

1/9

ZALEŻNOŚĆ OPORÓW PRZEPIYWU WODY  
I SOKÓW OD JAKOŚCI I STANU KRAJANKI

S. ZAGRODZKI, J. KUBIAK

Katedra Cukrownictwa i Technologii Środków Spożywczych  
Politechniki Łódzkiej, Łódź

Wielkość oporu soku przepływającego przez słup krajanki podczas wydobycia cukru z buraków stanowi ze względów technologicznych ważne i ciekawe zagadnienie. Ciśnienie hydrodynamiczne soku przepływającego podczas procesu dyfuzji przez baterię robertowską lub w urządzeniach do dyfuzji ciągłej odgrywa dominującą rolę w obliczaniu aparatury.

Szybkość przepływu cieczy przez kolumnę wypełnioną krajanką przy stałym ciśnieniu i niezmiennych warunkach pracy, zależy od jakości krajanki buraczanej i od jakości buraka, z którego krajanka została przygotowana [1]. Jak wiadomo, stosowane ciśnienie nie zawsze wystarcza do przewyciężenia oporów soku krążącego w baterii dyfuzyjnej. Już przed 40 laty zajęto się problemem zwiększenia szybkości przepływu soku przez krajankę. Na ten temat opublikowano liczne prace i przedstawiono różne propozycje rozwiązania tego zagadnienia [2, 3, 4]. Podobne problemy są spotykane w innych gałęziach przemysłu, gdy mamy do czynienia z przepływem cieczy przez warstwy materiału ulegającego deformacji. Omawianymi zagadnieniami zajmowało się wielu uczonych, a między innymi Popow [5], Dronow [6], Slaviček [7], Vukov [8], Oplatka [9, 10], Grabiennik, Tegze [1, 8]. Dotychczasowe badania nie dały jednak dostatecznego wytłumaczenia niektórych faktów i z tego powodu problem wymaga dalszych doświadczeń.

Celem niniejszej pracy było badanie hydrodynamicznych oporów przepływu wody i soków podczas dyfuzji w zależności od stanu buraków, jakości krajanki i wielkości ładunku oraz od temperatury i czasu trwania procesu.

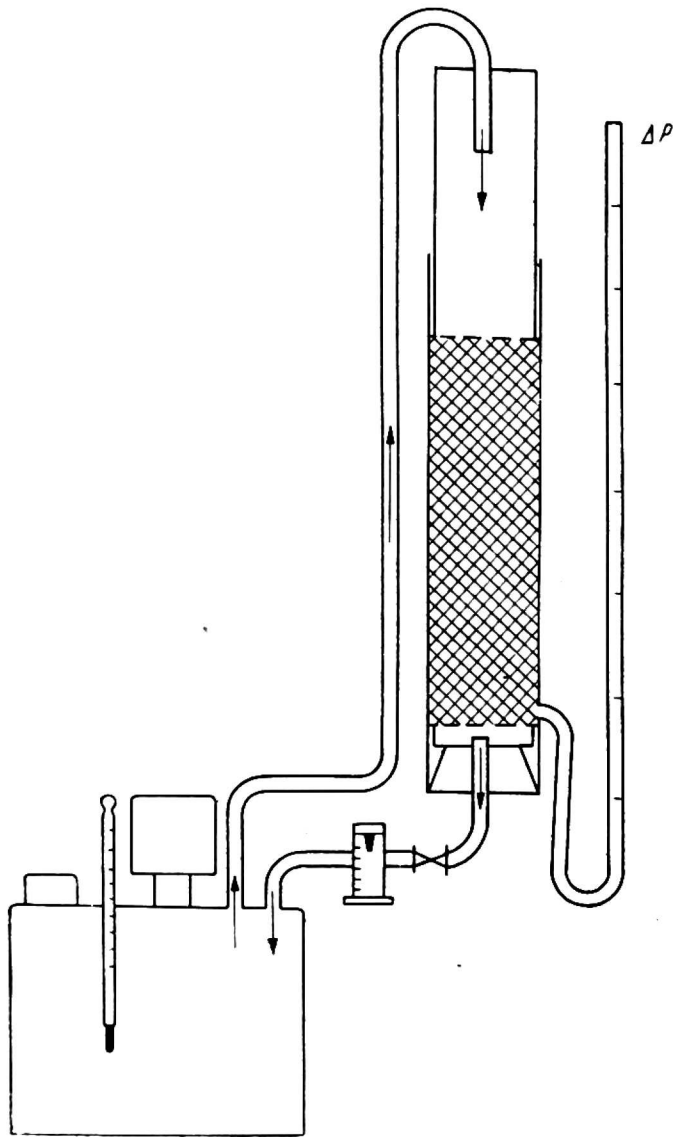
## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

## 1. Aparatura i metodyka pracy

Do badania oporu i elastyczności krajanki przygotowano aparaturę przedstawioną na rys. 30. Krajankę umieszczono w kolumnie (rurze)

szklanej pomiędzy dwiema przegrodami, wykonanymi z sita o otworach  $15 \times 15$  mm. Wielkość otworów sit zapewniała swobodny przepływ cieczy, nie zwiększając oporu. Górne sito przytwierdzone było do dodatkowej rury. Tworzyło ono razem z nią rodzaj tłoka, który przesuwał się ściskał krajankę, powodując zmianę wielkości ładunku krajanki w kolumnie.

Ciecz, którą stosowano podczas doświadczeń, płynęła w obiegu kołowym i była utrzymywana za pomocą ultratermostatu w pożądanej temperaturze.



Rys. 30. Aparatura do oznaczania oporów przepływu

Szybkość przepływu soku wynosiła  $4,25 \text{ l/min. dcm}^2$ , co odpowiadało  $42,5 \text{ cm/min.}$  szybkości liniowej cieczy nad słupem krajanki. W kanałkach pomiędzy krajanką szybkość liniowa była zależna od wielkości ładunku.

