

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 144

# MECHANIKA 31



BYDGOSZCZ - 1988

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 144

# MECHANIKA 31



BYDGOSZCZ - 1988

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
doc. dr hab. Juliusz Skonieczny

REDAKTOR NAUKOWY  
doc. dr hab. Józef Szala

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE  
mgr Halina Koziółkiewicz, Zbigniew Gackowski

Wydano za zgodą Rektora  
Akademii Techniczno-Rolniczej  
w Bydgoszczy

ISSN 0208-6395

WYDAWNICTWO UCZELNIANE AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ  
W BYDGOSZCZY

---

Wyd. I. Nakład 100 + 50 egz. Ark. wyd. 9,14, ark. druk. 8,6. Papier drukowy kl. V. 71 × 100.  
Oddano do druku w grudniu 1987. Druk ukończono w lutym 1988 r.

MNiSzW Cena 238 zł

Prasowe Zakłady Graficzne RSW „Prasa-Książka-Ruch” w Bydgoszczy, ul. Dworcowa 13  
Zamówienie nr 4150/87. TR P-2

NW 1222 P 1088'85

88 D 24/1

|   |     |
|---|-----|
| 1. Edmund Dulcet, Mariusz Chalamoński - Badanie urządzenia do dodawania preparatów chemicznych stałych ułatwiających proces zakiszania zielonek .....   | 5   |
| 2. Edmund Dulcet, Andrzej Dombek - Wpływ rodzaju krawędzi tnącej noża aktywnego urządzenia tnącego przyczepy zbierającej na zużycie energii podczas zbioru i cięcia materiałów łądowych ..... | 15  |
| 3. Eugeniusz Jarmocik - Analiza metod pomiaru przesiewalności gleby w kombajnach do zbioru ziemniaków .....   | 27  |
| 4. Maria Kaszowska - O rozpuszczaniu się pierwiastków stopowych w cementycie .....  | 37  |
| 5. Zbigniew Kikiewicz, Jerzy Lewandowski - Ocena badań niezawodności urządzenia o ciągłym procesie technologicznym - na przykładzie maszyny papierniczej .....                                | 41  |
| 6. Zbigniew Kikiewicz, Jerzy Lewandowski - Zagadnienie optymalizacji niezawodności procesu produkcji papieru .....  | 57  |
| 7. Zdzisław Ławrynowicz, Andrzej Barbacki - Własności mechaniczne i struktura stali 0,2C - IV-2 Mn po chłodzeniu ciągłym z temperatury austenitizowania .....                                 | 73  |
| 8. Witold Łoś, Jan Łukasiewicz, Marian Szymański - Badania pracy kotła niskoprężnego opalanego trocjanami .....   | 91  |
| 9. Jan Łukasiewicz - Technologia suszenia elementów klejonych w suszarce komorowej .....  | 99  |
| 10. Jan Łukasiewicz, Marian Szymański - Badania cieplne i eksploatacyjne kotłów centralnego ogrzewania .....  | 109 |
| 11. Józef Szala, Bolesław Przybyliński, Stanisław Zawiślak - Prawdopodobieństwo zniszczenia zmęczeniowego elementów konstrukcyjnych w zakresie nieograniczonej trwałości .....                | 123 |
| 12. Marian Szymański - Badania suszenia masy celulozowej w suszarce konwekcyjnej Fläkt .....  | 129 |



Edmund Dulcet  
Mariusz Chalamoński

BADANIE URZĄDZENIA DO DODAWANIA PREPARATÓW CHEMICZNYCH  
STAŁYCH UŁATWIAJĄCYCH PROCES ZAKISZANIA ZIELONEK

W artykule opisano prototyp urządzenia do dodawania preparatów chemicznych stałych. Omówiono wyniki badań stanowiskowo - laboratoryjnych modelu dozownika zainstalowanego na sieczkarni zbierającej Z-305 "Przemysław".

1. WSTĘP

Obecnie coraz częściej do kiszzenia pasz zielonych stosuje się preparaty chemiczne ułatwiające zakiszanie zielonek, szczególnie z roślin motylkowych i traw lub zwiększające wartość pokarmową kiszzonek /syntetyczne związki azotowe/ [8,10,11,12].

Podstawowymi czynnikami warunkującymi uzyskanie właściwych efektów dodawania preparatów jest ich równomierne rozproszanie w masie zielonki oraz dodawanie ich w odpowiedniej ilości, co może być zagwarantowane przez posiadanie odpowiednich urządzeń mechanizujących proces dodawania [5,7,8,9].

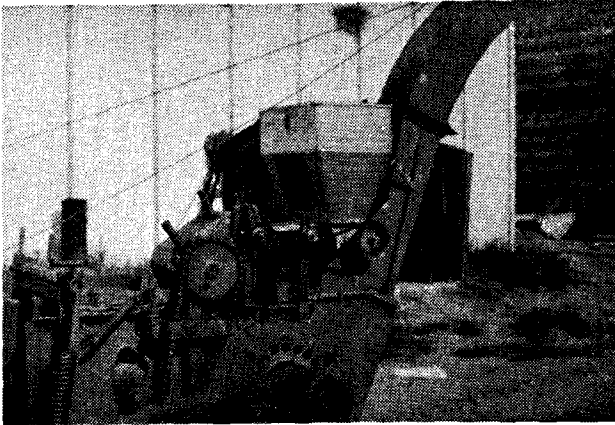
W kraju produkcja kiszzonek z dodatkiem chemicznych preparatów konserwujących jest bardzo mała, mimo produkcji takich preparatów zarówno o konsystencji płynnej jak i stałej. Jednym z powodów takiego stanu jest mała ilość urządzeń umożliwiających dodawanie preparatów do zakiszania roślin. W kraju znajdują się nieliczne rozwiązania urządzeń do dodawania preparatów płynnych, jednak brak jest rozwiązań urządzeń do dodawania preparatów stałych [1,2,6, 8].

W Katedrze Maszyn Rolniczych i Pojazdów ATR w Bydgoszczy opracowano konstrukcję, wykonano model i przeprowadzono badania stanowiskowo - laboratoryjne modelu dozownika zainstalowanego na sieczkarni zbierającej Z-305 "Przemysław", a przeznaczonego do dodawania preparatów chemicznych stałych /sypkich i granulowanych/ w czasie zbioru powyższą sieczkarnią.

Celem badań stanowiskowo-laboratoryjnych było określenie podstawowych parametrów eksploatacyjnych modelu dozownika.

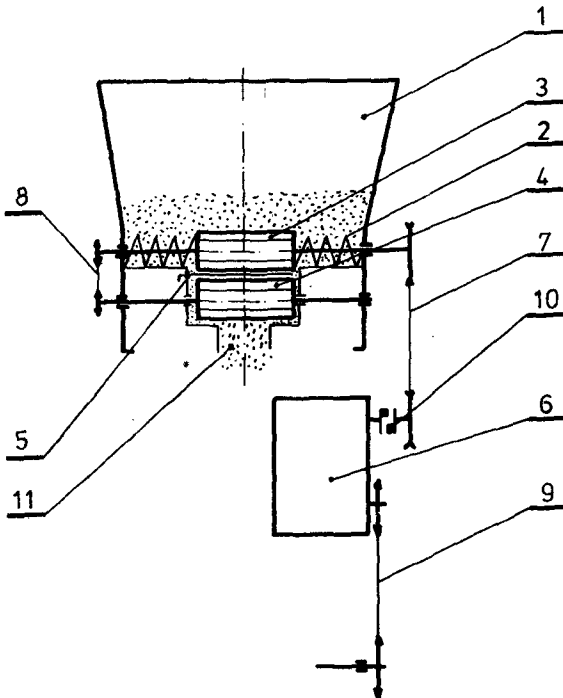
## 2. OPIS BUDOWY I DZIAŁANIA MODELU

Na rysunku 1 przedstawiono widok modelu dozownika zainstalowanego na sieczkarni Z-305 "Przemysław", a na rysunku 2 schemat budowy. Składa się



Rys.1. Widok modelu dozownika

on ze zbiornika 1, wewnątrz znajduje się ślimak 2, którego zadaniem jest mieszanie i dostarczanie preparatu do urządzenia podającego 3, zamonto-



Rys.2. Schemat dozownika  
1-zbiornik, 2-ślimak, 3-u-  
rządzenie podające, 4-bę-  
ben dozujący, 5- zasowa  
regulacyjna, 6- skrzynia  
przekładniowa, 7- prze-  
kładnia pasowa, 8,9-prze-  
kładnia łańcuchowa, 10 -  
-sprzęgło kołowe, 11- ka-  
nał wylotowy

wanego na jednym wspólnym wałku ze ślimakiem. Z urządzenia podającego preparat jest przekazywany na bęben dozujący 4 i kierowany do kanału wylotowego 11. Wydatek preparatu jest realizowany za pomocą skrzyni przekładniowej 6 /zmiana prędkości kątowej bębna dozującego/ i zasuwy regulacyjnej 5/zmiana szerokości roboczej bębna dozującego/. Zastosowanie sprzęgła kłowego 10 sterowanego cięgiem z kabiny traktorzysty umożliwia włączanie i wyłączenie dozownika bez potrzeby zatrzymywania cięcia /podbierania/ i rozdrabniania w sieczkarni.

Bęben dozujący 4 napędzany jest od elementów roboczych sieczkarni poprzez przekładnię łańcuchową 9, skrzynię przekładniową 6, przekładnię pasową 7 /napęd ślimaka i urządzenia dozującego/ i przekładnię łańcuchową 8. Dozownik posiada 54-stopniową skalę dozowania dzięki zastosowaniu skrzyni przekładniowej Nortona od siewnika zbożowego /18 przełożeń/ i 3 różnych szerokości roboczych bębna dozującego, sterowanych zasuwą regulacyjną.

Zbiornik dozownika o pojemności 30 lub 50 dm<sup>3</sup> przykryty jest do właściwego urządzenia dozującego. Wyposażenie zbiornika w przeźroczystą przednią ściankę lub wziernik umożliwia bieżącą kontrolę jego zawartości w czasie pracy.

Proces dozowania przebiega następująco: preparat zasypany do zbiornika mieszany jest ślimakiem znajdującym się w jego dolnej części /zapobiega zbrylaniu się preparatu/, a jednocześnie przesuwany jest do środkowej części zbiornika do urządzenia podającego. Stąd preparat podawany jest do komór bębna dozującego, a następnie przez kanał doprowadzający trafia grawitacyjnie do kanału wyrzutowego sieczkarni /otwór wycięty w kanale wyrzutowym sieczkarni/. W celu dobrego wymieszania preparatu z rozdrobnioną zielonką, kanał wylotowy dozownika należy umieścić w tej części kanału wyrzutowego sieczkarni, w której wirowy przepływ powietrza jest najintensywniejszy.

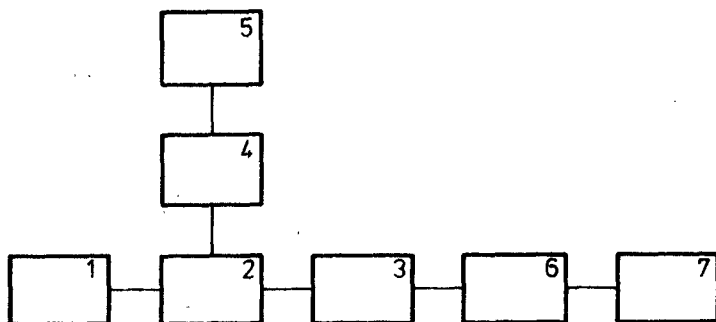
### 3. METODYKA BADAŃ

Program i metodykę badań opracowano tak, aby można było ustalić:

- miejsce zainstalowania kanału wylotowego dozownika w kanale wyrzutowym sieczkarni,
- wydajność dozowania preparatów,
- moc potrzebną do napędu dozownika.

Dla zrealizowania przedstawionego programu badań wykonano stanowisko badawcze, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 3.





Rys. 3. Schemat blokowy stanowiska badawczego  
 1- ciągnik Ursus C-355, 2-WOM ciągnika,  
 3-sieczkarnia zbierająca Z-305 "Przemysław" z nadbudowanym modelem dozownika,  
 4-momentomierz indukcyjny ze znacznikiem obrotów, 5-oscylograf, 6-rurka Prandtla z mikromanometrem Recknagla,  
 7 - waga laboratoryjna

### 3.1. Określenie prędkości przepływu powietrza w kanale wyrzutowym sieczkarni

W celu określenia prędkości przepływu powietrza w kanale wyrzutowym sieczkarni wykonano pomiary ciśnienia dynamicznego w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych w trzech miejscach kanału wyrzutowego. Umieszczenie otworów pomiarowych pokazano na rysunku 4. W płaszczyznach II-II, III-III oraz IV-IV wykonano po 5 pomiarów w sposób pokazany na rysunku 5, a w pozostałej płaszczyźnie /I-I/ wykonano po 3 pomiary. Do pomiaru użyto rurkę Prandtla z mikromanometrem Recknagla. Prędkość obrotowa WPM ciągnika wynosiła 540 obr/min. W oparciu o pomierzone wartości ciśnienia dynamicznego określono rozkład prędkości powietrza w poszczególnych płaszczyznach kanału wyrzutowego sieczkarni.

$$P_d = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

gdzie:

$P_d$  - ciśnienie dynamiczne, Pa

$\rho$  - gęstość alkoholu  $\text{kg/m}^3$

$g$  - przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$

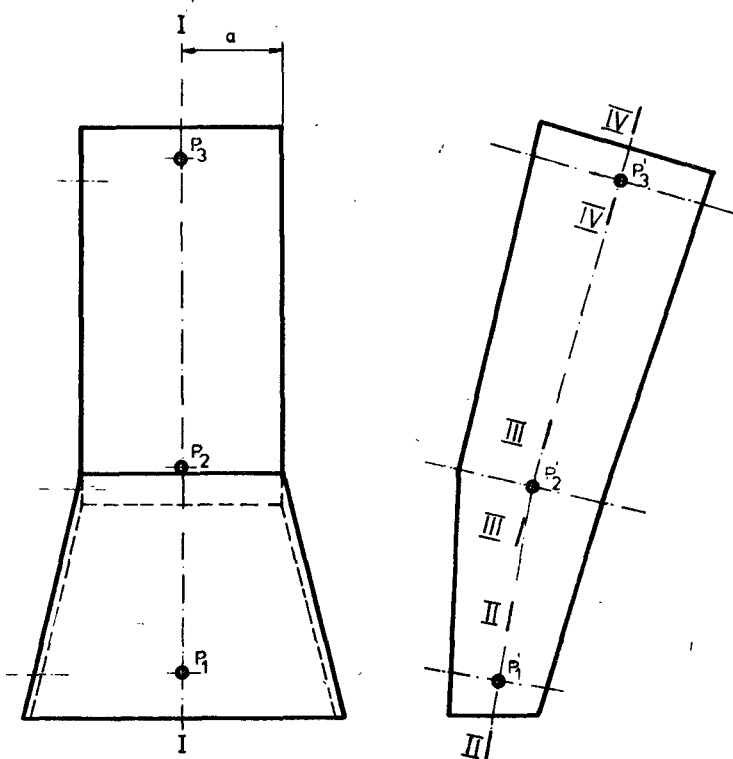
$h$  - wysokość słupa alkoholu, m

$\rho$  -  $813 \text{ kg/m}^3$  w temp.  $15^\circ\text{C}$

$$c = \sqrt{2 \cdot \frac{\rho}{\rho_p} \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

gdzie:

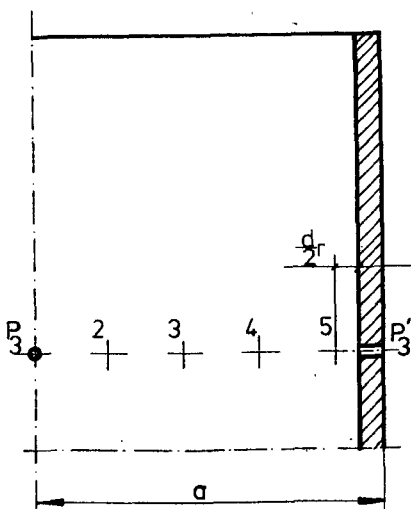
$c$  - prędkość powietrza, m/s



Rys.4. Umiejscowienie otworów pomiarowych w kanale wyrzutowym siczekarni

$P_1 \dots P_3$  - otwory pomiarowe,  $a$  - szerokość kanału wyrzutowego siczekarni

Płaszczyzna pomiarowa  $\overline{IV-IV}$



Rys.5. Umiejscowienie punktów pomiarowych w płaszczyźnie pomiaru IV - IV

$a$  - szerokość kanału wyrzutowego siczekarni

$d_r$  - średnica rurki Prandtla

$\rho_p$  - gęstość powietrza,  $\text{kg/m}^3$

$\rho_p$  - 1,05  $\text{kg/m}^3$ , w temp. 15°C

### 3.2. Określenie wydajności dozowania preparatów

Wydajność dozowanych preparatów pomierzono dla wszystkich przełożeń skrzyni przekładniowej /18 przełożeń/ i 3 różnych szerokości roboczych bębna dozującego, mierząc czas wyrzutu próbki preparatu o masie 5kg /odważonej z dokładnością  $\pm 1$  g/. Pomiarów przeprowadzono trzykrotnie przy stałych obrotach WPM, tj. 540 obr/min. Do badań użyto benzoensanu sodu i mocznika granulowanego o zawartości suchej masy 91% i 95%. Wilgotność preparatów określono metodą suszarkowo-wagową wg PN - 73/C-87008.

### 3.3. Określenie mocy potrzebnej do napędu dozownika

Moc potrzebną do napędu dozownika na biegu jałowym i pod obciążeniem obliczono z zarejestrowanych wartości momentu obrotowego mierzonego na wale napędowym siewczkarni i zarejestrowanej liczby obrotów tego wału. Pomiarów momentu obrotowego dokonywano przy pomocy momentomierza indukcyjnego MI-20 zaopatrzonego w znacznik obrotów, zainstalowanego pomiędzy WPM ciągnika a wałem napędowym siewczkarni. Wartość momentu odczytywano z oscylogramów. Moc przy danym momencie obrotowym obliczono wg wzoru:

$$P = \frac{M_o \cdot n}{9560} \quad (3)$$

gdzie:

P - moc, kW

$M_o$  - moment obrotowy, Nm

n - liczba obrotów wału, obr/min

## 4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki pomiarów prędkości powietrza w kanale wyrzutowym siewczkarni umieszczono w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 przedstawiono wyniki badań wydajności dozowania preparatów oraz zapotrzebowania mocy.

Tabela 1

Wyniki pomiarów prędkości powietrza w kanale wyrzutowym siewczkarni

| Punkt pomiarowy | Prędkość przepływu powietrza - m/s |                |                |                |                |                |
|-----------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 | P <sub>1</sub>                     | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>3</sub> |
| 1               | 33,8                               | 34,8           | 31,2           | 29,8           | 28,6           | 27,9           |
| 2               | 33,5                               | 31,9           | 30,2           | 26,4           | 27,6           | 27,0           |
| 3               | 34,2                               | 25,3           | 28,1           | 24,3           | 26,1           | 25,4           |
| 4               | 31,2                               | -              | 26,4           | -              | 23,8           | -              |
| 5               | 25,3                               | -              | 22,7           | -              | 21,2           | -              |

Tabela 2

## Wyniki badań modelu dozownika

| Dozowany preparat         | Zapotrzebowanie mocy kW |            | Zakres wydajności dozowania kg/h |
|---------------------------|-------------------------|------------|----------------------------------|
|                           | bieg jałowy             | obciążenie |                                  |
| benzoensan sodu /pylisty/ | 0,09                    | 0,84       | 28 - 206                         |
| Mocznik /granulowany/     | 0,09                    | 0,76       | 31 - 480                         |

W badaniach mających na celu określenie prędkości przepływu powietrza w kanale wyrzutowym siewczarni chodziło o znalezienie takiego miejsca na kanale wyrzutowym, które gwarantowałoby sprawne opróżnianie zbiornika dozownika preparatów stałych oraz dokładne wymieszanie preparatów konserwujących z ciętą zielonką przeznaczoną do zakiszania. Ze względów konstrukcyjnych tak wyrzutnika, jak i dozownika, zdecydowano się na kompromis, w którym czynnikiem decydującym okazała się konieczność dokładnego wymieszania dozowanych preparatów z ciętą zielonką. Przeprowadzone badania stanowiskowe potwierdziły trafność wyboru miejsca dla zamocowania kanału wylotowego dozownika. Należy podkreślić, iż w przypadku korzystania z innego typu siewczarni może zaistnieć konieczność zmiany miejsca, w którym następuje mieszanie preparatu z zielonką oraz przeprowadzenia ponownych badań.

Praktyczna przepustowość siewczarni Z-305 wynosi od 10 do 30 t/h w zależności od wielkości plonu zebranej rośliny, gęstości i splątania porostu [3,8]. Dawka preparatów stałych /sypkich lub granulowanych/ wynosi obecnie w zależności od rodzaju materiału roślinnego przeznaczonego do kiszzenia i rodzaju preparatu od 2 do 6 kg na tonę zielonki [6,7]. W związku z tym dozownik powinien zapewniać dodawanie preparatów w granicach 20 - 180 kg/h. Jak wynika z tabeli 2 prototyp dozownika nie zapewnia wydatku minimalnego, zarówno dla preparatów sypkich jak i granulowanych. W celu uzyskania wymaganej wydajności należy wprowadzić zmiany konstrukcyjnych decydujących o wydajności dozowania i przeprowadzić ponowne badania.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza otrzymanych wyników upoważniają do wyprowadzenia następujących wniosków:

- Otrzymane wyniki badań charakteru przepływu powietrza w kanale wyrzutowym siewczarni pozwoliły na znalezienie najdogodniejszego miejsca umiejscowienia kanału wylotowego dozownika /płaszczyzna II - II rys.4/.

Największe wartości prędkości oraz turbulencje występujące w tej płaszczyźnie gwarantują dobre wymieszanie preparatu z rozdrobnioną

zielonką.

2. Moc potrzebna do napędu prototypu dozownika jest mała /na biegu jałowym 0,12 kW, pod obciążeniem 0,84 kW/ i nie powinna wpływać na zmniejszenie wydajności i pogorszenie warunków pracy sieć - karni.
3. Aktualny prototyp dozownika po usunięciu zauważonych usterek, poddany zostanie badaniom w warunkach normalnej eksploatacji, przewidzianej dla tego typu urządzeń, z użyciem wszystkich preparatów stałych, produkowanych przez krajowy przemysł chemiczny.

#### LITERATURA

- [1] Dulcet E., Rybczyński G., Wośko Z.: Projekt wstępny dozownika do preparatów sypkich. Praca niepublikowana. ITiEM ATR, Bydgoszcz 1982
- [2] Dulcet E., Chalamoński M., Kociński R.: Dozownik do preparatów chemicznych stałych. III Sympozjum nt. Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych, Płock 1985
- [3] Informator CHRS "Agroma". WPM "Wema" Warszawa 1984
- [4] Kołodziejczyk L., Mańkowski S., Rubik M.: Pomiarzy w inżynierii sanitarnej. Arkady, Warszawa 1980
- [5] Maskowa H., Hawelik J., Holudova V.: Aplikace konservacich pripravku pri vyrobie obejmowych krimiv. Zemedelska Technika, 26, 1980
- [6] Piotrowska A.: Mrówczan sodu i mrówczan wapnia jako konserwanty. Przegląd Hodowlany, 23, 1981
- [7] Pirkelmann H.: Flussige silermittel gleich massig verteilen Verbesserung der Garbedigungen. DLG Mittelungen, 11, 1976
- [8] Podkówka W.: Nowoczesne metody kiszenia pasz. PWRiL Warszawa 1979
- [9] Roszkowski A.: Mechanizacja zbioru i konserwacji pasz zielonych. PWRiL Warszawa 1979
- [10] Tarnow M.T.: Naucznyje osnovy primienia chemiczeskich wieszczestw pri zagotowkie i chranieni karmow. Izdat "Kołos", Moskwa 1964
- [11] Tarnow M.T.: Naucznyje osnovy primienienia chemiczeskich wieszczestw pri zagotowkie i chranieni karmow. Wiestnik S-ch Nauk, 11, 1974
- [12] Zafren S.J.: Nowe metody kiszenia pasz zielonych. Nowe Rolnictwo, 8, 1970

TESTING AN APPLIANCE ADDING CHEMICAL PREPARATIONS IMPROVING GREEN CROPS  
PICKLING PROCESS

Summary

The paper presents an idea of a new appliance which adds solid chemical preparations. The author discusses measurements results of a model of a new appliance installed on the straw cutter Z-305 "Przemysław".

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБАВКИ ХИМИЧЕСКИХ СТАБИЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ОБЛЕГЧАЮЩИХ ПРОЦЕСС СИЛОСОВАНИЯ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ

Резюме

В статье описан прототип устройства для добавки стабильных химических препаратов. Рассмотрены результаты исследований стендо-лабораторных моделей дозатора установленного на собирающей соломорезке Z - 305 "Przemysław".



Edmund Dulcet  
Andrzej Dombek

WPLYW RODZAJU KRAWĘDZI TNĄCEJ NOŻA AKTYWNEGO URZĄDZENIA  
TNĄCEGO PRZYCZEPY ZBIERAJĄCEJ NA ZUŻYCIU ENERGII POD-  
CZAS ZBIORU I CIĘCIA MATERIAŁÓW ŁODYGOWYCH

Celem badania była próba określenia wpływu rodzaju krawędzi tnącej noża aktywnego urządzenia tnącego przyczepy zbierającej na zużycie energii w procesie zbioru i cięcia materiałów łodygowych. W artykule omówiono metodykę badań oraz uzyskane wyniki badań. Stwierdzono, że rodzaj krawędzi tnącej noża wpływa w istotny sposób na zużycie energii. Z zastosowanych w badaniach noży o gładkiej, zębatej i schodkowej krawędzi tnącej noża najniższe zużycie energii występowało przy użyciu schodkowej krawędzi tnącej.

## 1. WSTĘP I CEL PRACY

Zbiór objętościowych produktów paszowych /słoma, siano, zielonki/ został rozwiązany przez wprowadzenie do rolnictwa przyczep zbierających. Jednak zbierany materiał, szczególnie zgrabiany w wałki przed zbiorem jest wzajemnie powiązany, co występuje zwłaszcza przy roślinach długołodygowych. O ile zbiór i załadunek materiałów do skrzyni przyczepy nie sprawia żadnych trudności, to wyładunek ze skrzyni, przeładunek i składowanie takiego materiału obniża wydajność urządzeń przeładunkowych, szczególnie przy zastosowaniu pneumatycznych środków transportowych [6,8].

Chcąc zatem lepiej wykorzystać wydajność środków przeładunkowych, a przede wszystkim ułatwić operowanie zbieranym materiałem, już w początkowym okresie rozwoju konstrukcji przyczep zbierających wyposażono je w urządzenia tnące bierne i aktywne [3,6,8].

Cięcie materiałów roślinnych urządzeniami tnącymi przyczep zbierających należy do najbardziej energochłonnych czynności wykonywanych przez tę maszynę. Przy rozstawie noży 120-150 mm zapotrzebowanie mocy może dochodzić do 60-65% całej mocy pobieranej przez przyczepę zbierającą [5,9]. Zmniejszenie energochłonności procesu cięcia można osiągnąć przez właściwy dobór parametrów technicznych urządzeń tnących. Jest to jednak trudne i skomplikowane, ponieważ niewielkie zmiany parametrów roboczych mogą w zasadniczy sposób zmienić efekty pracy urządzeń tnących. Dotychczasowe próby rozwiązania tego zagadnienia doprowadziły w urządzeniu tnącym aktywnym do ustalenia wpływu wartości kąta cięcia, wielkości skoku i czę-



stotliwości ruchu noży na zużycie energii w procesie cięcia. nierozwiązanym problemem pozostał jednak wpływ rodzaju krawędzi tnącej noża na zużycie energii [2,6,7,8,10]. Dlatego też celem badań była próba rozwiązania tego zagadnienia.

## 2. METODYKA I WARUNKI BADAŃ

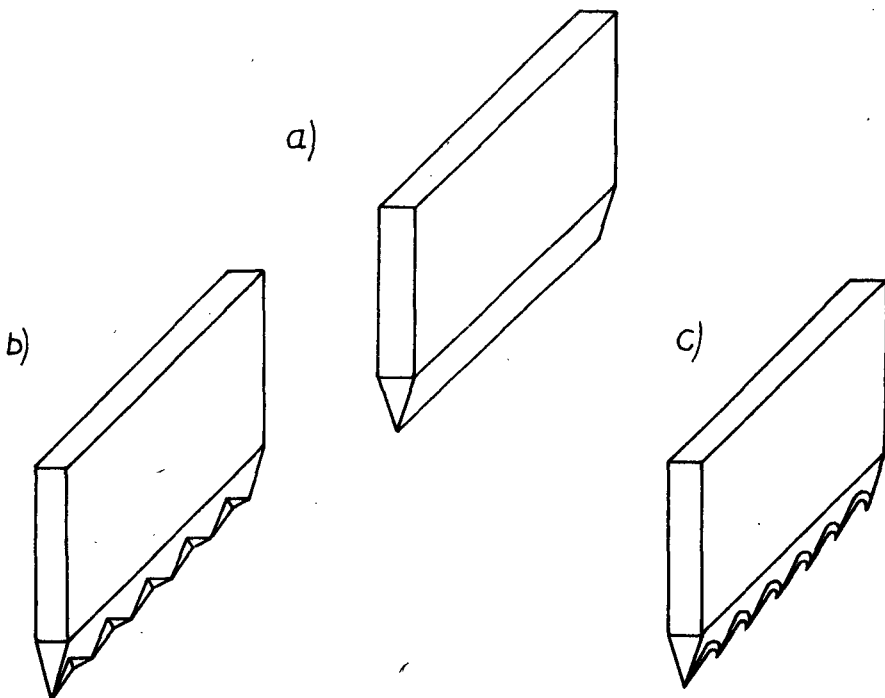
Program i metodykę badań opracowano tak, aby można było przy zastosowaniu różnych krawędzi tnących noża ustalić następujące zależności funkcyjne: zależność momentu obrotowego maksymalnego  $M_{max}$ , średniego momentu całkowitego  $\bar{M}_c$ , średniego momentu w fazie cięcia  $\bar{M}_t$  i obliczone dla nich moce  $PM_{max}$ ,  $P\bar{M}_c$ ,  $P\bar{M}_t$  od wydajności ładowania  $Q$ :

$$M_{max}, \bar{M}_c, \bar{M}_t, PM_{max}, P\bar{M}_c, P\bar{M}_t = f / Q /$$

Dla zrealizowania przedstawionego programu badań zaprojektowano model aktywnego urządzenia tnącego, który wbudowano następnie do przyrządu zbierającej T-038.

Urządzenie tnące wyposażono w noże, które różniły się kształtem krawędzi tnącej, a mianowicie /rys.1/:

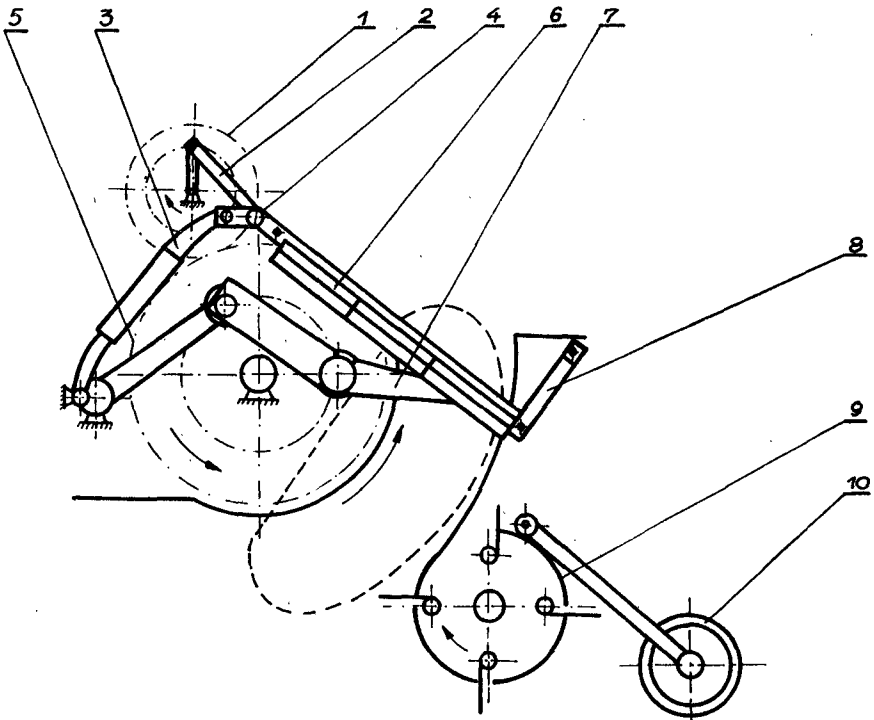
- noże o gładkiej krawędzi tnącej dwustronnie ścięte,



Rys.1. Rodzaje krawędzi tnących noża  
a/ krawędź gładka, b/ krawędź zębata,  
c/ krawędź schodkowa

- noże o zębatej krawędzi tnącej dwustronnie ścięte,
- noże o schodkowej krawędzi tnącej dwustronnie ścięte.

Schemat aktywnego urządzenia tnącego w kanale przyczepy T-038 przedstawiono na rysunku 2.

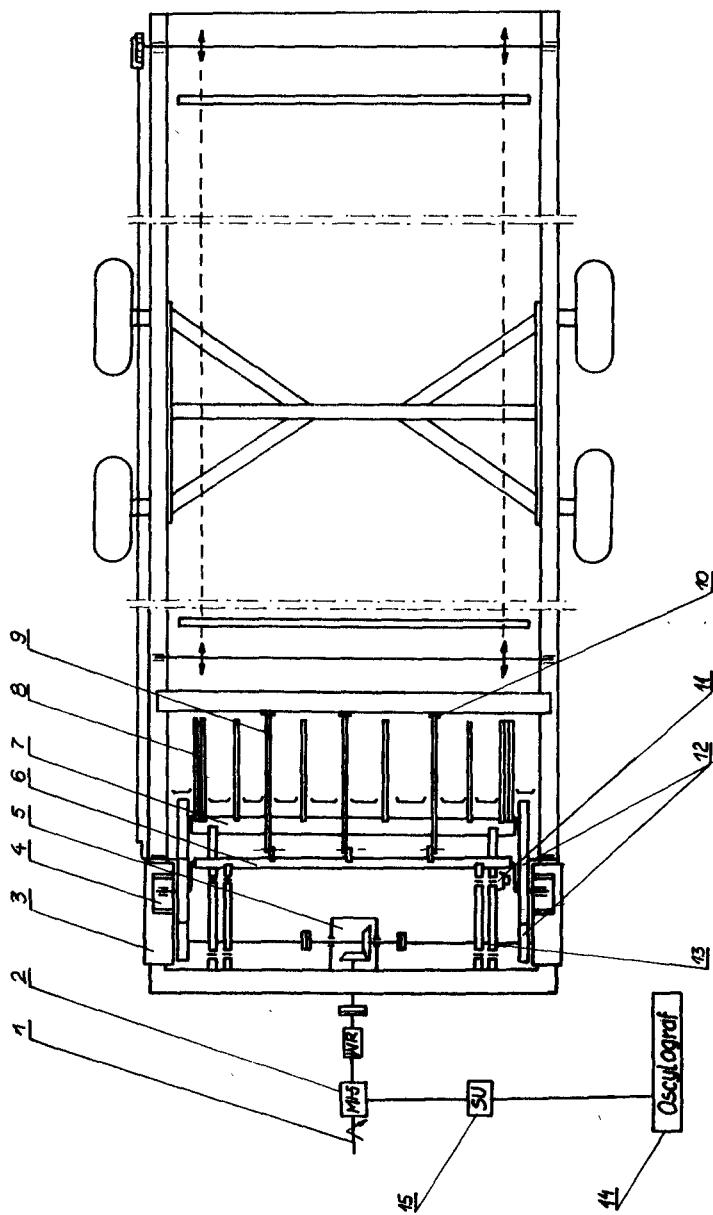


Rys.2. Schemat aktywnego urządzenia tnącego przyczepy zbierającej

1- koło zębate mechanizmu tnącego, 2-korba, 3-wahacz górny, 4-belka nożowa, 5-koło zębate mechanizmu ładującego, 6-nóż, 7-palec ładowacza, 8-wahacz dolny, 9-podbieracz, 10-koło kopiujące podbieracza

Badania polowe przeprowadzono w warunkach normalnej eksploatacji przyczep zbierających przy użyciu aparatury pomiarowo-rejestrującej będącej w wyposażeniu Przewoźnego Laboratorium Pomiarowego LP-5 PIMR w Poznaniu. Schemat przyczepy zbierającej i układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.

Materiałem wytypowanym do badań był I pokos czteroletniej lucerny odmiany mieszańcowej /Medicago media/ o zawartości suchej masy 52%. Podczas badań przyczepa współpracowała z ciągnikiem Ursus C-355. Badania przeprowadzono dla czterech prędkości teoretycznych agregatu: 1,0; 1,34; 1,67; 1,99  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Urządzenie tnące wyposażono w 3 noże przy teoretycznej długości cięcia /rozstaw noży/ 290 mm. Wydajność zbioru określono według wzoru:



Rys. 3. Schemat przyrządu zbierającej i układu indukcyjnego:  
 1-wał przekładnika mocy, 2-momentomierz indukcyjny, 3-podstawa łożysk kół zębanych,  
 4-obudowa łożyska, 5-skrzynia przekładniowa, 6-belka nożna, 7-belka ładowacza, 9-nóż,  
 10-uchwyt wahacza dolnego, 11-wahacz mechanizmu ładującego, 12-koła zębate wałcowe,  
 13-wahacz górny, 14-oscylograf, 15-skalator

$$Q = 3,6 \frac{q}{t}, / t \cdot h^{-1}/ \quad (1)$$

gdzie:

- Q - wydajność zbioru,  $t \cdot h^{-1}$   
 q - masa materiału z wałka, kg  
 t - czas przejazdu agregatu s

Zawartość suchej masy w lucernie określono metodą suszarkowo-wagową. Zużycie energii obliczono z zarejestrowanych wartości momentu obrotowego mierzonego na wale napędowym przyczepy i zarejestrowanej liczby obrotów tego wału. Pomiaru momentu obrotowego dokonywano przy pomocy momentomierza indukcyjnego zaopatrzonego w znacznik obrotów. Wartość momentu odczytano z taśm rejestratora przez porównanie z zapisem wzorcowania zewnętrznego, uzyskanego ze skalatora. Moc przy momencie maksymalnym / $PM_{max}$ /, średnim momencie całkowitym / $\overline{PM}_c$ /, średnim momencie w fazie cięcia / $\overline{PM}_t$ / obliczono według wzoru:

$$P = \frac{M_o \cdot n}{9560}, /kW/ \quad (2)$$

gdzie:

- P - moc, kW  
 $M_o$  - moment obrotowy, Nm  
 n - liczba obrotów wału napędowego, obr·min<sup>-1</sup>

Przed przystąpieniem do analizy wyników badań w celu właściwej ich interpretacji poddano je opracowaniu statystycznemu na maszynie cyfrowej Odra 1204. Ze względu na występowanie w badanym procesie 6 czynników zmiennych / $M_{max}$ ,  $\overline{M}_c$ ,  $\overline{M}_t$ ,  $PM_{max}$ ,  $\overline{PM}_c$ ,  $\overline{PM}_t$ / przy różnych wydajnościach zbioru /czynnik Q/ należało opisać związek między nimi przy pomocy krzywych regresji /program ABS-47/ w formie równania regresji wielomianowej:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \quad (3)$$

Z uzyskanych tą metodą równań regresji wybrano równania przebiegu mocy przy momencie maksymalnym, przy różnych krawędziach tnących, które porównano z sobą, dążąc do odpowiedzi na pytanie, czy zapotrzebowanie mocy w procesie cięcia danego materiału, przy zastosowaniu różnych krawędzi tnących, można opisać jednym wspólnym równaniem regresji, czy też istnieją pod tym względem istotne różnice. Wykorzystano do tego celu program obliczeniowy ABS - 48 [1,4].

## 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki badań procesu zbioru i cięcia siana pól suchego z lucerny przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

Analiza przedstawionego graficznie materiału doświadczalnego wykazuje, że wydajność zbioru jest zasadniczym czynnikiem decydującym o wartości momentu obrotowego i obliczonej dla niego mocy.

Zmienność wartości momentu maksymalnego od wydajności ładowania przy użyciu badanych krawędzi tnących ma charakter prostoliniowy. W przedziale wydajności  $9 - 18 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  dla różnych krawędzi tnących krotność wzrostu momentu wynosi od 1,37 do 1,76.

Najmniejszy przyrost względny wykazuje krawędź gładka noża /1,37-krotny/, jednak wynika to z największej wartości bezwzględnej momentu, przy najniższej wydajności ładowania. Krawędź schodkowa i zębata mają przyrost względny 1,76-krotny, ale końcowa wartość momentu przy maksymalnej wydajności ładowania jest mniejsza niż przy krawędzi gładkiej. Najmniejsza wartość momentu występuje przy krawędzi schodkowej /305 Nm/, natomiast wartość uzyskana przy krawędzi zębatej jest większa o 2%, a przy gładkiej o 35%.

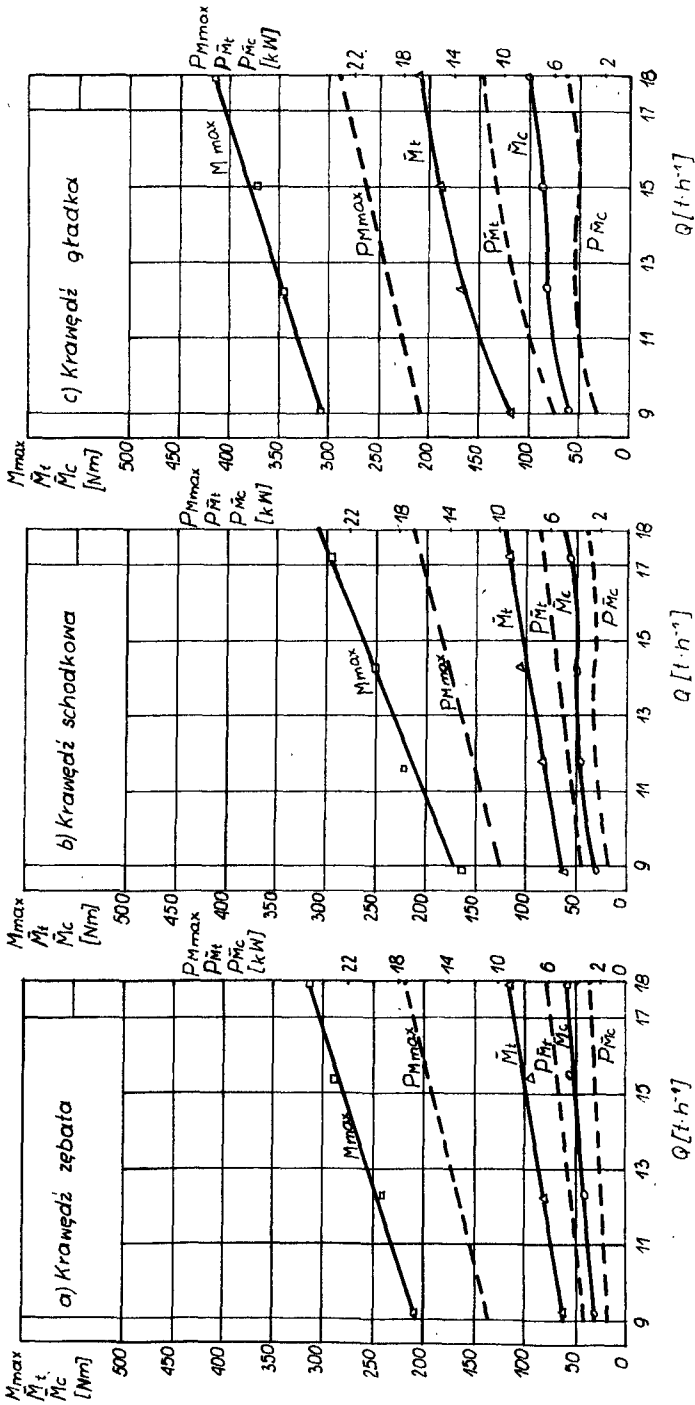
Podobne zależności wykazują wartości mocy przy momencie maksymalnym dla poszczególnych krawędzi tnących / $PM_{max}$ /. Najmniejsza wartość zapotrzebowania mocy występuje przy zastosowaniu krawędzi schodkowej /16,6kW/, a największa przy krawędzi gładkiej /22,5kW/.

