

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

ZESZYTY NAUKOWE NR 90

MECHANIKA 24



BYDGOSZCZ - 1981

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

ZESZYTY NAUKOWE NR 90

MECHANIKA 24



BYDGOSZCZ - 1981

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO

doc. dr hab. Juliusz Skonieczny

REDAKTOR NAUKOWY

dr inż. Józef Szala

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE

mgr Halina Koziolkiewicz, Alfons Grzenkówicz

MATERIAŁY SYMPOZJUM

pt. „Współpraca naukowa Instytutu Technologii i Eksploatacji Maszyn
z przemysłem regionu bydgoskiego”

Maj 1981 r.

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. 11,2. Ark. druk. 12,7. Papier druk. mat., kl V. 70 g
Oddano do druku 5.XI.1981 r. Druk ukończono w grudniu 1981 r. Zam. nr 987/81
Cena zł 34,- W-5/170

Zakłady Graficzne Wydawnictw Szkolnych i Pedagogicznych w Bydgoszczy

S p i s t r e ś c i

	str.
1. Jacek Ciszak, Józef Filipczak : Możliwości wykorzystania pierścieni Białeckiego do odpylania w przemyśle spożywczym	5
2. Jerzy Ciucias, Zbigniew Kikiewicz, Janusz Wełnowski : Badania nad doborem parametrów eksploatacyjnych procesu granulowania pasz	15
3. Stanisław Dymski, Witold Łoś, Jerzy Steinborn : Pewien przypadek zmęczeniowego zniszczenia ramy pilarki do drewna DTGA-63 .	27
4. Józef Flizikowski, Andrzej Jazdon, Zenon Wośko : Badania niezawodności przenośników taśmowych PNT-7,5	33
5. Henryk Holka, Jan Misun, Andrzej Topoliński : Wytłumienie hałasu wentylatorów instalacji wyciągowej. Przykład rozwiązania ..	41
6. Jerzy Kalwaj : Analiza możliwości zmniejszenia energochłonności rozdrabniacza udarowego ziarna zbóż przez zastosowanie wymuszonego przepływu powietrza	49
7. Lech M. Kamiński, Andrzej Golik : Analiza możliwości automatyzacji linii granulowania pasz treściwych /zlecenie OBR SPOMASZ w Bydgoszczy/	59
8. Lech M. Kamiński, Marian Szymański, Jan Łukasiewicz : Tunel wstępnego dojrzewiania płyt azbestowo-cementowych z zastosowaniem automatycznej regulacji temperatury i wilgotności	67
9. Zbigniew Kikiewicz, Jerzy Lewandowski : Zagadnienie podwyższenia niezawodności złożonych obiektów na przykładzie maszyny papierniczej	77
10. Tadeusz Leppert : Wpływ zużycia i kształtu powierzchni natarcia ostrza na opory skrawania przy odcinaniu	89
11. Henryk Oleszycki, Stanisław Dymski : Wpływ grubości odlewów z niestopowego żeliwa sferoidalnego na właściwości mechaniczne po ulepszeniu cieplnym	103
12. Stanisław Smarzyński, Stefan Krzysiak : Wpływ odległości natryskiwania wałka ze stali P55G na przyczepność warstwy natryskiwanej ze stali St5	115

13. Józef Szala, Kazimierz Zawisłak : Programowane badania zmęczeniowe pojazdów jednośladowych	125
14. Marian Szymański, Jan Łukasiewicz : Instalacja do utylizacji makulatury z opakowań azbestów	139
15. Marian Szymański, Jan Łukasiewicz : Modernizacja działu przygotowania masy do wytwarzania płyt azbestowo-cementowych	147
16. Andrzej Topoliński : Numeryczne rozwiązanie przepływu w zakrzywionym kanale zasilanym poprzecznym strumieniem	159
17. Janusz Wełnowski : Tensometryczny przetwornik do pomiaru prędkości przepływu powietrza	169
18. Krzysztof Wernerowski, Ryszard Poznań : Zagadnienia modelowania analogowego belek	175
19. Krzysztof Wernerowski, Edmund Chabowski : Badania elastooptyczne trójkątnej prowadnicy niesymetrycznej poddanej obciążeniom skupionym	185
20. Bogdan Zastempowski : Uniwersalne stanowisko badawcze hydrauliki siłowej	195

Jacek Ciszak
Józef Filipczak

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PIERŚCIENI BIAŁECKIEGO DO ODPYLANIA W PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM

W publikacji przedstawiono aktualną sytuację w polskim przemyśle spożywczym, a w szczególności zbożowo-paszowym w zakresie zagrożenia ze strony nadmiernego zapylenia.

Próba rozwiązania tego problemu jest wprowadzenie opatentowanego w Polsce urządzenia do odpylania przy wykorzystaniu pierścieni Białeckiego.

Wykonano stanowisko pilotowe badań parametrów pracy tego odpylacza. Osiągnięto pozytywne wyniki filtracji dla pyłu zbożowego i mąki, przy jednoczesnym kilkakrotnie mniejszym zużyciu energii niż w filtrach tkaninowych i oddzielaczach odśrodkowych - cyklonach.

W kilkunastu branżach przemysłu spożywczego na całych liniach bądź odcinkach linii technologicznych przetwarza się materiały sypkie. Brak hermetyczności maszyn i urządzeń często powoduje pylenie. Jednym z podstawowych warunków zachowania czystości w pomieszczeniach produkcyjnych i magazynowych jest stosowanie instalacji odpylających. W instalacjach tych do wydzielenia pyłu z mieszaniny pyłowo-powietrznej służą różnej konstrukcji odpylacze. Do powszechnie stosowanych należą: cyklony, filtry tkaninowe lub filtrocyklony. W analizach przyczyn zainicjowania wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej w układach transportu pneumatycznego i odpylania często wymieniana jest elektryczność statyczna. Mąka, krochmal i dekstryny przy wilgotności poniżej 18% mają właściwości dielektryczne i dlatego wytwarzają przy transporcie pneumatycznym ładunki elektrostatyczne, których potencjał sięga do 30 kV/cm. Jest to energia, która potrafi rozładować się w postaci iskry o długości ok. 3 cm i przy odpowiednich natężeniach może być inicjatorem wybuchów [2].

W instalacjach aspiracyjnych urządzeniem, gdzie może zaistnieć równocześnie powstania mieszaniny pyłowo-powietrznej o stężeniu wybuchowym i iskra elektrostatyczna jako inicjator zapłonu, jest filtr tkaninowy. Zaznaczyć tu należy, że problematyka dotycząca zjawisk elektryczności statycznej jest obszerna i dotychczas mało poznana, w szczególności w aspekcie zagrożenia wybuchem [4]. Natomiast realne zagrożenie wybuchem w filtrze tkaninowym stwarza iskra mechaniczna [4]. Do tej pory nie udało się stworzyć modelu, który by w stu procentach potwierdzał możliwość powstania zapłonu chmury pyłowej od iskry elektrostatycznej [1, 2]. Mając

na uwadze ewentualną możliwość powstania wybuchu w filtrze tkaninowym - w ramach problemu węzłowego O9.6. o brzmieniu: "Przygotowanie i uruchomienie produkcji maszyn i urządzeń technicznych dla preferowanych systemów gospodarki żywnościowej" - podjęto pracę nad opracowaniem nowego odpylacza. W odpylaczu tym jako element filtracyjny wykorzystano aluminiowe pierścienie Białeckiego o średnicy 35 mm /rys.1/.

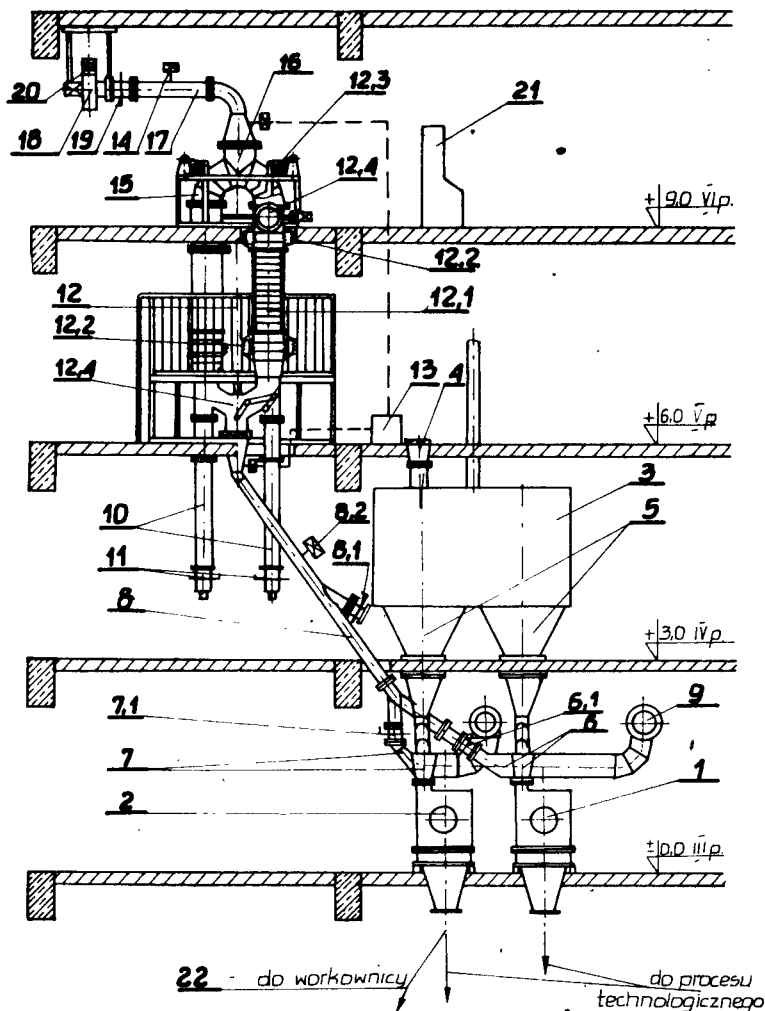


Rys.1. Aluminiowy pierścień Białeckiego /h = 35,
średnica = 35 mm, grubość blachy = 0,6 mm/

Stanowisko pilotowe zainstalowano w warunkach produkcyjnych w Wytwórni Pasz "BACUTIL" w Świeciu n/Wisłą. Schemat stanowiska przedstawiono na rys.2. Składa się ono z następujących podstawowych elementów:

- 1, 2 - rozdrabniacze bijakowe OMT-2 „źródło” pyłu/,
- 3 - zbiorniki surowca - materiału doświadczalnego,
- 4 - zasyp dodatkowy dla wprowadzania dodatkowego materiału doświadczalnego poza linią technologiczną,
- 8 - przewód rurowy łączący wloty pyłu z zasadniczym zespołem odpylającym,
- 12 - zasadniczy badany zespół odpylający,
- 12.1 - kolumna - wypełniona ułożonymi poosiowo pierścieniami Białeckiego ϕ 35 z blachy aluminiowej - ϕ 0,5 m ,
- 12.2 - zawieszenie sprężyste kolumny,
- 12.3 - podzespół regulacji ciągłej skoku wstrząsania,
- 12.4 - podzespoły klap sterujących strumieniem powietrza na przemian do lewej i prawej kolumny,
- 13 - pomiar oporów hydrodynamicznych,
- 14 - pomiar prędkości strumienia w kolumnie,
- 20 - wentylator,
- 21 - zespół sterujący elektronicznie częstotliwość wstrząsania w sposób ciągły, umożliwiający sterowanie podzespołami poprzez czujnik przekroczenia zapylenia, sterowanie czasowe a także

ręczne.



Rys.2. Stanowisko pilotowe odpylacza pierścieniowego

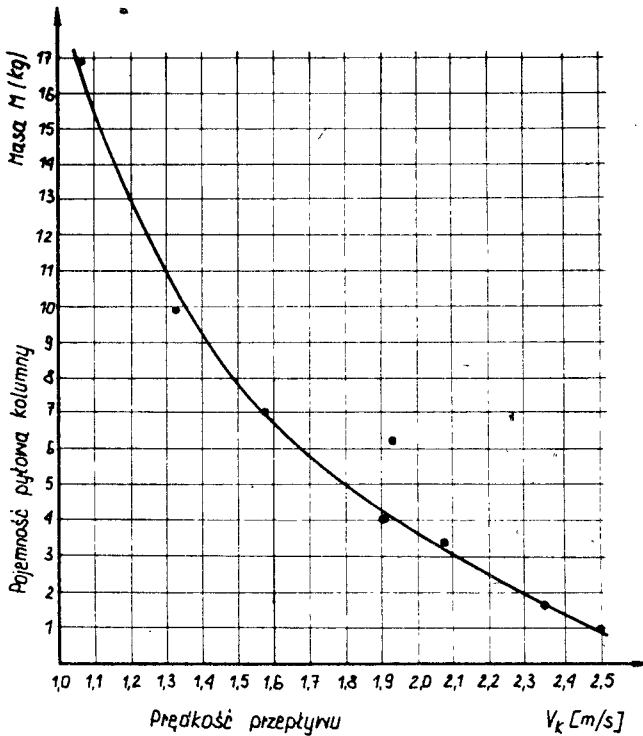
Głównym celem pracy było ustalenie optymalnych parametrów odpylacza oraz określenie skuteczności odpylania dla wytypowanych pyłów i mieszanek paszowych.

Podczas wykonywanych badań mierzono następujące parametry:

- 1/ pojemność kolumny /masa pyłu zatrzymanego do momentu przepuszczenia pyłu przez kolumnę/ ,
- 2/ opór kolumny,
- 3/ stopień regeneracji,
- 4/ koncentrację pyłu za odpylaczem - skuteczność odpylania.

Na pojemność kolumny wpływa rodzaj pyłu, wysokość warstwy pierścieni w kolumnie, stężenie mieszaniny pyłowo-powietrznej-przepływającej przez kolumnę, jak również prędkość przepływu powietrza.

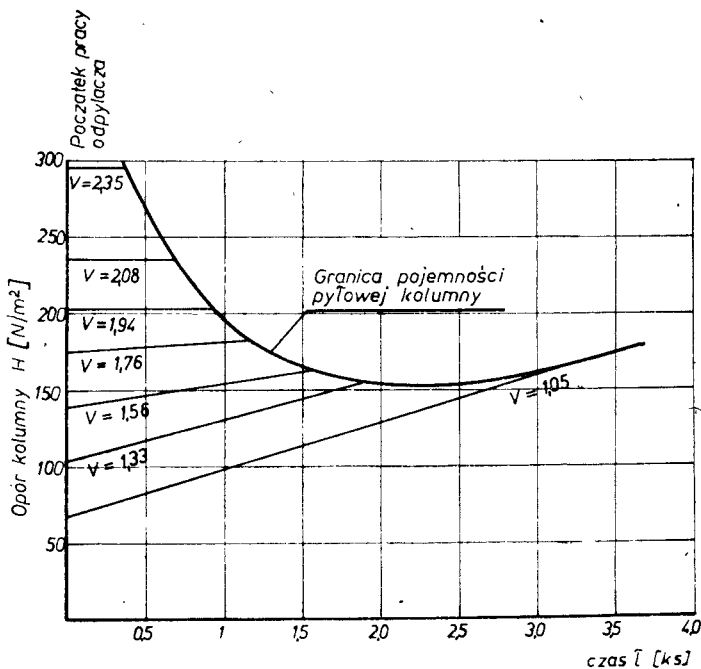
Wpływ prędkości przepływu powietrza przez kolumnę na jej pojemność pyłową obrazuje rys.3.



Rys.3. Wpływ prędkości przepływu powietrza przez kolumnę na jej pojemność pyłową

Za pojemność pyłową przy danej prędkości przepływu przyjęto masę pyłu osiadłego na pierścieniach do momentu widocznego pylenia z kanału za wentylatorem. W przypadku pyłu kukurydzy przy prędkości 1,0 m/s pojemność ta wynosi około 18 kg, oznacza to, że kolumna może pracować bez regeneracji przy stężeniu 15 g/m^3 około 90 minut, natomiast przy prędkości 1,5 m/s około 40 minut. Dla mąki pszennej 850 oraz pyłu jęczmienia wyniki są podobne. W przypadku takich pyłów jak mączka rybna, polfamiks czy też dwufosforan już przy prędkości 1 m/s część pyłu przechodzi przez odpylacz. Im większe stężenie tym pojemność pyłowa jest większa, jednakże należy pamiętać, że wraz ze zwiększeniem stężenia czas pracy kolumny bez regeneracji maleje. Przy wysokości warstwy pierścieni od 0,25 do 0,50 m pojemność była niewielka. Podczas przeprowadzonych badań ustalono, że jako minimalną wysokość warstwy pierścieni w kolumnie należy przyjąć 0,75 m.

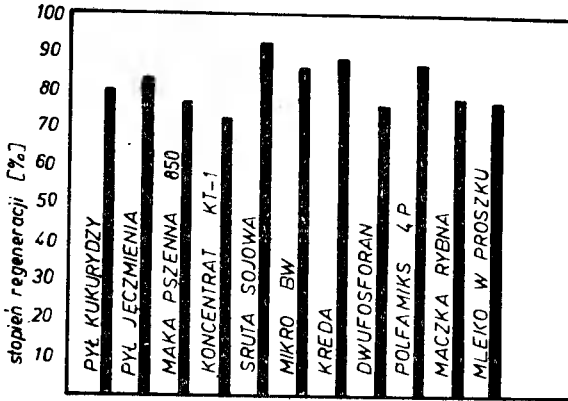
Rys.4 obrazuje zależność oporu warstwy pierścieni od prędkości przepływu przez odpylacz oraz czasu pracy do regeneracji, przy stężeniu 15 g/m^3 . Oczywiście przy większych stężeniach opór ten będzie szybciej wzrastał ale do tej samej wartości końcowej, ponieważ linią ograniczającą tutaj jest krzywa pojemności pyłowej kolumny.



Rys.4. Zależność oporu kolumny od prędkości przepływu oraz czasu pracy odpylacza /pył kukurydzy, stężenie mieszaniny pyłowo-powietrznej 15 g/m^3 , wysokość warstwy pierścieni 1 m/

Na szybkość regeneracji wpływa rodzaj pyłu, a przede wszystkim parametry pracy podczas regeneracji. Chodzi tutaj o skok oraz częstotliwość wstrząsów. Z jedenastu przebadanych pyłów najtrudniej regeneruje się kolumna w przypadku mleka w proszku. Na rys.5 porównano stopnie regeneracji dla przebadanych pyłów. Za sto procent przyjęto ilość pyłu zregenerowanego w okresie 10-ciu minut. Podczas przeprowadzonych badań nad regeneracją nasunęło się pytanie, czy przy określonych parametrach regeneracji /skok, częstotliwość, czas/ może dojść do całkowitego i trwałego wypełnienia pierścieni pyłem. Odpowiedzią na tak postawione pytanie są wyniki badań zamieszczone na rys.6. Linia łamana na tym rysunku łączy stopnie regeneracji w następujących po sobie cyklach, natomiast linią ciągłą oznaczono średni przyrost stopnia regeneracji. Stężenie mieszaniny pyłowo-powietrznej wynosiło 15 g/m^3 . Łączna masa podawanego pyłu w jednym cyklu stanowiła

5 kg. Przy częstotliwości 6/s i skoku 6 mm krzywa średniej regeneracji osiągnęła 100% w 16 cyklu.

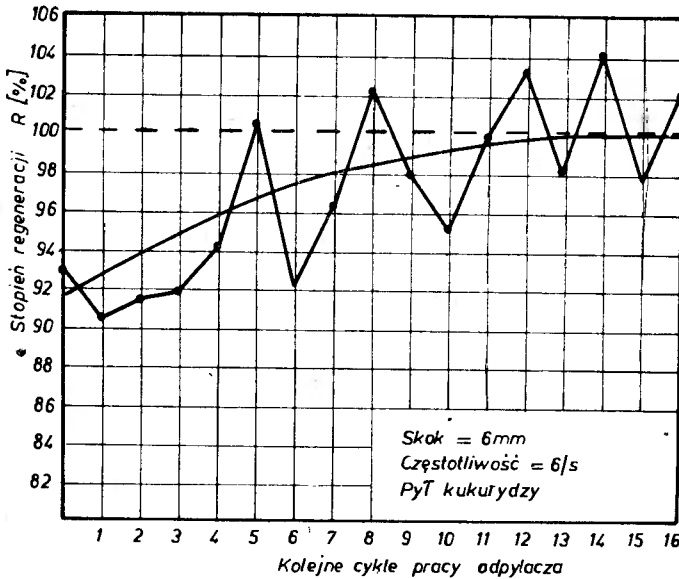


Skok = 6 mm

Częstotliwość = 6/s

Czas regeneracji = 180 s

Rys.5. Stopnie regeneracji dla poszczególnych pyłów



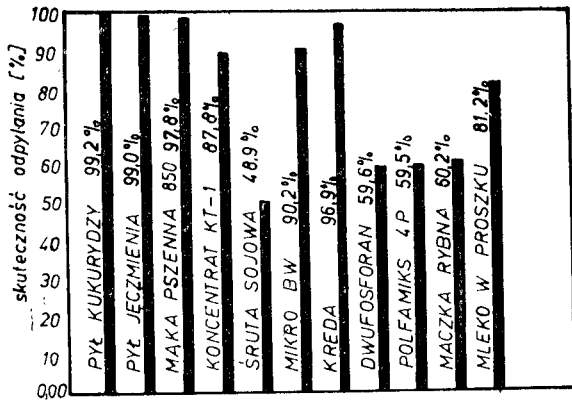
Skok = 6 mm

Częstotliwość = 6/s

Pył kukurydzy

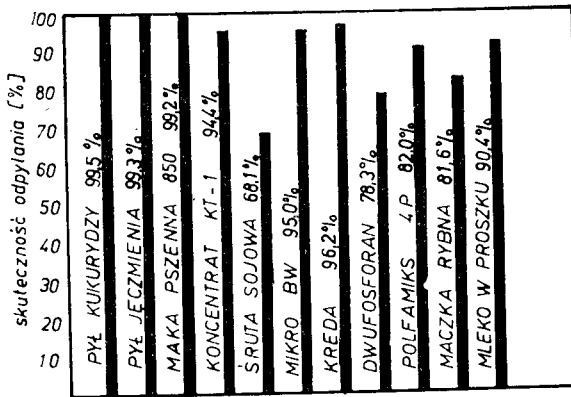
Rys.6. Wpływ kolejnych cykli pracy adpylacza na stopień regeneracji. Stężenie 15 g/m^3 , masa dozowana 5 kg, czas dozowania 27 minut, czas regeneracji 3 minuty

Na rys.7 zamieszczono wyniki skuteczności odpylania przy prędkościach przepływu przez kolumnę 1,56 m/s i 1,05 m/s.



Prędkość przepływu w kolumnie $v_k = 1,56 \text{ m/s}$

Średnie stężenie pyłu $c = 15 \text{ g/m}^3$



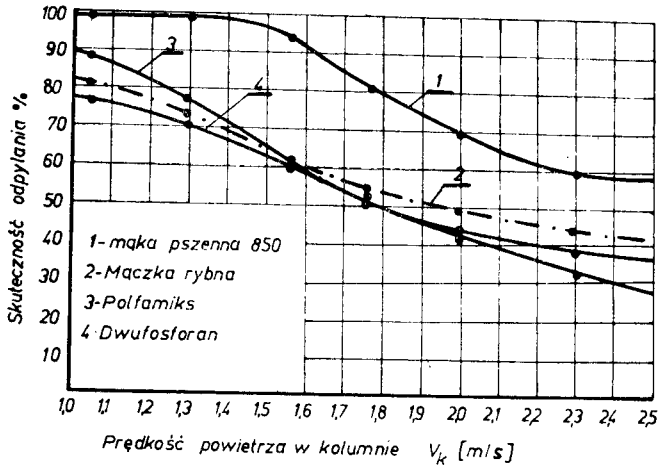
Prędkość przepływu w kolumnie $v_k = 1,05 \text{ m/s}$

Średnie stężenie pyłu $c = 15 \text{ g/m}^3$

Rys.7. Porównanie skuteczności odpylania różnych pyłów

Przez skuteczność odpylania rozumie się tu stosunek masy pyłu zatrzymanej w kolumnie do masy pyłu wprowadzonej. Skuteczność bliższą 100 % stwierdzono dla pyłu kukurydzy, jęczmienia i mąki pszennej 850, natomiast najniższą skuteczność odpylacz wykazywał w przypadku pyłu soi, dwufosforanu, polfamiks i mączki rybnej.

Zależność skuteczności odpylania od prędkości przepływu mieszaniny przez odpylacz ilustruje rys.8.



Rys.8. Zależność skuteczności odpylania od prędkości przepływu mieszaniny przez odpylacz /stężenie 15 g/m^3 /

W n i o s k i

- Pojemność kolumny dla pyłów zbożowych przy prędkościach przepływu do $1,5 \text{ m/s}$ wynosi kilka kilogramów, co przy stężeniu pyłu występującym najczęściej w instalacjach aspiracyjnych / 15 g/m^3 / pozwala na czas pracy kolumny bez regeneracji przez około 30 minut.
- Za optymalne wartości parametrów skoku i częstotliwości należy uznać odpowiednio 6 mm i $6/\text{s}$.
- Przebadany odpylacz dla poszczególnych pyłów wykazywał różną skuteczność:
 - pyły zbożowe takie jak pył kukurydzy, jęczmienia, mąki pszennej 850 wykazuje skuteczność bliską 100% ,
 - gotowa pasza - koncentrat KT-1 mikra na nośniku oraz kreda - 90% ,
 - najniższą skuteczność, bo około $50-60\%$ stwierdzono w przypadku śruty sojowej, pyłów mineralnych jak dwufosforan, polfamiks oraz mączki rybnej.
- Dalsze badania powinny zmierzać do zwiększenia skuteczności odpylania szczególnie w przypadku pyłów mineralnych oraz do zmian konstrukcyjnych układu regeneracji prowadzących do zmniejszenia poziomu hałasu i drgań przenoszonych na podstawę odpylacza.

L i t e r a t u r a

- [1] Ambroziak Z. i inni: Zagrożenie wybuchem mieszanin pyłowo-powietrz-

- nych w piekarstwie. Biuletyn Informacyjny "Zagadnienia Piekarstwa", Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego, BOINTE, Warszawa 1979, 1, 21
- [2] Bach S.: Elektryczność statyczna w aspekcie zagrożeń wybuchowych. Biuletyn Informacji Technicznej Komendy Głównej Straży Pożarnych, Warszawa 1980, 3-4, 176
- [3] Ostrowski T.: Wybuchy pyłów w przemyśle. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1980, s.34
- [4] Theimer O.F.: Zur Mehlstaub-Explosion der Bremer Rolandmühle. Die Mühle + Mischfuttertechnik 1980, 40, 523, München BRD

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF BIAŁECKI DEDUSTING RINGS IN FOOD INDUSTRY

Summary

The work presents a present situation in Polish food industry, especially in conf-feed branch as regards excess dustiness hazard. The introduction of a dedusting device with the use of Białecky rings, patented in Poland, is an attempt at solving the problem. A pilot stand for testing operation parameters of the deduster was made. There were obtained positive results of filtration for corn dust and flour with energy consumption several times less than in case of cloth filters and centrifugal separators-cyclones.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕЦ БЯЛЭЦКОГО ДЛЯ ПЫЛЕОЧИСТКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Резюме

В публикации представлено актуальное положение в польской пищевой промышленности, а особенно опасности в зерновой и кормовой со стороны чрезмерной запыленности.

Попытка решения этой проблемы заключается в введении запатентованного в Польше устройства для пылеочистки используя кольца Бялэцкого.

Установлен стенд исследования параметров работы этого пылеуловителя, получены положительные результаты фильтрации для зерновой пыли и муки с одновременным значительно меньшим расходом энергии нежели в тканевых фильтрах и центробежных сепараторах-пылеосадителях.



Jerzy Ciucias
Zbigniew Kikiewicz
Janusz Wejnowski

BADANIA NAD DOBREM PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH
PROCESU GRANULOWANIA PASZ

Przedstawiono wyniki badań w warunkach przemysłowych nad procesem granulowania mieszanki paszowej DKA-finiszera przez prototyp granulatora 20G-1.

Określono zależności między energochłonnością procesu i jakością granulatu a podstawowymi parametrami fizycznymi mieszanki paszowej. Wyznaczono wartości optymalne oraz dokonano oceny jakości pracy granulatora w oparciu o ujęcie graficzne przebiegu procesu granulowania.

1. Wstęp

Krajowy przemysł paszowy powstał z chwilą powołania do życia w 1948 r. przedsiębiorstwa "Bacutil". Jego szybki rozwój przypada na lata siedemdziesiąte, szczególnie po decyzji Prezydium Rządu nr 16/75.

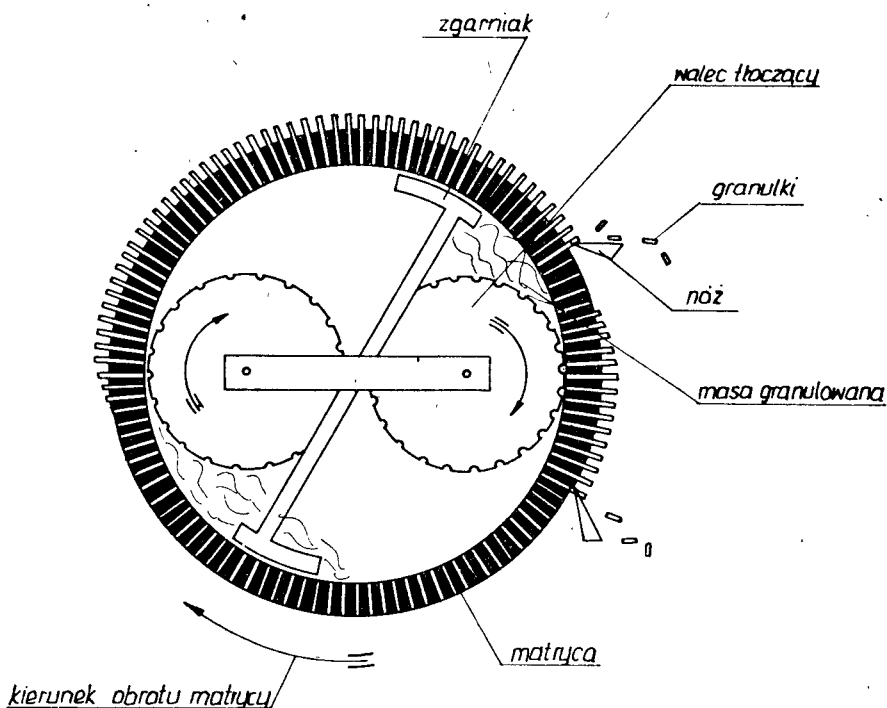
Podstawowym produktem przemysłowych wytwórni pasz są mieszanki paszowe, czyli kompozycje szeregu składników zapewniających - obok intensywnego przyrostu wagi zwierząt - zapobieganie chorobom. Mieszanki paszowe występują w dwóch postaciach: luźnej i granulowanej.

Granulowanie jest formą uszlachetniania mieszanki luźnej polegającą na aglomeracji cząstek sypkich paszy do postaci granul o żądanych wymiarach i kształtach. Proces ten odbywa się w granulatorach na drodze przetłaczania cząstek za pomocą rolek /walców/ przez otwory matrycy [1]. Na rys.1 przedstawiono zasadę pracy układu roboczego granulatora.

Granulowane mieszanki paszowe mają szereg zalet, z których najważniejsze to pełne wykorzystanie wartości pokarmowych pasz, wyższa efektywność żywieniowa, wydłużenie czasu przechowywania, zapobieganie zjawiskom samosortowania i pylenia, wzrost gęstości usypowej itp.

Krajowe doświadczenia w produkcji granulatorów są niewielkie. Pierwszy polski granulator powstał na początku lat siedemdziesiątych w gdańskim "Spomaszu"; z niewielkimi zmianami produkowany jest do dnia dzisiejszego. Dynamiczny rozwój przemysłu paszowego w Polsce wymaga nowocześniejszych maszyn. Dlatego też w roku 1978, w nowopowstałym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Maszyn i Urządzeń Przetwórstwa Zbożowo-Paszowego i Piekarniczego w Bydgoszczy, opracowano dokumentację techniczną i zbudowano pro-

totyp nowego granulatora 20G-1, a następnie 20G-2.



Rys.1. Zasada pracy układu robocznego granulatora

W ramach współpracy ATR z Kombinatem "Spomasz" i wspomnianym OBR-em pracownicy Zakładu Eksploatacji Maszyn przeprowadzili badania tych prototypów, objęte problemem węzłowym 09.6.3 a [2].

2. Metodyka badań i stanowisko badawcze

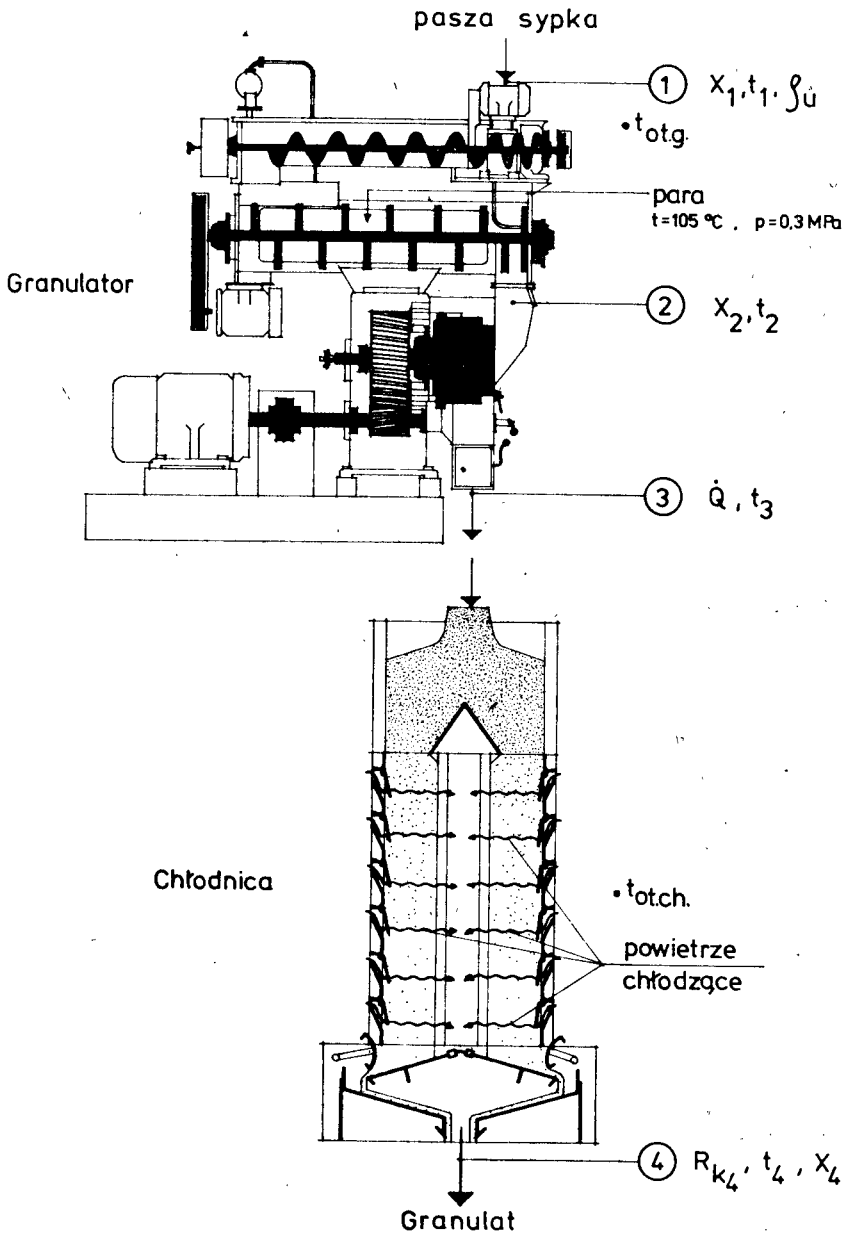
Celem badań było określenie jednostkowego zużycia energii oraz jakość granulatu w funkcji parametrów procesu granulowania. Będzie to stanowiło podstawę do określenia sposobu racjonalnego użytkowania granulatora 20G-1.

Badania zostały przeprowadzone w Wytwórni Pasz Świecie /n.Wisłą na linii granulowania o nominalnej wydajności 10 Mg/h, w której zainstalowano granulator 20G-1. Schemat obiektu badań oraz punkty pomiarowe przedstawiono na rys.2.

Poniżej podano ważniejsze parametry techniczne badanego granulatora 20G-1 [3]:

- wydajność nominalna /granule ϕ 3,5 mm/ - 10 Mg/h
- moc silnika głównego - 125 kW

- obroty matrycy - 235 obr/min.
- wymiary matrycy - ϕ 560 x ϕ 450 x 130 mm
- liczba otworów matrycy - 22 rzędy x 210 = 4620
- średnica otworów - ϕ 4,8 mm
- dwie rolki - ϕ 200 x 136 mm



Rys.2. Schemat obiektu badań - punkty pomiarowe

Badania przeprowadzono przy stałym obciążeniu silnika głównego, wynoszącym 125 kW.

W trakcie badań dla danej mieszanki paszowej zmieniano strumień pary wodnej i strumień paszy. Po zadaniu parametrów pracy granuladora i uzyskaniu przez niego równowagi cieplnej przeprowadzono pomiary: temperatury i wilgotności paszy przed i po jej skondycjonowaniu parą wodną t_1 , t_2 i X_1 , X_2 ; wydajności granuladora Q oraz trwałości kinetycznej granulatu za chłodnicą R_k .

Trwałość kinetyczną R_k określono metodą Pfostá wg normy BN-71/9160-03 w następujących warunkach: ilość powtórzeń - 2, czas od momentu pobrania próby do wykonania oznaczenia - 30 minut, masa próby - 500 g, czas próby - 10 minut.

Strumień dozowanej do mieszalnika pary wodnej określano na podstawie różnicy wilgotności paszy po skondycjonowaniu parą X_2 i paszy "suchej" X_1 wchodzącej do granuladora. Wydajność granuladora określano metodą wagową: masa próby odniesiona do czasu jej pobierania.

Temperaturę mieszanki paszowej mierzono metodą oporową przy wykorzystaniu typowych czujników rezystancyjnych.

Wilgotność mieszanki paszowej określono metodą konduktancyjną przy pomocy specjalnie przystosowanego do tego celu miernika N-197.

Podczas pomiarów rejestrowano pobór mocy przez silnik główny granuladora.

W tabeli 1 przedstawiono skład surowcowy mieszanki paszowej DKA-finisher użytej do badań, natomiast w tabeli 2 niektóre początkowe własności fizyczne tej paszy w postaci sypkiej.

Tabela 1

Skład surowcowy mieszanki DKA-finisher

Surowiec	Wagowy udział procentowy
kukurydza	67,5
śruta sojowa	26,0
mączka rybna	3,0
kreda	1,2
fosforan	1,3
polfamix DKA-finisher	1,0

Tabela 2

Początkowe własności fizyczne mieszanki DKA-finisher

Wielkość fizyczna	Wartość
temperatura t_1	24 - 27 °C
wilgotność X_1	15 %
masa usypowa ρ_{u1}	530 kg/m ³

3. Wyniki badań

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi proces od strony technicznej są energochłonność E wyrażająca zużycie energii na 1 kg produktu i wydajność Q , natomiast od strony jakości produktu trwałość kinetyczna R_k . Wykresy na rys.rys. 3, 4, 5 i 6 podają zależności trwałości kinetycznej R_k i energochłonności E_g od temperatury t_2 i wilgotności X_2 mieszanki paszowej skondycjonowanej parą wodną.

Pod pojęciem energochłonności procesu granulowania E_c można wyrazić kilka składników dających poniższą zależność:

$$E_c = E_g + E_m + E_s + E_p \quad (\text{kJ/kg})$$

gdzie:

E_g - energochłonność prasowania i przetłaczania paszy przez otwory matrycy; kJ

E_m - energochłonność mieszania pary z paszą; kJ

E_p - energochłonność zasilania paszą; kJ

$$E_s = \frac{\dot{D} \cdot i_s}{\dot{Q}} \quad - \text{ energochłonność zasilania parą; kJ}$$

\dot{D} - strumień masy pary; kg/h

i_s - entalpia pary; kJ/kg

\dot{Q} - wydajność procesu; kg/h

Jak widać z wykresów energochłonność E_g maleje ze wzrostem temperatury i wilgotności, osiągając minimum dla wartości $t_2 = 80^\circ\text{C}$ i $X_2 = 18\%$.

Całkowita energochłonność procesu, uwzględniająca pozostałe składniki rośnie ze wzrostem tych parametrów. Jest to spowodowane dodawaniem pary wodnej, niosącej ze sobą duży udział energii.

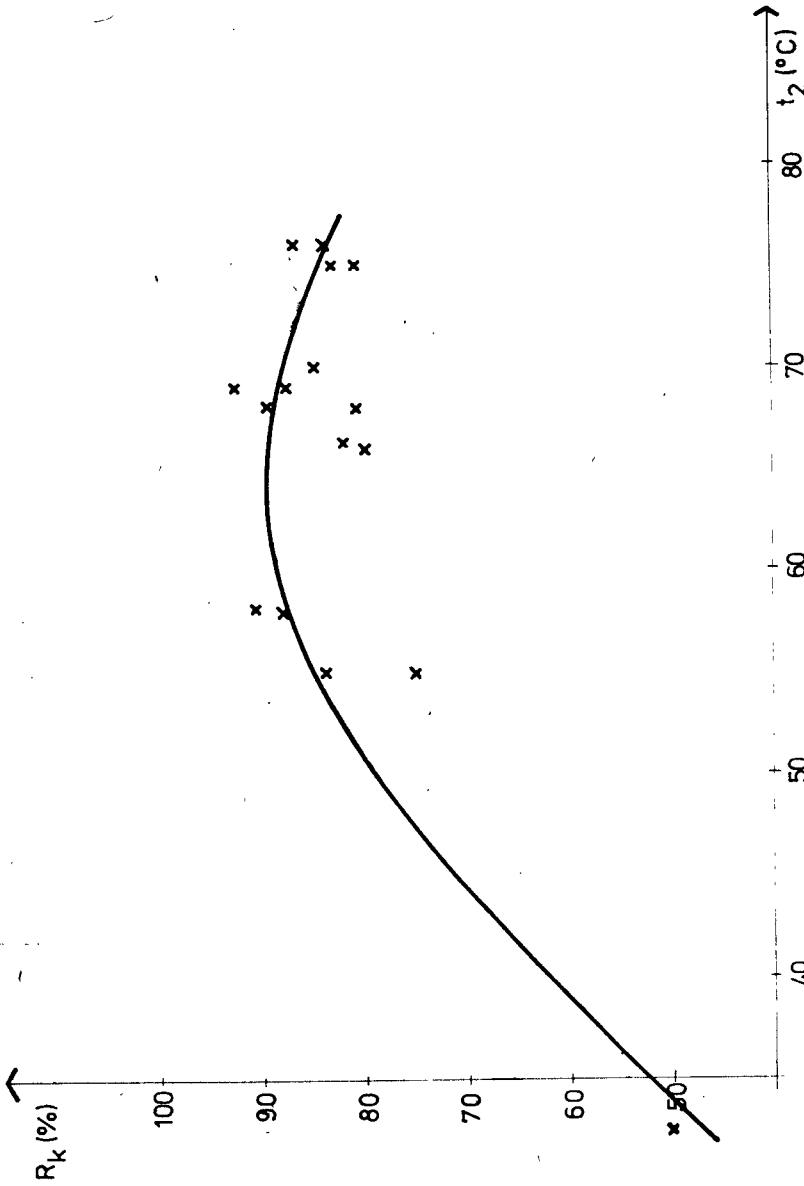
Badania wykazały, że w ogólnym bilansie energii zużywanej w procesie granulowania, udział energii elektrycznej na napęd silników /głównego, mieszarki i podajnika/ stanowi 20%. Pozostałe 80% to energia doprowadzana z parą wodną.

