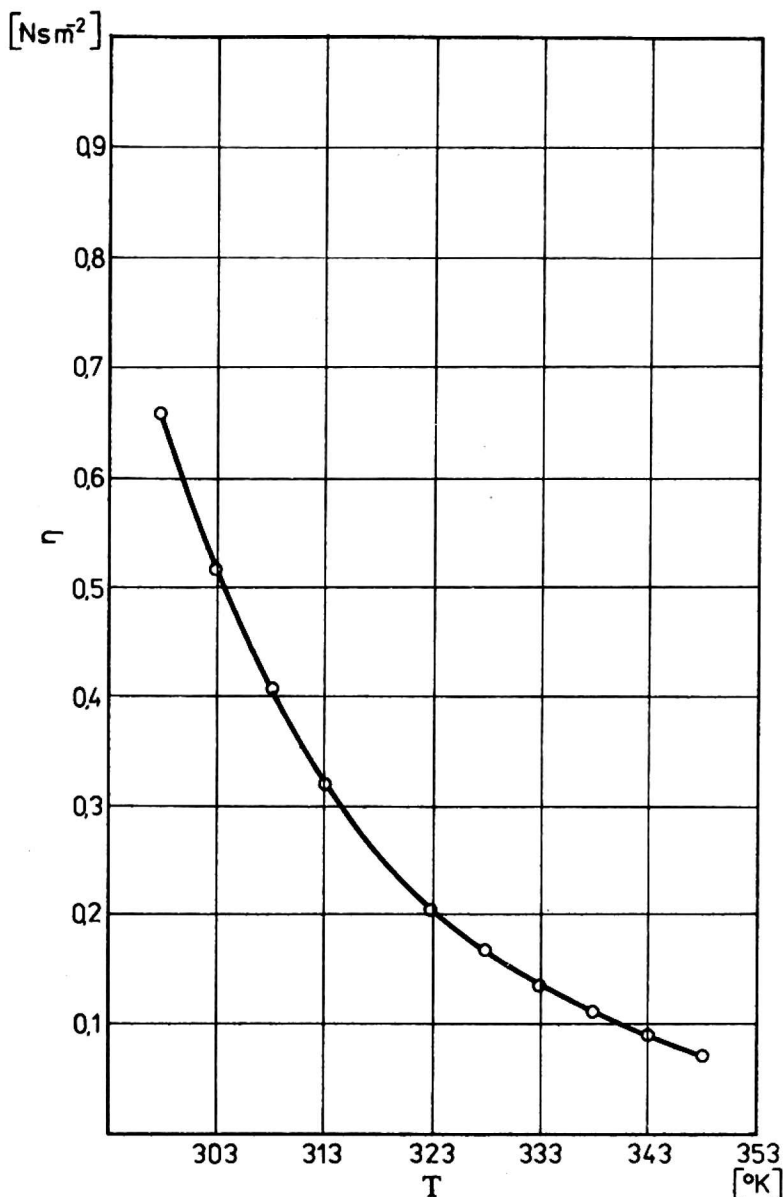
Rys. 2. Zależność naprężenia stycznego od szybkości ścinania i temperatury (w zakresie od 328-348) mleka zagęszczonego słodzonego

Wartości lepkości w funkcji temperatury podaje tablica 2 i przedstawia wykres na rysunku 3.