W celu stwierdzenia, czy różnice w wartościach mocy / $PM_{max}$ / dla poszczególnych krawędzi tnących noża są istotne, przeprowadzono porównanie równań regresji w całym analizowanym przedziale wydajności na poziomie istotności 0,5 /tab.1/. Otrzymane wyniki wykazały, że przy założonym poziomie istotności, odległości pomiędzy krzywymi mocy  $PM_{max}$  dla gładkiej, zębatej i schodkowej krawędzi są istotne.

Na rysunku 4 przedstawiono również przebieg średniego momentu całkowitego  $\bar{M}_c$  w zależności od wydajności ładowania oraz krzywe przebiegu mocy obliczonej dla średniego momentu całkowitego.

Funkcje te są krzywymi 1<sup>o</sup> i 3<sup>o</sup>, które najlepiej aproksymują uzyskane wartości doświadczalne. Przy maksymalnej wydajności ładowania / $18 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ / /najmniejszą wartością momentu wykazała się krawędź schodkowa /53 Nm/, natomiast przy krawędzi zębatej uzyskano wartość 57 Nm i przy gładkiej 99 Nm. Podobne różnice występowały pomiędzy krzywymi mocy  $PM_c$ , a ich wartości bezwzględne wynosiły: dla krawędzi schodkowej 2,8 kW, dla krawędzi zębatej 2,9 kW i dla krawędzi gładkiej 5,0 kW.

Ustalono również zależność średniego momentu w fazie cięcia  $\bar{M}_t$  i odpowiadającą mu moc  $\bar{P}_{M_t}$  od wydajności ładowania / $Q$ /. Naniesione na wykresach krzywe są 1<sup>o</sup> i 2<sup>o</sup> i najlepiej aproksymują uzyskane wartości doświadczalne. W przedziale wydajności  $9-18 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  przyrost wartości momentu dla poszczególnych krawędzi charakteryzował się bardzo zbliżonym przebiegiem. Przyrost ten dla krawędzi schodkowej i zębatej był 1,76-krotny, a dla gładkiej krawędzi 2,79-krotny. Znaczne różnice występowały jednak w wartościach bezwzględnych. Przy maksymalnej wydajności ładowania wartość tego

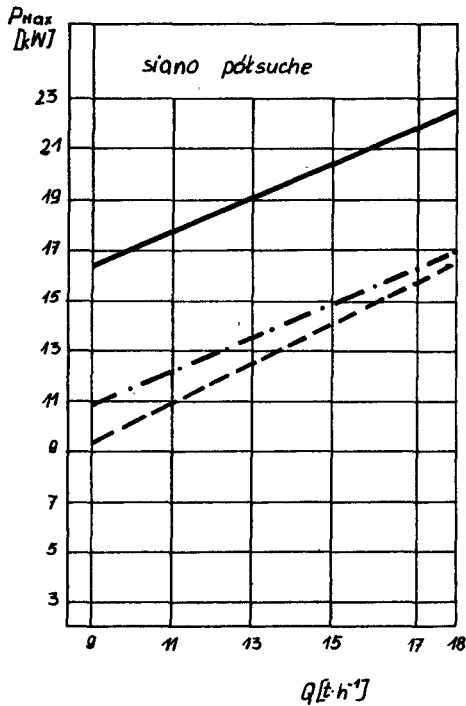


Rys. 4. Zależność  $M_{max}$ ,  $M_c$ ,  $M_t$  i obliczonych dla nich mocy od wydajności ładowania /Q/ - siano pól suche

Tabela 1

Porównanie równań regresji mocy przy momencie maksymalnym  
/P<sub>max</sub>/dla różnych krawędzi tnących noża

| Rodzaj materiału  | Rodzaj krawędzi tnącej noża | Równanie regresji |                |                |                | Współczynnik determinacji R <sup>2</sup> | Poziom istotności różnic | Równanie regresji ogólnej |                |                |                | Poziom istotności odległości |        |   |   |        |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--|--------------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|--------|---|---|--------|
|                   |                             | b <sub>0</sub>    | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |  |                          | b <sub>0</sub>            | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |                              |        |   |   |        |
| Siano<br>półsuche | gładka                      | 10,2852           | 0,6818         | -              | -              | 0,7809                                   |                          | 9,8948                    | 0,7105         | -              | -              | 5,3215                       | 0,7526 | - | - |        |
|                   | zębata                      | 5,0498            | 0,6609         | -              | -              | 0,8277                                   | 0,00005                  | 4,3682                    | 0,7105         | -              | -              | 5,3215                       | 0,7526 | - | - | 0,0000 |
|                   | schodkowa                   | 2,2460            | 0,7995         | -              | -              | 0,8308                                   |                          | 3,3975                    | 0,7105         | -              | -              | 5,3215                       | 0,7526 |   |   |        |



Rys.5. Zależność mocy przy momencie maksymalnym  $P_{max}$  od wydajności ładowania  $Q$  - siano półsuche

- krawędź gładka
- krawędź schodkowa
- krawędź zębata

momentu dla poszczególnych krawędzi wynosiła odpowiednio: dla schodkowej 109 Nm, zębatej 119 Nm, dla gładkiej 212 Nm. Różnica między skrajnymi wartościami wynosiła 95%. Analogiczne zależności występowały pomiędzy wartościami mocy obliczonej dla średniego momentu w fazie cięcia.

Moc obliczona na jedno miejsce tnące w fazie cięcia przy maksymalnej wydajności ładowania  $Q = 18 t \cdot h^{-1}$  jest najmniejsza przy schodkowej krawędzi tnącej i wynosi 1,99 kW, przy zębatej 2,17 kW, a przy gładkiej 3,88 kW.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Na wartość zużycia energii w procesie cięcia materiałów łądogo - wych istotny wpływ wywiera rodzaj krawędzi tnącej noża.
2. Przy zastosowaniu noży o różnym kształcie krawędzi tnącej w procesie cięcia materiałów łądogowych najniższe wartości zużycia energii występowały przy nożach o profilowanych krawędziach tnących.



3. Przy maksymalnych wydajnościach ładowania moc potrzebna na pokonanie oporów cięcia przy zastosowaniu jednego noża jest najniższa przy schodkowej krawędzi tnącej i wynosi 1,99 kW. Wyposażenie zatem przyczep zbierających w urządzenie tnące o odpowiedniej liczbie noży pozwoli na pełne wykorzystanie mocy ciągnika, z którym maszyny te powinny współpracować, a jednocześnie rozszerzy agrotechniczne wykorzystanie pociętego materiału.

## LITERATURA

- [1] Caliński T., Malec E.: Porównanie równań regresji wielokrotnej ABS-48. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, LXXXVI, 1976
- [2] Dulcet E.: Wpływ krawędzi tnącej noża na zużycie energii. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, nr 2, 1983
- [3] Hohn E., Strasser A.R.: Typentabelle Ladewagen, Landtechnik, nr 6, 1977
- [4] Malec E., Mejza S.: Analiza wariancji z uwzględnieniem efektów krzywoliniowych dla najważniejszych układów doświadczalnych ABS-47. Roczniki AR w Poznaniu, LXXXVI 1976
- [5] Schulz H., Kromer K.H.: Untersuchungen an Scheidvorrichtungen im Ladewagen. Landtechnische Forschung, nr 3, 1967
- [6] Sęk T.: Badania procesu cięcia w przyczepie zbierającej. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Zeszyt 57, 1975
- [7] Sęk T., Czyżyk E., Dombek A., Dulcet E.: Budowa i badanie modeli przyczep zbierających z biernym i aktywnym urządzeniem tnącym do wstępnego cięcia materiałów objętościowych. IMR-AR Poznań 1979 /praca niepublikowana/
- [8] Sladky V., Syrowy D.: Problematika rezani stebelnin ve sberacich vozeh Mechanizace Zemedelstvi, nr 9, 1973
- [9] Wienke F.: Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion Gottirgen, 1972
- [10] Vransy Z., Tranka L.: Energeticke pomery samosberacich vozu Zemedelska Technika, nr 11, 1977

## EFFECT OF CUTTING EDGE TYPE OF ACTIVE CUTTER ON ENERGY CONSUMPTION

## Summary

The aim of this study was to find the effect of a cutting edge type of the active cutter, installed in the collecting trailer, on energy consumption during stem harvest and cutting. The paper describes methods used in the study and the results obtained.

It was found out that the type of the cutting edge affected energy consumption considerably. The lowest energy consumption was with the cutter of a smooth, toothed and stepped cutting edge.

ВЛИЯНИЕ ВИДА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ АКТИВНОГО РЕЗЦА, РЕЖУЩЕГО УСТРОЙСТВА СОБИРАЮЩЕГО ПРИЦЕПА НА РАСХОД ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ СБОРКИ И РЕЗКИ СТЕБЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резюме

Целью исследований была попытка определения влияния вида режущей кромки активного резца, режущего устройства собирающего прицепа на расход энергии в процессе сбора и резки стебельных материалов. В статье рассмотрена методика исследования, а также полученные результаты исследований.

Установлено, что вид режущей кромки резца существенным образом влияет на расход энергии. В применяемых исследованиях резцы с гладкой, зубчатой и ступенчатой режущей кромкой резца давали самый низкий расход энергии при использовании ступенчатой режущей кромки.



Eugeniusz Jarmocik

ANALIZA METOD POMIARU PRZESIEWALNOŚCI GLEBY  
W KOMBAJNACH DO ZBIORU ZIEMNIAKÓW

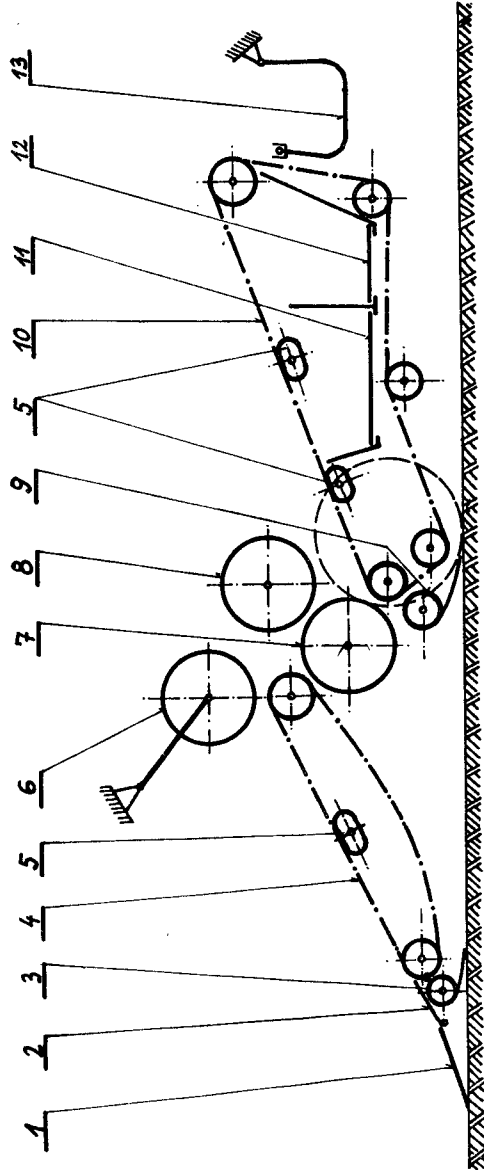
Praca zawiera analizę stosowanych metod pomiaru przesiewalności gleby z powierzchni przenośników odsiewających kombajnów do zbioru ziemniaków. Efektem tej analizy jest negatywna ocena dotychczas stosowanych metod pomiaru przesiewalności. Zaproponowano własną metodę pomiaru przesiewalności i przedstawiono ją w obszernym opisie wraz z uzasadnieniem jej przydatności.

1. WSTĘP

Niektóre z opublikowanych dotychczas prac dotyczących przesiewalności gleby na przenośniku, były oparte na obliczeniach teoretycznych bądź też wykonane w warunkach laboratoryjnych. Warunki te często różniły się znacznie od rzeczywistych warunków polowych. Stąd też można przypuszczać, że wyniki z badań polowych istotnie będą odbiegać od wyników badań laboratoryjnych. Ponadto istnieje różnorodność w definiowaniu przesiewalności gleby oraz w metodach jej pomiaru. W związku z czym istnieje potrzeba ustosunkowania się do tych metod i określenia ich przydatności dla kombajnów krajowych. Wydaje się również konieczną sprawą uściślenie bliskoznacznych pojęć wiążących się z przesiewalnością gleby. Otóż przez określenie "odsiewanie" proponuje się uważać proces oddzielania drobnych frakcji gleby z powierzchni przenośnika, zbliżony do działania sita płaskiego. Natomiast termin "przesiewalność" przyjęć należy jako miarę tego procesu, wyrażoną natężeniem przepływu masy gleby w jednostce czasu. Jako zagadnienie centralne w tej problematyce uznano opracowanie własnej metody pomiaru przesiewalności gleby w warunkach polowych, przydatnej dla naszych kombajnów do zbioru ziemniaków.

2. ANALIZA DOTYCHCZAS STOSOWANYCH METOD POMIARU PRZESIEWALNOŚCI GLEBY

Badaniem przesiewalności gleby w warunkach polowych zajmowali się następujący autorzy: Břečka [1], Głuchich [2] i Pietrow [6]. Břečka do badań przesiewalności gleby zastosował model pomiarowy, którego schemat przedstawia rysunek 1. Jest to maszyna półzawieszana, zbliżona do kopaczki przenośnikowej i przystosowana do pomiaru masy odsianej gleby. Zespoły



Rys. 1

robocze modelu i ich układ są odwzorowaniem dolnej części dwurzędowych kombajnów do zbioru ziemniaków stosowanych w CSRS.

Prędkość liniowa obu przenośników może być zmieniana przez wymianę kół łańcuchowych, a amplituda wstrząsania tych przenośników jest zmieniana drogą wymiany eliptycznych wstrząsaczy.

Odsiana gleba z powierzchni przenośników jest zbierana na dwie rozwijane folie /3 i 9/ oraz do dwóch koszy /11 i 12/, a masa schodząca z powierzchni przenośnika jest zbierana w koszu /13/.

Pomiary przeprowadzono na odcinkach długości 10 m z trzykrotnym powtórzeniem, przy założonych parametrach pracy modelu i przenośnika. Glebę odsianą i nieodsianą, zebraną na płachtach foliowych oraz w koszach, wazono i określano w funkcji długości przenośnika. Do wyżej opisanej metody pomiaru przesiewalności gleby można sformułować następujące uwagi:

- odcinek pomiarowy długości 10 m jest zbyt krótki dla uzyskania dokładnych wyników pomiaru, przy czym rzeczywisty odcinek pomiarowy jest zmniejszony o długość drogi potrzebnej na ustabilizowanie się warunków pomiaru,
- wykonanie pomiarów jest nadzwyczaj uciążliwe, gdyż zważenie tak dużej masy gleby sposobem tradycyjnym jest czasochłonne i wymaga dużego wysiłku fizycznego,
- wyniki pomiarów są obarczone znacznym błędem z uwagi na sposób zbierania i ważenia gleby.

Pietrow badania przesiewalności gleby przeprowadził również przy pomocy modelu pomiarowego. Model ten o symbolu PEU-2 jest zbliżony do modelu stosowanego przez Brečkę /w ZSRR i CSRS kombajny ziemniaczane mają zbliżoną konstrukcję/, z tym, że do zbierania gleby odsianej użył płótna rozwijanego ze szpuli, a do zbierania gleby nieodsianej - podwieszonych fartuchów. Dalsze postępowanie z odsianą glebą było takie samo jak w wyżej opisanej metodzie.

Głuchich badania przesiewalności gleby przeprowadził na seryjnie produkowanym kombajnie K KU-2, przy czym problem ten badał na wszystkich kolejnych zespołach roboczych kombajnu. Zamierzeniem autora były badania porównawcze przesiewalności gleby kombajnu K KU-2 wyposażonego na przemian w przenośnik prętowy i ruszty odsiewające drgające. Głuchich, podobnie jak Pietrow, do zbierania odsianej gleby użył płótna o długości 18m i powieszonych fartuchów.

Uwagi do metod pomiaru przesiewalności gleby w/w autorów radzieckich są podobne do metody stosowanej przez Brečkę. Wyniki z pomiarów opracowanych przez wymienionych trzech autorów badań nie mogą być wykorzystane do kombajnów krajowych. Poza opisywanymi zastrzeżeniami w stosunku do metod pomiarowych, istnieje zasadnicza różnica w budowie i pracy zespołu odsiewającego i podkopującego redlinę. W Polsce pierwsze badania polowe nad przesiewalnością gleby przeprowadzono w drugiej połowie lat siedemdziesiątych [3]. Oparto je o nowoczesną technikę pomiarową, z użyciem wag przepływowych.

## 3. OKREŚLENIE PRZESIEWALNOŚCI GLEBY METODĄ PRZEPIYWOWĄ

Ze względu na wady wyżej przedstawionych metod pomiaru odsianej masy gleby z powierzchni zespołów roboczych kombajnu, proponuje się wprowadzenie metody pomiaru z użyciem wag przepływowych, zamontowanych w połowym modelu pomiarowym. Niezbędny do tego celu zestaw badawczy składa się z następujących urządzeń:

- połowy model pomiarowy wyposażony w wagi przepływowe,
- ciągnik kl. 0,9 T,
- przewoźne laboratorium pomiarowe LP-4 wraz z kompletem aparatury pomiarowej.

Do budowy modelu pomiarowego wykorzystano zespoły robocze /zespół podkopujący i odsiewający/ i część zespołu napędowego, seryjnie produkowanego przez FMR w Strzelcach Opolskich dwurzędowego kombajnu do zbioru ziemniaków Z-614. Model ten jest w pewnym sensie kopaczką przenośnikową, odpowiednio przystosowaną do prowadzenia badań przesiewalności gleby. Zespołem, który stanowi przedmiot badań jest tu przenośnik prętowy jedno - częściowy, na pasach gumowych płaskich. Przenośnik ten tworzy zamkniętą pętlę. Celem realizacji założonej metody i programu badań w konstrukcji modelu wprowadzono szereg zmian w stosunku do kombajnu, i tak:

- wprowadzono napęd hydrostatyczny, zapewniający bezstopniową regulację prędkości przenośnika odsiewającego w zakresie

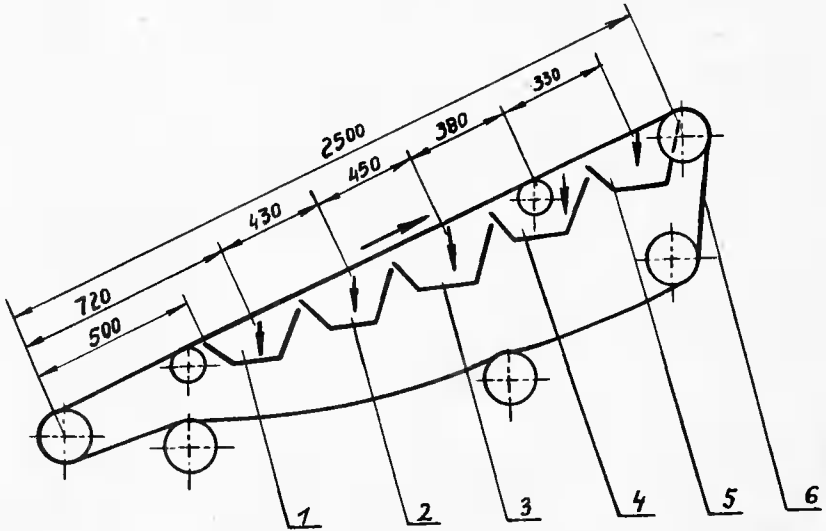
$$V_p = 0,5 \pm 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- zastosowano wstrząsacz aktywny, umożliwiający zmianę amplitudy w zakresie  $A = 0 \pm 50 \text{ mm}$  i częstotliwości w przedziale  $f = 0 \pm 9 \text{ Hz}$ , /pozostawiając możliwość niezależnego stosowania wstrząsacza pasywnego/,
- wydłużono przenośnik odsiewający celem wprowadzenia wag przepływowych.

Powyższe zmiany na naruszyły wielkości mających wpływ na pracę tej części kombajnu, tzn. zachowano długość roboczą przenośnika odsiewającego i kąt jego pochylenia oraz położenie rolek kruszących, lemieszki itp.

Rozmieszczenie wag przepływowych w pętli przenośnika odsiewającego modelu przedstawia rysunek 2. Do pomiaru interesujących wielkości, badane zespoły robocze i napędowe wyposażono w przetworniki siły i obrotów. Na rysunku 3 pokazano kompletny zestaw pomiarowy w trakcie badań.

Rysunek 4 przedstawia schemat ideowy wagi przepływowej. Spadająca masa z przenośnika wynoszącego i uderza ekran 2. Wartość reakcji dynamicznej na ekranie jest mierzona dwoma siłomierzami 3, połączonymi elektrycznie z mostkiem tensometrycznym i oscylografem. Reakcja dynamiczna ekranu jest wprost proporcjonalna do ilości spadającej masy. Drogą kalibracji została określona zależność między reakcją dynamiczną a ilością napływającej masy. Pomiarom przesiewalności gleby objęto długość przenośnika stanowiącą ok. 4/5 jego długości całkowitej /rys.2/. Pomiarom nie

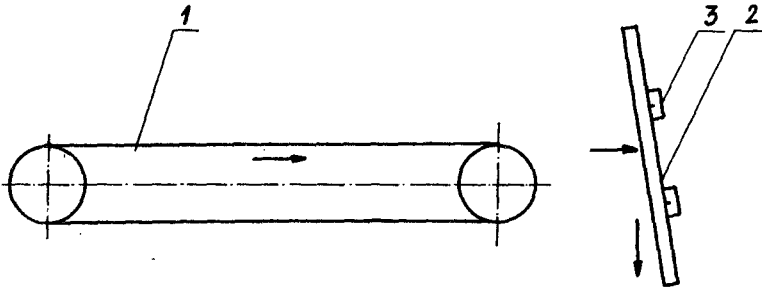


Rys.2. Schemat rozmieszczenia wag przepływowych w pętli przenośnika odsiewającego  
 1,2,3,4,5-wagi przepływowe, 6-przenośnik odsiewający



Rys.3. Zestaw pomiarowy w trakcie badań  
 1-silnik hydrauliczny napędu przenośnika odsiewającego, 2-przenośnik odsiewający, 3-ekran wagi przepływowej nr 5, 4-ekran wagi przepływowej nr 4, 5-wiązka przewodów elektrycznych łączących ekrany wag przepływowych z oscylografem przewoźnego laboratorium pomiarowego





Rys.4. Schemat ideowy wagi przepływowej  
1- przenośnik wynoszący, 2- ekran, 3- siłomierz

objęto przedniej części przenośnika, gdyż ze względów technicznych nie-  
możliwe jest wprowadzenie tam przenośnika wynoszącego i ekranu /zbyt mała  
odległość od powierzchni ziemi/.

Ilość odsianej masy gleby ustalono korzystając z prawa dynamiki New-  
tona, według którego siła  $P$  na ekranie równa jest zmianie iloczynu masy  
i prędkości  $mV$  w czasie, czyli

$$P = \frac{mV}{t} = m \frac{dV}{dt} = m \cdot a$$

po przekształceniu siła  $P$  wynosi:

$$P = \frac{m}{dt} \cdot dV = Q \cdot V$$

gdzie:

$$Q - \text{natężenie przepływu masy /kg} \cdot \text{s}^{-1}/$$

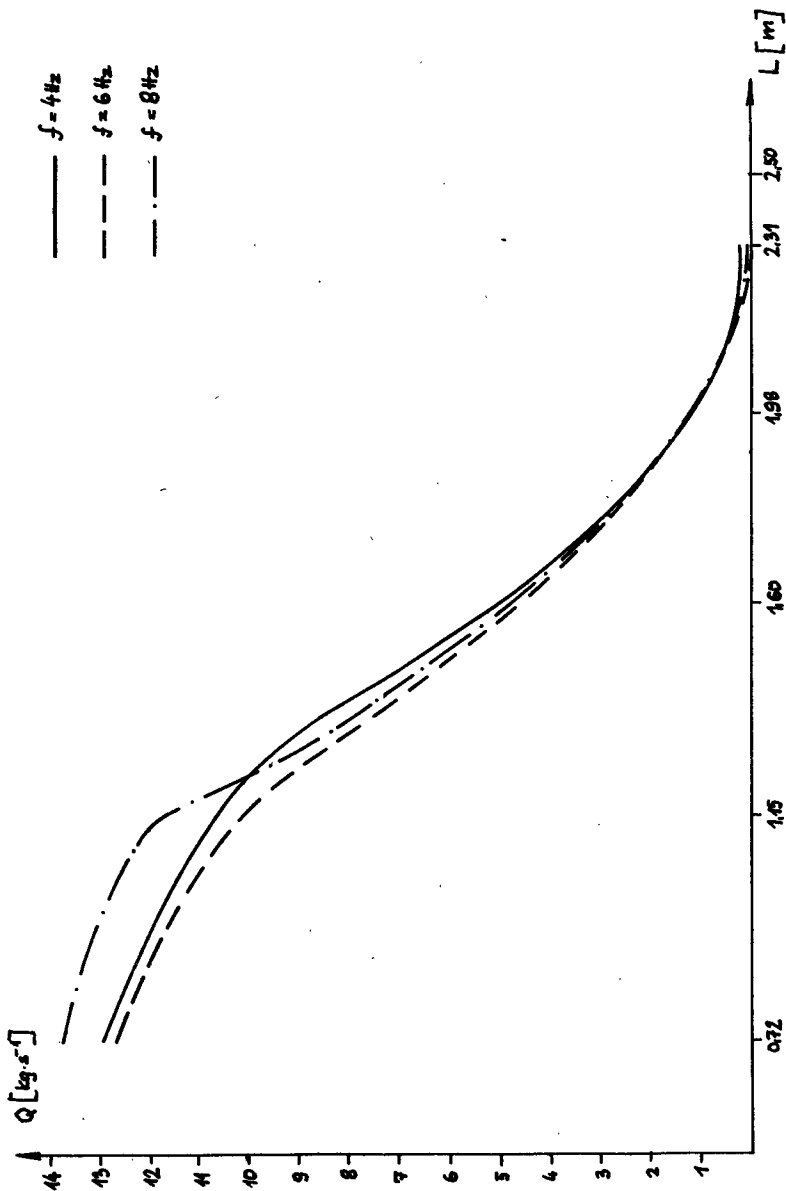
$$V - \text{prędkość przepływu masy /m} \cdot \text{s}^{-1}/$$

Siła nacisku gleby  $P$  na ekran jest przekazywana na czujniki tensometrycz-  
ne, a następnie w postaci impulsu elektrycznego przewodem do mostka ten-  
sometrycznego i zarejestrowana na taśmie oscylografu.

Prędkość przepływu masy  $V$  /równą prędkości liniowej przenośnika wy-  
noszącego tę masę/ ustalono drogą pomiaru liczby obrotów  $n_{WOM}$ . Końcowy  
wzór do tych obliczeń ma postać:

$$Q = \frac{P}{V} \quad / \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} /$$

Z wyżej przedstawionego wzoru obliczono masę gleby odsianą na poszcze-  
gólnych odcinkach przenośnika odsiewającego /rys.2/, co pozwoliło okreś-  
lić przesiewalność masy na badanej długości przenośnika /rys.5/. Na prze-



Rys. 5

bieg odsiewania gleby z powierzchni przenośnika kombajnu ma wpływ cały szereg czynników. Określenie istotności wpływu wszystkich tych czynników jest fizyczną niemożliwością ze względu na istnienie różnorodnych rozwiązań konstrukcyjnych roboczych kombajnów i zmiennych warunków pracy. Dlatego uznano za celowe opracowanie metody badań krajowego kombajnu Z-614 pracującego w typowych warunkach uprawy i zbioru ziemniaków. Za typowe warunki uprawy i zbioru ziemniaków przyjęto:

- uprawę ziemniaków na glebach należących do gatunków piaski,
- stosowanie zalecanej agrotechniki uprawy ziemniaków,
- terminowe zniszczenie łątów i chwastów przed zbiorem,
- średnia i mała wilgotność gleby przy zbiorze /do 30%/

Program badań opracowano tak, aby można było ustalić przesiewalność gleby  $Q$  na długości przenośnika  $L$ , przy zastosowaniu zmiennych: prędkości przenośnika  $V_p$ , amplitudy wstrząsania  $A$  i częstotliwości wstrząsania  $f$ .

Związek pomiędzy przesiewalnością przenośnika a parametrami jego pracy wyraża zależność funkcyjna:

$$Q = f [V_p, A, f, L] \quad /kg \cdot s^{-1}$$

gdzie:

$Q$  - przesiewalność gleby, czyli ilość masy odsianej w ciągu 1 sekundy  
/kg  $\cdot$  s<sup>-1</sup>/

$V_p$  - prędkość liniowa przenośnika odsiewającego /m  $\cdot$  s<sup>-1</sup>/

$A$  - amplituda wstrząsania /m/

$f$  - częstotliwość wstrząsania /s<sup>-1</sup>/

$L$  - rozpatrywany odcinek długości przenośnika /m/ licząc od strony lemiesza /rys.2/

Szczegółowy program badań przedstawia tabela 1.

Wybór wartości poszczególnych parametrów pracy przenośnika odsiewającego był dokonany w oparciu o dane literaturowe [1,2,5,6], stosowane rozwiązania w znanych kombajnach i wyniki badań własnych kombajnu [3,4].

Do analizy otrzymanych wyników przesiewalności gleby należało opracować kryteria ich oceny. Opierając się na znanych dotychczas wynikach badań przesiewalności gleby [1,2,5,6] i obserwacjach poczynionych podczas badań własnych kombajnu [3,4] przyjęto następujące kryteria oceny przesiewalności gleby:

- przesiewalność gleby na piątym ekranie powinna być równa zero -  $Q_5 = 0$ ,
- dopuszczalna masa nieodsianej gleby spływającej w powierzchni przenośnika nie powinna przekroczyć natężenia 5 kg  $\cdot$  s<sup>-1</sup>, czyli  $Q_n \leq 5kg \cdot s^{-1}$

Do pomiaru masy gleby nieodsianej  $Q_n$  użyto pojemnika, do którego zbierano masę spływającą z przenośnika.

Badania wykazały, że jedynie przy amplitudzie wstrząsania  $A=0$  wartość  $Q_n > 5 kg \cdot s^{-1}$ .

Tabela 1

Wartości parametrów pracy przenośnika odsiewającego  
przyjęte do badań przesiewalności gleby Q

| Amplituda<br>A /m/ | Częstotliwość<br>f /s <sup>-1</sup> / | Prędkość liniowa V <sub>p</sub> |                         |                         |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    |                                       | 1,0 /ms <sup>-1</sup> /         | 1,4 /ms <sup>-1</sup> / | 2,0 /ms <sup>-1</sup> / |
| 0                  | 0                                     |                                 |                         |                         |
| 0,020              | 4                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 6                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 8                                     |                                 |                         |                         |
| 0,034              | 4                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 6                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 8                                     |                                 |                         |                         |
| 0,042              | 4                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 6                                     |                                 |                         |                         |
|                    | 8                                     |                                 |                         |                         |

Niewielka ilość gleby spływająca z powierzchni przenośnika /2-5% podkopanej masy/, którą uznano za dopuszczalną, zostanie odsiana jeszcze lub odseperowana od bulw ziemniaków na pozostałych zespołach roboczych kombajnu.

Zastosowanie wag przepływowych do badania przesiewalności pozwala na ciągłość pomiaru masy odsianej z poszczególnych odcinków przenośnika odsiewającego. Umożliwia to śledzenie dynamiki procesu odsiewania i w razie potrzeby jego korygowanie, drogą zmiany parametrów pracy przenośnika. Ponadto wagi przepływowe zapewniają większą dokładność i szybkość wykonania pomiarów oraz znacznie zmniejszają pracochłonność.

#### 4. WNIOSKI

Analiza wyżej przedstawionych metod pozwala na sprecyzowanie następujących wniosków:

- Dotychczas stosowane metody pomiaru przesiewalności gleby w kombajnach były oparte o przestarzałą technikę pomiarową, w związku z czym obarczone są szeregiem wad: są mało dokładne, pracochłonne, długotrwałe i nadzwyczaj uciążliwe.
- Wyniki z przesiewalności uzyskane przez autorów zagranicznych są mało przydatne do polskich kombajnów ze względu na wyżej wspomniane wady oraz odmienną konstrukcję przenośnika odsiewającego i zespołu podkopującego.

3. Proponowana metoda z użyciem wag przepływowych do pomiaru przesiewalności gleby jest pozbawiona wad wymienionych wyżej.
4. Zastosowanie pięciu wag przepływowych w pętli przenośnika pozwala na śledzenie przebiegu zmian przesiewalności, a tym samym na korektę w kierunku pożądanego rozkładu procesu odsiewania masy na długości przenośnika. Daje to podstawę do ustalenia związku funkcyjnego przesiewalności z parametrami pracy przenośnika odsiewającego kombajnu.

## LITERATURA

- [1] Břečka J.: Prosevani pudy na prutowym dopravniku s ohledom na poskozeni brambor. Zemedelska Technika 16/1970
- [2] Głuchich S.A. Rabotospobnost kartofieleuborocznego kombajna Kku-2 na tiazelom suglinkie. Miechanizacja i Elektryfikacja 9/1975
- [3] Jarmocik E., Karczewski W., Karczewska J.: Badania i optymalizacja pracy przenośnika przesiewającego w dwurzędowym kombajnie do zbioru ziemniaków. Sprawozdanie z badań 1976-80
- [4] Jarmocik E.: Wpływ parametrów pracy przenośnika odsiewającego kombajnu ziemniaczanego na przesiewalność gleby w warunkach polowych. Praca doktorska ATR, Bydgoszcz 1981
- [5] Karwowski T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. t.II, cz.II. PWRiL, Warszawa 1982
- [6] Pietrow G.D.: Kartofieleuborocznyje masziny. Maszynostrojenije, Moskwa 1972

## ANALYSIS OF MEASURING METHODS OF SOIL SIFTABILITY IN POTATO HARVESTERS

## Summary

The study contains an analysis of methods used to measure soil siftability from the surface of potato harvester screening conveyors. The result of the analysis is a negative opinion of the siftability measurements applied hitherto. In this connection, the author proposes his own siftability measurement method and gives a broad description with a demonstration of its usefulness.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРОСЕИВАЕМОСТИ ПОЧВЫ В КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

## Резюме

Работа содержит анализ применяемых методов измерения просеиваемости почвы на прутковом элеваторе картофелеуборочного комбайна. Эффектом этого анализа является отрицательная оценка применяемых методов измерения просеиваемости. В связи с этим предлагается собственный метод измерения просеиваемости, который представлен в обширном описании, а также доказана его пригодность.

Maria Kaszowska

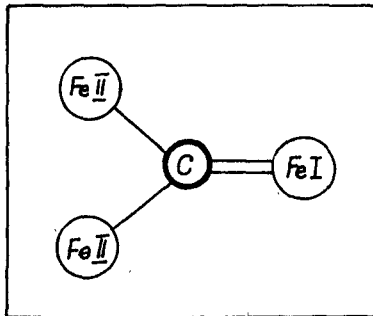
### O ROZPUSZCZANIU SIĘ PIERWIĄTKÓW STOPOWYCH W CEMENTYCY

W pracy zebrano wyniki dotychczas prowadzonych badań nad rozdziałem pierwiastków grupy przejściowej między cementyt a osnowę, podczas obróbki cieplnej stali. Stwierdzenie większego udziału niklu, manganu i chromu w cementycie współistniejącym z austenitem, niż gdy występuje on w obecności ferrytu, pozwala przypuszczać, że o rozpuszczaniu w cementycie pierwiastków stopowych decyduje nie tylko ich stopień powinowactwa do węgla, ale również rodzaj fazy z jaką węgiel ten współistnieje.

Rezultaty badań, jak i teoretyczne rozważania upoważniły autorów licznych prac do wysunięcia hipotezy, że istnieje zależność między wzbogaceniem cementytu pierwiastkiem stopowym występującym w stali, a położeniem tego pierwiastka w układzie okresowym Mandelejewa [1,4,7,14,15,16], [19]. Hipotezę tę wysunięto na podstawie wyników wielu doświadczeń wskazujących, że aktywność metali grupy przejściowej w procesie łączenia się z węglem, jak i trwałość utworzonych węglików w stalach jest tym większa im mniej jest wypełniona elektronami podgrupa 3d atomu danego metalu, w porównaniu z atomem żelaza.

Zgodnie z tym przypuszcza się, że trwałość cementytu z rozpuszczonym w nim pierwiastkiem stopowym, będzie wzrastać w kierunku  $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Cr \rightarrow V$ .

L.Backer [5] opierając się na schemacie cementytu zaproponowanym przez Michel'a /rys.1/, w którym autor wyróżnia silne wiązanie z węglem atomów



Rys.1. Schemat cementytu wg Michel'a

Fe z położenia I i słabsze z położenia II, twierdzi, że takie pierwiastki jak Mo czy Cr podstawiają atomy Fe w położeniu I, a Mn w położeniu II. Zdaniem autora zależność ta warunkuje graniczną rozpuszczalność danego pierwiastka stopowego w cementycie. Dla manganu wynosi ona około 25% atomowych, tj. około 20% wagowych, dla chromu 18-20%. Powyżej tej zawartości chromu węglík typu  $(FeCr)_3C$  przechodzi w węglík  $(CrFe)_7C_3$ .

Stosunek promienia atomowego węgla do metalu, warunkujący typ węglików, jak i zakres ich występowania w stalach sprawia, że V, W czy Mo tworzą z węglem przede wszystkim węgliki specjalne. W literaturze istnieją bardzo skąpe informacje odnośnie zachowania się tej grupy pierwiastków w cementycie, gdyż najczęściej występujące wraz z cementytem węgliki specjalne utrudniają badania. Uważa się, że wanad może tworzyć węglík  $(FeV)_3C$  wówczas, gdy stosunek atomów V i C nie przekracza wartości 0,1 [12 18]. Z pracy W.Stuckersa i L.Blackera [5] wynika, że wanad bardzo chętnie wzbogaca cementyt stali w wysokich temperaturach /stal 0,009% C i 0,22% V - temperatura 1000°C/. Określony przez A.Hultgrena współczynnik podziału między cementyt a ferryt dla wolframu wynosi 2, a molibdenu 8.

Kobalt i nikiel ze względu na mniejsze niż żelazo powinowactwo do węgla nie tworzą węglików w stalach i z tego względu zaliczane są do trudno rozpuszczających się w cementycie. Twierdzenie to poparły wyniki badań nad rozdziałem kobaltu [18] i niklu [5,12,17] między cementyt a ferrytyczną osnowę. Autorzy prac byli zgodni co do tego, że kobalt i nikiel, zarówno podczas odpuszczania, jak i przemiany izotermicznej austenitu /w zakresie temperatur  $\sim 400^\circ - 700^\circ C$ / przechodzą z cementytu do ferrytu, przeciwnie niż mangan [9,3,5,6,11], i chrom [8,9,12,13], które jak wykazano, przechodzą z ferrytu do cementytu. Określony przez A.Hultgrena [12] współczynnik podziału, po osiągnięciu stałej, równowagowej zawartości w cementycie i ferrycie, wynosi dla kobaltu 0,23, a dla niklu 0,3.

Wiadomo, że w układzie dwufazowym zmiany prowadzące do osiągnięcia stanu równowagi termodynamicznej, w istniejących warunkach izotermiczno-izobarycznych polegają na osiągnięciu równowagowego stężenia składników stopowych. Równowagowe stężenia zostaną osiągnięte, gdy ich potencjały chemiczne w obydwu fazach staną się równe.

W strukturach stali stopowych cementyt współistnieje z ferrytem lub austenitem. W pracy Z.Głowackiego i M.Kaszowskiej [10] zastosowanie do badań stali zawierającej 1% C, 2% Mn i 5% Ni pozwoliło na drodze hartowania z 800°C w wodzie i wymrażania w -55°C, otrzymać cementyt w obecności austenitu. Zawartość w nim niklu jest znacznie wyższa niż w osnowie /cementyt zawiera 10,1% Ni/, a współczynnik podziału niklu między cementyt a osnowę przekracza wartość 2. W zakresach temperatur odpuszczania od 300 - 600°C, gdy cementyt badanej stali występował w obecności ferrytu, udział w nim niklu zmniejszył się w sposób ciągły w miarę wzrostu temperatury. Po 2 godzinach odpuszczania w 600°C współczynnik podziału niklu między cementyt a osnowę wyniósł 0,45.

Fakt występowania w stali cementytu zawierającego dwukrotnie więcej niklu niż osnowa, stawia pod znakiem zapytania hipotezę uzależniającą możliwość rozpuszczania się pierwiastków stopowych w cementycie od ich powinowactwa do węgla. Nikiel bowiem ma mniejsze niż żelazo powinowactwo do węgla, leży na końcu pierwszego okresu metali grupy przejściowej i charakteryzuje się najwyższym zapełnieniem elektronami poziomu 3d. Zgodnie z tą hipotezą winien niechętnie wzbogacać cementyt.

W przeglądzie publikacji poświęconych badaniom cementytu stopowego w stalach, wymienić należy również prace:

- L.Backera [5], który donosi o różnicach w składzie chemicznym cementytu drugorzędowego i powstałego w wyniku odpuszczania stali nadeutektoidalnej zawierającej mangan.
- Z.Głowackiego i J.Wierszyńskiego [11], którzy w stali ŁH15SG po wyżarzeniu zmiękczającym znaleźli ziarna cementytu o różnej zawartości manganu. Badania wpływu czasu austenitizowania tej stali wykazały zmniejszanie się procentowego udziału manganu w cementycie w zakresie temperatur 800 - 950°C.
- Z.Głowacki i A. Barbacki [9] stwierdzili, że stal ŁH15, po wyżarzeniu zmiękczającym, zawierała ziarna cementytu o dwu różnych składach chemicznych. Badania wykazały, że jest on mieszaniną cementytu eutektoidalnego, który zawierał 7% Cr i drugorzędowego zawierającego znacznie mniej, bo 2% Cr. Po 90 minutach austenitizowania w 950°C zawartość chromu w cementycie stali ŁH15 obniża się z 9% dla stanu wyżarzonego do 3%, co potwierdziły również badania temperatury Curie izolatów. Autorzy uważają, że przyczyną jest niższy potencjał chemiczny chromu w austenicie niż w ferrycie.

Nikiel zachowuje się w stalach odmiennie niż chrom. Ma mniejsze niż żelazo powinowactwo do węgla, a dopuszczanie wywołuje dyfuzję niklu z cementytu do ferrytycznej osnowy. Różne zawartości niklu w cementycie współistniejących z ferrytem lub austenitem mogą świadczyć o tym, że potencjał chemiczny niklu w ferrycie jest niższy niż w austenicie, odwrotnie niż to ma miejsce w przypadku chromu.