Całkowita energochłonność granulatora przy prowadzeniu procesu z minimum E_g może dochodzić do 120 kJ/kg. W wielkości tej tkwią poważne rezerwy, które w wyniku szczegółowych badań granulatorów mogą zostać wykorzystane.

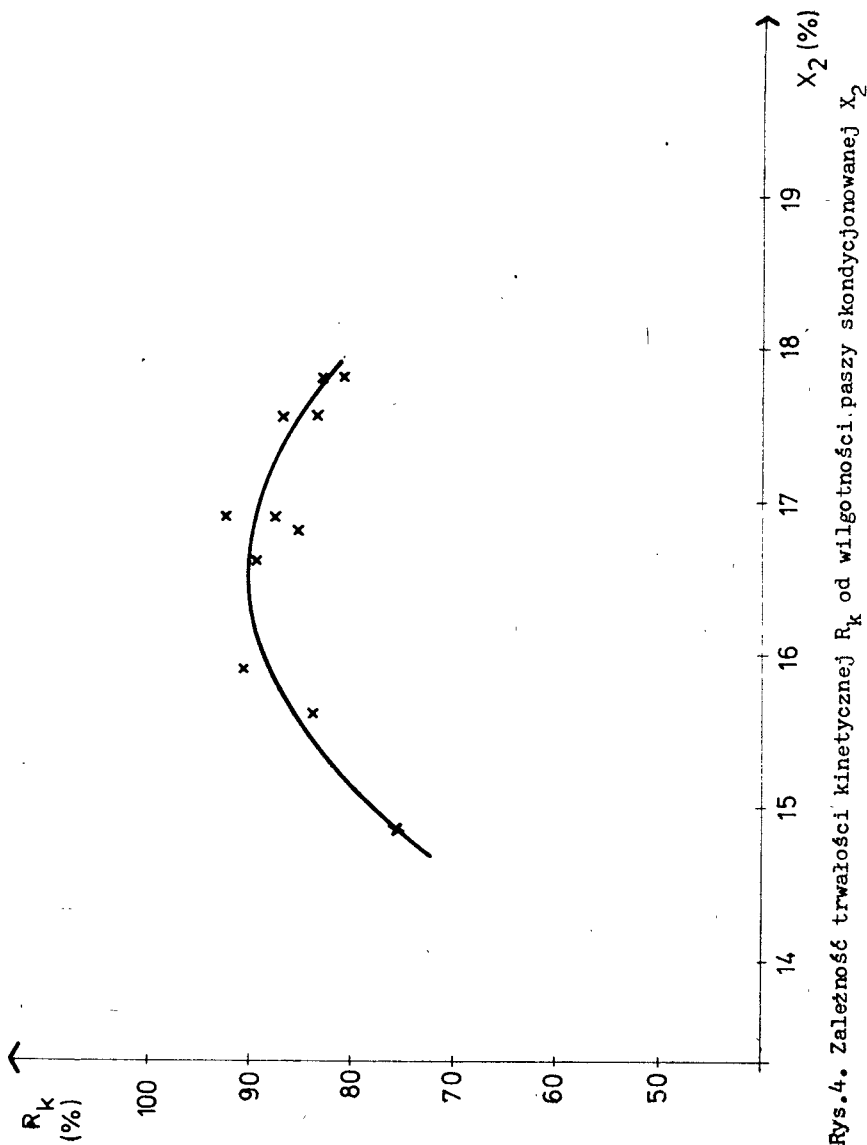
Trwałość granulatu osiąga swoje maksimum przy parametrach $t_2 = 64^\circ\text{C}$ i $X_2 = 16,5\%$ /rys.3 i 4/. Parametry te są znacznie niższe niż wymagane dla minimum E_g .

Wobec powyższego proces granulowania można prowadzić dwójako: uzyskując minimum E_g względnie maksimum R_k .

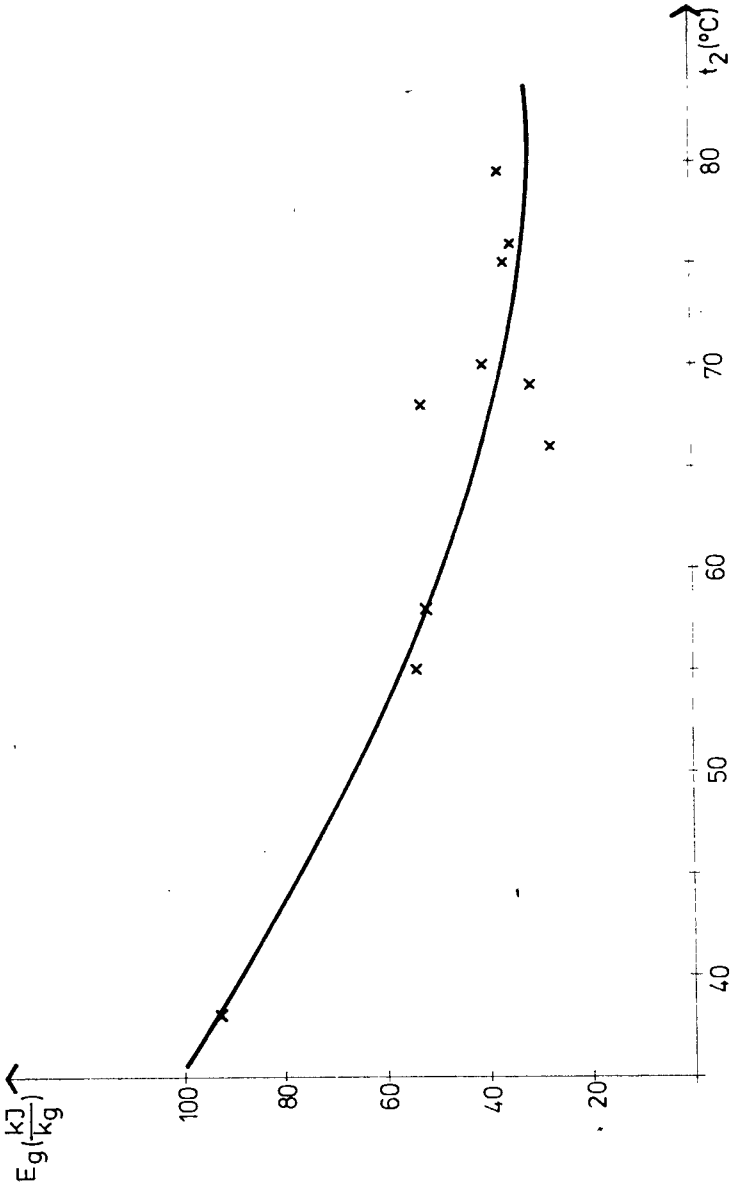
Przeprowadzone badania umożliwiły sporządzenie tzw. wykresu eksploatacyjnego przedstawionego na rys.7. Umożliwia on racjonalne prowadzenie procesu granulowania.



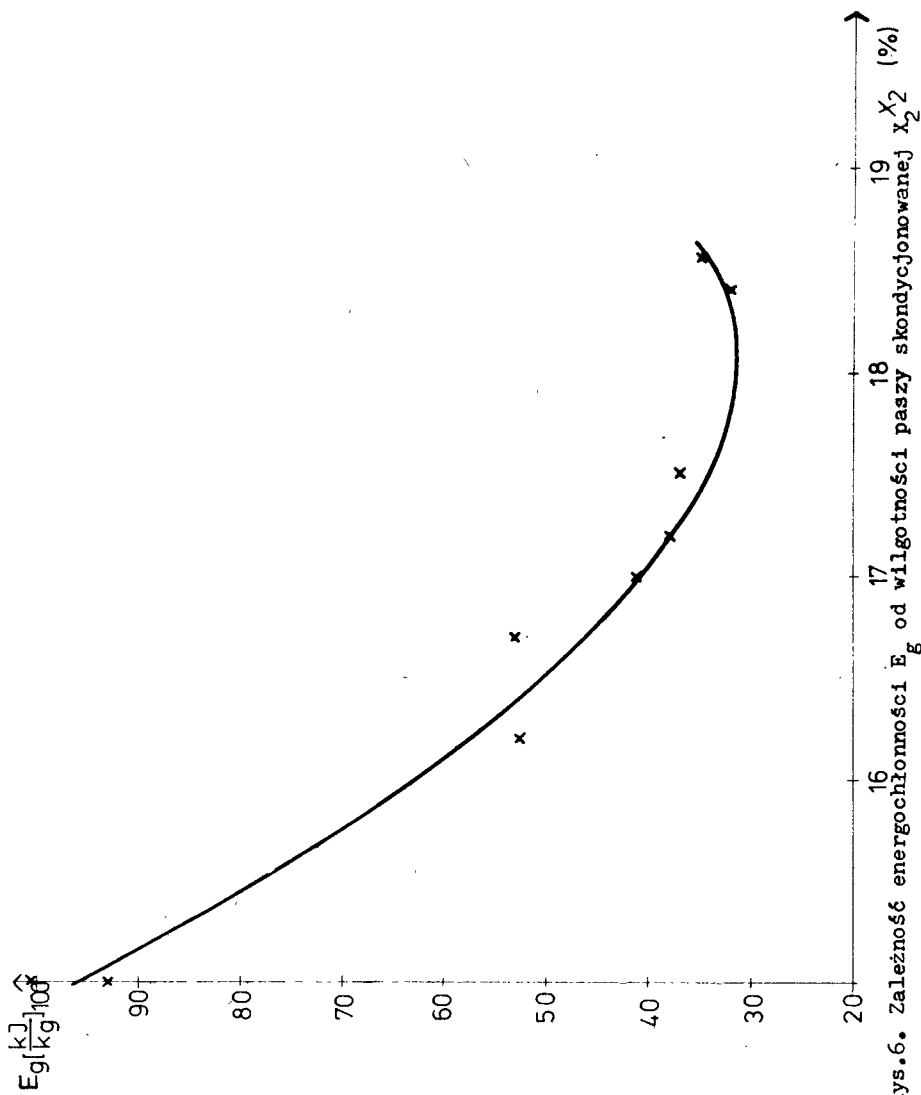
Rys.3. Zależność trwałości kinetycznej R_k od temperatury paszy skondycjonowanej t_2



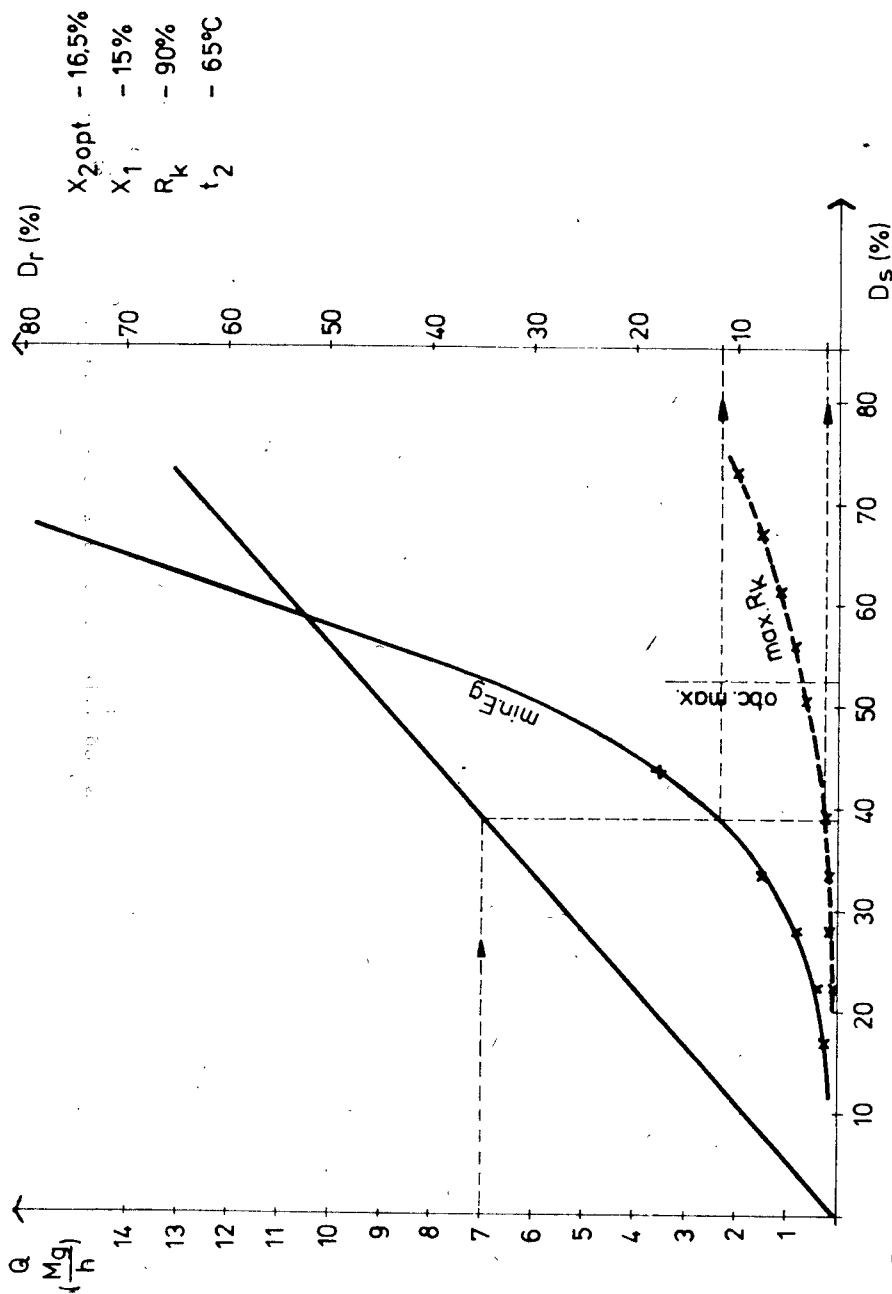
Rys. 4. Zależność trwałości kinetycznej R_k od wilgotności paszy skondycjonowanej X_2



Rys.5. Zależność energochłonności E_g od temperatury paszy skondycjonowanej t_2



Rys. 6. Zależność energochłonności E_g od wilgotności paszy skondycjonowanej X_2 [%]



Rys.7. Wykres eksploatacyjny granulatora 20G-1 dla mieszanki paszowej DKA-finisher

Wykres ten sporządzony został dla granulatora 20G-1 i mieszanki paszowej DKA-finiszer, przy danym układzie zasilania parą charakterystycznym dla tej instalacji. Konstrukcja granulatora umożliwia operatorowi sterowanie z pulpitu dwiema wielkościami: strumieniem paszy D_s i pary D_r . Krzywa $\max.R_k$ na rys.7 została wyznaczona dla $X_2 = 16,5\%$ i $t_2 = 65^\circ\text{C}$, natomiast krzywa $\min.E_g$ dla $X_2 = 18\%$ i $t_2 = 80^\circ\text{C}$.

Korzystając z wykresu operator dla żądanej wydajności Q dobiera dozowanie paszy D_s , a następnie, korzystając z krzywych $\min.E_g$ lub $\max.R_k$, znajduje wymagane otwarcie zaworu parowego D_r .

4. Wnioski

1. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zużycie jednostkowe energii elektrycznej przez zespół granulujący E_g maleje ze wzrostem dodatku pary wodnej /tym samym parametrów mieszanki paszowej t_2 i $X_2/$ i może osiągnąć wartość trzykrotnie niższą niż przy granulowaniu bez pary.
2. Stwierdzono, że granulowanie z parą wodną jest bardzo energochłonne; całkowita energochłonność E_c może być 2,5-krotnie wyższa w porównaniu z granulowaniem "na sucho".
3. Wyznaczono wartości parametrów mieszanki skondycjonowanej, dla których energochłonność E_g przy granulowaniu mieszanki paszowej DKA-finiszer jest minimalna /dla DKA-finiszer/:
 $t_2 = 80^\circ\text{C}$, $X_2 = 18\%$
 oraz parametry, przy których granulat osiąga maksymalną trwałość kinetyczną R_k ; są to
 $t_2 = 63^\circ\text{C}$, $X_2 = 16,5\%$
4. Opracowano wykres eksploatacyjny umożliwiający sterowanie pracą granulatora w/g dwóch wariantów:
 - prowadzenie procesu z maksymalną trwałością granulatu nie osiągając minimum jednostkowego zużycia energii E_g ,
 - prowadzenie procesu z minimum E_g nie osiągając maksymalnej wartości granulatu R_k .
5. Zważywszy rosnące koszty surowców energetycznych należy prowadzić dalsze badania mające na celu znalezienie mediów mogących skutecznie zastąpić w działaniu parę wodną.

Literatura

- [1] Ciucias J.: Rola, budowa i użytkowanie nowoczesnych granulatorów w przemyśle paszowym. Konferencja SiTSpół. NOT Toruń 6-7.XII.1979

- [2] Kikiewicz Z., Wełnowski J., Ciucias J.: Badania granulatora 2OG-2 o wydajności 5 Mg/h i optymalizacja procesu granulowania ze względu na pobór mocy i jakość granulatu z dodatkiem pary wodnej. Praca BZ 69/76, Bydgoszcz 1979 /nie publikowana/
- [3] Tymczasowa instrukcja obsługi granulatora 2OG-1. OBR Maszyn i Urządzeń Przetwórstwa Zbożowo-Pasowego "Spomasz" w Bydgoszczy

AN INVESTIGATION INTO SELECTION OF SERVICE PARAMETERS OF FEED GRANULATING PROCESS

Summary

There were presented the results of an investigation into the process of granulating feed mixture DKA-finisher by a prototype of the granulator 2 OG-1 under service conditions.

Dependences among the energy consumption during the process and granulates quality, and basic physical parameters of feed mixture were determined. Optimal values were defined as well as a quality evaluation of the work of the granulator was made on the basis of a graphical approach toward the granulating process.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДБОРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

Резюме

Представлены результаты исследований в промышленных условиях над процессом гранулирования кормовой мешанки ДКА - финишер прототипом гранулятора 2 OG -I.

Определены зависимости между энергоёмкостью процесса и качеством гранулята и основными физическими параметрами кормовой мешанки. Определено оптимальное значение и дана оценка качества работы гранулятора на графической основе протекания процесса гранулирования.

Stanisław Dymski
Witold Łoś
Jerzy Steinborn

PEWIEN PRZYPADEK ZMĘCZENIOWEGO ZNISZCZENIA
CZOPA RAMY PILARKI DO DREWNA DTGA - 63

Wykonano badania metaloznawcze oraz analizę rozwiązania konstrukcyjnego pary kinematycznej czopa ramy - łoża korbowodu.

Stwierdzono, że zasadniczą przyczyną zmęczeniowego zniszczenia czopa była korozja cierna.

1. Wstęp

Losowy rozkład obciążeń oraz złożony przebieg procesów zużyciowych zachodzących w obiektach podczas ich eksploatacji sprawiają, że zaprojektowanie i wykonanie układu materialnego o wymaganej niekiedy bardzo wysokiej niezawodności jest w praktyce trudne do zrealizowania. Wytworzenie pilarek do drewna o wysokiej niezawodności jest tym bardziej trudne z uwagi na brak kompleksowych badań w tym zakresie. Aktualnie największym i jedynym w Polsce wytwórcą pilarek jest Fabryka Obrabiarek do Drewna w Bydgoszczy. W niniejszym opracowaniu wykazano, że postać geometryczna tulei ustalającej położenie łoża korbowodu na czopie belki ramy była przyczyną powstania korozji czarnej, co w konsekwencji doprowadziło do awarii pilarki.

2. Przedmiot i zakres badań

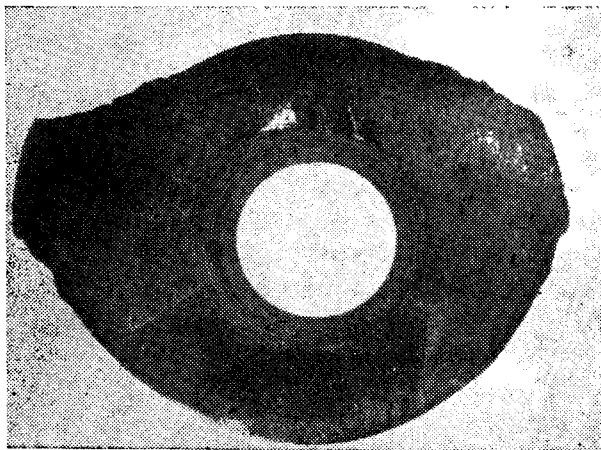
Pilarki do drewna są to ciężkie maszyny o wyraźnym obciążeniu dynamicznym. Przedmiot badań stanowiła rama pilowa, która w czasie eksploatacji uległa awarii wskutek zniszczenia czopa jej belki górnej. Zespół ramy o masie 500 kg wykonuje w czasie eksploatacji ruch posuwisto-zwrotny o skoku 600 mm przy średniej prędkości 6,6 m/s. Rama napędzana jest silnikiem elektrycznym poprzez układ korbowy i wykonuje 330 skoków na minutę. Dla ustalenia przyczyn awarii górną belkę ramy wraz z czopem tworzącym parę kinematyczną z łożem korbowodu oraz elementami z nimi współpracującymi poddano analizie oraz przeprowadzono badania metaloznawcze. W zakresie badań metaloznawczych zrealizowano badania metalograficzne makroskopowe,

w szczególności makrofraktografię powierzchni przełomów i powierzchni zewnętrznych, badania metalograficzne mikroskopowe i pomiary twardości.

3. Omówienie wyników badań

Pilarka do drewna uległa awarii po przepracowaniu około 1700 h. Zespół ramy wykonał do momentu zniszczenia około $34 \cdot 10^6$ cykli roboczych. Liczba ta znacznie przekracza umowną graniczną liczbę cykli zmian naprężeń. Na podstawie badania mikroskopowego i twardości ustalono, że na belkę górną zastosowano stal konstrukcyjną w gatunku 45, a więc przewidywaną dokumentacją techniczną. Badania makroskopowe i mikroskopowe nie ujawniły istnienia wad metalurgicznych, walcowniczych, kuźniczych, obróbki cieplnej lub innych, które mogłyby w sposób zdecydowany wpłynąć na pęknięcie czopa belki.

Pęknięcie czopa belki górnej wystąpiło w miejscu karbu technologicznego. Płaszczyzna przełomu w zasadzie była prostopadła do osi czopa. Rys.1 przedstawia obraz złomu czopa.



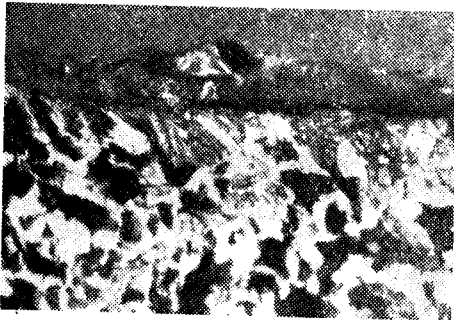
Rys.1. Złom czopa belki górnej

Analiza fraktograficzna powierzchni przełomu czopa wykazała, że jego niszczenie zaczynało się od powierzchni zewnętrznej. Na rys.1 widoczne są ogniska zmęczenia w górnej i dolnej części obrazu. Bardziej zdecydowanie zarysowane jest ognisko zmęczeniowe w dolnej części obrazu. W strefach zmęczeniowych nie obserwuje się linii zmęczeniowych. Oględziny powierzchni walcowej czopa za pomocą mikroskopu stereoskopowego wykazały istnienie tuż przy początku złomu zmęczeniowego wżeru, biegnącego prawie na całym jego obwodzie. Rys.2 przedstawia obraz powierzchni walcowej czopa z widocznym charakterystycznym ubytkiem materiału czopa.



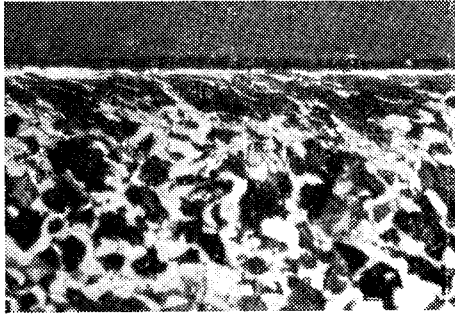
Rys.2. Powierzchnia walcowa czopa
w miejscu, w którym znajdowała się krawędź tulei.
Pow. 10 x

Rys.3 przedstawia strukturę stali w strefie podpowierzchniowej wżeru obwodowego. Na obrazie widoczna jest wklęsłość w miejscu wystąpienia wżeru.



Rys.3. Mikrostruktura strefy podpowierzchniowej
czopa w miejscu wystąpienia wżeru.
Pow. 250 x

W celu porównania struktur stref podpowierzchniowych na rys.4 przedstawiono obraz struktury z miejsca, w którym brak jest wżeru. Na rysunku tym ziarna stali w strefie podpowierzchniowej są ukierunkowane zgodnie z przebiegiem obróbki skrawaniem - szlifowaniem. Porównując oba te rysunki wyraźnie widać, że ukierunkowana struktura w miejscu wystąpienia wżeru uległa częściowej likwidacji. Na powierzchni wżeru zaobserwowano ślady tlenków. Ubytek materiału na powierzchni walcowej czopa będący początkiem złomu zmęczeniowego powstał w wyniku wystąpienia w tym miejscu efektu krawędziowego.



Rys.4. Mikrostruktura strefy powierzchniowej czopa.
Pow. 250 x

Osadzona luźno na czopie stalowa tuleja dystansowa o ostrej wewnętrznej krawędzi w czasie ruchu ramy przemieszczała się. Jej względne poślizgi powodowały proces ścierania warstwy wierzchniej czopa. Przy czym połączenie procesu ścierania, który w tym przypadku był dominujący i utleniania doprowadziło do wystąpienia tzw. korozji czarnej lub utleniania ciernego, a w efekcie do powstania pęknięcia zmęczeniowego [2, 3, 4].

4. Wnioski

1. Istniejące rozwiązanie konstrukcyjne pary kinematycznej jaką tworzył czop ramy z łbem korbowodu pilarki do drewna DTGA-63 spowodowało nadmierne ścieranie powierzchni współpracujących.
2. Przyczyną zniszczenia belki górnej było zmęczenie materiału wskutek wystąpienia korozji czarnej na powierzchni walcowej czopa.
3. Poprawę trwałości czopa uzyskać można zastępując ostrą wewnętrzną krawędź stalowej tulei dystansowej zaokrągleniem.

Literatura

- [1] Dietrych J., Kocańda S., Korewa W.: Podstawy konstrukcji maszyn cz.1, WNT, Warszawa 1974
- [2] Oleszycki H., Wernerowski K., Dymski S.: Przyczyny tworzenia się pęknięć wału głównego pilarki ramowej do drewna. ATR Bydgoszcz, ZN nr 26 Mechanika 11, s.89
- [3] Uhlig H.H.: Korozja i jej zapobieganie. WNT, Warszawa 1976
- [4] Wranglen G.: Podstawy korozji i ochrony metali. WNT, Warszawa 1975

A CASE OF FATIGUE FAILURE OF THE FRAME PIVOT OF THE
SAWING MACHINE DTGA-63

Summary

There were conducted physical metallurgy tests and an analysis of a constructional solution of the kinematic couple: frame pivot-big-end of connecting rod. It has been ascertained that fretting corrosion was an essential cause of the pivot fatigue failure.

СЛУЧАЙ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ШИПА РАМЫ ПИЛЫ ПО ДЕРЕВУ ДТГА - 63

Резюме

Проделаны металловедческие исследования и анализ конструкционного решения кинематического пара шипов рамы - головка шатуна. Установлено, что главной причиной усталостного разрушения шипа была коррозия при трении.



Józef Flizikowski
Andrzej Jazdon
Zenon Wośko

BADANIA NIEZAWODNOŚCI PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH PNT-7,5

W artykule przedstawiono metodykę oraz niektóre wyniki badań funkcjonalno-trwałościowych przenośników taśmowych. Szczególną uwagę zwrócono na wykorzystanie wyników badań w zakresie doskonalenia rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych badanych przenośników w celu poprawy ich niezawodności i trwałości.

1. Wstęp

Niezbędny szybki wzrost produkcji roślinnej i zwierzęcej wymaga systematycznego podnoszenia poziomu organizacji i mechanizacji procesów wytwórczych. Prace naukowo-badawcze realizowane w Zakładzie Eksploatacji Maszyn i Urzędzeń Rolniczych ITiEM w Osielsku obejmują swym zakresem zagadnienia badań i oceny niezawodności pojazdów i maszyn rolniczych, podwyższania parametrów trwałości i niezawodności tych obiektów, a także problemy organizacji zmechanizowanych procesów rolniczych. Przykładem tej działalności są przedstawione w niniejszym artykule badania niezawodności przenośników.

W technologiach rolniczych około 80% procesów roboczych stanowi transport. Szczególną pozycję w transporcie wewnętrznym zajmuje przemieszczanie materiałów sypkich, w tym nawozów mineralnych. Ze względu na wysoką aktywność chemiczną nawozów oraz dużą różnorodność warunków otoczenia, w jakich pracują przenośniki nawozowe, sprawy ich niezawodności oraz trwałości nabierają szczególnego znaczenia.

Wypracowana i sprawdzona metodyka badań pozwoliła zidentyfikować i jednoznacznie określić obszar czynników decydujących o parametrach niezawodnościowo-trwałościowych, obsługowych, funkcjonalnych oraz ekonomicznych badanych obiektów.

Przeprowadzony, w zakresie badań, wywiad techniczny potwierdził uzyskane w toku badań eksploatacyjnych wyniki oraz umożliwił dokonanie oceny warunków eksploatacji przenośników w zakładach resortu rolnictwa.

2. Obiekt i cele badań

Obiektem badań był przenośnik taśmowy typ T-260 symbol PNT-7,5. Przenośnik ten przeznaczony jest przede wszystkim do przemieszczania sypkich i workowanych nawozów mineralnych, lecz może być także wykorzystywany do transportu ziarna, pasz treściwych, materiałów budowlanych, opału i innych.

Otoczenie, w którym pracują przenośniki nawozowe, charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- duża agresywność korozyjna,
- zanieczyszczenie powietrza, szczególnie przy transporcie nawozów pylistych,
- zróżnicowana gęstość transportowanych materiałów,
- zmienne warunki atmosferyczne.

Celem przeprowadzonych badań było:

- ocena niezawodności badanych obiektów przez wyznaczenie wartości liczbowych wytypowanych wskaźników niezawodności,
- ustalenie i wytypowanie elementów, które stanowią tzw. "słabe ogniw" badanych obiektów, od których winno rozpocząć się doskonalenie konstrukcji i techniki wytwarzania,
- opracowanie zaleceń dotyczących zmian rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych oraz warunków eksploatacji, w zakresie poprawy jakości przenośników,
- obniżenia materiałochłonności wytwarzania przenośników.

3. Charakterystyka i wybrane wyniki badań

Zagadnienie niezawodności obiektów technicznych nie sprowadza się jedynie do wyznaczenia wartości parametrów wskaźników określających niezawodność badanych obiektów. Problem polega na tym jakimi środkami technicznymi można skutecznie i efektywnie zapewnić odpowiedni poziom niezawodności i trwałości oraz jak sprawdzić efektywność i skuteczność tych środków już w fazie projektowania i konstruowania oraz modernizacji obiektów. Istotnego znaczenia nabiera problem metod badań niezawodności. W przypadku badań przenośników nawozowych zaproponowano prowadzenie programowanych badań stanowiskowych. Zaprojektowane stanowisko zapewniało ciągły przepływ transportowanej masy. Taki układ badawczy gwarantował modelowanie większości eksploatacyjnych czynników wymuszających.

Przyspieszone, stanowiskowe badania niezawodności dostarczyły szeregu informacji o warunkach eksploatacji oraz występujących w tych warunkach uszkodzeniach.

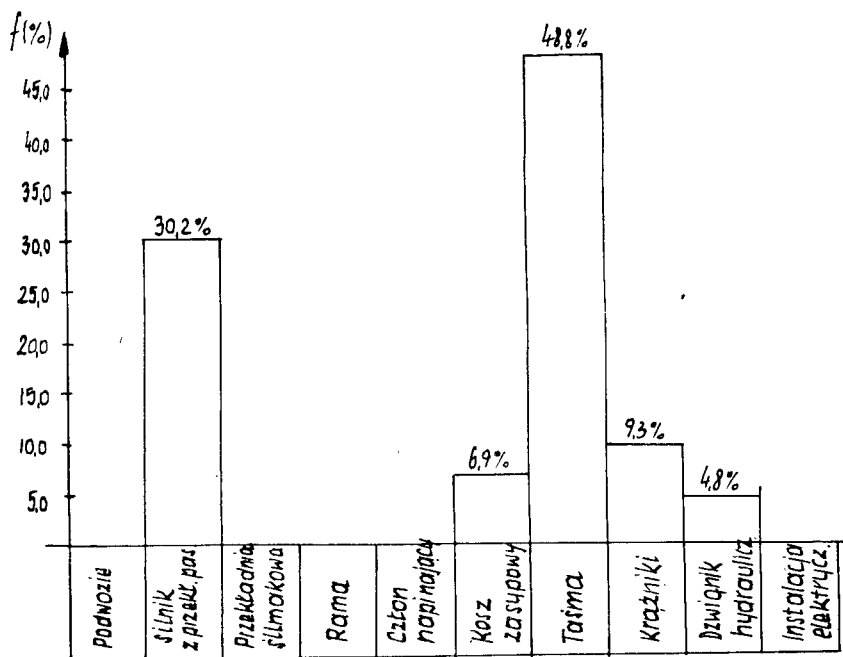
Do badań pobrano w sposób losowy dwa przenośniki z bieżącej produkcji. Liczba badanych przenośników nie jest zgodna z wymaganiami badań niezawodności. Podobnie jak w wielu innych przypadkach o liczbie skierowanych

do badań przemośników zdecydowały względy pozabadawcze, takie jak: ograniczenia finansowe, możliwości organizacyjne badań itp.

Dodatkowe informacje o niezawodności uzyskano z badań ankietowych oraz badań i analizy wytrzymałości przemośników.

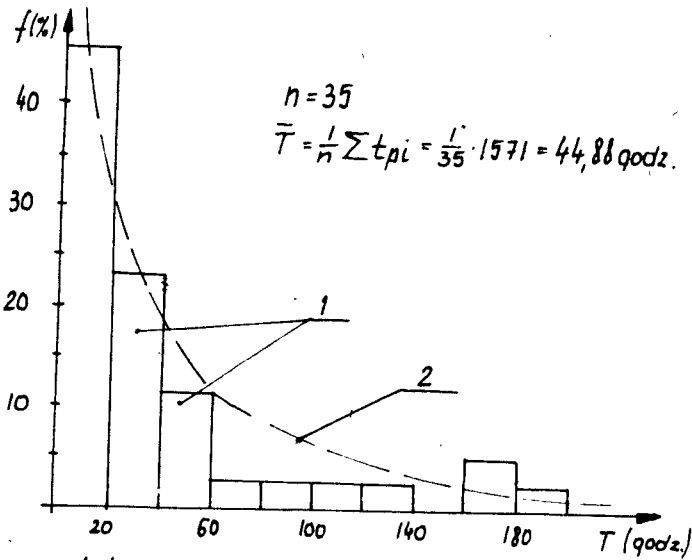
W okresie badań przemośniki pracowały przez 1590 godzin, a średni dzienny czas pracy wynosił 10,06 godzin. Na podstawie danych z badań ankietowych stwierdzono, że średnie roczne wykorzystanie przemośników wynosi 135 godzin. Tak więc w okresie badań przemośniki wykonały pracę, którą przeciętnie wykonują przez okres około 12 lat. Do analizy wzięto tylko relacje czasowe pomijając strukturę obciążeń, którą trudno jednoznacznie i reprezentatywnie ustalić na podstawie badań ankietowych. Podstawową informacją, na którą oczekuje się w badaniach niezawodności jest informacja o uszkodzeniach umożliwiającą oszacowanie wartości parametrów wskaźników niezawodności.

Zarejestrowano ogółem 43 uszkodzenia. Dominująca ilość uszkodzeń występuje w układzie taśmy transportującej /rys.1/, a podstawową przyczyną jest przerywanie ciągłości połączenia klejowego progów z taśmą.



Rys.1. Diagram częstości uszkodzeń zespołów

Przybliżony obraz funkcji gęstości rozkładu interesującej nas zmiennej losowej daje histogram, czyli empiryczny rozkład tej zmiennej /rys.2/.



Rys.2. Histogram /1/ oraz przypuszczalna postać funkcji gęstości /2/ zmiennej losowej T

Z rysunku wynika, że zmienną losową T /czas pracy między uszkodzeniami/ opisać można rozkładem wykładniczym, dla którego funkcja gęstości opisana jest zależnością:

$$f / t / = \lambda \exp / -\lambda t /$$

gdzie:

λ - parametr rozkładu wykładniczego

Obliczając przybliżoną wartość parametru rozkładu wykładniczego z zależności:

$$\lambda = \frac{1}{T} = \frac{1}{44,88} = 0,022$$

można napisać zależności na funkcję gęstości $f / t /$, dystrybuantę $F / t /$, oraz funkcję niezawodności $R / t /$ dla ocenianych przenośników

$$f / t / = \lambda \exp / -\lambda t / = 0,022 \exp / -0,022 t /$$

$$F / t / = 1 - \exp / -\lambda t / = 1 - \exp / -0,022 t /$$

$$R / t / = \exp / -\lambda t / = \exp / -0,022 t /$$

Podstawiając za t kolejne wartości liczbowe ocenić można z zadaniem prawdopodobieństwem wartości wskaźników niezawodności, reprezentatywne dla

całej populacji generalnej.

Na podstawie przeprowadzonej jakościowej analizy uszkodzeń stwierdzono, że z przyczyn wadliwej konstrukcji wystąpiło 11,6% uszkodzeń przenośników, błędów wytwórczych 69,8%, błędów eksploatacyjnych 18,6% ogółem zarejestrowanych uszkodzeń. Uszkodzenia, które występowały w czasie badań usuwano najczęściej przez regulację mechanizmów /58%/, klejenie /18,6%/, czyszczenie /9,3%/, i wymianę elementów /4,7%/.

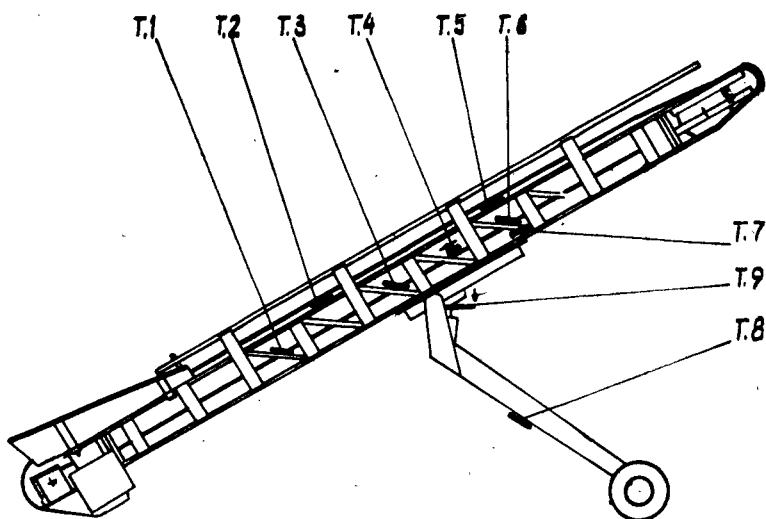
Z ogólnej liczby 43 uszkodzeń, jedno posiadało cechy uszkodzenia krytycznego, 35 ważnego i 7 nieistotnego dla poprawnej eksploatacji badanych obiektów. Interpretując wrywkowo przedstawione wyniki badań należy zdawać sobie sprawę, że dotyczą one przede wszystkim początkowego okresu eksploatacji przenośników /starzenie wstępne/. Okres ten /dla PNT-7,5 około 300 godzin pracy/ charakteryzuje się wysoką intensywnością uszkodzeń, która następnie znacznie maleje [1].

Przyczyny uszkodzeń w tym okresie są następujące:

- ukryte wady materiałowe,
- błędy popełnione w procesie wytwarzania, szczególnie przy montażu,
- błędy transportu itp.

Poza aspektem niezawodnościowym badania obejmowały ocenę przystosowania przenośnika do zaspokajania potrzeb transportowych. Ujawniono duży zapas w zakresie możliwości przemieszczania mas, uwarunkowany większym natężeniem strumienia zasilającego. Warunek ten jest możliwy do zrealizowania zarówno przez obsługę, jak i jakąkolwiek maszynę współdziałającą z przenośnikiem.

Badania wytrzymałości wybranych elementów przenośnika /rys.3/ ujawniły niedociążenie elementów członu środkowego ramy.



Rys.3. Rozmieszczenie czujników pomiarowych na konstrukcji przenośnika nawozowego PNT-7,5

Wyniki pomiarów siły /pkt T9/ działającej na dźwignik hydrauliczny, o nacisku dopuszczalnym 100 kN, świadczą o możliwości przeciążenia siłownika w przypadku transportowania nawozów workowanych /tab. 1/.

Tabela 1

Stan obciążeń tłoczyska siłownika dla różnych wariantów technologiczno-badawczych

Lp	Rodzaj pomiaru	Siła działająca na tłoczysko dźwignika	
		kG	kN
1	Eksploatacja przenośnika bez transportu masy	2.365,0	23,6
2	Transport nawozów luzem - kąt podawania 15° - wydajność 70 ton/godzinę	2.968,0	29,6
3	Transport nawozów workowanych - kąt podawania 10° - wydajność 78,8 ton/godzinę	4.092,0	40,9
4	Transport nawozów workowanych - kąt podawania 30° - wydajność 78,8 ton/godzinę	5.416,0	54,1
5	Transport nawozów workowanych - kąt podawania 30° - wydajność 51,9 ton/godzinę	3.162,0	31,6
6	Zmiana kąta podawania: - z 9° na 15°	3.052,0	30,5
7	Zmiana kąta podawania: - z 15° na 21°	2.893,0	28,9
8	Zmiana kąta podawania: - z 21° na 27°	2.843,0	28,4
9	Zmiana kąta podawania: - z 27° na 33°	2.742,0	27,4
10	Obciążanie przenośnika na końcu siłą 95,0 kG drgającą wzdłużnie	11.160,0	111,6
11	Obciążanie przenośnika na końcu siłą 150 kG drgającą poprzecznie	9.300,0	93,0

4. Interpretacja wyników i wnioski

W obszernym sprawozdaniu z badań przedstawiono wytwórcy wnioski, które w większości zostały uwzględnione przy modernizacji rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych.