Pożądaną wielkość ładunku ustalano zgniatając słup krajanki za pomocą górnego sita. Metoda ta umożliwiała regulowanie wielkości ładunku w granicach od  $0,39$  do  $0,70 \text{ g/cm}^3$ . Do prób używano zdrowych buraków

Wielkość oporu hydrodynamicznego stawianego przez słup krajanki buraczanej mierzono różnicą ciśnień ( $\Delta P$ ) między wlotem a wylotem cieczy z kolumny. Do doświadczeń używano wody lub roztworów cukru o różnym stężeniu.

Szybkość przepływu cieczy mierzono rotametrem, ustawionym u wylotu kolumny, przy czym szybkość przepływu regulowano zaworem dławiącym, znajdującym się przed rotametrem. Zmierzoną szybkość przeliczano na wielkość przekroju słupa krajanki, przez którą przepływała ciecz. Na tej podstawie można wyliczyć szybkość liniową cieczy nad słupem krajanki. Szybkość liniowa cieczy w kanałkach między krajanką zależy od ładunku krajanki.

Opisaną kolumnę napełniano krajanką buraczaną, której jakość określano mierząc długość  $100 \text{ g}$  krajanki. We wszystkich próbach stosowano krajankę o jednakowej grubości —  $100 \text{ g}$  krajanki miało długość  $13 \text{ m}$ .

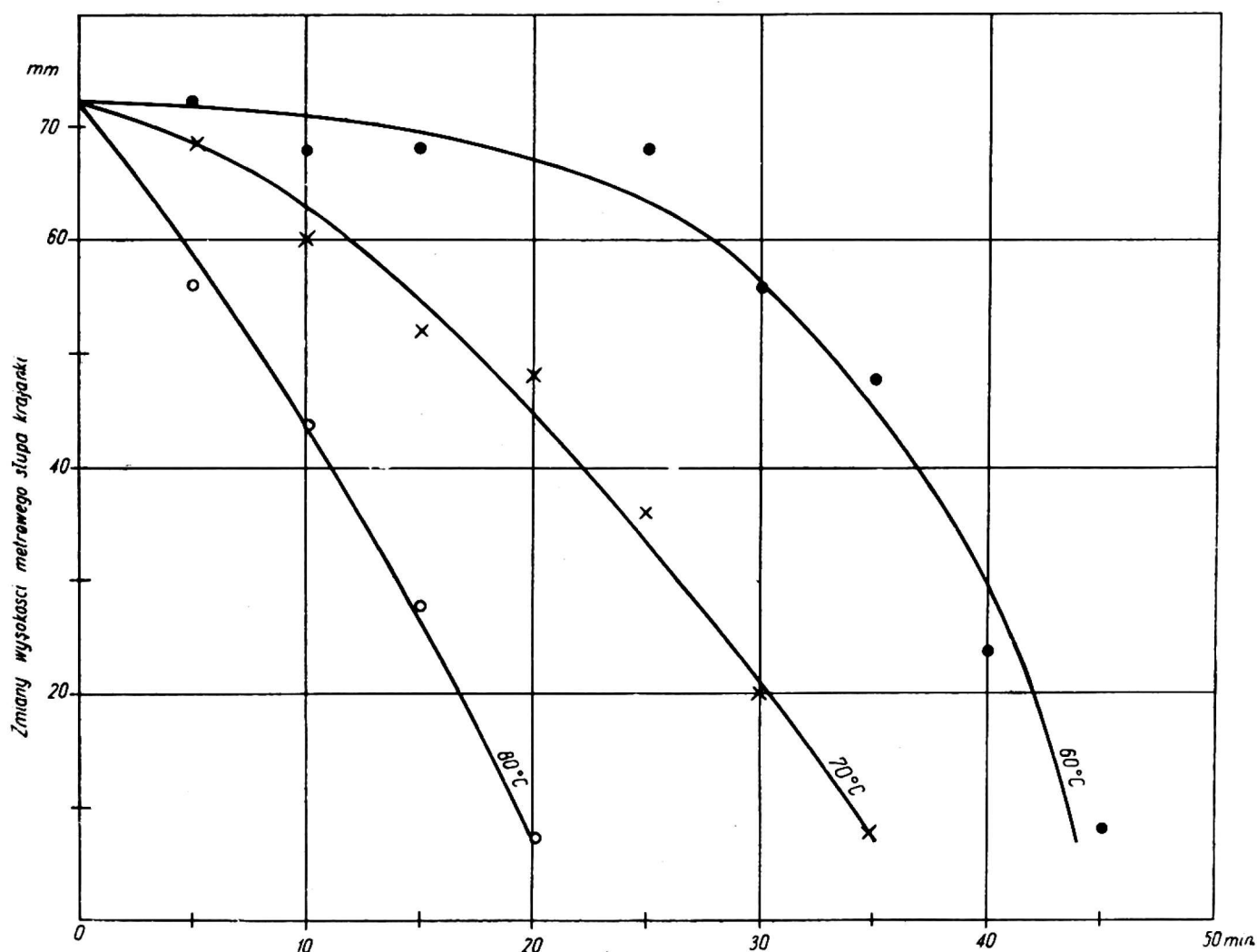
dojrzałych, buraków przedwcześnie wykopanych niedojrzałych oraz buraków nadpsutych (uprzednio mrożonych).

Elastyczność krajanki badano zwiększając ładunek ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) przez jej zgniatanie, a następnie odsuwając górne sito do pierwotnego położenia. Umożliwiało to wyrażenie elastyczności w procentach zwiększonego ładunku. Elastyczność ustalano w zależności od jakości krajanki oraz od temperatury i czasu prowadzenia badań. Określano również czas, po upływie którego krajanka traciła elastyczność w danej temperaturze.

Gdy badano świeżą krajankę, nie uzyskiwano takich samych wyników, przeciwnie, wyniki były nadmiernie rozbieżne. Wobec tego zastosowano wstępne ługowanie krajanki gorącą wodą przez 60 min. w temperaturze  $60^\circ\text{C}$ , co umożliwiało uzyskiwanie zgodnych rezultatów. Z tej przyczyny we wszystkich doświadczeniach prowadzono wstępne ługowanie krajanki.