Na podstawie badań własnych oraz przeglądu literatury, można przypuszczać że:

1. O rozpuszczaniu się pierwiastków stopowych w cementycie stali decyduje nie tylko ich stopień powinowactwa do węgla.
2. Wzbogacanie cementytu pierwiastkami stopowymi zależy również od rodzaju fazy z jaką węgiel ten współistnieje.

#### LITERATURA

- [1] Apaev B.A.: Fazovyy magnitny analiz splavov. Metallurgija, Moskva 1976
- [2] Apaev B.A. i in.: Fiz.met. i metalloved, 10, 1960 s.264
- [3] Arbuzov M.P. i in.: Izv.Akad.Nauk SSSR, ser.Neorg.Mater, 10, 1974 s.1449



- [4] Arbuzov M.P. i in.: Izv.Akad.Nauk.SSSR, Neorg.Materjaly.7,1971,s.2183
- [5] Backer L.: Mem.Scient,Rev.Metallurg.62,1965 s.8
- [6] Bowers J.E.: JISI,183,1956, s.465
- [7] Gavriljuk V.G.: Fiz.Met i Met, 45, 1978, s.343
- [8] Gádek J.,Fraiwiling R.:Hutn.Listy 17,1962, s.648
- [9] Głowacki Z., Barbacki A.: Zesz.Nauk Polít.Pozn,Mechanika 7,1966
- [10] Głowacki Z., Kaszowska M.: O zachowaniu się niklu w cementycie w obecności austenitu i ferrytu /Materiały II Międzynarodowej Konferencji "Węgliki, azotki,borki"/ Komitet Metalurgii PAN - Poznań - Kołobrzeg 1981
- [11] Głowacki A., Wierszykóowski J.: Internat.Symp. Metalkund.I/3, 1975
- [12] Hultgren A.: Mem.Scient.Rev.Metallurg. 50, 1953, s.848
- [13] Koch W. i in.: Archiv.Eisenhutt., 31, 1960 s.183
- [14] Kotliar B.J. i in.: A.N. Ukrain SSR. Metallofizika, 61,1975 s.111
- [15] Kovenskij J.M. i in.: Fiz.Met i Met, 41,1976 s.576
- [16] Kurmaev E.E.: Izv.Akad.Mauk.SSSR, ser. Fiz., 31,1963, s.996
- [17] Rose A., Peter W.: Stahl und Eisen, 72, 1952, s.1075
- [18] Vinokur B.B. i in.: Legirovanie masinostroitelnoj stali. Metalurgija, Moskva 1977, s.677
- [19] Żukov A.A. i in: Sb.Fiz -Chimičeskije osnovy metalurgičeskich processov, Nauka, Moskva 1973

#### DISSOLUTION OF ALLOYING ELEMENTS IN CEMENTITE

##### Summary

The paper presents a review of the results obtained hitherto in the research on the separation of the transient group elements between cementite and ground-mass during steel heat treatment.

Finding different contents of nickel, manganese and chromium in cementite coexisting with austenite than in case of cementite coexisting with ferrite permits an assumption that dissolution of alloying elements in cementite is determined not only by their affinity to carbon but also by a type of the structural constituent with which this carbide is coexisting.

#### О РАСТВОРЕНИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦЕМЕНТИТЕ

##### Резюме

В работе представлены итоги проведенных до настоящего времени исследований над распределением элементов временной группы между цементитом и матрицей во время термической обработки стали. Обнаружение различных содержаний никеля, марганца и хрома в цементите сосуществующим с аустенитом нежели когда выступает он в присутствии феррита позволяет предполагать, что о растворении легирующих элементов в цементите решает не только их сродство с углеродом, но также вид фазы с которой этот карбид сосуществует.

Zbigniew Kikiewicz  
Jerzy Lewandowski

OCENA BADAŃ NIEZAWODNOŚCI URZĄDZENIA O CIĄGŁYM PROCESIE  
TECHNOLOGICZNYM - NA PRZYKŁADZIE MASZYNY PAPIERNICZEJ

W artykule podano wyniki badania maszyny papierniczej, które przeprowadzono w warunkach przemysłowych. Uzyskano dane i wykresy, które przedstawiono jako charakterystyki niezawodności technicznej, technologicznej, niezawodności czynników zewnętrznych oraz procesu produkcji papieru. Przeprowadzono ocenę oraz analizę charakterystyk działania maszyny o ciągłym procesie technologicznym.

1. WPROWADZENIE

W przemyśłach: spożywczych, włókienniczym, papierniczym, płyt pilśniowych i innych gałęziach występuje szereg urządzeń charakteryzujących się tym, że pracują one systemem ciągłym przez 24 godziny na dobę, a więc są to urządzenia o ciągłym procesie technologicznym. Jeden z typowych przykładów stanowi maszyna papiernicza wytwarzająca papier, której problemy niezawodności procesu produkcji są omawiane w niniejszym artykule i mogą być wykorzystane w innych gałęziach przemysłu.

Badana maszyna papiernicza uruchomiona w 1970 r. posiadała następujące główne dane: gramatura papieru 70-80 g/m<sup>2</sup>, prędkość konstrukcyjna - 650 m/min, szerokość sita - 6000 mm, teoretyczna produkcja dobowo-276Mg/ / 24 h.

Proces produkcji papieru na maszynie papierniczej związany jest z wieloma czynnikami mającymi wpływ na jego realizację.

Z punktu widzenia jakości działania maszyny wszystkie czynniki powodujące postoje lub bezproduktywną jej pracę można podzielić na:

1. Postoje powstałe z przyczyn technicznych, obejmujące wszystkie przerwy w pracy maszyn wywołane uszkodzeniami części lub podzespołów technicznych /sprzęgła, łożyska, silniki itp./, których naprawa wymaga wymiany, regulacji, regeneracji itp.
2. Postoje powstałe z przyczyn wyposażenia technologicznego maszyny /odzieży maszynowej, skrobaków itp./, których uszkodzenia uniemożliwiają realizację procesu technologicznego lub w wyniku ich uszkodzeń produkowany papier nie odpowiada wymaganiom jakościowym.
3. Postoje powstałe z przyczyn samego procesu technologicznego, obejmujące wszystkie przerwy w pracy maszyny wywołane zrywami wstęgi i powodujące konieczność usuwania zanieczyszczeń i braków z maszyny.

4. Biegi jałowe z przyczyn procesu technologicznego wywołane zrywaniami wstęgi lub nieodpowiednimi parametrami pary grzejnej, podciśnieniami w skrzynkach ssących itp.
5. Postoje z przyczyn organizacyjnych lub uszkodzeń urządzeń zasilających i odbierających produkcję z maszyny. Podczas tych postojów maszyna jest zdalna do pracy, jednak występujące warunki organizacyjno-techniczne, jak np. brak masy, energii elektrycznej, pary itp. uniemożliwiają produkcję papieru.
6. Biegi jałowe maszyny z przyczyn organizacyjnych lub uszkodzeń urządzeń zasilających i odbierających produkcję, których czasy trwania nie wymagają zatrzymania maszyny.

W celu dokonania oceny jakości pracy maszyny przyjęto, iż postoje maszyny związane z czynnikami technicznymi zaliczono do pierwszej grupy, technologicznymi stanowią grupę drugą, trzecią i czwartą, a z czynnikami zewnętrznymi grupę piątą i szóstą. Określony w ten sposób system należy do tzw. "wielkich systemów", obejmujących system eksploatacji technicznej, eksploatacji technologicznej oraz system zaopatrzenia, zawierający zbiór czynników zewnętrznych. Podstawowym więc zadaniem przy badaniu systemu działania jest ocena wpływu poszczególnych systemów na niezawodność procesu produkcji papieru.

W związku z powyższym analizy rozpatrywanych czynników dokonano w oparciu o teorię niezawodności, przyjmując następujące pojęcia: niezawodność techniczna, niezawodność technologiczna, niezawodność maszyny związana z czynnikami zewnętrznymi i niezawodność procesu produkcji papieru.

## 2. BADANIA I ICH ANALIZA

Badania eksploatacyjne niezawodności maszyn papierniczych przeprowadzono w naturalnych warunkach przemysłowych. Badania te obejmowały okres trzech lat pracy maszyny MP-1. Naniesione na dokumenty informacje źródłowe podlegały wstępnej weryfikacji, a następnie przekazywano je w postaci kompletu dokumentów źródłowych do ośrodka obliczeniowego, gdzie podlegały dalszej weryfikacji i przetwarzaniu.

Korzystając z zebranego i zweryfikowanego zbioru danych, opracowane zostały charakterystyki badanych maszyn. W badaniach charakterystyk i ich rozkładów wykorzystano nieparametryczne testy istotności, jak test  $\chi^2$  i Cochra. Weryfikację hipotez statystycznych wykonano na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ , wykorzystując do tego celu program opracowany na EMC z serii Odra 1204 oraz minikomputer firmy Hewlett-Packard, za pomocą którego wykreślono histogramy i krzywe teoretyczne badanych charakterystyk.

## 3. ANALIZA CZASÓW PRACY MASZINY PAPIERNICZEJ

Czasy pracy maszyny można rozpatrywać w różnych ujęciach w zależności od potrzeb i stawianych wymogów. W niniejszym opracowaniu analizowano

czasy pracy maszyny w oddzielnym ujęciu dla uszkodzeń spowodowanych czynnikami technicznymi, oddzielnie z przyczyn technologicznych, a także spowodowane czynnikami zewnętrznymi oraz czasy produkcji papieru.

W celu określenia modelu matematycznego badanych czasów pracy dokonano weryfikacji ich rozkładów podając wartość średnią, odchylenie standardowe, współczynniki zmienności, rodzaj rozkładu oraz parametry rozkładu, co podano w tabeli 1. Wykresy histogramów, krzywe teoretyczne gęstości prawdopodobieństwa, oraz przebieg niezawodności, a także dystrybuanty poszczególnych czasów pracy przedstawiono na rysunkach 1 - 4.

Dokonana analiza czasów pracy między uszkodzeniami z przyczyn technicznych wykazała, że najbardziej prawdopodobna wartość tego czasu /rys.1/ zawiera się w przedziale 0-15 godz., a następnie w przedziale 15-30 godz. Krzywa niezawodność znacznie spada w przedziale 0-75 godz., a następnie zbliża się asymptotycznie do osi poziomej. Średni czas pracy między uszkodzeniami technicznymi wynosi 40,05 godz.

Można więc wnioskować, iż czasy pracy maszyny papierniczej jako urządzenia o ciągłym procesie technologicznym w poważnym stopniu zostały ograniczone z powodu występujących uszkodzeń technicznych.

Z rysunku 2 prezentującego czasy pracy maszyny między uszkodzeniami technologicznymi wynika, iż wartość krzywej niezawodności  $R/t/$  zmniejsza się z czasem pracy bardziej niż na rysunku 1. Potwierdza to średni czas pracy wynoszący 35,76 godz. w porównaniu z czasem 40,05 godz. dla uszkodzeń technicznych. Z analizy więc wynika, iż czynniki technologiczne mają większy wpływ na spadek niezawodności maszyny niż uszkodzenia techniczne. Stanowi to istotną informację dla eksploatatorów maszyny ukierunkowującą ich działania w celu poprawy niezawodności.

Z uwagi na ciągłość pracy maszyny papierniczej zbadano również prawdopodobne czasy pracy maszyny między postojami spowodowanymi czynnikami zewnętrznymi, co podano na rysunku 3. Z wykresu wynika, iż najbardziej prawdopodobna wartość czasu pracy maszyny między postojami zewnętrznymi zawiera się w przedziale 0-10 godz., dystrybuanta  $F/t/$  gwałtownie wzrasta w przedziale 0-30 godz., a średni czas pracy wynosi zaledwie 24,28 godz.

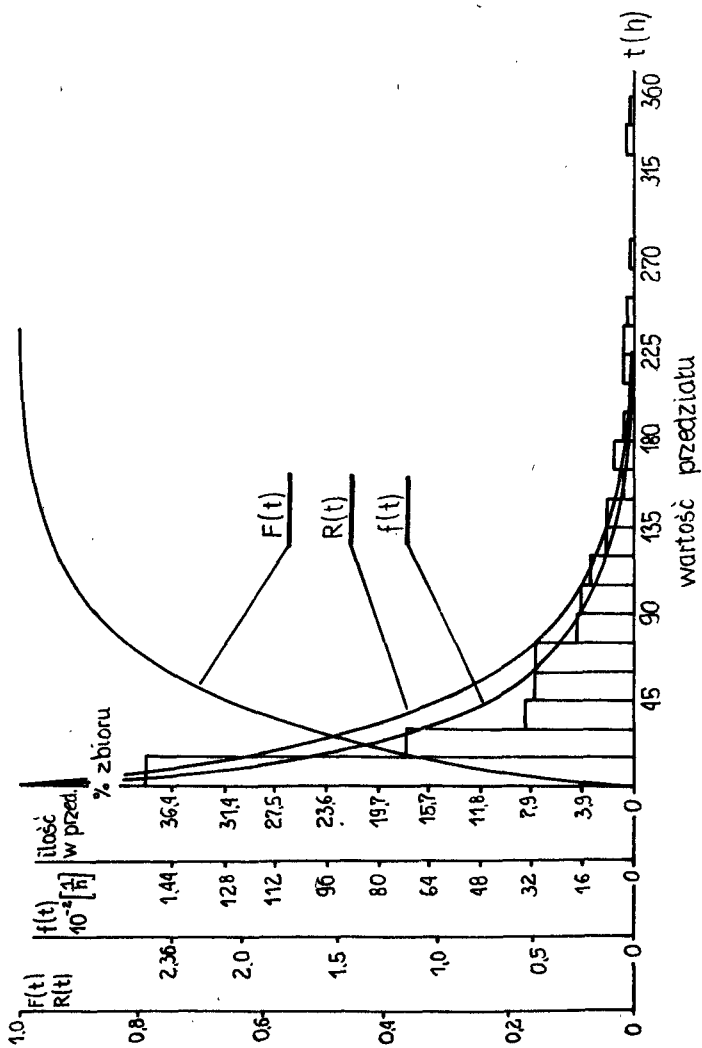
Z poważszych danych wynika, iż pozostałe działy zakładu, jak np. dział przygotowania masy, dział głównego energetyka powinny znacznie poprawić niezawodność swego działania, aby nie powodować tak często postojów maszyny.

Jednym z kryteriów pracy niezawodności maszyny papierniczej, szczególnie ważnym dla kierownictwa eksploatacji, są czasy produkowania papieru, czyli czasy ciągłej, dobrej jakościowo produkcji. Histogram oraz krzywa teoretyczna funkcji gęstości, krzywa niezawodności  $R/t/$  i dystrybuanta  $F/t/$  tych czasów zostały podane na rysunku 4. Z wykresu wynika, że najbardziej prawdopodobna wartość czasu produkowania papieru zawiera się w bardzo małym przedziale czasowym, wynoszącym 0-4 godz. Średni czas produkowania papieru wynosi 6,38 godz., co dla maszyny o ciągłym procesie technologicznym jest wartością zdecydowanie małą.

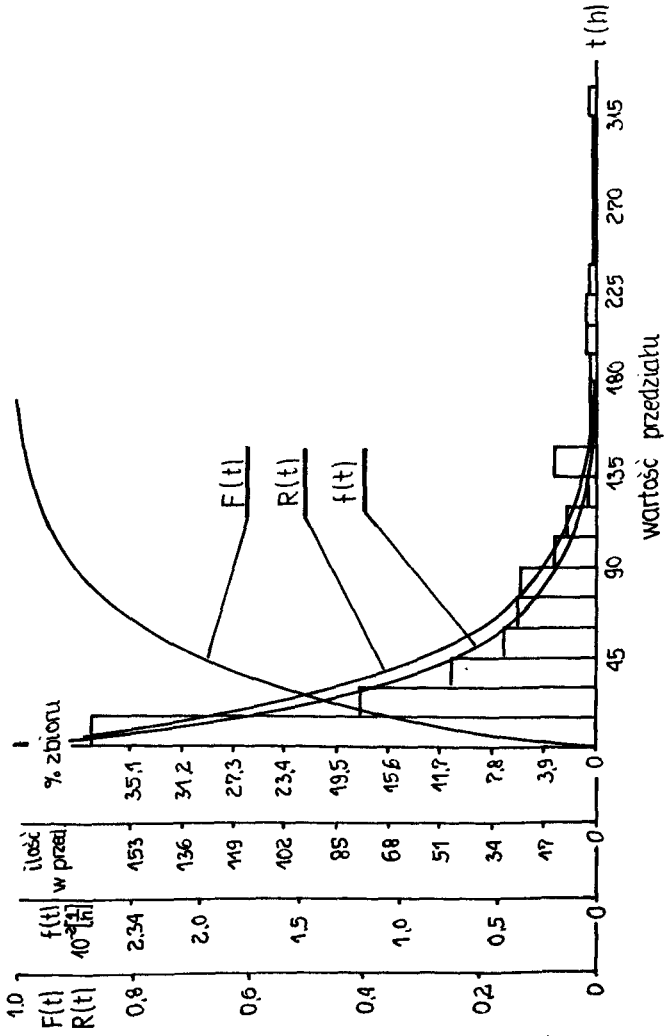
Tabela 1

Wartości charakterystyk i parametry rozkładów czasów  
pracy maszyn papierniczej

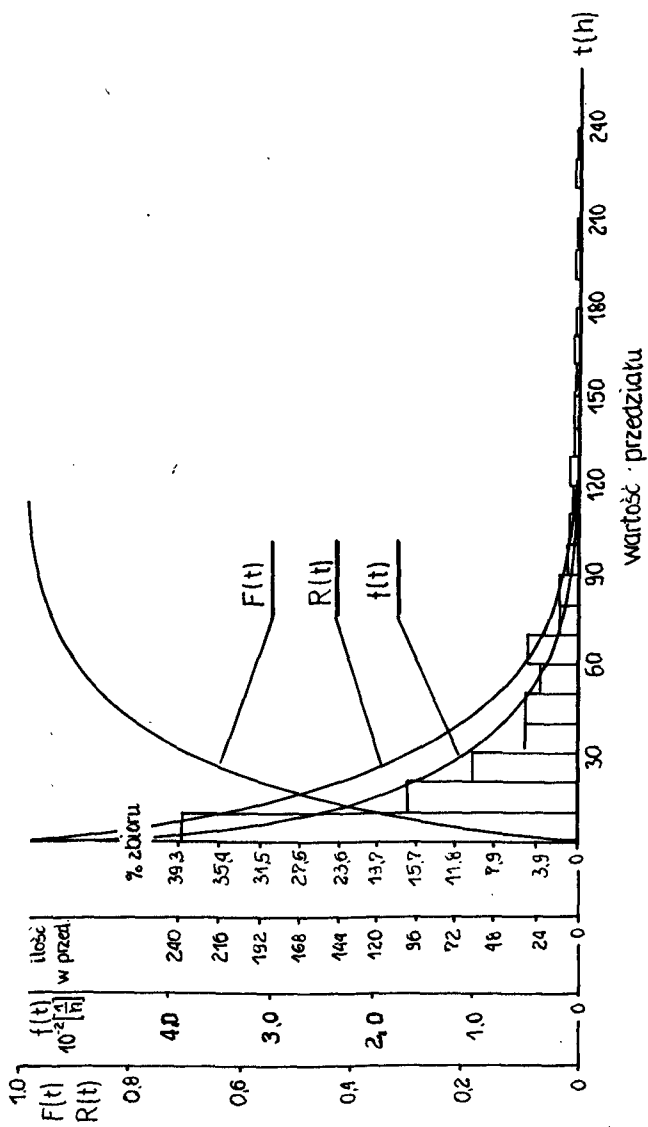
| Lp. | Charakterystyka                                  | Wartość średnia w [h]<br>$T_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$ |         | Odchylenie standardowe w [h]<br>$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - T_1)^2}$ |         | Współczynnik zmienności<br>$V = \frac{S}{T_1}$ | Przedział ufności średniej w [h]<br>$(T_1 - u \alpha \frac{S}{\sqrt{n}}, T_1 + u \alpha \frac{S}{\sqrt{n}})$ | Nazwa rozkładu | Parametry rozkładu |
|-----|--|---|---------|---|---------|--|--|----------------|--------------------|
|     |  | empir.  | teoret. | empir.  | teoret. |  |  |                |                    |
| 1   | Czas pracy między uszkodzeniami technicznymi     | 47,98   | 40,04   | 58,63   | 42,59   | 1,22   | 1,06   | gamma          | a=0,02 p=0,88      |
| 2   | Czas pracy między uszkodzeniami technologicznymi | 44,41   | 35,76   | 55,63   | 37,87   | 1,25   | 1,05   | gamma          | a=0,02 p=0,89      |
| 3   | Czas pracy między postojami zewnę. - trzonymi    | 31,82   | 24,27   | 41,45   | 25,97   | 1,30   | 1,07   | gamma          | a=0,03 p=0,87      |
| 4   | Czas pracy między postojami                      | 13,63   | 10,49   | 17,67   | 11,13   | 1,29   | 1,06   | gamma          | a=0,12 p=0,82      |
| 5   | Czas pracy produkowania papieru                  | 8,90  | 6,83    | 12,65   | 7,53    | 1,42   | 1,10   | gamma          | a=0,12 p=0,82      |



Rys.1. Histogram i funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $f(t)$ / niezawodności  $R(t)$ / oraz dystrybuanta  $F(t)$ / czasu pracy maszyny między uszkodzeniami technicznymi

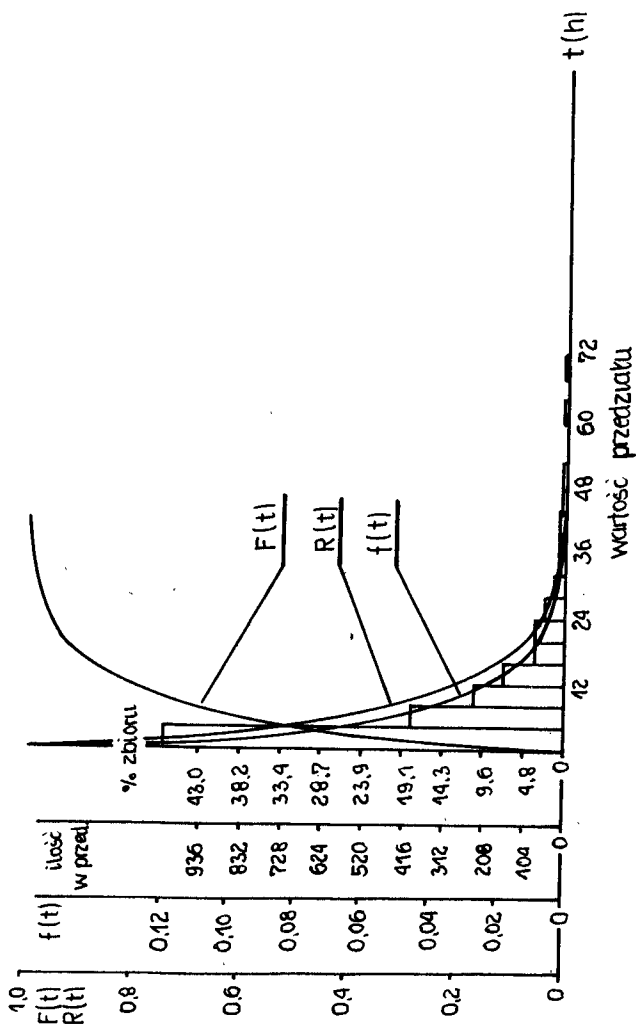


Rys.2. Histogram i funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $f/t/$ , niezawodności  $R/t/$  oraz dystrybuanta  $F/t/$  czasu pracy maszyny między uszkodzeniami technologicznymi



Rys.3. Histogram i funkcje gęstości  $f(t)$ , niezawodności  $R(t)$  oraz dystrybuanta  $F(t)$  / czasu pracy maszyny między postojami zewnętrznymi





Rys. 4. Histogram i funkcje gęstości  $f(t)$ , niezawodności  $R(t)$  oraz dystrybuanta  $F(t)$  czasu produkowania papieru

Przedstawione wyżej charakterystyki czasów pracy maszyny papierniczej poddano weryfikacji rozkładów. Dokonana wcześniej analiza empirycznych rozkładów pozwalała z dużym przybliżeniem postawić hipotezę dotyczącą rozkładu teoretycznego danej charakterystyki. Weryfikacja empirycznych rozkładów czasów pracy pozwoliła stwierdzić, że najbliższym rozkładem teoretycznym jest rozkład gamma.

#### 4. ANALIZA CZASÓW POSTOJÓW MASZyny PAPIERNICZEJ

W celu kompleksowego przedstawienia jakości działania maszyny papierniczej przeprowadzono badania czasów postojów maszyny, przy czym obejmują one czasy niezdatności technicznej i niezdatności technologicznej. Analizowano również czasy postojów zewnętrznych, a także ogół postojów, których znajomość ma istotne znaczenie w gospodarce remontowej. Dokonano ponadto weryfikacji wyników uzyskując wartości charakterystyk i parametry rozkładów czasów postojów, co podano w tabeli 2.

Histogramy i krzywe teoretyczne funkcji gęstości prawdopodobieństwa oraz dystrybuanty wyszczególnionych czasów postojów przedstawiono na rysunkach 5-8.

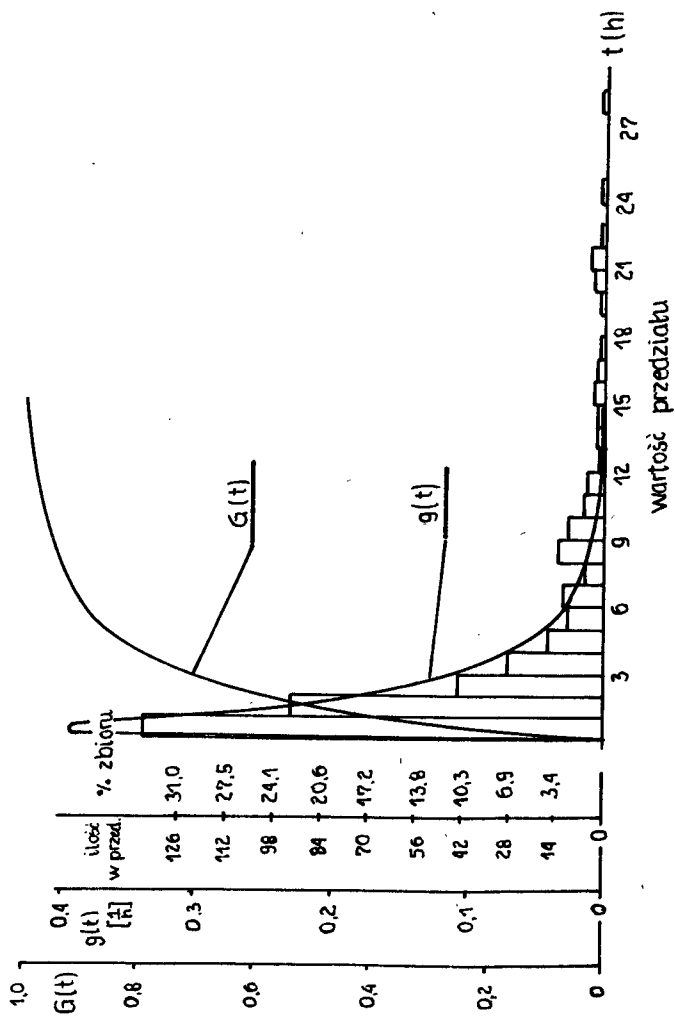
Z analizy wykresu /rys.5/ wynika, że najbardziej prawdopodobna wartość czasu niezdatności technicznej, tj. czasu od chwili rozpoczęcia naprawy przez brygadę remontową aż do momentu jej zakończenia, zawiera się w przedziale 0-1 godz. Natomiast w przypadku uszkodzeń technologicznych/rys.6/ czas ten zawiera się w przedziale 1-1,5 godz. Średni czas niezdatności technicznej wynosi 2,91 godz., natomiast niezdatności technologicznej 1,69godz

Dokonano również analizy czasów postojów zewnętrznych, której wyniki przedstawiono na rysunku 7. Z wykresu wynika, że najbardziej prawdopodobna wartość czasu postoju zewnętrznego zawiera się w przedziale 2-3 godz. Średni czas postoju zewnętrznego wynosi 2,54 godz. Powyższe dane o prawdopodobnych czasach postoju maszyny oraz wykresy na rysunku 7 mają istotne znaczenie dla służb utrzymania ruchu, gdyż czasy te można wykorzystać na dokonanie czynności zapobiegawczych. Takie działania mają w znacznym stopniu ograniczyć liczbę postojów planowanych maszyny. W rozpatrywanym przypadku /tab.2 i rys.7/ występujące wartości pokrywają zapotrzebowanie zarówno ilościowe jak i czasowe na przeprowadzenie wymian zapobiegawczych elementów badanej maszyny papierniczej.

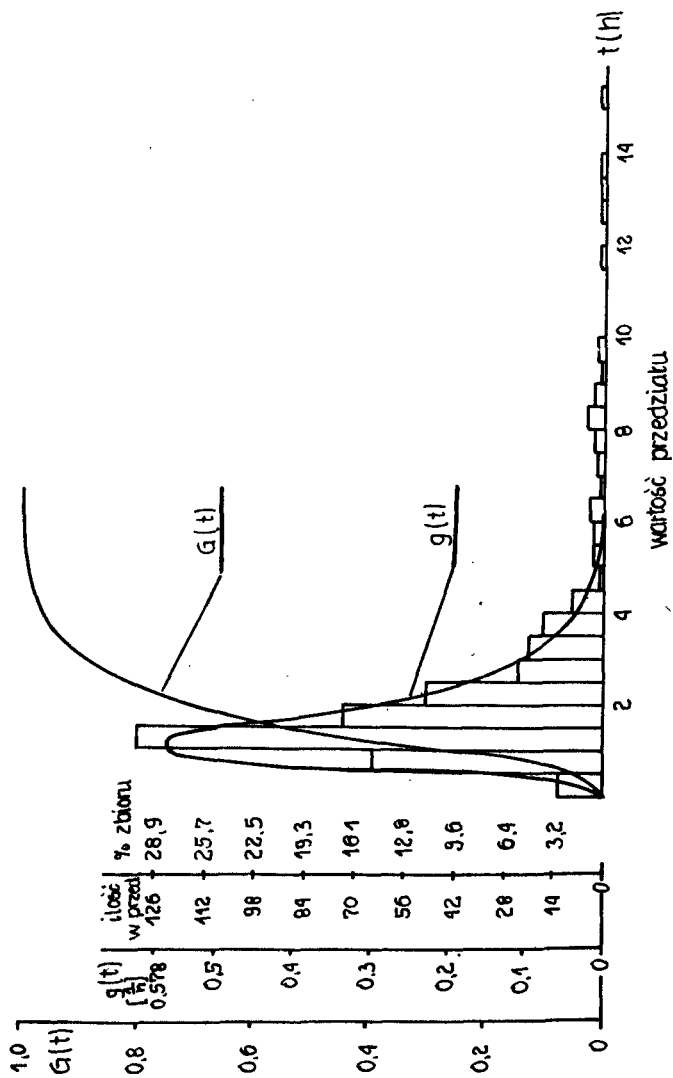
Ponadto dokonano również analizy czasu przebywania maszyny w stanie niezdatności do produkcji papieru /tzn. czasów, w których nie jest wytwarzany papier, niezależnie od rodzaju przyczyny/. W związku z tym niezdatność ta jest spowodowana nie tylko wszystkimi postojami, ale również i biegiem jałowym maszyny, co przedstawiono wykreślnie na rysunku 8. Z wykresu wynika, że najbardziej prawdopodobna wartość czasu nieproduktywnego zawiera się w przedziale 0-1 godz. Natomiast średni czas niezdatności do procesu produkcji papieru wynosi 1,63 godz. Gwałtowny wzrost dystrybuanty G/t/ oraz ilość zdarzeń w przedziale 0-1 godz. określona liczbą 1000, świad-

Wartości charakterystyk i parametry rozkładów czasów postojów maszyny papierniczej

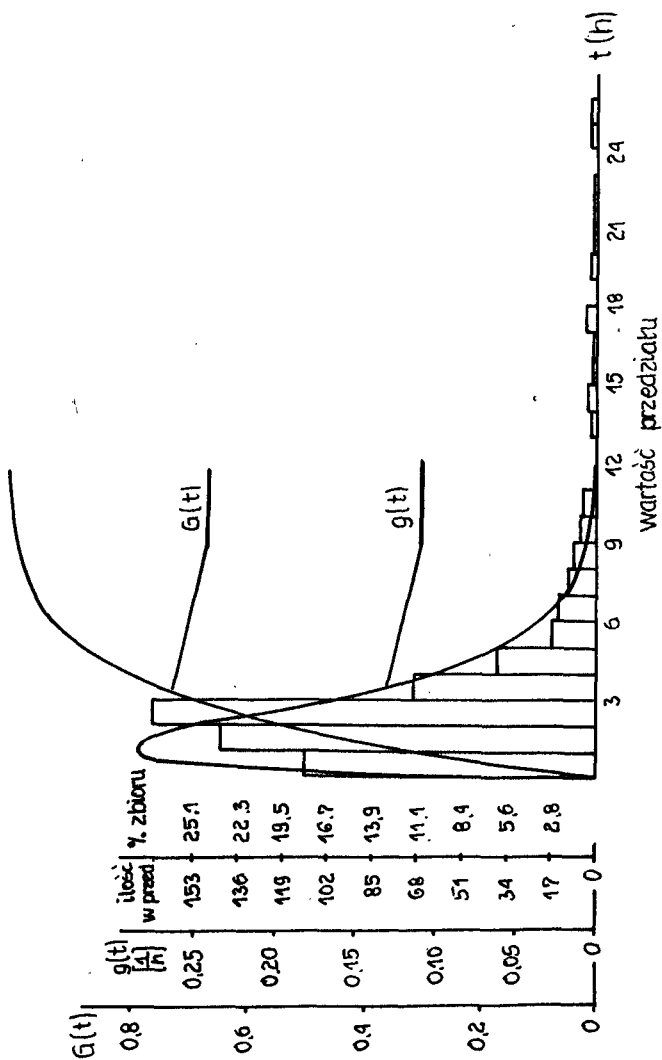
| Lp. | Charakterystyka                     | Wartość średnia w [h]<br>$T_2 \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i$ |         | Odchylenie standardowe w [h]<br>$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - T_2)^2}$ |         | Współczynnik zmienności<br>$\gamma = \frac{S}{T_2}$ |         | Przedział ufności dla średniej teoretycznej w [h]<br>$(T_2 - \alpha) \sqrt{n}, T_2, \alpha \sqrt{n}, \frac{S}{\alpha \sqrt{n}}$ | Nazwa rozkładu | Parametry rozkładu         |
|-----|-------------------------------------|---|---------|---|---------|---|---------|---|----------------|----------------------------|
|     |                                     | empir.  | teoret. | empir.  | teoret. | empir.  | teoret. |   |                |                            |
| 1   | Czas niezdatności technicznej       | 3,43  | 2,91    | 4,57  | 3,38    | 1,33  | 1,16    | (2,57, 3,24)  | log.-normal.   | m=0,51 $\hat{\sigma}=1,03$ |
| 2   | Czas niezdatności technologicznej   | 2,11  | 1,69    | 2,04  | 1,03    | 0,96  | 0,60    | (1,59, 1,79)  | log.-normal.   | m=0,35 $\hat{\sigma}=0,58$ |
| 3   | Czas postojów zewnętrznych          | 3,10  | 2,53    | 3,59  | 1,94    | 1,15  | 0,76    | (2,38, 2,69)  | gamma          | a=0,66 p=1,69              |
| 4   | Czas postojów                       | 2,90  | 2,35    | 3,57  | 2,08    | 1,23  | 0,88    | (2,24, 2,46)  | log.-normal.   | m=0,52 $\hat{\sigma}=0,82$ |
| 5   | Czas niezdatności procesu produkcji | 2,11  | 1,63    | 3,01  | 1,68    | 1,43  | 1,03    | (1,5, 1,70)   | gamma          | a=0,57 p=0,93              |



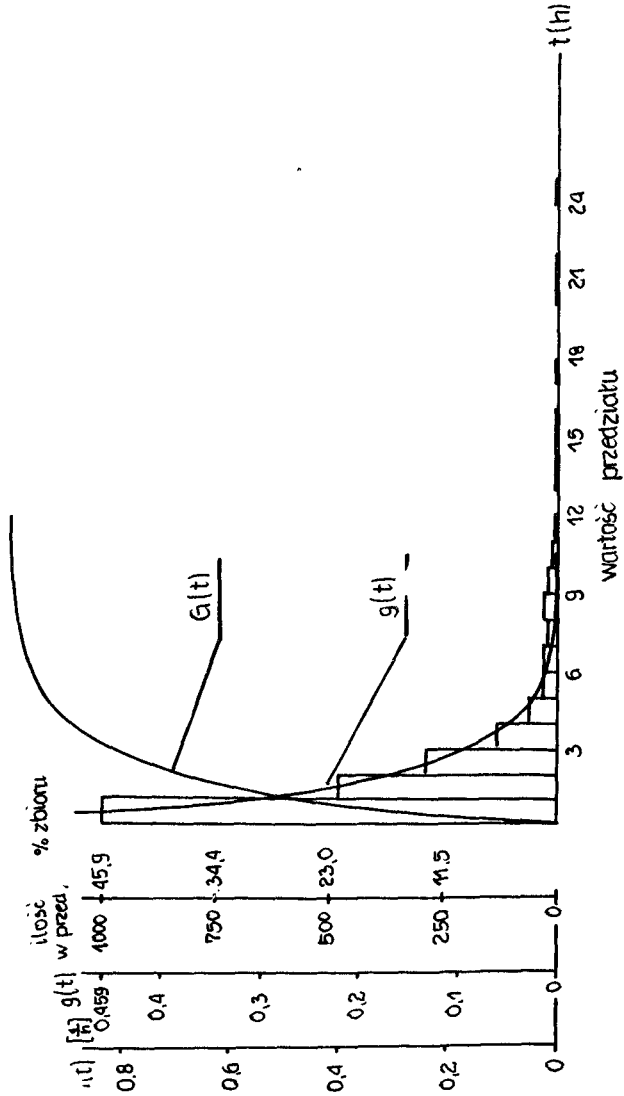
Rys.5. Histogram, funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $g(t)$  i dystrybucanta  $G(t)$  czasu niezdatności technicznej



Rys. 6. Histogram, funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $g(t)$  i dystrybuanta  $G(t)$  czasu niezdatności technologicznej



Rys.7. Histogram, funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $g/t/$  i dystrybuanta  $G/t/$  czasu postoju zewnętrzznego



Rys. 8. Histogram, funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $g/t/$  i dystrybuanta  $G/t/$  czasu niezdatności procesu produkcji papieru

czy o bardzo częstych i krótkotrwałych postojach, które zakłócają ciągłość produkcji i powodują spadek wydajności. Na poprawę tej sytuacji użytkowników - nicy powinni zwrócić szczególną uwagę w organizacji eksploatacji maszyny.

Na podstawie przeprowadzonej weryfikacji hipotez o zgodności rozkładu teoretycznego z rozkładem empirycznym czasów postojów można wnioskować, że czasy niezdatności technicznej i technologicznej dobrze dają się opisać rozkładem logarytmo - normalnym, zaś czasy postojów zewnętrznych oraz czasy niezdatności do procesu produkcji - rozkładem gamma.

## 5. PODSUMOWANIE

Podane w artykule wyniki badań i ich analiza mogą stanowić podstawę do udoskonalenia organizacyjnego modelu eksploatacji maszyny papierniczej, który uwzględniałby bardziej specyfikę, rodzaje i przyczyny postojów maszyny. Przedstawione wykresy mają ponadto na celu uwidocznienie możliwości wykorzystania rezerw maszyn o ciągłym procesie produkcyjnym poprzez dokonanie analizy niezawodności tych obiektów.

Wykorzystując podany model prezentowania wyników, uwzględniający wpływ wielu czynników na niezawodność procesu produkcji papieru, można dokonać oceny maszyn papierniczych w różnych zakładach przemysłowych i poprzez analizę porównawczą uzyskać poprawę niezawodności i wzrost wydajności.

Model może być wykorzystany nie tylko w przemyśle papierniczym lecz również w innych gałęziach gospodarki narodowej.

## EVALUATION OF MACHINE RELIABILITY EXAMINATION IN CONTINUOUS TECHNOLOGICAL PROCESS - TAKING PAPER MACHINE AS AN EXAMPLE

### Summary

The paper includes data of the paper machine examination made under production conditions. The obtained data and curves present characteristics of technical and technological reliability, reliability of outer factors and the paper production process.

An evaluation and analysis of the characteristics of machine operation in a continuous technological process were made.

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИНЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПОСТОЯННОГО ДЕЙСТВИЯ /БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНУЮ МАШИНУ ПРИНЯТО КАК ПРИМЕР/.

### Резюме

Статья содержит результаты исследований бумагоделательной машины, проведенных в промышленных условиях.

Полученные данные и диаграммы представляют собой характеристики технической, технологической, надежности внешних факторов и процесса производства бумаги.

Производится анализ и оценка характеристик бумагоделательных машин работающих в технологическом процессе постоянного действия.





Zbigniew Kikiewicz  
Jerzy Lewandowski

ZAGADNIENIE OPTIMALIZACJI NIEZAWODNOŚCI PROCESU  
PRODUKCJI PAPIERU

W artykule przedstawiono model eksploatacyjny systemu produkcji papieru i jego opis matematyczny. W oparciu o analizę niezawodności maszyn papierniczych omówiono wpływ wyszczególnionych w modelu czynników na niezawodność procesu produkcji papieru. Ustalono między nimi zależność empiryczną, wykorzystując w tym celu metodę regresji.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie maszyn papierniczych, szczególnie współczesnych, które charakteryzują się wysokimi parametrami technicznymi, obniżane jest na skutek ich niezawodności. Ponadto istotny wpływ na obniżenie stopnia wykorzystania mają postoje maszyn spowodowane uszkodzeniami urządzeń zasilających te obiekty w masę papierniczą, parę technologiczną itp. oraz uszkodzeniami urządzeń odbierających produkcję.

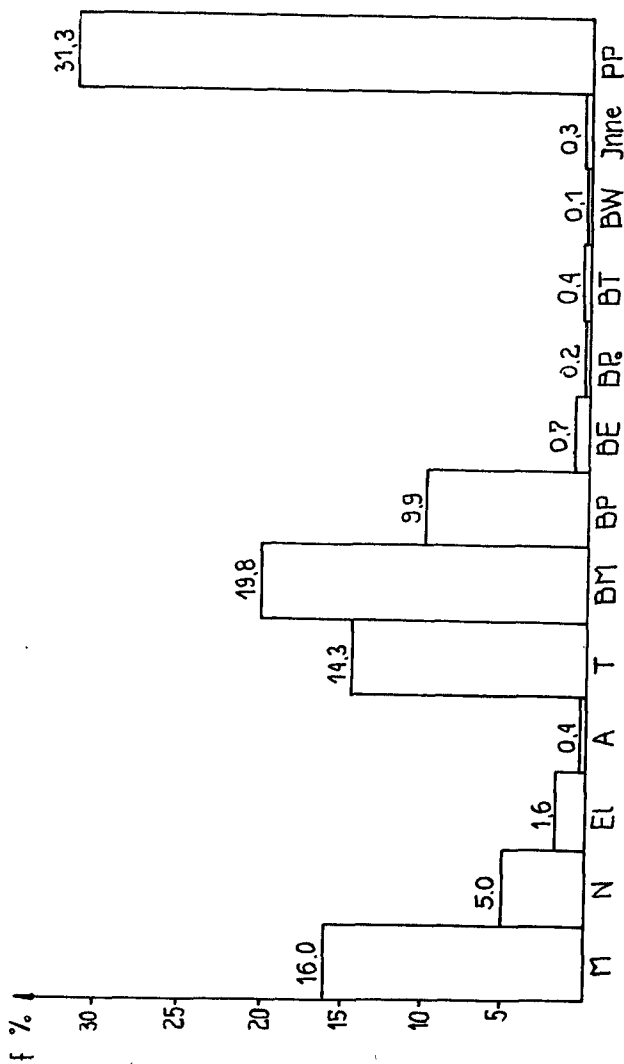
Potwierdzeniem powyższych faktów jest histogram procentowego udziału czasu postojów maszyny w zależności od przyczyny postoju, który przedstawiono na rysunku 1. Z przeprowadzonych badań wynika również, że średni roczny sumaryczny czas wszystkich postojów maszyny wynosi około 2200 h/rok.