Zmieniono podparcie taśmy pod koszem zasypowym aby zmniejszyć, a nawet wyeliminować wysypywanie materiałów sypkich przez szczelinę między koszem a taśmą. Tłoczysko dźwignika narażone na oddziaływanie agresywnego środowiska /duże zapylenie nawozami/ osłonięto, co wyeliminowało częste uszkodzenia tłoka dźwignika. Skrócono czas regulacji stopnia napięcia paska klinowego przez zmianę konstrukcji, na której mocowany jest silnik elektryczny.

Wyniki z badań tensometrycznych stanu obciążeń działających w układzie elementów przenośnika stały się podstawą do rozpoczęcia prac nad zmianami konstrukcyjnymi. Szczególną uwagę zwrócono na optymalne zaprojektowanie kratownicy przestrzennej, która stanowiła układ wytrzymałościowy o małym stopniu dociążenia. Przedstawione zmiany dają dodatkową korzyść w postaci zmniejszenia masy przenośnika.

Zmieniono metodę klejenia progów do taśmy oraz grubość samej taśmy, co dało większe zbliżenie do jednorodnej wytrzymałości klejonych progów z taśmą.

Większość przedstawionych wniosków oczekuje na wprowadzenie do realizacji.

Literatura

- [1] Badania funkcjonalno-trwałościowe przenośnika taśmowego typ PNT-7,5 /T-260/. Sprawozdanie z badań. ATR, Bydgoszcz 1978

AN INVESTIGATION INTO RELIABILITY OF BAND CONVEYORS

PNT-7,5

Summary

The paper presents methods as well as some results of functional-life tests of band conveyors. A particular attention was paid to the use of the tests results regarding an improvement of constructional solutions, technological and service ones of tested conveyors in order to raise their reliability and life.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ - 7, 5

Резюме

В статье представлена методика и некоторые результаты исследований функциональнопрочностных ленточных конвейеров. Особое внимание обращено на использование результатов исследований в области совершенствования конструкционных, технологических и эксплуатационных решений исследуемых конвейеров с целью повышения их надёжности и прочности.

Henryk Holka
Jan Misun
Andrzej Topoliński

WYTŁUMIENIE HAŁASU WENTYLATORÓW INSTALACJI WYCIĄGOWEJ. PRZYKŁAD ROZWIĄZANIA

W opracowaniu przedstawiono sposób i efekty wyciszenia zespołu wentylatorów instalacji wyciągowej zakładu przemysłowego. Opisano metodykę i wyniki pomiarów hałasu i wibracji. Przedstawiono projekt zmian mających na celu obniżenie poziomu hałasu.

Efekty wyciszenia uwidoczniiono na wykresach.

1. Wstęp

Zagadnienia bhp w zakładach przemysłowych są coraz bardziej doceniane. Zwraca się powszechną uwagę na zabezpieczenie pracowników przed doraźną, fizyczną groźbą utraty zdrowia, ale w niedostateczny sposób ocenia się wpływ hałasu na człowieka.

Teoretycznych sposobów walki z hałasem w literaturze jest dużo [1, 2, 3], lecz mało jest konkretnych zastosowań tychże w warunkach naszych zakładów przemysłowych.

Jednym z uciążliwych źródeł hałasu w przemyśle są instalacje wymiany powietrza. Przyczyny powstawania hałasu są różnego rodzaju, głównie to:

- hałas wynikający z przepływu czynnika,
- drgania natury mechanicznej z układu wymuszającego przepływ.

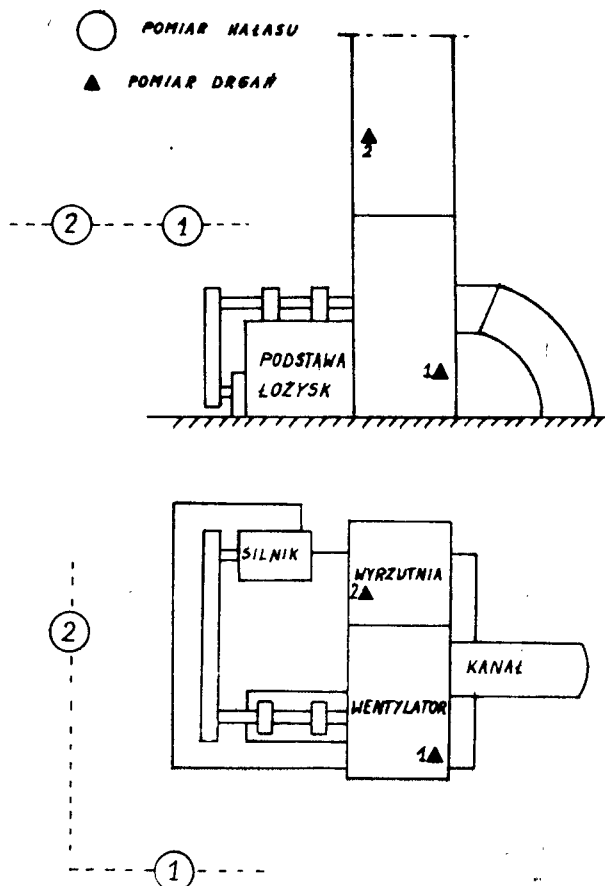
W niniejszym opracowaniu przedstawiono sposób i efekty wyciszenia zespołu wentylatorów WWOaX - 80 w instalacji wyciągowej galwanizerni Zakładów Sprzętu Instalacyjnego "POLAM - NAKŁO".

2. Cel pracy i metodyka badań

Podczas wstępnej oceny uciążliwości hałasu wspomnianych wyżej urządzeń wyciągowych ustalono, że główną ich przyczyną są drgania mechaniczne wentylatorów. W związku z tym cały wysiłek skupiono na ustaleniu źródeł drgań i ich parametrów. W dalszej kolejności wykonano analizę przeprowadzonych pomiarów i wybrano optymalny wariant wytłumienia drgań.

Rys.1 pokazuje usytuowanie zespołów wentylatora wspomnianej instalacji

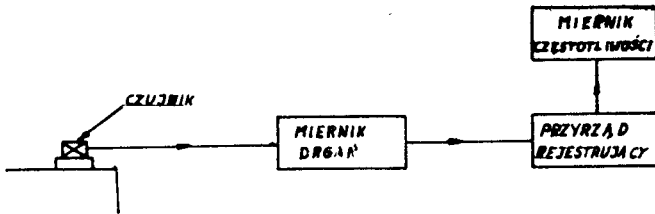
cji oraz jej przebieg.



Rys.1. Usytuowanie poszczególnych zespołów wentylatora

Zespół stanowią dwa identyczne promieniowe wentylatory typu WWOa X-80 umieszczone na zewnątrz budynku produkcyjnego w bliskim jego sąsiedztwie. Na wentylatorach posadowiona jest wyrzutnia czynnika. Całość umieszczona jest bezpośrednio na wspólnym betonowym fundamencie. Wyrzutnie obiektów posadowione są na wentylatorach bez jakichkolwiek zabezpieczeń antywibracyjnych. Należy więc przypuszczać, że w tej sytuacji wyrzutnie są dodatkowymi źródłami niepożądanego hałasu.

W celu doboru prawidłowego rozwiązania wytlumienia urządzeń dokonano pomiarów poziomu natężenia emitowanego dźwięku oraz parametrów drgań mechanicznych. Poziom natężenia dźwięku mierzono przy użyciu miernika poziomu dźwięku MPDA 12, zaś pomiary drgań wykonano zestawem aparatury firmy RFT uwidocznionym na rys.2.



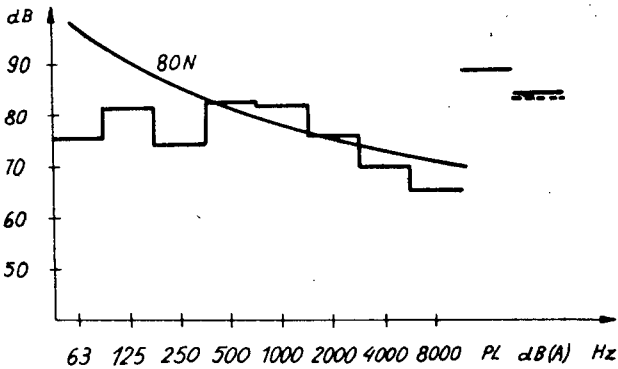
Rys.2. Zestaw aparatury do pomiaru drgań

Punkty pomiarowe drgań i hałasu naniesione zostały na rys.1 /w artykule przedstawiono wybrane dwa z wielu punktów pomiarowych/.

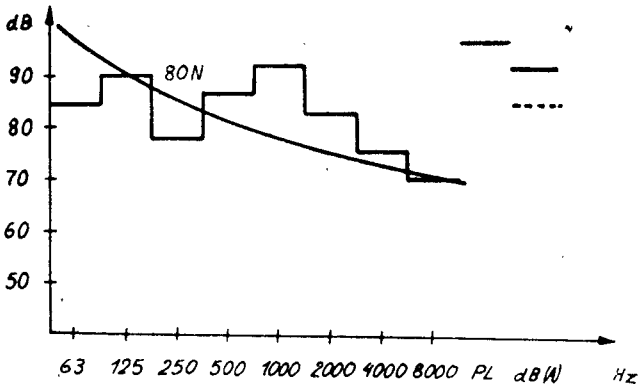
3. Analiza wyników pomiarów. Projekt rozwiązania

Rys.3 i 4 przedstawiają niektóre widma oktawowe hałasu z zaznaczonymi poziomami filtrów korekcyjnych /z naniesioną krzywą N-80, potraktowaną jako graniczną i poziomem hałasu 85 dB / A / przyjętym za zalecany/.

We wszystkich przytoczonych rysunkach widoczne jest przekroczenie założonych kryteriów /podobnie jak w punktach tutaj nie zilustrowanych/, szczególnie wyraźnie w pasmach o częstotliwościach środkowych 500, 1000, 2000 Hz.

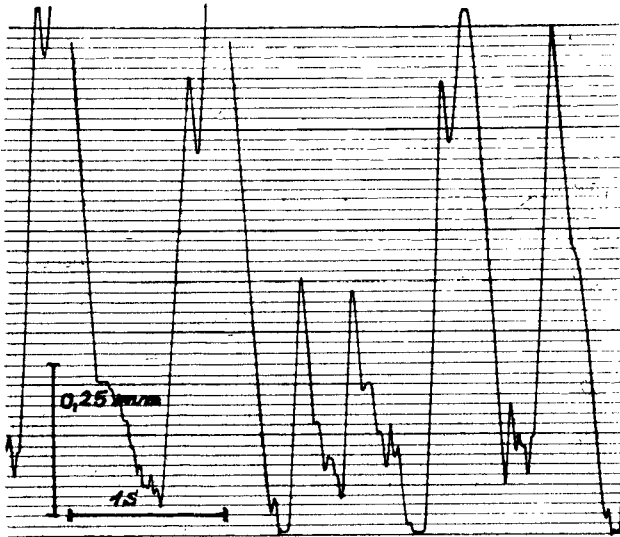


Rys.3. Widmo oktawowe hałasu w punkcie 1

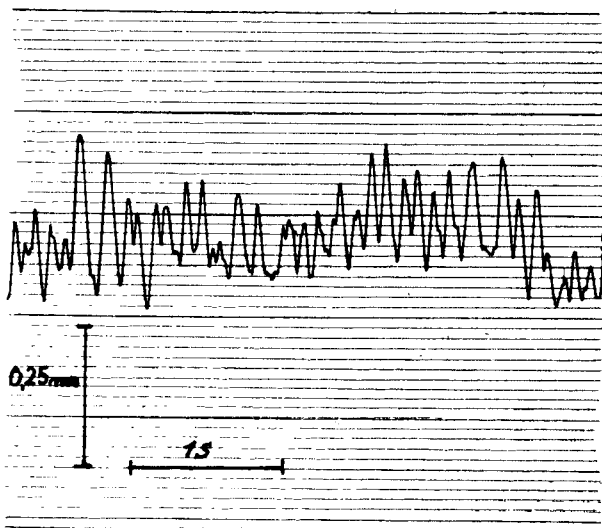


Rys.4. Widmo oktawowe hałasu w punkcie 2

Rys.5 i 6 przedstawiają oscylogramy niektórych przebiegów amplitud, skutecznych przemieszczeń w wybranych punktach /rys.1/.



Rys.5. Oscylogram przebiegu amplitud skutecznych przemieszczeń w punkcie 1



Rys.6. Oscylogram przebiegu amplitud skutecznych przemieszczeń w punkcie 2

Jak wynika z pomiarów, zarejestrowane sygnały należą do grupy sygnałów poliharmonicznych. Sygnały takie są wynikiem superpozycji fal sinusoidalnych o różnych częstościach. W rozpatrywanym przypadku mamy do czynienia z wymuszeniem od silnika, obudowy wentylatora i częściowo łożysk. Ponieważ w jednym z badanych obiektów stan łożysk był zadowalający, stąd otrzymano tzw. efekt dudnienia - jako wynik nakładania się drgań o jednokowej prawie częstości /od silnika i obudowy wentylatora/.

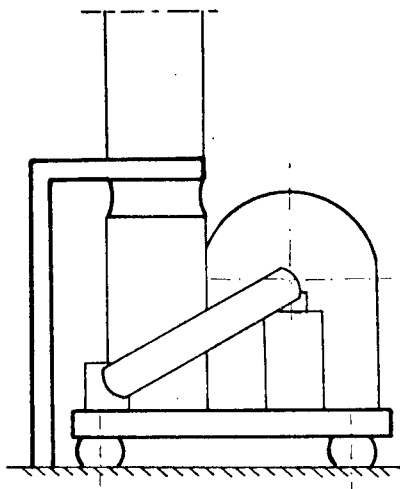
Drgania te charakteryzują się dużą amplitudą i małą częstością, nie są co prawda bezpośrednio słyszalne, ale poprzez uderzenia /wynikiem luzów/ są źródłem dodatkowego hałasu, powodują szybkie zużycie elementów konstrukcyjnych, złączy, łożysk itp.

Oprócz powyższego obserwując dokładnie oscylogramy zauważyć można drgania o dużej częstości i małej amplitudzie, leżące w pasmach częstości słyszalnych, pochodzące prawdopodobnie od silnika lub obudowy wentylatora.

Po przeanalizowaniu kilku koncepcji wytłumienia drgań, zdecydowano się na zastosowanie konstrukcji wsporczej /rama podporowa/ umieszczonej na wibroizolatorach /rys.7/.

Bazując na znanych metodach - przy założeniu układu jednomasowego - obliczono ramę podporową i wibroizolatory. Zgodnie z wynikami obliczeń dobrano produkowane w kraju amortyzatory AKSS 300. Ponadto odizolowano wentylatory od przewodów wentylacyjnych w celu zapobieżenia propagacji drgań. Zamontowano rękawy brezentowe zarówno od strony galwanizerni 1

pionowego wyrzutnika kominowego, który dodatkowo umieszczono na wsporniku /rys.7/.



Rys.7. Szkic konstrukcji wsporzej

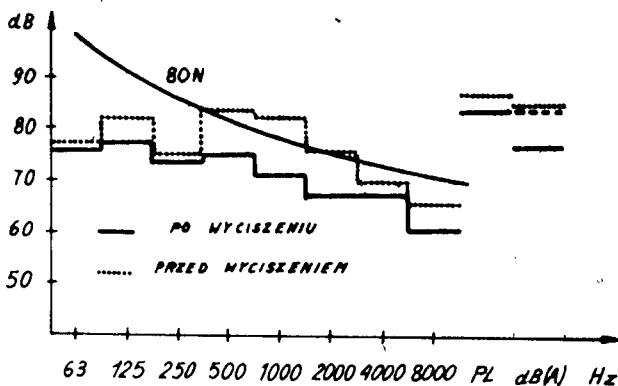
Tak przyjęte rozwiązanie oprócz spodziewanych efektów izolacji propagacji drgań pozwoliło przyjąć prosty model obliczeniowy - układ jednomasowy.

4. Efekt zastosowanego rozwiązania. Wnioski

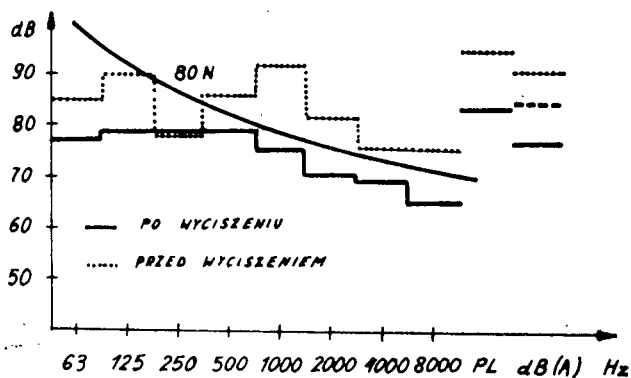
Najważniejszą oceną uzyskanego efektu jest porównanie pomiarów natężenia dźwięku przed i po wprowadzeniu proponowanego rozwiązania.

Rys.8 i 9 przedstawiają takie porównanie poziomu natężenia dźwięku w pasmach oktawowych dla ilustrowanych wcześniej punktów. Widoczne jest obniżenie poziomów hałasu znacznie poniżej poziomu zalecanego w Polskich Normach [7]. W pasmach, w których emitowany hałas był najbardziej dokuczliwy - 500, 1000, 2000 Hz - uzyskany efekt wynosił odpowiednio 7, 14, 10 dB.

Przedstawiona metoda wyciszania wentylatorów - aczkolwiek znana w ogólnych zarysach - stosowana jest w sposób niewystarczający, mimo iż prostota obliczeń i stosunkowo niski koszt wykonania projektu preferuje ją do szerokiego upowszechnienia.



Rys.8. Widmo oktawowe hałasu po wyciszeniu w punkcie 1



Rys.9. Widmo oktawowe hałasu po wyciszeniu w punkcie 2

Literatura

- [1] Goliński J.A.: Wibroizolacja maszyn i urządzeń. WNT, Warszawa 1979
- [2] Praca zbiorowa: Podstawy diagnostyki urządzeń mechanicznych. Wydawnictwo PAN 1978
- [3] V Sympozjum techniki wibracyjnej i wibroakustyki. Elektryfikacja i mechanizacja górnictwa i hutnictwa. Z. 112
- [4] Puzyna Cz.: Zwalczanie hałasu w przemyśle. Zagadnienia wybrane. WNT, Warszawa 1974
- [5] Puzyna Cz.: Zwalczanie hałasu w przemyśle. Zasady ogólne. WNT, Warszawa 1974
- [6] Cempel Cz.: Wibroakustyka stosowana. PWN, Warszawa - Poznań 1978
- [7] PN-70/B-02151

FAN NOISE SUPPRESSION IN INDUSTRIAL INSTALLATIONS

EXAMPLES

Summary

The paper presents a way and results of noise suppression of fan systems in industrial enterprises.

Methods and measurements results of noise and vibration are described. There is presented a suggestion of changes aiming at lowering noise level. The results of noise suppression are presented in diagrams.

ЗАГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯТОРОВ ПОДЪЁМНОЙ УСТАНОВКИ

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ

Резюме

В работе представлен способ и эффект заглушения комплекса вентиляторов подъёмной установки промышленного предприятия.

Описаны методика и результаты измерения шума и вибрации.

Представлен проект изменений целью которых является понижение уровня шума. Эффекты глушения представлены на диаграммах.

Jerzy Kalwaj

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA ENERGOCHŁONNOŚCI
ROZDRABNIACZA UDAROWEGO ZIARNA ZBÓŻ PRZEZ ZASTOSOWANIE
WYMUSZONEGO PRZEPIŁYU POWIETRZA

W artykule omówiono wady tradycyjnego rozdrabniacza bijakowego i przedstawiono opis jego zmodernizowanej konstrukcji. Następnie zreferowano metodykę i wyniki pomiarów porównawczych zmodernizowanego rozdrabniacza w odniesieniu do tradycyjnie realizowanego procesu i jakości produktu, potwierdzające słuszność kierunku modernizacji tych maszyn.

Jednym z powszechnych procesów w przemyśle spożywczym jest rozdrabnianie surowców. Ma on szczególne znaczenie przy produkcji takich wyrobów jak mąka i pasze. Obecnie, dynamicznie rozwijany jest przemysł paszowy. Stanowi on główne ogniwo produkcji zwierzęcej. W celu zaspokojenia jego potrzeb przewiduje się do roku 1990 budowę ogółem 1155 wytwórni pasz [1]. Powoduje to wzrost zapotrzebowania na nowoczesne i funkcjonalne maszyny i urządzenia w tym zakresie.

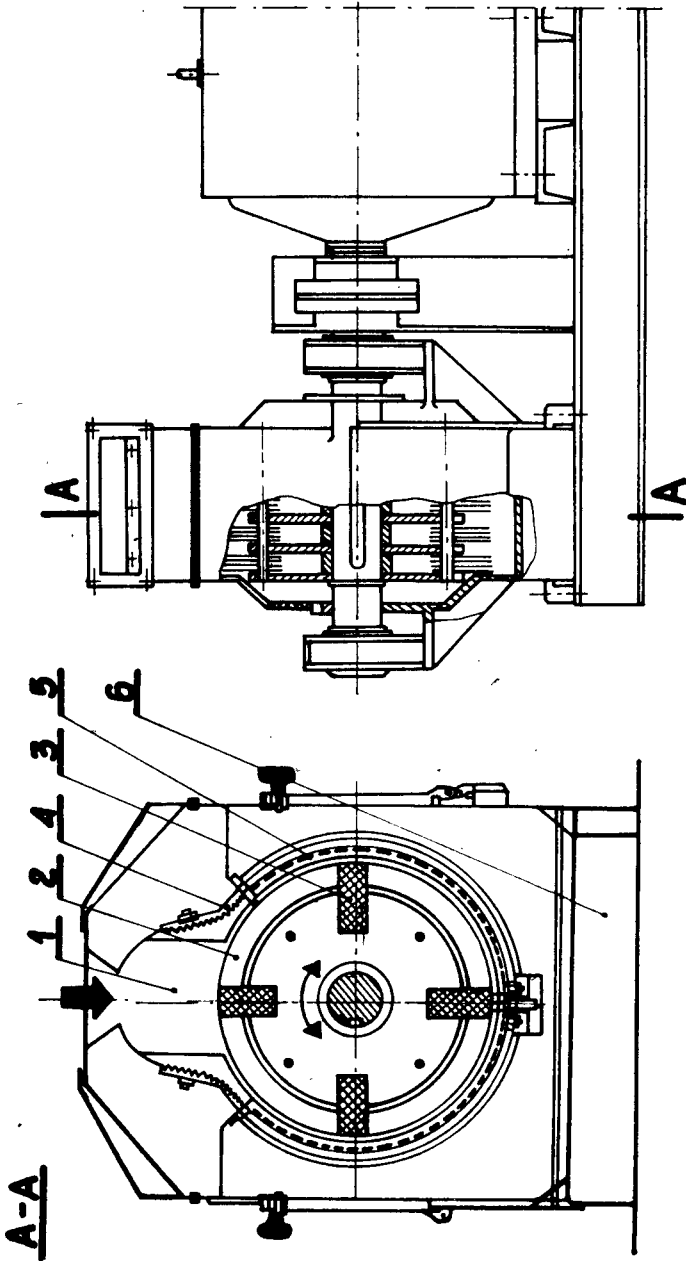
W produkcji przemysłowych mieszanek paszowych rozdrabnianiu poddaje się około 60% masy komponentów. Pochłania ono do 50% całkowitej energii przeznaczonej na produkcję pasz [2].

Proces ten jest powszechnie realizowany przez rozdrabniacze bijakowe. Ogólna budowa takiego rozdrabniacza została przedstawiona na rys.1. Surowiec przez otwór zasypowy 1 dostaje się grawitacyjnie do komory rozdrabniacza 2, gdzie zostaje poddany udarowemu działaniu bijaków 3, progów rozdrabniających 4 i sita 5. Proces podziału cząstek trwa tak długo, aż ich wielkość będzie mniejsza od średnicy otworów w sicie. Cząstki o właściwej granulacji przechodzą przez perforację sita w wyniku oddziaływania siły odśrodkowej i są odprowadzane na zewnątrz maszyny przez otwór wylotowy 6.

Istota konstrukcyjna powyższego rozwiązania od szeregu lat pozostawała niezmienną. Do zasadniczych wad należą tu:

- duża energochłonność procesu,
- niska jakość uzyskanego produktu,
- nadmierne natężenie hałasu i drgań,
- niska trwałość elementów roboczych,
- znaczny stopień zapylenia maszyny i otoczenia.

Na podstawie publikowanych badań [3, 4] można stwierdzić, że energochłonność aktualnie produkowanych rozdrabniaczy bijakowych zawiera się w



Rys.1. Rozdrabniacz bijakowy / budowa tradycyjna/

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 - otwór zasypowy | 4 - progi rozdrabniające |
| 2 - komora rozdrabniania | 5 - sito |
| 3 - bijaki | 6 - otwór wylotowy |

przedziale $10 + 15 \frac{\text{kWh}}{\text{Mg}}$ zależnie od typu maszyny. Wartość ta jest przeciętnie 2-krotnie większa niż w rozdrabniaczach walcowych oraz około 1,5-krotnie od rozdrabniaczy tarczowych. Jednak uniwersalność rozdrabniaczy bijakowych /możliwość stosowania dla różnych surowców/, udarowy sposób rozdrabniania oraz dodatkowe realizowanie operacji przesiewu przez sito o żądanej perforacji spowodowało rozpowszechnienie i uznanie tych maszyn w przemyśle paszowym.

Wobec powyższego celowe wydają się działania w kierunku modernizacji istniejących już rozwiązań konstrukcyjnych.

Wadą tych maszyn jest niska jakość produktu, a ściśle niekorzystny rozkład frakcji wielkościowych cząstek produktu. Pożądane jest, aby produkt zawierał jak najmniejszą ilość frakcji pylistej, tj. cząstek mniejszych od 0,4 mm. Jest on wówczas najlepiej przyswajany przez organizm zwierzęcy, dający najlepsze efekty żywieniowe. Jak wykazują badania uzyskany produkt zawiera do 50% cząstek powyżej 1 mm, podczas gdy frakcja mniejsza od 0,4 mm osiąga wartość do 30% całej masy produktu [5].

Jak wykazała analiza procesu powyższe wady: duża energochłonność oraz niska jakość produktu są ze sobą ściśle związane, są bowiem wynikiem nadmiernego czasu przebywania cząstek w komorze rozdrabniania, co powoduje wzrost poboru mocy na proces i zbyt duże rozdrobnienie surowca.

Mając powyższe na uwadze w Zakładzie Eksploatacji Maszyn naszego Instytutu opracowano konstrukcję zmodernizowanego rozdrabniacza, który w założeniach miałby niwelować omówione wady. Wykonano model w skali półtechnicznej o wydajności około 300 kg/h, który stanowi przedmiot omawianych poniżej badań.

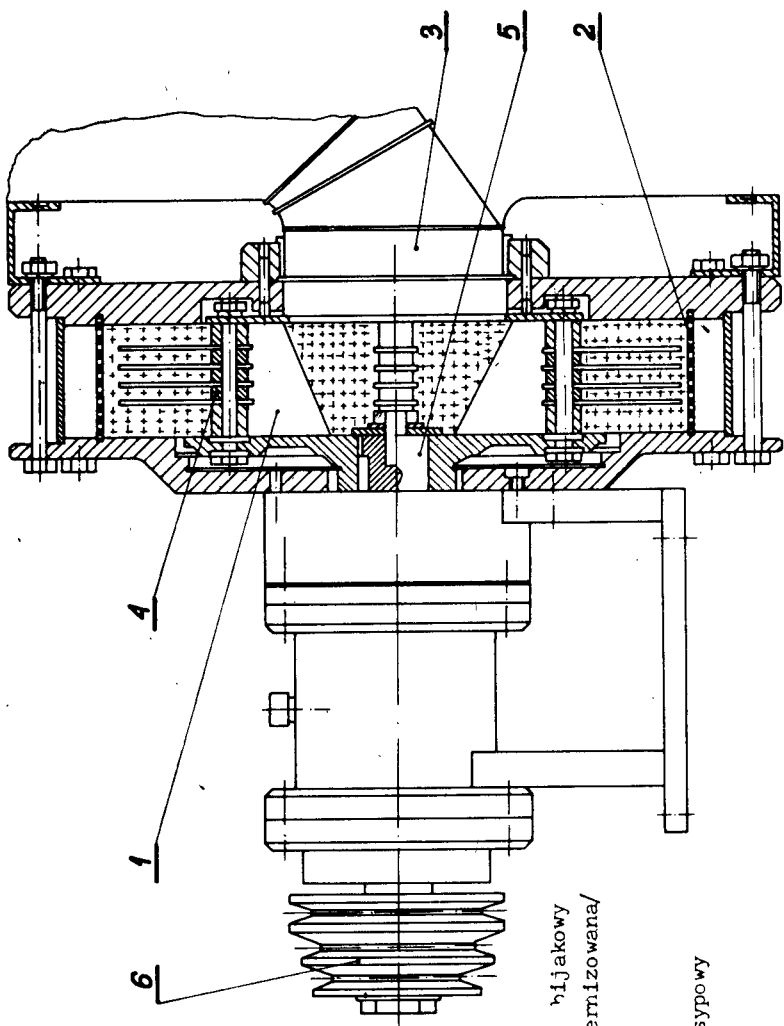
Zmodernizowana konstrukcja charakteryzuje się w odniesieniu do rozwiązania tradycyjnego następującymi zmianami /rys.2/:

- zastosowanie wirnika z łopatkami 1, generującymi strumień powietrza skierowanego na powierzchnię sita,
- opasanem sitem 2 całej komory rozdrabniania, rezygnując z tzw. progów rozdrabniających,
- bocznym, centralnym usytuowaniem zasypu 3.

Usytuowanie łopatek na wirniku powoduje w konsekwencji wzrost siły odśrodkowej działającej na cząstki, co znacznie przyspiesza ich przejście przez sito, zapobiega ich nagrzewaniu i przeciwdziała tworzeniu się wirującego pierścienia z cząstek drobnych. Opasanie sitem całego obwodu komory rozdrabniania zwiększa powierzchnię przechodzenia cząstek rozdronionych do właściwych rozmiarów, a tym samym wydajność maszyny. Boczny centralny zasyp umożliwił powyższą zmianę konstrukcyjną, jak również zapewnił równomierny rozkład surowca na całym obwodzie komory rozdrabniania, czego rezultatem jest efektywniejsze obciążenie maszyny i równomierne zużywanie się sita.

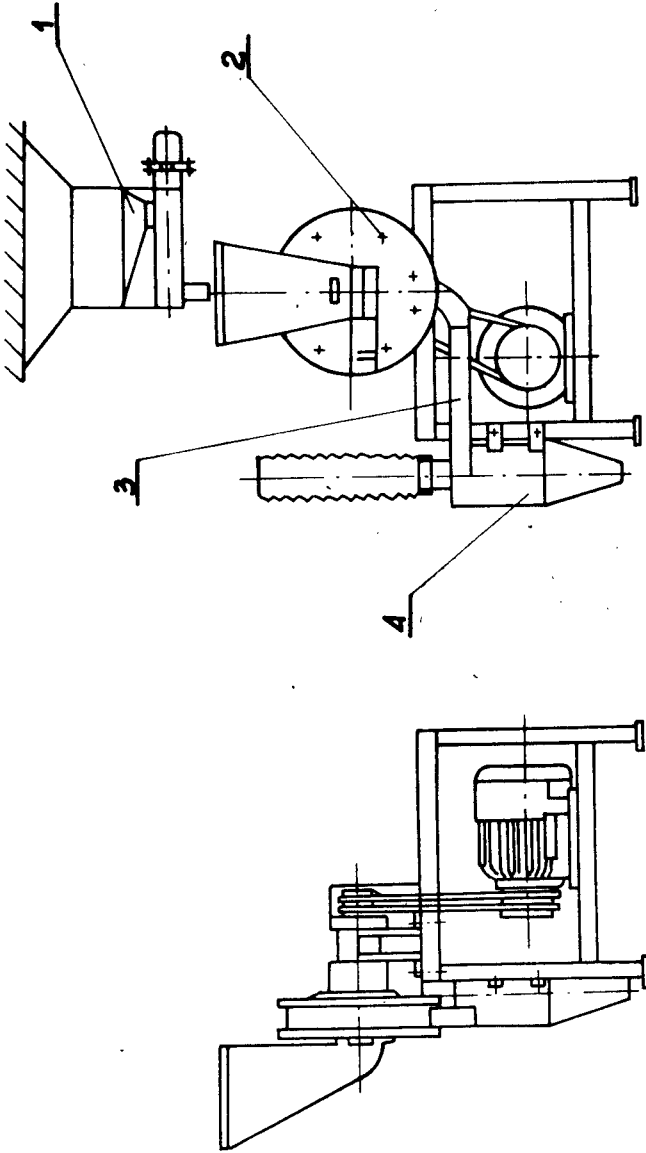
Zmodernizowany rozdrabniacz bijakowy zainstalowano w układ tworzący stanowisko badawcze /rys.3/, w skład którego wchodzi zbiornik surowca wraz dozownikiem ślimakowym 1, rozdrabniacz bijakowy 2, stycznie położony





Rys.2. Rozdrabniacz bijakowy
/budowa zmodernizowana/

- 1 - kopatki
- 2 - sito
- 3 - otwór zasypowy
- 4 - wirnik
- 5 - wał
- 6 - przekładnia pasowa



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego rozdrabniacza bijakowego

- 1 - zbiornik z dozownikiem ślimakowym
- 2 - rozdrabniacz
- 3 - kanał wylotowy
- 4 - filtrocyklon

kanał wylotowy 3 oraz filtrocyclon 4 będący urządzeniem odbierającym produkt i oddzielającym go od powietrza.

Celem badań było określenie energochłonności procesu oraz jakości produktu rozdrabniania. Badania przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy stanowił porównanie efektów przy stosowaniu dwóch typów wirników: tradycyjnego i zmodernizowanego, drugi określenie geometrii i miejsca usytuowania łopatek wirnikowych przy najkorzystniejszych parametrach procesu i jakości produktu. Całość badań przeprowadzono przy zainstalowanym w rozdrabniaczu sicie o otworach 4 mm. Program i metodyka badań pierwszego etapu przedstawia się następująco. Odważoną 3 kg próbkę surowca zasypywano do zbiornika 1 /rys.3/, uruchamiano rozdrabniacz i rejestrator mocy "Watt-reg 3", następnie uruchamiano dozownik ślimakowy i realizowano proces, przy czym regulowany dozownik zasiliał rozdrabniacz obciążając go do wartości nominalnej mocy silnika napędowego, tj. 2,2 kW. Pomiar przeprowadzono dla dwóch rodzajów zbóż: jęczmienia, który reprezentował surowiec twardy i pszenicy - materiał miękki, stosując dwa typy wirników.

Do określenia energochłonności procesu wykorzystano zależność:

$$E = \frac{N}{Q} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Mg}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- E - energochłonność procesu
- N - średni pobór mocy /kWh/
- Q - wydajność rozdrabniacza / Mg/h /

Przy określaniu średniej wartości poboru mocy z zapisu graficznego wykorzystano metodę średniej wysokości krzywej, polegająca na wyznaczeniu pola pod krzywą za pomocą planimetru oraz określeniu długości krzywej, czyli:

$$N_{\text{śr}} = \frac{S}{l} \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

gdzie:

- $N_{\text{śr}}$ - średni pobór mocy
- S - pole pod krzywą
- l - długość krzywej

Wydajność Q określano z prostej zależności:

$$Q = \frac{m}{\tau} \quad [\text{Mg/h}] \quad (3)$$

gdzie:

- Q - wydajność
- m - masa próbki
- τ - czas rozdrabniania próbki /h/

Czas wyznaczano z zapisu graficznego rejestratora dysponując stałą wartością prędkości posuwu taśmy równą 7200 mm/h.

Ocenę jakościową produktu przeprowadzono przez poddanie każdej rozdrobnionej próbki analizie sitowej w przesiewaczu laboratoryjnym z zastosowaniem sit o otworach 1,02 mm i 0,385 mm. Uzyskane z przesiewu frakcje ważono i oznaczono ich udziały procentowe, co pozwoliło na określenie ilości cząstek gruboziarnistych i pyłów.

Wyniki tego etapu badań w formie skrótowej przedstawiono w tabelach 1, 2 i 3.

Tabela 1

Porównanie energochłonności procesu rozdrabniania przy zastosowaniu dwóch typów wirników /W1 - tradycyjny, W2 - zmodernizowany/

Lp.	Rodzaj wirnika	Rodzaj surowca	Energochłonność
			$\left[\begin{array}{c} \text{kWh} \\ \text{Mg} \end{array} \right]$
1	W1	jęczmień	9,87
2	W2	jęczmień	9,15
3	W1	pszenica	4,97
4	W2	pszenica	4,89

Tabela 2

Rozkład frakcyjny rozdrobnionego jęczmienia w rozdrabniaczu bijakowym z zastosowaniem dwóch typów wirników i sita o otworach 4 mm

Lp.	Perforacja sita /mm/	Odsiew W1 /%/	Odsiew W2 /%/
1	1,02	64,24	71,93
2	0,385	29,33	21,97
3	pozostałość	6,43	6,10

Tabela 3

Rozkład frakcyjny rozdrobnionej pszenicy w rozdrabniaczu oijkowym z zastosowaniem dwóch typów wirników i sita o otworach 4 mm

Lp.	Perforacja sita /mm/	Odsiew W1 / % /	Odsiew W2 / % /
1	1,02	49,70	51,33
2	0,385	32,73	31,87
3	pozostałość	17,57	16,80

Analizując powyżej prezentowane wyniki można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowanie w procesie rozdrabniacza zmodernizowanego w porównaniu z konstrukcją tradycyjną jest z punktu widzenia energochłonności korzystne i daje oszczędności energetyczne w przypadku jęczmienia 16,1 % i pszenicy 9,5 %.
2. Jakość produktu uzyskanego w rozdrabniaczu zmodernizowanym uległa poprawie w porównaniu z tradycyjnym. I tak dla jęczmienia udział frakcji gruboziarnistej wzrósł o 11,9% natomiast dla pszenicy o 3,3%. Ilość pożądaných cząstek wzrosła średnio o 7,6%. Natomiast udział frakcji pylistej /najbardziej niekorzystnej w produkcie/ zmniejszył się dla jęczmienia o 5,4 % i pszenicy 0,5 %, tj. średnio o 2,95 %.
3. Podczas rozdrabniania w rozwiązaniu konstrukcyjnym zmodernizowanym cząstki produktu opuszczają maszynę z prędkością rzędu 35 m/s. Istnieje więc możliwość wykorzystania tak dużej ich energii kinetycznej do transportu pneumatycznego na większe odległości.

Przedstawione zagadnienie stanowi wycinek najistotniejszych rezultatów uzyskanych podczas badań. Pozostałe szczegóły takie jak: badania optymalizacyjne geometrii łopatek, zmiany temperatury i wilgotności materiału rozdrabnianego, dynamika przepływu powietrza przez rozdrabniacz zostały zbadane i opracowane w Zakładzie Eksploatacji Maszyn naszego Instytutu.

Literatura

- [1] Kikiewicz Z., Kalwaj J.: Rozdrabnianie zbóż na potrzeby przemysłu pasz treściwych ze szczególnym uwzględnieniem warunków rozdrabniania z dużymi wydajnościami rzędu 20 - 30 Mg/h, Opracowanie własne ATR Bydgoszcz, 1978

- [2] Timm Z.: Optymalizacja parametrów organów roboczych rozdrabniaczy bijakowych do suchych pasz objętościowych. Praca doktorska. Politechnika Poznańska, 1978
- [3] Nowak A.: Badania wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych rozdrabniającego zespołu bijaków na efektywność rozdrabniania materiałów zbożowych. Praca doktorska. Politechnika Poznańska, 1976
- [4] Golnik M.G.: Naucznyje osnovy obrabotki ziarna w potokie "Kołos". Moskwa, 1972
- [5] Kalwaj J.: Rozdrabniacze dla przemysłu paszowego. Mechanizacja Rolnictwa nr 16, 1980
- [6] Simmons N.O.: Produkcja pasz przemysłowych. PWRiL, Warszawa 1968
- [7] Kudlacek F.: Technologia przetwórstwa paszowego. PWRiL, Warszawa 1977

AN ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF LOWERING ENERGY CONSUMPTION IN
CORN PERCUSSIVE SHREDDER BY USE OF FORCED FLOW

Summary

The paper discusses disadvantages of the traditional percussive mill and presents a description of its modernized design. There are presented methods and comparative measurement results of a modernized mill as compared with the process conducted in a traditional way, as well as product quality which prove advantages of a modernization direction of the machines.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЁМКОСТИ УДАРНОЙ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА
ХЛЕБОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫНУЖДЕННОГО ТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА

Резюме

В статье рассмотрены недостатки традиционной ударной дробилки и представлено описание её модернизированной конструкции. Далее представлены методика и результаты относительных измерений модернизированной дробилки по отношению к традиционно реализованному процессу и качеству продуктов, подтверждающих правильность направления модернизации этих машин.



Lech M. Kamiński
Andrzej Golik

ANALIZA MOŻLIWOŚCI AUTOMATYZACJI
LINII GRANULOWANIA PASZ TREŚCIWYCH
/zlecenie OBR SPOMASZ w Bydgoszczy/

W pracy przedstawiono próbę określenia własności dynamicznych granulatora pasz treściwych oraz przeanalizowano dwie struktury układów regulacji linii granulowania paszy. Zaproponowano kaskadowy układ regulacji wilgotności granul, który zgodnie z wynikami modelowania na maszynie analogowej winien poprawić jakość uzyskanych granul.

1. Wstęp

Granulowanie mieszanek paszowych stanowi ważny problem przy wytwarzaniu pasz treściwych. Linia granulowania paszy okazuje się mało podatna do automatyzowania ze względu na występujące tu złożone procesy technologiczne, obejmujące wymianę ciepła i masy oraz przemiany energetyczne. Zagadnienie automatyzacji linii granulowania paszy nie jest przedstawione w dostępnej literaturze, a wzmianki publikowane w czasopismach i informatkach obejmują jedynie opisy produkowanych zautomatyzowanych linii granulowania [3],[4],[7].