## 2. Badanie elastyczności krajanki

Próby elastyczności polegały na badaniu sprężystości krajanki w trzech temperaturach:  $60$ ,  $70$  i  $80^\circ\text{C}$ .



Rys. 31. Zależność elastyczności krajanki buraczanej od temperatury i czasu; długość 100 g krajanki 13 m

Ładunek krajanki poddawanej próbie elastyczności w  $60^\circ$  można było zwiększyć o 30% wielkości pierwotnej. Po zwolnieniu nacisku krajanka powracała do pierwotnej objętości. Dalsze powiększanie ładunku powodowało trwałe odkształcenie krajanki.

Analogiczne badania prowadzone w  $70^\circ$  wykazały dobrą elastyczność krajanki przy maksymalnym ściskaniu słupa, powodującym zwiększenie ładunku o 20%. W  $80^\circ$  krajanka wykazała bardzo małą elastyczność, pozwalającą na zwiększenie ładunku tylko o kilka procent. Po 20 min. traciła ona całkowicie swą elastyczność.

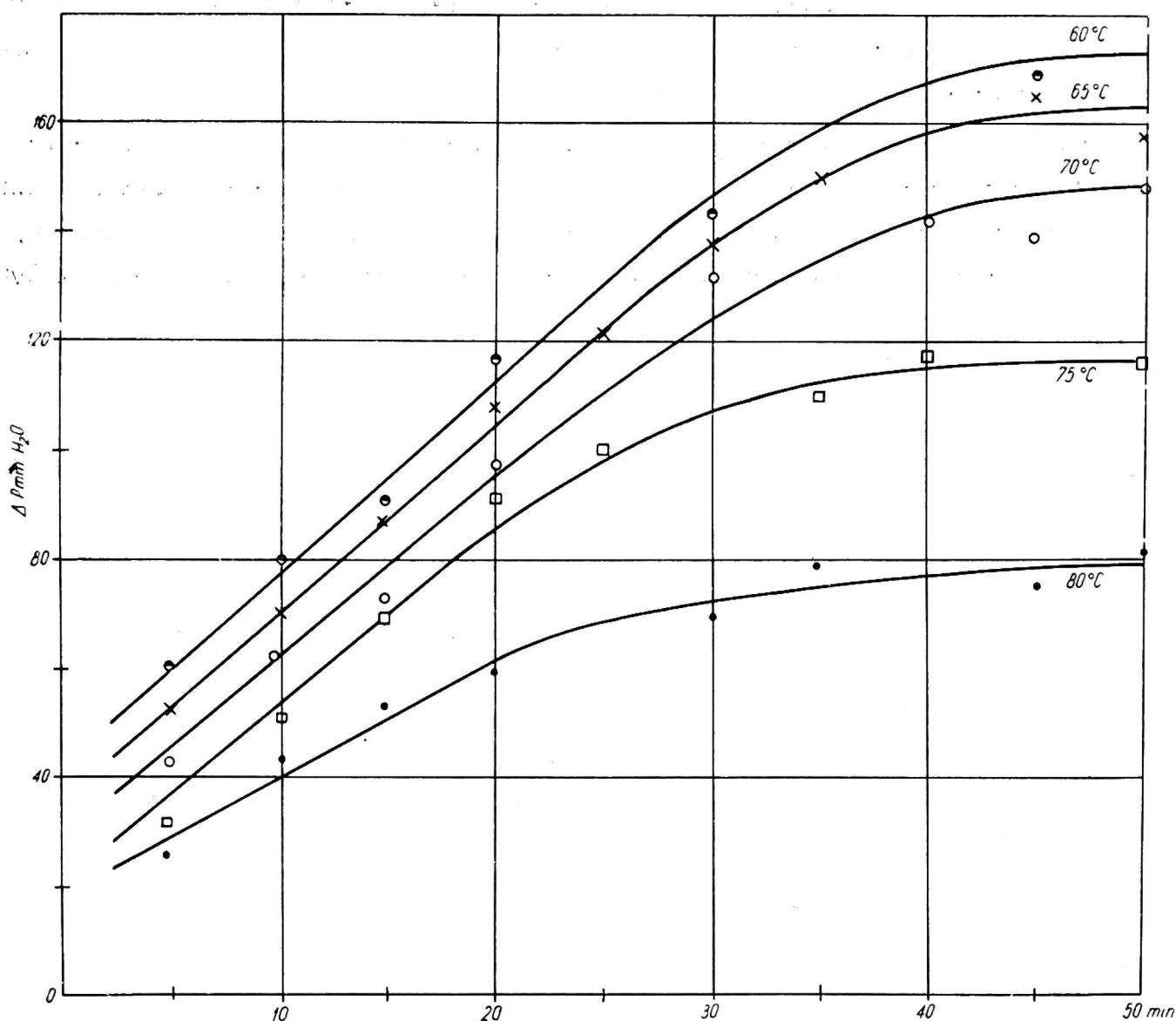
Aby znaleźć zależność elastyczności krajanki buraczanej od temperatury i czasu, prowadzono badania w następujący sposób. Słup krajanki wysokości 1 m poddawano ściśnięciu o 70 mm (7%) i natychmiast zwalniano nacisk, aby krajanka mogła powrócić do pierwotnej objętości. Próby sprężystości krajanki powtarzano kolejno co 5 min., utrzymując krajankę podczas całego doświadczenia w takiej samej temperaturze. Badania wykonano w trzech różnych temperaturach:  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  i  $80^\circ\text{C}$ . Wyniki badań przedstawiono na rys. 31.

Elastyczność zmniejszała się w miarę przedłużania czasu ogrzewania. Po 45 min. ogrzewania w  $60^\circ$  poziom krajanki po zgnieceniu jej o 70 mm od pierwotnej wysokości, podnosił się po zwolnieniu nacisku zaledwie o 8 mm. W temperaturze  $70^\circ$  już po 35 min. krajanka traciła swą elastyczność, a w temperaturze  $80^\circ$  — po 20 min.