T a b e l a 2

Zależność lepkości od temperatury mleka zagęszczonego słodzonego

Temperatura T [K]	Średnia lepkość η [Ns m^{-2}]
1	2
298	0,661
303	0,515
308	0,404
313	0,319
318	0,254
323	0,204
328	0,165
333	0,134
338	0,109
343	0,090
348	0,081



Rys. 3. Zależność lepkości od temperatury mleka zagęszczonego słodzonego

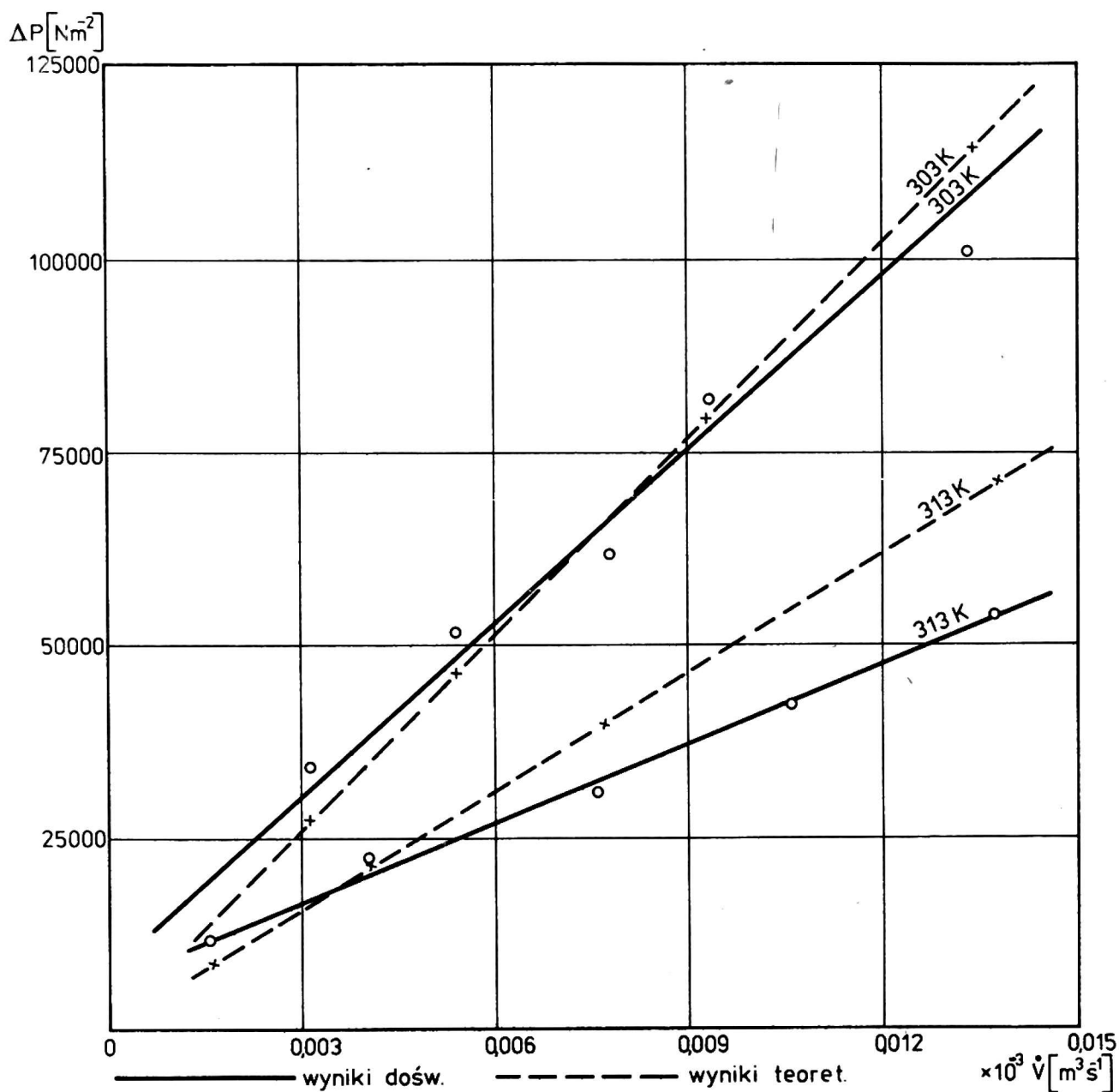
Podane w tabeli 2 i na rysunku 3 lepkości są wartościami średnimi arytmetycznymi lepkości obliczonych dla stosowanych szybkości ścinania wymienionych w tabeli 1.