Dążenie do optymalnego wykorzystania maszyn papierniczych wynika również z faktu ich wysokich cen zakupu, koszt jednej maszyny waha się w granicach 100-200 milionów dolarów.

Ważność zagadnienia optymalizacji niezawodności maszyn papierniczych i ich optymalnego wykorzystania będzie z czasem wzrastać, gdyż maszyny te jako systemy techniczne uzyskują coraz bardziej złożoną strukturę, co będzie powodowało coraz większe koszty i straty w procesie użytkowania i obsługi.

Działania zmierzające do optymalnego wykorzystania maszyn papierniczych powinny być poprzedzone analizą czynników wpływających na niezawodność procesu produkcji papieru oraz zbudowaniem odpowiednich modeli matematycznych.

Zweryfikowanie przyjętych modeli powinno być oparte na wynikach badań eksploatacyjnych.

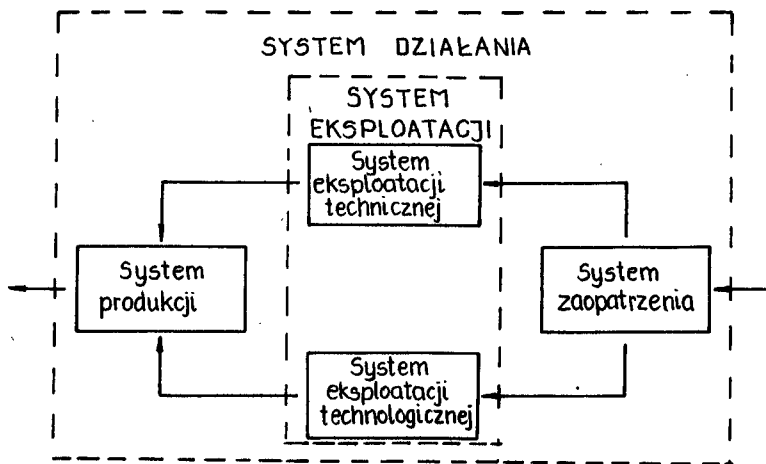


Rys.1. Histogram procentowego udziału czasu postojów maszyny papierniczej w zależności od przyczyny postoju. Rodzaj postoju z przyczyny: mechanicznej M, napędu N, elektrycznej EL, automatyki A, technologicznej T, braku masy BM, braku pary BP, braku energii BE, braku powietrza BPo, braku tamborów BT, postojów planowych PP, F-procentowy udział czasu postojów

Przedstawione wyżej problemy powodują konieczność kompleksowego rozwiązania zagadnienia optymalizacji niezawodności procesu produkcji papieru.

## 2. MODEL SYSTEMU DZIAŁANIA MASZyny PAPIERNICZEJ I JEGO OPIS W UJĘCIU NIEZAWODNOŚCIOWYM

Optymalne wykorzystanie maszyn papierniczych wymaga uwzględnienia działań w ramach zarówno całego systemu, jak i jego elementów składowych. Działania te powinny dotyczyć tak samej maszyny, z uwagi na funkcjonowanie jej elementów i procesu technologicznego, jak również pozostałych elementów systemu, umożliwiających pracę maszyny w procesie produkcji. Na funkcjonowanie maszyny papierniczej mają bowiem wpływ czynniki zewnętrzne i wewnętrzne, przy czym do tych ostatnich należą czynniki techniczne i technologiczne. Mając to na uwadze, zbudowano model prakseologiczny systemu działania maszyny papierniczej, który obrazuje rysunek 2. System



Rys.2. Model systemu działania maszyny papierniczej

eksploatacji składa się z systemu eksploatacji technicznej i eksploatacji technologicznej, przy czym pierwszy zawiera zbiór czynników technicznych /np. uszkodzenie łożyska cylindra suszącego, napędu itp./, drugi zaś zbiór czynników technologicznych /np. wymiana sita, czyszczenie, mycie "odzieży" maszynowej, zryw wstęgi papieru itp./ Natomiast zbiór czynników ze wewnętrznych /np. brak masy, pary, energii, itp./ zawarty jest w systemie zaopatrzenia.

Podstawowym zadaniem przy badaniu systemu działania jest ocena wpływu poszczególnych systemów na niezawodność systemu procesu produkcji papieru.

Uwzględniając cel badań łatwo zauważyć, że można dokonać pewnych uproszczeń zarówno samego modelu, jak i jego elementów. Umożliwia to przekształcanie występujących w systemie zbiorów w inne, o mniejszej liczbie

czynników i uwzględnienie relacji, które są istotne z uwagi na cel badań.

Można wyróżnić takie czynniki, których analiza, na podstawie przeprowadzonych badań i wypływające z niej wnioski będą podstawą przy budowie optymalnego modelu niezawodności procesu produkcji papieru.

Analizy rozpatrywanych czynników można dokonać na podstawie teorii niezawodności, wprowadzając następujące pojęcia: niezawodność techniczna, niezawodność technologiczna, niezawodność maszyny związana z czynnikami zewnętrznymi i niezawodność procesu produkcji papieru [4,5].

### 1. Niezawodność techniczna maszyny papierniczej

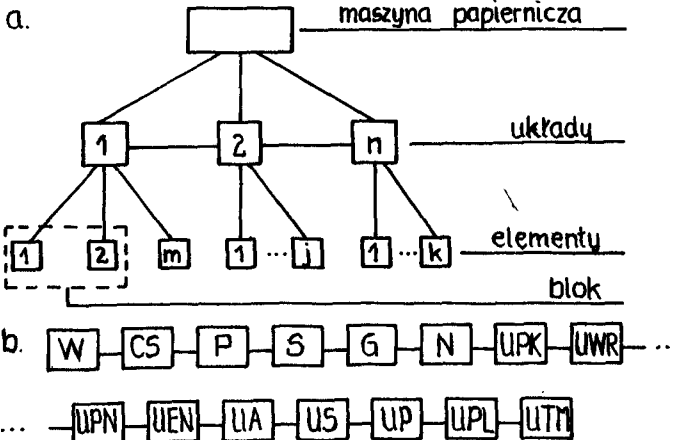
Niezawodność techniczna maszyny papierniczej w sensie normatywnym jest określona jako prawdopodobieństwo spełnienia wymagań w zadanych granicach wartości istotnych wielkości eksploatacyjnych. Niezawodność techniczną  $R_k / t$  / maszyny papierniczej można określić wzorem

$$R_k / t = \left\{ P \left( H'_{kn} > t, H''_{kn} \leq t \right) \right\} \quad (1)$$

gdzie:

- $H'_{kn}$  - czas pracy maszyny do wystąpienia uszkodzenia technicznego -  
go<sup>1/</sup>
- $H''_{kn}$  - czas postoju w stanie niezdatności technicznej,  $n=1,2$

Maszyna papiernicza jako obiekt badań posiada pewne cechy konstrukcyjne i eksploatacyjne pozwalające na wyznaczenie cech niezawodności maszyny i jej elementów. Stąd też w ocenie statystycznej niezawodności maszyny papierniczej i jej elementów stosuje się tzw. obliczeniowe modele niezawodności, budowane na podstawie schematu struktury funkcjonalnej tego obiektu. Schemat struktury niezawodnościowej maszyny papierniczej i jej model obliczeniowy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat struktury niezawodnościowej maszyny papierniczej /a/, model obliczeniowy maszyny /b/

1/ Uszkodzenia techniczne obejmują wszystkie przerwy w pracy maszyny wywołane uszkodzeniami części lub podzespołów technicznych/łożyska, sprzęgła, silniki itp./, których naprawa wymaga wymiany regulacji, regeneracji itp. [4,5].

## 2. Niezawodność technologiczna maszyny papierniczej

W znaczeniu normatywnym niezawodność technologiczna jest to prawdopodobieństwo spełnienia wymagań stawianych elementom wyposażenia technicznego i procesowi technologicznemu. Funkcję niezawodności technologicznej dla maszyny papierniczej można zapisać w postaci

$$R_t(t) = P \left\{ \textcircled{H}'_{tm} > t; d_{ij} \leq \xi_{ij}(t) \leq g_{ij}; \textcircled{H}''_{tm} \leq t \right\} \quad (2)$$

gdzie:

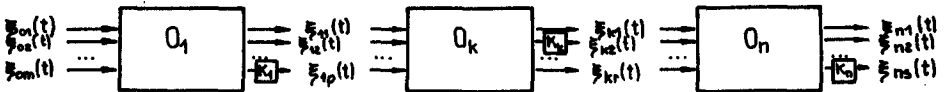
$\textcircled{H}'_{tm}$  - czas pracy maszyny do uszkodzenia technologicznego<sup>2/</sup>  
 $\xi_{ij}(t)$  - parametr j-ty w i-tej operacji procesu technologicznego  
 $d_{ij}, g_{ij}$  - oznaczają odpowiednio dolną i górną wartość graniczną dopuszczalnych zmian parametru  $\xi_{ij}(t)$

$i=1,2,\dots,n$  - indeks operacji

$j=1,\dots,p,\dots,r,\dots,s$  - indeks parametru w danej operacji

$\textcircled{H}''_{tm}$  - czas postoju w stanie niezdatności technologicznej  
 $m = 1,2,\dots$

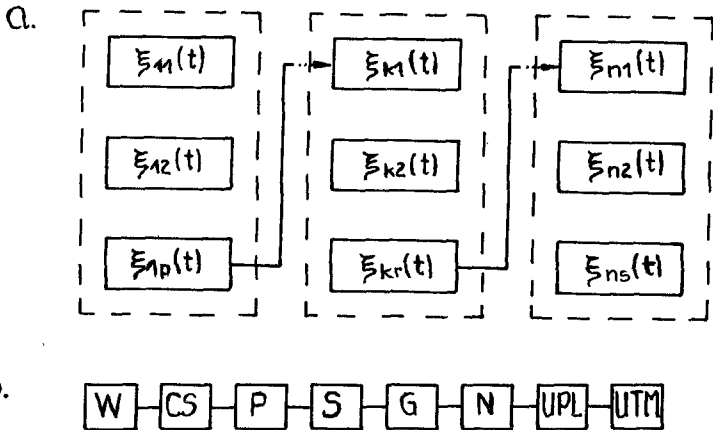
Proces technologiczny po każdej operacji scharakteryzować można pewną liczbą niezależnych parametrów. Niektóre z nich, z reguły najważniejsze, podlegają okresowej bądź ciągłej kontroli. Operacje kontrolne mają w procesie technologicznym charakter informacyjno-diagnostyczny. Strukturę funkcjonalną takiego procesu przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Schemat struktury funkcjonalnej procesu technologicznego  $\xi_{kr} t$   
 -parametry występujące w ilości "r" w k-tej operacji,  $0_1, \dots, 0_r$   
 -operacje technologiczne,  $K_1, \dots, K_n$  - operacje okresowej, bądź ciągłej kontroli parametrów

Do oceny niezawodności technologicznej stosuje się obliczeniowy model niezawodności technologicznej zbudowany na podstawie struktury funkcjonalnej procesu technologicznego. Schemat struktury niezawodności technologicznej i jej model obliczeniowy przedstawiono na rysunku 5.

<sup>2/</sup> Uszkodzenia technologiczne obejmują postoje maszyny wywołane uszkodzeniami wyposażenia technologicznego maszyny /odzieży maszynowej, skrobaków itp./, a także postoje powstałe z przyczyn technologicznych związane z czynnościami obejmującymi wymiany, regulacje, czyszczenie itp. [4, 5]



Rys.5. Schemat struktury niezawodności technologicznej /a/,  
model obliczeniowy /b/

### 3. Niezawodność maszyny papierniczej z uwagi na czynniki zewnętrzne

W znaczeniu normatywnym niezawodność czynników zewnętrznych określono jako prawdopodobieństwo zapewnienia niezakłóconego przez te czynniki procesu produkcji papieru na maszynie papierniczej. Niezawodność tę można napisać w postaci

$$R_z(t) = P \left\{ \overset{\prime}{H}_{zn} > t ; \overset{''}{H}_{zn} \leq t \right\} \quad (3)$$

gdzie:

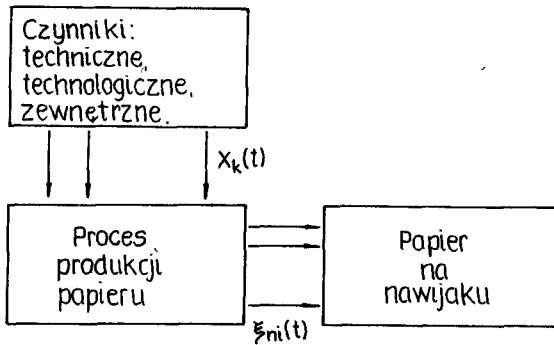
- $\overset{\prime}{H}_{zn}$  - czas pracy maszyny do wystąpienia postojów zewnętrznych<sup>3/</sup>  
 $\overset{''}{H}_{zn}$  - czas postojów maszyny na skutek czynników zewnętrznych  
 $n = 1, 2, \dots$

### 4. Niezawodność procesu produkcji papieru

Wyznaczenie niezawodności procesu produkcji papieru może być dokonane według różnych wariantów, w zależności od wymagań, które w procesie muszą być spełnione.

Wymagania te określa wieloparametrowy wskaźnik jakości i wydajności, który zawiera się w wartościach parametru  $\xi_{ni}/t$  //rys.6/. W tym przy-

<sup>3/</sup> Postoje zewnętrzne obejmują postoje z przyczyn organizacyjnych lub z powodu uszkodzeń urządzeń zasilających i odbierających produkcję maszyny. Podczas tych postojów maszyna jest zdolna do pracy, jednak występujące warunki organizacyjno-techniczne uniemożliwiają realizację procesu produkcji papieru. Postoje te powstają na skutek braku masy papierniczej, energii elektrycznej, pary technologicznej itp. [4,5].



Rys.6. Uproszczony model uwzględniający wpływ czynników na proces produkcji papieru na maszynie papierniczej

padku jako niezawodny uważa się taki proces produkcji papieru, w którym uzyskano wyznaczoną wydajność, przy jednoczesnym zapewnieniu zgodności otrzymanego papieru ze wszystkimi wymaganiami jakościowymi zawartymi w dokumentacji technologicznej.

W znaczeniu normatywnym niezawodność procesu produkcji papieru jest to prawdopodobieństwo spełnienia wymagań stawianych procesowi produkcyjnemu. W ten sposób funkcję niezawodności procesu produkcji papieru można napisać w postaci

$$R_q(t) = P \left\{ Q_r \geq Q_p, d_{ns} \leq \xi_{ns}(t) \leq g_{ns}, \textcircled{H}_{qm}'' \leq t \right\} \quad (4)$$

lub

$$R_q(t) = P \left\{ \textcircled{H}_{qm}' > t, d_{ns} \leq \xi_{ns}(t) \leq g_{ns}, \textcircled{H}_{qm}'' \leq t \right\} \quad (5)$$

gdzie:

- $Q_r$  - rzeczywista wydajność maszyny papierniczej,
- $Q_p$  - wydajność zaplanowana,
- $\xi_{ns}(t)$  - parametry papieru na nawijaku,
- $d_{ns}, g_{ns}$  - odpowiednio dolna i górna wartość graniczna dopuszczalnych zmian parametrów  $\xi_{ns}(t)$ ,
- $n$  - indeks ostatniej operacji,
- $s$  - indeks parametru w ostatniej operacji
- $\textcircled{H}_{qm}'$  - czas produktywnej pracy maszyny do wystąpienia zakłócenia procesu produkcji papieru, tj. uszkodzenia technicznego, technologicznego lub z przyczyn zewnętrznych,
- $\textcircled{H}_{qm}''$  - czas postoju /rozumiany jako czas postoju lub bezproduktywnej pracy maszyny /w stanie niezdatności procesu produkcji.



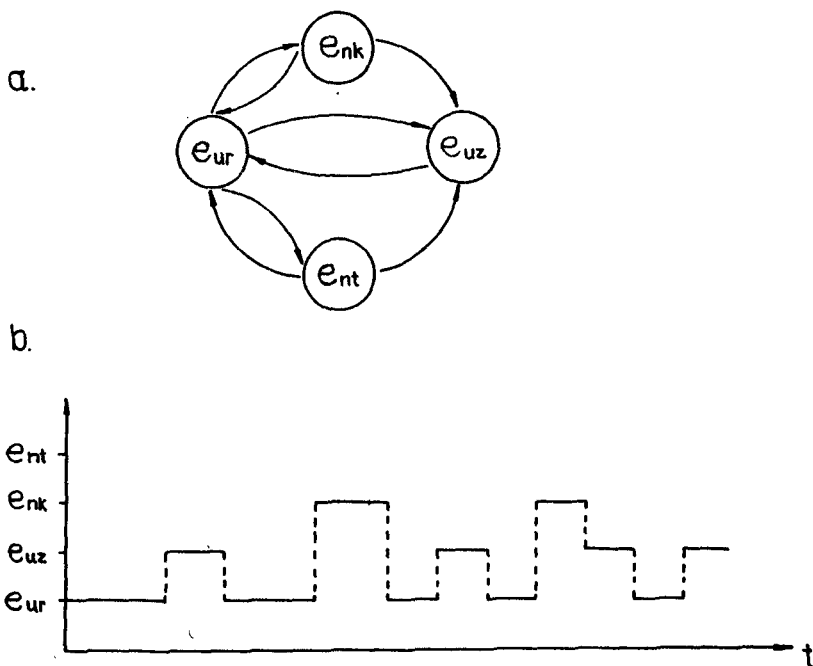
Tak rozumiana niezawodność procesu produkcji papieru powinna być odniesiona do niezawodności poszczególnych czynników mających wpływ na realizację tego procesu, tj. niezawodności technicznej, niezawodności technologicznej i niezawodności czynników zewnętrznych.

Dokonanie optymalizacji niezawodności procesu produkcji papieru wymaga uprzedniego zbudowania modelu matematycznego. W zależności od przyjętych kryteriów optymalizacji wymagany będzie odpowiedni model. Stąd też poniżej przedstawiono niektóre modele matematyczne zadań optymalizacji niezawodności procesu produkcji papieru.

### 3. WYBRANE MODELE MATEMATYCZNE NIEZAWODNOŚĆ PROCESU PRODUKCJI PAPIERU

#### 1. Model niezawodnościowy maszyny papierniczej jako obiektu wielostanowego o stanach odwracalnych

W wielostanowym procesie eksploatacji maszyny papierniczej wyróżniono następujące stany /rys.7/:



Rys.7. Czterostanowy proces eksploatacji maszyny papierniczej : a/ graf eksploatacyjny, b/ realizacja czasowa procesu eksploatacji

- $e_1$  - stan ruchu maszyny  $/e_{ur}/$ ,
- $e_2$  - stan niezdatności technicznej  $/e_{nk}/$ ,
- $e_3$  - stan niezdatności technologicznej  $/e_{nt}/$ ,
- $e_4$  - stan postoju zewnętrznego  $/e_{uz}/$ .

Wprowadzono następujące oznaczenia:

- $P \{ e_1 \rightarrow e_2 \} = P_{12}$  - przejście maszyny ze stanu ruchu  $e_1$  w stan niezdatności technicznej  $e_2$ ,  
 $P \{ e_1 \rightarrow e_3 \} = P_{13}$  - przejście maszyny ze stanu ruchu  $e_1$  w stan niezdatności technologicznej  $e_3$ ,  
 $P \{ e_1 \rightarrow e_4 \} = P_{14}$  - przejście maszyny ze stanu ruchu  $e_1$  w stan postoju zewnętrznego  $e_4$ ,  
 $P \{ e_2 \rightarrow e_1 \} = P_{21}$  - przejście maszyny ze stanu niezdatności technicznej  $e_2$  w stan ruchu  $e_1$ ,  
 $P \{ e_2 \rightarrow e_4 \} = P_{24}$  - przejście maszyny ze stanu niezdatności technicznej  $e_2$  w stan postoju zewnętrznego  $e_4$ ,  
 $P \{ e_3 \rightarrow e_1 \} = P_{31}$  - przejście maszyny ze stanu niezdatności technologicznej  $e_3$  w stan ruchu  $e_1$ ,  
 $P \{ e_3 \rightarrow e_4 \} = P_{34}$  - przejście maszyny ze stanu niezdatności technologicznej  $e_3$  w stan postoju zewnętrznego  $e_4$ ,  
 $P \{ e_4 \rightarrow e_1 \} = P_{41}$  - przejście maszyny ze stanu postoju zewnętrznego  $e_4$  w stan ruchu  $e_1$ .

Ze względu na wierność odwzorowania obiektu realnego /maszyny papierniczej/ przez jego model, zastosowano opis procesami semimarkowa.

Szczegółowy opis procesu eksploatacji maszyny papierniczej przy zastosowaniu procesów semimarkowa przedstawiono w pracy [4].

W przypadku gdy jednorodny łańcuch Markowa o macierzy przejść  $P = [P_{ij}]$  jest ergodyczny i zmienne losowe  $T_{ij}$  czasu przebywania procesu w stanie "i" mają skończone wartości oczekiwane  $E(T_{ij})$ , można wyznaczyć prawdopodobieństwo graniczne stanów procesu półmarkowskiego z następującej zależności:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ij}(t) = P_j = \frac{\pi_j \cdot E(T_j)}{\sum_{i=1}^n \pi_i E(T_i)} \quad (6)$$

gdzie:

$\{ \pi_i, i=1, \dots, n \}$  - prawdopodobieństwo graniczne j-tego stanu łańcucha Markowa o macierzy przejść  $P$

$$E(T_i) = \sum_{j=1}^n P_{ij} E(T_{ij}) = \sum_{j=1}^n P_{ij} \int_0^{\infty} t \, dF_{ij}(t) \quad \text{nu}$$

nu

W celu wyznaczenia prawdopodobieństw granicznych zbadano ergodyczność łańcucha Markowa, którego dowód przedstawiono w pracy [4].

Tak więc prawdopodobieństwa graniczne dla wyróżnionych czterech stanów /rys.7/ można określić wg następujących wzorów [4, 5].

$$P_1 = \frac{E(T_1)}{E(T_1) + P_{12} E(T_2) + P_{13} E(T_3) + (1 - P_{12}P_{21} + P_{13}P_{31}) E(T_4)} \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{P_{12} E(T_2)}{E(T_1) + P_{12}E(T_2) + P_{13}E(T_3) + (1 - P_{12}P_{21} + P_{13}P_{31})E(T_4)} \quad (8)$$

$$P_3 = \frac{P_{13} E(T_3)}{E(T_1) P_{12}E(T_2) + P_{13} E(T_3) + (1 - P_{12}P_{21} + P_{13}P_{31})E(T_4)} \quad (9)$$

$$P_4 = \frac{(1 - P_{12}P_{21} + P_{13}P_{31}) E(T_4)}{E(T_1) + P_{12} E(T_2) + P_{13} E(T_3) + (1 - P_{12}P_{21} + P_{13}P_{31})E(T_4)} \quad (10)$$

Dla eksploatorów maszyn papierniczych istotna może być znajomość występowania czasu pracy i czasu postoju spowodowanego uszkodzeniem maszyny lub postoju zewnętrznego, stąd też zbiór stanów  $E$  procesu eksploatacji podzielono na dwa podzbiory  $E^F$  i  $E^P$ . Zbiór  $E^F$  przyjęto jako zbiór stanów pracy maszyny, a zbiór  $E^P$  jako zbiór stanów postoju na skutek uszkodzeń lub przyczyn zewnętrznych. Ze zbioru stanów  $E^F$  można wyodrębnić podzbiór stanów  $e_r \subset E^F$ , z których proces eksploatacji przechodzi ze zbiorów stanów  $E^F$  do zbioru stanów  $E^P$ . Analogicznie ze zbioru stanów  $E^P$  wyodrębniono podzbiór  $e_p \subset E^P$ , z których proces przechodzi ze zbioru  $E^P$  do zbioru stanów  $E^F$ .

Wartość oczekiwaną czasu przebywania procesu w podzbiorze stanów pracy maszyny określono z następującej zależności:

$$T_{1r} = \sum_{i \in E^F} P_i E(T_i) \left( \sum_{i \in E^F} P_i \sum_{j \in E^P} P_{ij} \right)^{-1} \quad (11)$$

zaś wartość oczekiwaną czasu przebywania procesu w podzbiorze stanów postoju wyrażono jako:

$$T_{2p} = \sum_{i \in E^P} P_i E(T_i) \left( \sum_{i \in E^F} P_i \sum_{j \in E^P} R_{ij} \right)^{-1} \quad (12)$$

gdzie:

$E(T_i)$  - wartość oczekiwaną przebywania procesu półmarkowskiego w stanie "i"

$P_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^n D_j}$  - stacjonarne prawdopodobieństwo przebywania łańcucha Markowa z macierzą prawdopodobieństw przejść  $[P = P_{ij}]$  w stanie "i"

$D_i$  - podwyznacznik, otrzymany przez wykreślenie i-tego wiersza i i-tej kolumny macierzy  $D$  określonej zależnością:

$$D = \begin{bmatrix} 1 - P_{11} & -P_{12} & \dots & -P_{1n} \\ -P_{21} & 1 - P_{22} & \dots & -P_{2n} \\ \dots & \dots & -P_{ij} & \dots \\ -P_{n1} & -P_{n2} & \dots & 1 - P_{nn} \end{bmatrix}$$

Za jedną z podstawowych charakterystyk niezawodności w procesie eksploatacji maszyny papierniczej uważa się współczynnik gotowości.

Jeżeli przez  $E_I^r = \{e_i^r, i \in I\}$  oznaczy się stany ruchu maszyny papierniczej, wówczas współczynnik gotowości można obliczyć za pomocą wzoru:

$$K_g = \frac{\sum_{i \in I} \pi_i E(T_i)}{\sum_{i=1}^n \pi_i E(T_i)} \quad (12)$$

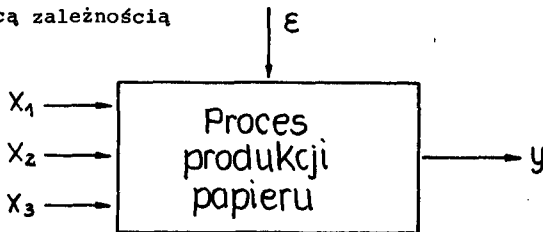
gdzie:

$\pi_i, E(T_i)$  - oznaczenia jak we wzorze (6)

## 2. Model niezawodności procesu produkcji papieru opisany funkcją regresji

Przy badaniu zależności między niezawodnością procesu produkcyjnego i niezawodnością czynników można zastosować metodę regresji. W tym celu można sformułować problem następująco: należy zbadać jaki jest wpływ niezawodności technicznej, technologicznej i czynników zewnętrznych na niezawodność procesu produkcji papieru.

Rozważmy obecnie niezawodność procesu produkcji papieru /rys.8/ opisaną następującą zależnością



Rys.8. Wielowymiarowy nieliniowy proces produkcji papieru

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \xi) \quad (14)$$

gdzie:

$x_1, x_2, x_3$  - oznaczają wejścia procesu produkcji papieru,  
 $y$  - oznacza wyjście,  
 $\xi$  - zakłócenia losowe.

Dane wejściowe, w postaci czynników technicznych ( $x_1$ ), technologicznych ( $x_2$ ), zewnętrznych ( $x_3$ ), są to wybrane charakterystyki losowe, wpływające na realizację procesu produkcji papieru, a dane wyjściowe są to wybrane charakterystyki losowe opisujące całościowo realizację tego procesu.

Postać funkcji (14) jest bliżej nieznana. Założono, że nieznaną charakterystykę nieliniową (14) można aproksymować wielomianem stopnia drugiego o postaci

$$F(w_1, w_2, w_3) = a_0 + a_1 w_1 + a_2 w_2 + a_3 w_3 + a_{11} w_1^2 + a_{12} w_1 w_2 + a_{13} w_1 w_3 + a_{22} w_2^2 + a_{23} w_2 w_3 + a_{33} w_3^2 \quad (15)$$

Współczynniki regresji  $\alpha = (a_0, a_1, \dots, a_{33})$  można oszacować rozważając następujący model liniowy:

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{10} x_{10} \quad (16)$$

gdzie:

$$x_1 = 1, x_2 = w_1, x_3 = w_2, x_4 = w_3, x_5 = w_1^2, x_6 = w_1 w_2, x_7 = w_1 w_3,$$

$$x_8 = w_2^2, x_9 = w_2 w_3, x_{10} = w_3^2$$

$$\text{oraz } \beta_1 = a_0, \beta_2 = a_1, \dots, \beta_{10} = a_{33}$$

Zakłada się, że dana jest macierz  $X$  planu doświadczenia. Następnie wykonując obliczenia macierzy

$$B = XX^T, B^{-1}, B^{-1}X$$

oraz zakładając, że otrzymano wyniki doświadczenia, które zapisano w postaci macierzy  $Y$ , można obliczyć oszacowanie współczynników regresji w następującej zależności:

$$\hat{\alpha} = (B^{-1} X) Y \quad (17)$$

#### 4. ZAGADNIENIE OPTIMALIZACJI NIEZAWODNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO

Jednym z ważniejszych problemów optymalizacji systemów produkcyjnych jest poszukiwanie racjonalnego poziomu niezawodności procesu produkcji papieru przy rozmaitych ograniczeniach o charakterze techniczno-ekonomicznym. Za racjonalny poziom niezawodności należy uznać taki, który spełnia jedną z dwóch następujących zasad:

- system produkcyjny, przy danych zasobach na zapewnienie jego niezawodności, powinien zawierać możliwie dużą niezawodność /zadanie maksymalizacji/,

- system produkcyjny powinien zawierać określoną niezawodność przy możliwie małych nakładach zasobów niezbędnych do jej zapewnienia /zadanie minimalizacji/.

W nieco innym ujęciu, problem optymalizacji procesu produkcyjnego traktowany może być jako zadanie wielokryterialne. Poszukiwany jest wówczas pewien poziom niezawodności oraz poziom innych charakterystyk niezawodności procesu produkcyjnego, których łączna kombinacja daje rozwiązanie kompromisowe.

Niezależnie od sposobu sformułowania, kryterium optymalizacji procesu produkcyjnego, z punktu widzenia jego niezawodności, polega na rozwiązaniu problemu decyzyjnego, którego zmiennymi decyzyjnymi są niektóre lub wszystkie spośród następujących czynników:

- poziom niezawodności elementów systemu produkcyjnego,
- sposób i głębokość rezerwacji elementów systemu produkcyjnego,
- sposób i zakres obsługi systemu produkcyjnego lub jego elementów.

Poniżej przedstawiono niektóre uwagi o formułowaniu zagadnień optymalizacyjnych w zależności od przyjmowanych kryteriów.

#### 1. Optymalizacja procesu produkcyjnego na podstawie modelu matematycznego niezawodności maszyny papierniczej jako obiektu wielostanowego o stanach odwracalnych

Pośród wielu zagadnień związanych z możliwością sformułowania problemu optymalizacyjnego, w oparciu o model matematyczny obiektu wielostanowego o stanach odwracalnych, można rozważyć problem takiego wyboru niezawodności poszczególnych czynników mających wpływ na niezawodność procesu produkcji papieru oraz czasu ich niezdatności, które to zmienne decyzyjne maksymalizowałyby średni dochód w czasie stanowiącym horyzont decyzyjny problemu.

Do sformalizowania powyższego zadania przyjęto następujące założenia

i oznaczenia:

$$E = \{e_i\}, \quad i = \overline{1,4}$$

$$P = \{P_i\}, \quad i = \overline{1,4}$$

$$T = \{T_i\}$$

$$P = [P_{ij}]$$

$$D(P_1, T_1)$$

$$C_1(P_2, T_2, C_k)$$

$$C_2(P_3, T_3, C_t)$$

$$C_3(P_4, T_4, C_z)$$

$$S_k = \{S_{ki}\}, \quad i = \overline{1,j}$$

- zbiór stanów maszyny papierniczej /patrz rys.7/,
- zbiór prawdopodobieństw granicznych poszczególnych stanów obliczonych z zależności /6/,
- zbiór średnich czasów trwania poszczególnych stanów,
- macierz prawdopodobieństw przejść w poszczególne stany,
- oczekiwany przychód w czasie stanowiącym horyzont decyzyjny problemu,
- łączny koszt napraw konstrukcyjnych,
- łączny koszt napraw technologicznych,
- łączny koszt związany z usunięciem niezdatności czynników zewnętrznych,
- zbiór polityk podniesienia niezawodności konstrukcyjnej,

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| $C_k = \{C_{ki}(S_{ki})\}$            | - zbiór kosztów poniesionych na podwyższenie niezawodności konstrukcyjnej,               |
| $S_t = \{S_{ti}\}, i=1, \overline{k}$ | - zbiór polityk podnoszenia niezawodności technologicznej,                               |
| $C_t = \{C_{ti}(S_{ti})\}$            | - zbiór kosztów poniesionych na podwyższenie niezawodności technologicznej,              |
| $S_z = \{S_{zi}\}, i=1, \overline{p}$ | - zbiór polityk podniesienia niezawodności czynników zewnętrznych,                       |
| $C_z = \{C_{zi}(S_{zi})\}$            | - zbiór kosztów poniesionych na podwyższenie niezawodności czynników zewnętrznych,       |
| $r_i$                                 | - niezawodność i-tego czynnika mającego wpływ na niezawodność procesu produkcji papieru. |

Ponadto zakłada się, że system produkcyjny ma ustaloną strategię odnowień.

Przy powyższych założeniach można sformułować następujący problem optymalizacji:

$$K = \max_{r_i, T_i} \left\{ D(P_1, T_1) - C_1(P_2, T_2, C_k) - C_2(P_3, T_3, C_1) - C_3(P_4, T_4, C_2) \right\} \quad (18)$$

## 2. Optymalizacja procesu produkcyjnego na podstawie modelu matematycznego niezawodności procesu produkcji papieru opisanego funkcją regresji

Opracowany dla rozpatrywanego procesu model matematyczny /roz.3.2 / może być podstawą do wyznaczenia warunków optymalności poszczególnych czynników wchodzących w skład tego modelu.

Funkcja (15) jest modelem matematycznym niezawodności procesu produkcji papieru. Zmienne w postaci czynników: technicznych  $w_1$ , technologicznych  $w_2$ , zewnętrznych  $w_3$ , są to wybrane charakterystyki losowe, wpływające na realizację procesu produkcji papieru, zaś  $F(w_1, w_2, w_3)$  jest to wybrana charakterystyka losowa opisująca całościowo realizację tego procesu. Czynniki wpływające na proces produkcji papieru są funkcjami losowymi i mogą być opisane wieloma charakterystykami. Mogą to być takie charakterystyki jak: oczekiwany czas pracy między kolejnymi zakłóceniami procesu produkcji papieru, współczynnik gotowości, koszty usuwania zakłóceń procesu produkcyjnego itp.

Wyznaczenie warunków optymalności czynników odbywa się za pomocą powszechnie znanych metod analizy matematycznej, a więc przyrównanie pierwszej pochodnej funkcji, opisującej obiekt, do zera.

W przypadku modelu danego ogólnym wzorem o postaci:

$$F(w_1, w_2, w_3) = a_0 + a_1 w_1 + a_2 w_2 + a_3 w_3 + a_{11} w_1^2 + a_{12} w_1 w_2 + a_{13} w_1 w_3 + a_{22} w_2^2 + a_{23} w_2 w_3 + a_{33} w_3^2 \quad (19)$$

wyznaczenie warunków optymalności dla poszczególnych czynników wchodzących w skład modelu matematycznego odbywa się następująco:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial w_1} &= a_1 + 2a_{11}w_1 + a_{12}w_2 + a_{13}w_3 = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial w_2} &= a_2 + a_{12}w_1 + 2a_{22}w_2 + a_{23}w_3 = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial w_3} &= a_3 + a_{13}w_1 + a_{23}w_2 + 2a_{33}w_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Rozwiązując układ równań (20) otrzymamy optymalne wartości poszczególnych czynników, tj.  $w_1^{\text{opt}}$ ,  $w_2^{\text{opt}}$ ,  $w_3^{\text{opt}}$ , które mają wpływ na optymalną niezawodność procesu produkcji papieru.

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model systemu działania maszyny papierniczej uwzględni kompleksowo wpływ czynników na niezawodność procesu produkcji papieru. Model ten może być wykorzystany w różnych branżach przemysłowych, gdzie występują złożone systemy techniczne o ciągłym procesie produkcyjnym, jak np.: w przemyśle spożywczym, włókienniczym, płyt pilśniowych, niektórych zakładach przemysłu chemicznego i innych.

Przedstawione rozważania teoretyczne stanowią podstawowy materiał umożliwiający ocenę jakości pracy maszyny. Wykorzystując przedstawioną metodę, w warunkach przemysłowych można uzyskać poprawę jakości eksploatacji maszyny papierniczej i na tej drodze osiągnąć poważne korzyści ekonomiczne.

Niniejsze opracowanie stanowi pierwszy etap badań nad optymalizacją niezawodności złożonych obiektów technicznych o ciągłym procesie technologicznym.

Dalszy etap badań będzie dotyczył wykorzystania w/w modelu w poszczególnych branżach przemysłowych w aspekcie udoskonalenia gospodarki remontowej.

## LITERATURA

- [1] Cygan Z., Jędrzejewicz P., Ziemia S.: Badania systemów eksploatacyjnych. T.1, Wszechnica Polskiej Akademii Nauk, 1983
- [2] Gercbach I.B.: Modeli profilaktyki-teoreticeskie osnovy planirowanija profilakticeskich rabot. Sovietskoje Radio, Moskwa 1969



- [3] Jędrzejewicz P.: Wybrane modele decyzyjne w produkcji i eksploatacji WKŁ, Warszawa 1981
- [4] Kikiewicz Z., Lewandowski J.: Analiza wpływu czynników na niezawodność procesu produkcji papieru. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z.2 /62/ 1985
- [5] Lewandowski J.: Analiza niezawodności maszyn papierniczych i jej zastosowanie w gospodarce remontowej. Praca doktorska. Politechnika Łódzka 1982
- [6] Praca zbiorowa. Badania systemów eksploatacyjnych. T.2, Wszecznica Polskiej Akademii Nauki, 1984
- [7] Zieliński R.: Wybrane zagadnienia optymalizacji statystycznej. PWN, Warszawa 1982

#### PROBLEM OF OPTIMUM RELIABILITY OF PAPER PRODUCTION PROCESS

##### Summary

In the paper, a new model of paper production system and its mathematical description was given. On the basis of an analysis of the paper machine reliability, the effect of factors, specified in the model, on reliability of the paper manufacturing process was discussed. The empirical dependence among these factors was established by means of the regression method.

#### ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ

##### Резюме

В статье представлена новая эксплуатационная модель системы производства бумаги, а также ее математическое описание. На основании анализа надёжности бумагоделательных машин определено влияние перечисленных в модели факторов на надёжность процесса производства бумаги. Установлено также между ними эмпирическую зависимость, используя с этой целью метод регрессии.

Zdzisław Ławrynowicz  
Andrzej Barbacki

WŁASNOŚCI MECHANICZNE I STRUKTURA STALI 0,2C-1V-2Mn  
PO CHŁODZENIU CIĄGLYM Z TEMPERATURY AUSTENITYZOWANIA

W artykule przedstawiono i przeanalizowano wpływ szybkości chłodzenia ciągłego na własności mechaniczne i strukturę stali 0,2C-IV-2Mn. Stosowano dwie temperatury austenitzowania, 1050 i 1000°C, oraz siedem szybkości chłodzenia ciągłego w zakresie od 2,5 do 160 K·min<sup>-1</sup>. Stwierdzono, iż chłodzenie ciągłe z szybkościami od 2,3 do 160 K·min<sup>-1</sup> pozwala uzyskać w temperaturze otoczenia strukturę złożoną z eutektoidu, w którym dominują wydzielenia szeregowe i pewnych ilości ferrytu. Własności mechaniczne w ten sposób uzyskanych struktur zmieniają się w granicach  $R_m = 550-930$ ,  $R_{0,2} = 280-740$  MPa,  $A_2 = 24-39\%$ ,  $KCV = 10-280$  J/cm<sup>2</sup>. Wzrost szybkości chłodzenia ciągłego od 2,5 do 160 K·min<sup>-1</sup> prowadzi do zmniejszenia odległości międzyszeregowej i wielkości węglików, któremu towarzyszy wzrost twardości i własności wytrzymałościowych przy jednoczesnym spadku własności plastycznych oraz udarności.

## 1. WSTĘP

Uzyskanie materiałów łączących w sobie wysokie własności wytrzymałościowe z dużą udarnością jest jednym z głównych celów badań metaloznawczych. W przypadku stali stopowych zawierających dodatki silnie węglitkowórczych pierwiastków, zarysowała się możliwość uzyskania wysokich własności mechanicznych, na drodze bezpośredniej przemiany austenitu w struktury ferrytyczno-węglikowe, podczas wygrzewania izotermicznego, względnie chłodzenia ciągłego [1,2,4,6,7,10,11,14].

Możliwość uzyskania wysokich własności mechanicznych w wyniku nieperlitycznej przemiany eutektoidalnej przeprowadzonej w warunkach izotermicznych lub podczas chłodzenia ciągłego, stworzyła szansę otrzymania wysoko wytrzymałych stali z pominięciem hartowania, wiążącego się z problemem hartowności oraz znacznych naprężeń.

Wyniki badań po chłodzeniu ciągłym są szczególnie interesujące, gdyż jak wiadomo, dążeniem praktyki przemysłowej jest, aby pożądane własności mechaniczne stali uzyskać po normalizowaniu lub nawet bezpośrednio po chłodzeniu od temperatury przeróbki plastycznej. Pomimo tego, istnieją bardzo nieliczne doniesienia na temat struktur i własności mechanicznych nieperlitycznego eutektoidu, otrzymanego po chłodzeniu ciągłym [3,5,9,13].

Z tego względu podjęte badania, miały na celu zbadanie struktur i własności mechanicznych, w zależności od szybkości chłodzenia ciągłego stali,

w której wyeliminowano występowanie cementytu i uzyskano eutektoid typu nieperlitycznego.

## 2. MATERIAŁ

Do badań wybrano eksperymentalną stal, której skład chemiczny zamieszczono w tabeli 1. Stal wytapiano metodą półtechniczną w elektrycznym piecu łukowym w Instytucie Metalurgii Żelaza w Gliwicach.

Tabela 1

| Oznaczenie stali | Zawartość składników w % |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|------------------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
|                  | C                        | Mn   | V    | Si   | P     | S     | Cr   | Ni   | Cu   | Al   |
| 0,2C-1V-<br>-2Mn | 0,17                     | 2,00 | 1,17 | 0,28 | 0,031 | 0,020 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,03 |

## 3. PROGRAM I METODYKA BADAŃ

Stosowano dwie temperatury austenitowania: 1000 i 1050°C. Czas austenitowania ustalono na 30 minut.