### 3. Wpływ czasu i temperatury na opory hydrodynamiczne

W doświadczeniach badano opór hydrodynamiczny powodowany przez słup krajanki ułożonej w kolumnie pod własnym ciężarem. Wielkość ładunku wynosiła  $0,423\text{ g/cm}^3$ . Badania prowadzono w temperaturach  $60$ ,  $75$ ,  $80$  i  $85^\circ\text{C}$ .

W miarę przedłużania okresu ekstrakcji krajanki wzrastały opory przepływu. Po pewnym czasie opór prawie się ustalał, dążąc asymptotycznie do pewnej wielkości. W doświadczeniach prowadzonych w temperaturze  $60^\circ$  opór hydrodynamiczny wody przepływającej z szybkością  $1,2\text{ l/min. dcm}^2$  po 50 min. dochodził do  $175\text{ mm H}_2\text{O}$  na 1 m słupa krajanki. W wyższej temperaturze opory były odpowiednio mniejsze i nieco wcześniej dochodziły asymptotycznie do stałej wielkości. W temperaturze  $70^\circ$  opór wzrastał do  $150\text{ mm H}_2\text{O}$ , a w  $80^\circ$  do  $80\text{ mm}$ . Wyniki ilustruje wykres przedstawiony na rys. 32.



Rys. 32. Zależność oporów przepływu od temperatury i czasu: szybkość przepływu soku — 4,25 l/min. dcm<sup>2</sup>; długość 100 g krajanki — 13 m; wysokość słupa krajanki — 1 m; wielkość ładunku — 0,423 g/cm<sup>3</sup>

#### 4. Zależność hydrodynamicznych oporów od wielkości ładunku

##### a) Wpływ temperatury krajanki

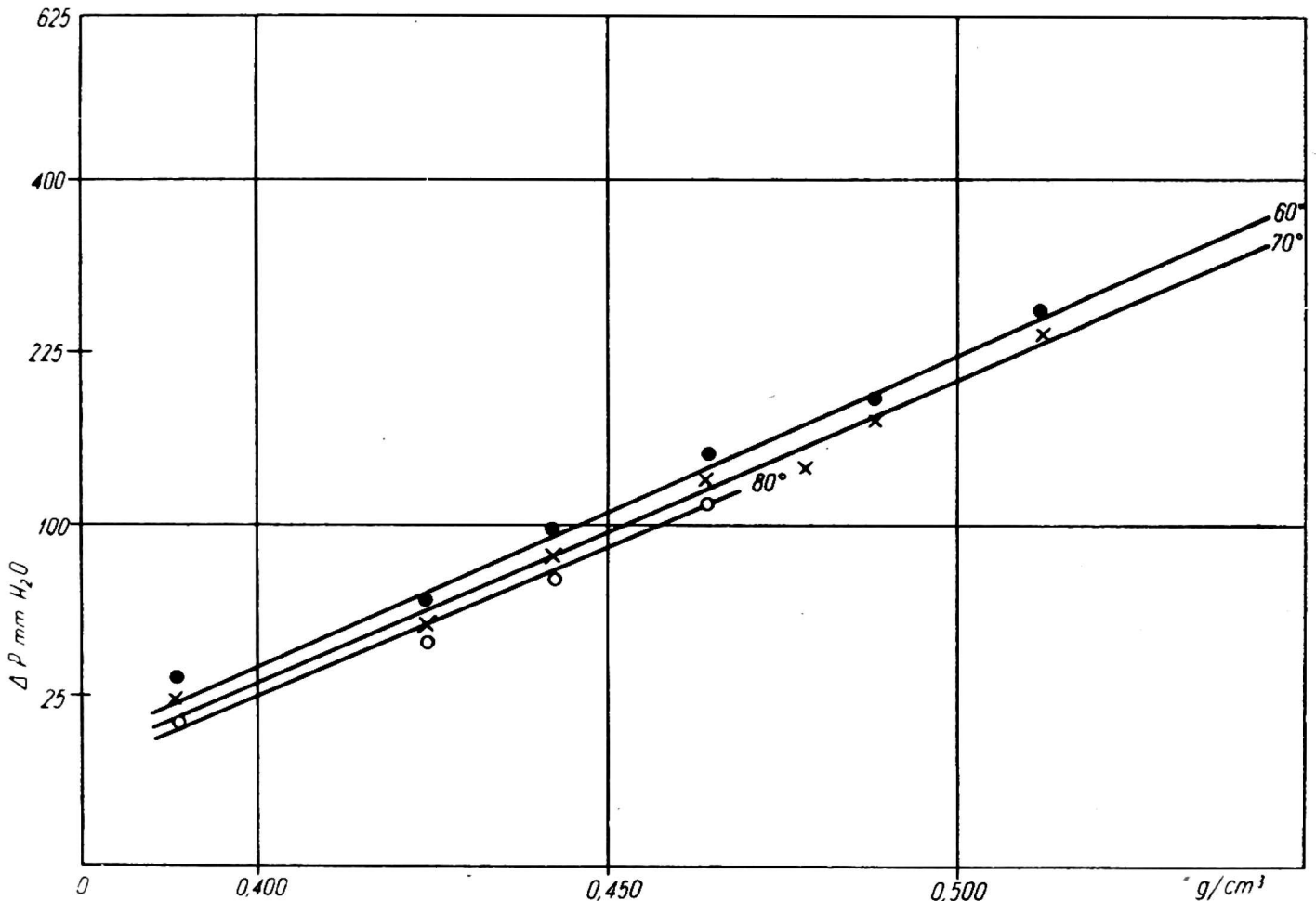
W dalszych doświadczeniach badano zależność oporu hydrodynamicznego przepływającej wody od wielkości ładunku w różnych temperaturach. W badaniach tych stosowano krajankę otrzymaną ze zdrowych, dojrzałych buraków, której 100 g miało długość 13 m.