Zależność lepkości od temperatury wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów dla zakresu temperatur 303-348 i ujęto wzorem:

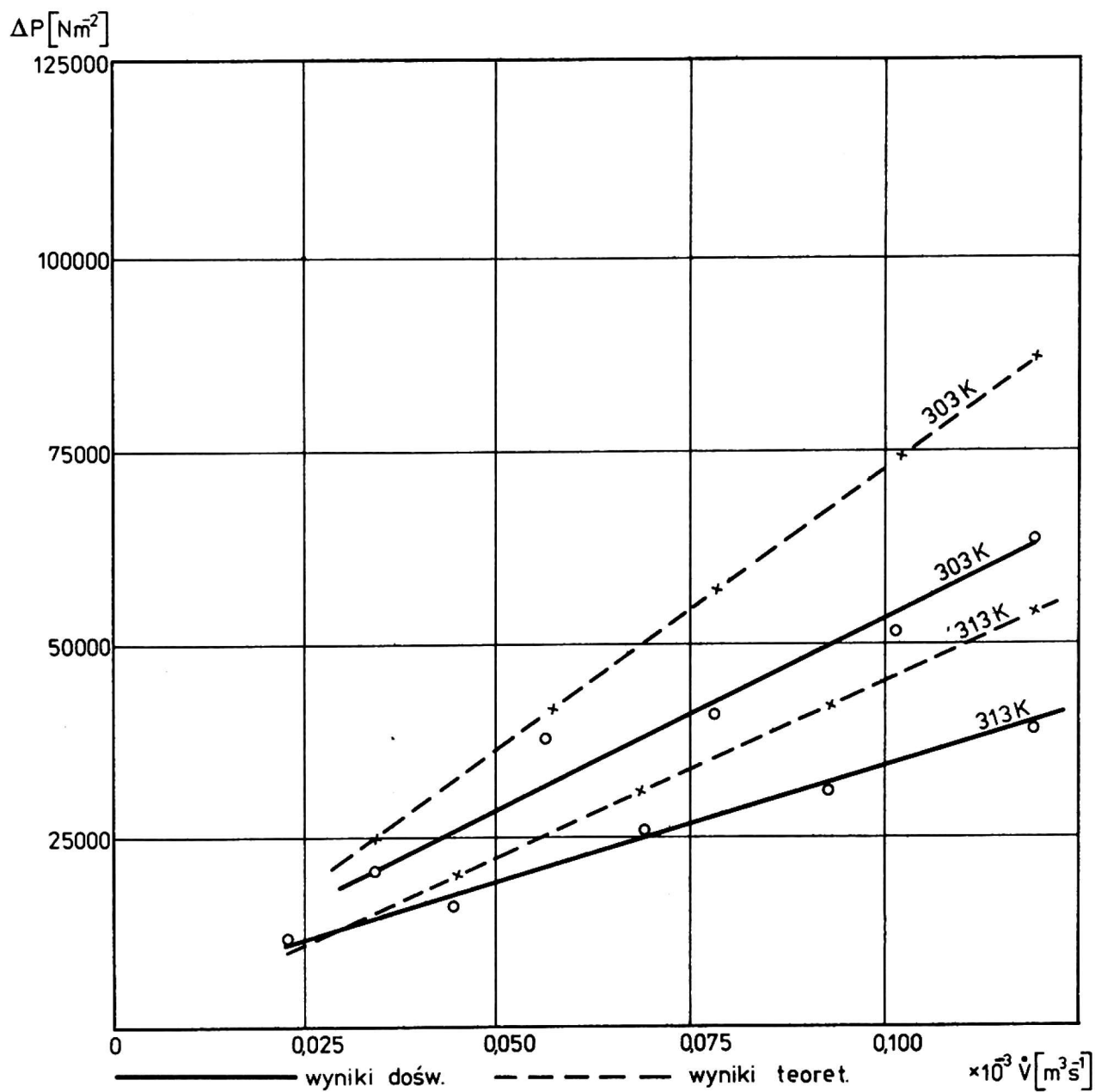
$$\eta = 1,71 \cdot 10^{-8} \frac{2312,49}{T}$$