Po austenitowaniu w 1000°C/30' zastosowano siedem szybkości chłodzenia ciągłego: 160, 70, 40, 25, 16, 9 i 2,5K · min.<sup>-1</sup> Zróżnicowanie szybkości chłodzenia osiągnięto poprzez umieszczenie próbek w walcowych pojemnikach stalowych o różnych średnicach, wypełnionych piaskiem kwarcowym i stygnących od temperatury austenitowania w spokojnym powietrzu. Podane szybkości chłodzenia obliczono jako średnie wartości dla zakresu: od temperatury austenitowania - do 600°C. Po osiągnięciu temperatury 600°C, próbki wyrzucano z pojemników na płyty szamotowe i dochładzano w spokojnym powietrzu.

Po austenitowaniu w 1050°C/30' zrealizowano chłodzenie ciągłe z szybkościami: 160, 40, 16 i 2,5K · min.<sup>-1</sup>

Badania własności mechanicznych wykonano w temperaturze +20°C. W ramach tych badań wykonano pomiary twardości, badania udarności oraz przeprowadzono próbę wytrzymałości na rozciąganie. Twardość wyznaczono na urządzeniu HPO-250 w skali Vickersa. Rozciąganie próbek przeprowadzono na maszynie Instron wyposażonej w tensometr. W przedziale tensometru stosowano stałą prędkość rozciągania równą 5 mm·min.<sup>-1</sup> Dla każdej szybkości chłodzenia wykonano po trzy próbki wytrzymałościowe. Z próby rozciągania określono R<sub>0,2</sub>, R<sub>m</sub>, A<sub>5</sub> i Z. Próbki udarnościowe stosowano z karbem ostrym, typu Charpy "V". Wykonano po pięć próbek udarnościowych dla każdej szybkości chłodzenia ciągłego.

Przy opracowaniu wyników badań własności mechanicznych wykorzystano elementarny rachunek statystyczny, polegający na podaniu średniej arytmetycznej wraz z 95% przedziałem ufności. Uzyskany zbiór wyników badań

własności mechanicznych po chłodzeniu ciągłym poddano również badaniu statystycznemu. W szczególności podjęto próbę korelacji poszczególnych własności mechanicznych  $R_m$ ,  $R_{0,2}$ ,  $A_5$ , KCV/ z twardością  $HV$ . W przypadku wyznaczenia zależności pomiędzy twardością a pozostałymi własnościami mechanicznymi, badania statystyczne wyniosłyby pewien aspekt praktyczny. Twardość bowiem jest najłatwiej mierzalnym parametrem spośród własności mechanicznych.

Badania struktury metodą cienkich folii prowadzono na mikroskopie elektronowym Tesla BS 540 przy napięciu przyspieszającym 120 kV. W badanych foliach identyfikowano obserwowane wydzielenia za pomocą dyfrakcji elektronowej.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

##### 1. Wyniki badań własności mechanicznych

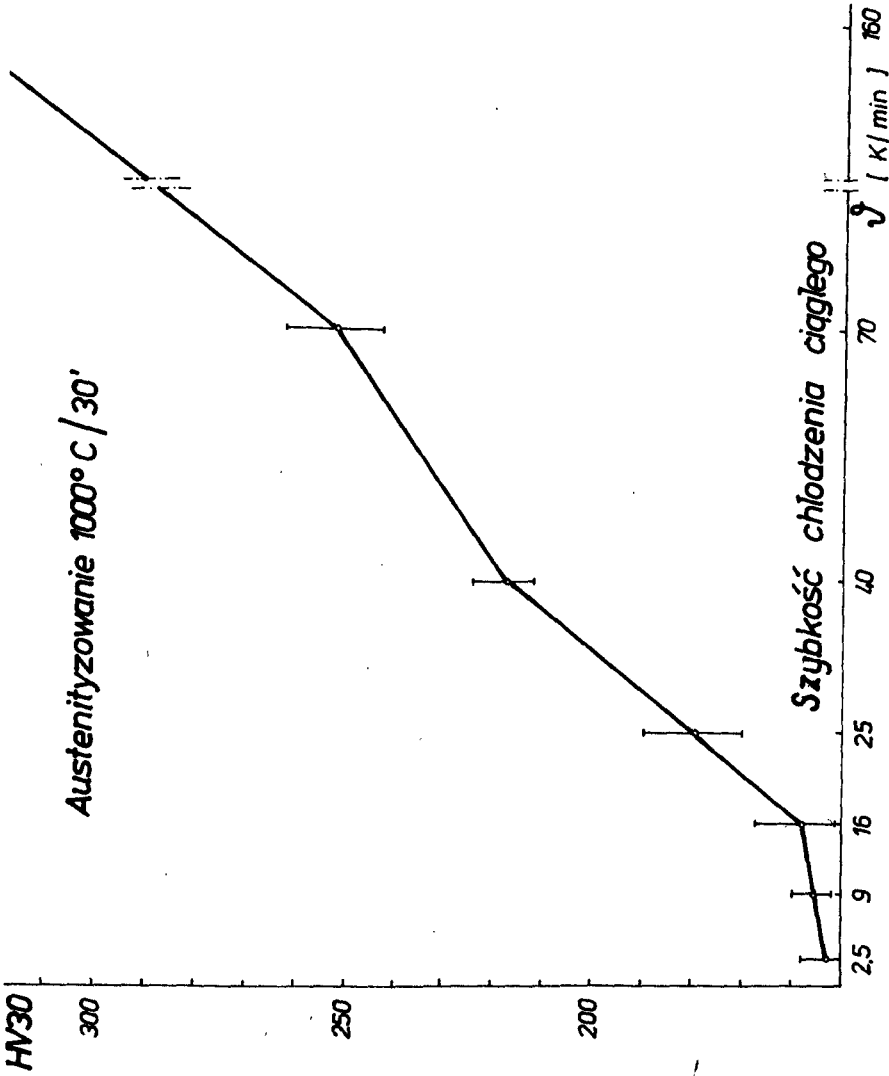
Przedstawione na rysunku 1 zmiany twardości stali 0,2C-1V-2Mn, pozwalają oczekiwać znacznych różnic pozostałych własności mechanicznych po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1000°C. Wyniki próby rozciągania przedstawiono na rysunkach 2 i 3, a wyniki pomiaru udarności na rysunku 4. Własności mechaniczne badanej stali zmieniają się znacznie ze zmianą szybkości chłodzenia. I tak, przy wzroście szybkości chłodzenia od 2,5 do 160K · min.<sup>-1</sup> wytrzymałość  $R_m$  wzrasta od 513 do 934 MPa, granica plastyczności  $R_{0,2}$  od 280 do 742 MPa, a wydłużenie maleje od 39 do 24%. Udarność osiąga maksymalną wartość około 280 J/cm<sup>2</sup> po chłodzeniu z szybkością 16-25K · min.<sup>-1</sup> Dla szybkości chłodzenia mniejszych i większych od podanego zakresu udarność stali obniża się /rys.4/.

Po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1050°C, wyniki próby rozciągania przedstawiono na rysunkach 5 i 6, a wyniki udarności na rysunku 7. Generalnie, wyższa temperatura austenitizowania pozwala uzyskać po chłodzeniu ciągłym wyższe własności wytrzymałościowe kosztem zmniejszenia własności plastycznych i udarności. Podczas chłodzenia ciągłego z 1050°C z szybkością od 2,5 do 160K · min.<sup>-1</sup>, rośnie wytrzymałość  $R_m$  od 549 do 1125 MPa i granica plastyczności  $R_{0,2}$  od 341 do 906 MPa, maleje natomiast wydłużenie  $A_5$  od 36 do 19%. Udarność zmienia się w granicach od 161 do 17 J/cm<sup>2</sup> z tym, że najniższą udarność równą 8 J/cm<sup>2</sup> stal uzyskała po chłodzeniu z szybkością 40K · min.<sup>-1</sup>

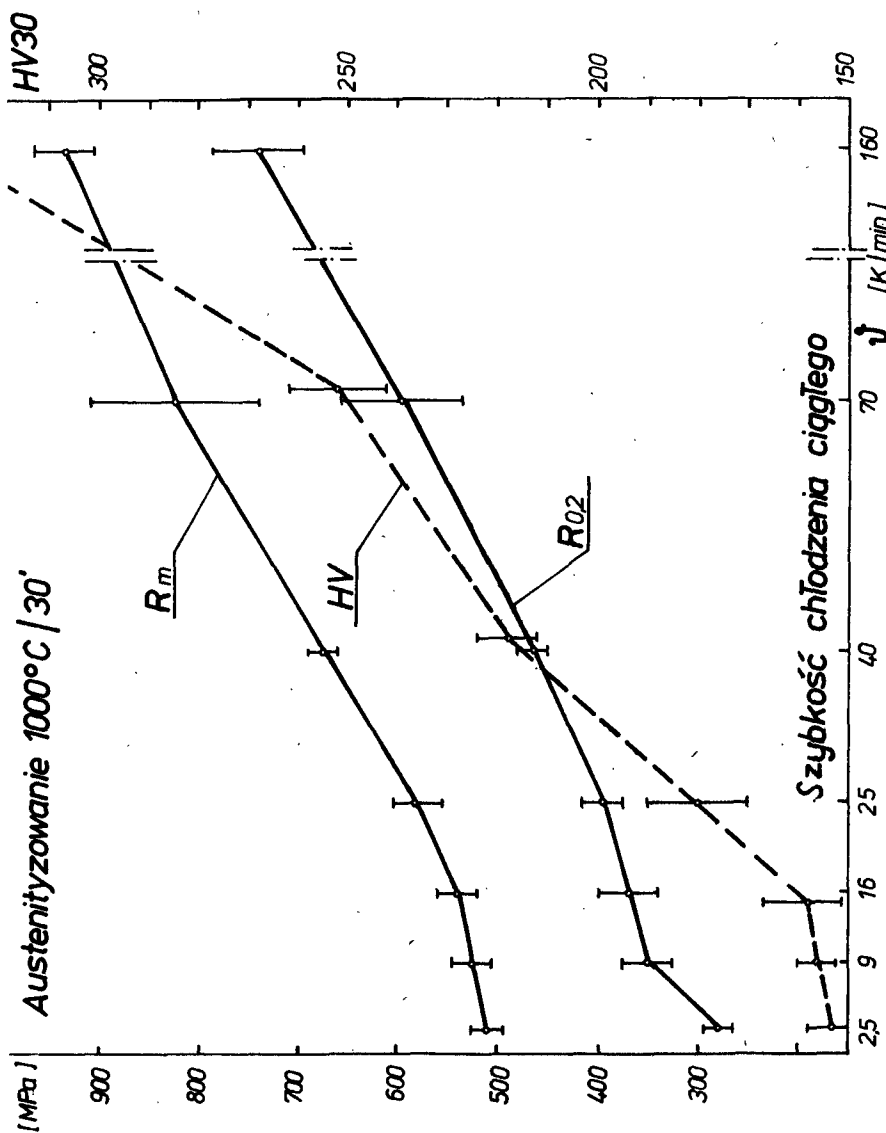
##### 2. Wyniki badań struktury

Strukturę po chłodzeniu ciągłym przedstawiono na rysunkach 8,9,10, 11,12,13,14,15, w kolejności umożliwiającej obserwację wpływu szybkości chłodzenia na strukturę po austenitizowaniu w temperaturach 1000 i 1050°C

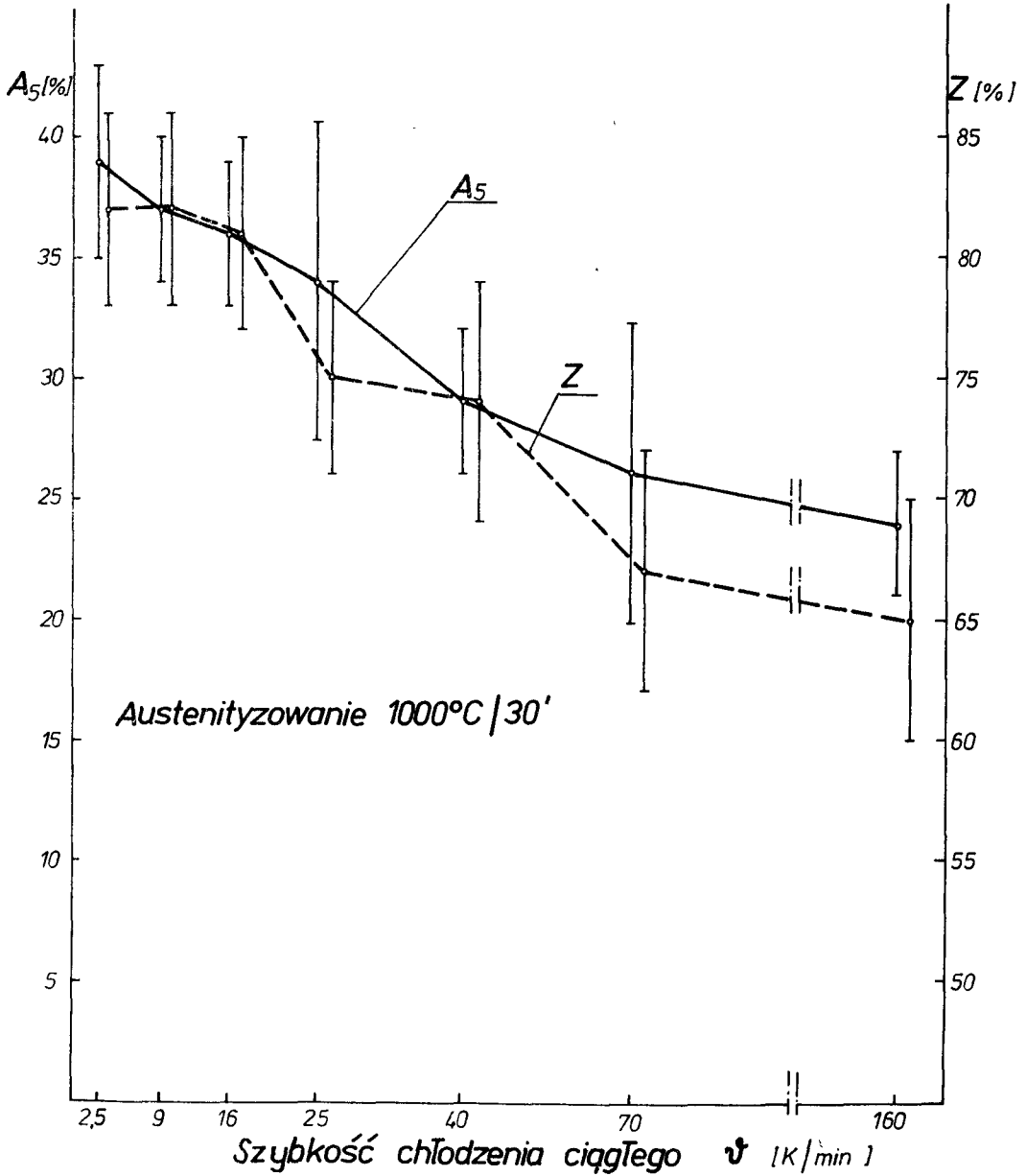
Generalnie struktura złożona jest z eutektoidu, najczęściej szeregowego, ferrytu zawierającego mikrobliźniaki przemiany i nierozpuszczone węglków VC.



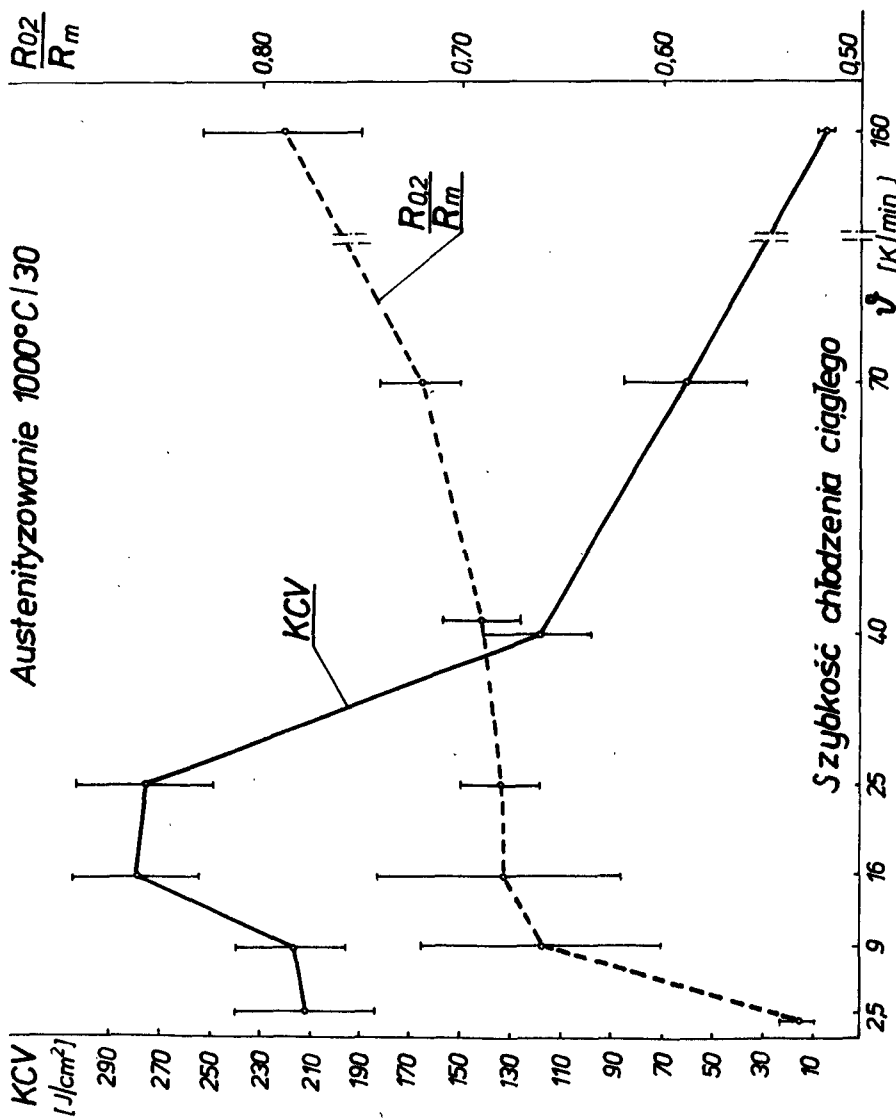
Rys. 1. Zmiana twardości stali 0,2C-1V-2Mn po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1000° C z szybkościami od 2,5 do 160 K.min.<sup>-1</sup>.



Rys.2. Śmiana własności wytrzymałościowych po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1000°C z szybkościami od 2,5 do 160 K·min

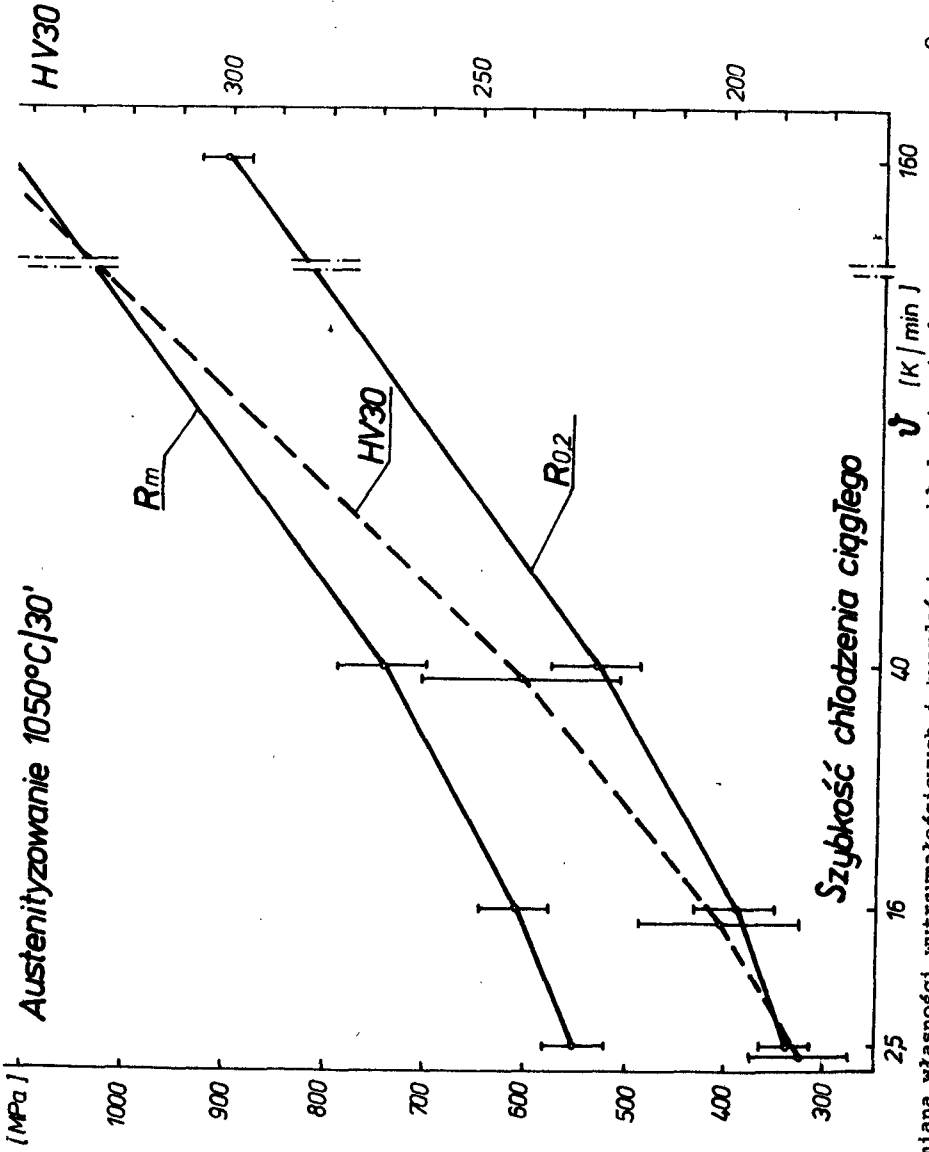


Rys.3. Zmiana własności plastycznych po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1000°C z szybkościami od 2,5 do 160 K·min.<sup>-1</sup>

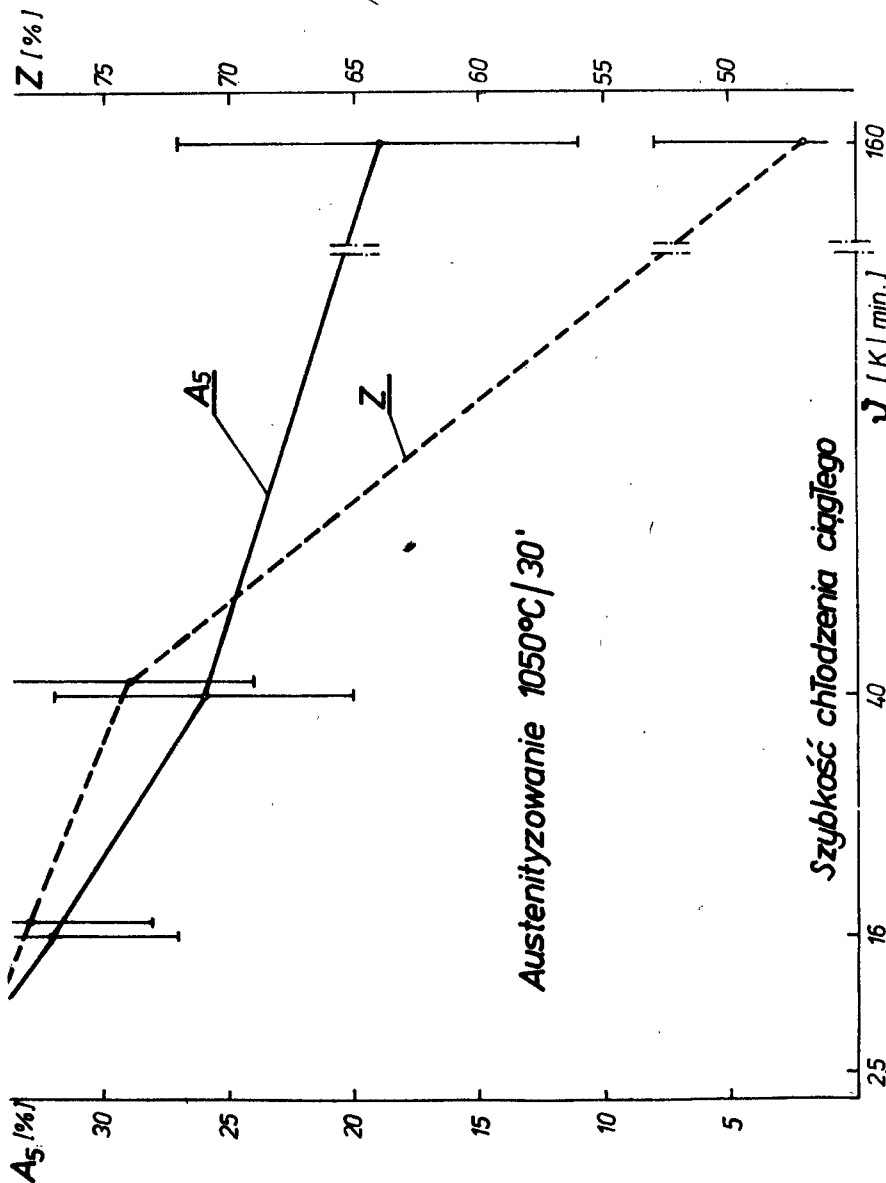


Rys.4. Zmiana udarności i stosunku  $R_{0,2}/R_m$  od szybkości chłodzenia ciągłego z temperatury 1000°C

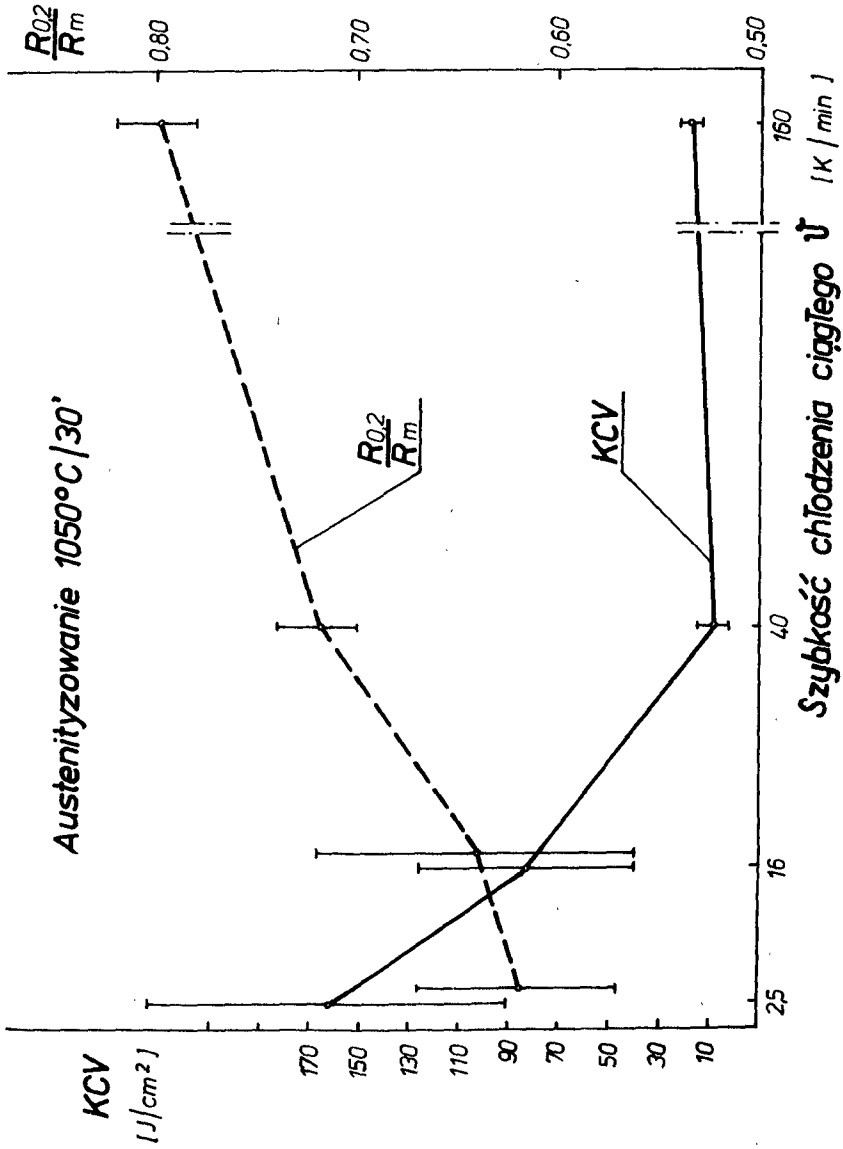




Rys.5. Zmiana własności wytrzymałościowych i twardości po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1050°C z szybkościami od 2,5 do 160 K·min.<sup>-1</sup>

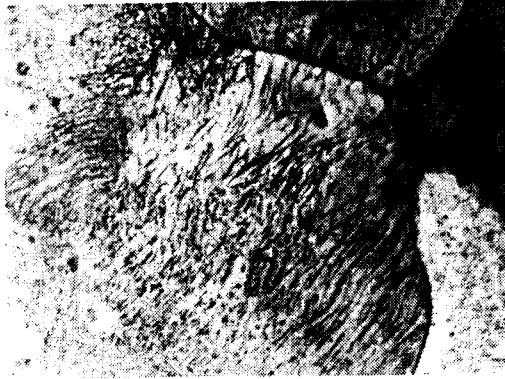


Rys.6. Zmiana własności plastycznych po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1050°C z szybkościami od 2,5 do 160 K·min.<sup>-1</sup>



Rys. 7. Zmiana udarności i stosunku  $R_{0.2}/R_m$  po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1050°C

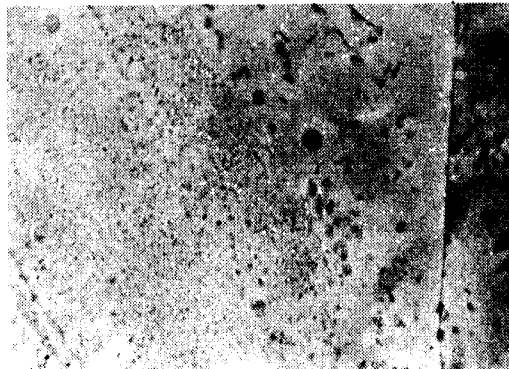
Po austenityzowaniu w  $1000^{\circ}\text{C}$  i chłodzeniu ciągłym morfologia wydzieleni węgla VC zmienia się w niewielkim stopniu z szybkością chłodzenia. Obserwacja węglików wydzielonych w trakcie chłodzenia była możliwa tylko przy zastosowaniu mikroskopii elektronowej, ponieważ są one niewidoczne pod mikroskopem optycznym. Duże wydzielienia obserwowane na rysunku 8 po chłodzeniu z szybkością  $160\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  są pozostałościami nierozpuszczonych węglików VC w trakcie austenityzowania w temperaturze  $1000^{\circ}\text{C}$ . Po chłodze-



Rys.8. Struktura po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $160\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$ . Węglików włókniste i szeregowy oraz węgliki nierozpuszczone podczas austenityzowania. Cienka folia Pow. 33 000x

niu z tą szybkością powstały eutektoid zawiera węgliki włókniste i szeregowy.

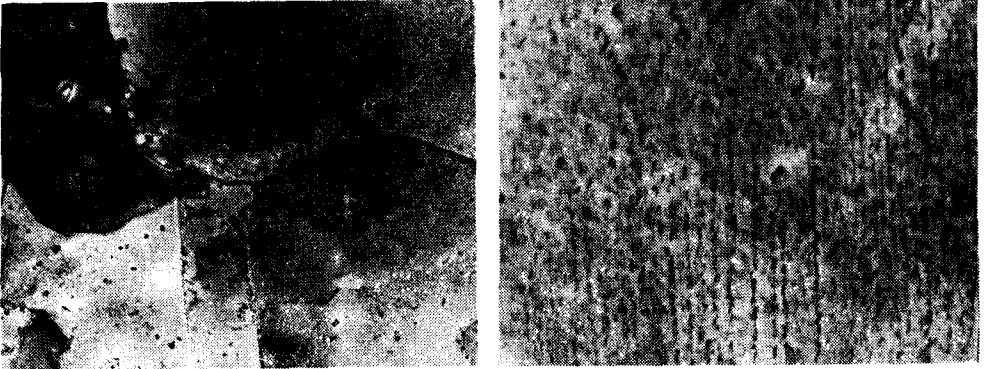
Po chłodzeniu z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$  z szybkością  $40\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  struktura jest zróżnicowana /rys.9/. Poczynając od granicy ziarna, występują obszary ferrytu wolnego od wydzieleni, następnie mieszanina ferrytu i



Rys.9. Struktura po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $40\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$ . Rozmieszczenie węglików szeregowych oraz nierozpuszczonych podczas austenityzowania w obrębie jednego ziarna. Cienka folia. Pow. 33 000x

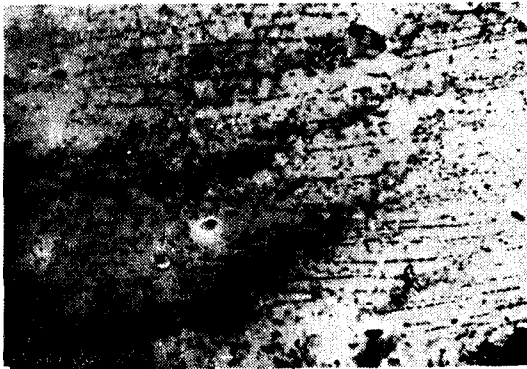
chaotycznie rozmieszczonych węglików, która z kolei przechodzi w eutekto-  
id /najczęściej szeregowy/. Nie zaobserwowano granicy oddzielającej fer-  
ryt od eutektoidu.

Po zmniejszeniu szybkości chłodzenia ciągłego do  $16\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$ , ob-  
szary zajmowane przez ferryt powiększają się /rys.10a/, natomiast wydzi-  
lenia węglików w eutektoidzie posiadają postać szeregową /rys.10b/. Przy



Rys.10. Struktura po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $16\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$   
z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$ . a/Fragment struktury zawierający  
ferryt z węglkami nierozpuszczonymi i tylko miejscami  
węgliki szeregowe. Cienka folia. Pow.10 500x., b/Węgliki  
szeregowe. Cienka folia. Pow. 33 000x

dalszym zmniejszaniu szybkości chłodzenia do  $2,5\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  struktura zasad-  
niczo nie ulega zmianie /rys.11/.



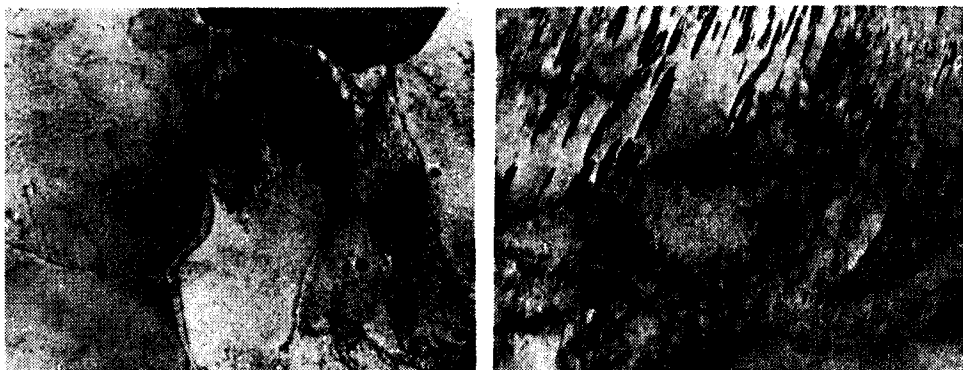
Rys.11. Struktura po chłodzeniu z szybkością  $2,5\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$   
z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$ . Węgliki szeregowe i nierozpusz-  
czone VC. Cienka folia. Pow. 18 000x

Po austenityzowaniu w temperaturze  $1050^{\circ}\text{C}$  i chłodzeniu z szybkością  $160\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$ , badana stal ma strukturę bainityczną /rys.12/. W wyniku



Rys.12. Bainit górny po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $160\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^{\circ}\text{C}$ . Cienka folia. Pow.  $7\ 500\times$

obniżenia szybkości chłodzenia do  $40\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$ , w strukturze występują obszary ferrytu i eutektoidu z węglkami włóknistymi i szeregowymi /rys.13a/. Często obserwowano również kolonie mikrobliźniaków w ferrycie o dużej

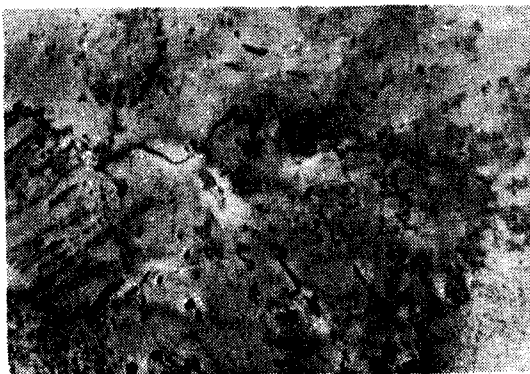


Rys.13. Struktura po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $40\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^{\circ}\text{C}$ . a/ Węglik szeregowe i włókniste. Cienka folia. Pow.  $13\ 500\times$ . b/ Mikrobliźniaki przemiany w ferrycie o dużej gęstości dyslokacji. Cienka folia. Pow.  $33\ 000\times$

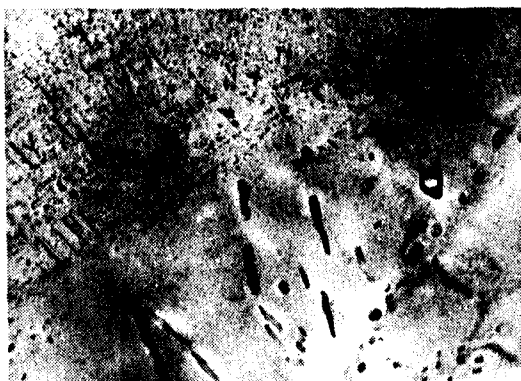
gęstości dyslokacji /rys.13b/.

Po chłodzeniu z szybkością  $16\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  struktura złożona jest z ferrytu zawierającego niezależne wydzielienia węglków VC oraz z eutektoidu szeregowego /rys.14/. Po obniżeniu szybkości chłodzenia do  $2,5\text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$ , mikro-

struktura stali zasadniczo nie zmienia się /rys.15/.



Rys.14. Obszary ferrytu oraz eutektoidu po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $16 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^\circ\text{C}$ . Cienka folia. Pow.24. 000x



Rys.15. Struktura po chłodzeniu ciągłym z szybkością  $2,5 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^\circ\text{C}$ . W ferrytyce obok węglików widoczne są mikroblizniaki przemiany. Cienka folia. Pow. 33 000x

## 5. DYSKUSJA WYNIKÓW

Badania struktury produktów przemiany austenitu po chłodzeniu ciągłym z szybkościami od  $2,5$  do  $160 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  wykazały istnienie eutektoidu oraz ferrytu i nierozpuszczonych podczas austenitizowania węglików VC. Odstępstwem w tym zakresie jest struktura bainitu górnego, powstałego po chłodzeniu z szybkością  $160 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^\circ\text{C}$  /rys.12/. Właściwości mechaniczne stali o tej strukturze są stosunkowo wysokie:  $R_m=1125 \text{ MPa}$ ,  $R_{0,2} = 906 \text{ MPa}$ ,  $A_5 = 19\%$ ,  $KCV=17 \text{ J}/\text{cm}^2$ . Czynnikiem, które powodują tak

znaczne umocnienie bainitu górnego jest obecność dużej liczby dyslokacji i rozdrobnienie ziarna ferrytu bainitycznego [8].

Wskutek obniżenia szybkości chłodzenia ciągłego do  $40\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  z temperatury  $1050^{\circ}\text{C}$  następuje zmiana rodzaju struktury z bainitycznej na strukturę ferrytyczno-eutektoidalną. Eutektoid zawiera węgliki szeregowo i włók - niste o dużej dyspersji /rys.13a/, w ferrycie natomiast występują liczne mikrobliźniaki przemiany /rys.13b/. Mikrobliźniaki przemiany, jako element struktury stali o podwyższonej wytrzymałości, obserwowane były w stalach wanadowych, między innymi przez Gorczycę, Siweckiego i Osucha [12]. Przed - stawiono tam model tworzenia się mikrobliźniaków przemiany, zgodnie z któ - rym bliźniaki powstają wówczas, gdy przemieszczanie granicy międzyfazowej jest hamowane przez wydzielenia w austenicie. W badanej stali mikrobliź - niaki przyjmują najczęściej kształty cienkich listew o grubości od 15 do 90 nm, zaczynające się i kończące wewnątrz ziarna /rys.13b/. Powstają one przede wszystkim po chłodzeniu ciągłym z temperatury  $1050^{\circ}\text{C}$  z szybkościami od  $40$  do  $2,5\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$ . Sporadycznie zaobserwować można było również ziarna zbliźniaczone /rys.10a/.

Na uwagę zasługuje fakt, że po chłodzeniu ciągłym z temperatury  $1000^{\circ}\text{C}$ , tj. gdy w austenicie pozostała znaczna ilość nierozpuszczonych cząstek VC, nie znaleziono mikrobliźniaków przemiany wewnątrz ziaren. Przy dużej szyb - kości chłodzenia  $40\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$  bliźniaki przemiany nie występują pojedyn - czo w obszarze jednego ziarna, lecz tworzą skupiska kilkunastu lub kilku - dziesięciu mikrobliźniaków jednakowo ukierunkowanych /rys.13b/. W wyniku zmniejszenia szybkości chłodzenia ilość ich zdecydowanie zmniejsza się /rys.15/. Spostrzeżenie to było przesłanką do stwierdzenia, że na tworze - nie się bliźniaków przemiany mają wpływ naprężenia występujące w ferrycie co zgodne jest z sugestią Bakera [3].

Po austenitowaniu w  $1000^{\circ}\text{C}$ , obniżenie szybkości chłodzenia ciągłego od  $160$  do  $2,5\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$ , prowadzi do zwiększenia odległości międzysze - rowej od około  $20\text{nm}$  do  $170\text{nm}$  i wielkości wydzieleni od około  $8\text{nm}$  do  $30\text{nm}$ . Towarzyszy temu spadek twardości i własności wytrzymałościowych, przy jed - noczesnym wzroście wydłużenia i udarności.

Ponieważ badania twardości ze względu na swoją prostotę są łatwe do wykonania, wyznaczono zależności między twardością a pozostałymi własnoś - ciami mechanicznymi. W celu określenia tych zależności wykorzystano metody statystyczne oparte na analizie regresji i korelacji. W tabeli 2 podano równania regresji dla poszczególnych własności mechanicznych w zależności od twardości, współczynniki korelacji i ich istotność na określonym po - ziomie prawdopodobieństwa. Współczynniki korelacji miały wysokie wartości, wskazujące na istotność korelacji między daną własnością a twardością. Poza przewężeniem i udarnością, pozostałe własności mechaniczne są funkcjami liniowymi zmian twardości. Dla zakresu twardości  $160 \div 340\text{HV}$  zależności te umożliwiają wyznaczenie po chłodzeniu ciągłym na podstawie prostego po - miaru twardości, wartości  $R_m$ ,  $R_{0,2}$ ,  $A_5$  i KCV badanej stali.