W stałej temperaturze zwiększano co jakiś czas ładunek notując różnice ciśnień. W temperaturze 60° dla ładunku 0,40 g/cm<sup>3</sup> opory wyniosły około 40 mm H<sub>2</sub>O przy szybkości przepływu 1,2 l/min. Dla ładunku 0,51 g/cm<sup>3</sup> opór wzrósł do 260 mm H<sub>2</sub>O, a dla ładunku 0,57 g/cm<sup>3</sup> — do 440 mm H<sub>2</sub>O. Na tej podstawie stwierdzono, że zwiększenie ładunku powoduje wzrost wielkości oporów w drugiej potęgze. Analogiczną zależność stwier-



dzono również w temperaturze 70 i 80°, opory jednak ustalone w wyższych temperaturach były nieco mniejsze. Można to wytłumaczyć obniżeniem lepkości wody w wyższej temperaturze.

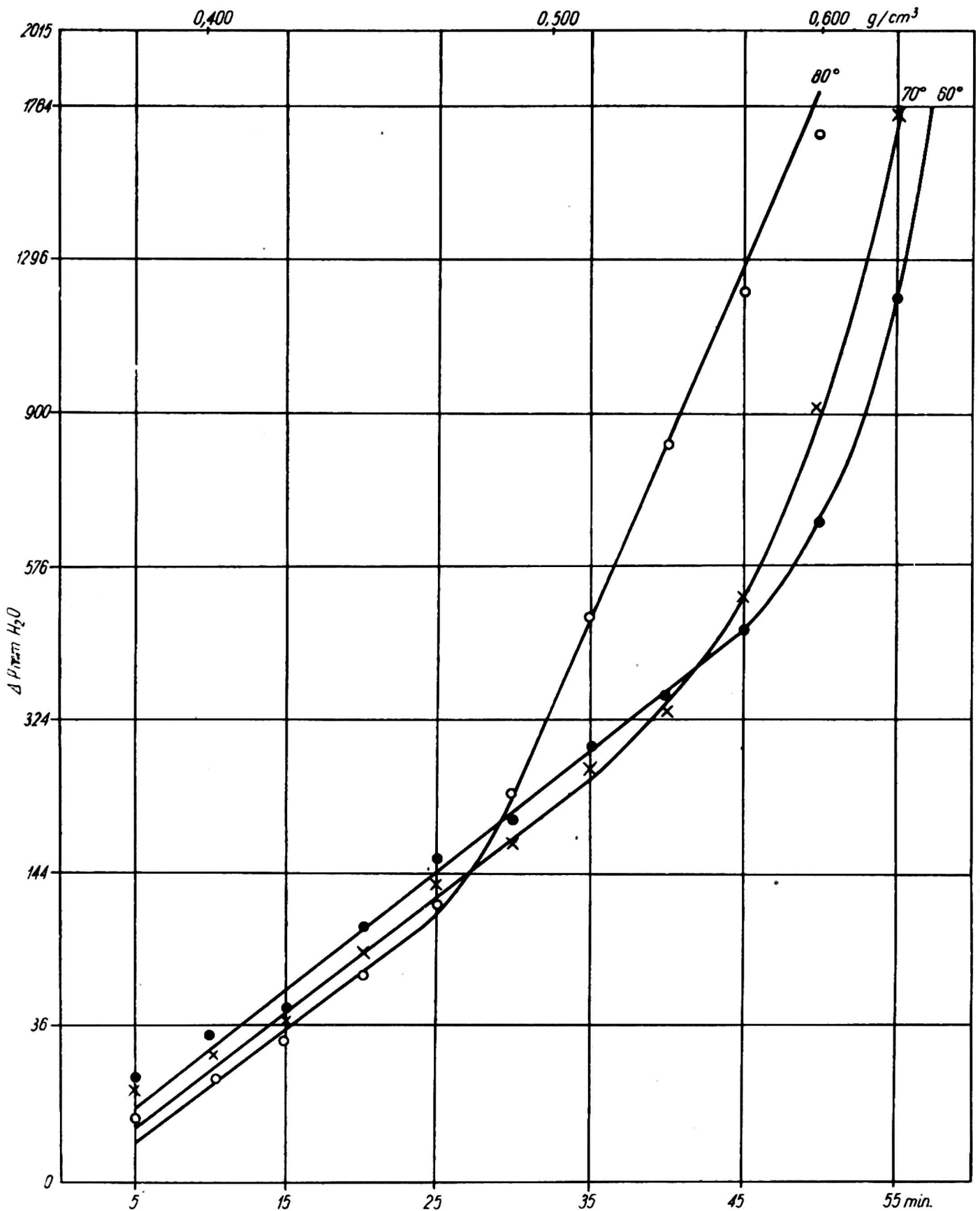
Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 33). Na osi odciętych odłożono wielkości ładunku, a na osi rzędnych — wielkości oporu w skali pierwiastka kwadratowego. W przybliżeniu uzyskane wyniki układają się na linii prostej. Przedstawiona zależność była jednakże prawdziwa tylko



Rys. 33. Zależność oporów przepływu od temperatury i ładunku krajanki: szybkość przepływu soku — 4,25 l/min.  $\text{dcm}^2$ ; długość 100 g krajanki — 13 m; wysokość słupa krajanki — 1 m

do pewnej granicy. W licznych doświadczeniach stwierdzono, że po przekroczeniu określonej wielkości ładunku wszystkie krzywe załamywały się, czyli że opór wzrasta szybciej.

W opisanych doświadczeniach brano pod uwagę jedynie wielkość ładunku, a pomiary dokonywano w równych odstępach czasu. Jednocześnie jednak następowały zmiany elastyczności krajanki tym szybsze, im w wyższej temperaturze wykonywano pomiary. Dla wytłumaczenia tego zjawiska przedstawiono na wykresie (rys. 34) wyniki analogicznych doświadczeń prowadzonych również z wyższymi ładunkami krajanki, zaznaczając czas na osi odciętych. Jak widać, krzywe wyraźnie się załamują,



Rys. 34. Zależność oporów przepływu od temperatury, ładunku krajanki i czasu: szybkość przepływu soku — 4,25 l/min. dcm<sup>2</sup>; długość 100 g krajanki — 13 m; wysokość słupa krajanki — 1 m

co należy przypisać wpływowi czasu trwania doświadczenia na zmiany elastyczności krajanki. Wskutek tego w wyższych temperaturach obserwowano znaczny wzrost oporów. W zestawieniu z powyższym staje się całkowicie zrozumiałe zjawisko tzw. zaparzania się krajanki w dyfuzji robertowskiej.