Współczynnik korelacji wartości eksperymentalnych i wartości lepkości wyznaczanych z podanego wzoru wynosi: $r = 0,998$. Podany wzór lepkości nie umożliwia obliczenia lepkości poza zakresem temperatur 303-348. Objęcie lepkości występujących poza podanym zakresem temperatur wzorem empirycznym wyznaczonym metodą najmniejszych kwa-

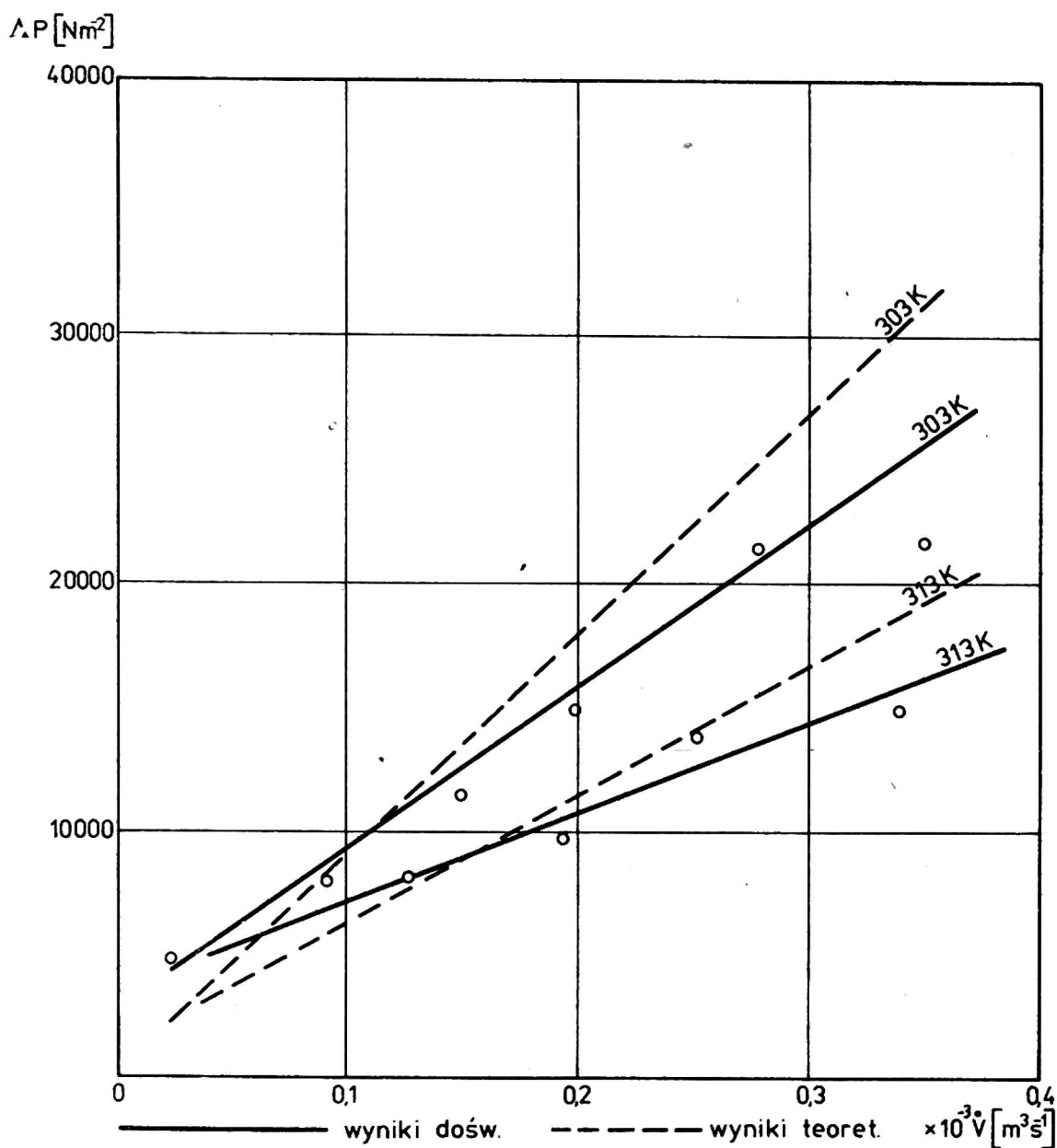
dratów powoduje niekorzystną zmianę współczynnika korelacji. Wskazane więc jest korzystanie z eksperymentalnie wyznaczonych wartości lepkości dla zakresów temperatur nie objętych podanym wzorem.