Tabela 2

Wyniki analizy statystycznej własności mechanicznych stali 0,2C-1V-2Mn po austenityzowaniu w 1000°C/30' i 1050°C/30' oraz chłodzeniu ciągłym

| Analizowana własność    | Współczynnik korelacji r | Równanie regresji<br>x - twardość HV30<br>y - analizowana własność | Istotność współ.korelacji na poziomie prawdopodob. |
|-------------------------|--------------------------|--|--|
| R <sub>m</sub> w MPa    | 0,978                    | y = 76,355 + 2,824x  | 0,001  |
| R <sub>0,2</sub> w MPa  | 0,974                    | y = -110,961 + 2,742x  | 0,001  |
| A <sub>5</sub> w %      | 0,948                    | y = 50,052 - 0,088x  | 0,001  |
| Z w %                   | 0,926                    | y = 82,892 + 0,041x - 0,0003x <sup>2</sup>                         | 0,001  |
| KCV w J/cm <sup>2</sup> | 0,942                    | Y = 1384,552 - 9,458x + 0,016x <sup>2</sup>                        | 0,01   |

Do określenia własności wytrzymałościowych można również wykorzystać zależności empiryczne wyznaczone na podstawie uzyskanych wyników:

$$R_m \text{ /MPa/} = /3,1 \div 3,2/\text{HV}$$

$$R_{0,2} \text{ /MPa/} = /2,2 \div 2,4/\text{HV}$$

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania struktur i własności mechanicznych stali 0,2C - 1V-2Mn po chłodzeniu ciągłym po austenityzacji pozwalają na stwierdzenie następujących faktów:

1. Chłodzenie ciągłe z szybkościami od 2,5 do 160 K·min.<sup>-1</sup> pozwala uzyskać w temperaturze otoczenia strukturę złożoną z eutektoidu, w którym dominują wydzielienia szeregowe i ferrytu /wyjątkiem jest struktura bainityczna po chłodzeniu z szybkością 160K·min.<sup>-1</sup> z temperatury 1050°C.
2. W zależności od szybkości chłodzenia ciągłego /od 2,5 do 160K·min.<sup>-1</sup> własności mechaniczne stali ze strukturą nieperlitycznego eutektoidu zmieniają się w granicach: R<sub>m</sub>=510-930 MPa, R<sub>0,2</sub>=280-740 MPa, A<sub>5</sub>- 24-39%, KCV= 10-280 J/cm<sup>2</sup>.
3. Po austenityzowaniu w 1000°C wzrost szybkości chłodzenia ciągłego od 2,5 do 160K·min.<sup>-1</sup> prowadzi do zmniejszenia odległości między szeregową od ok. 170nm do ok. 30 nm i wielkości wydzielań od ok. 30nm do ok. 8 nm. Towarzyszy temu wzrost twardości i własności wytrzymałościowych, przy jednoczesnym spadku własności plastycznych oraz udarności.

4. Po chłodzeniu ciągłym z temperatury 1050°C z szybkościami 2,5 - 40K·min.<sup>-1</sup> występują w ferrycie, jako element struktury stali, liczne mikrobliźniaki przemiany. Ze wzrostem szybkości chłodzenia ilość ich zwiększa się.

LITERATURA

- [1] Batte A.D., Honeycombe R.W.K.: JISI, 211,1973, 284  
 [2] Batte A.D., Honeycombe R.W.K.: Metal Sci.J., 7, 1973, 160  
 [3] Baker T.N.: Acta Met., 21,1973, 261  
 [4] Dobielińska M.: Ocena efektów umocnienia w wyniki izotermicznej obróbki stali 0,2C-1V-0,5 Mn, Praca doktorska, Politechnika Poznańska. Poznań, 1983  
 [5] Edmonds D.V.: Met.Trans., 11,1973,2527  
 [6] Freeman S., Honeycombe R.W.K.: Met. Sci., 11, 1977, 59  
 [7] Honeycombe R.W.K.:Met.Trans., 7A, 1976, 915  
 [8] Honeycombe R.W.K., Pickering F.B.: Met.Trans., 3,1972,1099  
 [9] Lapointe A.J., Baker T.N.: Met.Sci., 4,1982.207  
 [10] Mishima V., Horn R.M.: Metallurg.Trans.°AIME, 3,1980,431  
 [11] Rachstadt A.G. i inni: MİTOM, 4, 1979, 22  
 [12] Siwecki T. i inni: Arch.Hutn., 4,1977,589  
 [13] Wilyman P.R., Honeycombe R.W.K.:Met.Sci., 16, 1982, 295  
 [14] Youle A. i inni: Metallography, 1974, 333

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF 0,2C-1V-2Mn STEEL AFTER CONTINUOUS COOLING FROM AUSTENITIZE TEMPERATURE

Summary

In this paper, there is introduced and analysed an influence of the speed of continuous cooling on mechanical properties and microstructure of the 0,2C-1V-2Mn steel. The two austenitize temperatures 1000 and 1050°C and seven speeds of continuous cooling from 2.5K min.<sup>-1</sup> to 160K min.<sup>-1</sup> were used.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТАЛИ 0,2С - IV - 2 Мн ПОСЛЕ БЕСПРЕРЫВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ АУСТЕНИТИЗАЦИИ

Резюме

В настоящей статье представлено и проанализировано влияние скорости непрерывного охлаждения на механические свойства и структуру стали 0,2С - IV - 2 Мн. Применено две температуры аустенитизации т.е. 1050 и 1000°C и семь скоростей непрерывного охлаждения в интервале от 2,5 до 160К мин.<sup>-1</sup>. Установлено, что непрерывное охлаждение со скоростью от 2,5 до 160К мин.<sup>-1</sup> дает возможность получить при температуре окружающей среды сложную структуру из эвтектоида, в котором преобладают последовательные выделения и некоторые количества феррита. Механические свойства таким спо

сособ полученных структур изменяются в границах  $R_m = 550-930$  МПа,  $R_{o,2} = 280-740$  МПа,  $A_5 = 24-39\%$ ,  $KCV = 10-280$   $J/cm^2$ . Повышение скорости постоянного охлаждения от 2,5 до 160К.ми. приводит к сокращению расстояний между рядами и величины карбидов, которому сопутствует повышение твердости и прочностных свойств с одновременным понижением пластических свойств и ударной прочности.

Witold Łoś  
Jan Łukasiewicz  
Marian Szymański

## BADANIA PRACY KOTŁA NISKOPRĘŻNEGO OPALANEGO TROCINAMI

Spalanie trocin w palenisku kotła przebiega niestabilnie. W chwili dozowania paliw zachodzi gwałtowne spalanie, któremu towarzyszy wzrost temperatury i ilości spalin. Badania wykazały, że spalanie przenosi się poza palenisko do kanałów dymnych. Powoduje to obniżenie sprawności cieplnej kotła i nadmierną emisję niedopalonych cząstek paliwa do atmosfery.

### 1. WPROWADZENIE

W przetwórstwie drewna powstają duże ilości odpadów w postaci zrąbków wiórów, trocin i pyłów. Stanowią one tanie paliwo, które może być wykorzystane do opalania kotłów niskopięznych wytwarzających parę technologiczną i grzewczą. Paliwo to charakteryzuje się stosunkowo małą gęstością oraz dużym rozdrobieniem. Powoduje to, że spalanie zachodzi w stanie półflui - dalnym z dużą prędkością. Niestabilny charakter spalania się paliwa w komorze paleniska oraz towarzyszące mu efekty powodują przenoszenie się płomienia poza obszar paleniska do kanałów dymnych i komina. Niewłaściwy przebieg spalania jest przyczyną obniżenia wydajności cieplnej kotłów oraz nadmiernej emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

### 2. BADANIA KOTŁA NISPOPĘŻNEGO OPALANEGO TROCINAMI

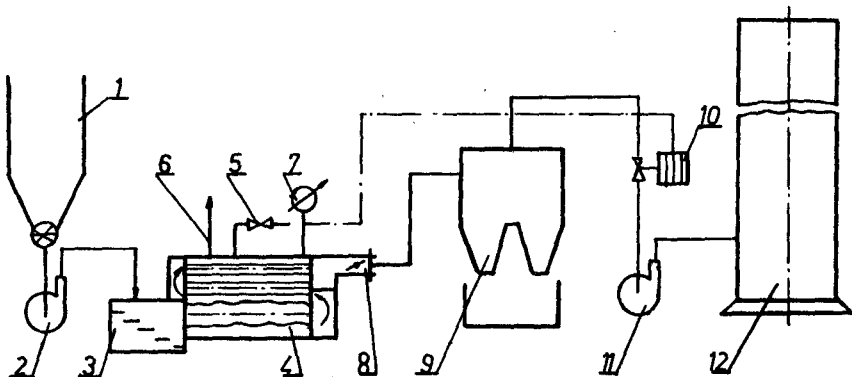
Spalanie w palenisku kotła niskopięznej typu "LAMBION" opalanego trocinami i odpadami drewna ma charakter niestabilny, zależny od sposobu dozowania paliwa. Palenisko kotła "LAMBION" może być zasilane ręcznie poprzez bezpośrednie dostarczanie świeżego paliwa na ruszt schodkowy lub pneumatycznie za pomocą układu sterowanego automatycznie ciśnieniem pary w kotle.

Regulacja przebiegu spalania odbywać się może poprzez odpowiednie ustawienie przepustnicy spalin. Klapy przepustnicy spalin ustawione mogą być ręcznie w dowolnym położeniu lub automatycznie w zależności od wartości temperatury spalin przepływających przez kanały dymne. Kocioł wyposażony jest w wentylator wyciągowy i cyklony oczyszczające odprowadzane spaliny

z cząstek stałych porywanych wraz ze spalinami z komory paleniskowej. Ze względu na zbyt małą zdolność rozdzielczą urządzeń oczyszczających spaliny występuje zjawisko nadmiernej emisji niedopalonych cząstek paliwa do atmosfery.

Z uwagi na niestabilny przebieg spalania trocin i odpadów drzewnych w kotle oraz występowanie zapłonów w otoczeniu komina spowodowanych emisją żarzących się cząstek do atmosfery, podjęto badania w celu ustalenia parametrów pracy kotła i ustalenia warunków umożliwiających spalanie zupełne i całkowite dozowanego paliwa w komorze paleniskowej.

Na rysunku 1 zamieszczono schemat kotła niskoprężnego przeznaczonego do spalania trocin i odpadów drzewnych zainstalowanego w Zakładach Wiel-



Rys.1. Schemat kotła niskoprężnego typu "LAMBION" i instalacji odprowadzania spalin

1-zasobnik paliwa, 2-wentylator w układzie transportu pneumatycznego paliwa, 3-komora spalania, 4- kocioł, 5-zawór, 6-króciec pary grzewczej, 7-manometr, 8-przepustnica spalin, 9-bateria cyklonów, 10-siłownik, 9-bateria cyklonów, 10-siłownik, 11-wentylator wyciągowy, 12-komin

kowymiarowych Konstrukcji Drzewnych w Cierpicach k/Torunia.

Kocioł typu "LAMBION" zabudowany przez Maschinenfabrik A Lambion - Wetterburg w 1973 r. wyposażono w ruszt schodkowy przystosowany do spalania odpadów drzewnych. Ciśnienie robocze kotła wynosi 0,03 MPa przy powierzchni grzewczej równej 150 m<sup>2</sup>.

Badania kotła w normalnych warunkach eksploatacyjnych przeprowadzono przy ręcznym i pneumatycznym zasilaniu paleniska. W obu przypadkach regulowano natężenie przepływu spalin poprzez ręczne ustawianie klap przepustnicy spalin w położeniu zaprogramowanym opracowaną metodyką badań.

Układ automatycznej regulacji ciągu spalin, ze względu na awarię nie mógł być uruchomiony w trakcie prowadzonych badań. Układ ten od kilku lat nie pracował, a kłapy przepustnicy spalin obsługa kotła ustawiła ręcznie w położeniu wg własnego uznania. Położenia klap przepustnicy spalin nie zmienia-

no w zależności od warunków spalania i parametrów pracy kotła, ze względu na fakt iż obsługa w tym czasie zobowiązana jest do wykonywania szeregu innych czynności związanych z prowadzeniem kotła.

Zgodnie z opracowaną metodyką badań rejestrowano w jednakowych odstępach czasu wartości następujących parametrów:

- temperaturę płomienia w palenisku,
- temperaturę spalin odprowadzanych z komory spalania do układu oczyszczania,
- temperaturę spalin w dolnej części komina i przy wylocie,
- miejscowe ciśnienia dynamiczne spalin w dolnej części komina,
- podciśnienie w przewodzie łączącym kocioł z cyklonami oczyszczającymi spaliny.

Na podstawie pomierzonych ciśnień miejscowych określono wartości miejscowych prędkości przepływu spalin oraz strumień objętości przepływającego czynnika w rozpatrywanym przekroju badanej instalacji. Wyniki zestawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1

Uśrednione wartości prędkości miejscowych, strumieni objętości spalin i miejscowych ciśnień dynamicznych oraz podciśnienia w przekroju odległym o 2325 mm do podstawy komina

| Ciąg za paleniskiem | Miejscowe ciśnienie dynamiczne | Prędkość przepływu spalin | Strumień objętości spalin | Stopień otwarcia przepust. | Sposób zasilania |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------|
| Pa                  | mm sł. cieczy manom.           | m/s                       | m <sup>3</sup> /s         | %                          |                  |
| -                   | 3                              | 7,62                      | 6,287                     | 100                        | ręczne           |
| -                   | 3                              | 7,62                      | 6,29                      |                            |                  |
| -                   | 3,6                            | 8,22                      | 6,782                     |                            |                  |
| -                   | 4,25                           | 9,06                      | 7,92                      |                            |                  |
| -                   | 2,75                           | 7,33                      | 6,048                     | 75                         | ręczne           |
| -                   | 3,5                            | 8,21                      | 6,77                      |                            |                  |
| -                   | 3,25                           | 9,91                      | 6,52                      |                            |                  |
| 69,8                | 3,25                           | 7,55                      | 6,23                      | 100                        | pneum.           |
| 77,5                | 4,88                           | 8,88                      | 7,32                      |                            |                  |
| 62,0                | 4,4                            | 8,73                      | 7,2                       |                            |                  |
| 52,6                | 2,75                           | 6,09                      | 5,68                      | 75                         | pneum.           |
| 53,0                | 2,2                            | 6,06                      | 5,0                       |                            |                  |
| 52,9                | 2,75                           | 6,89                      | 5,68                      |                            |                  |
| 46,5                | 2,33                           | 6,28                      | 5,18                      | 50                         | pneum.           |
| 46,9                | 1,6                            | 5,16                      | 4,25                      |                            |                  |
| 38,7                | 2,0                            | 6,05                      | 5,0                       |                            |                  |

Tabela 2

Wartości temperatury spalin w kanałach odprowadzających spaliny

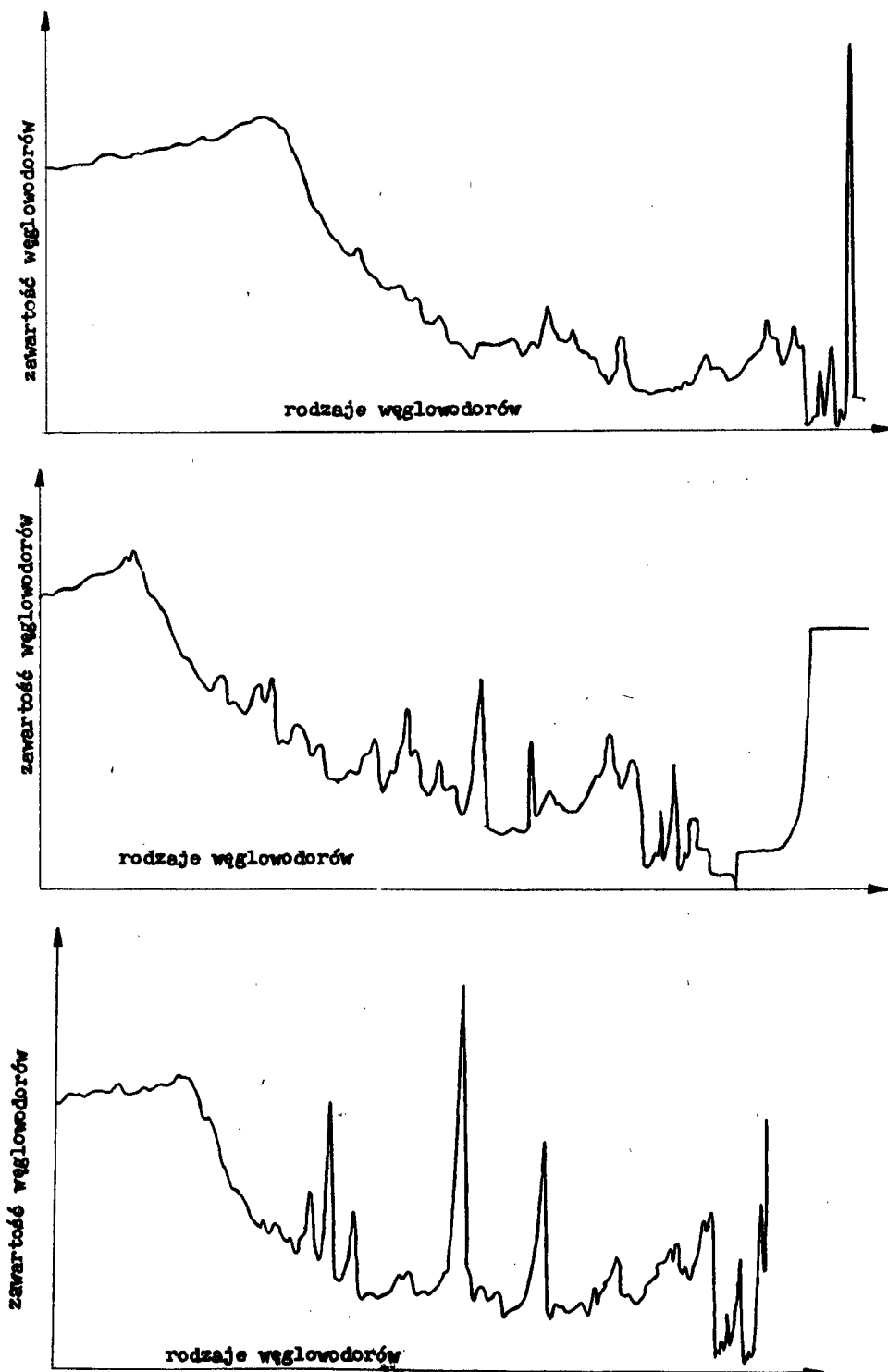
| Miejsce pomiaru                              |  |  |                                   | Sposób zasilania paleniska. % otwarcia przepustnicy spalin |
|--|--|--|-----------------------------------|--|
| Temperatura płomienia w komorze paleniskowej | Kanał odprowadzający spaliny z komory paleniskowej do cyklonów | Dolna część komina /2325 mm od podstawy/ | Górna część komina /przy wylocie/ |  |
| Temperatura w K                              |  |  |                                   |  |
| 1450   | 457  | 444,5                                    | 387,3                             | ręczne   |
| -  | 474,5  | 445,5                                    | 387                               |  |
| -  | 468  | 431                                      | 371                               | 100%   |
| 1490   | 475,5  | 437,5                                    | 380                               |  |
| 1470   | 476  | 436                                      | 379                               | ręczne   |
| 1470   | 475  | 439                                      | 382                               |  |
| 1475   | 475,5  | 438                                      | 380                               | 75%  |
| 1485   | 480  | 440                                      | 385                               | ręczne   |
| 1490   | 482  | 441                                      | 386                               |  |
| 1490   | 485  | 445                                      | 385                               | 50%  |
| 1450   | 481  | 406,5                                    | 344,2                             | pneum.   |
| 1450   | 483  | 419                                      | 346,4                             |  |
| -  | 481  | 405                                      | 345,5                             | 100%   |
| 1440   | 474  | 401,3                                    | 343,8                             | pneum.   |
| 1440   | 401  | 399                                      | 342,5                             |  |
| 1430   | 403  | 341                                      | 320,6                             | 75%  |
| 1420   | 463  | 394                                      | 341,9                             | pneum.   |
| -  | 443  | 395,5                                    | 338                               |  |
| 1420   | 471  | 394                                      | 337                               | 50%  |

Na podstawie badań i obserwacji stwierdzono, że w przypadku pneumatycznego dozowania paliwa sterowanego impulsem ciśnienia pary w kotle /0,04 - 0,5 MPa/ zachodziło gwałtowne spalanie, któremu towarzyszy wzrost temperatury spalin i podciśnienia w kanałach dymnych. Jednocześnie obserwowano wzmożoną emisję niedopalonych cząstek paliwa z komina odprowadzającego spaliny.

Pobrano także próbki paliwa oraz próbki substancji z różnych miejsc instalacji dla określenia zawartości składników palnych. Za pomocą chromatografu gazowego typu PYE UNICAM stosując kolumnę chromatograficzną WAW-80/100 Mesch wykonano oznaczenia zawartości palnych węglowodorów w analizowanych próbkach. Temperaturę priolizy zaprogramowano tak, że po pierwszej minucie wynosiła ona 323 K, a jej przyrosty były równe 8 K/min. do temperatury końcowej 532 K. Przeprowadzono także pirolizę próbek w czasie 8 s w temperaturze 1043 K.

W celu określenia zawartości popiołu w badanych substancjach spalano ich próbki w tyglu nad palnikiem. Ciepło spalania oznaczano za pomocą bomby kalorymetrycznej.

Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 3.



Rys.2. Wyniki pirolizy substancji pobranych z różnych miejsc instalacji



Tabela 3

Wartości ciepła spalania i zawartości popiołu w sub-  
stancjach pobranych z różnych miejsc instalacji i  
paliwa

| Miejsce pobrania próbki | Ciepło spalania w kJ/kg |          |                 | Zawartość popiołu % |          |          |                 |
|-------------------------|-------------------------|----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-----------------|
|                         | próbka 1                | próbka 2 | wartość średnia | próbka 1            | próbka 2 | próbka 3 | wartość średnia |
| składowisko trocin      | 19,945                  | 19,574   | 19,759          | 0,351               | 0,41     | 0,379    | 0,38            |
| popielnik komina        | 15,867                  | 18,947   | 17,407          | 34,9                | 32,18    | 36,0     | 34,36           |
| osad z wylotu komina    | 14,316                  | 14,997   | 14,656          | 34,85               | 35,01    | 33,01    | 34,49           |

### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Prędkości i strumienie objętości spalin przepływających przez kanały odprowadzające z komory paleniska zależą od ich temperatury i stopnia otwarcia klap przepustnicy spalin. Prędkość przepływu spalin zmieniała się od 5,16 do 9,06 m/s.

Czas przepływu spalin przez kanały dymne jest stosunkowo krótki. Sprzyja to emisji niedopalonych cząstek paliwa do atmosfery w przypadku gdy układ oczyszczania spalin jest nieskuteczny z uwagi na zbyt małą zdolność rozdzielczą.

Przeprowadzone badania wykazują, że przy pneumatycznym zapalaniu paleniska trocinami i pyłami, prędkości przepływu spalin mają wyższe wartości niż przy ręcznym zasilaniu. Wyższe też są temperatury spalin. Praca kotła jest jednak niestabilna, a spalanie przebiega gwałtownie z tendencją do wybuchowego. Wraz z paliwem do komory paleniskowej doprowadzany jest dodatkowy strumień powietrza intensyfikujący spalanie. Płomienie przenieszone są poza obszar komory spalania do kanałów dymnych.

Wyniki pirolizy potwierdziły, że we wszystkich analizowanych próbkach substancji pobranych z różnych miejsc badanej instalacji znajdują się palne węglowodory. Mogą one przechodzić w stan lotny na całej drodze spalin i ulegać zapłonowi inicjowanemu przez unoszone ze złoża fluidalnego niedopalone cząstki paliwa.

### 4. WNIOSKI

- Z przeprowadzonych badań i obserwacji wynikają następujące wnioski:
1. Praca kotła w przypadku ręcznej regulacji ciągu jest możliwa, jednak spalanie nie zawsze ma przebieg właściwy, ze względu na niejednorodny skład paliwa i sposób jego dozowania do paleniska kotła.

2. Eksploatacja kotła w przypadku stałego ustawienia klap przepustnicy spalin jest jedną z przyczyn niezupełnego spalania paliwa w komorze paleniskowej. Wpływa to na obniżenie wydajności cieplnej kotła i na nadmierną emisję zanieczyszczeń do atmosfery.
3. Poprawę stabilności spalania, ograniczenie emisji pyłów i niedopalonych cząstek paliwa do atmosfery uzyskać można poprzez uruchomienie automatycznej regulacji wstawienia klap przepustnicy w kanale spalin lub regulacji ciągu poprzez płynną zmianę wydajności wentylatora wyciągowego.

#### A TEST OF LOW - PRESSURE BOILERS OPERATION

##### Summary

Burning sawdust in boilers is an unstable process. At the moment of feeding, there takes place violent burning accompanied by temperature and flue gases increase. Tests prove that burning moves outside the furnace into gas passes. This lowers the boiler thermal efficiency and leads to an excessive emission of unburnt sawdust particles into the atmosphere.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОТЛА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ОТОПЛЯЕМОГО ОПИЛКАМИ ДРЕВЕСИНЫ

##### Резюме

Сжигание древесных опилок в топке котла протекает нестабильно. Во время загрузки топлива происходит стремительное сжигание, которое сопровождается стремительным ростом температуры и большим количеством газов сгорания. Исследования показали, что сгорание перемещается от топки в дымные каналы. Это вызывает понижение тепловой эффективности котла и избыточную эмиссию несгоревших частиц в атмосферу.



Jan Łukasiewicz

TECHNOLOGIA SUSZENIA ELEMENTÓW KLEJONYCH W SUSZARCE  
KOMOROWEJ

Podczas suszenia detali wyklejanych elektrokorundem przy zastosowaniu kleju BWF 41 wydzielają się pary alkoholu. Mogą one ulegać zapłonowi i stanowią zagrożenie wybuchu. Analiza przebiegu suszenia wykładzin ściernalnych umożliwiła opracowanie bezpiecznej technologii ich wytwarzania.

1. WPROWADZENIE

Suszenie wykładzin ściernalnych detali z blachy stalowej wyklejanych elektrokorundem w suszarce komorowej konwekcyjnej SEM-3 przy zastosowaniu kleju BWF-41 jest operacją niebezpieczną ze względu na intensywne wydzielanie się par rozpuszczalnika z kleju i możliwość ich zapłonu. Przypadek wybuchu w suszarce w czasie suszenia miał miejsce w jednym z zakładów stosujących tę technologię i spowodował straty materialne oraz zagrożenie życia dla zatrudnionych pracowników.

Podjęto badania i przeanalizowano przebieg suszenia elementów oklejanych elektrokorundem w celu opracowania bezpiecznej metody ich wytwarzania i suszenia.

2. KLEJENIE I SUSZENIE WYKŁADZIN ŚCIERNYCH

Operacje klejenia, suszenia i utwardzania oraz impregnowania wykładzin elektrokorundowych przeprowadzane są w pomieszczeniach Wydziału Mechanicznego zwanych Wyklejarnią. Suszenie i utwardzanie wytwarzanych elementów odbywa się w suszarce typu SEM-3 zainstalowanej pod wiatą.

Oczyszczone przez piaskowanie powierzchnie stalowych elementów pokrywane są warstwą kleju BWF-41 nanoszoną ręcznie przy pomocy pędzla, a następnie suszone w tym samym pomieszczeniu w temperaturze otoczenia na regałach. Po upływie 3 godzin na powierzchnię pokrytą warstwą kleju nanoszona jest druga warstwa kleju, a na nią nakładana jest warstwa papki klejowo-korundowej. Powierzchnię pokrytą klejem posypuje się proszkiem elektrokorundu z pewnym nadmiarem. Wyklejone detale układane są w regałach lub w specjalnych stojakach i suszone w tym samym pomieszczeniu w

temperaturze otoczenia przez 10 do 15 godzin. W czasie wyklejania, jak i suszenia, z kleju odparowują lotne składniki rozpuszczalnika wchodzącego w skład kleju.

Po wstępnym suszeniu detale umieszczane są w komorze suszarki. Jednorazowy wsad wg dotąd stosowanej technologii wynosi 1400 detali. Suszenie w suszarce SEW-3 trwa od 3 do 3,5 godzin.

Po załączeniu suszarki i rozpoczęciu suszenia przez 7 minut przewietrza się komorę suszarki. W okresie tym pracuje układ nawiewno-wywiewny, a po upływie czasu przeznaczanego na w/w operację następuje automatyczne załączenie układu nagrzewnic elektrycznych. Nagrzewanie komory roboczej suszarki od temperatury otoczenia do temperatury zadanej, tj.  $160^{\circ}\text{C}$  trwa przez czas zależny od temperatury nawiewnego powietrza i wartości strumienia powietrza wentylującego komorę. Obsługa suszarki w celu skrócenia czasu niezbędnego do uzyskania zadanej temperatury suszenia maksymalnie przyrymka przepustnicę powietrza w kanale odlotowym ograniczając tym samym wymianę powietrza, tak by nie spowodować zadziałania blokady wyłączającej zasilanie suszarki w przypadku zaniku przepływu powietrza wentylującego komorę suszarki. Z chwilą osiągnięcia wartości temperatury zadanej następuje okres suszenia, w którym temperatura w komorze oscyluje w granicach  $160^{\circ}\text{C}$  dzięki automatycznemu sterowaniu układem grzewczym suszarki. Po upływie czasu 3 do 3,5 godziny od uruchomienia suszarki wyłącza się zasilanie suszarki i następuje okres suszenia połączony ze studzeniem komory suszarki wraz z wsadem. W okresie tym w dalszym ciągu wydzielają się opary rozpuszczalników z warstw wyklejanych. Wsad o temperaturze  $60^{\circ}\text{C}$  wyjmowany jest z suszarki i poddawany parafinowaniu impregnującemu.

Suszarka SEM-3 może być wykorzystana do suszenia klejonych wykładzin ściernych, gdyż przeznaczona jest do suszenia detali malowanych lakierami wytwarzanymi na rozpuszczalnikach zakwalifikowanych do grup zapłonowych T1 i T2.

Rozpuszczalniki zaliczane do grup zapłonowych T1 i T2 mają temperaturę zapłonu niższą od  $55^{\circ}\text{C}$ .

Według DTR suszarki wsad maksymalny do komory suszarniczej wynosi: masa - 150 kg, powierzchnia suszenia -  $5\text{ m}^2$ , ilość rozpuszczalnika - 0,25 kg. Nominalna temperatura suszenia  $t_s = 220^{\circ}\text{C}$ , a maksymalna ilość usuwanego z suszarki powietrza wynosi  $1200\text{ m}^3/\text{godzinę}$ .

Klej BWF-41 stosowany do klejenia warstw ściernych wytwarzany jest w Centralnym Laboratorium Chemicznym w Warszawie i ma następujący skład chemiczny: poliwinylbutaral, żywica rezolowa, spirytus posiarczynowy - rozpuszczalnik /grupa zapłonowa T1/.

Ze względu na możliwość powstania wybuchu oparów wydzielających się w trakcie wyklejania i suszenia warstw ściernych przeprowadzono badania w celu określenia:

- zużycie kleju BWE-41 do wyklejania detali elektrokorundem,
- ilości wydzielających się lotnych składników kleju,
- przebiegu suszenia detali w suszarce SEM-3.

### 3. BADANIA KLEJENIA I SUSZENIA WARSTW ŚCIERNYCH

Badania przebiegu zabiegów związanych z nakładaniem warstw ściernych przeprowadzono w normalnych warunkach produkcyjnych. Wybrano losowo 11 detali, zważono je przed powleczeniem pierwszą warstwą kleju i następnie metodą wagową określano przyrosty i ubytki masy po kolejnych fazach nakładania warstw ściernych. Podczas suszenia wytworzonej partii detali w suszarce mierzono następujące parametry:

- temperaturę atmosfery wewnątrz komory suszarki,
- temperaturę powietrza wentylującego na wlocie do suszarki,
- temperaturę czynnika odlotowego w kanale odlotowym,
- prędkość przepływu powietrza w kanale dolotowym.

Prędkość średnią powietrza w kanale dolotowym określano metodą pomiaru prędkości miejscowych. Obliczono także strumienie objętości powietrza wentylującego komorę roboczą suszarki. W czasie suszenia pobrano z kanału odlotowego próbki odprowadzanego czynnika w celu oznaczenia ich składu chemicznego. Próbki te oraz próbkę atmosfery pobraną z nad powierzchni kleju poddano analizie chromatograficznej w chromatografii typu GCD firmy PYEUNICAM. W analizie chromatograficznej zastosowano szklaną kolumnę chromatograficzną o długości 1,5 m wypełnioną "Propakiem Q". Temperatura kolumny wynosiła 175°C, a temperatura detektora 200°C. Natężenie gazu nośnego, którym był azot wynosiło 40 cm<sup>3</sup>/min. Prędkość przesuwu taśmy rejestratora wynosiła 0,5 cm/s. Analizie tej poddano po 2 mikroli - try wody destylowanej nasyconej oparami z pobranych próbek.

Za pomocą aparatu Peynskyego-Martensa typu MP oznaczono temperaturę zapłonu oparów rozpuszczalnika wydzielającego się z kleju. Przeprowadzono także próbę prażenia analizowanego kleju w celu wyznaczenia temperatury wrzenia i zawartości rozpuszczalnika.

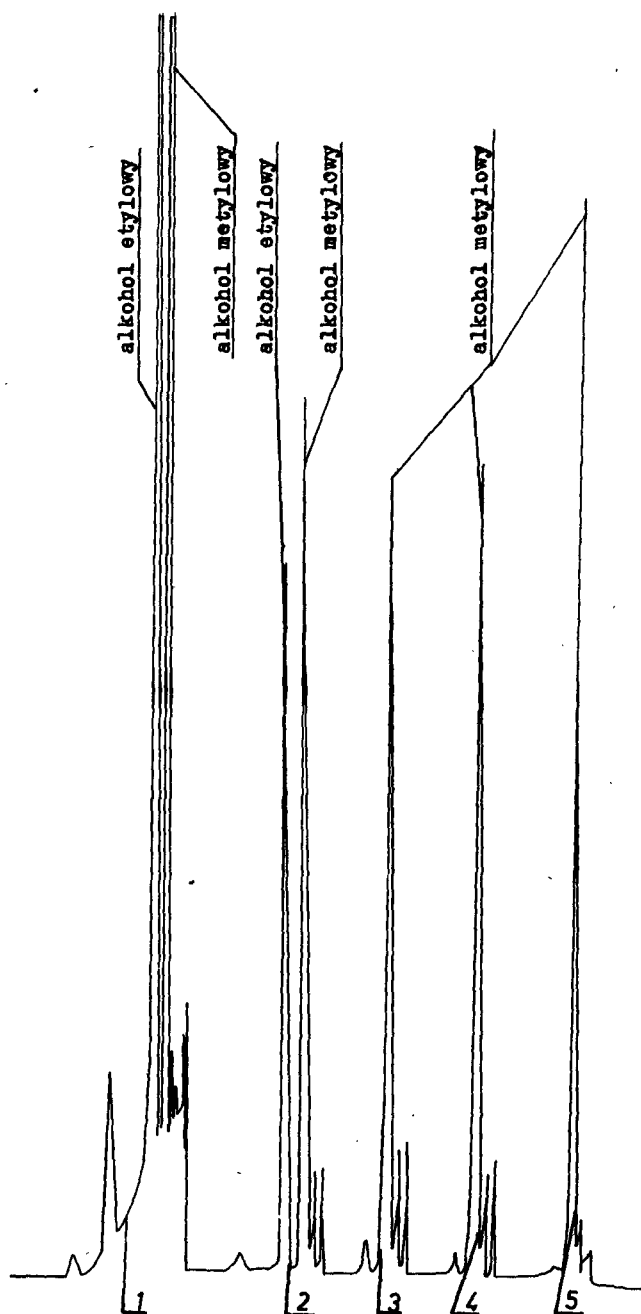
### 4. WYNIKI BADAŃ

Badania składu chemicznego kleju BWF-41 wykazały, że zawiera on 30 % rozpuszczalnika. Rozpuszczalnik stosowany w produkcji kleju zawiera:

- alkohol metylowy - około 50%,
- alkohol etylowy - około 50%,
- alkohol propylowy - ilość śladowa,
- alkohol izopropylowy - ilość śladowa,
- ester metylowy - ilość śladowa,
- ester etylowy - ilość śladowa.

Wyniki tych badań zarejestrowane na taśmie chromatografu zamieszczono na rysunku 1.

Przeprowadzone badania pobranych próbek wykazały że głównymi składnikami rozpuszczalnika są alkohole metylowy i etylowy. Alkohole te wydzielają się z kleju w ciągu klejenia i suszenia warstw ściernych. Skład ilościowy składników oparów wydzielających się w czasie suszenia w su-

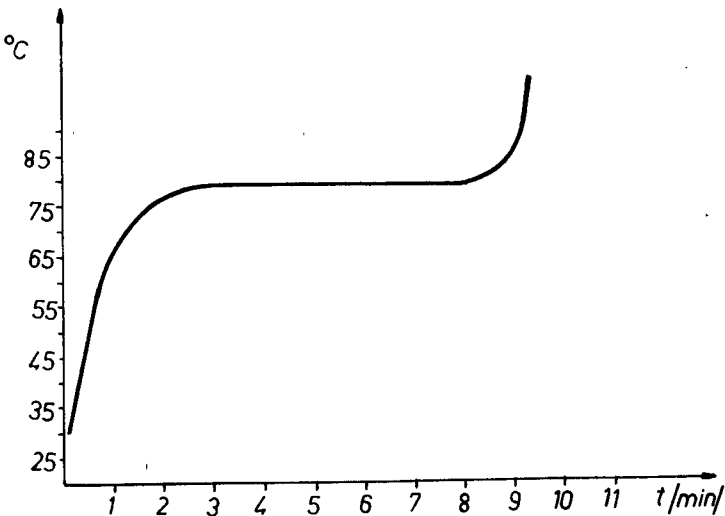


Rys.1. Wyniki analizy chromatograficznej oparów wydzielających się z kleju BWE-41 w komorze suszarki SEM-3  
1-opary z kleju BWE-41, 2-opary z wnętrza komory suszarki po upływie 0,5 h suszenia, 3-po 1 h suszenia, 4-po 2 h, 5 - po 3 h

szarce SEM-3 ulega zmianom w miarę upływu czasu suszenia.

Temperatura zapłonu par rozpuszczalnika wydzielającego się z kleju oznaczona przy pomocy aparatu Peynskeygo-Martensa wynosi  $13 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , a więc klej zaliczany jest do grupy zapłonowej T1.

Na rysunku 2 zamieszczono wyniki prażenia kleju. Temperatura wrzenia wynosi  $78 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . W trakcie podgrzewania i wrzenia kleju odparowuje cały rozpuszczalnik znajdujący się w nim.



Rys. 2. Krzywa prażenia kleju BWF-41

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań zmian masy wykładziny ściernej w czasie wyklejania i suszenia detali elektrokorundem.

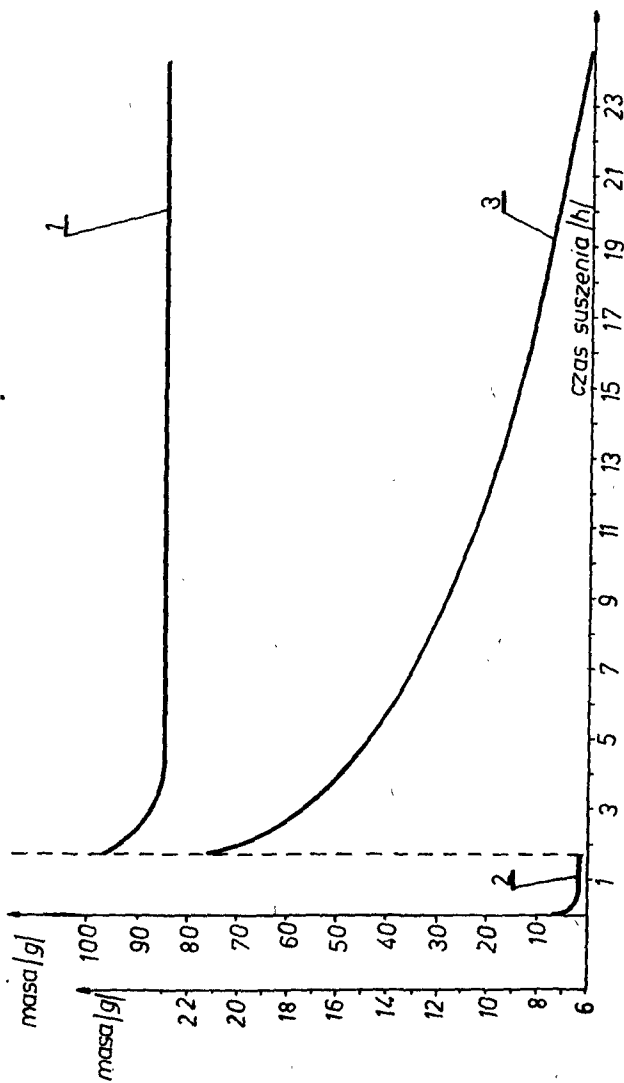
Linia krzywa zamieszczona na rysunku 4 obrazuje przebieg suszenia detalu powleczonego warstwą kleju BWF-41.

Zmiany temperatury wewnątrz komory roboczej suszarki oraz temperatury czynnika odlotowego przedstawiono na wykresach zamieszczonych na rysunku 5. Wyniki pomiarów prędkości i strumieni powietrza wentylującego doprowadzanego do suszarki przedstawiono w tabeli 1.

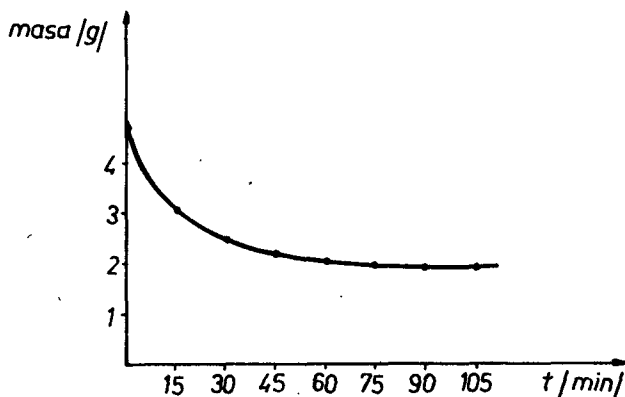
Przeprowadzone badania wykazały, że w operacji wyklejania detali elektrokorundem średnie zużycie kleju na jeden detal wynosi 92 g. W pierwszej operacji powlekania detali klejem zużycie to wynosi 5,25 g, a ilość odparowanego rozpuszczalnika ma wartość średnią równą 3,27 g. W okresie suszenia wyklejonych warstw ściernych w temperaturze otoczenia ubytek rozpuszczalnika w ciągu 15 godzin wynosi 15,17 g, a pozostała ilość rozpuszczalnika w ilości 6,12 g odprowadzana jest z wyklejanej warstwy jednego detalu w trakcie suszenia w suszarce komorowej.