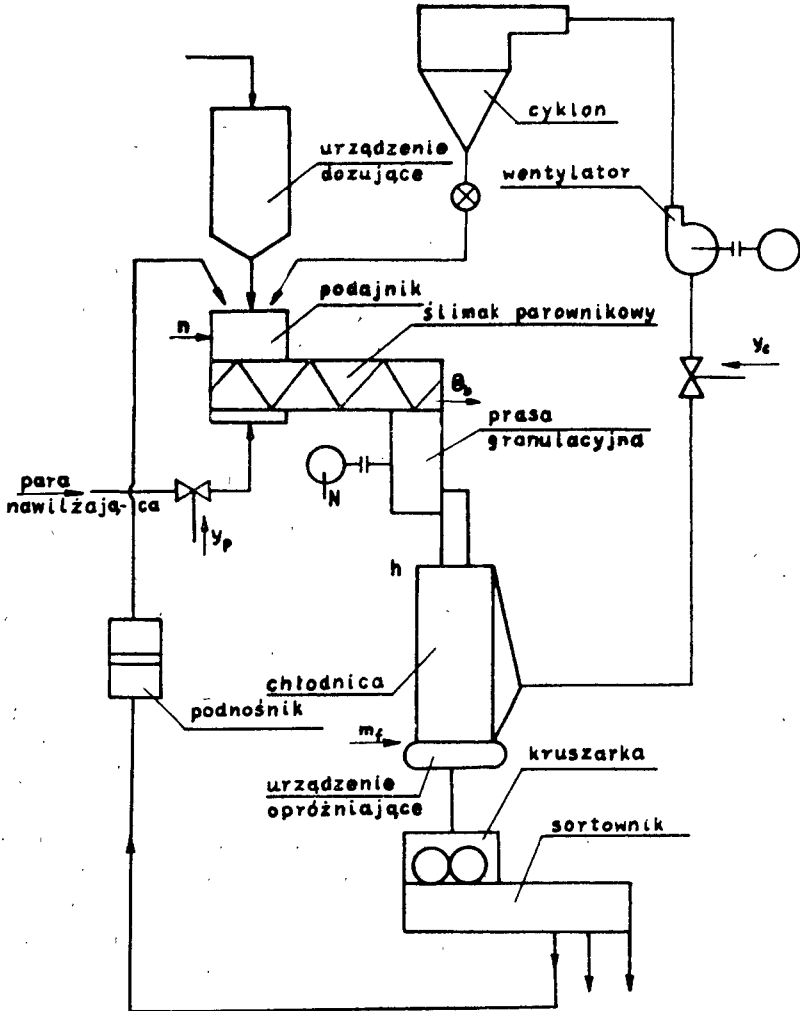
Publikowane wyniki badań własności procesu granulowania obejmują zagadnienia wydajności, energochłonności, kosztów i jakości produkcji, określone przy zachowaniu ustalonych warunków pracy linii.

Opracowanie koncepcji sterowania automatycznego wymaga znajomości własności dynamicznych urządzeń wchodzących w skład linii granulowania. Wszelkie wahania jakości i ilości składników paszy, zmiany parametrów pary nawilżającej itp., powodują zmianę warunków ruchu urządzeń, które to warunki muszą być doprowadzone, przez układ regulacji, do takiego stanu, w którym zachowana jest najwyższa wartość przyjętego wskaźnika jakości pracy układu.

2. Opis linii granulowania pasz

Do rozważań przyjęto określoną linię granulowania pasz treściwych, złożoną z urządzeń krajowych. Wytwarzanie pasz granulowanych polega na formowaniu /przez prasowanie i obcinanie/ z sypek masy cząstek /granul/

a kształcie i wymiarach najodpowiedniejszych do żywienia określonego gatunku zwierząt. Uproszczony schemat takiej linii przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat linii granulowania pasz treściwych

Składniki paszy dozowane są w sposób ciągły lub okresowy za pomocą wag i mieszane w mieszarce. Z urządzeń dozujących składniki paszy doprowadzane są do podajnika o nastawianej prędkości obrotowej "n". Podajnik dostarcza odpowiednią ilość mieszanki do ślimaka parownikowego, którego zadaniem jest jej wymieszanie i nawilżenie parą wodną. Para wodna doprowadzana przez zawór regulacyjny powoduje nawilżenie mieszanki paszowej i podwyższenie jej temperatury " θ_b " do wartości 333-343 K / 60-70°C/. Ślimak parownikowy dostarcza mieszankę paszową do prasy granulacyjnej, w której

jest ona przeciskana przez otwory o odpowiedniej średnicy za pomocą rolek. Proces ten w istotny sposób zależy od wilgotności i temperatury mieszanki podawanej do prasy granulacyjnej. Mieszanka przetłaczana przez otwory matrycy prasy granulacyjnej jest obcinana na odpowiednią długość za pomocą noży ślizgających się po zewnętrznej stronie ruchomej matrycy. Wydajność procesu granulowania regulowana jest ilością mieszanki podawanej do ślimaka parownikowego na podstawie wartości obciążenia "N" silnika napędzającego matrycę. Występujące tu znaczne opóźnienie pomiędzy punktami nastawiania prędkości obrotowej /wydajności/ podajnika "n", a punktem pomiaru obciążenia silnika "N" utrudnia proces regulacji. W trakcie prasowania występuje dalszy wzrost temperatury granul, które następnie chłodzone są w chłodnicy, pełniącej także funkcję osuszacza. Przez warstwę granulatu znajdującego się w chłodnicy przedmuchiwane jest powietrze pobrane z otoczenia. Chłodzi ono i osusza granule. Zgodnie z wymogami Polskich Norm, wilgotność granul nie powinna przekraczać 14%, a ich temperatura winna być równa temperaturze otoczenia ± 5 K. Parametry te warunkują odpowiednią wytrzymałość granul i odporność na pleśnienie podczas magazynowania i transportu. Zgodnie z tymi wymogami w chłodnicy należy odprowadzić od granulatu, w przybliżeniu, tyle wody, ile doprowadzono do niego w postaci pary dla ułatwienia procesu granulowania.

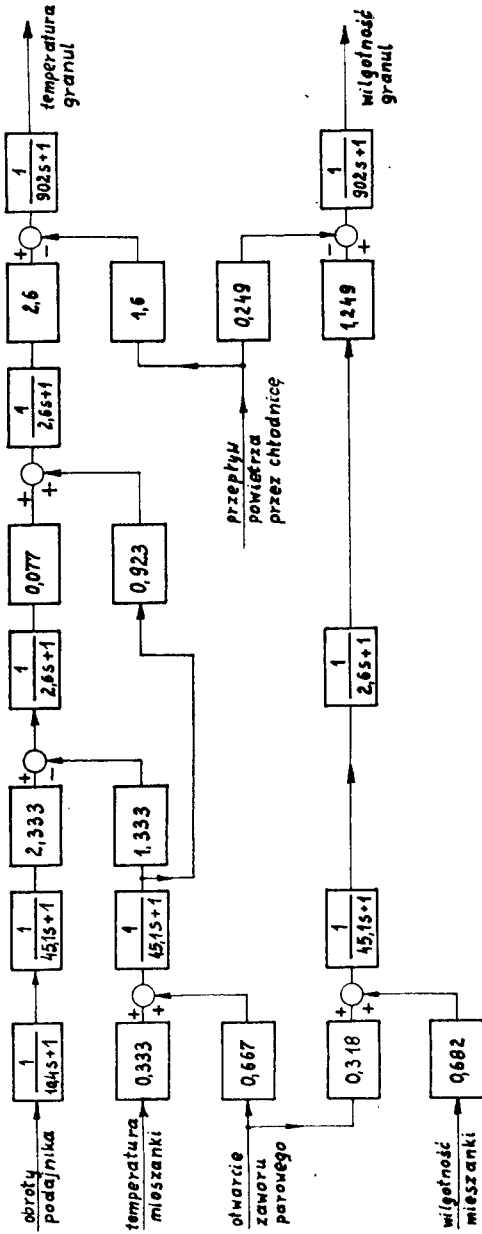
Cząsteczki paszy znajdujące się w powietrzu przechodzącym przez chłodnicę są zawracane na wejście ślimaka parownikowego.

3. Koncepcja układu regulacji linii granulowania

Na podstawie danych technicznych przedstawionych przez zleceniodawcę [5], [6] określono charakterystyki dynamiczne poszczególnych urządzeń linii granulowania. Przyjęto parametry pary zalecane przez wytwórcę granulatora, a wartości innych parametrów układu założono na podstawie danych opublikowanych w [2], gdzie określono optymalny, z uwagi na energochłonność i wydajność procesu, punkt pracy granulatora. Na tej podstawie opracowano zlinearyzowane równanie ruchu odpowiednich urządzeń linii granulowania. W celu uzyskania tych zależności stosowano równania bilansu ciepła, masy i wody w podajniku, granulatorze i chłodnicy.

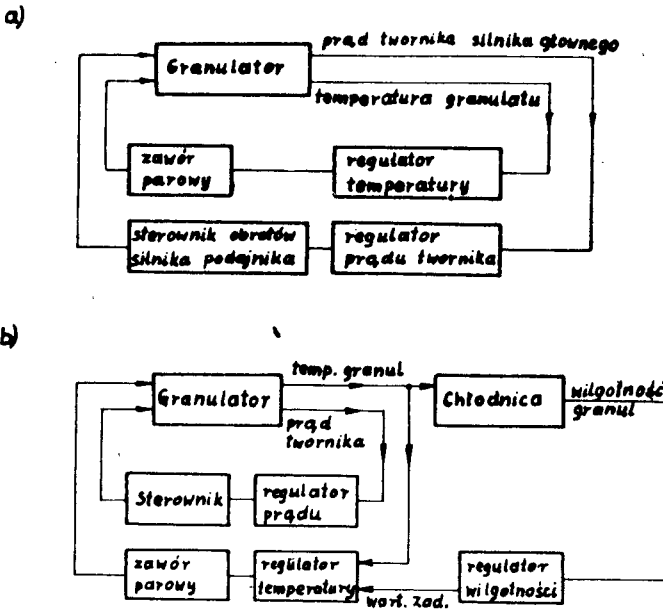
Schemat blokowy tak określonego obiektu regulacji przedstawiono na rys.2.

W celu analizy możliwości automatycznego sterowania linii granulowania rozważono dwie struktury układu regulacji, przedstawione na rys.3. Na rys.3a przedstawiono niezależne układy regulacji: obciążenia silnika głównego granulatora na drodze zmian obrotów podajnika "n" oraz regulacji temperatury granulatu na wyjściu granulatora przez zmianę dopływu pary grzejnej do ślimaka parownikowego. Ten sposób regulacji jest najczęściej stosowany w działających w przemyśle układach regulacji. Jest on obciążony istotną wadą; nie mierzy się tu końcowej wartości temperatury i wilgotności



Rys.2. Schemat blokowy obiektu regulacji /podejnik, ślimak parownikowy, granulator i chłodnica/

ci na wyjściu z chłodnicy. Oba te parametry są najbardziej istotnymi przy ocenie jakości granulowania.



Rys.3. Struktury układów regulacji

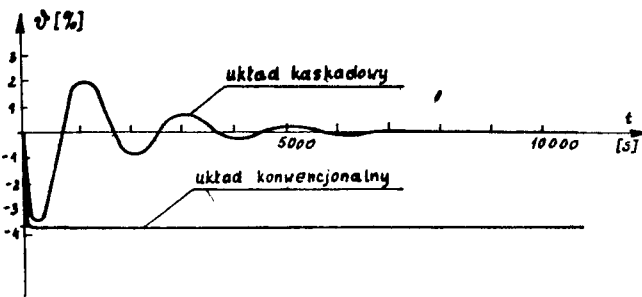
a/ struktura konwencjonalna

b/ proponowana struktura kaskadowego układu regulacji

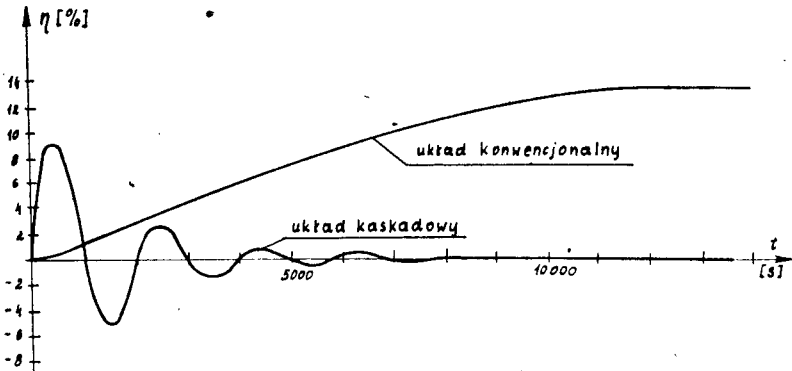
Na rys.3b przedstawiono zaproponowany układ regulacji, składający się z niezależnych układów regulacji: obciążenia silnika głównego granulatora poprzez zmianę prędkości obrotowej podajnika mieszanki oraz kaskadowego układu regulacji wilgotności produktu za chłodnicą z pomocniczym układem regulacji temperatury granul na wyjściu z granulatora. Regulacja w układzie kaskadowym odbywa się za pomocą zmiany dopływu pary grzejnej do ślimaka parownikowego. Regulacja tego typu nie była opisywana w dostępnych publikacjach, a zdecydowano się na nią ponieważ umożliwi ona kontrolę jednego z parametrów warunkujących jakość otrzymywanych granul. Podstawowym problemem występującym w zaproponowanym rozwiązaniu jest konieczność ciągłego pomiaru wilgotności w materiałach sypkich. W przedsiębiorstwie PAN WILMER wyprodukowano mikrofalowy miernik wilgotności, który wg danych producenta spełnia zadanie ciągłego pomiaru wilgotności granul w warunkach przemysłowych.

Obydwa układy regulacji zamodelowano na maszynie analogowej MA 48 L, przyjmując regulator główny typu PI. Regulator pomocniczy oraz regulator obciążenia silnika głównego były regulatorami proporcjonalnymi. Po nastawieniu parametrów regulatora, dobranych wg metody Zieglera-Nicholsa, u-

zyskano wyniki przedstawione na rys.4 i 5, na których pokazano zależność względnego przyrostu temperatury i wilgotności granul na wyjściu z chłodnicy, w zależności od względnego wynuszenia na wejściu. Przez względny przyrost temperatury rozumie się stosunek chwilowej różnicy temperatur $\Delta t = t - t_{nom}$ do wartości temperatury nominalnej t_{nom} , tzn. $\vartheta = \frac{\Delta t}{t_{nom}} 100\%$. Podobnie definiuje się względny przyrost wilgotności $\eta = \frac{\Delta W}{W_{nom}} 100\%$. Wymuszenie zewnętrzne przeliczono na względną zmianę temperatury wejściowej podawanej mieszanki $\vartheta_a = \frac{\Delta t_{miesz.}}{t_{nom\ miesz.}} 100\%$.



Rys.4. Względny przyrost temperatury granul za granulatorem



Rys.5. Względny przyrost wilgotności granul za chłodnicą

4. Wnioski

Z porównania odpowiadających sobie wykresów uzyskanych w obydwu analizowanych układach wynika, że zaproponowany układ regulacji kaskadowej zapewnia uzyskanie nominalnych wartości temperatury i wilgotności granul na wyjściu z chłodnicy. W tradycyjnym sposobie regulacji nie jest to moż-

liwe. Zainstalowanie zaproponowanego układu kaskadowego nie wymaga żadnych zmian konstrukcyjnych granulatora. Z uwagi na dużą stałą czasową chłodnicy, dalszą poprawę jakości regulacji w układzie kaskadowym uzyskać można poprzez zastosowanie regulatora głównego typu PID, a jako regulatora pomocniczego i regulatora obciążenia silnika głównego typu PI.

Wyniki te przekazano zleceniodawcy wraz z projektem układu regulacji linii granulowania. Dalsze prace będą prowadzone w kierunku kompleksowej regulacji i automatyzacji wytwórni pasz wraz z dozowaniem składników paszy i bilansowaniem wytwórni.

Literatura

- [1] Simmons N.O.: Produkcja pasz przemysłowych. PWRiL, Warszawa 1968
- [2] Reinders N.E., Van Bastelaere G.R.: Die Suche nach optimalen Bedingungen für das Verpressen von Mischfutterpellets. Die Mühle + Mischfuttertechnik, Heft 9 i 10/11 z roku 1971
- [3] Młodzianowski S.: Automatyzacja procesów produkcyjnych w krajowych wytwórniach pasz. Przegląd Zbożowo-Młynarski nr 11/1976
- [4] Zöffel W.: Einsatz von Prozessrechnensystemen zur Automatisierung des Produktionsablaufs in Mischfutterwerken URSAMAT-K 4000. Technische Information VEB Werke Teltow
- [5] Założenia konstrukcyjne na granulator typ OG-1. OBR SPOMASZ w Bydgoszczy - niepublikowane
- [6] Tymczasowa instrukcja obsługi prototypu granulatora typ 2OG-1. OBR SPOMASZ w Bydgoszczy - niepublikowane
- [7] Prospekty firmowe i katalogi

AN ANALYSIS OF AUTOMATIZATION REALIZABILITY OF NUTRITIVE FODDER GRANULATION LINE

Summary

The work includes an attempt at determining dynamic properties of the nutritive fodder granulator as well as there have been analysed two types of control systems of the fodder granulation line. There has been recommended a cascade control system of granules humidity which, according to simulation results on a analogue machine, should improve the quality of obtained granules.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИНИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

/По заказу Центра Исследовательского Развития завода СПОМАН в
Быдгоще/

Резюме

В работе представлена попытка определения динамических свойств гранулятора концентрированных кормов и проанализированы две структуры систем регулирования линий гранулирования концентрированных кормов. Предложена каскадная схема регулирования влажности гранул, которая согласно результатам моделирования на аналоговой вычислительной машине должна улучшить качество полученных гранул.

Lech M. Kamiński
Marian Szymański
an Łukasiewicz

TUNEL WSTĘPNEGO DOJRZEWANIA PŁYT AZBESTOWO-CEMENTOWYCH
Z ZASTOSOWANIEM AUTOMATYCZNEJ REGULACJI TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI

W celu zapewnienia optymalnych warunków przebiegu procesu wstępnego dojrzwania płyt azbestowo-cementowych w tunelu wstępnego dojrzwania zaprojektowano układy automatycznej regulacji i rejestracji parametrów powietrza w tunelu. W oparciu o opracowany bilans cieplny i masowy tunelu zaprojektowano instalację grzewczo-nawilżającą.

Wyniki badań zbudowanej instalacji w PZMI w Trzemesznie w pełni potwierdziły pełną jej przydatność i wysoką niezawodność w warunkach przemysłowych.

1. Wstęp

Proces technologiczny wytwarzania falistych płyt azbestowo-cementowych składa się z kolejnych podstawowych operacji: przygotowania masy azbestowo-cementowej, formowania płyt i wstępnego ich dojrzwania. Ostatnia z tych operacji - wstępne dojrzwanie płyt - polega na wytworzeniu i utrzymaniu w tunelach specjalnej konstrukcji warunków zapewniających przyspieszony przebieg procesu hydratacji cementu i przetrzymywaniu w nich uformowanych płyt. Winna ona przebiegać w czasie około 7 godzin w powietrzu, którego temperatura ma zawierać się w granicach 313-323 K, a wilgotność względna 90-95%. Operacja wstępnego dojrzwania ma doniosłe znaczenie dla wytrzymałości płyt oraz struktury ich powierzchni. Stosowanie w czasie wstępnego dojrzwania zbyt wysokiej temperatury oraz małej wilgotności względnej powietrza powoduje pogorszenie własności wytrzymałościowych oraz pękanie powierzchniowych warstw płyt. Jeżeli powietrze wypełniające tunel osiągnie parametry punktu rosy, w tunelu zacznie wykraplać się para wodna. Skropliny mieszają się z olejem, którym powlekane są powierzchnie stalowych przekładek rozdzielających płyty azbestowo-cementowe ułożone w stopy na wózkach przesuwających się wzdłuż tunelu. Powstaje w ten sposób znaczna ilość ścieków szkodliwych dla środowiska naturalnego i stosunkowo trudnych do oczyszczenia ze względu na zawartość oleju. Zachowanie w tunelu wartości parametrów powietrza wymaganych procesem technologicznym narzuca konieczność ciągłej i precyzyjnej regulacji temperatury i wilgotności względnej. Tunele stosowane w przemyśle krajowym płyt azbesto-

wo-cementowych nie spełniają tych warunków.

Na zlecenie Pomorskich Zakładów Materiałów Izolacyjnych "Izopol" w Trzemesznie opracowano projekt tunelu wstępnego dojrzewania płyt, w którym zastosowano oryginalne rozwiązania układu nawilżająco-grzewczego oraz automatyczną rejestrację i regulację parametrów powietrza. Według opracowanego projektu przebudowano w "Izopolu" jeden z tunelów wstępnego dojrzewania. Wyniki badań jego pracy zostaną wykorzystane przy wdrażaniu opracowanego rozwiązania tunelu w pozostałych trzech instalacjach wytwarzania płyt azbestowo-cementowych w "Izopolu", a następnie w pozostałych zakładach tej branży w kraju.

2. Instalacja grzewczo-nawilżająca tunelu

Dokonując doboru optymalnego układu grzewczo-nawilżającego dla tunelu wstępnego dojrzewania płyt przeprowadzono analizę kilku rozwiązań konstrukcyjnych instalacji tego rodzaju. Układy te oraz zasadę ich działania przedstawiono niżej:

- układ z nawiewem do tunelu powietrza ogrzanego i nawilżonego w zainstalowanych na zewnątrz tunelu komorach klimatyzacyjnych;
- układ z otwartym kanałem wodnym umieszczonym wewnątrz tunelu, między torami, po których przesuwają się wózki z płytami azbestowo-cementowymi. Wypełniająca kanał woda wymienia z powietrzem w tunelu masę i ciepło, nawilżając je i ogrzewając;
- układ z przeponowym ogrzewaniem powietrza parą wodną i nawilżaniem parą bezpośrednią doprowadzaną dyszami do tunelu;
- układ z ogrzewaniem i nawilżaniem powietrza w tunelu parą bezprzeponowo, doprowadzoną dyszami do tunelu;
- układ z ogrzewaniem powietrza parą wodną za pomocą wymienników przeponowych i nawilżaniem w zainstalowanych na zewnątrz tunelu komorach zraszających;
- układ z ogrzewaniem powietrza parą wodną za pomocą przeponowych wymienników ciepła i nawilżaniem parą bezpośrednią oraz dodatkowo rozpyloną wodą;
- układ ogrzewania i nawilżania za pomocą wody ogrzewanej przeponowo parą wodną w otwartych rynnach zainstalowanych przy bocznych ścianach tunelu.

Optymalny układ dla założonych warunków eksploatacyjnych tunelu dobórano posługując się dwuwskaznikową metodą optymalizacji doboru. Jest nim układ z przeponowym ogrzewaniem powietrza parą wodną oraz nawilżaniem parą bezpośrednią i dodatkowo rozpyloną wodą. Dodatkowa instalacja do nawilżania powietrza rozpyloną wodą umożliwiła uzyskanie optymalnych warunków pracy tunelu w okresie letnim, kiedy maleją straty ciepłe powodowane wymianą ciepła między tunelem a otoczeniem, a ciepło hydratacji cementu okazuje się wystarczające dla utrzymania wartości temperatury określonej

procesem technologicznym.

Zaprojektowana instalacja grzewczo-nawilżająca tunelu składa się z następujących układów:

- układu ogrzewania przeponowego,
- układu ogrzewania i nawilżania parą bezpośrednią,
- układu nawilżania dyszami inżektorowymi,
- układu pomiarów i automatycznej regulacji.

Układ ogrzewania przeponowego jest przeznaczony do doprowadzania ciepła koniecznego do wytworzenia i utrzymania zadanej temperatury powietrza wewnątrz tunelu. Tunel, którego długość wynosi 38 m podzielono ze względu na przebieg procesu technologicznego dojrzewania wstępnego płyt na trzy sekcje o równych długościach. Sekcje oznaczono kolejnymi numerami zgodnie z kierunkiem przesuwania się wózków z płytami azbestowo-cementowymi.

Zapotrzebowanie ciepła oraz powierzchnię grzejników obliczono na podstawie bilansu cieplnego, którego ogólną postać przedstawiono niżej 2 :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 - \dot{Q}_6$$

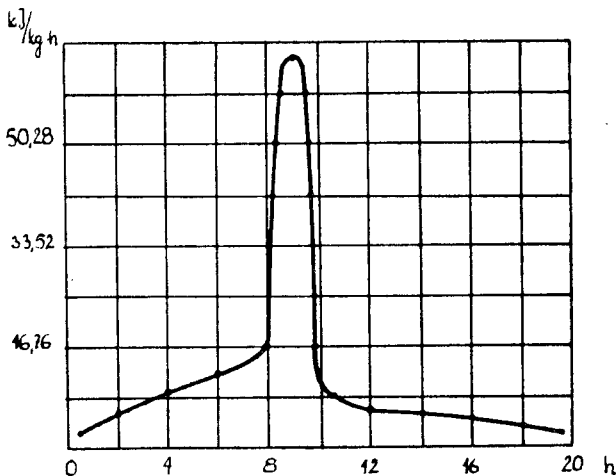
gdzie:

- \dot{Q} - strumień ciepła doprowadzonego do tunelu przez grzejniki
- \dot{Q}_1 - strumień ciepła potrzebnego do ogrzania płyt azbestowo-cementowych
- \dot{Q}_2 - strumień ciepła potrzebnego do ogrzania wózków transportowych
- \dot{Q}_3 - strumień ciepła potrzebnego do ogrzania stalowych przekładek oddzielających płyty
- \dot{Q}_4 - strumień ciepła potrzebnego do uzupełnienia strat cieplnych wynikających z wymiany ciepła
- \dot{Q}_5 - strumień ciepła potrzebnego do ogrzania powietrza w tunelu
- \dot{Q}_6 - strumień ciepła wydzielonego w procesie hydratacji cementu.

Bilans cieplny wyznaczono dla dwóch przypadków: dla okresu letniego i dla okresu zimowego. Największą wartość w obu przypadkach ma w równaniu strumień ciepła wydzielanego w procesie hydratacji cementu. Określając wartość tego strumienia ciepła uwzględniono dynamiczny charakter przebiegu procesu wydzielania się ciepła w wyniku hydratacji cementu. Przebieg procesu wydzielania się ciepła w procesie hydratacji cementu stosowanego do wytwarzania płyt azbestowo-cementowych przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rys.1 [1].

Grzejniki przeponowe zaprojektowano w postaci płaskich węzownic z rur stalowych instalowanych na bocznych ścianach tunelu w I i II jego sekcji. W sekcji III nie przewidziano zainstalowania grzejników ze względu na duże ilości wydzielającego się w tej sekcji ciepła hydratacji.

Układ ogrzewania i nawilżania parą bezpośrednią przeznaczony jest do pracy głównie w okresie zimowym. Para doprowadzana jest bezpośrednio do wnętrza tunelu trzema dyszami rozmieszczonymi w ten sposób, że w każdej sekcji zainstalowana jest jedna dysza.

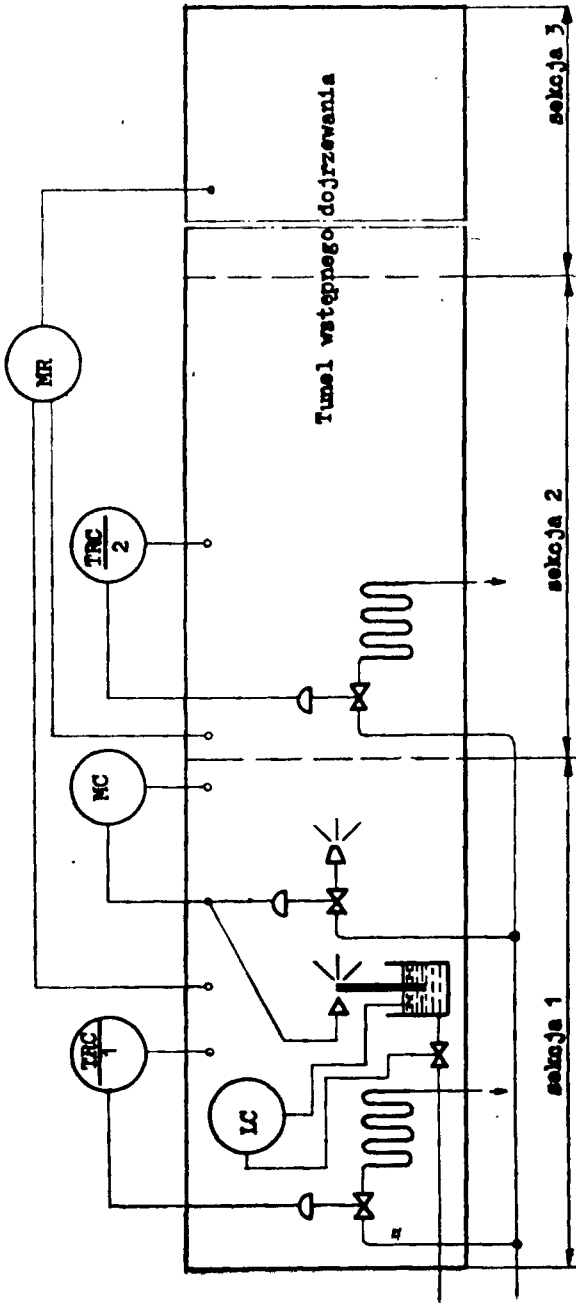


Rys.1. Wykres przebiegu wydzielania się ciepła w procesie hydratacji cementu

Układ nawilżania dyszami inżektorowymi przewidziany jest głównie do nawilżania powietrza w okresie letnim. Zbudowany jest on z 21 dysz nawilżających inżektorowych specjalnie w tym celu zaprojektowanych oraz z układu zasilania wodą i powietrzem. Strumień wody rozpylanej przez dysze został określony na podstawie bilansu masowego tunelu ujmującego zjawisko wymiany wody między powietrzem wypełniającym tunel, a przebywającymi w nim płytami azbestowo-cementowymi. Zaprojektowane i wykonane dysze zostały przed zainstalowaniem w tunelu przebadane w ITiEM dla ustalenia rzeczywistych optymalnych parametrów ich pracy.

3. Układ pomiarów i automatycznej regulacji temperatury i wilgotności

Dla zapewnienia stałości parametrów pracy tunelu przewidziano zainstalowanie układu rejestracji i automatycznej regulacji temperatury i wilgotności powietrza wypełniającego tunel. Zachowanie stałości temperatury i wilgotności jest konieczne nie tylko ze względu na prawidłowość przebiegu procesu technologicznego lecz również ze względu na ochronę środowiska przed nadmierną ilością ścieków powstających w tunelu w przypadku wykraplania się zawartej w powietrzu wody, po przekroczeniu parametrów punktu rosy. Uproszczony schemat układu pomiarów i automatycznej regulacji zastosowany w tunelu wstępnego dojrzewania płyt azbestowo-cementowych przedstawiono na rys.2 [2].



Rys.2. Schemat układów pomiarów i automatycznej regulacji temperatury i wilgotności
 TRC-1, TRC-2 - regulatory i rejestratory temperatury w I i II sekcji tunelu
 MC - elektroniczny regulator wilgotności względnej
 MR - elektroniczny rejestrator kompensacyjny

Układ pomiarów i automatycznej regulacji złożony jest z następujących obwodów:

- regulacji i rejestracji temperatury w I sekcji tunelu,
- regulacji i rejestracji temperatury w II sekcji tunelu,
- regulacji wilgotności powietrza,
- rejestracji wilgotności,
- regulacji poziomu wody zasilającej dysze inżektorowe.

Obwód regulacji temperatury składa się z pneumatycznego przetwornika temperatury TT z czujnikiem manometrycznym, pneumatycznego regulatora mieszkowego TC typu PID, rejestratora pneumatycznego TR, stacyjki operacyjnej TK oraz urządzenia wykonawczego TV.

W skład urządzenia wykonawczego wchodzi zawór regulacyjny na przewo-
dzie doprowadzającym parę wodną do grzejników przeponowych, siłownik pneu-
matyczny membranowy ze sprężyną oraz ustawnik pozycyjny. Przed i za zawo-
rami regulacyjnymi w obwodach każdej sekcji tunelu zainstalowane są zawory
odcinające, a równoległe z zaworami regulacyjnymi - zawory na przewodach
parowych bocznikujących. Przetworniki pomiarowe i urządzenia wykonawcze
zainstalowane są bezpośrednio na tunelu, natomiast rejestratory z zabudo-
wanymi w nich regulatorami oraz stacyjkami operacyjnymi umieszczone są w
szafie sterowniczej ustawionej obok tunelu. Rejestratory umożliwiają zapis
na taśmie papierowej przebiegu zmian temperatury w danej sekcji tunelu o-
raz wskazywanie nastawionej wartości zadanej tej temperatury. Stacyjka
operacyjna umożliwia nastawienie wartości zadanej temperatury, regulację
ręczną i przełączanie układu z regulacji ręcznej na automatyczną lub od-
wrotnie. W stacyjce operacyjnej zabudowane są dwa nastawniki ciśnienia, z
których jeden służy do nastawiania wartości ciśnienia stanowiącej zadaną
wartość temperatury, a drugi do ręcznego sterowania zaworem regulacyjnym.
Poza tym w stacyjce operacyjnej znajduje się przełącznik oraz wskaźnik pod-
wójny ciśnienia wyjściowego regulatora i ciśnienia z nastawnika ręcznego.

Obwód regulacji wilgotności steruje pracą inżektorowych dysz nawilża-
jących i układu ogrzewania i nawilżania parą bezpośrednią. Wilgotność re-
gulowana jest za pomocą dwupołożeniowego elektronicznego regulatora MC
/ze sprzężeniem zwrotnym/, który wyposażony jest w chlorolitowy czujnik
wilgotności względnej. Regulator współpracuje z trójdrogowym pneumatycznym
zaworem elektromagnetycznym MZ i w przypadku wilgotności w tunelu mniej-
szej od zadanej wartości powoduje doprowadzenie powietrza o ciśnieniu nas-
tawionym w bloku zasilającym z przewodem wyjściowym. Przewód wyjściowy za-
woru elektromagnetycznego może być połączony z pneumatycznym siłownikiem
membranowym otwierającym zawór regulacyjny pary grzewczo-nawilżającej do-
prowadzający parę wodną do zainstalowanych w tunelu dysz lub z siłownikiem
pneumatycznym zaworu regulacyjnego zamontowanego na przewodzie doprowadza-
jącym sprężone powietrze do układu nawilżających dysz inżektorowych. Układ
umożliwia więc korzystanie z nawilżania parowego lub wodnego w zależności
od warunków panujących na zewnątrz tunelu. Regulator wilgotności zainsta-
lowany jest w szafie sterowniczej, a czujnik wilgotności i urządzenia wy-

konawcze bezpośrednio w tunelu. Przebiegi zmian wilgotności względnej powietrza w trzech miejscach wewnątrz tunelu rejestruje na taśmie papieru wykresowego elektroniczny rejestrator kompensacyjny MR wyposażony w chlorolitowe czujniki wilgotności względnej. Czujniki wilgotności umieszczone są w tunelu, a rejestrator w szafie sterowniczej.

Stały poziom wody w zbiorniku zasilającym dysze nawilżające inżektorowe utrzymywany jest za pomocą pływaka oddziaływującego na zawór doprowadzający wodę z sieci do zbiornika.

4. Badania pracy tunelu

Po zamontowaniu w tunelu wykonanych według opracowanego projektu instalacji grzewczo-nawilżających oraz układów automatycznej rejestracji i regulacji przeprowadzono wstępne badania dla stwierdzenia osiągniętych parametrów pracy instalacji oraz wycechowania układu. Drugi etap badań nie realizowany w chwili powstawania niniejszego opracowania przewiduje określenie optymalnych ze względu na własności wytrzymałościowe i strukturę powierzchni wytwarzanych płyt parametrów pracy tunelu.

W tabeli 1 zamieszczono średnie wartości trzech pomiarów rozkładu temperatur i wilgotności względnej powietrza przeprowadzonych w pierwszym przypadku w tunelu z włączonym układem ogrzewania przeponowego i nawilżania dyszami inżektorowymi oraz w drugim przypadku z włączonym układem ogrzewania przeponowego i nawilżania parą bezpośrednią.

Tabela 1

Wyniki pomiarów parametrów eksploatacyjnych tunelu wstępnego dojrzewania płyt azbestowo-cementowych

Miejsce pomiaru	Tunel ogrzewany przeponowo i nawilżany dyszami inżektorowymi		Tunel ogrzewany przeponowo i nawilżany parą bezpośrednią	
	Temperatura K	Wilgotność względna %	Temperatura K	Wilgotność względna %
przy wlocie tunelu	307,5	89	304	93
10 m od wlotu	314,5	86	316	73
20 m od wlotu	316	92	319	90
przy wylocie tunelu	313,5	92	310,5	92

Powyższe pomiary przeprowadzono w tunelu zapełnionym tylko w połowie wózkami z płytami, a więc przy zmniejszonej wartości strumienia ciepła

hydratacji. Dodatkowe straty ciepłe powodowały nieszczelne zasłony zamykające wlot i wylot tunelu.

5. Wnioski

1. Na podstawie wyników wstępnych pomiarów można wnioskować, że zarówno układ grzewczy jak i układy nawilżające zostały zaprojektowane prawidłowo i zapewniają osiągnięcie założonych parametrów powietrza w tunelu.

2. Parametry powietrza w tunelu wyrównują się stosunkowo szybko dzięki wymianie ciepła i masy między obszarami tunelu na drodze konwekcji swobodnej.

3. Należy zmienić zasłony zamykające wlot i wylot tunelu. Zasłony zainstalowane w czasie prób w tunelu są mało szczelne i nie zamykają tunelu przy wprowadzaniu i wyprowadzaniu wózków. Powoduje to znaczne straty ciepła i wilgotnego powietrza w wyniku wymiany powietrza między tunelem a otoczeniem.

4. Układy automatycznej rejestracji i regulacji są dobrane prawidłowo i pracują w sposób zadowalający. Umożliwiają one ciągłą rejestrację parametrów powietrza w tunelu oraz utrzymanie zadanych wartości temperatury i wilgotności względnej.

5. Instalacja grzewczo-nawilżająca z automatyczną rejestracją i regulacją parametrów pracy stanowi rozwiązanie prototypowe nie stosowane w przemyśle. Wykorzystane zostanie ono do modernizacji tunelów wstępnego dojrzewania w krajowym przemyśle płyt azbestowo-cementowych. Zapewnia ono nie tylko wymagane procesem technologicznym warunki wstępnego dojrzewania płyt ale również dzięki ograniczeniu ilości powstających w tunelu ścieków zmniejsza zagrożenie środowiska.

Literatura

- [1] Młodecki J., Wolska-Kotańska Cz.: Cement-Wapno-Gips nr 10, 1979, s.269 - 274
- [2] Kamiński L.M., Szymański M., Łukasiewicz J.: Projekt modernizacji tunelu wstępnego dojrzewania płyt azbestowo-cementowych z uwzględnieniem automatycznego systemu ogrzewania i nawilżania powietrza. ATR Bydgoszcz, 1980 /praca niepublikowana/

A TUNNEL FOR PRE-CURING OF ASBESTOS-CEMENT PANELS WITH THE APPLICATION OF AUTOMATIC CONTROL OF TEMPERATURE AND HUMIDITY

Summary

In order to ensure optimal conditions for the process of pre-curing asbestos-cement panels in the tunnel there were designed systems of automatic control and registering of air parameters in the tunnel. On the basis of the worked out heat and mass balance of the tunnel there was designed a humidifying-heating system.

The results of the examination of the system installed in PZMT in Trzemeszno have proved its full usability and high reliability under service conditions.

ТУННЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДОЗРЕВАНИЯ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

Резюме

Для обеспечения оптимальных условий для протекания предварительного процесса дозревания асбестоцементных плит в туннелях предварительного дозревания спроектированы системы автоматического регулирования и регистрации параметров воздуха в туннеле. На основе разработанного теплового и массового баланса туннеля запроектировали отопительную увлажняющую установку.

Результаты исследования построенной установки на заводе изоляционных материалов в Тшемешно полностью подтвердили её пригодность и высокую надежность в промышленных условиях.

Zbigniew Kikiewicz
Jerzy Lewandowski

ZAGADNIENIE PODWYŻSZANIA NIEZAWODNOŚCI ZŁOŻONYCH OBIEKTÓW NA PRZYKŁADZIE MASZYNY PAPIERNICZEJ

W artykule omówiono znaczenie zagadnienia podwyższania niezawodności maszyn papierniczych w warunkach przemysłowych. Zaproponowano dwie metody rozwiązania zagadnienia. W oparciu o wyniki pomiarów opracowano histogramy i wykresy umożliwiające dokonanie oceny oraz określenie słabych ogniw produkcyjnych maszyny. Zwrócono uwagę na znaczenie doboru modelu strategii remontowej jako czynnika poprawy niezawodności.

1. Wstęp

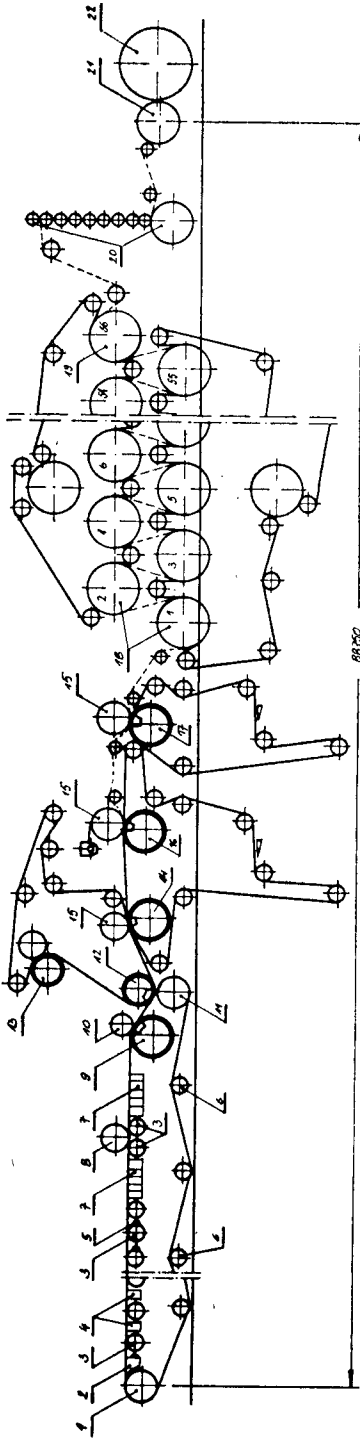
W ostatnich latach w związku z szybkim rozwojem techniki ważne stało się zagadnienie niezawodności współczesnych obiektów technicznych, a wśród nich maszyn papierniczych.

Maszyny papiernicze można określić jako złożone obiekty techniczne o ciągłym procesie technologicznym pracujące przez 24 godziny na dobę. Wydajność tego typu obiektów dochodzi obecnie do 25 ton papieru w ciągu godziny przy szerokości sita ok. 10 m, długości maszyny do 100 m i prędkości sięgającej 16 m/s. Natomiast koszt takich maszyn waha się w granicach 30 - 50 milionów dolarów.

Schemat współczesnej maszyny papierniczej przedstawiono na rys.1.

Ważność zagadnienia niezawodności maszyn papierniczych wynika z faktu, że uszkodzenie maszyny i wyłączenie jej z procesu produkcji wiąże się z dużymi stratami. Przykładowo postoje na skutek uszkodzeń jednej z badanych maszyn spowodowały zmniejszenie produkcji papieru o ok. 5.500 ton w ciągu roku, stanowiącej równowartość ok. 62.000.000 zł. [1].

Biorąc pod uwagę region bydgoski, w którym znajdują się: Zakłady Celulozy i Papieru w Świeciu n/W /należące do największych w Polsce/, Zakłady Papiernicze we Włocławku oraz będący w budowie olbrzymi kombinat celulozowo-papierniczy w Kwidzynie, zagadnienie racjonalnej eksploatacji maszyn papierniczych tego regionu jest tak duże, iż odbija się na gospodarce całego kraju.