#### b) Wpływ stężenia roztworu

Ponieważ podczas dyfuzji przez słup krajanki przepływają soki o różnym stężeniu sacharozy, przeto przeprowadzono również badania wpływu stężenia cukru znajdującego się w roztworze na wielkość oporu hydrodynamicznego w zależności od ładunku. Doświadczenia prowadzono w temperaturze  $60^{\circ}$  w analogiczny sposób do opisanego poprzednio. Wyniki przedstawia rys. 35. Na osi odciętych odłożono wielkość ładunku wyrażoną w  $\text{g/cm}^3$ , a na osi rzędnych — wielkość hydrodynamicznego oporu w skali pierwiastkowej. Do badań stosowano wodę oraz roztwory cukru o zawartości 5, 10 i 15%. Wzrost oporów hydrodynamicznych przy wyższych stężeniach sacharozy jest powodowany jednoczesnym zwiększaniem lepkości roztworów.

Do wielkości ładunku  $0,58 \text{ g/cm}^3$  wyniki układają się w postaci prostej. Przy większych ładunkach następuje wyraźne załamanie krzywych, co należy tłumaczyć zmniejszeniem się sprężystości krajanki pod wpływem temperatury.

#### c) Wpływ grubości krajanki

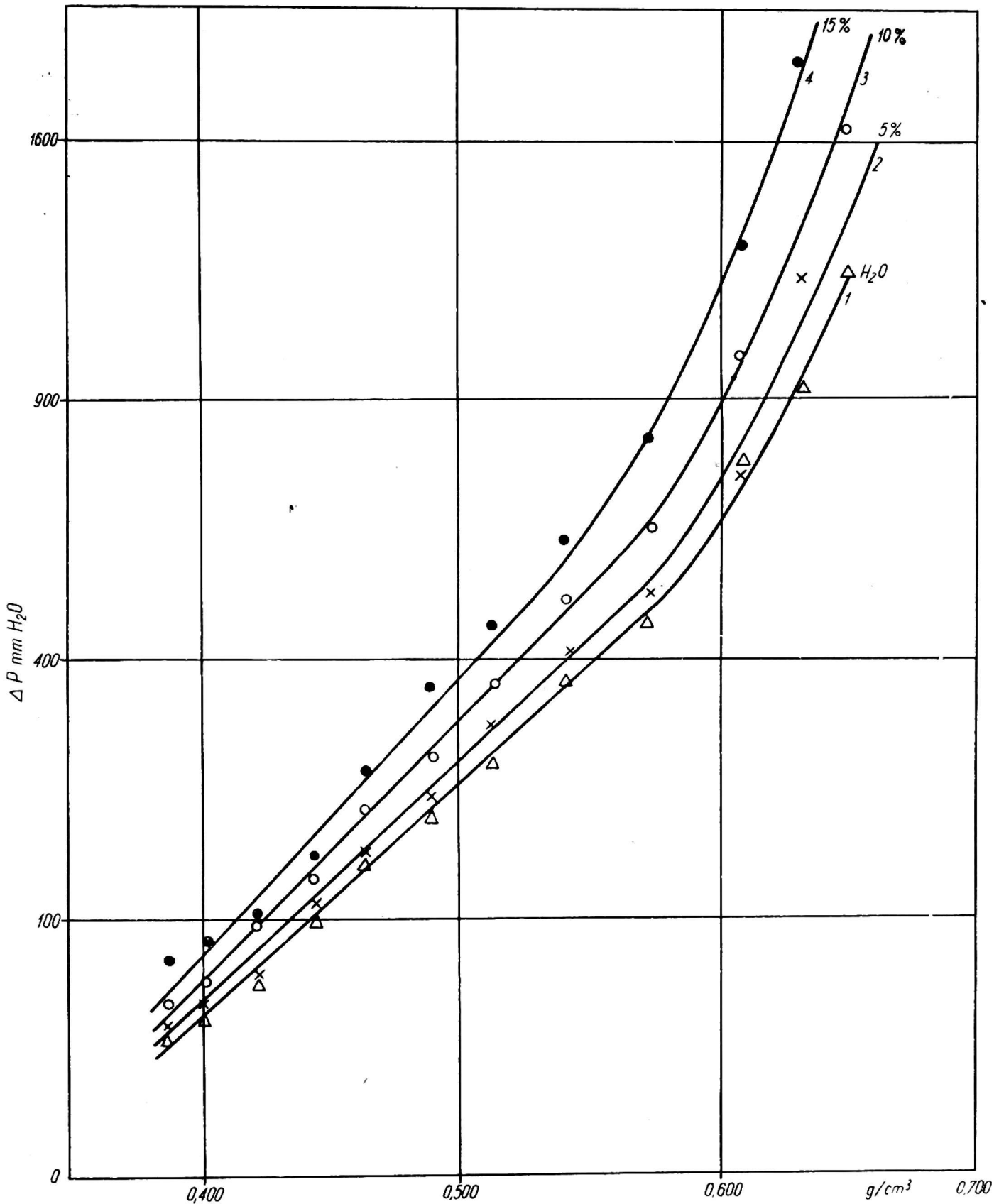
Ponieważ w procesach dyfuzyjnych mamy do czynienia z krajanką o różnej grubości, przeprowadzono badania wielkości oporu hydrodynamicznego, który stawia krajanka buraczana różnej grubości, wyrażonej w m na 100 g krajanki. Użyto krajankę długości 12,8, 17,1 i 26,5 m, przygotowaną z buraków zdrowych, dojrzałych. Do ekstrakcji stosowano wodę. Wszystkie trzy próby przeprowadzono w temperaturze  $60^{\circ}$ . Wyniki badań ilustruje rys. 36.