Rys. 4. Teoretyczna i eksperymentalna zależność spadku ciśnienia od wydajności kanału cylindrycznego o średnicy $D = 0,007 \text{ m}$



Rys. 5. Teoretyczna i eksperymentalna zależność spadku ciśnienia od wydajności kanału cylindrycznego o średnicy $D = 0,013 \text{ m}$



Rys. 6. Teoretyczna i eksperymentalna zależność spadku ciśnienia od wydajności kanału cylindrycznego o średnicy $D = 0,022$ m

WYNIKI BADAŃ SPADKU CIŚNIENIA

Wyniki eksperymentalnych badań spadku ciśnienia zrealizowano na stanowisku badawczym laboratoryjnym i przedstawiono w tabeli 3. W tabeli podano średnie wartości ustalonych natężeń przepływu oraz zmierzone średnie wartości spadków ciśnień dla temperatur 303 i 313. Dla ustalonych natężeń przepływu i zmierzonych parametrów lepkości wykonano obliczenia teoretycznych spadków ciśnień z wzoru Hagen-Poiseuille'a:

$$\Delta P = \frac{128 \dot{V} L \eta}{\pi D^4}$$

W obliczeniach rozbieżności wyników eksperymentalno-teoretycznych wartości wyników eksperymentalnych przyjęto za 100%.

T a b e l a 3

Wyniki pomiarów i obliczeń spadku ciśnienia dla rurociągu o średnicy $D = 0,007$ – $0,022$ m

Średnia wydajność przepływu	Zmierzony spadek ciśnienia	Obliczony spadek ciśnienia z wzoru Hagen-Poiseuille'a	Rozbieżność wyników
$\dot{V} \times 10^{-3}$	Δp	Δp_{obl}	
$m^3 s^{-1}$	$N m^{-2}$	$N m^{-2}$	%
1	2	3	4
$D = 0,007 \quad T = 303$			
0,00308	34 335,0	26 812,4	21,9
0,00528	52 189,2	45 963,9	12,4
0,00761	61 803,0	66 247,2	7,2
0,00898	81 423,0	78 173,1	3,4
0,01304	100 748,7	113 517,3	12,6

T a b e l a 3 c d.

1	2	3	4
$D = 0,007$		$T = 313$	
0,00155	11 772,0	8 311,6	29,4
0,00400	22 563,0	21 449,4	5,9
0,00744	31 195,8	39,895,8	27,9
0,01042	42 673,5	55 875,7	30,9
0,01345	54 445,5	72,123,5	32,5
$D = 0,013$		$T = 303$	
0,0339	20 601,0	24 905,4	20,3
0,0564	37 964,7	41 435,5	9,1
0,0781	40 613,4	57 377,3	41,6
0,1014	51 404,4	74 495,2	44,2
0,1190	63 765,0	87 426,0	18,2
$D = 0,013$		$T = 313$	
0,0229	11 772,0	10 323,1	-12,4
0,0455	16 088,4	20 510,1	27,4
0,0688	25 113,6	31 014,3	23,5
0,0926	31 097,7	41 743,1	34,2
0,1190	39 240,0	53 643,9	36,7
$D = 0,022$		$T = 303$	
0,024	4 905,0	2 149,7	-53,7
0,091	8 044,2	8 159,1	1,3
0,150	11 477,7	13 435,9	17,1
0,217	15 009,3	19 437,2	29,5
0,278	21 582,0	24 901,1	15,3
0,348	21 582,0	31 171,2	44,4