Rys.1. Schemat szybkobieżnej maszyny papierniczej:

- | | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1 - walec czołowy | 8 - eguter | 15 - górne walce prasowe |
| 2 - stół formujący | 9 - walec ssący wyżymaka | 16 } - walce ssące pras |
| 3 - wałki rejestrowe | 10 - walec dociskowy wyżymaka | 17 } |
| 4 - skrzynki formujące | 11 - walec napędzający sito | 18 - cylindry suszące |
| 5 - ścianki kierujące | 12 - walec przejmujący wstęgę | 19 - cylinder chłodzący |
| 6 - wałki prowadzące sito | 13 - ssąca pralka filców | 20 - gładzik |
| 7 - skrzynki ssące | 14 - walec ssący prasy | 21 - nawijak |
| | | 22 - zwój papieru |

Zmniejszenie liczby uszkodzeń maszyn papierniczych ma duże znaczenie ekonomiczne, gdyż związane są one z dużymi kosztami strat w produkcji jak i kosztami napraw. Wynika stąd konieczność zapewnienia odpowiedniej niezawodności tych obiektów.

W teorii niezawodności intensywnie rozwijają się dwa kierunki, różniące się w zasadniczy sposób między sobą. Praktyka wykazała, że oba kierunki są korzystne i przyczyniają się do praktycznego rozwiązywania wielu zagadnień.

Pierwszy kierunek, reprezentowany przez radzieckich uczonych jak: A.I.Berg [2], W.I.Siforow [3], I.B.Szor [4] i inni, bazuje na metodach teorii niezawodności i statystyki matematycznej. Uszkodzenia systemu, w badaniach tego kierunku przedstawione są jako zdarzenia bez wglębiania się i uwzględniania pochodzenia ich powstania. Przy pomocy tych metod można rozwiązywać zagadnienia oceny struktur niezawodnościowych, analizy i kontroli niezawodności systemu.

Drugi kierunek, chociaż i tutaj wykorzystuje się w niektórych przypadkach metody statystyki matematycznej i teorii prawdopodobieństwa, bazuje na analizie przyczyn uszkodzeń i stosuje głównie deterministyczne metody analizy. Ten kierunek daje możliwość określenia drogi podwyższania niezawodności systemów i ich składowych w konkretnych warunkach ich pracy. Przedstawicielami tego kierunku są: W.N.Trejer [5], M.A.Elizawetin [6], A.S.Pronikow [7] i inni.

2. Model probabilistyczny niezawodności maszyny papierniczej jako systemu ze skończonym czasem odnowy

Dany jest obiekt złożony $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, w naszym przypadku maszyna papiernicza, w której odnowa każdego zespołu wymaga pewnego czasu. Obiekt taki można zawsze potraktować jako system złożony z "n" elementów. Przy konstrukcji modelu probabilistycznego systemu przyjmujemy następujące założenia:

1. Każdy z zespołów e_i jest scharakteryzowany rozkładem czasu życia $F_i(t)$

$$F_i(t) = P\{\tau_i' < t\}, \quad i = \overline{1, n}$$

2. Każdy z zespołów e_i jest scharakteryzowany rozkładem czasu odnowy $G_i(t)$

$$G_i(t) = P\{\tau_i'' < t\}, \quad i = \overline{1, n}$$

3. Powyższe rozkłady $F_i(t)$ i $G_i(t)$ mają ciągle gęstości $f_i(t)$ i $g_i(t)$ i istnieją skończone średnie T_{i1} i T_{i2} jak również wariancje σ_{i1}^2 , σ_{i2}^2 .

4. W czasie odnowy dowolnego zespołu maszyna jest wyłączona, nie pracuje. W tym czasie we wszystkich innych zespołach nie zachodzą żadne istotne zmiany i dlatego z chwilą odnowienia zespołu uszkodzonego wszystkie pozostałe zespoły zaczynają pracować tak, jak gdyby odnowa zachodziła w

sposób nagły. Wynika stąd, że zespoły maszyny tworzą szeregową strukturę niezawodnościową.

7. Założymy również, że liczba zespołów w maszynie jest duża, a gęstość odnowy każdego z nich stanowi nieskończenie małą część całkowitej gęstości odnowy maszyny.

Opierając się na powyższym można wyprowadzić zależność określającą rozkład długości okresu odnowy systemu, który rozpoczyna się w chwili t [8]:

$$P \{ \tau'' < t \} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i(t)}{h(t)} G_i(t)$$

gdzie:

$h_i(t)$ - intensywność uszkodzeń i -tego zespołu

$h(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t)$ - intensywność uszkodzeń maszyny

Jeżeli założyć, że intensywność uszkodzeń $h_i(t)$ i $h(t)$ są stałe:

$$h_i(t) \equiv h_i ; \quad h(t) \equiv h$$

wówczas okresy pracy maszyny będą miały rozkład wykładniczy [8]

$$P \{ \tau' < t \} = 1 - e^{-ht}$$

a okresy odnowy będą miały rozkład o postaci

$$P \{ \tau'' < t \} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h} G_i(t) = G(t)$$

przy czym wszystkie te okresy będą niezależne. W ten sposób strumień uszkodzeń i odnowień systemu przedstawia proces odnowy ze skończonym czasem odnowy.

Średni czas pracy maszyny można obliczyć z zależności:

$$T_1 = \int_0^{\infty} e^{-ht} dt = \frac{1}{h}$$

a średni czas odnowy określić równaniem:

$$T_2 = \int_0^{\infty} [1 - G(t)] dt = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h} T_{i2}$$

Współczynnik gotowości maszyny wyraża się wzorem:

$$K_g = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n h_i T_{i2}}$$

Prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy w przeciągu czasu t jest równe:

$$P(t) = K_g e^{-ht} = K_g e^{-\frac{t}{T_1}}$$

W przypadku, gdy proces odnowy staje się procesem stacjonarnym, wówczas $h_i(t)$ i $h(t)$ dążą do granic:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} h_i(t) = \frac{1}{T_{i1}}; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{i1}}$$

Dla takiego procesu mamy:

$$T_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{i1}}}$$

$$T_2 = T_1 \sum_{i=1}^n \frac{T_{i2}}{T_{i1}}$$

$$K_g = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{T_{i2}}{T_{i1}}}$$

$$P(t) = K_g e^{-\frac{t}{T_1}}$$

3. Badania eksploatacyjne niezawodności maszyn papierniczych

Eksploatacyjne badania niezawodności maszyn papierniczych mają na celu:

- obiektywną ocenę jakości produkcji w naturalnych warunkach eksploatacyjnych;
- opracowanie charakterystyk i wskaźników niezawodności maszyn papier-

niczych;

- wyznaczanie słabych ogniw oraz przyczyn powstawania uszkodzeń celem poprawienia jakości maszyn papierniczych;
- określenie wytycznych do modernizacji zespołów i ich elementów;
- ocenę prac modernizacyjnych;
- opracowanie norm zużycia części zamiennych;
- optymalizację obsługi technicznych i napraw.

Realizacja tych badań wymaga opracowania systemu zbierania, weryfikacji i przetwarzania danych o eksploatacji maszyn papierniczych. Uzyskane tą drogą wyniki badań, oprócz wartości poznawczych mają wartość użytkową tak dla producenta, jak również dla eksploatorów.

Ze względu na obszerność poruszanego zagadnienia, w niniejszej pracy ograniczono się do przedstawienia wybranych wycinków badań, będących podstawą do opracowania modeli matematycznych takich, jak: prognozowanie procesów odnowy, normowanie zużycia części zamiennych oraz pracochłonności, a także modernizacji "słabych ogniw" maszyny.

Badania realizowano na poziomach złożoności:

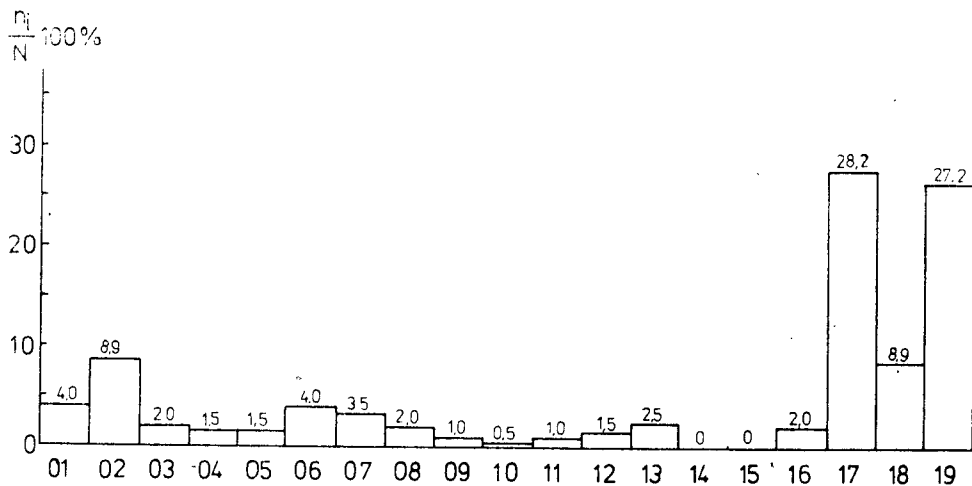
- maszyna papiernicza,
- zespół,
- element.

Przy powyższym podziale trzeci poziom zawierał elementy naprawialne i nienaprawialne, natomiast dwa pozostałe obejmowały elementy naprawialne.

4. Wykorzystanie niektórych charakterystyk do analizy niezawodności maszyny papierniczej

Bazując na danych otrzymanych z badań eksploatacyjnych przedstawiono wykorzystanie ich do ustalania słabych ogniw oraz budowy empirycznych rozkładów czasów pracy. Badania przeprowadzono na maszynie papierniczej produkującej papier workowy o gramaturze 71 g/m^2 , szerokości sita 6000 mm i prędkości 9 m/s.

Na podstawie zbioru uzyskanych informacji, opracowania statystycznego oraz bezpośrednich obserwacji na obiekcie badań, można określić prawdopodobne przyczyny występujących uszkodzeń i wykorzystać to w pracach modernizacyjnych. Jednakże rozpatrywanie wszystkich występujących uszkodzeń i zakańceń pod względem ich przyczyn nie jest możliwe. Analiza taka poprzedzona jest klasyfikacją zjawisk umożliwiającą grupowanie ich i łączne rozpatrywanie. Jako naczelné kryterium klasyfikacji przyjęto wpływ uszkodzeń zespołów oraz ich elementów na pracę maszyny papierniczej. Analizując następnie częstość uszkodzeń, uzyskuje się dane do typowania słabych ogniw. Na rys. 2 przedstawiono częstość uszkodzeń zespołów maszyny papierniczej.



Rys.2. Udział uszkodzeń zespołów w ogólnej liczbie uszkodzeń maszyny papierniczej:

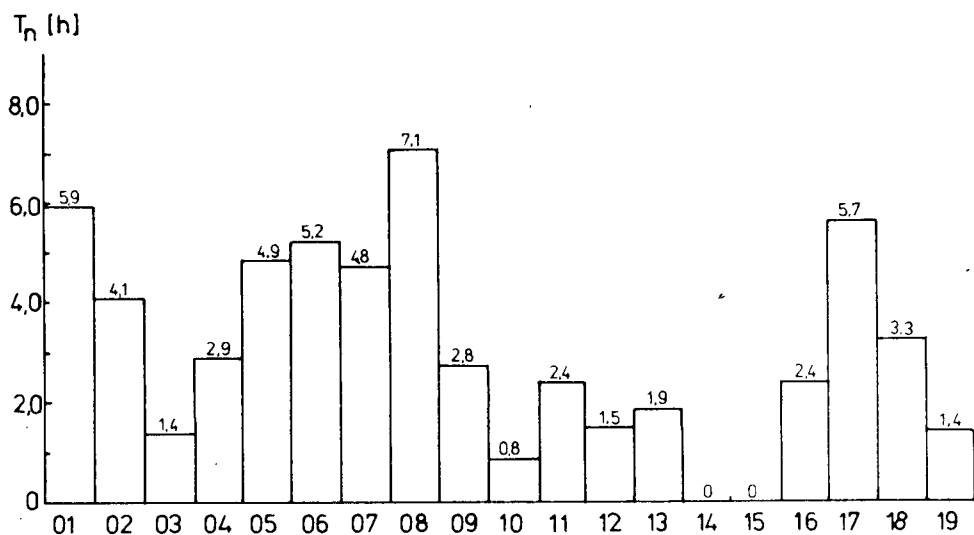
n_i - liczba uszkodzeń i -tego zespołu	13 - układ parowo-kondensacyjny
N - ogólna liczba uszkodzeń maszyny papierniczej	14 - układ wentylacyjny
01 - wlew	15 - gładziarka
02 - część sitowa	16 - nawijak
03-05 - prasy	17 - zespół przeniesienia napędu
06-12 - grupy cylindrów suszących	18 - zespół elektryczny
	19 - zespół napędu

Z rysunku wynika, że maszyna posiada następujące słabe ogniwa: zespół przeniesienia napędu i zespół napędu, których uszkodzenia odpowiednio stanowiły 28,2% i 27,2% wszystkich uszkodzeń maszyny papierniczej.

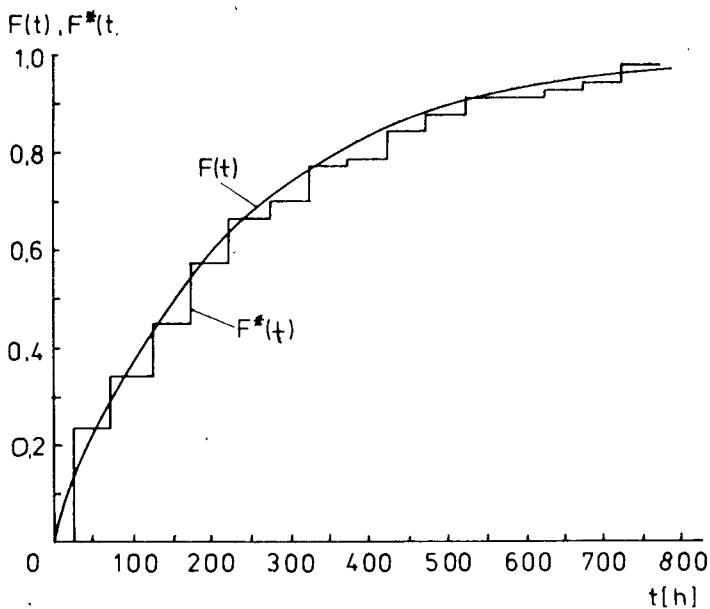
Do opracowania strategii remontów maszyn papierniczych, których model przedstawiliśmy w pracach [9, 10], konieczna jest, między innymi, znajomość czasów napraw. Średni czas trwania postojów awaryjnych zespołów maszyny papierniczej przedstawiono na rys.3.

Punktem wyjścia czynności zapobiegawczych jest znajomość funkcji trwałości zespołów lub pojedynczych części. Funkcje te służą do ustalania odstępów czasu, po których wymiana zapobiegawcza powinna nastąpić. Przykładowo, otrzymany z badań wykres funkcji trwałości zespołu przeniesienia napędu ilustruje rys.4.

W celu otrzymania pełnego obrazu czasu pracy maszyny, jak i możliwości porównania z innymi maszynami, z uzyskanych wyników badań obliczono i wykreślono empiryczny i teoretyczny rozkład czasu pracy tego obiektu. Charakter krzywej rozkładu czasu pracy maszyny papierniczej obrazuje rys.5.

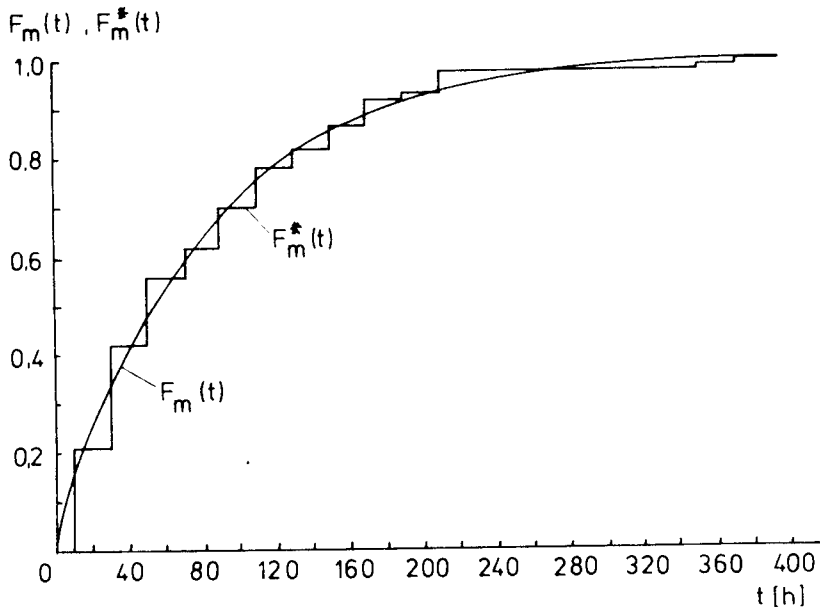


Rys.3. Średni czas naprawy zespołów maszyny papierniczej



Rys.4. Przebieg funkcji żywotności zespołu przeniesienia napędu maszyny papierniczej:

$F^*(t)$ - funkcja empiryczna, $F(t)$ - funkcja teoretyczna



Rys.5. Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń maszyny papierniczej:

$F_m^*(t)$ - funkcja empiryczna, $F_m(t)$ - funkcja teoretyczna

5. Podsumowanie

Z uwagi na znaczenie papieru w gospodarce narodowej, istotne jest zwiększenie jego produkcji, które można osiągnąć między innymi poprzez zwiększenie niezawodności maszyn papierniczych. W tym celu konieczne jest prowadzenie systematycznych badań w celu określenia słabych ogniw maszyny papierniczej. Znajomość słabych ogniw i przyczyn występujących uszkodzeń może być wykorzystana przy ulepszaniu nowych konstrukcji maszyn bądź ich modernizacji.

Do określenia strategii remontów maszyny obok znajomości słabych ogniw konieczna jest również znajomość rozkładów uszkodzeń elementów maszyny.

W celu poprawy efektywnego wykorzystania maszyn papierniczych poprzez podniesienie ich niezawodności, realizowane jest obecnie opracowanie na temat: "Optymalizacja eksploatacji maszyn i urządzeń przemysłu papierniczego".

Literatura

- [1] Lewandowski J., Kikiewicz Z.: Próba wyboru niektórych charakterystyk określających niezawodność maszyn papierniczych. Przegląd Papierniczy nr 11, 1977
- [2] Berg A.I.: Kibernetika i nadežnost. Znanie, Moskwa 1964
- [3] Siforow W.I.: O metodach raščeta nadežnosti raboty sistem, imejuszczich bolszoe czisto elementow. Izwestija AN SSSR, OTN, Moskwa 1954
- [4] Szor J.B.: Statistyczne metody analiza i kontrolja kaczestwa i nadežnosti. Sowetskoe radio, Moskwa 1962
- [5] Trejer W.N.: Teorja dołgowiecznosti i nadežnosti maszyn. Nauka i technika, Mińsk 1964
- [6] Elizawetin M.A.: Powyszenie nadežnosti maszyn. Maszinostroenie, Moskwa 1973
- [7] Pronikow A.S.: Osnovy nadežnosti i dołgowiecznosti maszyn. Standardy, Moskwa 1969
- [8] Gniedenko B.W. i inni: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1968
- [9] Kikiewicz Z., Lewandowski J.: Zur Problematik der Instandhaltung bei komplizierten Ausrüstungen, dargestellt am Beispiel von Papiermaschinen. 3 Wissenschaftliche Konferenz "Instandhaltung", Zwickau 1980
- [10] Kikiewicz Z., Lewandowski J.: Strategia remontowa maszyn papierniczych. Eksploatacja i Dozór, nr 5, 1980

A PROBLEM OF INCREASING RELIABILITY OF COMPLEX MACHINES EXAMPLIFIED
BY PAPER MAKING MACHINE

Summary

The paper presents the significance of the problem of increasing reliability of paper making machines under service conditions in industry. There are suggested two methods of solving the problem. On the basis of measurement results there were worked out histograms and diagrams which enable making an evaluation as well as finding weak links in the machine. Particular attention was paid to the importance of the selection of a model for a repair strategy as a factor of reliability improvement.

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ БУМА-
ГОДОЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Резюме

В статье рассмотрено значение проблемы повышения надежности бумагодолательных машин в промышленных условиях. Предложены два метода решения данной проблемы. На основании результатов измерения разработаны гистограммы и диаграммы дающие возможность оценить и определить слабые производственные элементы. Обращено внимание на значение подбора модели ремонтной стратегии, как фактора повышения надежности.

Tadeusz Leppert

WPLYW ŻUŻYCIA I KSZTAŁTU POWIERZCHNI NATARCIA OSTRZA NA OPORY SKRAWANIA PRZY ODCINANIU

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia przecinaków ze stali SW12C i jego wpływu na zmianę oporów skrawania. Zbadano wpływ kształtu powierzchni natarcia ostrza na wartość składowych siły skrawania P_x , P_y , P_z . Określono optymalny kształt powierzchni natarcia, kryterium stępienia ostrza wraz z jego graniczną wartością.

1. Wstęp

Prowadzone badania zjawisk występujących w procesie toczenia dotyczą głównie toczenia wzdłużnego, natomiast mniej uwagi poświęca się zagadnieniom toczenia poprzecznego, a w szczególności zabiegowi odcinania. Zmieniające się warunki skrawania w czasie odcinania spowodowane między innymi zmianą prędkości skrawania, są przyczyną występujących trudności w tym zabiegu, które związane są z wytrzymałością narzędzia oraz z uzyskaniem wymaganej jakości obrobionych powierzchni [1, 2, 5, 8].

Wymienione zagadnienia mają istotne znaczenie w produkcji wielkoseryjnej i masowej jaką jest produkcja na automatach tokarskich.

Wyniki dotychczasowych badań zużycia przecinaków [3, 5, 7, 8] różnią się odnośnie samego przebiegu i rodzaju zużycia ostrza, jak również w zakresie zalecanych kryteriów stępienia ostrza i ich granicznych wartości. Brak jest opracowań dotyczących występujących zależności pomiędzy stanem ostrza a takimi wielkościami jak opory i temperatura skrawania, jakość obrobionych powierzchni.

W badaniach oporów skrawania zajmowano się rozkładem składowych siły skrawania P_x i P_y w przypadku odcinania przecinakami o kącie przystawienia $\lambda_r = 90^\circ$ [8, 9, 10]. Przesłankami pracujących na automatach tokarskich posiadają wyłącznie kąty przystawienia $\lambda_r \neq 90^\circ$, co związane jest z wymogiem zminimalizowania średnicy czopika pozostającego na czołowej powierzchni odciętego przedmiotu. Skutkiem takiego ukształtowania ostrza jest pojawienie się dodatkowej składowej siły P_x , która powoduje boczne zginanie noża i ma istotny wpływ na wytrzymałość przecinaka i płaskość obrobionych powierzchni. W wymienionych badaniach stosowane były przecinaki o płaskiej powierzchni natarcia, stąd wydaje się celowe podjęcie badań nad ustaleniem wpływu kształtu powierzchni natarcia na opory skrawania.

2. Cel i zakres badań

Przeprowadzone badania miały na celu określenie przebiegu zużycia ostrza przecinaków ze stali SW12C, ustalenie zależności między stopieniem ostrza a oporami skrawania oraz zbadanie wpływu ukształtowania powierzchni natarcia na wartość składowych siły skrawania.

Zakres badań obejmował:

- badanie zużycia ostrza i jego wpływ na zmianę oporów skrawania,
- badanie wpływu kształtu powierzchni natarcia ostrza na wartość oporów skrawania.

Badania te ponadto pozwoliły określić kryterium stopienia ostrza przecinaka oraz ustalić optymalny kształt powierzchni natarcia, zapewniający zmniejszenie występującej w procesie odcinania siły skrawania, której wartość ma istotny wpływ na stabilność pracy przecinaka, jego wytrzymałość i trwałość.

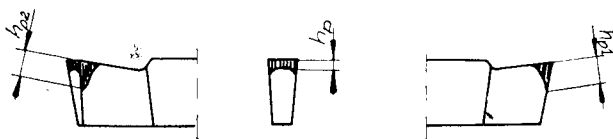
3. Metodyka i technika badań.

W badaniach zużycia ostrza przecinaków do grupy czynników wynikowych zaliczono:

a/ wskaźniki stopienia ostrza /rys.1/:

- szerokość starcia na głównej powierzchni przyłożenia h_p ,
- szerokość starcia na pomocniczej powierzchni przyłożenia od strony odciętego przedmiotu h_{p1} ,
- szerokość starcia na pomocniczej powierzchni przyłożenia od strony obrabianego pręta h_{p2} ,

b/ wartości składowych siły skrawania P_x , P_y , P_z .



Rys. 1. Badane wskaźniki stopienia ostrza

Badania przeprowadzono w niezmiennych warunkach skrawania, których prędkość skrawania wynosiła $v = 128$ m/min, posuw $p = 0,02$ mm/min, $g = 3$ mm. Ciecżą obróbkową był olej maszynowy 8. Ostrze przecinaka posiadało płaską powierzchnię natarcia.

W celu stwierdzenia występujących zależności między stopieniem ostrza a składowymi siły skrawania, dokonano w zakresie normalnego zużycia, aproksymacji liniowej funkcji regresji składowych siły skrawania P_x , P_y , P_z i stopienia ostrza h_p , w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów [4, 6].

Obliczono funkcje regresji dla poszczególnych składowych w postaci:

$$P_x = a_x h_p + b_x$$

$$P_y = a_y h_p + b_y$$

$$P_z = a_z h_p + b_z$$

dla których określono granice ufności:

$$\bar{P}_{x,y,z} = \bar{P}_{x,y,z} \pm s_{P_{x,y,z}} t_{\alpha}$$

$$a_{P_{x,y,z}} = a_{P_{x,y,z}} \pm s_{a_{P_{x,y,z}}} t_{\alpha}$$

gdzie:

$$S_{\bar{P}_{x,y,z}} = \sqrt{\frac{(1 - r_{P_{x,y,z}}^2) \sum_{i=1}^n (P_{x,y,z_i} - \bar{P}_{x,y,z})^2}{n(n-2)}}$$

$$S_{a_{P_{x,y,z}}} = \sqrt{\frac{(1 - r_{P_{x,y,z}}^2) \sum_{i=1}^n (P_{x,y,z_i} - \bar{P}_{x,y,z})^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (h_{p_i} - \bar{h}_p)^2}}$$

Ponadto obliczono współczynniki korelacji między badanymi wielkościami:

$$r_{x,y,z} = a \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_{p_i} - \bar{h}_p)^2}{\sum_{i=1}^n (P_{x,y,z_i} - \bar{P}_{x,y,z})^2}}$$

których istotność sprawdzono testem t-Studenta

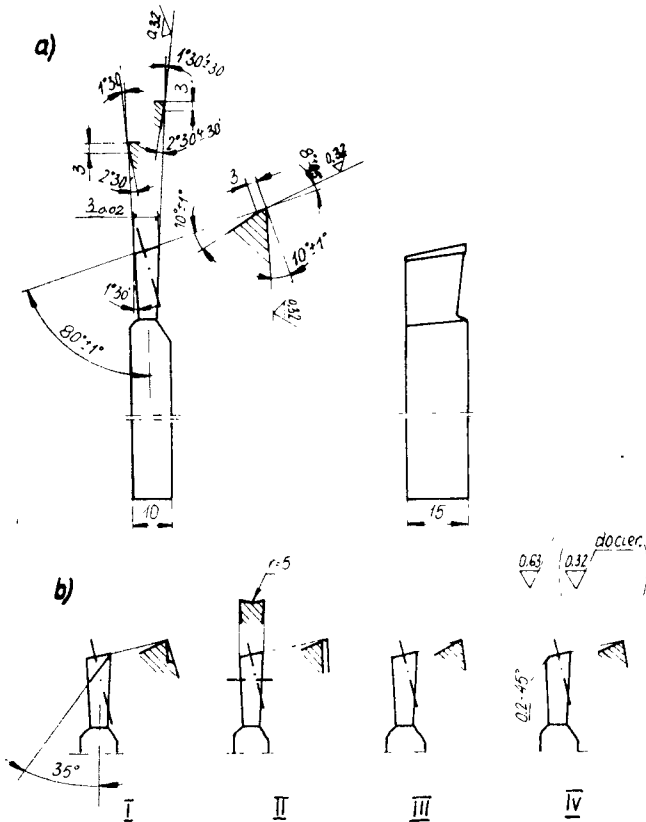
$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} > t$$

Wartość statystyki t odczytano z tablic [4] dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ i liczby stopni swobody $n-2 = 34$.

W badaniach wpływu kształtu powierzchni natarcia na wartość składowych siły skrawania przyjęto następujące odmiany kształtu powierzchni na-

tarcia /rys.2/:

- I - z łamaczem wiórów w kształcie ukośnego rowka
- II - łukowa
- III - płaska
- IV - płaska z ukosowanym narożem od strony obrabianego pręta.



Rys. 2. Nóż przecinak:

- a - stereometria ostrza
- b - kształty powierzchni natarcia

Pierwsze dwie odmiany poprawiają warunki odprowadzenia wiórów z przestrzeni roboczej ostrza. Płaska powierzchnia natarcia jest powszechnie stosowana w praktyce przemysłowej. Odmiana ostatnia zwiększa wytrzymałość naroża, co może mieć istotne znaczenie na rodzaj zużycia ostrza szczególnie dla przecinaków z ostrzami z węglików spiekanych.

Stosowane warunki skrawania były takie same jak w badaniach zużycia ostrza. Dodatkowym czynnikiem zmiennym był posuw skrawania $p = 0,02$ i $0,035$ mm/obr.

Wpływ kształtu powierzchni natarcia na wartość składowych siły skra-

wania sprawdzono za pomocą testu istotności dwóch wartości średnich z jednostronnym obszarem krytycznym [4, 6].

Zweryfikowano hipotezę $H_0 : P_{x,y,zI} = P_{x,y,zII}$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1 : P_{x,y,zII} > P_{x,y,zI}$.

Obliczoną wartość statystyki t wg wzoru:

$$t_{x,y,z} = \frac{\bar{P}_{x,y,zI} - \bar{P}_{x,y,zII}}{\sqrt{\frac{n_1 s_{P_{x,y,zI}}^2 + n_2 s_{P_{x,y,zII}}^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

porównano z wartością statystyki t_{α} [4], dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ i stopni swobody $n_1 + n_2 - 2 = 8$.

Dla $t > t_{\alpha}$ odrzucono hipotezę H_0 i przyjęto hipotezę alternatywną H_1 .

Wartości czynników wynikowych reprezentuje wartość średnia arytmetyczna:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

wraz z dwustronnym przedziałem ufności, obliczonym z rozkładu Studenta dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$

$$P \left\{ \bar{y} - t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n-1}} < \bar{y} < \bar{y} + t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right\} = 1 - \alpha$$

przy czym:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Badania przeprowadzono na jednowrzecionowym rewolwerowym automacie tokarskim ATA 40, którego dokładność geometryczną sprawdzono zgodnie z normą PN-64/M-55650. Obrabianym materiałem były pręty ciągnięte ze stali automatowej A11 o średnicy $d = 20$ mm. Przecinaki wykończono ze stali szybko tnącej SW12C. Twardość ostrzy po hartowaniu i odpuszczyniu mieściła się w granicach $HRC = 63 \pm 2^{\circ}$.

W skład stanowiska badawczego wchodziły następujące przyrządy kontrolno-pomiarowe:

- mikroskop warsztatowy MWD do pomiaru wskaźników stępienia ostrza,
- trójskładowy tensometryczny siłomierz wykonany w ITIEM ATR,

- wzmacniacz TT 60,
- rejestrator N 327-3.

Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono skalowanie układu pomiarowego siłomierza.

4. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań zużycia przecinaków przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

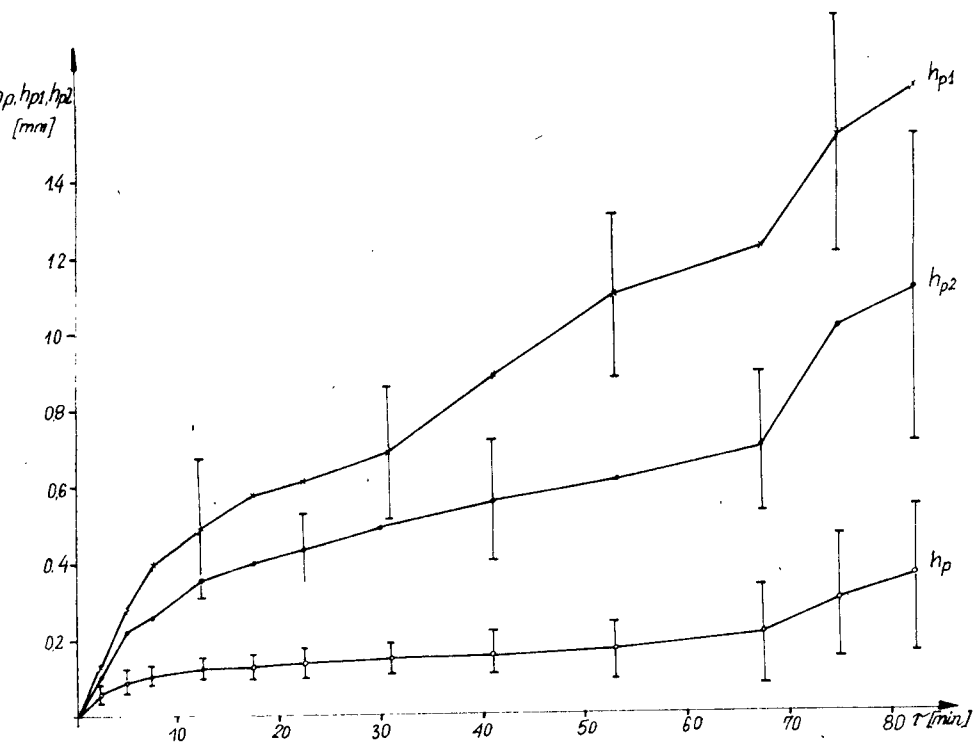
Zestawienie wyników badań zużycia ostrza

τ	h_p	h_{p1}	h_{p2}
min	mm		
2,45	$0,06 \pm 0,014$	$0,14 \pm 0,121$	$0,13 \pm 0,149$
4,90	$0,08 \pm 0,044$	$0,26 \pm 0,195$	$0,22 \pm 0,246$
7,35	$0,10 \pm 0,010$	$0,40 \pm 0,216$	$0,26 \pm 0,337$
12,25	$0,12 \pm 0,014$	$0,49 \pm 0,207$	$0,35 \pm 0,256$
17,15	$0,12 \pm 0,014$	$0,58 \pm 0,241$	$0,40 \pm 0,086$
22,05	$0,13 \pm 0,029$	$0,61 \pm 0,081$	$0,43 \pm 0,091$
31,85	$0,14 \pm 0,041$	$0,69 \pm 0,185$	$0,50 \pm 0,133$
41,65	$0,15 \pm 0,063$	$0,91 \pm 0,308$	$0,55 \pm 0,176$
53,90	$0,18 \pm 0,085$	$1,11 \pm 0,216$	$0,61 \pm 0,024$
68,60	$0,21 \pm 0,131$	$1,22 \pm 0,291$	$0,70 \pm 0,246$
75,95	$0,30 \pm 0,287$	$1,53 \pm 0,302$	$1,04 \pm 0,401$
83,30	$0,35 \pm 0,303$	$1,67 \pm 0,402$	$1,16 \pm 0,452$

Na podstawie wyników pomiarów badanych wskaźników stępienia sporządzono wykresy przedstawiające ich przebiegi w funkcji czasu pracy narzędzia /rys.3/.

Analizując zużycie noża można stwierdzić, że jego przebieg na poszczególnych powierzchniach przyłożenia nie jest jednakowy. W okresie wstępnego zużycia przebieg badanych wskaźników stępienia charakteryzuje się szybkim wzrostem ich wartości. W dalszym okresie pracy narzędzia następuje wyraźne zróżnicowanie intensywności przyrostu starcia na analizowanych powierzchniach przyłożenia. Najmniejszy przyrost wartości charakteryzuje parametr h_p , którego szybkość wzrostu do wartości $h_p = 0,25$ mm jest stała. Powyżej tej wartości następuje ponowne przyspie-

szczenie intensywności zużycia.



Rys. 3. Wpływ czasu skrawania na wartość wskaźników stopienia ostrza

Przebieg krzywej $h_p = f / \tau /$ po okresie normalnego zużycia pozwala określić graniczną wartość stopienia ostrza.

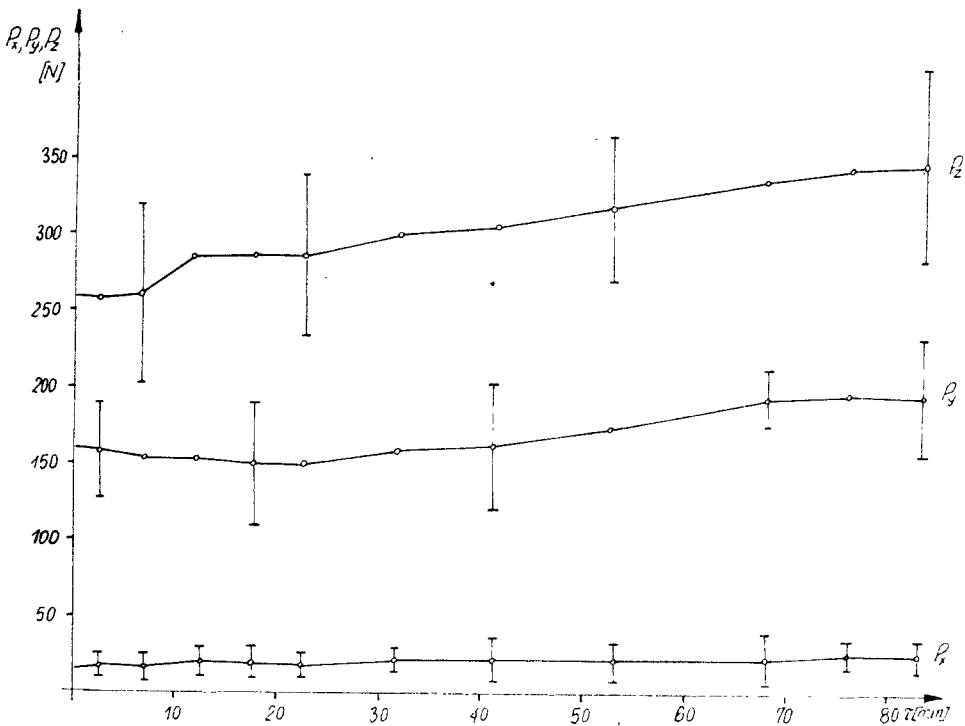
Wzrost wartości wskaźnika h_{p1} ma istotne znaczenie na zmianę długości odcinanego przedmiotu i w przypadku wymaganych wąskich tolerancji długości, szerokość starcia na pomocniczej powierzchni przyłożenia od strony odcinanego przedmiotu może być przyjęta jako kryterium stopienia ostrza. W warunkach skrawania stosowanych w badaniach, jako kryterium stopienia ostrza przyjęto szerokość starcia na głównej powierzchni przyłożenia $h_p = 0,25$ mm.

Wyniki pomiarów składowych siły skrawania w czasie zużywania się ostrza przedstawiono w tabeli 2, natomiast wykres zależności tych sił od czasu skrawania pokazano na rys. 4.

Tabela 2

Zestawienie wyników pomiarów składowych siły skrawania

τ	P_x	P_y	P_z
min	N		
0	$20,3 \pm 5,7$	$164,0 \pm 31,1$	$259,0 \pm 65,4$
2,45	$22,6 \pm 7,3$	$160,3 \pm 32,7$	$258,0 \pm 69,3$
7,35	$20,2 \pm 4,6$	$153,3 \pm 31,7$	$260,4 \pm 65,5$
12,25	$24,1 \pm 5,2$	$154,3 \pm 33,2$	$286,3 \pm 57,1$
17,15	$23,0 \pm 8,7$	$157,7 \pm 40,4$	$235,1 \pm 64,1$
22,05	$21,3 \pm 5,5$	$150,3 \pm 36,2$	$296,6 \pm 53,0$
31,85	$21,8 \pm 4,1$	$163,0 \pm 41,2$	$301,5 \pm 66,6$
41,65	$23,8 \pm 12,7$	$166,7 \pm 42,4$	$307,1 \pm 55,8$
53,90	$22,1 \pm 8,7$	$176,7 \pm 36,0$	$317,7 \pm 51,2$
68,60	$24,2 \pm 10,5$	$190,3 \pm 7,9$	$332,6 \pm 73,5$
75,95	$28,5 \pm 7,9$	$195,3 \pm 21,1$	$347,5 \pm 58,3$
83,30	$25,9 \pm 5,7$	$192,3 \pm 42,6$	$349,2 \pm 64,2$

Rys.4. Wpływ czasu skrawania na wartość składowych P_x, P_y, P_z siły skrawania

Na podstawie wyników badań dla poszczególnych składowych obliczono funkcje regresji liniowej, z przedziałami ufności oraz współczynniki korelacji:

- dla składowej P_x :

$$P_x = 52,5 h_p + 15,1$$

$$\bar{P}_x = 23,27 \pm 0,898 \quad [\text{N}]$$

$$a_x = 52,5 \pm 18,91 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$r = 0,697 \quad t = 5,66 > t_{\alpha} = 2,042$$

- dla składowej P_y :

$$P_y = 277,1 h_p + 126,1$$

$$\bar{P}_y = 169,70 \pm 5,23$$

$$a_y = 277,1 \pm 109,69$$

$$r = 0,662 \quad t = 5,12 > 2,042$$

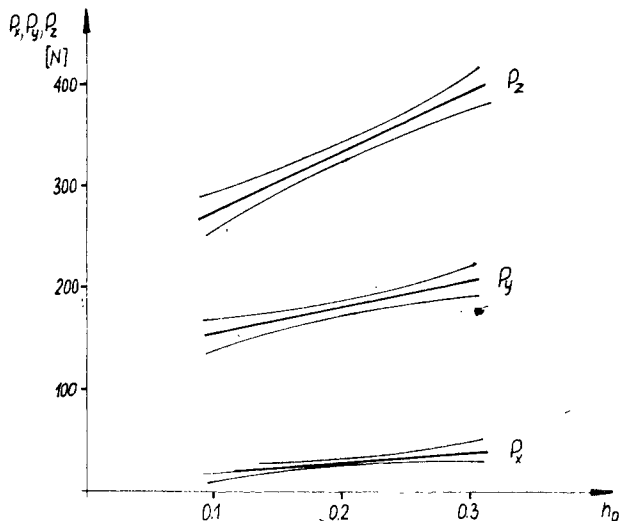
- dla składowej P_z :

$$P_z = 611,3 h_p + 212,3$$

$$\bar{P}_z = 308,64 \pm 6,65$$

$$r = 0,837 \quad t = 8,91 > 2,042$$

Obliczenia potwierdzają istnienie zależności między wskaźnikiem stępienia ostrza h_p , a składowymi P_x , P_y , P_z siły skrawania. Powyższe zależności przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Wpływ zużycia ostrza na wartość składowych P_x, P_y, P_z siły skrawania

Badania nie wykazały wzmożonego wzrostu składowych siły skrawania w okresie przyspieszonego zużycia, co może być spowodowane zmniejszaniem się szerokości ostrza przecinaka.