#### d) Wpływ stanu buraków

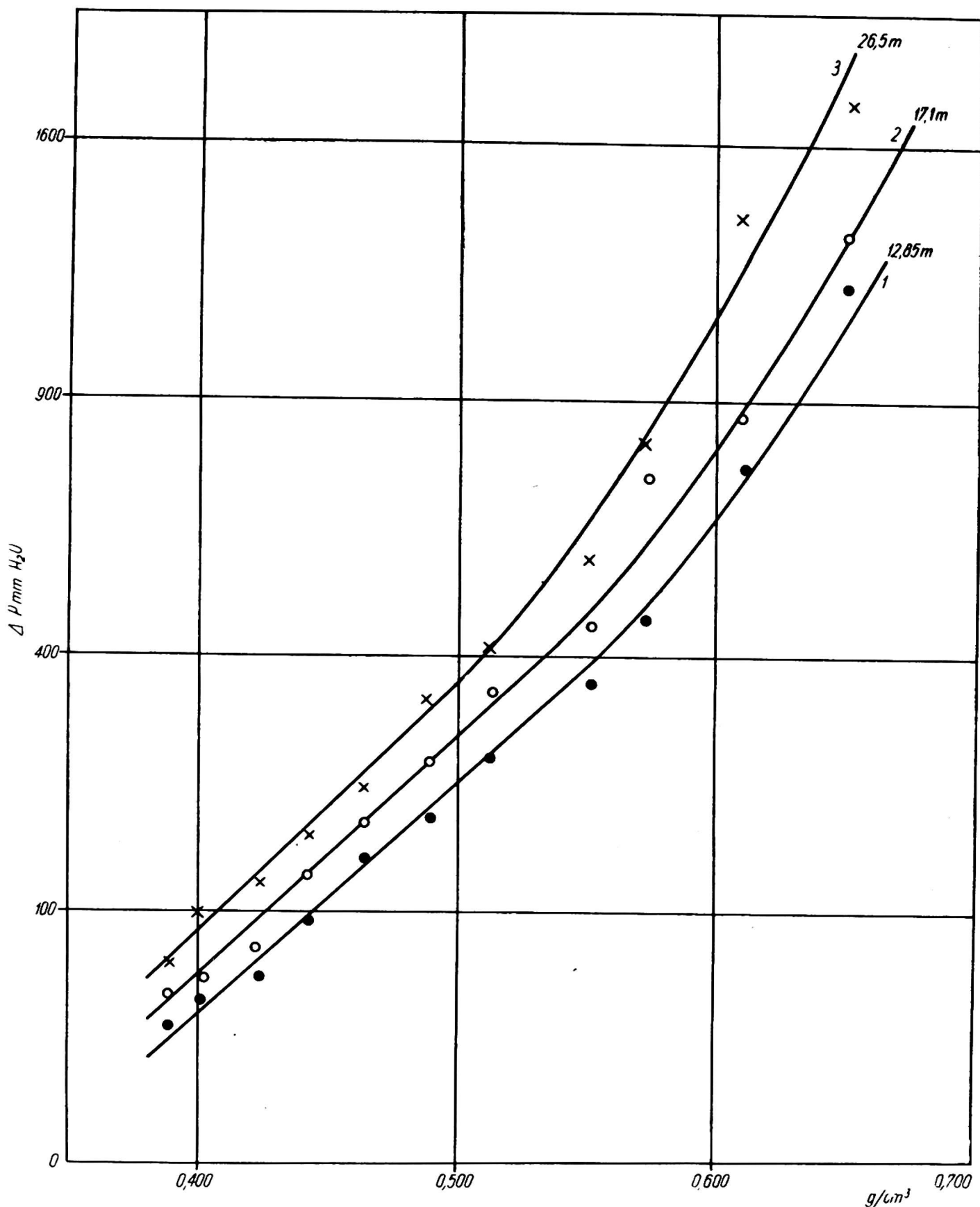
Dla pełnego ujęcia zagadnienia należało również uwzględnić w badaniach jakość surowca, czyli stan buraków użytych do przygotowania krajanki. W doświadczeniach stosowano trzy rodzaje buraków: buraki zdrowe dojrzałe, buraki przedwcześnie wykopane (sierpień) niedojrzałe oraz buraki zmarznięte częściowo nadpsute. Przygotowano krajankę, której 100 g miało długość 13 m. Zależność oporów hydrodynamicznych wody od wielkości ładunku badano w temperaturze  $60^{\circ}$ .

Początkowo krajanka otrzymana z buraków niedojrzałych wykazywała mniejsze opory, które jednakże szybciej wzrastały niż w przypadku kra-