T a b e l a 3 cd.

1	2	3	4
$D = 0,022$		$T = 313$	
0,060	6 278,4	3 339,4	-46,8
0,127	7 848,0	7 068,4	- 9,9
0,194	9 810,0	10 797,4	10,1
0,250	14 734,0	13 914,2	1,3
0,340	15 009,3	18 923,4	26,1

WNIOSKI

a) Analiza wyników pomiarów naprężeń stycznych w zależności od szybkości ścinania przedstawionych w tabeli 1 oraz na wykresach rysunków 1 i 2 wykazała, że mleko zagęszczone słodzone z punktu widzenia reologicznego można scharakteryzować jako newtonowskie.

b) Z analizy wyników badań lepkości przedstawionych w tabeli 2 i na rysunku 3 wynika, że lepkość dynamiczna maleje ze wzrostem temperatury wg funkcji wykładniczej. Dla zakresu temperatur od 303 do 348 zależność lepkości od temperatury ujęto wzorem empirycznym. Wzór ten umożliwia obliczenie lepkości dynamicznej dla pośrednich temperatur w wyżej wymienionym zakresie temperatur.

c) Analiza wyników badań spadku ciśnienia w zależności od lepkości mleka zagęszczonego słodzonego od średnicy przedstawionych w tabeli 3 wykazała, że teoretyczne wartości obliczeń spadku ciśnienia są zbliżone. Zaproponowany zweryfikowany zapis wzoru Hagen-Poiseuille'a jest poprawny dla mleka zagęszczonego słodzonego w wyżej wymienionych temperaturach.

Wykaz oznaczeń

- ξ [Nm^{-2}] - naprężenie styczne,
 $\dot{\gamma}$ [s^{-1}] - szybkość ścinania,
 η [Nsm^{-2}] - lepkość dynamiczna,
 T [K] - temperatura,

- Δp [Nm^{-2}] - spadek ciśnienia,
 D [m] - średnica rurociągu,
 \dot{V} [m^3s^{-1}] - objętościowa wydajność rurociągu,
 L [m] - długość rurociągu.

LITERATURA

1. Kembłowski Z.: Reometria płynów nienewtonowskich. WNT, Warszawa 1973.
2. Muller H. G.: An Introduction of Food Technology. W. Heineman Ltd. London 1973.
3. Pianowski E.: Zarys chemii i technologii mleczarstwa. PWRiL, Warszawa 1980.
4. Sherman P.: Industrial Rheology. Academic Press, London-New York 1970.

Казимеж Ясик, Збигнев Матулис, Гжегож Оссовски

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЙ ТЕЧЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ
 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СГУЩЁННОГО
 СЛАЩЁННОГО МОЛОКА

Р е з ю м е

Работа представляет сравнительные теоретическо-экспериментальные результаты перепада давлений в цилиндрическом канале на основе реологической характеристики сгущённого сладённого молока.

Kazimierz Jasik, Zbigniew Matulis, Grzegorz Ossowski

INVESTIGATIONS OF FLOW PRESSURE DROP IN PIPELINES ACCORDING
 TO RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SWEETENED CONDENSED MILK

S u m m a r y

The paper presents theoretical-experimental comparative results of pressure drop in a cylindrical pipeline on the basis of rheological characteristics of sweetened condensed milk.