Wyniki badań wpływu kształtu powierzchni natarcia na wartość składowych siły skrawania zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie wyników pomiarów składowych siły skrawania

Kształt powierzchni natarcia	p	P_x	P_y	P_z
	mm/obr.	N		
I	0,02	24,4 ± 1,3	86,2 ± 6,3	216,8 ± 6,7
	0,035	24,8 ± 9,7	230,1 ± 27,7	435,5 ± 6,5
II	0,02	56,0 ± 14,7	147,6 ± 5,7	265,5 ± 6,9
	0,035	33,8 ± 1,1	216,4 ± 27,3	482,1 ± 49,6
III	0,02	24,6 ± 2,6	158,8 ± 7,1	276,4 ± 6,2
	0,035	10,6 ± 5,6	217,6 ± 13,9	494,4 ± 25,5
IV	0,02	32,1 ± 3,1	174,3 ± 8,8	301,0 ± 9,8
	0,035	28,3 ± 9,1	212,5 ± 34,2	506,8 ± 71,7

Na podstawie testu dla dwóch wartości średnich ustalono istotność wpływu badanych kształtów powierzchni natarcia na wartość poszczególnych składowych siły skrawania:

- dla składowej P_x

$$p = 0,02 \quad \bar{P}_{xI} = \bar{P}_{xIII} < \bar{P}_{xIV} < \bar{P}_{xII}$$

$$p = 0,035 \quad \bar{P}_{xI} = \bar{P}_{xII} = \bar{P}_{xIV} > \bar{P}_{xIII}$$

- dla składowej P_y

$$p = 0,02 \quad \bar{P}_{yI} < \bar{P}_{yII} < \bar{P}_{yIII} < \bar{P}_{yIV}$$

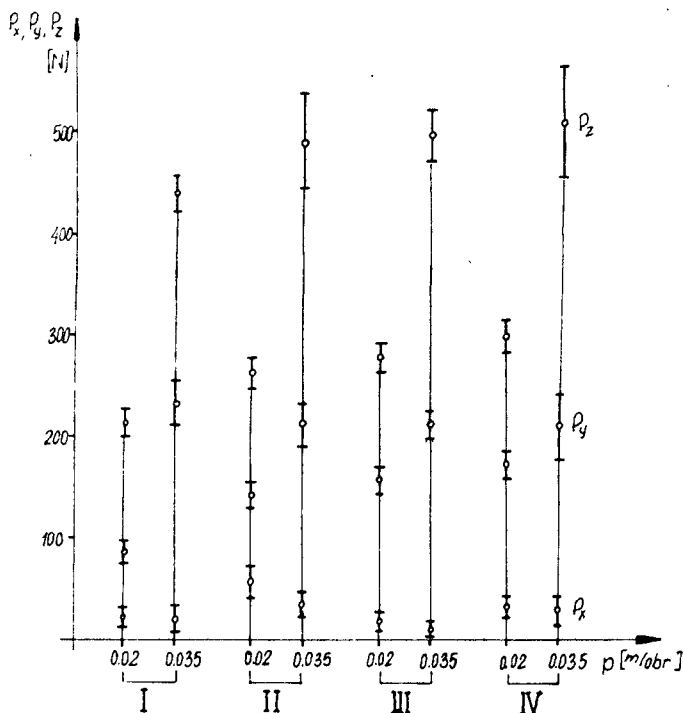
$$p = 0,035 \quad \bar{P}_{yI} = \bar{P}_{yII} = \bar{P}_{yIII} = \bar{P}_{yIV}$$

- dla składowej P_z

$$p = 0,02 \quad \bar{P}_{zI} < \bar{P}_{zII} < \bar{P}_{zIII} < \bar{P}_{zIV}$$

$$p = 0,035 \quad \bar{P}_{zI} < \bar{P}_{zII} = \bar{P}_{zIII} = \bar{P}_{zIV}$$

Na rys.6 przedstawiono średnie wartości składowych P_x , P_y , P_z wraz z ich przedziałami ufności.



Rys. 6. Wpływ kształtu powierzchni natarcia na wartość składowych P_x , P_y , P_z siły skrawania

Najmniejsze wartości składowych siły skrawania P_x , P_y , P_z dla posuwu $p = 0,02$ mm/obr. uzyskano stosując przecinaki o kształcie powierzchni natarcia oznaczonej cyfrą I.

W zakresie posuwu $p = 0,035$ mm/obr. najmniejszą wartość składowej P_x uzyskano stosując płaską powierzchnię natarcia. Nie stwierdzono istotności wpływu ukształtowania powierzchni na składową P_y . Natomiast składowa P_z osiągnęła najmniejszą wartość przy odcinaniu przecinakiem z powierzchnią natarcia z ukośnym związcem włórow.

5. Wnioski

1. Zużycie przecinaków ze stali SW12C charakteryzuje się większą intensywnością starcia na pomocniczych powierzchniach przyłożenia niż na głównej powierzchni przyłożenia. Dla warunków skrawania stosowanych w badaniach jako kryterium stępienia ostrza przyjęto szerokość starcia na głównej powierzchni natarcia $h_p = 0,25$ mm.

2. W zakresie normalnego zużycia ostrza występuje liniowa zależność pomiędzy stępieniem ostrza h_p a składowymi P_x , P_y , P_z siły skrawania, przy

czym największy wpływ wywiera zużycie przecinaka na składową P_z .

3. Spośród badanych stereometrii ostrza najmniejsze opory skrawania występują podczas odcinania przecinakiem o powierzchni natarcia z łamaczem wiórów /nr I/.

4. Określenie wpływu zużycia ostrza na opory skrawania w okresie jego przyspieszonego zużycia wymaga zbadania istotności wpływu zmiany szerokości ostrza przecinaka na siłę skrawania.

Literatura

- [1] Borkowski W.: Jednowrzecionowe automaty tokarskie. WNT, Warszawa 1972
- [2] Dmochowski J.: Podstawy obróbki skrawaniem. PWN, Warszawa 1978
- [3] Filonenko S., Azenko N.B.: Iznos. otreznych rezcov. "Vestnik Mašino-stroenija" N2, 1973
- [4] Gref J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa 1978
- [5] Haiet: Pročnost režuščego instrumenta. Mašinstroenie, Moskva 1975
- [6] Kacew P.G.: Kontrola narzędzi skrawających metodami statystycznymi. WNT, Warszawa 1978
- [7] Korotič A.N.; Ljubarski B.L.: Stojkost' otreznych rezcov, primenjaemych w avtomatizovannom proizvodstve. "Stanki i Inst." N8, 1968
- [8] Kulikowski Z.: Badania wybranych zjawisk występujących przy toczeniu poprzecznym. Praca doktorska. Poznań 1972
- [9] Wieczorkowski K., Gierszal B.: Badanie oporów skrawania przy przecinaniu stali 45 na tokarkach rewolwerowych. ZNPP "Mechanika" N11, 1971
- [10] Die Technologie des Ein- und Abstechens. "Maschine" N9, 1978

THE EFFECT OF WEAR AND SHAPE OF TOOL FACE ON CUTTING RESISTANCE DURING SHEARING

Summary

The paper presents the results of investigation into the wear of cut-off tools of steel SW12C and its effect on the change of cutting resistance. There was examined the effect of the tool face shape on the value of cutting force components P_x, P_y, P_z . There was defined an optimal shape of the tool face, blunting criterion of the face and its boundary value.

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА И ВИДА ПОВЕРХНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ ОСТРИЯ НА ОПОРЫ РЕЗАНИЯ
ПРИ ОТРЕЗАНИИ

Резюме

В статье представлены результаты исследований износа зубил из стали SW 12C и его влияние на изменение сопротивлений при резании. Исследовано влияние вида поверхности наступления острия на величину составной силы резания P_x , P_y , P_z . Определена оптимальная форма поверхности наступления, критерий затупления острия вместе с его предельным значением.



Henryk Oleszycki
Stanisław Dymski

WPLYW GRUBOŚCI ODLEWÓW Z NIESTOPOWEGO ŻELIWA SFEROIDALNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PO ULEPSZANIU CIEPLNYM

Przedstawiono badania nad wpływem grubości ścianki odlewu na właściwości mechaniczne niestopowego żeliwa sferoidalnego wytopionego w żeliwiaku po ulepszeniu cieplnym. Grubość ścianki odlewu przyjęto w badaniach od 25 do 100 mm. Odlewy pocięto na odpowiednie próbki, z których określono właściwości wytrzymałościowe i plastyczne, twardość, udarność bez karbu oraz strukturę.

1. Wstęp

Ulepszenie cieplne żeliwa sferoidalnego obok hartowania z przemianą izotermiczną, stwarza możliwości uzyskania najwyższych właściwości wytrzymałościowych i twardości [1].

Z pracy [2] wynika, że z niestopowego żeliwa sferoidalnego wytopionego w piecu indukcyjnym w gatunku GGG60 /wg PN-76/H-83123 - gatunek Zs 60002/ na drodze ulepszenia cieplnego uzyskano gatunek GGG80 i GGG90 /odpowiednio Zs 80002 i Zs 90002/.

Żeliwo sferoidalne wytopione ze złomu stalowego w piecu elektrycznym po ulepszeniu cieplnym uzyskało wytrzymałość na rozciąganie R_m około 1080 MPa, umowną granicę plastyczności $R_{0,2}$ około 1000 MPa, wydłużenie i przewężenie około 3 % oraz twardość około 300 HB [3].

W dość szerokim zakresie przeglądu wyników badań i warunków obróbki nad ulepszeniem cieplnym żeliwa sferoidalnego dokonano w pracy [4]. Jak wynika z tego przeglądu, istnieją liczne dane o właściwościach żeliwa sferoidalnego ulepszanego cieplnie, które w przeważającej mierze dotyczą obróbki cieplnej próbek cienkich /kształtowych/. Natomiast niewiele prac poświęcono wpływowi grubości ścianki odlewu.

Powszechnie wiadomo, że wzrastająca grubość ścianki odlewów wpływa na szybkość chłodzenia w poszczególnych strefach jego przekroju. Wpływ ten w takim procesie obróbki cieplnej, jak normalizowanie i hartowanie odgrywa istotną rolę w kształtowaniu struktury i właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego.

W niniejszej pracy przedstawiono jak kształtuje się wpływ zmiennej grubości ścianki odlewów na właściwości mechaniczne i strukturę niestopowe-

go żeliwa sferoidalnego z żeliwiaka.

2. Program i metodyka badań

Do badań zastosowano żeliwo sferoidalne wytopione w żeliwiaku kwaśnym z grzaniem dmuchem z wsadu składającego się z surówki LH 41, złomu własnego żeliwa sferoidalnego i żelazomanganu. Żeliwo sferoidyzowano w zbiorniku żeliwiaka metodą prętową stopem ML5 i modyfikowano żelazokrzemem na rynnie spustowej. Skład chemiczny i właściwości żeliwa przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Skład chemiczny i właściwości żeliwa sferoidalnego

Skład chemiczny %				
C	Si	Mn	P	S
3,26	3,02	0,8	0,08	0,007
Temperatury krytyczne °C				
Ac ₁ ^p	Ac ₁ ^k	Ar ₁ ^p	Ar ₁ ^k	T _{gr}
779	839	746	692	737
Właściwości mechaniczne 1/				
R _{0,2} MPa	R _m MPa	A ₅ %	K kJ/m ²	Twardość HB
393	595	4,9	331	215

1/ Wartości właściwości mechanicznych są średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

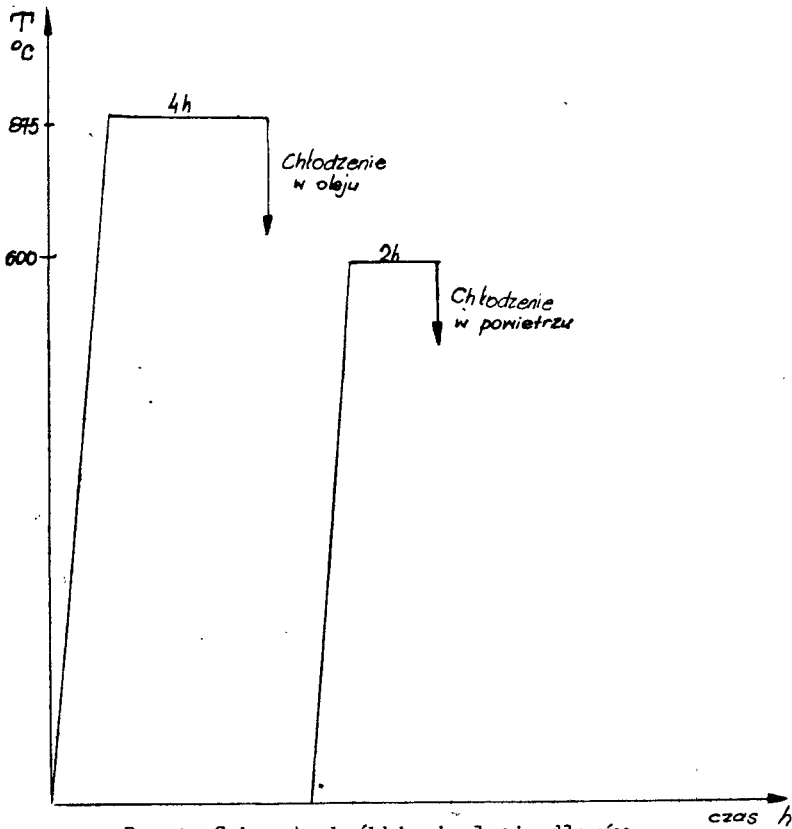
Z żeliwa wykonano odlewy Y o różnej grubości dolnej, prostopadłościennej części. Przyjęto następujące wymiary tej części odlewów Y: 25 x 50 x 160, 50 x 65 x 160 i 100 x 85 x 160 mm. Odlewy wykonano w formach wilgotnych.

Schemat procesu obróbki cieplnej przedstawiono na rys.1. Czas nagrzewania w pierwszej i drugiej operacji był zależny od grubości próbki i wynosił:

- a/ w operacji I dla odlewów o grubości 25 mm - 30 minut, o grubości 50 mm - 60 minut i o grubości 100 mm - 120 minut,
- b/ w operacji II dla odlewów o grubości 25 mm - 35 minut, o grubości 50 mm - 70 minut i o grubości 100 mm - 140 minut.

Grzanie odlewów wykonano w piecu sylitowym komorowym PSK-7. Odlewy ładowano do pieca bez jakiegokolwiek zabezpieczenia przed wpływem atmosfery.

ry pieca. Dla wygrzewania przyjęto możliwie najniższą temperaturę 875°C oraz czas wygrzewania, umożliwiając wyrównanie temperatury na przekroju odlewów o grubości 100 mm. Przyjęcie warunków odpuszczania odlewów opierało się na wynikach badań zawartych w pracy [5].



Rys.1. Schemat obróbki cieplnej odlewów

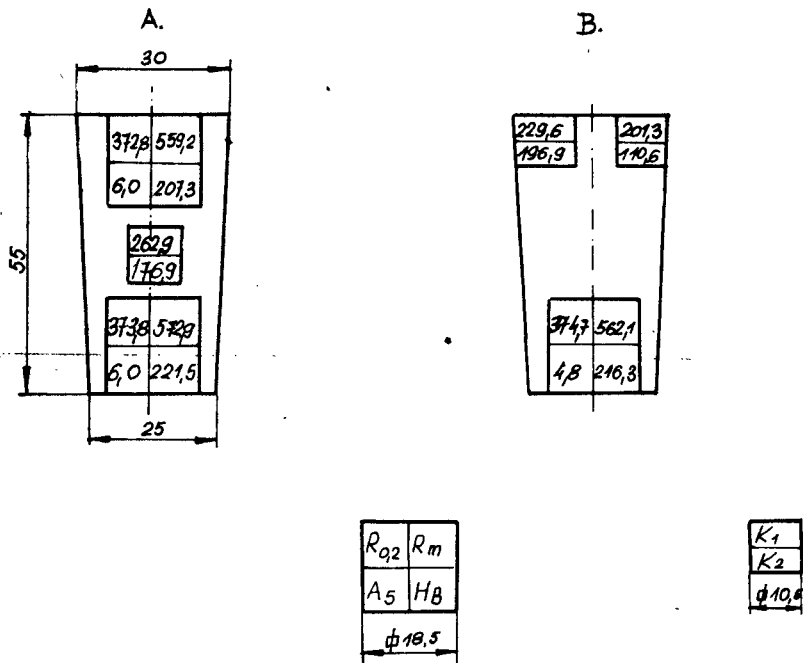
Przed i po obróbce cieplnej wykonano badania właściwości mechanicznych, w których określono: umowną granicę plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie, twardość i udurowienie. Ponadto wykonano badania strukturalne. Obrobione cieplnie odlewy żeliwne pocięto na pręty kwadratowe o wymiarach 18,5 i 10,5 mm według ustalonego schematu. Z prętów o wymiarze 18,5 mm wykonano próbki do próby na rozciąganie, z których po zerwaniu wycięto z części pomiarowej próbki do pomiaru twardości metodą Brinella przy użyciu kulki o średnicy 2,5 mm i obciążeniu 1838,7 N / 187,5 kG/. Na tych samych próbkach oceniano również strukturę. Z kolei pręty o wymiarze 10,5 mm przeznaczone na próbki bez karbu do próby udurowieniowej. Z każdego pręta wykonano przy tym po dwie próbki; pierwsza pochodziła z brzegu pręta, natomiast druga - z środkowej jego części, tak, aby złom tej

próbki następowal w pobliżu środka prostopadłościanu, a zatem w odległości około 83 mm od powierzchni czołowej odlewu Y.

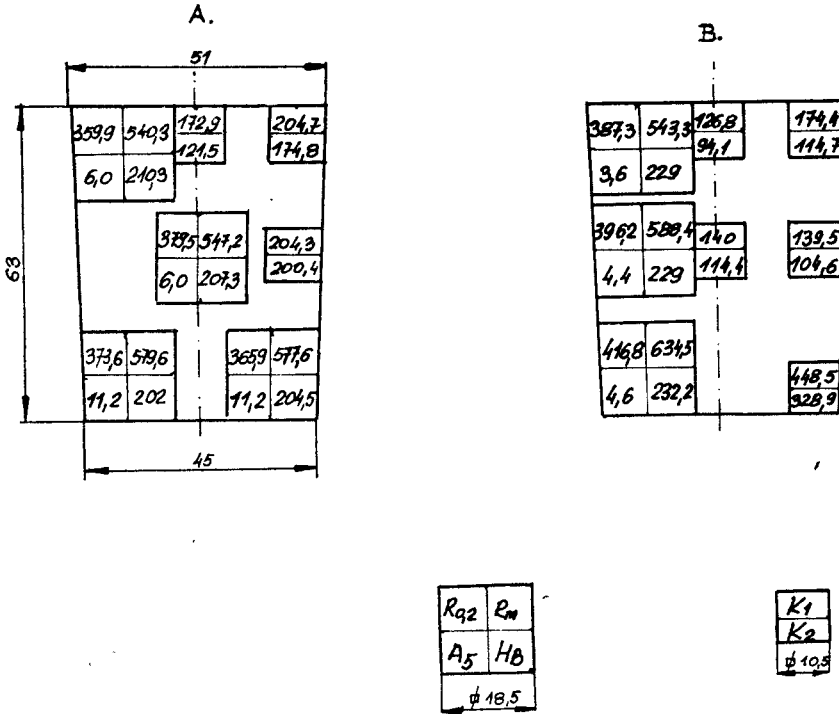
3. Wyniki badań i ich analiza

W celu łatwiejszej interpretacji wyniki pomiarów właściwości mechanicznych przedstawiono na rysunkach, które obrazują jednocześnie miejsce wycięcia próbek.

Na rysunku 2, 3 i 4 przedstawiono wyniki pomiarów właściwości mechanicznych próbek żeliwa sferoidalnego w stanie surowym. Zapis właściwości wytrzymałościowych - $R_{0,2}$, R_m i plastycznych - A_5 oraz twardości HB podany jest dla prętów kwadratowych, z których wykonano próbki. Udarność zapisana jest w sposób taki, że wartość górna K_1 dotyczy próbki pierwszej, wyciętej z brzegu, a dolna K_2 - drugiej, wyciętej ze środka.



Rys.2. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne i twardość oraz udarność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 25 x 55 mm z żeliwa sferoidalnego w stanie surowym

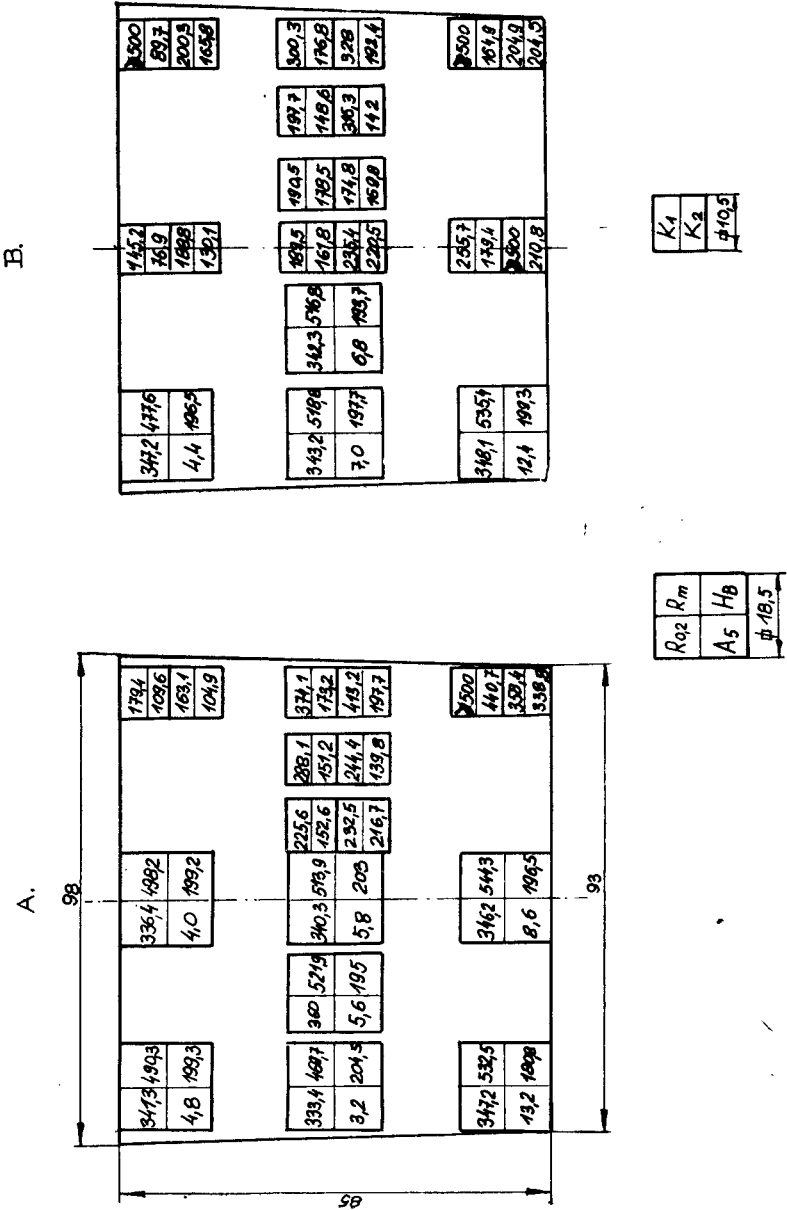


Rys.3. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne oraz twardość i uderność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 45 x 63 mm z żeliwa sferoidalnego w stanie surowym

Odlewy Y w stanie surowym posiadały strukturę perlityczno-ferrytyczną, przy czym zawartość ferrytu jest zależna od miejsca wycięcia próbki z odlewu i jego wielkości. Zawartość ferrytu w odlewach Y o grubości 100 mm wynosiła od 20 + 59 %, o grubości 50 mm - od 15 + 30 %, a grubości 25 mm - od 20 + 30 %.

Kształt grafitu w odlewie o grubości 25 mm był Gf 8 i 9. Natomiast w odlewie o grubości 50 mm obok grafitu kulkowego wystąpił grafit płatkowy Gf 5 w ilości około 5 %. Jego ilość była większa w odlewie o grubości 100 mm i wynosiła około 10 %.

Jak wynika z wartości wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia żeliwa sferoidalnego w stanie surowym, zastosowane do badań odlewy Y o grubości 25 i 50 mm można zakwalifikować według PN-76/H-83123 do gatunku Zs 50002. Natomiast odlewy Y o grubości 100 mm są poza podaną normą.



Rys. 4. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne oraz udarność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 93 x 85 mm z żeliwa sferoidalnego w stanie surowym

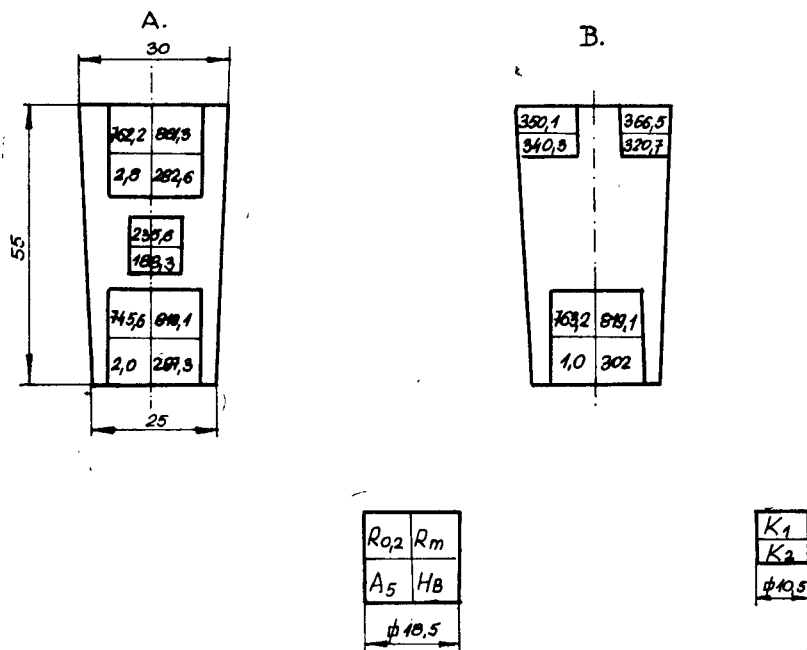
Na rysunku 5, 6 i 7 przedstawiono wyniki pomiarów właściwości mechanicznych próbek żeliwa sferoidalnego ulepszanego cieplnie. Zapis wyników pomiarów jest identyczny jak dla stanu surowego. Również schemat wycięcia prętów kwadratowych jest taki sam, jak dla stanu surowego.

Struktura osnowy żeliwa sferoidalnego po ulepszaniu cieplnym w odlewach Y o grubości 25 i 50 mm była bez względu na miejsce pobrania próbki sorbityczna.

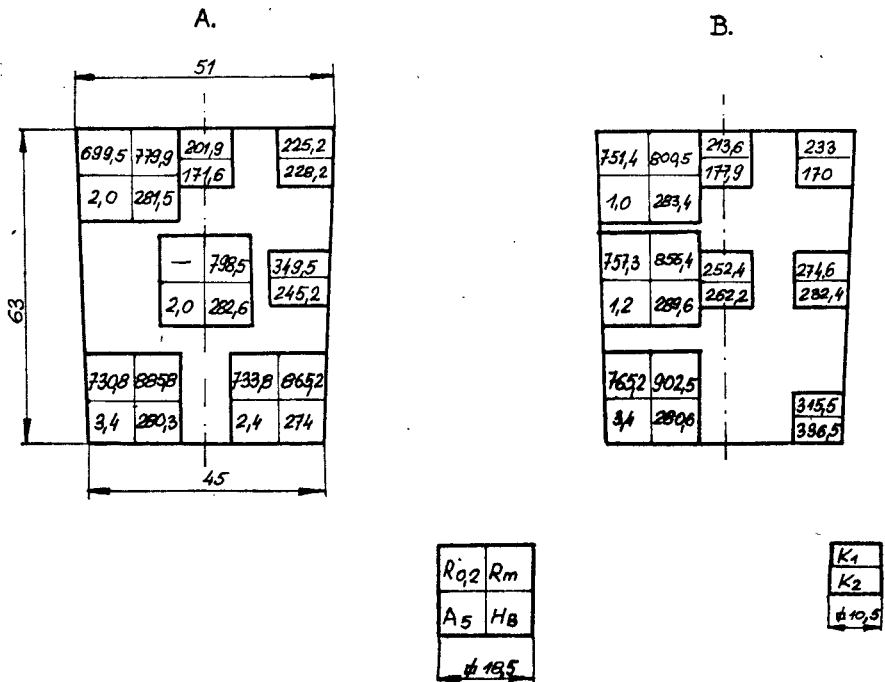
W odlewach o grubości 100 mm strukturę taką zaobserwowano jedynie w próbkach pobranych z naroży. Pozostałe próbki posiadały strukturę perlityczną ze śladami ferrytu.

Ulepszanie cieplne wydatnie poprawiło wytrzymałość na rozciąganie i granicę plastyczności oraz twardość i udarność. Nastąpił jedynie spadek wydłużenia.

Odlew Y po ulepszaniu cieplnym o grubości 100 i 50 mm można zaliczyć do gatunku Zs 70002, a o grubości 25 mm do Zs 80002.



Rys.5. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne oraz twardość i udarność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 25 x 55 mm z żeliwa sferoidalnego ulepszanego cieplnie

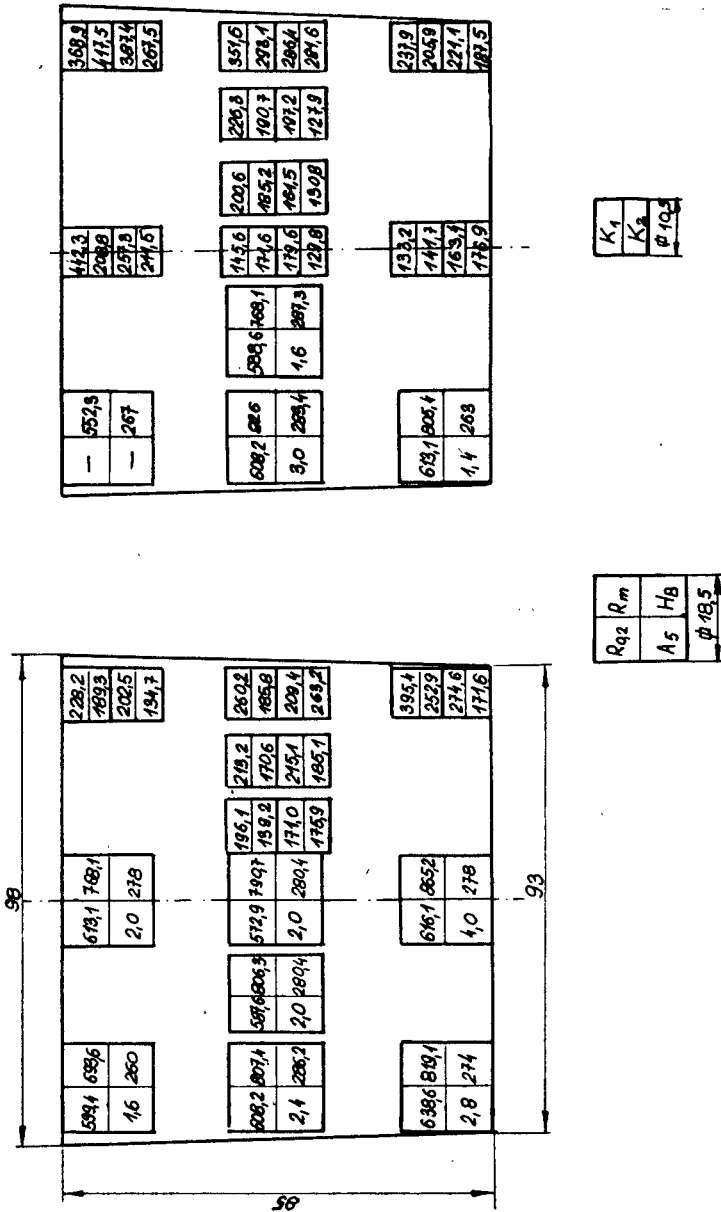


Rys.6. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne oraz twardość i udarność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 45 x 63 mm z żeliwa sferoidalnego ulepszanego cieplnie

Bardzo duża zmienność wyników cechuje udarność i to zarówno w stanie surowym jak też ulepszonym cieplnie. W odlewach o grubości 25 i 50 mm po ulepszaniu cieplnym w niektórych przypadkach udarność wzrosła prawie dwukrotnie. Z kolei w odlewach o grubości 100 mm po ulepszaniu cieplnym można zaobserwować wzrost lub spadek udarności. Jak wynika z przedstawionych wyników badań, udarność jest silnie zależna od miejsca wycięcia próbek w odlewie.

Średnia arytmetyczna wyników pomiarów udarności próbek pierwszych, wyciętych z czoła odlewu, wynosi 243 kJ/mm² w odlewie o grubości 100 mm, 283 kJ/mm² - o grubości 50 mm i 317 kJ/mm² - o grubości 25 mm. Jest ona wyższa od średniej udarności próbek drugich, wyciętych z środka odlewu, odpowiednio o 16, 24 i 11 %

Dla oceny wykonanych badań ulepszania cieplnego odlewów o różnej grubości ścianki, postanowiono porównać je z wynikami ulepszania cieplnego próbek cienkich /kształtowych/ [5] oraz z wynikami uzyskanymi przez H. Mayera [6] w odlewach o grubości 100 mm dla tych samych warunków obróbczych. Wyniki te zestawiono w tabeli 2.



Rys.7. Właściwości wytrzymałościowe, plastyczne oraz twardość i udarność próbek wyciętych z różnych miejsc dwóch prętów o przekroju 93 x 85 mm z żeliwa sferoidalnego ulepszonego cieplnie

Porównanie wyników badania właściwości mechanicznych
żeliwa sferoidalnego ulepszanego cieplnie

Właściwość	Próbki z badań [5]	Odlewy o grubości mm			Wyniki H. Mayera [6] 1/
		100	50	25	
$R_{0,2}$ MPa	470 - 620	570 - 640	700 - 765	745 - 765	766
R_m MPa	600 - 750	690 - 865	780 - 900	810 - 860	807
A_5 %	1,4 - 8,0	1,4 - 4,0	1,2 - 3,5	1,0 - 2,8	0,4
K kJ/mm^2	360 - 460	130 - 440	170 - 340	190 - 370	-
Twardość HB	195 - 220	260 - 290	275 - 290	280 - 300	294

1/

Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego był następujący: 3,4 % C, 2,44 % Si, 0,28 % Mn, 0,035 % P, 0,008 % S, 0,08 % Cr, 1,46 % Ni, 0,54 % Mo, 0,05 % Cu, 0,065 % Mg.

Jak widać z tabeli 2 odlewy o grubości 100, 50 i 25 mm posiadają, w porównaniu do próbek z badań [5], niższe wydłużenie i udarność oraz wyższe właściwości wytrzymałościowe i twardość. Porównanie tych wyników z wynikami otrzymanymi przez H. Mayera [6] dla żeliwa sferoidalnego niklowo-molibdenowego wypada zdecydowanie korzystniej dla niestopowego żeliwa sferoidalnego wytopionego w żeliwiaku.

W badaniach przedstawionych w pracy [5] dotyczących ulepszania cieplnego próbek cienkich /kształtowych/ stwierdzono, że w ulepszonym cieplnie niestopowym żeliwie sferoidalnym wytopionym w żeliwiaku, zawierającym 0,11 % P, wydłużenie A_5 i granica plastyczności $R_{0,2}$ stają się mierzalne dopiero po odpuszczaniu w temperaturze 550°C. Przy zawartości 0,08 % P właściwości te można mierzyć po odpuszczaniu w temperaturze 500°C. Zawartość fosforu w przemysłowym niestopowym żeliwie sferoidalnym z żeliwiaka wynosi najczęściej od 0,08 do 0,15 %, stąd w praktyce ulepszania cieplnego takiego żeliwa otrzymanie minimalnego wydłużenia 2 % będzie możliwe po odpuszczaniu w temperaturze wyższej od 550°C. W tych warunkach otrzymuje się wytrzymałość na rozciąganie o wartości takiej samej na drodze znacznie łatwiejszej obróbki cieplnej, a mianowicie wyżarzania normalizującego. Tabela 3 przedstawia porównanie wyżarzania normalizującego i ulepszania cieplnego niestopowego żeliwa sferoidalnego z żeliwiaka, przy założeniu, że jego twardość nie powinna przekraczać 300 HB, a wydłużenie A_5 będzie większe od 2 %. Z zestawienia tego wynika, że żeliwo normalizowane nie ustępuje ulepszonemu cieplnie.

Tabela 3

Porównanie wyników właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego po wyżarzaniu normalizującym zwykłym i po ulepszaniu cieplnym [5]

Właściwości mechaniczne	Normalizowanie	Ulepszanie cieplne	
	Warunki obróbki		
	Austenityzowanie w 875°C w czasie 1 - 2 h	Austenityzowanie w 875°C w czasie 2 h, chłodzenie w oleju i odpuszczanie w 575°C w czasie 2 h	Austenityzowanie w 810°C w czasie 2 i 4 h oraz w 875°C w czasie 2 h, lub tylko w 875°C w czasie 4 i 6 h, chłodzenie w oleju i odpuszczanie w 550°C w czasie 2 h
Wytrzymałość na rozciąganie R_m MPa	830 - 840	775 - 825	800 - 875
Umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ MPa	550 - 580	690 - 725	550 - 650
Wydłużenie A_5 %	2,2 - 3,4	2,0 - 3,2	2,0 - 4,0
Udarność bez karbu K kJ/m^2	215 - 280	180 - 190	315 - 380
Twardość HB	280	250 - 270	270 - 300

4. Wnioski

1. Ulepszanie cieplne odlewów grubościennych z niestopowego żeliwa sferoidalnego wytopionego w żeliwiaku umożliwia podniesienie właściwości wytrzymałościowych i twardości.
2. Zastosowanie przemysłowe ulepszania cieplnego niestopowego żeliwa sferoidalnego w szerokim zakresie jest ograniczone ze względu na operację hartowania. W zasadzie do tego rodzaju obróbki cieplnej nadają się odlewy o bardzo prostej i zwartej konstrukcji i niedużych wymiarach /max. do grubości 50 mm/.
3. Niestopowe żeliwo sferoidalne będzie mogło otrzymać tym korzystniejsze właściwości mechaniczne po ulepszaniu cieplnym, w szczególności wydłużenie A_5 i udarność K, jeżeli zawartość fosforu będzie w nim mniejsza od 0,08 %.

Literatura

- [1] Piaskowski J., Jankowski A.: Żeliwo sferoidalne. WNT, Warszawa 1974
- [2] Herfurth K., Scherkus S.: Beitrag zum Vergüten von Gusseisen mit Kugelgraphit. Gissereitechnik, 1969, nr 10, s.338
- [3] Stec J., Piaskowski J.: Określenie optymalnego cyklu ulepszania cieplnego i hartowania z przemianą izotermiczną dla wysokojakościowego żeliwa sferoidalnego wytopionego w piecu elektrycznym. Prace Instytutu Odlewnictwa, 1979, nr 1, s.17
- [4] Oleszycki H.: Ulepszanie cieplne żeliwa sferoidalnego. Mechanik, 1977, nr 7, s.359
- [5] Oleszycki H., Dymski S.: Sprawozdanie z IV etapu pracy pt.: Opracowanie racjonalnych warunków obróbki cieplnej perlitycznego żeliwa sferoidalnego - ulepszanie cieplne. ATR Bydgoszcz, 1980
- [6] Mayer H., Hammerli F.: Herstellung von hochwertigem Gusseisen mit Kugelgraphit. Gisserei, 1971, nr 18, s.525

THE EFFECT OF CAST THICKNESS OF PLAIN SPHEROIDAL CAST-IRON ON
MECHANICAL PROPERTIES AFTER TOUGHENING

Summary

The paper presents an examination of the effect of cast thickness on mechanical properties of a plain spheroidal cast-iron melted in the cupola after toughening. The cast thickness was assumed within 25-100mm. The casts were cut into appropriate samples, and life and plastic properties, hardness, impact resistance without a notch as well as structure were determined.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ОТЛИВКИ ИЗ НЕЛИГИРОВАННОГО МАГНИЕВОГО ЧУГУНА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ

Резюме

Представлены исследования над влиянием толщины стенки отливки на механические свойства нелигированного магниевого чугуна вытопленного в вагранке после термического улучшения. Толщина стенки отливки принята в исследованиях от 25 до 100 мм. Отливки были разрезаны на соответствующие образцы в которых определены прочность и пластические свойства, твердость, ударная вязкость без надреза и структура.

Stanisław Smarzyński
Stefan Krzysiak

WPLYW ODLEGŁOŚCI NATRYSKIWANIA WAŁKA ZE STALI P55G
NA PRZYCZEPNOŚĆ WARSTWY NATRYSKIWANEJ ZE STALI St5

W artykule przedstawiono wyniki badań nad przyczepnością warstwy natryskiwanej do podłoża, przy metalizacji natryskowej, w zależności od sposobu przygotowania powierzchni, odległości natryskiwania i grubości nałożonej warstwy. Natryskiwano wałek ϕ 26 mm ze stali P55G stalą St5 w celu likwidacji skutków zużycia powierzchniowego.

1. Wstęp

Duże zapotrzebowanie na części zamienne spowodowało konieczność dalszego doskonalenia stosowanych sposobów regeneracji. Jedną z częściej stosowanych metod jest metalizacja natryskowa. Metoda ta pozwala na nakładanie powłok regeneracyjnych na zużyte części bez naruszenia ich struktury wewnętrznej. Dla uzyskania odpowiednich efektów użytkowych po regeneracji, konieczne jest przestrzeganie właściwych warunków technologicznych. Badania zmierzające do doskonalenia parametrów technologicznych mogą się przyczynić do zwiększenia efektywności regeneracji przez poprawienie jakości natryskiwanej warstwy oraz przez oszczędność surowców i energii.

Podjęty w badaniach problem dotyczył regeneracji wałków ze stali P55G drutem stalowym St5. Metalizację przeprowadzono przy użyciu aparatury produkcji francuskiej z pistoletem typu Top-Jet 2. Przyczepność badano metodą ścinania, przy użyciu specjalnego przyrządu na maszynie wytrzymałościowej.

2. Cel badań

Celem podjętych badań było określenie wpływu niektórych parametrów natryskiwania na przyczepność nałożonej warstwy do podłoża. Szczególną uwagę zwrócono na zbadanie przyczepności w zależności od sposobu przygotowania powierzchni, odległości natryskiwania i grubości nałożonej warstwy.