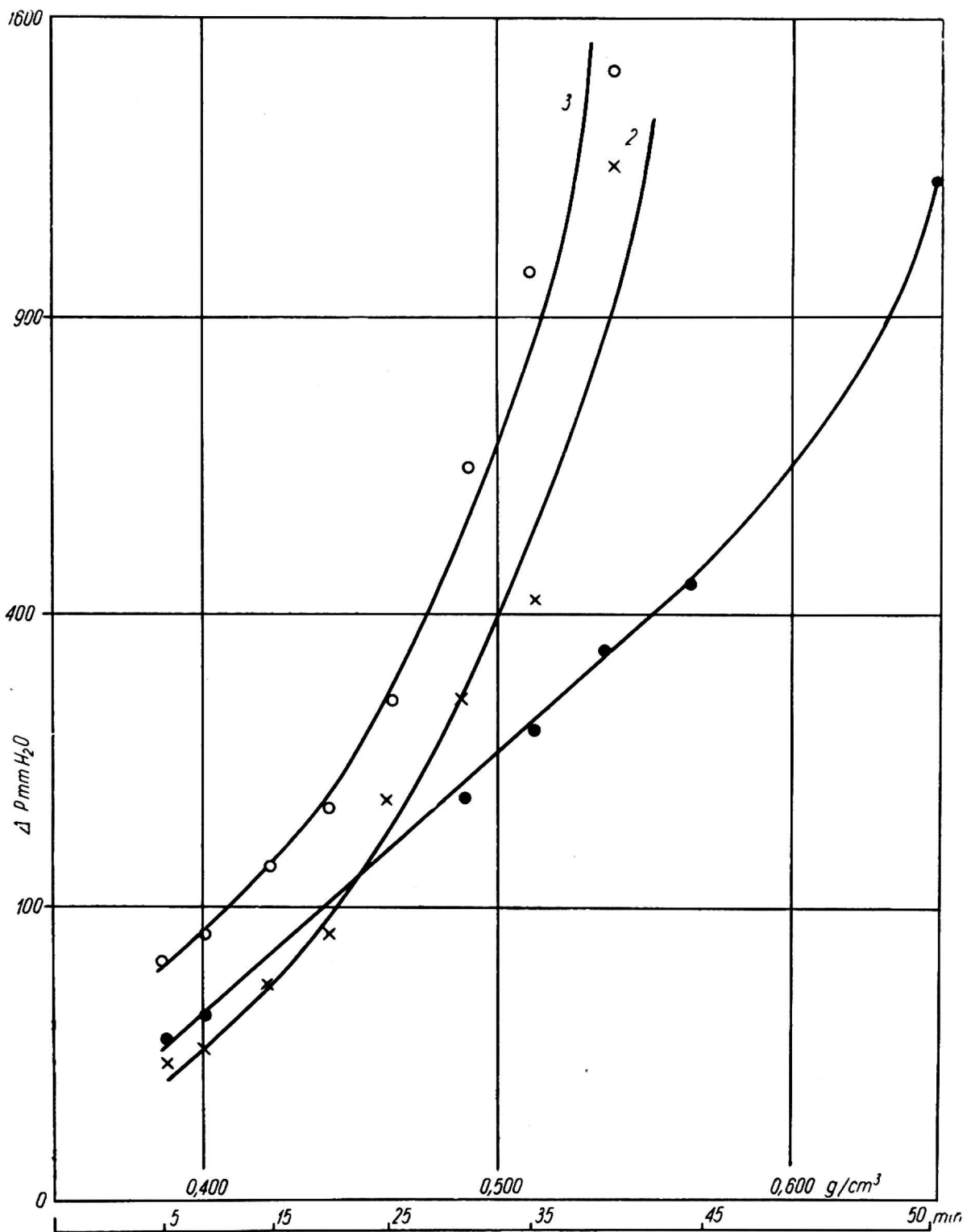




Rys. 35. Zależność oporów przepływu od stężenia roztworu i ładunku krajanki: temperatura — 60°C; szybkość przepływu soku — 4,25 l/min. dcm<sup>2</sup>; długość 100 g krajanki — 13 m; wysokość słupa krajanki — 1 m; 1 — woda, 2 — roztwór cukru 5%; 3 — roztwór cukru 10%; 4 — roztwór cukru 15%



Rys. 36. Zależność oporów przepływu od grubości i ładunku krajanki: temperatura —  $60^{\circ}C$ ; szybkość przepływu soku —  $4,25 \text{ l/min. dcm}^2$ ; wysokość słupa krajanki —  $1 \text{ m}$ ; 1 — długość  $100 \text{ g}$  krajanki  $12,8 \text{ m}$ ; 2 — długość  $100 \text{ g}$  krajanki  $17,1 \text{ m}$ ; 3 — długość  $100 \text{ g}$  krajanki  $26,5 \text{ m}$



Rys. 37. Zależność oporów przepływu od jakości buraków, ładunku krajanki i czasu: temperatura —  $60^\circ\text{C}$ ; szybkość przepływu soku —  $4,25 \text{ l/min. dcm}^2$ ; długość 100 g krajanki — 13 m; wysokość słupa krajanki — 1 m; 1 — buraki dojrzałe; 2 — buraki niedojrzałe; 3 — buraki zmarznięte nadpsute

janki z buraków dojrzałych. Największe opory powodowała krajanka z buraków zepsutych (rys. 37). Niewątpliwie i w tym przypadku duży wpływ ma czas prowadzenia doświadczeń. Z tej przyczyny na osi odciętych, oprócz wielkości ładunku, zaznaczono dodatkowo czas w minutach.

Jak wynika z badań krajanka z buraków zdrowych powoduje zahamowanie przepływu soku przy zwiększaniu ładunku od 0,60 do 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Przy burakach niedojrzałych zależy to od stopnia niedojrzałości. Dla buraków wykopanych w sierpniu zahamowanie następowało poniżej ładunku 0,60 g/cm<sup>3</sup>. Należy stąd wnosić, że tkanka buraka niedojrzałego w wyższej temperaturze szybciej traci elastyczność niż tkanka buraka zdrowego dojrzałego. Buraki nadpsute zmarznięte już przy ładunku 0,52 g/cm<sup>3</sup> powodują zahamowanie przepływu soku.

Równocześnie stwierdzono, że buraki nadpsute powodują blisko dwukrotnie większy opór niż buraki zdrowe dojrzałe.

Opisane doświadczenia stanowią przyczynek do poznania przebiegu procesu technologicznego podczas ekstrakcji cukru z buraków, gdyż jednoznacznie określono niektóre ważne zależności. Dużą przeszkodę stanowi jednoczesny wpływ wielu zmiennych. Toteż nie udało się zbadać wszystkich wielkości, które mają istotny wpływ na przebieg wysładzania krajanki w procesie technologicznym.

#### LITERATURA

1. G. Oplatka, M. Tegze: Acta Techn. Acad. Sc. Hung. **12**, 85 (1955).
2. S. Zagrodzki: Roczniki Techn. Chem. Żywn. **1**, 19 (1957).
3. T. Hruška, I. Slaviček: Listy cukrovarn. **70**, 137 (1954).
4. A. P. Ponomarenko: Sacharn. promysl. **27**, 35 (3, 1953).
5. I. I. Popow: Trudy CINS **1**, 62 (1934).
6. S. F. Dronow: Sacharn. promysl. **28**, 27 (6, 1954).
7. E. Slaviček: Listy cukrovarn. **70**, 135 (1954).
8. K. Vukov, M. Tegze: Cukoripar, **6**, 213 (1953).
9. G. Oplatka: Z. Zuckerind. **79**, 472 (1954).
10. G. Oplatka: Z. Zuckerind. **79**, 510 (1954).