W przypadku gdy wsad jednorazowy suszonych elementów do suszarki wynosił 1400 szt., masa wydzielającego się z suszonych wykładzin ściernych rozpuszczalnika wynosi 8,568 kg. Wartość ta wielokrotnie przewyższa





Ryz.3. Zmiany masy wykładziny ścierniej po kolejnych operacjach wyklejania i suszenia wytwarzanych segmentów roboczych obieraczek do ziemniaków  
 1 - krzywa ubytku masy, 2 - krzywa parowania rozpuszczalnika, 3- krzywa parowania rozpuszczalnika z wyklejonej warstwy ścierniej



Rys. 4. Przebieg suszenia detalu powleczonego warstwą kleju BWF-41 w temperaturze otoczenia  $/8^{\circ}\text{C}/$

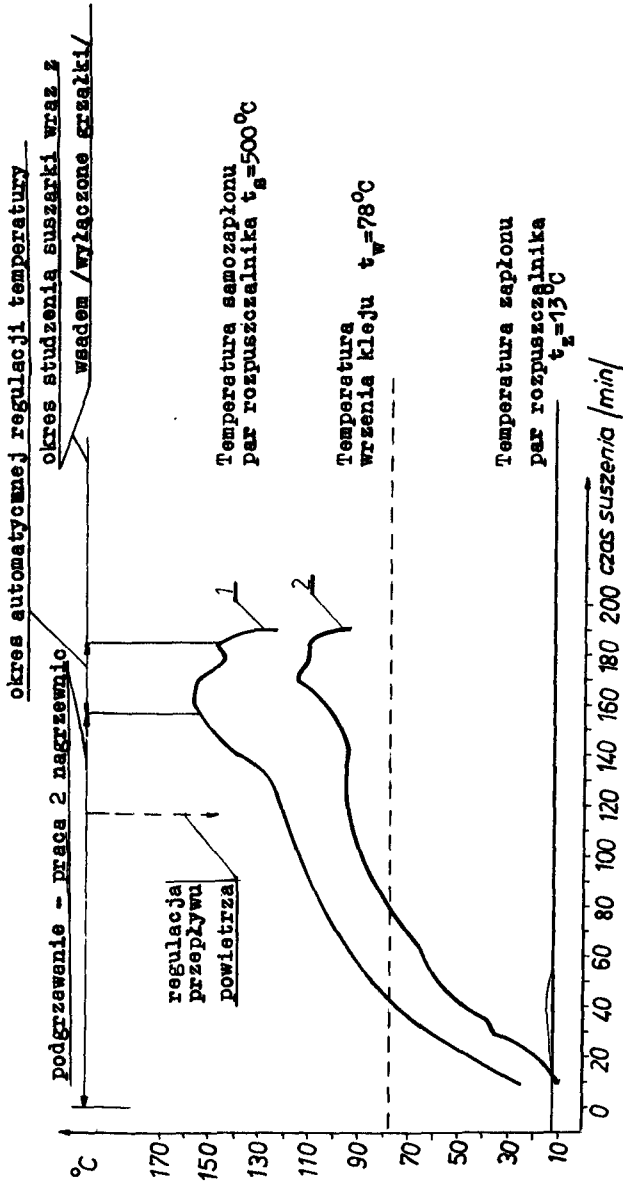
Tabela 1

Wartości prędkości średnich, strumieni mas i objętości wymienianego powietrza w komorze suszarki konwekcyjnej SEM-3 w czasie suszenia klejonych wykładzin ściernych

| Jednostka             |                        | Godzina pomiaru  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                       |                        | 10 <sup>20</sup> | 11 <sup>00</sup> | 11 <sup>45</sup> | 12 <sup>52</sup> | 13 <sup>10</sup> |
| Prędkość średnia      | m/s                    | 2,85             | 3,8              | 3,68             | 2,46             | 5,78             |
| Temperatura na wlocie | $^{\circ}\text{C}$     | -7               | -7               | -6               | -6               | -6               |
| Gęstość powietrza     | $\text{kg}/\text{m}^3$ | 1,314            | 1,314            | 1,312            | 1,312            | 1,312            |
| Strumień objętości    | $\text{m}^3/\text{h}$  | 615,6            | 820,8            | 794,88           | 531,3            | 1248,0           |
| Strumień masy         | kg/h                   | 808,9            | 1078,5           | 1044,47          | 598,1            | 1639,8           |

Uwaga: Wartości prędkości średnich, strumienia objętości i masy powietrza wentylującego zależne są od ustawienia przepustnicy powietrza w kanale odlotowym z suszarki regulowanej przez obsługę suszarki.

Stosując kryterium dopuszczalnego wsadu rozpuszczalnika do komory suszarki liczba jednocześnie suszonych elementów nie powinna przekraczać 41 szt.



Rys.5. Zmiany temperatury czynnika odlotowego i atmosfery w komorze suszarki SEM-3 w czasie suszenia detali wyklejanych elektrokorundem  
1- zmiany temperatury w komorze roboczej suszarki, 2-temperatura czynnika odlotowego

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza dotąd stosowanej technologii suszenia elementów z klejoną wykładziną ścierną wykazały, iż jest ona niebezpieczna z powodu możliwości zaistnienia wybuchu w suszarce oraz w pomieszczeniach, gdzie przeprowadzane są zabiegi klejenia i suszenia. Ponadto stwierdzono, że opary wydzielające się ze stosowanego kleju są trujące ze względu na znajdujący się w nich alkohol metylowy. W związku z tym suszenie i wyklejanie należy prowadzić w oddzielnych pomieszczeniach wyposażonych w skuteczną instalację nawiewno-wywiewną. Według przeprowadzonych badań stosowanie suszarki SEM-3 do suszenia klejonych warstw ściernych jest niebezpieczne i nieekonomiczne.

Celowym wydaje się zastosowanie metody suszenia w osłonie gazów niepalnych lub suszarce specjalnie zaprojektowanej do suszenia wykładzin ściernych, w pełni zabezpieczającej przed możliwością powstania wybuchu.

TECHNOLOGY OF DRYING GLUED ELEMENTS IN DRYING  
CHAMBERS

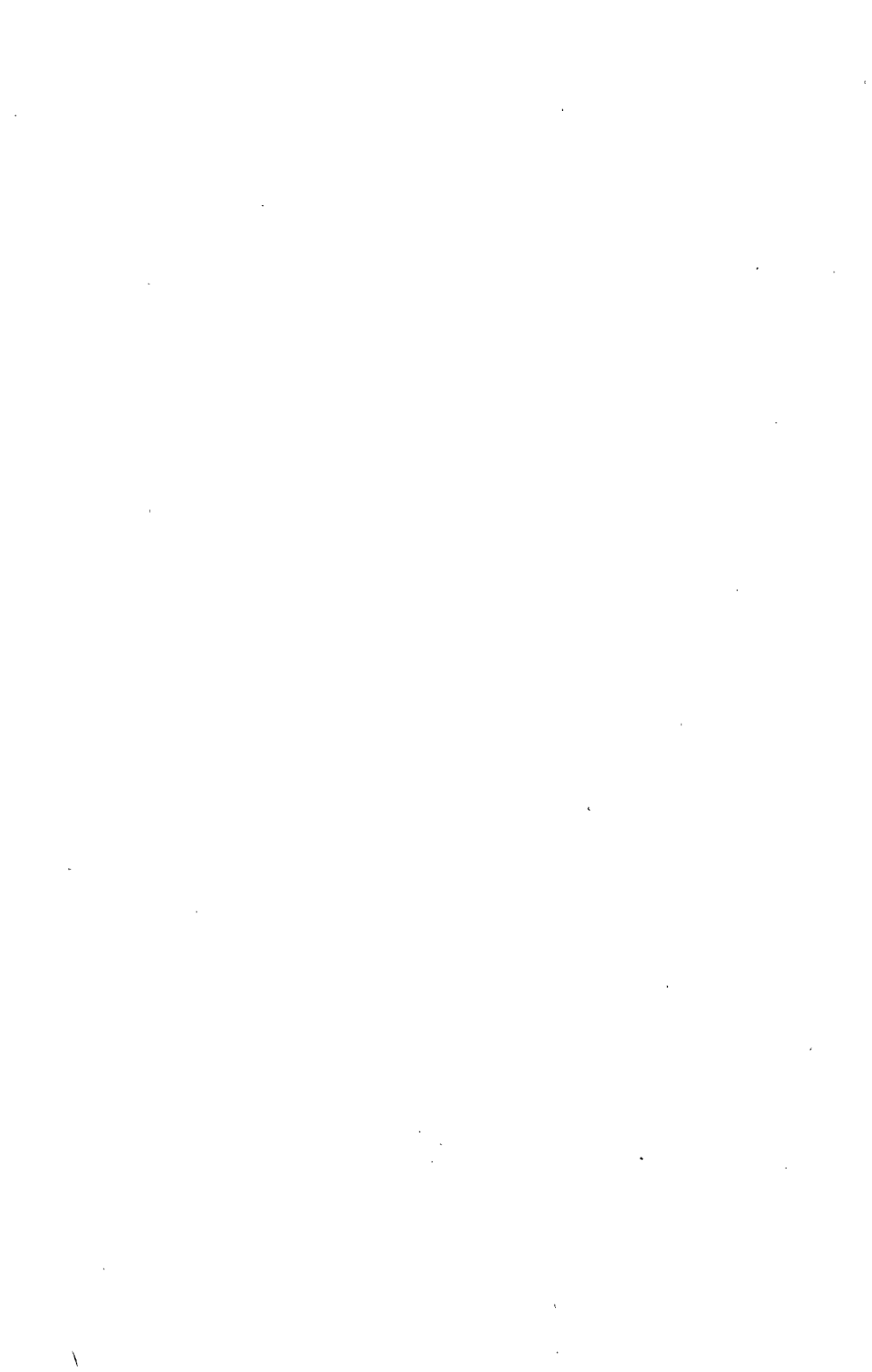
Summary

During the process of drying elements glued with the BWF 41 glue, there are emitted alcoholic vapours. They may be subject to ignition and may lead to an explosion. An analysis of drying grindable linings makes it possible to work out a safe technology of manufacturing them.

ТЕХНОЛОГИЯ СУШЕНИЯ СКЛЕИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ В СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЕ

Резюме

Во время сушения склеиваемых деталей электрокорундом с применением клея БВФ 41 выделяются пары алкоголя. Они могут воспламениться и грозить взрывом. Анализ процесса сушки наждачной облицовки дает возможность разработать безопасную технологию их изготовления.



Jan Łukasiewicz  
Marian Szymański

## BADANIA CIEPLNE I EKSPLOATACYJNE KOTŁÓW CENTRALNEGO OGRZEWANIA

Przedstawiono wyniki badań pracy baterii kotłów centralnego ogrzewania. Zaprezentowano projekt prototypowego stanowiska badawczego do badań kotłów centralnego ogrzewania.

### 1. WSTĘP

Wysoka dynamika przyrostu produkcji urządzeń grzewczych spowodowana jest wzrostem potrzeb w dziedzinie ogrzewnictwa. Decyzje rządu zmierzające do intensyfikacji budownictwa jednorodzinnego oraz innych form budownictwa spółdzielczego powodują wzrost zapotrzebowania odbiorców na nowoczesne agregaty grzewcze umożliwiające maksymalne wykorzystanie energii cieplnej spalane go paliwa. Budowa nowych typów kotłów na paliwa stałe ciekłe i gazowe, a także modernizacja już wytwarzanych kotłów wymaga ciągłego działania w celu podniesienia jakości, poprawy własności eksploatacyjnych i sprawności tych urządzeń.

W opracowaniu niniejszym poruszono zagadnienia badania parametrów pracy kotłów grzewczych oraz niektóre istotne problemy związane z ich eksploatacją.

### 2. ANALIZA PROCESU WYMIANY CIEPŁA W KOMORZE PALENISKA KOTŁÓW GRZEWczyCH

Wymiana ciepła w komorze paleniska odbywa się poprzez promieniowanie konwekcję i przewodzenie. Promieniowanie ciepłe polegające na emisji promieni podczerwonych o długości  $\lambda = 0,8 \div 4,0 \mu\text{m}$  przez spalane paliwo zależy głównie od jego temperatury. Energia cieplna uzyskana w wyniku promieniowania proporcjonalna jest do czwartej potęgi bezwzględnej temperatury spalane go paliwa w palenisku kotła i określona jest zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana wzorem:

$$E = \xi \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = C \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

gdzie:

- $E$  - ilość energii promieniowania  $W/m^2$   
 $C_0$  - stała promieniowania ciała doskonale czarnego  $kJ/m^2 \cdot s \cdot K^4$   
 $C$  - stała promieniowania ciała szarego /zależy m.in. od położenia ciała  $kJ/m^2 \cdot s \cdot K^4$   
 $T$  - temperatura bezwzględna K  
 $\xi$  - względna zdolność promieniowania

$$\xi = \frac{C}{C_0}$$

Ciało absorbujące energię na drodze promieniowania może ją pochłaniać całkowicie lub częściowo. Jedynie ciała doskonale białe mają zdolność odbijania lub przepuszczania energii promieniowania.

Wartość wypromieniowanej energii jest największa w kierunku normalnym do powierzchni promieniującej i maleje proporcjonalnie do cosinusa kąta  $\varphi$  zawartego między normalną i kierunkiem promieniowania. Stąd więc ważnym jest wzajemne usytuowanie spalanej paliwa i powierzchni grzewczych komory paleniskowej absorbujących energię promieniowania.

Reasumując powyższe można stwierdzić, że ilość ciepła wymienianego w wyniku promieniowania określić można z zależności:

$$Q_r = \alpha_r \cdot F \cdot (T_1 - T_2)$$

gdzie:

- $F$  - powierzchnia promieniująca w  $m^2$   
 $\alpha_r$  - współczynnik przejmowania ciepła

$$F \alpha_r = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{T_1 - T_2} \cdot C = \beta \cdot C$$

gdzie:

- $T_1$  - temperatura źródła promieniowania  
 $T_2$  - temperatura powierzchni ścianki grzewczej w komorze paleniskowej kotła  
 $\beta$  - współczynnik temperaturowy

Wymiana ciepła w wyniku konwekcji zachodząca w komorze paleniskowej kotła jest związana z intensywnością przepływu strumieni płynu o różnych temperaturach. Konwekcja może być swobodna zainicjowana ogrzewaniem płynu lub wymuszona działaniem urządzeń wymuszających jego intensywny przepływ.

Zagadnienie konwekcyjnego przejmowania ciepła przez ściankę kotła ujmuje równanie Newtona w postaci niżej przedstawionego wzoru:

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot (t_1 - t_2)$$

gdzie:

$\alpha$  - współczynnik przejmowania ciepła  $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$

$F$  - powierzchnia grzejna kotła  $\text{m}^2$

$t_1$  - temperatura powierzchni ścianki kotła

$t_2$  - temperatura płynu opływającego ściankę kotła

Współczynnik  $\alpha$ , będący uwikłaną funkcją wielu zmiennych, jak: temperatura, prędkość, przewodność cieplna, gęstość, lepkość itd. jest wyrażony dla różnych płynów odmiennymi równaniami. Wartość tego współczynnika przyjmuje więc różne wartości, szczególnie duże w przypadku zmian stanu skupienia, np. parowania, wrzenia, skraplania.

Istotny wpływ na ilość przejmowanego ciepła w wyniku konwekcji wywiera wielkość powierzchni grzewczej kotła.

Wymiana ciepła w komorze paleniskowej odbywająca się poprzez przewodzenie ciepła określona jest równaniem:

$$Q_w = F \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2) = F \cdot \Lambda \cdot (t_1 - t_2)$$

gdzie:

$\lambda$  - współczynnik przewodności cieplnej  $\text{kJ/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$

$d$  - grubość ścianki kotła  $\text{m}$

$\frac{\lambda}{d} = \Lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła

$t_1 - t_2$  - różnica temperatur  $\text{K}$

Ilość wymianianego ciepła drogą przewodzenia jest zależna od wartości współczynnika przewodzenia ciepła, wielkości powierzchni przewodzącej i gradientu temperatur.

Analiza zjawisk towarzyszących spalaniu paliwa w komorze paleniskowej kotła i przebiegu procesu wymiany ciepła umożliwia wyselekcjonowanie tych parametrów, które wywierają najistotniejszy wpływ na ilość odbieranego ciepła od spalanego paliwa, sprawność kotła i jego wydajność cieplną.

Wielkość niektórych wskaźników eksploatacyjnych kotłów grzewczych jest natomiast dobierana doświadczalnie po przeprowadzeniu odpowiednich badań na specjalnych stanowiskach doświadczalnych.

### 3. BADANIA CIEPLNE KOTŁÓW

Każdy postęp w dziedzinie budowy nowych kotłów grzewczych jest uwarunkowany koniecznością prowadzenia wnikliwych i szeroko zakrojonych badań cieplnych prototypów, jak i urządzeń seryjnie wytwarzanych. Badania



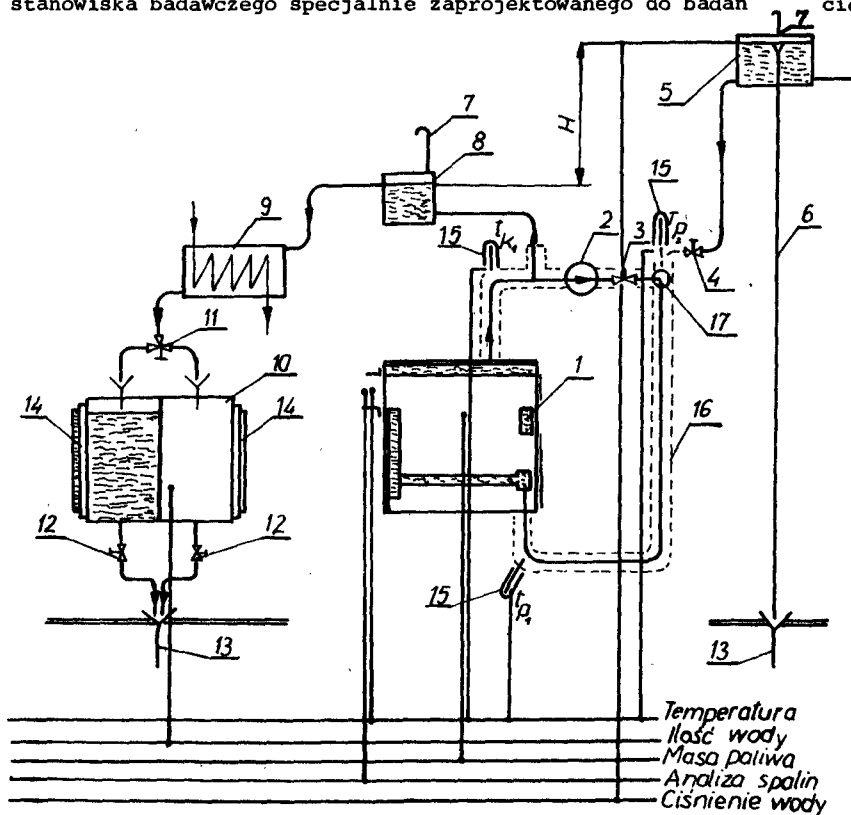
takie mogą być prowadzone jedynie na specjalnie wyposażonych i zaprojektowanych stanowiskach badawczych zainstalowanych u wytwórcy kotłów. Badania cieplne kotłów mają na celu określenie ich mocy, sprawności cieplnej, wielkości strat, możliwości wykorzystania różnych paliw zastępczych oraz ustalenie parametrów techniczno-eksploatacyjnych.

Stanowisko doświadczalne winno zatem być tak zaprojektowane, aby można było prowadzić na nim następujące badania:

- praca badanego kotła w wymaganym zakresie mocy cieplnych przy programowanych zmianach parametrów pracy,
- regulacja wybranych parametrów pracy kotła,
- łatwe ustalanie warunków równowagi cieplnej układu w całym zakresie mocy cieplnej badanego kotła.

Prowadzone na stanowisku badawczym badania winny umożliwić także uzyskanie wymaganych dokładności pomiarów i stabilną pracę ocenianego urządzenia.

Na rysunku 1 zamieszczono schemat technologiczno-pomiarowy prototypowego stanowiska badawczego specjalnie zaprojektowanego do badań cie -



Rys.1. Schemat technologiczno-pomiarowy stanowiska badawczego do badań cieplnych i eksploatacyjnych kotłów centralnego ogrzewania  
1-badany kocioł, 2-pompa wodna obiegowa, 3-zawór regulacyjny wody ciepłej, 4-zawór regulacyjny wody zimnej, 5-urządzenie do zasilania wodą o stałym ciśnieniu, 6-przelew, 7-odpowietrznik, 8-naczy nie zbiorcze, 9-urządzenie schładzające, 10-zbiorniki pomiarowe, 11-zawór trójdrogowy, 12-zawory spustowe, 13-przewód odpływowy, 14-rurki wodowskazowe, 15-wskaźnik temperatury wody, 16-izolacja rurociągów, 17-węzeł mieszania strumieni wody

plnych i eksploatacyjnych kotłów centralnego ogrzewania o mocy do 30 kW.

W kotle woda podgrzewana jest kosztem spalanej paliwa do temperatury  $t_{k1}$ . Z chwilą uruchomienia pompy obiegowej 2 woda tłoczona jest poprzez zawór regulacyjny 3 do węzła 17, w którym następuje zmieszanie jej z wodą świeżą o temperaturze  $t_{p2}$  doprowadzaną przy stałym ciśnieniu regulowanym przez urządzenie zasilające układ wodą świeżą. Zakres regulacji wartości zadawanego ciśnienia za pomocą regulatora 5 waha się w granicach  $\pm 3\%$ . Taka sama ilość wody jest jednocześnie odprowadzana z układu do zbiornika wyrównawczego oznaczonego na rysunku cyfrą 8, połączonego z atmosferą. Ilość odprowadzanej z układu wody o temperaturze  $t_{k1}$  - nie zbędna do określenia wydajności cieplnej kotła, można mierzyć metodą objętościową, wagową lub za pomocą przepływomierza skrzydełkowego. Możliwym jest także zainstalowanie manometru różnicowego wraz ze zwięźką pomiarową.

Zaprojektowane i przedstawione na rysunku 1 stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie szeregu dodatkowych pomiarów i oznaczeń dzięki bogatemu wyposażeniu w aparaturę kontrolno-pomiarową.

Badania pracy kotłów, ich sprawności i wydajności cieplnych nie są jedynymi jakie można prowadzić na przedstawionym wyżej stanowisku. Parametry pracy kotłów związane są z rodzajem spalanej paliwa i sposobem jego spalania. Dzięki zainstalowaniu tuż za króćcem odlotowym spalin z kotła poziomego i pionowego odcinka pomiarowego wraz z urządzeniami do regulacji i pomiaru ciągu, istnieje możliwość prowadzenia badań w zakresie spalania różnych paliw. Na rysunkach 2 i 3 zamieszczono schematy poziomego i pionowego odcinka pomiarowego spalin.

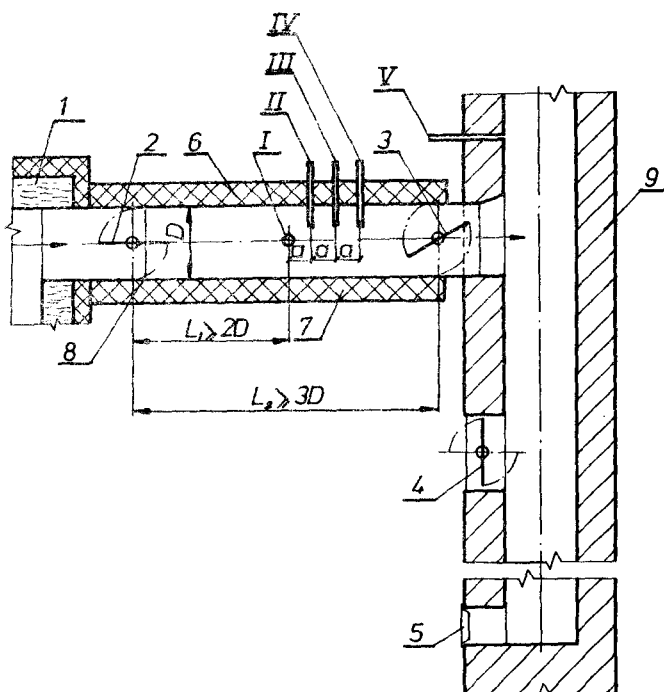
Badania nad spalaniem paliwa i uzyskiwanych stąd efektów winny być prowadzone przy maksymalnym otwarciu przepustnicy spalin. Regulacja ciągu może odbywać się także poprzez doprowadzanie dodatkowego strumienia powietrza poza odcinkiem pomiarowym za pomocą specjalnej kłapy lub zasuw regulacyjnej zainstalowanej w dolnej części komina poniżej wlotu spalin.

Przedstawione stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie kompleksowych badań cieplnych kotłów wodnych centralnego ogrzewania według dowolnie przyjętego programu badań.

Badania na specjalnie zaprojektowanym i wyposażonym w aparaturę stanowisku badawczym mają tę zaletę, w porównaniu z badaniami kotłów zainstalowanych w układzie roboczym u ich użytkownika, że można w dowolny sposób programować i realizować badania ich pracy bez wprowadzenia zakłóceń w normalnie eksploatowanych instalacjach.

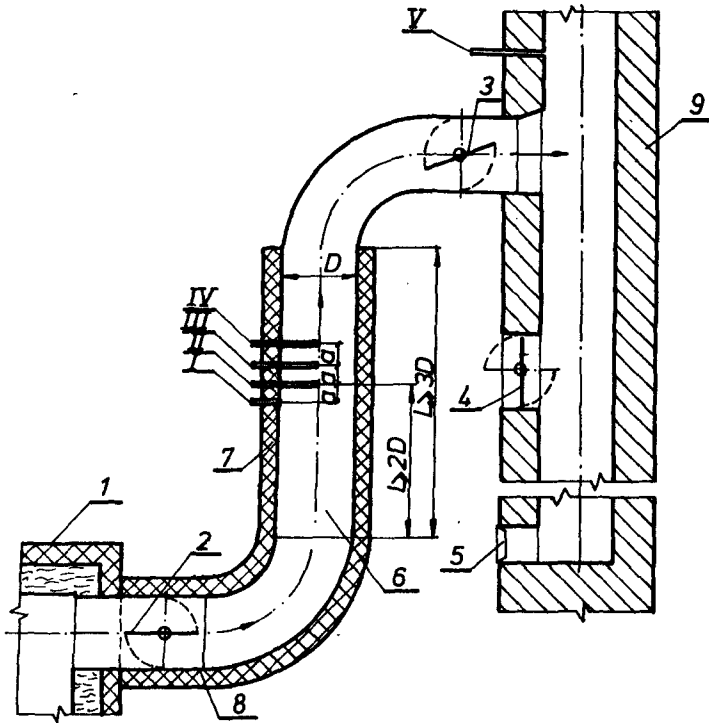
Ponadto zainstalowanie w warunkach normalnej eksploatacji kotłów tak znacznych ilości różnorodnych przyrządów i układów kontrolno-pomiarowych jest często niemożliwe nawet ze względów technicznych.

Niemniej jednak bardzo często występuje konieczność przeprowadzenia określonych badań cieplnych kotłów w warunkach ich normalnej eksploatacji z różnych przyczyn, między innymi takich, jak nadmierne ich zużywanie się lub nieosiągnięcie założonych dokumentacją parametrów techniczno-eksploatacyjnych i cieplnych.



Rys.2. Poziomy odcinek pomiarowy spalin

- 1 - kocioł,
- 2 - przepustnica spalin,
- 3 - przepustnica regulacyjna,
- 4 - ogranicznik ciągu /przepustnica,klapa lub zasuwa/,
- 5 - otwór wyczystkowy kominu,
- 6 - odcinek pomiarowy spalin,
- 7 - warstwa izolacyjna o grubości 40 mm,
- 8 - uszczelka na połączeniu odcinka pomiarowego z króćcem odlotowym spalin kotła,
- 9 - komin ,
- I - króciec do pomiaru ciągu,
- II - króćce do pomiaru temperatury spalin,
- III - sonda analizatora spalin,
- IV - króciec do pomiaru ilości sadzy,
- V - króciec do kontroli ciągu kominowego



Rys.3. Pionowy odcinek pomiarowy spalin

- 1 - kocioł,
- 2 - przepustnica spalin,
- 3 - przepustnica regulacyjna spalin,
- 4 - ogranicznik ciągu /przepustnica, kłapa lub zasuwa/,
- 5 - otwór wyczystkowy kominą,
- 6 - odcinek pomiarowy spalin,
- 7 - warstwa izolacyjna o grubości 40 mm,
- 8 - uszczelka,
- 9 - komin,
- I - króciec do pomiaru ciągu,
- II - króćce do pomiaru temperatury spalin,
- III - sonda analizatora spalin,
- IV - króciec do pomiaru ilości sadzy,
- V - króciec do pomiaru i kontroli ciągu kominowego

#### 4. BADANIA KOTŁÓW CENTRALNEGO OGRZEWANIA W WARUNKACH NORMALNEJ ICH EKSPLOATACJI

Konieczność przeprowadzenia badań kotłów i sieci ciepłej centralnego ogrzewania w przedstawionym niżej przypadku zaistniała z powodu niskiej trwałości eksploatowanych kotłów żeliwnych typu E Ca IV A zainstalowanych w Kotłowni Sanatorium Uzdrawiskowego w Ciechocinku. Kotły tego typu zainstalowane były w baterii 4 sztuk wg schematu podanego na rysunku 4. Pracowały one systemem ciągłym, z tym, że jeden z nich najczęściej był odstawiony do remontu kapitalnego. Eksploatacja tych kotłów przysparzała ich użytkownikowi sporo kłopotów związanych z koniecznością dokonywania częstych ich remontów spowodowanych pękaniem ścianek kotłów w obszarze paleniska. Pęknięcia te występowały w nieregularnych odstępach czasu i z częstotliwością znacznie przekraczającą przyjęte normy. Ponadto użytkownik obserwował zmniejszanie się wydajności ciepłej eksploatowanych kotłów już w kilka miesięcy po ich kapitalnym remoncie.

W tych warunkach eksploatacja tych urządzeń grzewczych była wysoce nieekonomiczna i nieefektywna.

Prowadzone badania miały więc na celu ustalenie przyczyn niskiej żywotności eksploatowanych kotłów oraz obniżania się ich wydajności ciepłej.

Wstępne obserwacje pracy baterii kotłów wykazały, że pracują one w sposób mało stabilny. Poziomy wody w poszczególnych kotłach oraz ciśnienia pary wodnej w każdym z nich ulegały częstym i dość znacznym wahaniom.

W toku prowadzonych badań eksploatacyjnych baterii kotłów mierzono następujące parametry:

- poziomy wody w kotłach w odniesieniu do najniższych dopuszczalnych,
- ciśnienia pary w kotłach,
- temperatury wody zasilającej układ i wody świeżej uzupełniającej ubytki wody w obiegu,
- twardość ogólną i wartość pH wody zasilającej, kondensatu i wody świeżej,
- wartości strumienia objętości wody pobieranej z sieci wodociągowej w celu uzupełnienia ubytków wody w obiegu.

Na rysunku 5 zamieszczono wykresy zmian ciśnienia pary wodnej w obserwowanych kotłach odczytywane w określonych odstępach czasu na manometrach zainstalowanych przy kotłach. Nadmienić należy, że w czasie prowadzonych badań nie pracował kocioł oznaczony na schemacie na rysunku 4 numerem 2 z powodu wyłączenia go z eksploatacji /remont/.

Zmiany poziomu wody w kotłach przedstawiono za pomocą wykresów na rysunku 6.

Wyniki badań twardości wody zasilającej układ kotłów i wartości pH zamieszczono w tabeli 1.

Na podstawie badań i przeprowadzonych obserwacji pracy baterii kotłów stwierdzono, że parametry pracy badanych kotłów ulegają częstym

Tabela 1

Wyniki badań własności wody zasilającej, kondensatu  
i wody uzupełniającej

|   | Twardość ogólna $^{\circ}\text{n}$        |                 | pH                              |                 |
|---|---|-----------------|---------------------------------|-----------------|
|   | Pomiary                                   | Wartość średnia | Pomiary                         | Wartość średnia |
| woda zasilająca   | 4,26<br>4,16<br>4,30<br>4,15<br>4,10      | 4,19            | 6,8<br>6,8<br>6,8<br>6,8<br>6,8 | 6,8             |
| kondensat   | 4,64<br>0,62<br>0,60<br>0,59<br>0,60      | 0,61            | 7,5<br>7,5<br>7,5<br>7,5<br>7,5 | 7,5             |
| woda uzupełniająca pobierana z miejskiej sieci wodociągowej | 19,15<br>19,06<br>19,36<br>19,03<br>19,22 | 19,16           | 6,7<br>6,7<br>6,7<br>6,7<br>6,7 | 6,7             |

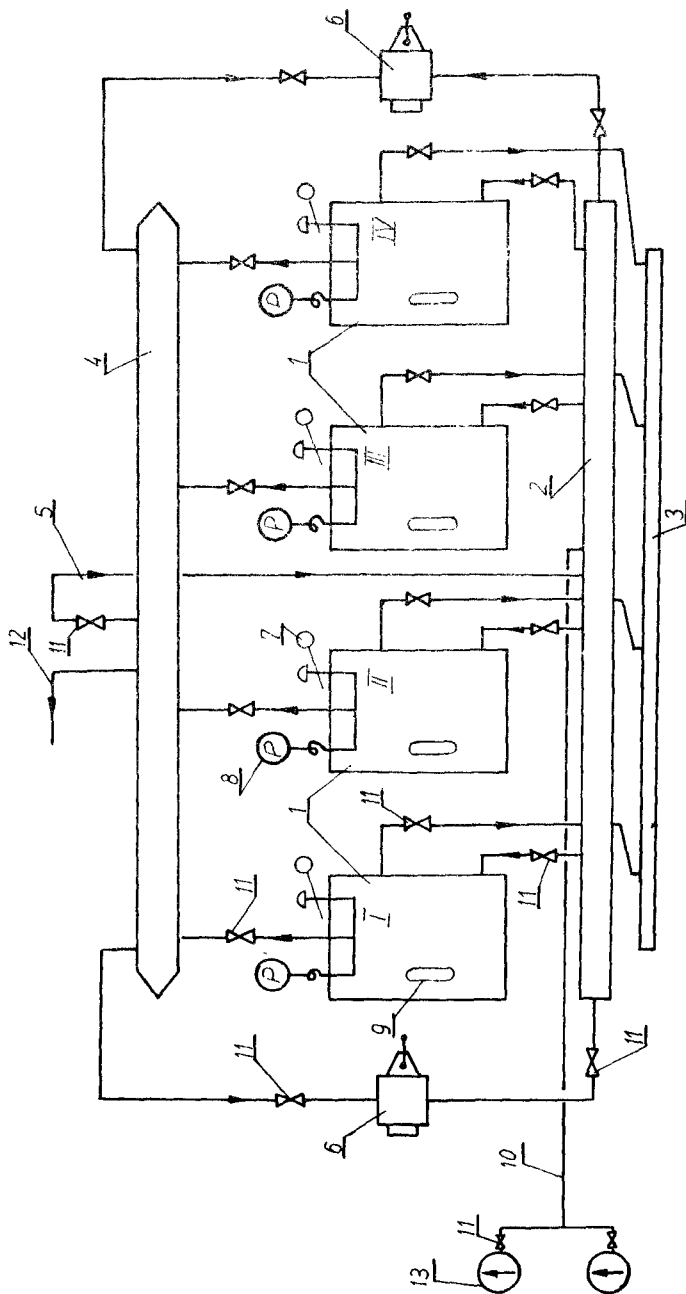
zmianom w szerokim zakresie. Świadczy to o niestabilnej pracy baterii. Szczególnie niebezpieczne zjawisko zaobserwowane w czasie prowadzonych badań polegało na obniżeniu się poziomu wody w kotle nr 4 poniżej dolnej dopuszczalnej granicy. Zjawisko to powtarzało się wielokrotnie w okresie eksploatacji baterii kotłów w różnych odstępach czasu.

Porównanie wyników badań twardości ogólnej wody z wartościami dopuszczalnymi wykazało wielokrotne przekroczenie tej wielkości. Według dokumentacji techniczno-ruchowej dopuszczalna wartość twardości ogólnej wody zasilającej kotły wynosi  $0,3^{\circ}\text{n}$ .

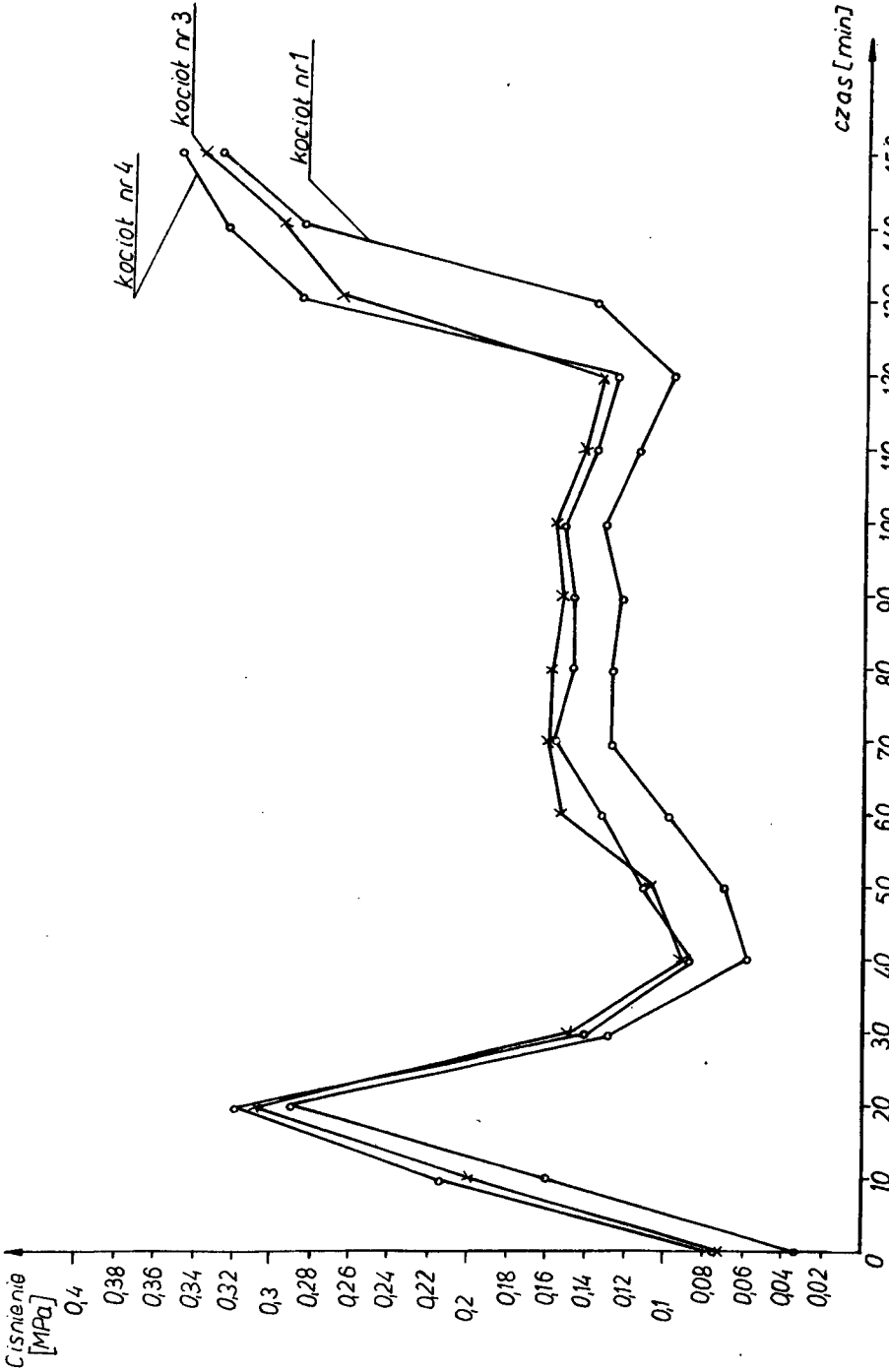
W toku badań eksploatacyjnych ujawniono także znaczne ubytki wody obiegowej wynoszące około  $400 \text{ dm}^3/\text{h}$ , będące konsekwencją nieszczelności w sieci grzewczej. Ubytki wody w obiegu uzupełniano niezmiękczoną wodą o dużej twardości ogólnej pobieraną bezpośrednio z sieci miejskiej.

W tych warunkach obniżona żywotność eksploatowanych kotłów jest wynikiem obniżania się poziomu wody w kotłach. Wynika stąd wniosek, że układ zasilający kotły wodą jest wadliwy i należy wprowadzić określone zmiany konstrukcyjne w celu wyeliminowania tego niekorzystnego zjawiska.

Stosowanie wody niezmiękczonej o twardości przekraczającej znacznie wartości dopuszczalne jest przyczyną osadzania się na wewnętrznych powierzchniach kanałów wodnych kotłów kamienia kotłowego. Przyczynia się to znacznie do obniżenia wydajności cieplnej eksploatowanych kotłów.

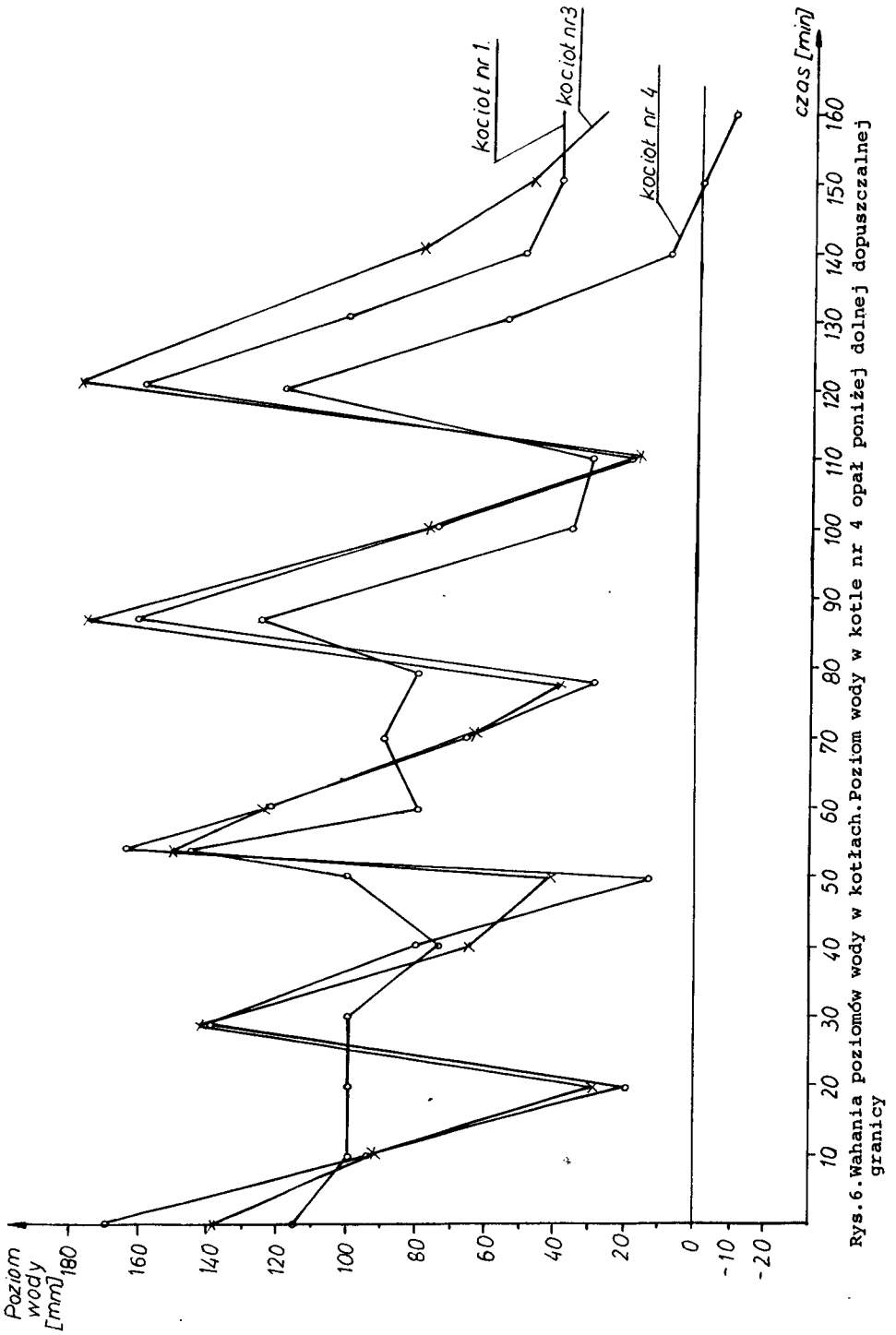


Rys. 4. Schemat instalacji grzewczo-zasilającej baterii kotłów centralnego ogrzewania  
 1 - kotły parowe E Ca IV A, 2-kolektor wody zasilającej, 3-przewód wodny wy-  
 różniający ciśnienie, 4 - kolektor parowy, 5 - przelew, 6 - pływakowy regula-  
 tor poziomu wody w kotłach sprężony z pracą pomp zasilających 13, 7- miarko-  
 wnik, 8-manometr, 9-wodowskaz, 10-przewód doprowadzający wodę ze zbiornika kon-  
 densatu, 11- zawory sterujące, 12-przewód odprowadzający parę z kolektora do  
 wymiennika ciepła, 13-pompy zasilające



Rys. 5. Zmiany ciśnienia pary wodnej w kotłach oznaczonych numerami 1, 3 i 4 w okresie ich eksploatacji





Rys. 6. Wahania poziomów wody w kotłach. Poziom wody w kotle nr 4 opał poniżej dolnej dopuszczalnej granicy

## 5. WNIOSKI

Postęp w dziedzinie wdrażania do seryjnej produkcji nowych rozwiązań technicznych kotłów grzewczych centralnego ogrzewania wymaga prowadzenia badań pracy tych urządzeń w fazie prototypów. Badania takie można prowadzić na specjalnie do tego celu zaprojektowanych stanowiskach badawczych odpowiednio wyposażonych w niezbędną aparaturę. Do tego celu może być wykorzystany projekt stanowiska badawczego przedstawiony w niniejszym opracowaniu.