3. Zakres badań

Do badań przygotowano próbki w kształcie walca o średnicy zewnętrznej 26 mm i wysokości 30 mm. Sposób przygotowania powierzchni do metalizowania obejmował piaskowanie, nacinanie gwintu szarpanego i piaskowanie, a także stosowanie warstwy pośredniej z molibdenu. Piaskowanie wykonano elektrokorundem EB12 wielokrotnego użycia o wielkości ziarna 0,1 - 0,2 mm. Gwint szarpany M26 x 0,75 wykonano nożem tokarskim o kącie zarysu 0,96 rad i promieniu wierzchołkowym 0,5 mm, obniżając wierzchołek noża w stosunku do osi próbki o 3 mm. Próbki z warstwą pośrednią przygotowano w ten sposób, że po piaskowaniu nałożono warstwę molibdenu o grubości 0,1 mm za pomocą metalizacji natryskowej. Średnica drutu molibdenowego wynosiła 2 mm.

Grubość natryskiwanej stali St5 warstwy wyznaczono doświadczalnie, ustalając czas natryskiwania mierzony stoperem przy jednakowej prędkości obrotowej próbek.

W trakcie badań stosowano następujące parametry stałe:

kąt natryskiwania	- 0,35 rad,
rodzaj płomienia	- obojętny,
ciśnienie tlenu	- 186,2 kPa,
ciśnienie acetylenu	- 107,8 kPa,
ciśnienie sprężonego powietrza	- 441 kPa,
prędkość obrotowa próbek	- 1,5 obr/sek,
szerokość natryskiwanej warstwy	- 10 mm.

Parametry zmienne to poza przygotowaniem powierzchni, także odległość natryskiwania i grubość nałożonej warstwy. W trakcie badań zastosowano następujące odległości natryskiwania L: 0,1, 0,13, 0,16, 0,19, 0,22, 0,25 i 0,28 m. Grubość nałożonej warstwy zmieniała się w granicach od 0,6 do 1,5 mm, co 0,3 mm. Próby wykonano dla każdego przygotowania powierzchni w ten sposób, aby możliwe było zbadanie przyczepności warstwy przy kombinacji każdej odległości z każdą grubością warstwy. Do badań przygotowano 20 kompletów próbek, po pięć próbek w komplecie. Natryskiwano jednocześnie cały komplet, dzięki czemu uzyskano pięciokrotną powtarzalność wyników dla takiego samego sposobu natryskiwania.

Przyczepność warstwy obliczono ze wzoru:

$$k = \frac{P}{F} \quad \text{MPa}$$

gdzie:

- P - wielkość siły ścinającej nałożoną warstwę,
- F - powierzchnia ścinania.

Badania metalograficzne wykonano na mikroskopie Neophot stosując standardowe przygotowanie zglądów.

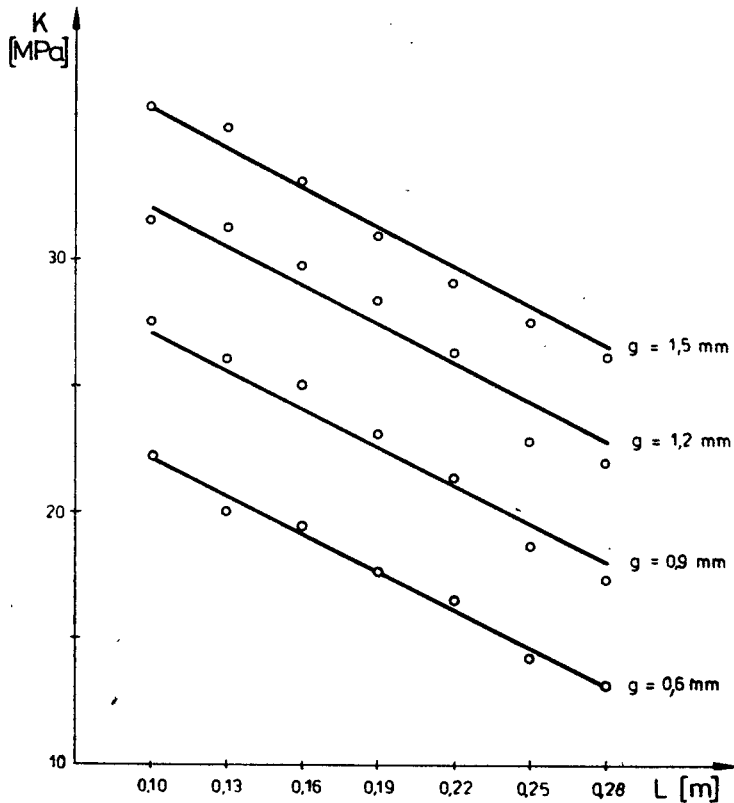
Wyniki badań oszacowano statystycznie uwzględniając odchylenie standardowe skorygowane S:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=k} n_i / X_i - X^2}{n - 1}}$$

Przedział ufności obliczono na poziomie ufności $\gamma = 0,95$ według wzoru na rozkład T-Studenta

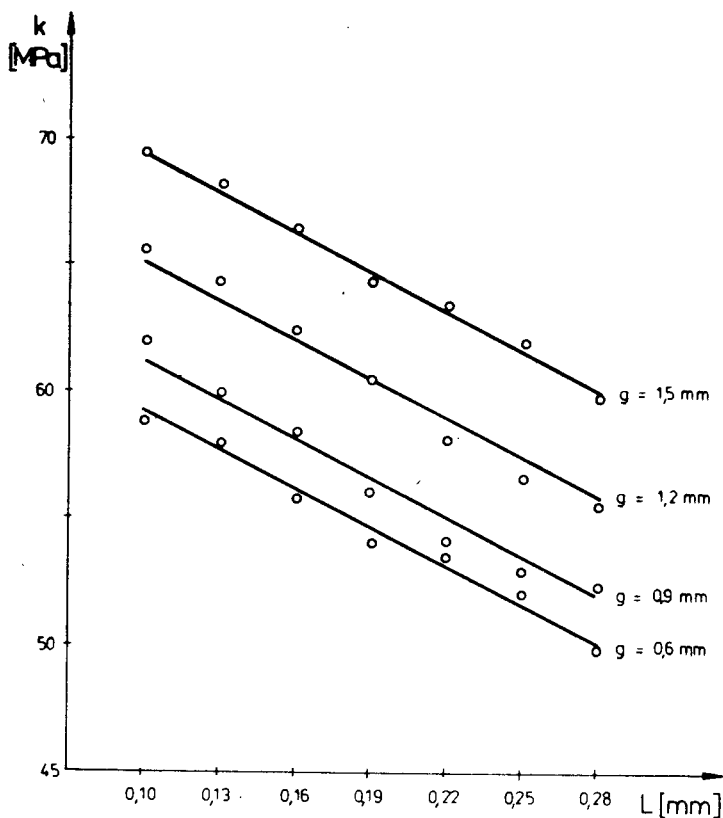
$$P/\bar{X} - t_{\gamma} \frac{S}{\sqrt{n}} < a < \bar{X} + t_{\gamma} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Na wykresach /rys.1, 2 i 3/ przedstawiono przyczepność warstwy stali St5 nałożonej przez metalizację natryskową na wałek ze stali P55G w zależności od odległości natryskiwania.



Rys.1. Przyczepność do podłoża warstwy wykonanej za pomocą metalizacji natryskowej dla różnych grubości warstwy, w zależności od odległości natryskiwania. Powierzchnia próbek przygotowana za pomocą piaskowania elektrokorundem EB12

Rys.1 dotyczy wyników badań dla próbek przygotowanych przez piaskowanie, rys.2 obejmuje próbki z gwintem szarpanym, rys.3 zawiera wyniki badań dla próbek z pośrednią warstwą molibdenową.

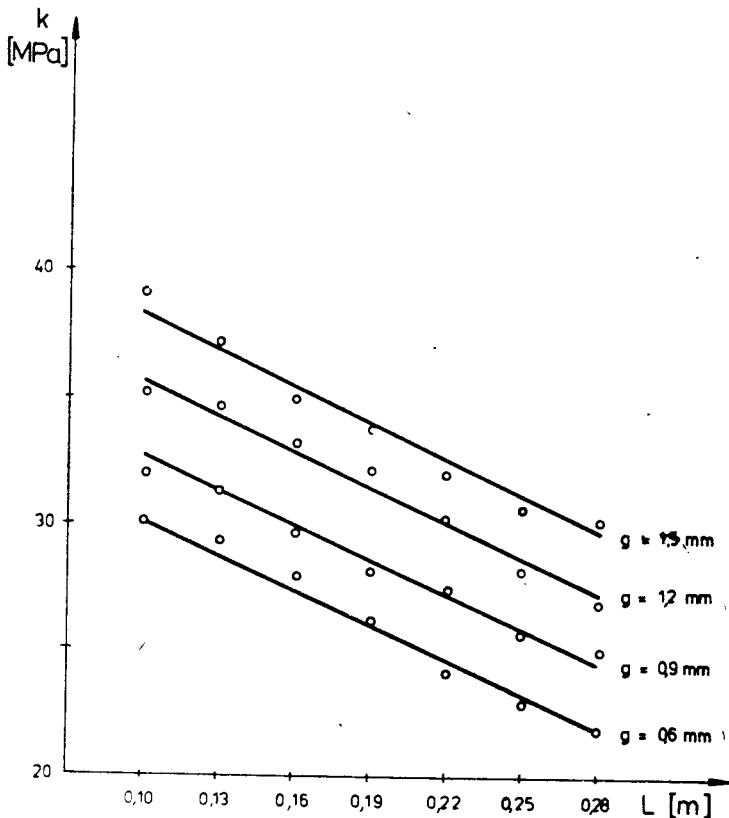


Rys.2. Przyczepność do podłoża warstwy wykonanej za pomocą metalizacji natryskowej, dla różnych grubości warstwy, w zależności od odległości natryskiwania. Powierzchnia próbek metalizowanych przygotowana przez nacięcie gwintu szarpanego M26 x 0,75 oraz piaskowanie elektrokorundem EB12

Na rys.4 przedstawiono próbkę ze stali P55G z nałożoną warstwą ze stali St5, a na rys.5, dla przykładu, wygląd warstwy po przeprowadzonej próbie ścinania.

Badania metalograficzne pozwoliły na zbadanie połączenia warstwy natryskiwanej z podłożem. Na rys.6 przedstawiono dla przykładu fotogram zglądu mikroskopowego próbki przygotowanej przez piaskowanie z nałożoną

warstwą stali St5 o grubości 0,9 mm. Odległość natryskiwania wynosiła 0,25 m. Między warstwą natryskaną a podłożem nie nastąpił bezpośredni kontakt metaliczny, spowodowany zbyt dużą odległością natryskiwania.

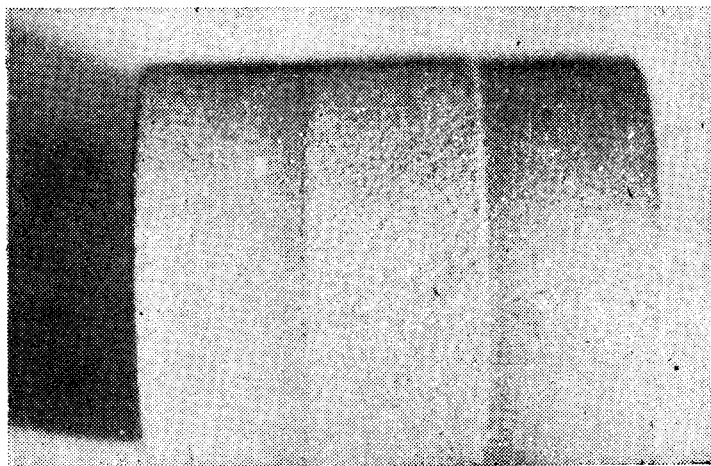


Rys.3. Przyczepność do podłoża warstwy wykonanej za pomocą metalizacji natryskowej dla różnych grubości warstwy, w zależności od odległości natryskiwania. Powierzchnia próbek metalizowanych przygotowana za pomocą piaskowania elektrokorundem EB12 i nałożenia za pomocą metalizacji molibdenowej warstwy pośredniej

Rys.7 przedstawia fotogram zglądu mikroskopowego próbki z gwintem szarpanym. Grubość warstwy natryskanej 0,9 mm. Odległość natryskiwania 0,16 m. Widoczne jest dobre połączenie warstwy natryskanej z podłożem. Deformacja ziaren w podłożu spowodowana została nacinaniem gwintu.

Na rys.8 pokazano fotogram zglądu mikroskopowego próbki z molibdenową warstwą pośrednią. Grubość warstwy - 0,9 mm. Odległość natryskiwania wynosi 0,22 m. Przyleganie warstwy molibdenu do podłoża oraz warstwy zasadniczej /stal St5/ do warstwy molibdenu - prawidłowe. Odległość natryskiwania

jest jednak zbyt duża, ponieważ zarówno w warstwie zasadniczej a także w warstwie molibdenu występują pory.



Rys.4. Próbką do metalizacji. Wałek - stal P55G,
warstwa natryskana - stal St5.
Powiększenie 3 x



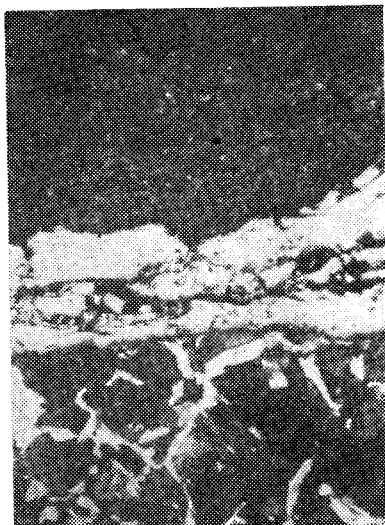
Rys.5. Warstwa stali St5, nałożona za pomocą metalizacji natryskowej, po próbie przyczepności.
Wielkość naturalna



Rys.6. Fotogram zglądu mikroskopowego próbki przygotowanej przez piaskowanie, z nałożoną warstwą stali St5. Odległość natryskiwania 0,25 m, grubość warstwy 0,9 mm. Widoczny brak metalicznego kontaktu między podłożem i nałożoną warstwą. Powiększenie 250 x



Rys.7. Fotogram zglądu mikroskopowego próbki przygotowanej przez nacięcie gwintu szarpanego, z nałożoną warstwą stali St5. Odległość natryskiwania 0,16 m, grubość warstwy 0,9 mm. Dobre przyleganie warstwy natryskiwanej do podłoża. Powiększenie 100 x



Rys.8. Fotogram zglądu mikroskopowego próbki z warstwą pośrednią molibdenu i nałożoną warstwą stali St5. Odległość natryskiwania 0,22 m, grubość warstwy 0,9 mm. Dobre przyleganie warstwy pośredniej do podłoża i do warstwy natryskanej. Powiększenie 250 x

4. Analiza wyników badań

W czasie przeprowadzonych badań stwierdzono, że największy wpływ na przyczepność warstwy do podłoża ma sposób przygotowania powierzchni przed natryskiwaniem. Przygotowanie powierzchni przez nacięcie gwintu dawało przyczepność prawie trzykrotnie wyższą niż w przypadku próbek piaskowanych. Wynosiła ona około 60 MPa dla odległości 0,10 m i grubości warstwy 0,6 mm. Przyczepność w tym przypadku zwiększała się ze wzrostem grubości warstwy. Przyrost przyczepności był prawie równy dla próbek z gwintem oraz próbek piaskowanych i wynosił około 10 MPa przy wzroście warstwy od 0,6 do 1,5 mm. Wpływ grubości na przyczepność w przypadku warstw nałożonych na podłoże molibdenowe był minimalnie mniejszy. Warstwy te wykazywały średnio o 10 MPa przyczepność większą w porównaniu do nakładanych na podłoże piaskowane, dla odległości natryskiwania 0,10 m. Różnica ta zmniejszała się ze wzrostem odległości natryskiwania. Wzrost przyczepności warstwy przy zwiększaniu grubości można wytłumaczyć zwiększaniem się skurczu objętościowego natryskiwanego metalu. Zwiększanie grubości warstwy związane było jednak ze wzrostem temperatury warstwy i podłoża, którego zmiany strukturalne stwierdzono podczas badań metalograficznych w postaci wzrostu ziaren.

Zwiększenie odległości natryskiwania powodowało zmniejszenie przy -
czepności warstwy do podłoża, bez względu na sposób jej przygotowania,
średnio o 10 MPa, w badanym przedziale odległości. Związane to było ze
wzrostem ilości tlenków w warstwie. Wzrastała również ilość cząstek pada-
jących na powierzchnię w stanie nieplastycznym. Stwierdzono, że powierzch-
nie nawet nieznacznie zabrudzone wykazują bardzo małą przyczepność.

5. Wnioski

1. W procesie metalizacji natryskowej najlepszą przyczepność warstwy do podłoża uzyskuje się przygotowując powierzchnię przez nacinanie na niej gwintu szarpanego.
2. W przypadku, kiedy nacinanie gwintu jest niemożliwe, zwiększenie przy-
czepności w stosunku do powierzchni przygotowanej przez piaskowanie,
uzyskuje się przez zastosowanie podkładowej warstwy molibdenu.
3. Dla badanych sposobów przygotowania powierzchni najlepszą przyczepność
warstwy uzyskuje się przy odległości 0,10 m. Jednak ze względu na roz-
rost ziaren w podłożu metalizowanym nie należy stosować zbyt małej od-
ległości natryskiwania tam, gdzie zmiany strukturalne podłoża byłyby
niepożądane. Zwiększenie odległości powyżej 0,19 m powoduje zwiększenie
ilości tlenków w warstwie natryskanej. Optymalne warstwy ze względu na
przyczepność, jak i na strukturę samej warstwy i podłoża uzyskuje się
przy odległości od 0,16 do 0,19 m.
4. Wzrost przyczepności warstwy do podłoża można osiągnąć przez zwiększe-
nie grubości warstwy natryskiwanej. Prowadzi to jednak do zwiększenia
ilości ciepła wprowadzanego do podłoża.
5. Przy dużych odległościach natryskiwania /0,25 - 0,28 m/ uzyskuje się
warstwy o niekorzystnej strukturze wewnętrznej. Warstwy wykonane przy
takich odległościach zawierają dużo tlenków oraz kropelki metalu w sta-
nie stałym.

Literatura

- [1] Avdeev H.: Metallirowanie. Mašinostrojenje. Moskwa 1978
- [2] Brenek J.: Nowoczesne rozwiązanie konstrukcyjne płomieniowych, łuko-
wych i plazmowych urządzeń do nanoszenia powłok. Biuletyn IMP nr 4
1971
- [3] Brenek J., Kanieski J.: Regeneracja łoż tokarek. Biuletyn IMP nr 5
1972
- [4] Drażkiewicz T.: Przyczepność warstwy natryskowej. Przegląd Spawal-
nictwa nr 5 1954

- [5] Drażkiewicz T.: Wpływ odległości i kąta natryskiwania na przyczepność warstwy. Przegląd Spawalnictwa nr 9 1954
- [6] Kowalski Z.: Metalizacja natryskowa. Postępy i najnowsze zastosowania. Zeszyt nr 13 PWT, Warszawa 1957
- [7] Kretzschmar E.: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet Termisches Spritzen. Schweisstechnik nr 6 1977
- [8] Łapiński I.: Metalizacja natryskowa. PWT, Warszawa 1953
- [9] Nadasi E.: Nowoczesne metody metalizacji natryskowej. WNT, Warszawa 1975
- [10] Brązowa norma - BN-75/1076-03. Natryskiwane powłoki metalowe, ceramiczne i ceramicy metalowe. Metody badań
- [11] Polska norma - PN-73/M-69412. Druty do gazowego i łukowego metalizowania natryskowego

THE EFFECT OF SPRAYING DISTANCE FROM THE SHAFT OF STEEL P55G SPRAYED
WITH STEEL ST5

Summary

The paper describes investigation results into the adhesiveness of the sprayed layer to the base in case of metal spraying depending on the way of surface preparation, spraying distance and sprayed layer thickness. There was sprayed a shaft of \varnothing 26mm of steel P55G with steel St5 in order to remove the results of surface wear.

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ РАСПЫЛЕНИЕМ ВАЛИКА ИЗ СТАЛИ
P55G РАСПЫЛЯЕМОГО СЛОЯ ИЗ СТАЛИ st 5

Резюме

В статье представлены результаты исследований над адгезией распыляемого слоя к основе при металлизации распылением, в зависимости от способа подготовки поверхности и толщины наложенного слоя. Покрыто распылением валик \varnothing 26мм из стали P55G сталью st5 с целью ликвидации результатов поверхностного износа.

Józef Szala
Kazimierz Zawisłak

PROGRAMOWANE BADANIA ZMĘCZENIOWE POJAZDÓW JEDNOŚLADOWYCH

W artykule przedstawiono syntezę programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych. Omówiono podstawowe zagadnienia i założenia badań programowanych, opracowanie wyników pomiarów obciążeń eksploatacyjnych oraz opracowanie wyników stanowiskowych badań programowanych.

1. Wstęp

Pojazdy mechaniczne w tym pojazdy jednośladowe poddane są w warunkach eksploatacji działaniu obciążeń stochastycznych. Podstawowym kryterium jakości elementów tych pojazdów jest trwałość zmęczeniowa. Jak wykazały badania przedstawione w pracy [1] uszkodzenia zmęczeniowe stanowią dla rowerów około 25%, a dla motorowerów i motocykli około 20% wszystkich uszkodzeń wymagających wymiany elementu, a więc w świetle kryteriów ekonomicznych najniekorzystniejszych. Należy podkreślić, że zapewnienie odpowiedniej trwałości zmęczeniowej jest koniecznym warunkiem bezpieczeństwa użytkownika.

Trwałość zmęczeniowa elementów maszyn poddanych działaniu obciążeń stochastycznych ocenić można na drodze obliczeń, badań z zastosowaniem obciążeń stochastycznych o podobnych charakterystykach statystycznych, jak obciążenie eksploatacyjne lub w programowanych badaniach. Te ostatnie badania przy niższych kosztach w stosunku do kosztów badań z obciążeniem stochastycznym [2] zapewniają znacznie wyższą dokładność ocen w porównaniu do obliczeń.

Pod pojęciem "programowane badania zmęczeniowe" rozumie się badania, w których obiekt rzeczywisty może być zastąpiony modelem, a stochastyczne obciążenia eksploatacyjne tego obiektu zastępuje się z góry przyjętym zdefiniowanym programem obciążeń, spełniającym określone warunki formalne i fizyczne [2].

Celem prezentowanego artykułu jest wykazanie możliwości prowadzenia programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych, wyznaczenie warunków tych badań oraz przedstawienie wyników i analizy wyników programowanych badań wybranych elementów i układów tych pojazdów.

Opracowanie oparto na wynikach wieloletnich badań /od 1969 roku/ pojazdów jednośladowych prowadzonych w Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy w ramach współpracy z Zakładami Rowerowymi PREDOM-ROMET i Instytutu

tu Podstawowych Problemów Techniki PAN. Fragmenty tych badań były przedmiotem szczegółowych opracowań publikowanych w różnych pismach naukowych. Prezentowany artykuł jest syntezą obejmującą całość problematyki programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych.

2. Podstawowe zagadnienia i założenia programowanych badań

Podstawowe zagadnienia programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych związane są z rozpoznaniem rzeczywistości, którą jest eksploatacja oraz z przyjęciem odpowiadającego jej modelu. Rozpoznanie to opiera się na badaniach eksploatacyjnych, które dostarczają podstawowych danych dotyczących szczególnie:

- wyznaczenia warunków eksploatacji badanych obiektów istotnych z punktu widzenia zmęczenia,
- pomiarów obciążeń eksploatacyjnych i w ogólności innych czynników związanych z wpływem otoczenia na trwałość zmęczeniową,
- wyznaczenia słabych ogniw i rozkładów naprężeń w tych elementach lub węzłach, które stanowią słabe ogniwa układu.

Przyjęcie odpowiedniego modelu wymaga:

- wyznaczenia charakterystyk statystycznych stochastycznych obciążeń,
- opracowania widm obciążeń odpowiednimi metodami schematyzacji stochastycznych obciążeń,
- opracowania programu obciążeń i przyjęcia odpowiednich parametrów dla tego programu.

Wymienione zagadnienia w odniesieniu do pojazdów jednośladowych przedstawiono szczegółowo w pracach [2, 3, 4, 5].

Podstawowymi założeniami formalnymi programowanych badań są założenia stacjonarności i ergodyczności, a często i normalności stochastycznych obciążeń. Jak wykazano w pracy [5] założenia te spełnione są w przypadku pojazdów jednośladowych w ograniczonym dodatkowymi warunkami stopniu.

Założenia fizyczne związane są z podobieństwem przebiegu procesu zmęczenia badanych elementów w warunkach stanowiskowych do uszkodzeń zachodzących w eksploatacji. Podobieństwo to dotyczy przede wszystkim miejsca inicjacji i przebiegu pęknięcia zmęczeniowego oraz średniej prędkości kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych w warunkach obciążeń programowanych i eksploatacyjnych.

3. Obciążenia eksploatacyjne i ich opracowanie

Obciążenia eksploatacyjne w ogólnym przypadku są procesem stochastycznym niestacjonarnym. Niestacjonarność spowodowana jest przede wszystkim niestalonymi warunkami ruchu pojazdów i wykonywanymi manewrami. Jak wykazano w pracy [5] procesy te w warunkach ustalonych można traktować jako od-

cinki stacjonarne. Przykładowe wykresy losowych zmian naprężeń w ramie roweru składanego typu 3250 WIGRY dla ustalonych warunków przejazdu po nawierzchni asfaltowej, brukowej i nieutwardzonej /droga polna/ przedstawiono na rys.1.

Opracowanie wyników pomiarów obciążeń eksploatacyjnych obejmuje dwie grupy zagadnień:

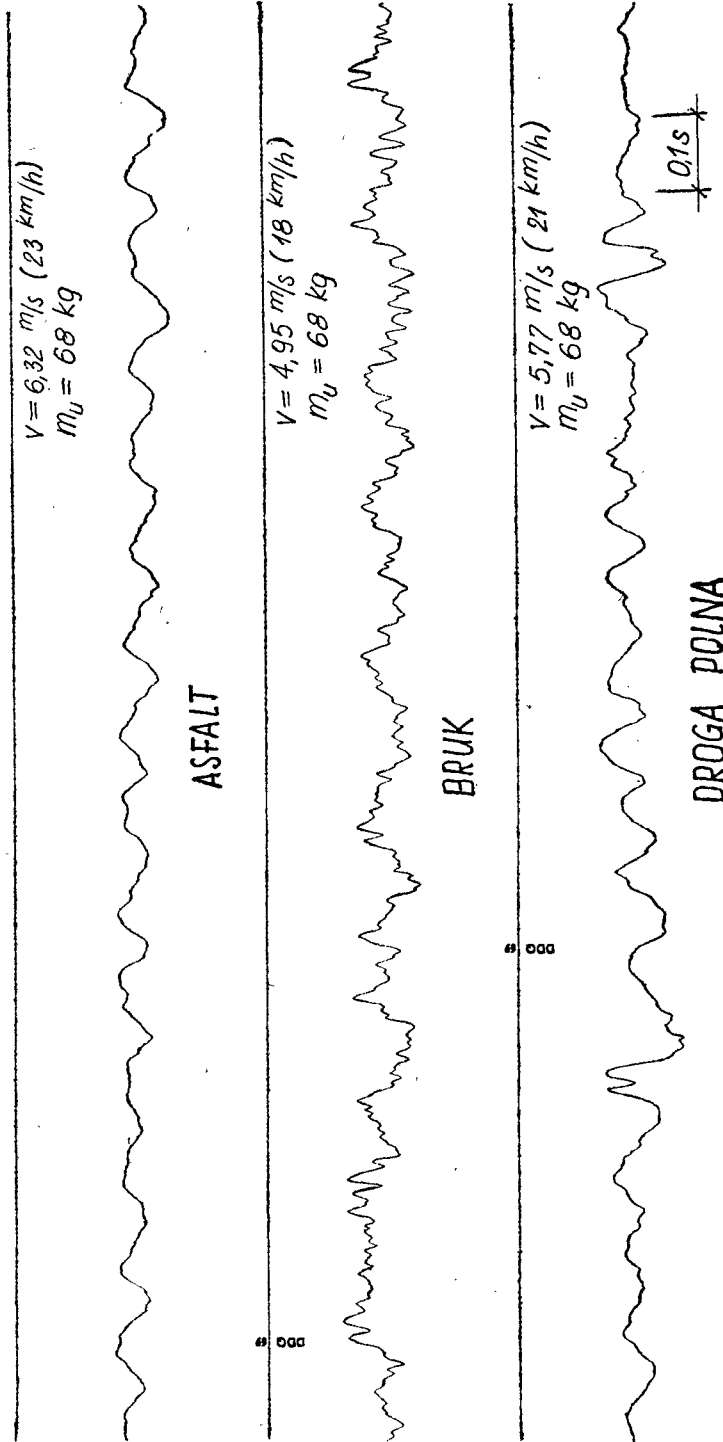
- wyznaczania i oceny charakterystyk statystycznych,
- opracowania widm i programów obciążeń.

Podstawowymi charakterystykami statystycznymi umożliwiającymi ocenę obciążeń eksploatacyjnych są funkcje: gęstości prawdopodobieństwa, autokorelacji i gęstości widmowej mocy. Na rys.2 przedstawiono wymienione funkcje statystyczne opisujące eksploatacyjne naprężenia w ramie trapezowej roweru sportowego typu 1264 DELTA [4]. Dla porównania na rys.3 podano wykresy funkcji autokorelacji i gęstości widmowej mocy dla ramy otwartej /jednobelkowej/ roweru typu 6242 TRAPER, różniące się istotnie cechami konstrukcyjnymi i technologią wykonania od ramy roweru typu 1264 DELTA.

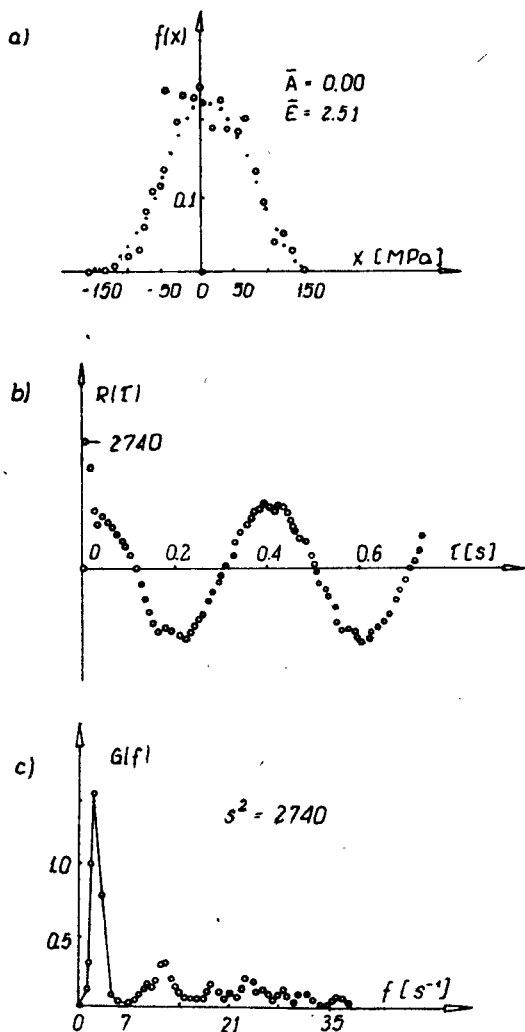
Analiza wykresów przedstawionych na rys.2 i 3 wykazuje, że naprężenia eksploatacyjne są procesami stochastycznymi szerokopasmowymi, w których można wyróżnić podstawowe oddziaływanie napędu /składowa o niskiej częstotliwości około 3 Hz/ i nawierzchni. Porównanie wykresów funkcji autokorelacji i gęstości widmowej mocy przedstawionych na rys.2 i 3 wykazuje ten sam charakter losowych obciążeń niezależnie od cech konstrukcyjnych badanych rowerów. Stwierdzenie to ma istotne znaczenie dla uogólnienia wyników badań na inne typy rowerów. Szczegółowa analiza statystyczna obciążeń eksploatacyjnych rowerów przedstawiona została w pracy [5].

Ocena statystyczna obciążeń eksploatacyjnych umożliwia dobór odpowiedniej metody schematyzacji w opracowywaniu widm obciążeń. Jak wynika z danych literaturowych [6, 7] i badań własnych [4], w przypadku obciążeń losowych szerokopasmowych najlepsze wyniki daje zastosowanie metody: pełnych cykli, par zakresów i obwiedni. Metody te opisano w pracy [2]. Opracowanie wykresów obciążeń stochastycznych szerokopasmowych z zastosowaniem wymienionych metod daje widmo obciążeń, w którym cykle sinusoidalne posiadają zmienne wartości średnie i zmienne amplitudy. Programy obciążeń dla takich widm są złożone [8], stąd w badaniach pojazdów jednośladowych zastosowano redukcję tych widm, wyznaczając zastępcze amplitudy przy stałej, równej zero wartości średniej. Schemat zredukowanego widma przedstawiono na rys.4. Widmo to charakteryzuje się często wartością maksymalnej amplitudy odpowiadającej pierwszemu stopniowi $\bar{\sigma}_{a \max}$ i współczynnikiem wypełnienia widma ζ . Widmo to dogodnie przedstawiać w układzie względnych wartości $\bar{\sigma}_{a1} / \bar{\sigma}_{a \max}$ i n_1 / n_c , gdzie $\bar{\sigma}_{a1}$ - amplituda naprężeń odpowiadająca i-temu stopniowi, n_1 - liczba cykli i-tego stopnia, n_c - całkowita liczba cykli w widmie obciążeń.

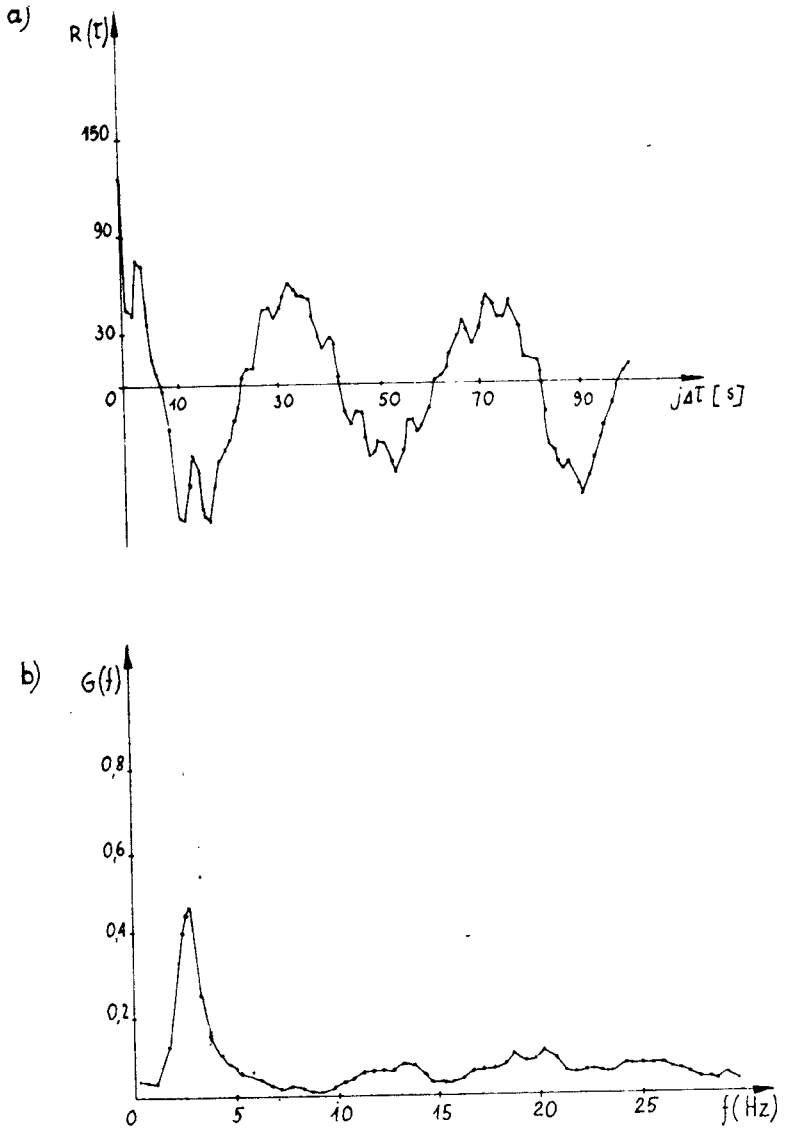
Dane dotyczące współczynnika wypełnienia widma ζ dla pojazdów jednośladowych podano w tabeli 1 [10].



Rys.1. Wytresy losowych zmian naprężeń w ramie roweru składanego typu 3250 WIGRY dla nawierzchni asfaltowej - a, brukowej - b, drogi polnej - c



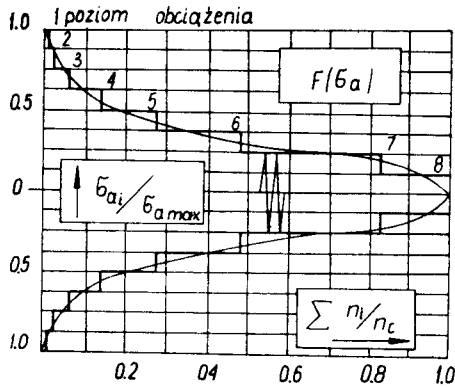
Rys. 2. Charakterystyki statystyczne eksploatacyjnych obciążeń ramy rowerowej typu 1264 DELTA
 a - funkcja gęstości prawdopodobieństwa
 b - funkcja autokorelacji
 c - funkcja gęstości widmowej mocy



Rys.3. Charakterystyki statystyczne eksploatacyjnych obciążeń ramy rowerowej typu 6242 TRAPER

a - funkcja autokorelacji

b - funkcja gęstości widmowej mocy



Rys. 4. Widmo obciążeń

tabele 1

Dane dotyczące widm obciążeń elementów pojazdów jednośladowych

Lp.	Badany pojazd	Miejsce pomiaru naprężeń eksploatacyjnych	Nawierzchnia drogi	Współczynnik ζ
1 2 3 4	Rower sportowy typu 1264 DELTA	rama	A	0,36
			B	0,33
			P	0,35
			S	0,25
5 6 7 8		elementy układu napędowego	A	0,51
			B	0,69
			P	0,61
			S	0,56
9 10 11 12	Rower składany typu 167 WIGRY	rama	A	0,40
			B	0,32
			P	0,36
			S	0,30
13 14 15 16		widelec koła przedniego	A	0,34
			B	0,35
			P	0,41
			S	0,29
17 18 19 20	Motorower typu 2330 KOMAR	wahacz koła przedniego	A	0,27
			B	0,34
			P	0,23
			S	0,25
21 22 23 24	Motorower typu 710 PEGAZ	rama	A	0,38
			B	0,39
			P	0,34
			S	0,24
25 26 27 28	Motocykl typu MO 683 WSK-125	oś koła przedniego	A	0,29
			B	0,36
			P	0,40
			S	0,27
29 30 31 32		rama	A	0,37
			B	0,32
			P	0,29
			S	0,27

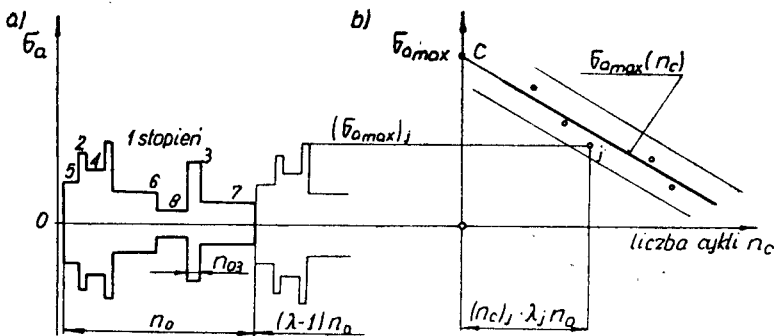
Objaśnienia: A - nawierzchnia asfaltowa, B - bruk, P - droga nieutwardzona, S - widmo sumaryczne uwzględniające procentowy udział nawierzchni w całkowitym przebiegu pojazdu.

Z analizy tych danych wynika, że dla układów nośnych pojazdów jednośladowych, których obciążenie zdecydowanie zależy od oddziaływania nawierzchni wartości współczynnika ζ dla różnych pojazdów są zbliżone.

Aby proces kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych w warunkach programowanych badań był zbliżony do procesu kumulacji uszkodzeń w warunkach eksploatacji należy opracować odpowiedni program obciążeń przyjmując:

- odpowiednią sekwencję obciążeń,
- liczbę cykli w okresie programu,
- częstotliwość obciążeń,
- zakres naprężeń istotnych z punktu widzenia kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych.

Wykres programu obciążeń opracowany na podstawie szczegółowych zaleceń zawartych w pracy [10] podano na rys.5 a.



Rys.5. Program z nieregularnym stopniowaniem obciążeń - a, schemat przedstawienia wyników badań - b /krzywa trwałości zmęczeniowej/

Program ten charakteryzuje się nieregularnym stopniowaniem naprężeń. Liczbę cykli w okresie programu n_0 przyjmowano z takim wyliczeniem, aby do pęknięcia zmęczeniowego zrealizować kilkadziesiąt powtórzeń programu, natomiast naprężenia mniejsze od $0,25 Z_G$ pominięto, jako nieistotnie wpływające na trwałość zmęczeniową $/Z_G$ - granica zmęczenia/. Częstotliwość zmian naprężeń ustalono w oparciu o dane z funkcji gęstości widmowej mocy.

4. Wyniki programowanych badań zmęczeniowych

Wyniki programowanych badań zmęczeniowych elementów i układów pojazdów jednośladowych przedstawiono w postaci krzywych trwałości zmęczeniowej, której schemat pokazano na rys.5b. Opracowanie statystyczne wyników badań polegało na wyznaczeniu metodą najmniejszych kwadratów prostych regresji wraz z przedziałami ufności dla średniej i pojedynczych wyników. Takie opracowanie wyników umożliwia ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia zmęczeniowego w funkcji przebiegu w kilometrach lub liczby

cykli obciążenia. Przedstawianie wyników badań w postaci krzywych trwałości zmęczeniowej umożliwia optymalizację konstrukcji w świetle kryterium trwałości zmęczeniowej.