Badania eksploatacyjne kotłów grzewczych prowadzone u użytkownika wykazały, że, zmniejszona żywotność tych urządzeń oraz obniżania się ich wydajności cieplnej w okresie ich eksploatacji są wynikiem nieprzestrzegania zaleceń DTR oraz nieprawidłowego działania układu zasilania kotłów w wodę.

## HEAT TESTING AND EXPLOITATION OF STEAM BOILERS

## Summary

The work presents the results of the investigation on the work of steam boilers systems.

There is discussed an experimental test stand for steam boilers examination.

## ТЕПЛОВЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОТЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

## Резюме

Представлены результаты исследований работы батарей котлов центрального отопления. Предложен прототипный проект испытательного стенда для исследования котлов центрального отопления.



Józef Szala  
Bolesław Przybyliński  
Stanisław Zawiślak

PRAWDOPODOBIENSTWO ZNISZCZENIA ZMĘCZENIOWEGO ELEMENTÓW  
KONSTRUKCYJNYCH W ZAKRESIE NIEOGRANICZONEJ TRWAŁOŚCI

W pracy dokonano analizy prawdopodobieństwa zniszczenia zmęczeniowego elementów konstrukcyjnych w zakresie nieograniczonej trwałości zmęczeniowej /granicy zmęczenia/, uwzględniając losowy rozrzut własności mechanicznych materiału oraz losowy rozkład amplitud obciążenia sinusoidalnego. W analizie tej przyjęto rozkłady normalne, zarówno w odniesieniu do granicy zmęczenia, jak i amplitud obciążenia. Podstawowym zamierzeniem autorów było sformułowanie problemu na tle literatury z tego zakresu. Takie ujęcie treści ułatwi szczególnie, oparte na wynikach badań omówienie poszczególnych zagadnień wynikających z prezentowanego artykułu.

WYKAZ WYŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

|                              |   |
|------------------------------|---|
| $Z_G$                        | - granica zmęczenia materiału /wielkość losowa/ w MPa,                |
| $Z_{GD}$                     | - granica zmęczenia elementu konstrukcyjnego /wielkość losowa/ w MPa, |
| $\bar{Z}_G$ i $\bar{Z}_{GD}$ | - wartości średnie odpowiednich granic zmęczenia w MPa,               |
| $s_{ZG}$ i $s_{ZGD}$         | - odchylenia standardowe odpowiednich granic zmęczenia w MPa,         |
| $v_{ZG}^2$ i $v_{ZGD}^2$     | - współczynniki zmienności odpowiednich granic zmęczenia,             |
| $\bar{\sigma}_a$             | - amplituda naprężeń /wielkość losowa/ w MPa,                         |
| $\bar{\sigma}_a$             | - wartość średnia amplitudy w MPa,                                    |
| $s\bar{\sigma}_a$            | - odchylenie standardowe wartości amplitud naprężenia w MPa,          |
| $U_p$                        | - kwantyl rozkładu normalnego,  |
| $P$                          | - prawdopodobieństwo zniszczenia zmęczeniowego w %,                   |
| $\delta$                     | - współczynnik bezpieczeństwa.  |

1. WPROWADZENIE

Zagadnieniom probabilistycznego ujęcia obliczeń wytrzymałościowych, w tym zmęczeniowych, poświęcono w literaturze szereg prac. Bardziej znane w ujęciu chronologicznym to prace: W. Wierzbickiego, N.S.Streleckiego i Różnicznina opisane w pracy [1] oraz Weibulla [2], S.V.Serensena [3], Kogaeva [4]. Pierwsze z wymienionych prac dotyczyły prawdopodobieństwa zniszczenia

budowli w warunkach obciążeń statycznych. Koncepcja wyznaczania prawdopodobieństwa zniszczenia z uwzględnieniem losowego rozrzutu własności mechanicznych /wytrzymałościowych/ materiałów, względnie elementów konstrukcyjnych z jednej strony i losowego rozrzutu wartości obciążeń działających na te elementy konstrukcyjne z drugiej strony, zawarta w tych pracach, została wykorzystana w obliczeniach zmęczeniowych w zakresie nieograniczonej trwałości.

Metody obliczeń zmęczeniowych polegające na wyznaczeniu prawdopodobieństwa zniszczenia zmęczeniowego oparte na koncepcji Rżaniczyna opisane zostały także w pracach [5] i [6].

Przyjęcie tej koncepcji opiera się na założeniu, że rozkład granicy zmęczenia obliczanego elementu konstrukcyjnego i rozkład amplitud obciążenia zmiennego, są rozkładami normalnymi.

Przyjęcie założenia o normalności rozkładu granicy zmęczenia oparto na danych zawartych w pracach [2, 7, 8, 9]. Wymagane są jednakże, dalsze badania w różnych warunkach celem weryfikacji tego założenia, a przede wszystkim celem wyznaczenia parametrów rozkładów, co ma istotne znaczenie w praktycznym stosowaniu tych metod.

Mniej jednoznaczne są dane literaturowe dotyczące rozkładu amplitud obciążenia / naprężenia/. W tym zakresie należy wyróżnić dwie grupy zagadnień:

- a/ zagadnienia rozkładu amplitud obciążeń sinusoidalnych,
- b/ zagadnienia rozkładu amplitud zastępczych /sinusoidalnych/ obciążenia stochastycznego.

Szczególne trudności napotyka się w drugiej grupie zagadnień w przypadku obciążeń stochastycznych z zakresu nieograniczonej trwałości i temu zagadnieniu poświęcona zostanie odrębna praca.

Celem artykułu jest sformułowanie problemu wyznaczania prawdopodobieństwa zniszczenia zmęczeniowego elementów konstrukcyjnych w zakresie nieograniczonej trwałości zmęczeniowej oraz próba określenia kryteriów oceny wymaganych prawdopodobieństw zniszczenia w budowie maszyn. W pracy, która stanowi pierwszy artykuł autorów z problematyki obliczeń zmęczeniowych elementów konstrukcyjnych w ujęciu probabilistycznym, podano kierunki analiz szczegółowych do opracowania w przyszłości.

## 2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Z opisu zawartego w punkcie 1 wynika, że obliczenia elementów konstrukcyjnych w ujęciu probabilistycznym w zakresie nieograniczonej trwałości zmęczeniowej polegają na wyznaczeniu prawdopodobieństwa zniszczenia. Probabilistyczne ujęcie tych obliczeń polega na uwzględnieniu losowego rozkładu granicy zmęczenia elementów  $Z_{GD}$  i losowego rozkładu amplitud obciążeń /naprężeń/ działających na obliczane elementy konstrukcyjne.

Sformułowanie problemu oparto na następujących założeniach:

- a/ rozkład granicy zmęczenia elementów konstrukcyjnych  $Z_{GD}$  jest rozkładem normalnym,

b/ rozkład amplitud naprężeń obciążenia sinusoidalnego  $\bar{\sigma}_a$  lub amplitud zastępczych dla obciążenia stochastycznego  $\bar{\sigma}_{az}$  jest także rozkładem normalnym.

Element konstrukcyjny ulegnie zmęczeniowemu zniszczeniu, gdy różnica

$$M = z_{GD} - \bar{\sigma}_a < 0 \quad (1)$$

Z założenia normalności rozkładów wielkości  $z_{GD}$  i  $\bar{\sigma}_a$  wynika, że rozkład różnicy wielkości jest także normalnym o parametrach: wartości średniej  $\bar{M}$  i odchylenia standardowego  $s_M$ . Wartości te wyznaczamy z wzorów:

$$\bar{M} = \bar{z}_{GD} - \bar{\sigma}_a \quad (2)$$

$$s_M = \sqrt{s_{zGD}^2 + s_{\bar{\sigma}_a}^2} \quad (3)$$

Wartość różnicy dla określonego prawdopodobieństwa  $M_p$  określona za pomocą kwantyla  $U_p$  prawdopodobieństwa  $P$  /z tablic rozkładu normalnego/ oblicza się z wzoru:

$$M_p = \bar{M} + U_p \cdot s_M \quad (4)$$

Dla  $M_p = 0$  oddzielającego warunek zniszczenia od warunku niezniszczenia elementu otrzymujemy

$$\bar{M} + U_p s_M = 0 \quad (5)$$

a stąd po przekształceniach

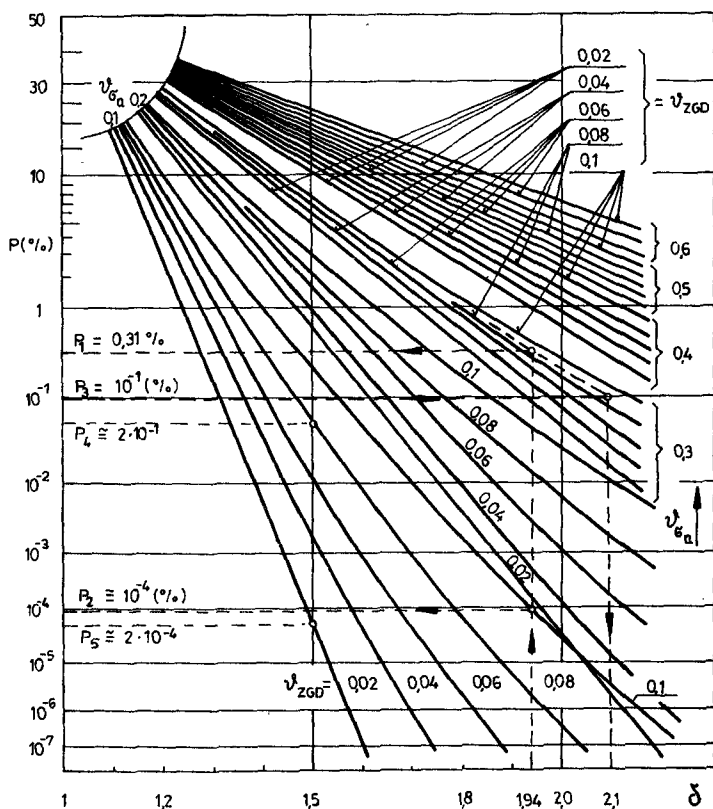
$$U_p = - \frac{\bar{M}}{s_M} = - \frac{\bar{z}_{GD} - \bar{\sigma}_a}{\sqrt{s_{zGD}^2 + s_{\bar{\sigma}_a}^2}} \quad (6)$$

Wprowadzając do wzoru (6) oznaczenia współczynnika zmienności i współczynnika bezpieczeństwa  $\delta$  według zależności

$$v_{zGD}^2 = \frac{s_{zGD}^2}{\bar{z}_{GD}^2}, \quad v_{\bar{\sigma}_a}^2 = \frac{s_{\bar{\sigma}_a}^2}{\bar{\sigma}_a^2}, \quad \delta = \frac{\bar{z}_{GD}}{\bar{\sigma}_a} \quad (7)$$

otrzymuje się

$$U_p = - \sqrt{\frac{1 - \delta}{\delta^2 v_{zGD}^2 + v_{\bar{\sigma}_a}^2}} \quad (8)$$



Rys. 1. Zależność prawdopodobieństwa zniszczenia zmęczeniowego  $P$  elementu konstrukcyjnego od współczynnika bezpieczeństwa  $\delta$ , współczynnika zmienności granicy zmęczenia  $v_{ZGD}^p$  oraz współczynnika zmienności amplitudy naprężeń  $v_{\sigma_a}^p$

Interpretację graficzną zależności (8) pokazano na rysunku 1. Na osi rzędnych w miejsce kwantyla rozkładu normalnego  $U_p$  naniesiono odpowiadające mu prawdopodobieństwo zniszczenia zmęczeniowego. Wykres ten /nomogram/ ma charakter uniwersalny i może być stosowany dla różnych pod względem cech konstrukcyjnych elementów. Umożliwia ponadto ocenę dopuszczalnego poziomu obciążenia dla określonego elementu, lub zmianę cech konstrukcyjnych elementu przy znanych obciążeniach eksploatacyjnych na założonym poziomie prawdopodobieństwa zniszczenia zmęczeniowego.

Z wykresu na rysunku 1 i z wzoru (8) wynikają cztery podstawowe grupy zagadnień:

- dobór poziomu prawdopodobieństwa  $P$  /wyrażony we wzorze (8) kwantylem  $U_p$ /,
- dobór wartości współczynnika bezpieczeństwa  $\delta$ ,

c/ wyznaczenie współczynnika zmienności granicy zmęczenia elementu konstrukcyjnego  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$ ,

d/ wyznaczenie współczynnika zmienności amplitud naprężenia  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p$ .

Wielkości  $P$  i  $\delta$  są od siebie wzajemnie zależne w określonych warunkach badań /jakości elementu  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$  i zmienności obciążeń eksploatacyjnych  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p$ /. Wymienione grupy zagadnień ze względu na duży zakres wymagają omówienia w oddzielnych artykułach.

### 3. PRZYKŁADY

Celem zilustrowania wpływu wymienionych w podrozdziale 2 czynników na prawdopodobieństwo pęknięcia zmęczeniowego, na wykresie /rys.1/ pokazano liniami kreskowanymi trzy przykłady.

Pierwszym zilustrowano wpływ rozrzutu wartości obciążeń / współczynnik  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p$  /. Dla tej samej wartości współczynnika bezpieczeństwa  $\delta = 1,94$  /a zatem niezmiennych wartości średnich granicy zmęczenia i obciążeń/ otrzymujemy dla  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p = 0,3$  i  $\mathcal{V}_{ZGD}^p = 0,09$  prawdopodobieństwo zniszczenia  $P_1 = 0,31\%$ , a zatem duże, dla  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p = 0,1$  i  $\mathcal{V}_{ZGD}^p = 0,1$  /współczynnik zmienności granicy zmęczenia bliski wartości z poprzedniego przypadku/ otrzymujemy prawdopodobieństwo zniszczenia  $P_2 = 10^{-4}\%$  - a zatem znacznie mniejsze.

W drugim przykładzie zilustrowano przyjęcie takiej wartości współczynnika bezpieczeństwa  $\delta$ , która odpowiada wymaganemu prawdopodobieństwu zniszczenia  $P_3 = 10^{-1}\%$  dla wyznaczonych  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p = 0,3$  i  $\mathcal{V}_{ZGD}^p = 0,09$ . W poprzednim przykładzie dla tych wartości współczynników zmienności prawdopodobieństwu  $P_1 = 0,31$  odpowiadał współczynnik  $\delta = 1,94$ , obciążenie prawdopodobieństwa zniszczenia do poziomu  $P_3 = 10^{-1}\%$  powoduje w tych warunkach wzrost wartości współczynnika bezpieczeństwa do  $\delta = 2,1$ .

W trzecim przykładzie zilustrowano wpływ jakości wykonania elementu konstrukcyjnego /wartość  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$ / na prawdopodobieństwo zniszczenia. Przy zachowaniu stałej wartości współczynnika bezpieczeństwa  $\delta = 1,5$  i rozrzutu obciążenia  $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p = 0,1$  - zmienność współczynnika  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$  w granicach /0,02 - 0,08/ powoduje zmianę prawdopodobieństwa zniszczenia  $P$  w zakresie  $P_4 \approx 2 \cdot 10^{-4}$  do  $P_5 \approx 2 \cdot 10^{-1}\%$ .

Przytoczone elementarne przykłady wpływu rozrzutu obciążeń eksploatacyjnych ( $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p$ ), jakości wykonania elementów konstrukcyjnych /  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$ / i wartości współczynnika bezpieczeństwa ( $\delta$ ) na prawdopodobieństwo zniszczenia pozwalają określić wymagania w zakresie warunków eksploatacji ( $\mathcal{V}_{\sigma_a}^p$ ), technologii /  $\mathcal{V}_{ZGD}^p$ / i konstrukcji ( $\delta$ ).

### LITERATURA

- [1] Bołotin W.W.: Metody statystyczne w mechanice budowli, Arkady, Warszawa 1968
- [2] Weibull W.: Fatigue Testing and Analysis of Results. Pergamon Press 1961



- [3] Serensen S.V., Kogaev V.P., Šenejderovič R.M.: Nesušcaja sposobnost i razčety detalej mašin na pročnost. Mašinostroenie, Moskva 1975
- [4] Kogaev V.P.: Rasčety na pročnost pri napraženijach peremennyh vo vremeni. Mašinostroenije, Moskva 1977
- [5] Kocařda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych, PWN, Warszawa 1985
- [6] Szala J.: Wykład podstaw konstrukcji maszyn. ATR, skrypt, Bydgoszcz 1986
- [7] Bastenaire F., Bastien M., Pomey G.: Acta Technica, Academiae Scientiarum Hungaricae. Tom 35-36, 1961, pp. 7-26
- [8] Nishijma S., Proceedings, Fifteen Japan Congress on Materials Research Society of Materials Science, Kyoto, Japan, 1972, pp. 7-12
- [9] Nishijma S.: Statistical Fatigue Properties of Some Heat-Treated Steels for Machine Structural Use, ASTM STP 744, Philadelphia 1981

FATIGUE DAMAGE PROBABILITY OF CONSTRUCTION PARTS ON UNLIMITED FATIGUE LIFE SCALE

Summary

An analysis of a fatigue damage probability of construction parts on unlimited fatigue life /fatigue limit/ scale is made in the paper. A random scatter of mechanical properties of material and a random scatter of a sinusoidal load amplitude was taken into consideration.

A normal distribution of a fatigue life limit and of a load amplitude was assumed. The authors basic aim was a formulation of the problem regarding references in this field.

Such an approach facilitates a detailed, based on the test results, description of particular questions.

ВЕРОЯТНОСТЬ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПРЕДЕЛЕ НЕОГРАНИЧЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Резюме

В статье представлен анализ вероятности усталостного разрушения конструкционных элементов в пределе неограниченной прочности при учетывании случайности предела выносливости металла и случайности амплитуд нагрузки. Принято нормальное расположение предела выносливости и амплитуд нагрузки. На основе этого указана необходимость дальнейших подробных испытаний позволяющих накопить информацию необходимую для широкого внедрения в практику вероятностных методов расчета на прочность деталей машин.

Marian Szymański

## BADANIA SUSZENIA MASY CELULOZOWEJ W SUSZARCE KONWEKCYJNEJ FLAKT

W pracy przedstawiono przebieg oraz wyniki badań suszenia masy celulozowych w konwekcyjnej suszarce Flakta. Określono parametry pracy suszarki i jej wydajność. Na podstawie teorii podobieństwa ustalono wydajność suszarki dla masy półchemicznej.

### 1. WPROWADZENIE

Suszenie masy celulozowej metodą konwekcyjną jest szeroko stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym ze względu na dużą wydajność oraz zwartą i prostą budowę suszarek. Suszarka konwekcyjna Flakt wytwarzana przez szwedzką firmę Svenska Fläktfabriken ma konstrukcję umożliwiającą osiąganie wysokich wartości współczynników przejmowania masy i ciepła między powietrzem stanowiącym czynnik suszący a suszoną wstęgą celulozy oraz może pracować przy dużych prędkościach przesuwu i gramaturach wstęgi. Nowoczesna jej konstrukcja polegająca na zastąpieniu mechanicznego transportu wstęgi, stosowanego w starszych typach tych suszarek, transportem pneumatycznym pozwala na suszenie przy bardzo małych naciągach wstęgi.

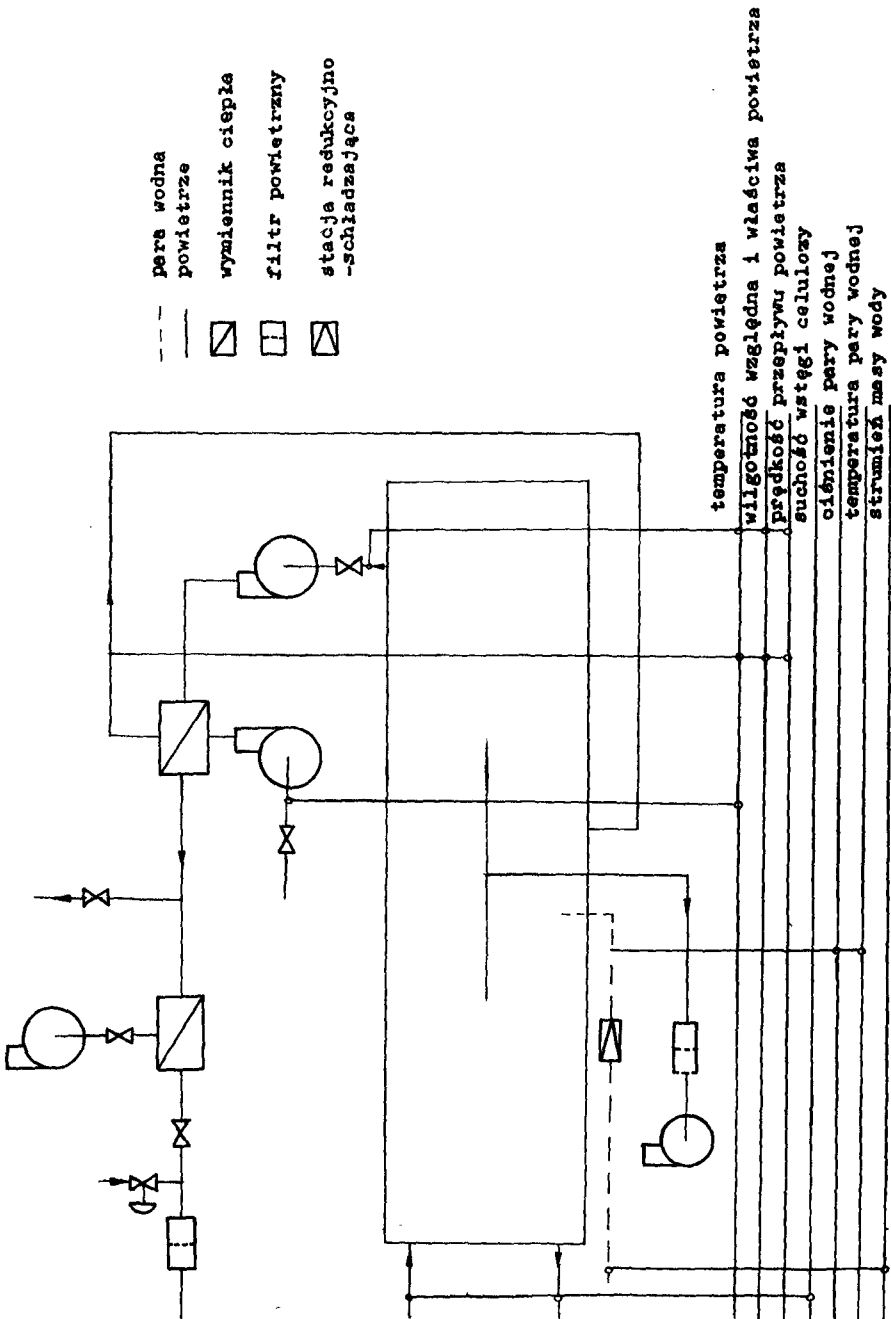
Przedstawione niżej badania pracy tej suszarki przeprowadzono dla ustalenia wartości parametrów suszenia oraz jej wydajności przy suszeniu określonych rodzajów mas celulozowych.

### 2. SUSZARKA KONWEKCYJNA FLAKT

Suszarka Flakt zbudowana jest z następujących zespołów:

- komory,
- skrzynek nawiewnych,
- układu wałków zwrotnych,
- układu grzejników wewnętrznych z wentylatorami cyrkulacyjnymi,
- układu nawiewno-wywiewnego z rekuperacją ciepła,
- układu oczyszczającego wnętrze komory,
- układu regulacji i sterowania pracą suszarki.

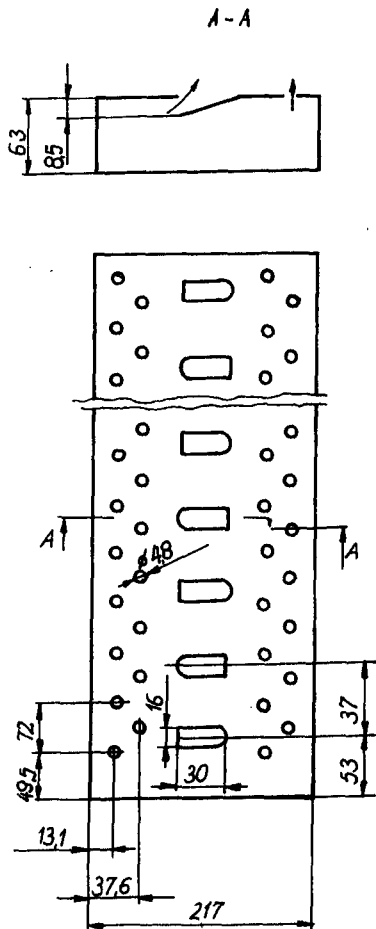
Budowę suszarki przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



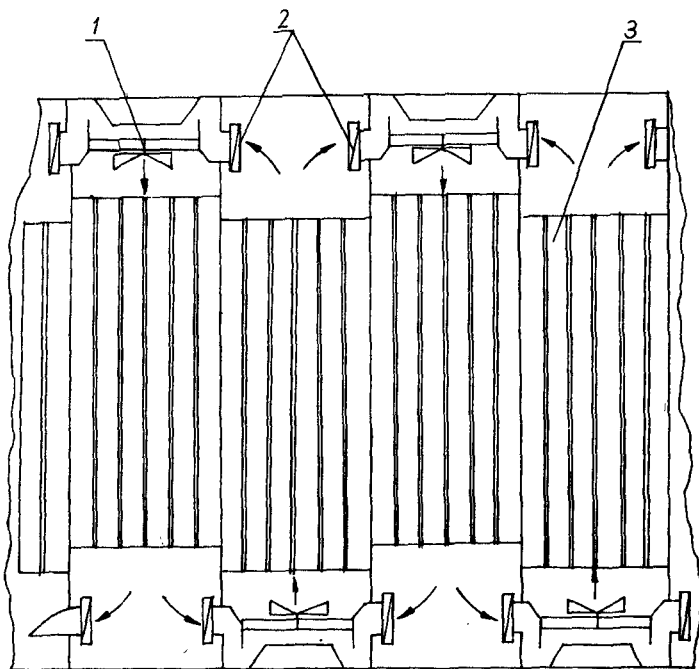
Rys. 1. Schemat technologiczno-pomiarowy suszarki Fläkt

Komora suszarki obudowana jest ściankami osłonowymi z izolacją cieplną. W bocznych ścianach zainstalowane są drzwi z zamkami magnetycznymi. Umożliwiają one dostęp do wnętrza suszarki. Wewnątrz komory zainstalowane są skrzynki nawiewne. Ułożone jedna obok drugiej, prostopadłe do kierunku biegu maszyny odwadniającej, tworzą powierzchnię, nad którą przesuwa się suszona wstęga masy celulozowej. Układy skrzynek dzielą komorę na 18 poziomów. Wstęga masy celulozowej doprowadzana jest układem wałków prowadzących nad pierwszy, licząc od góry poziom, a następnie zmieniając kierunek ruchu na wałkach zwrotnych przesuwa się nad skrzynkami nawiewnymi kolejnych poziomów. Wyprowadzana jest na zewnątrz komory z ostatniego poziomu. Suszona wstęga przesuwa się w odległości około 2 mm nad powierzchnią skrzynek nawiewnych unoszona na poduszce powietrznej wytworzonej przez ogrzane powietrze wypływające z otworów skrzynek nawiewnych.

Rozmieszczenie oraz kształt otworów na powierzchni skrzynki nawiewnej przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Rozmieszczenie otworów na powierzchni skrzynki nadmuchiowej



Rys.3. Schemat usytuowania skrzynek nadmuchowych w widoku z góry

1 - wentylator cyrkulacyjny, 2 - wymiennik ciepła,  
3 - skrzyńki nadmuchowe

Na rysunku 3 zamieszczono szkic przedstawiający usytuowanie skrzynek nawiewnych oraz kierunki przepływu powietrza.

Powietrze nawiewane na wstęgę uderzając o jej powierzchnię zmienia kierunek ruchu i przepływa szczelinami między skrzynkami do dołu, a następnie wskutek oddziaływania wentylatorów cyrkulacyjnych płynie poprzez grzejniki z powrotem do wnętrza skrzynek nawiewnych.

Nawilżone odparowaną ze wstęgi wodą powietrze odprowadzane jest z górnej części komory suszarki. Transportowane jest ono wentylatorem do wymienników rekuperacji ciepła układu nawiewno-wywiewnego suszarki. W wymiennikach tych nagrzewa się powietrze tłoczone wentylatorem nawiewnym do dolnej części komory suszarki oraz powietrze przeznaczone do ogrzewania i wentylacji hali maszyn odwadniających. Dane techniczne badanej suszarki podano niżej:

|                  |            |
|------------------|------------|
| typ suszarki     | - FCB      |
| rok budowy       | - 1982     |
| wymiary; długość | - 22800 mm |
| szerokość        | - 7800 mm  |
| wysokość         | - 6930 mm  |

|   |  |
|---|--|
| liczba wentylatorów cyrkulacyjnych                | - 40   |
| moc silnika napędowego wentylatora cyrkulacyjnego | - 7,5 kW   |
| liczba obrotów wirnika wentylatora cyrkulacyjnego | - 24 obr/s (1440 $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$ ) |
| zakres prędkości przesuwu wstęgi                  | - 0,655 ± 1,833 m/s<br>(40 ± 110 m/min)            |
| zakres gramatury wstęgi                           | - 700-900 g/m <sup>2</sup>                         |
| suchość wstęgi przed suszarką                     | - 45 ± 1%  |
| suchość wstęgi za suszarką                        | - 75 %   |
| ciśnienie pary wodnej zasilającej                 |  |
| grzejniki wewnętrzne                              | - 1,2 MPa  |

Uformowana na maszynie odwadniającej wstęga masy celulozowej przed wprowadzeniem do suszarki Fläkt jest podgrzewana i suszona we wstępnej cylindrowej części suszającej. Osiąga ona po niej temperaturę 328 K i suchość około 45 %.

### 3. METODYKA I PRZEBIEG BADAŃ PRACY SUSZARKI

Badania pracy suszarki przeprowadzono dla:

- ustalenia rzeczywistej jej wydajności przy suszeniu masy celulozowej z drewna drzew iglastych i masy z drewna drzew liściastych,
- określenia wpływu ilości i stanu powietrza nawiewanego do suszarki na jej pracę,
- określenia zużycia pary wodnej zasilającej wymienniki ciepła w komorze suszarki,
- ustalenia wartości parametrów suszenia.

Wykonano je w warunkach normalnej eksploatacji urządzenia. Badając pracę suszarki potraktowano zachodzący w niej proces odparowania wody ze wstęgi masy celulozowej w sposób wynikowy, analizując parametry czynniki biorących w nim udział na wlocie i wylocie z komory suszarki.

Nazwy mierzonych parametrów oraz miejsca ich pomiarów przedstawiono na schemacie budowy suszarki zamieszczonym na rysunku 1.

Strumień masy wody odparowanej w komorze suszarki określano dwiema metodami: na podstawie pomiaru wartości strumienia masy powietrza przepływającego w przewodzie zasilającym suszarkę i różnicy wilgotności właściwej powietrza na wlocie i wylocie suszarki oraz na podstawie różnicy pomierzonych po i przed suszarką suchości wstęgi masy celulozowej.

Strumień masy powietrza doprowadzanego do komory suszarki ustalono na podstawie wartości średnich prędkości przepływu powietrza w przewodach. Średnie prędkości przepływu obliczano jako średnie arytmetyczne prędkości miejscowych określonych z wartości miejscowych ciśnień dynamicznych mierzonych w określonych miejscach przekroju poprzecznego przewodu. Ciśnienia dynamiczne mierzono za pomocą sondy Prandtla i podłączonego do niej mikromanometru. Zastosowano w tym przypadku mikromanometr bateryjny typu

M7b. Sondę Prandtla wprowadzono do przewodu poprzez specjalnie wykonane otwory w jego ściance. W każdym z punktów pomiarowych wykonano w odstępach 5 min. po trzy pomiary ciśnienia dynamicznego przepływającego powietrza.

Wilgotność względną oraz właściwą powietrza w przewodzie określano metodą psychrometryczną, wprowadzając do wnętrza poprzez otwory wykonane w jego ściankach termometr "suchy" oraz termometr "wilgotny" z banieczką owiniętą nawilżoną tkaniną. Mierząc temperatury w różnych punktach przekroju poprzecznego przewodu, stwierdzono że mają one takie same wartości. Temperatura i wilgotność powietrza mają więc w przekroju poprzecznym przewodu wartości wyrównane.

Prędkość wstęgi masy celulozowej mierzono tachometrem elektronicznym przystosowanym do pomiaru prędkości liniowej.

Gramaturę i suchość wstęgi określano na podstawie oznaczeń dokonywanych na pobranych ze wstęgi próbkach.

Wartości składowych pionowych prędkości powietrza w odległości około 2 mm nad powierzchnią skrzynek nawiewnych pomierzono anemometrem elektronicznym N 191 wyposażonym w sondę Cd 341. Pomiary przeprowadzono bez wstęgi masy celulozowej w suszarce. Traktować je więc należy jako dane orientacyjne.

Ilość pary wodnej doprowadzanej do grzejników wewnętrznych suszarki oraz jej temperaturę i ciśnienie za stacją redukcyjno-schładzającą określano na podstawie wskazań zainstalowanych przy maszynie wskaźników oraz zapisów na taśmach rejestratorów.

Wartości pomierzonych parametrów oraz określonych na ich podstawie wielkości charakteryzujących pracę suszarki zestawiono w tabelach 1 do 5.

Tabela 1  
Wyniki pomiarów parametrów powietrza przepływającego przez suszarkę

| Lp. | Parametr mierzony                       | Jednostka          | Masa celulozowa z drewna |          |                   |          |
|-----|---|--------------------|--------------------------|----------|-------------------|----------|
|     |   |                    | drzew iglastych          |          | drzew liściastych |          |
|     |   |                    | wlotowy                  | wylotowy | wlotowy           | wylotowy |
| 1   | Temperatura                             | K                  | 363                      | 401      | 360               | 401      |
|     |   | °C                 | 90                       | 128      | 87                | 128      |
| 2   | Wilgotność względna                     | %                  | 10                       | 26,9     | 2,4               | 15       |
| 3   | Wilgotność właściwa                     | kg wody<br>kg pow. | 0,046                    | 0,228    | 0,01              | 0,1084   |
| 4   | Średnia prędkość przepływu              | m/s                | 13,51                    | 16,13    | 15,61             | -        |
| 5   | Strumień objętości powietrza wilgotnego | m <sup>3</sup> /s  | 17,22                    | 24,84    | 19,9              | -        |
| 6   | Strumień masy powietrza wilgotnego      | kg/s               | 16,08                    | 19,35    | 19,12             | -        |
| 6   | Strumień masy powietrza suchego         | kg/s               | 15,36                    | 15,75    | 18,93             | -        |

Tabela 2

Wartości parametrów charakteryzujących pracę  
suszarki

| Lp. | Parametr   | Jednostka        | Masa celulozowa z drewna drzew |                 |
|-----|--|------------------|--------------------------------|-----------------|
|     |  |                  | iglastych                      | liściastych     |
| 1.  | Szerokość wstęgi celulozy  | m                | 3,28                           | 2,9             |
| 2.  | Gramatura wstęgi   | g/m <sup>2</sup> | 870,5                          | 851,9           |
| 3.  | Prędkość wstęgi  | m/s              | 1,18                           | 1,033           |
| 4.  | Suchość wstęgi przed suszarką  | %                | 45,45                          | 47,5            |
| 5.  | Suchość wstęgi po suszarce   | %                | 81,61                          | 82,2            |
| 6.  | Strumień masy wody odparowanej w suszarce obliczony na podstawie pomiarów<br>$m_w = m_p \cdot (x_2 - x_1)$ | kg/s             | 2,795                          | -               |
| 7.  | Strumień masy wody odparowanej w suszarce określony z bilansu masowego                                     | kg/s             | 2,689                          | 1,864           |
| 8.  | Wydajność maszyny odwadniającej  | kg/s<br>Mg/24h   | 2,749<br>237,56                | 2,097<br>181,24 |
| 9.  | Średnie zużycie pary do wysuszenia 1 kg celulozy   | kg/kg            | 1,34                           | 1,41            |
| 10. | Średnie zużycie ciepła do suszenia 1 kg celulozy   | kJ               | 2723,6                         | 2873,3          |

Tabela 3

Pomierzone wartości składowej pionowej prędkości przypiływu powietrza nad powierzchnią półek nawiewnych

| Wartości pomierzone w m/s   |      |      |      |       |       |      | Wartość średnia<br>m/s |
|---|------|------|------|-------|-------|------|------------------------|
| 13,2  | 13,5 | 13,8 | 14,1 | 14,15 | 13,48 | 14,2 | 13,67                  |
| 13,3  | 13,3 |      |      |       |       |      |                        |
| Rozstęp R = 14,2 - 13,2 = 1 Odchylenie standardowe s = 0,147<br>Współczynnik zmienności $\varphi = 0,034$ |      |      |      |       |       |      |                        |



Tabela 4

Parametry pary wodnej zasilającej grzejniki  
wewnętrzne suszarki

| Lp.  | Parametr      | Jednostka | Wartości                         |                                 |
|--|---------------|-----------|----------------------------------|---------------------------------|
|  |               |           | suszenie celulozy z drzewa drzew |                                 |
|  |               |           | iglastych                        | liściastych                     |
| 1.   | Ciśnienie     | MPa       | $\bar{x} = 0,917$<br>$s = 0,28$  | $\bar{x} = 0,56$<br>$s = 0,3$   |
| 2.   | Temperatura   | K         | $\bar{x} = 176$<br>$s = 18,49$   | $\bar{x} = 172$<br>$s = 8,0$    |
| 3.   | Strumień masy | Mg/h      | $\bar{x} = 14,26$<br>$s = 0,86$  | $\bar{x} = 12,38$<br>$s = 1,94$ |
| $\bar{x}$ - wartość średnia, $s$ - odchylenie standardowe, $R$ - rozstęp |               |           |                                  |                                 |

Tabela 5

Zestawienie wartości wydajności suszarki

| Lp. | Rodzaj masy                                    | Wydajność Mg/24 h |                   |
|-----|--|-------------------|-------------------|
|     |  | pomierzona        | wg. danych techn. |
| 1.  | Masa celulozowa z drewna drzew iglastych sa bl | 280,3             | 250               |
| 2.  | Masa celulozowa z drewna drzew liściastych     | 255               | -                 |

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Suszarka "Fläkt" będąca przedmiotem badań osiąga wydajności przekraczające wartości podawane w dokumentacji technicznej. Na podstawie badań laboratoryjnych, których wyniki przeliczono korzystając z metody podobieństwa dla warunków panujących w suszarce, określono również jej wydajność przy suszeniu masy celulozowej półchemicznej.

Dla masy półchemicznej niebielonej wynosi ona 232,4 Mg/24 h, a dla masy półchemicznej bielonej 168 Mg/24h. Według danych technicznych suszarki, jej wydajność przy suszeniu masy półchemicznej bielonej wynosi 160Mg/24h. Suchość wstęgi masy celulozowej po suszarce, jak wynika z oznaczeń prowadzonych w laboratorium zakładowym, dochodziła do 88,6%.

Na podstawie pomiarów stwierdzono, że strumień masy powietrza suchego płynącego w przewodzie wylotowym jest większy niż strumień powietrza suchego przepływającego w przewodzie dolotowym. Świadczy to o przedostawa-

niu się do wnętrza suszarki powietrza z otoczenia. Ilość tego powietrza jest stosunkowo mała i wynosi 0,39 kg/s. Dopływ tego powietrza nie wywiera znaczącego wpływu na działanie suszarki.

Zmniejszenie szerokości wstęgi przy suszeniu masy celulozowej z drewna drzew liściastych spowodowało wzrost wartości strumienia objętości powietrza wlotowego przy jednoczesnym obniżeniu jego temperatury z 363 do 360 K.

Przy suszeniu masy celulozowej z drewna drzew iglastych wymienniki ciepła zasilane są suchą parą nasyconą o ciśnieniu 0,917 MPa, a przy suszeniu masy celulozowej z drzew liściastych parą przegrzaną o stopniu przegrzania 11%.

## 5. WNIOSKI

1. Badana suszarka osiąga dla wszystkich rozpatrywanych mas celulozowych wydajności większe niż przewidywane dokumentacją techniczną. Suchość wstęgi celulozy po suszarce ma wartość większą niż przewidywana w dokumentacji technicznej o 6 do 13%.
2. Ilość powietrza przepływającego przez komorę suszarki należy uznać za poprawnie dobraną. W czasie badań wentylatory wlotowy i wylotowy pracowały przy całkowicie otwartych przepustnicach.
3. Do zasilania grzejników wewnętrznych suszarki należy stosować parę wodną o stopniu przegrzania do 10 % i ciśnieniu nie mniejszym niż 0,9 MPa.
4. Intensyfikację suszenia można uzyskać poprzez zainstalowanie dodatkowego grzejnika parowego na wlocie powietrza świeżego do wymiennika ciepła ogrzewanego powietrzem odlotowym.

## AN EXAMINATION OF THE DRYING PROCESS IN THE CONVECTION DRYER FLÄKT

### Summary

The work presents the results of an examination and an analysis of the cellulose pulp drying process in the convection dryer Fläkt.

The machine capacity and its work parameters are defined.

On the basis of theoretical resemblances, the dryer capacity for semichemical pulp was determined.

## ИССЛЕДОВАНИЯ СУШКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ В КОНВЕКЦИОННОЙ СУШИЛКЕ ФЛЕКТ

### Резюме

В статье представлен процесс, а также результаты исследований сушки целлюлозной массы в конвекционной сушилке Флекта. Определены параметры работы сушилки и ее производительность. На основе теории подобия установлена производительность сушилки для химической полумассы.

Biblioteka Główna ATR  
w Bydgoszczy

Gz

1006

31

1988

ISSN 0208-6395