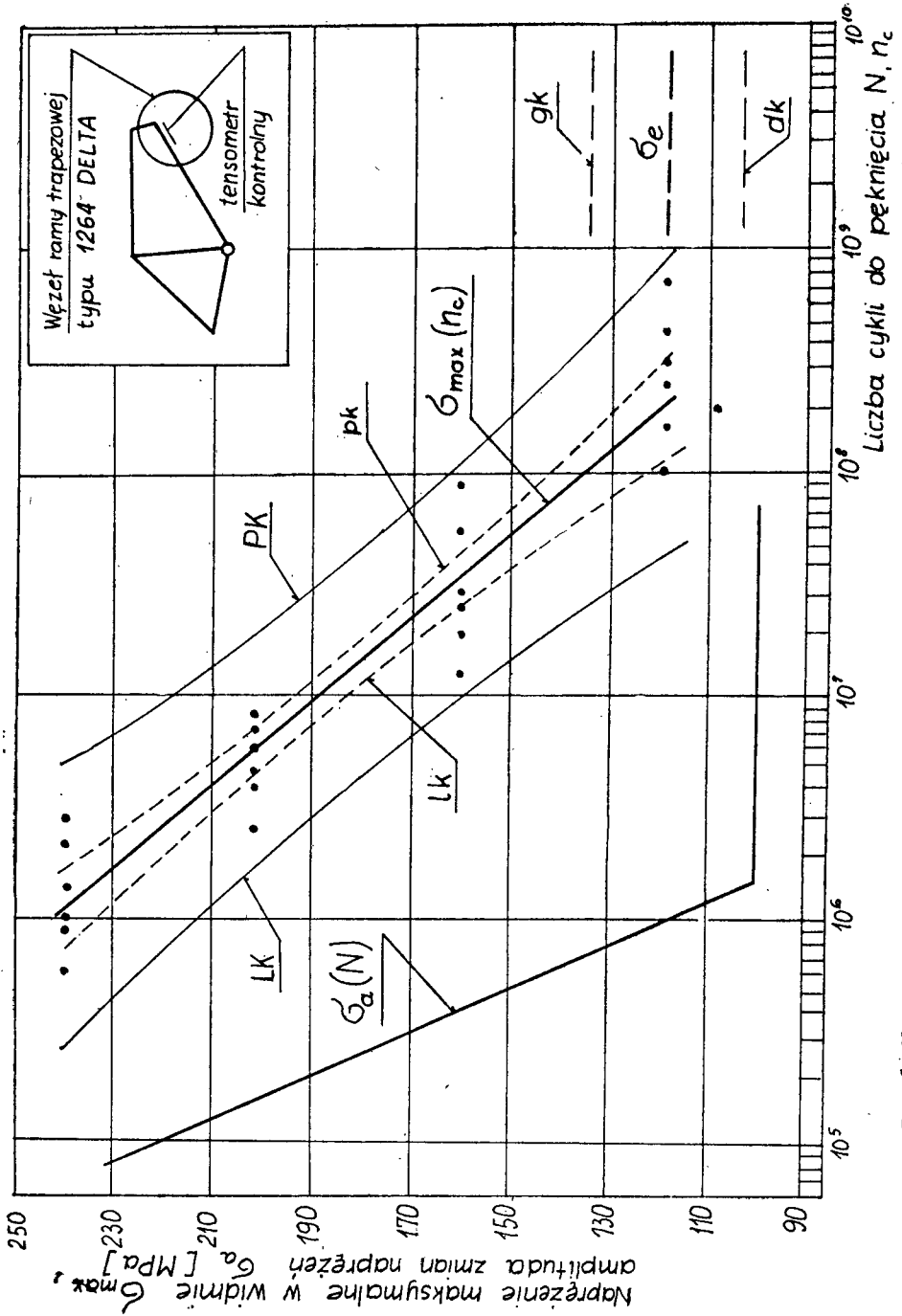
Na kolejnych rysunkach przedstawiono wyznaczone w programowanych badaniach zmęczeniowych krzywe trwałości dla: ramy trapezowej typu 1264 DELTA - rys.6, ramy roweru typu 3250 WIGRY - rys.7, widelca roweru typu 3250 WIGRY - rys.8. Na rysunkach tych poza prostą regresji odpowiadającą trwałości zmęczeniowej $\sigma_{amax} / n_c /$ i przedziałów dla średniej lk i pk i pojedynczych wyników LK i PK podano przebieg krzywej zmęczeniowej /Wöhlera/ $\sigma_a / N /$.

Dla lepszego oszacowania trwałości zmęczeniowej elementów pojazdów jednośladowych, których ogólną trwałość ocenia się w kilometrach przebiegu, na osi odciętych oprócz liczb cykli, podano odpowiednio przeliczoną trwałość zmęczeniową w km.

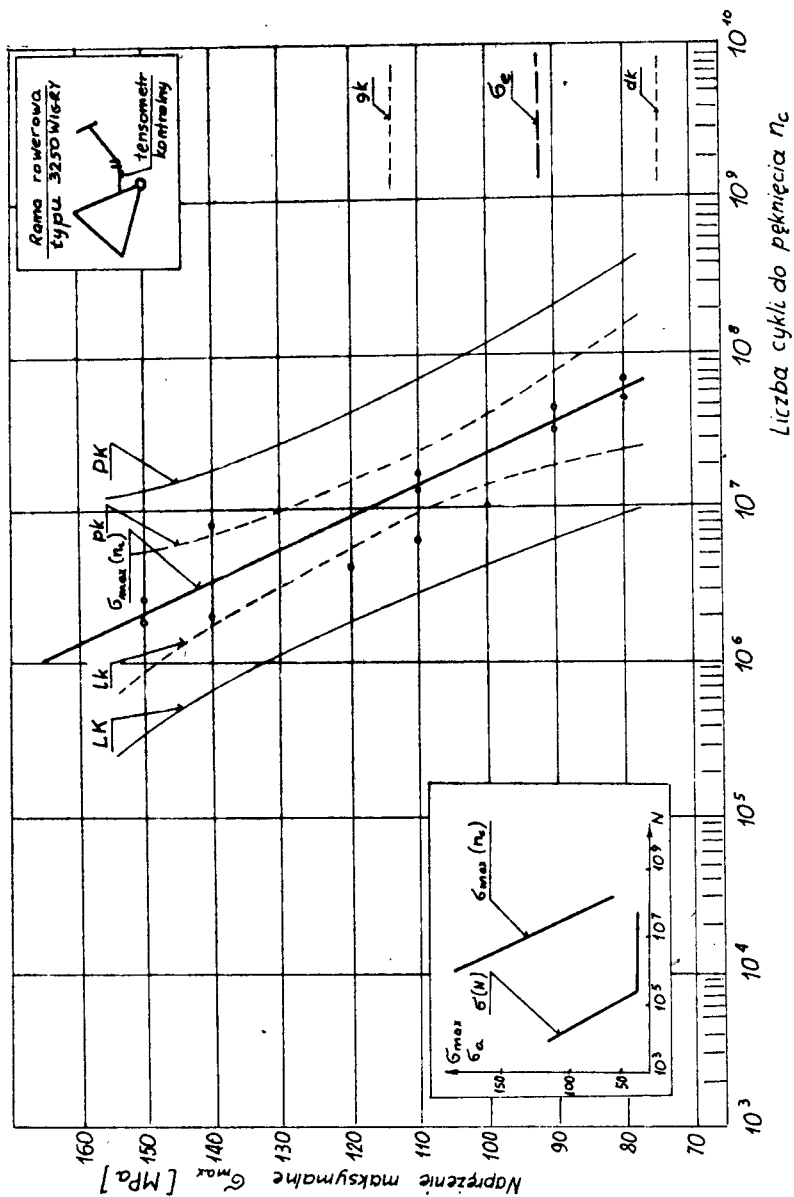
5. Analiza wyników programowanych badań i wnioski

Podstawowe pytanie dotyczące programowanych badań brzmi: na ile ocena trwałości zmęczeniowej przeprowadzona na ich podstawie, odpowiada rzeczywistości? Istnieje szereg opisów badań [6, 7], w których wykazano, że przy prawidłowym opracowaniu programów obciążeń trwałość zmęczeniowa wyznaczona w programowanych badaniach była zbliżona do trwałości zmęczeniowej wyznaczonej przy obciążeniu stochastycznym. Jednakże ocena zgodności tej trwałości z trwałością eksploatacyjną jest znacznie trudniejsza, ponieważ istnieje mała liczba danych dotyczących trwałości eksploatacyjnej. Mała liczba danych wynika z konieczności prowadzenia wieloletnich badań eksploatacyjnych większej liczby pojazdów jednośladowych. Orientacyjnego porównania trwałości zmęczeniowej eksploatacyjnej /trzy lata przyspieszonych badań eksploatacyjnych/ ram rowerów typu 1264 DELTA z wynikami programowanych badań dokonano w pracy [11]. Z pracy tej wynika, że różnice między trwałością eksploatacyjną i wyznaczoną w programowanych badaniach zmęczeniowych na poziomie ufności 0,95 są nieistotne.

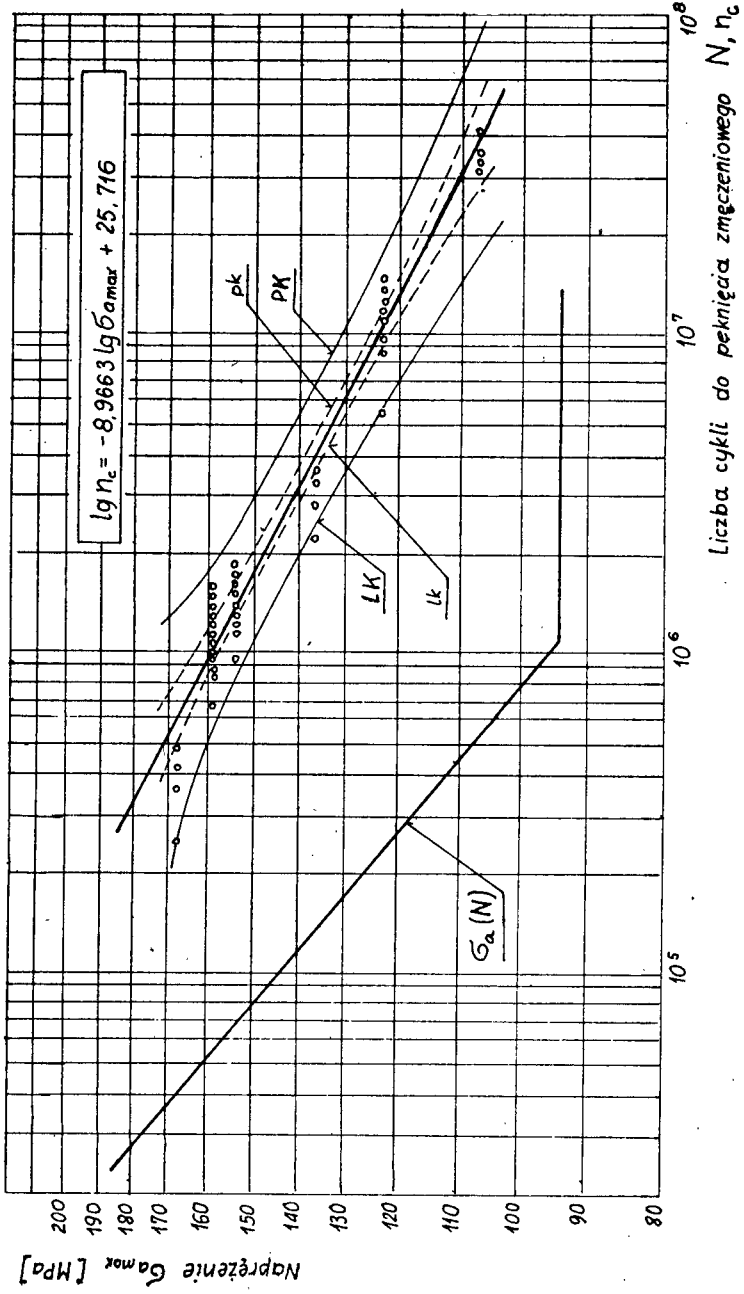
Poza oceną eksploatacyjnej trwałości zmęczeniowej elementów maszyn wyznaczone w programowanych badaniach krzywe trwałości umożliwiają dokonanie oceny poziomu technologicznego. Z porównania rozrzutu wyników badań widać, że ramy wykonane z zastosowaniem spawania /rys.7/ mają znacznie większy rozrzut wyników badań /są technologicznie niejednorodne/ niż ramy i widelce lutowane. Ten znaczny rozrzut powoduje, że prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia zmęczeniowego na przyjętym poziomie odpowiada stosunkowo małym przebiegom.



Rys. 6. Wyniki programowanych badań zmęczenia ramy roweru typu 1264 DELTA

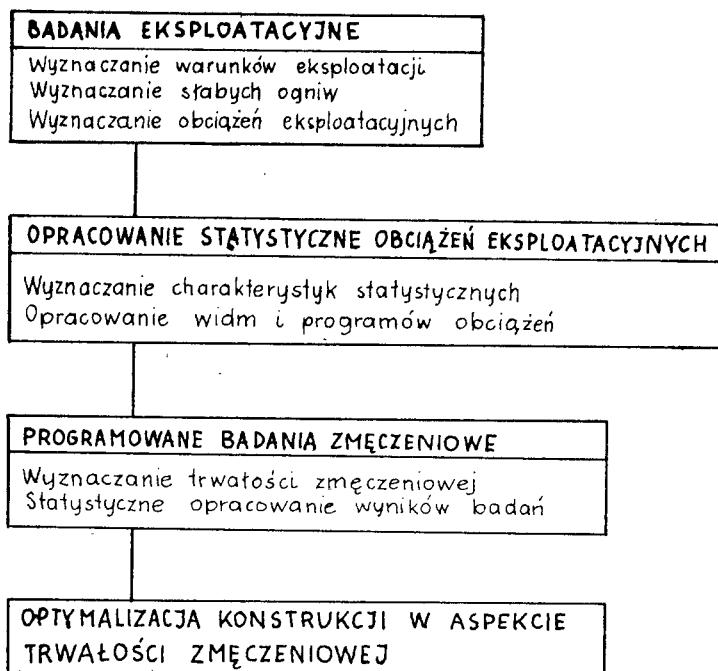


Rys.7. Wyniki programowanych badań zmęczeniowych ramy roweru typu 3250 WIGRY



Rys. 8. Wyniki programowanych badań zmęczeniowych widelca roweru typu 3250 WIGRY

Z przedstawionych rezultatów badań wynika możliwość prowadzenia programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych. Możliwość ta oparta jest między innymi na tym, że obciążenia eksploatacyjne pojazdów jednośladowych różniących się cechami konstrukcyjnymi są podobne. Umożliwia to opracowanie ogólnych wytycznych dotyczących programów obciążeń przebiegu badań i urzędzeń badawczych oraz interpretacji wyników badań. Ogólny schemat blokowy programowanych badań przedstawiono na rys.9.



Rys.9. Schemat blokowy programowanych badań zmęczeniowych pojazdów jednośladowych

Literatura

- [1] Jazdon A.: Uszkodzenia zmęczeniowe pojazdów jednośladowych. Akademia Techniczno-Rolnicza, Zeszyty Naukowe Nr 26, Bydgoszcz 1975
- [2] Szala J.: Badania i obliczenia zmęczeniowe elementów maszyn w warunkach obciążeń losowych i programowanych. Prace Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Nr 6, 1979
- [3] Jazdon A., Szala J., Wojciechowicz B.: Programowane badania niezawodności i trwałości obiektów technicznych. Akademia Techniczno-Rolnicza, Zeszyty Naukowe Nr 47, Bydgoszcz 1977

- [4] Szala J.: Zagadnienie aproksymacji zmian obciążeń o charakterze losowym w programowanych badaniach trwałości zmęczeniowej. Akademia Techniczno-Rolnicza, Zeszyty Naukowe Nr 26, Bydgoszcz 1975
- [5] Kugler J., Szala J.: Ocena statystyczna obciążeń eksploatacyjnych pojazdów mechanicznych. Zeszyt Naukowy BTN, Seria Mechanika, Nr 13 /w druku/
- [6] Kowalewski J.: On the Relation Between Fatigue Lives under Random Loading and Corresponding Program Loading. Full-Scale Fatigue Testing of Aircraft Structures, Pergamon Press, 1961
- [7] Kawamoto M., Ishikawa H.: A New Mechanical Random Fatigue Testing Maschine and some Results. Bulletin of the ISME, Vol. 14, 72, 1971
- [8] Szala J.: Wybrane zagadnienia z programowania obciążeń zmiennych na stanowiskach do badań zmęczeniowych. Akademia Techniczno-Rolnicza, Zeszyty Naukowe Nr 8, Bydgoszcz 1975
- [9] Serensen S.V., Kozlov L.A.: K razčetu na pročnost pri nestacionarnoj peremennoj napražennosti. Vestnik Mašinstroenia, 1, 1962
- [10] Szala J.: Ocena trwałości zmęczeniowej elementów maszyn w warunkach obciążeń losowych i programowanych. Akademia Techniczno-Rolnicza, Zeszyty Naukowe Nr 79, Bydgoszcz 1980
- [11] Szala J., Zawiślak K.: Ocena eksploatacyjnej trwałości zmęczeniowej na podstawie wyników badań stanowiskowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Nr 241, 1975

PROGRAMMED FATIGUE EXAMINATIONS OF BICYCLES AND MOTOR BICYCLES

Summary

The paper presents a synthesis of fatigue programmed examinations of bicycles and motor bicycles. There were discussed basic problems and assumptions for programmed examinations, measurement results of service load as well as the results of stand programmed examinations.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОСЛЕДНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Резюме

В статье представлен синтез программированных усталостных исследований односледных средств передвижения. Рассмотрены основные проблемы и исходные данные программированных исследований, а также разработка результатов измерений эксплуатационной нагрузки стендовых программированных исследований.

Marian Szymański
Jan Łukasiewicz

INSTALACJA DO UTYLIZACJI MAKULATURY Z OPAKOWAŃ AZBESTÓW

Na podstawie przeprowadzonych badań zaprojektowano układ do utylizacji makulatury z papierowych opakowań azbestów. Układ składa się z instalacji rozwłókniania makulatury, oczyszczania i dozowania. Stwierdzono, że dodatek celulozy w ilości 1,5 do 3% w odniesieniu do masy azbestów powoduje znaczny wzrost plastyczności formowania płyt azbestowo-cementowych. Umożliwia to stosowanie większych docisków w procesie prasowania płyt co wpływa na wzrost ich własności wytrzymałościowych.

1. Wstęp

Warstwy składowe płyt azbestowo-cementowych formowane na sitach cylindrycznych maszyn formujących łączone są w jedną całość poprzez sprasowanie w walcowej prasie formatowej. Operacja ta oprócz formowania z warstw składowych zwartej płyty powoduje również efekt odwadniania materiału płyty. Prasowanie połączone jest z oddziaływaniem na płytę znacznych nacisków liniowych, których wartość dochodzi do 50 kN/m. Naciski powodują odkształcenia zarówno powierzchni walców prasy formatowej jak i prasowanej płyty. Materiał płyt winien więc być dostatecznie plastyczny, aby nie występowały uszkodzenia jego struktury.

Ciśnienie wywierane przez walce prasy na płytę ma duży wpływ na jej własności wytrzymałościowe. Wytrzymałość płyty rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania. Pogarszają się jednak jej własności plastyczne, co przy kształtowaniu fal na płycie powoduje pękanie jej zewnętrznych warstw. Poprawę własności plastycznych płyt można uzyskać dodając do składu surowców, z których wytwarzane są płyty składniki uplastyczniające. Składnikiem takim, jak stwierdzono na podstawie badań są włókna celulozy.

W zakładach wytwarzających płyty azbestowo-cementowe włókna celulozy można pozyskać z surowca wtórnego, jaki są papierowe worki stanowiące opakowania azbestów.

Na zlecenie Pomorskich Zakładów Materiałów Izolacyjnych "Izopol" w Trzemesznie opracowano projekt instalacji do utylizacji makulatury z opakowań azbestów poprzez zastosowanie jej do wytwarzania płyt falistych. Nadmienić należy, że zastosowanie włókien celulozy do wytwarzania płyt az-

bestowo-cementowych stanowi nowość w przemyśle azbestowo-cementowym.

2. Badania nad wpływem dodatku celulozy na własności płyt azbestowo-cementowych

Praca nad zaprojektowaniem instalacji do utylizacji makulatury workowej była poprzedzona badaniami mającymi określić dopuszczalny udział celulozy w płytach oraz wpływ tego dodatku na przebieg procesu wytwarzania płyt i ich własności.

Dodatek celulozy do masy azbestowo-cementowej powoduje oprócz poprawy własności plastycznych płyt pewne ujemne zjawiska zmniejszające ich trwałość. Organiczne włókna celulozy stają się pożywką umożliwiającą wegetację pewnego rodzaju grzybów powodujących niszczenie struktury zewnętrznych warstw płyt.

Na podstawie zleconych Instytutowi Biochemii w Poznaniu badań odporności płyt z dodatkiem celulozy na rozwój grzybów stwierdzono, że dodatek do masy azbestów do 5% celulozy nie powodował występowania takiej wegetacji w płytach. Po przekroczeniu tej wartości pojawiały się oznaki za-grzybienia. Oprócz prób przeprowadzonych dla określenia ilości celulozy możliwej do stosowania jako dodatku do składu surowcowego ze względu na zachowanie ich trwałości, przeprowadzono również badania w skali technicznej wpływu dodawanej celulozy na przebieg procesu wytwarzania płyt i ich własności plastyczne. Próby przeprowadzono na jednej z maszyn formujących płyty azbestowo-cementowe w "Izopolu". Zostały one wykonane w normalnych warunkach eksploatacyjnych. Jako dodatek do azbestów stosowano celulozę siarczynową nie bieloną w ilości 1,5 i 3% w odniesieniu do masy azbestów. Skład mieszaniny surowców włóknistych zastosowanych w badaniach podano niżej:

azbest P-3-60	- 15 kg	- 11,11 %
azbest BL-4-110-4D	- 15 kg	- 11,11 %
azbest P-4-40	- 20 kg	- 14,82 %
azbest P-5-65	- 68 kg	- 50,35 %
azbest P-6-45	- 15 kg	- 11,11 %
celuloza sy nbl	- 2,02 kg	- 1,5 %

Celulozę rozwłókniano oddzielnie w hydropulperze przez okres 8 minut, a następnie dodawano wstępnie rozwłóknione przez 7 minut w gniotowniku azbesty i całość rozwłókniano przez dalsze 7 minut. Rozwłóknioną zawiesinę przepompowywano do turbomiksera i mieszano dla dalszego rozwłóknienia przez 4 minuty. Po dodaniu 900 kg cementu marki 450 kontynuowano mieszanie zawiesiny azbestowo-cementowej przez dalsze 4 minuty. Z turbomiksera przepompowywano zawiesinę azbestowo-cementową do kadzi maszynowej. Próby z dodatkiem 1,5% celulozy prowadzono przez 21 godzin i 40 minut. W czasie formowania płyt z tak przygotowanej masy prowadzono obserwacje pracy poszczególnych sekcji maszyny formującej oraz pobierano płyty do oznaczeń wy-

trzymałości na zginanie.

Próby przy stosowaniu 3% dodatku celulozy przeprowadzono dodając do przedstawionego wyżej zestawu azbestów 4,04 kg suchej celulozy i zachowując taki sam przebieg rozwłóknienia jak poprzednio.

Dla obu dodatków celulozy stwierdzono poprawę plastyczności płyt. Mimo zwiększenia docisku w prasie formatowej do 48 kN/m nie stwierdzono uszkodzeń powierzchni formowanych płyt. W warunkach normalnych stosowane są dociski w granicach 38 do 40 kN/m. Przy dodatku 1,5% celulozy nie występowały trudności ruchowe w procesie formowania i przecinania zdjętej z walca formatowego wstęgi azbestowo-cementowej. Po dodaniu 3% celulozy noże krążkowe przecinając wstęgę na odcinki odpowiadające wymiarom wytwarzanych płyt były zanieczyszczone przylegającymi do ich powierzchni cząstkami masy azbestowo-cementowej i wymagały oczyszczania po każdym cięciu. Powodowało to znaczne trudności w eksploatacji zespołu krajarki i przyspieszało zużycie noży. Z tych względów za optymalny przyjęto dodatek celulozy równy 1,5%.

Dodatek ten okazał się wystarczający do uplastycznienia formowanych płyt, a jednocześnie nie powodował trudności ruchowych w żadnym z zespołów maszyny formującej. Wartość jego jest jednocześnie znacznie mniejsza od ilości powodującej występowanie wegetatywnych form grzybów, co gwarantuje zachowanie trwałości płyt.

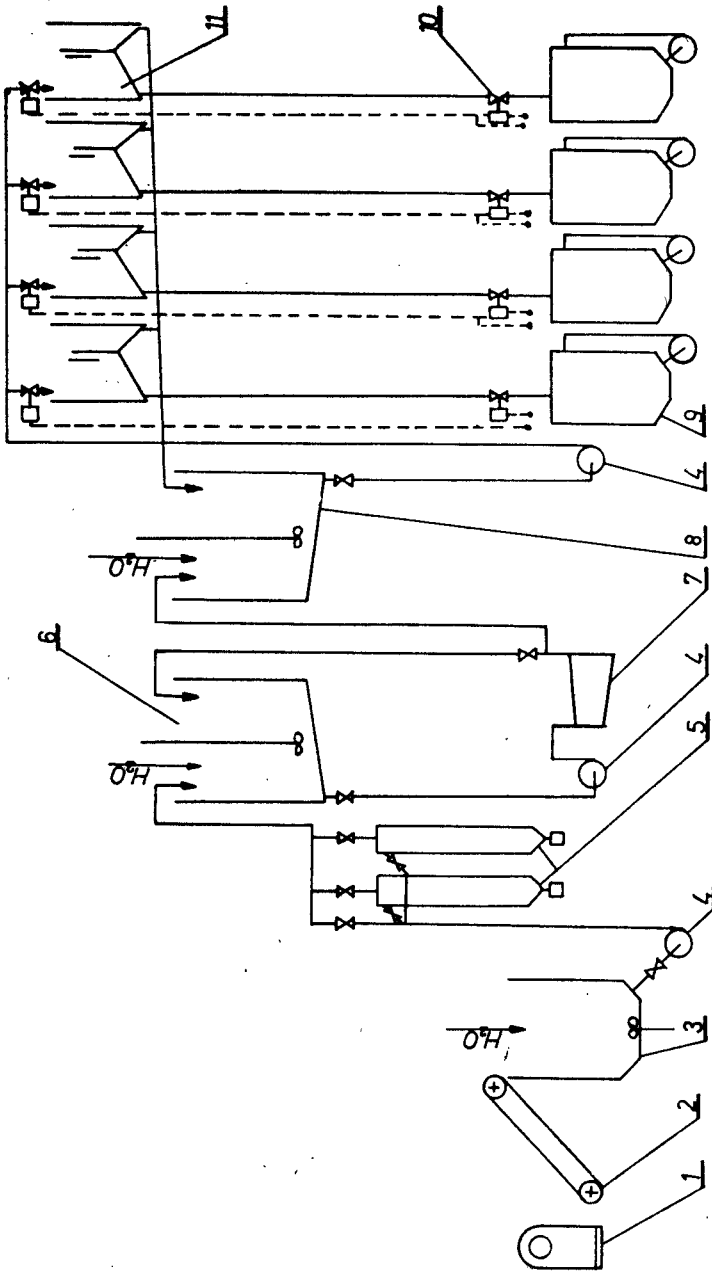
Na podstawie pomiarów wytrzymałości płyt na zginanie stwierdzono, że wytrzymałość płyt formowanych z dodatkiem celulozy była o około 8% wyższa niż płyt bez tego dodatku. Zmniejszyła się także ilość braków i płyt drugiego gatunku z uszkodzeniami krawędzi.

Zapotrzebowanie masy makulaturowej do wytwarzania płyt azbestowo-cementowych określono na podstawie zużycia azbestów. Ilość masy z makulatury workowej odniesiono do wartości suchej masy zawartej w workach stanowiących opakowania azbestów. Średnia wartość suchości tej makulatury oznaczona na podstawie 8 przypadkowo pobranych próbek z różnych miejsc jej stosu na składowisku w Zakładach "Izopol" wynosi 87%.

3. Instalacja rozwłóknienia i dozowania makulatury

Schemat technologiczny instalacji rozwłóknienia i dozowania makulatury workowej do masy azbestowo-cementowej przedstawiono na rys.1.

Dobierając poszczególne maszyny i urządzenia projektowanej instalacji przyjęto założenie, że wydajność jej winna odpowiadać zwiększonej o 50% wydajności wszystkich maszyn instalacji formowania płyt azbestowo-cementowych. Ze względu na stosunkowo małą wydajność instalacji przygotowania masy makulaturowej w porównaniu z wydajnościami dobranych w niej maszyn przyjęto, że będzie ona pracowała okresowo.



Rys. 1. Schemat instalacji rozwiókniania i dozowania masy celulozowej

- | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 - waga uchylna | 4 - pompa transportująca | 8 - kadź magazynowa |
| 2 - przenośnik taśmowy do makulatury | 5 - piasecznik | 9 - turbomikser |
| 3 - hydropulper | 6 - kadź zbiorcza | 10 - zawory sterowane pneumatycznie |
| | 7 - rozwiókniacz stożkowy | 11 - kadka dozująca |

Rozwłókniona masa magazynowana będzie w kadzi wyposażonej w mieszadło zapobiegające sedymentacji włókien w zawiesinie wodnej. Obliczenia zapotrzebowania masy celulozowej odniesiono do wartości dobowego zużycia azbestów przez cztery zainstalowane w "Izopolu" układy technologiczne rozwłókniania i formowania płyt azbestowo-cementowych. Do rozwłókniania celulozy dobrano hydropulper typu HC-10. Masa makulatury stanowiąca wsad do hydropulpera określana jest za pomocą wagi uchylnej. Po odważeniu makulatura transportowana jest do hydropulpera przenośnikiem taśmowym. Do kadzi hydropulpera dozowana jest woda. Po zakończeniu turnusu obróbki masa celulozowa jest pompowana do wysokostężeniowych piaseczników wirowych typu CG-30. W piasecznikach oddzielane są od strumienia masy zanieczyszczenia o gęstości większej od gęstości masy. Oczyszczona masa makulaturowa przepływa z piaseczników do kadzi zbiorczej. Instalacja rurociągów i zaworów umożliwia skierowanie masy bezpośrednio do kadzi zbiorczej z pominięciem piaseczników. Masa zmagazynowana w kadzi zbiorczej poddawana jest wtórnej obróbce rozwłókniania w rozwłókniaczu stożkowym typu RH-60. Po obróbce w rozwłókniaczu stożkowym masa zawracana jest do kadzi zbiorczej rurociągiem recyrkulacyjnym. Z chwilą uzyskania wymaganego stopnia rozwłóknienia należy zamknąć zasuwę na rurociągu recyrkulacyjnym, a otworzyć na przewodzie łączącym rozwłókniacz stożkowy z kadzią magazynową. Kadź zbiorcza i kadź magazynowa mają identyczne konstrukcje. W obu kadziach zainstalowane są mieszadła typu MN-350. Zapobiegają one sedymentacji masy i ujednorodniają jej skład. Doprowadzenie wody rozcieńczającej do kadzi przewidziano za pomocą elastycznych węży. W najniższych miejscach den kadzi przewidziano zainstalowanie zaworów do odprowadzenia masy i zanieczyszczeń przy myciu kadzi. Z kadzi magazynowej masa pompowana jest pompą do układu dozowania masy celulozowej. Układ ten jest przeznaczony do odmierzania i dozowania do turbomikserów układów technologicznych wytwarzania płyt azbestowo-cementowych określonych ilości masy celulozowej odpowiadających obliczonej wartości dodatku celulozy. Ponieważ ilość masy określana jest objętościowo należy przestrzegać zachowania w kadzi magazynowej stałego stężenia zawiesiny. Winno wynosić ono 5%. Pompa zainstalowana przy kadzi magazynowej tłoczy masę do kadek pomiarowych. Każdy z czterech układów technologicznych formowania płyt ma przewidzianą oddzielną kadkę pomiarową. Kadki pomiarowe będą wyposażone w nastawne przegrody przelewowe przeznaczone do odmierzania przewidzianej recepturą ilości dozowanej masy makulaturowej. Masa z komór przelewowych kadek odprowadzana będzie grawitacyjnie do kadzi magazynowej. Pompa pompująca masę do kadek oraz zasuwę na przewodach doprowadzających i odprowadzających masę z komór pomiarowych sterowane będą zdalnie przyciskami zainstalowanymi przy turbomikserach odpowiadających kadekom układów technologicznych wytwarzania płyt. Obok przycisków sterujących należy zainstalować sygnalizację świetlną określającą aktualne położenie zasuw i pracę pompy.

Po napełnieniu kadki pomiarowej pompę należy wyłączyć, zamknąć zasuwę na przewodzie doprowadzającym masę makulaturową, a następnie otworzyć za-

suwę na przewodzie łączącym kadkę z turbomikserem, Masa z kadki pomiarowej przepływa grawitacyjnie do turbomiksra. Po opróżnieniu kadki pomiarowej należy zamknąć zasuwę na rurociągu doprowadzającym masę makulaturową do turbomiksra. Wydajność pompy zasilającej układ dozowania dobrano tak, aby mogły być zasilane jednocześnie wszystkie kadki pomiarowe.

4. Wnioski

1. Dodatek celulozy do masy azbestowo-cementowej nie powinien ze względu na trwałość płyt przekraczać wartości 5% w odniesieniu do masy azbestów. Mając na względzie trudności ruchowe występujące przy wytwarzaniu płyt z masy z dodatkiem celulozy oraz ilości makulatury pozyskiwanej z opakowań azbestów dodatek ten winien wynosić 1,5%.
2. Dodatek celulozy w ilości 1,5% powoduje wzrost plastycznych własności formowanych płyt i umożliwia stosowanie wyższych o około 15% nacisków w prasie formatowej bez niebezpieczeństwa uszkodzeń powierzchni płyt.
3. Projektowana instalacja umożliwia utylizację makulatury workowej pochodzącej z opakowań azbestów przy minimalnych nakładach finansowych związanych z magazynowaniem i transportem.

Literatura

- [1] Szymański M., Łukasiewicz J.: Opracowanie technologii utylizacji i zastosowania makulatury celulozowej do produkcji wytworów azbestowo-cementowych. ATR, Bydgoszcz 1978, praca niepublikowana

A DEVICE FOR UTILIZING WASTE PAPER FROM
ASBESTOS PACKAGES

Summary

On the basis of the conducted examination there was designed a system for utilizing waste paper from paper packages of asbestos. The system consists of the installation for waste paper defibering, cleaning and dosing. It has been ascertained that a 1,5-3% addition of cellulose as compared with asbestos weight causes a considerable increase in plasticity of formed asbestos-cement panels. Thus, the application of a higher pressure in the process of moulding is possible, which gives better strength properties.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ МАКУЛАТУРЫ ИЗ АСБЕСТОВОЙ УПАКОВКИ

Резюме

На основе проведенных исследований была запроектирована система для утилизации макулатуры из бумажной упаковки асбеста. Устройство состоит из установки распушивания макулатуры, очистки и дозировки. Установлено что добавление целлюлозы в количестве 1,3 до 3 % по отношению к массе асбеста вызывает значительное повышение пластичности формированных асбестоцементных плит. Это дает возможность применить значительную подпрессовку в процессе прессовки плит, что влияет на повышение их прочностных свойств.



Marian Szymański
Jan Łukasiewicz

MODERNIZACJA DZIAŁU PRZYGOTOWANIA MASY
DO WYTWARZANIA PŁYT AZBESTOWO - CEMENTOWYCH

Decydujący wpływ na przebieg formowania płyt azbestowo-cementowych, ich własności eksploatacyjne i wytrzymałościowe wywiera sposób rozwiłknienia azbestów i przygotowania zawiesiny azbestowo-cementowej. Aby ograniczyć ujemne skutki skracania i cięcia włókien azbestów w wyniku mechanicznego oddziaływania elementów roboczych maszyn, opracowano nową metodę obróbki polegającą na traktowaniu przepływającej zawiesiny azbestów szybkozmiennymi pulsacjami ciśnienia w komorze roboczej generatora.

Dla ograniczenia zjawiska niszczenia włókien w czasie mieszania zawiesiny wodnej azbestów z cementem zaprojektowano mieszalnik z mieszadłem w postaci ślimaka wstęgowego.

Wyniki badań wdrożono do praktyki przemysłowej, co przyniosło znaczne korzyści ekonomiczne.

1. Wstęp

Materiałem wyjściowym w procesie wytwarzania płyt azbestowo-cementowych jest odpowiednio dobrana mieszanina cementu i azbestów. Mieszaninę tę rozczynia się w wodzie tworząc zawiesinę wodną. Własności zawiesiny wywierają istotny wpływ na jakość formowanego wytworu oraz przebieg procesu formowania.

Składnikiem zawiesiny decydującym o jej własnościach filtracyjnych oraz o własnościach wytrzymałościowych formowanych płyt jest azbest. Dla pełnego, efektywnego wykorzystania jego własności wzmacniających płyty oraz rozwinięcia powierzchni włókien niezbędnej do zatrzymania cementu w warstwie filtracyjnej tworzącej się na powierzchni sita, koniecznym jest przeprowadzenie procesu rozwiłknienia azbestu. Proces ten przeprowadzany jest w dziale przygotowania masy azbestowo-cementowej. W dziale tym oprócz obróbki azbestu przeprowadzana jest operacja sporządzania wodnej zawiesiny cementu i azbestu. Zawiesina ta nazywana masą azbestowo-cementową magazynowana jest w kadzi magazynowej. Praca działu przygotowania masy ma decydujące znaczenie dla dalszych operacji procesu formowania płyt.

Na zlecenie PZMI "Izopol" w Trzemesznie przeprowadzono w Zakładzie Eksploatacji Maszyn ATR w Bydgoszczy prace nad modernizacją działów przygotowania masy azbestowo-cementowej w "Izopolu". Wyniki tych prac zostały wdrożone w praktyce przemysłowej zgodnie z umową wdrożeniową nr W 1/78.

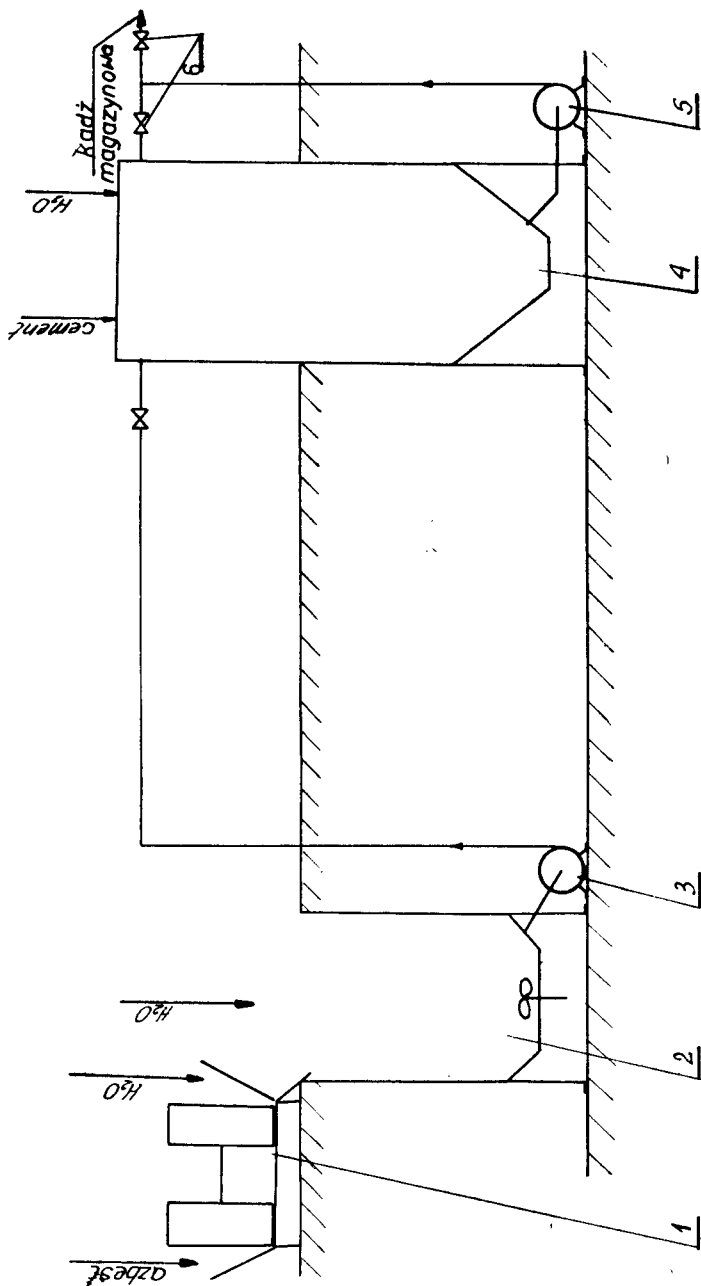
2. Analiza procesu przygotowania masy azbestowo-cementowej

Układ technologiczny maszyn działu przygotowania masy, stosowany przed modernizacją przedstawiono na schemacie zamieszczonym na rys.1.

Azbest rozwłókniano w tym układzie dwustopniowo - w gniotowniku i hydropulperze, dobierając czas obróbki w zależności od odporności różnych gatunków azbestów na działanie rozwłókniające. Czynnikiem powodującym rozdział skupisk włókien obrabianego surowca jest w obu maszynach rozwłókniających przede wszystkim mechaniczne, bezpośrednie oddziaływanie elementów roboczych. Powoduje to dodatkowe, niepożądane efekty obróbki polegające na łamaniu i skracaniu włókien azbestu. Powstawanie dużej ilości frakcji drobnej utworzonej ze zniszczonych włókien obniża wzmacniające własności azbestu w płytach, pogarsza jego własności filtracyjne i staje się przyczyną dodatkowych strat tego surowca. Drobne cząstki azbestów w postaci pyłów przedostają się do otoczenia, powodując skażenie atmosfery bardzo szkodliwymi dla zdrowia ludzkiego czynnikami. Źródłem powstawania tych pyłów są gniotowniki, gdzie obróbka surowca prowadzona jest metodą suchą oraz urządzenia transportowe, dozujące i odważające. Znaczne ilości frakcji drobnej powstają również w hydropulperze. Rozwłóknianie odbywa się tu metodą moką. Skupiska włókien rozdzielane są zarówno mechanicznym oddziaływaniem elementów roboczych tej maszyny jak i siłami pochodzącymi od turbulentywnych przepływów strumieni zawiesziny włókien azbestu w wodzie wprowadzonej w ruch wirowy wirnikiem hydropulpera. Podczas formowania płyt na sitach cylindrycznych drobne cząstki azbestów przepływają przez pory w warstwie filtracyjnej i odprowadzane są z przefiltrowaną wodą. Zwiększają one również opór właściwy filtracji formowanej warstwy, zmniejszając tym wydajność maszyn formujących. Ilość frakcji drobnej azbestu rośnie szybko wraz z czasem obróbki. Tłumaczyć to można tym, że powstające w pierwszej fazie rozwłókniania pojedyncze włókna i wiązki włókien o mniejszych grubościach mają mniejszą niż wiązki pierwotne wytrzymałość i łatwo ulegają uszkodzeniom przy dłuższym przebywaniu w strefie obróbki. Źródłami powstawania uszkodzeń włókien poprzez ich łamanie i skracanie są również pompy transportujące masę i turbomikser, w którym miesza się zawieszinę azbestów z cementem. Proces mieszania w turbomikserze przeprowadzany jest za pomocą pompy cyrkulacyjnej. Oddziaływanie wirnika tej pompy oraz ścianek turbomiksersa na przepływające strumienie masy azbestowo-cementowej zawierającej rozwłókniony, a więc nieodporny na działanie mechaniczne azbest, powoduje intensywne niszczenie włókien.

Przedstawione wyżej problemy przy wciąż wzrastających trudnościach związanych z importem azbestów stały się przyczyną poszukiwania usprawnień procesu rozwłókniania azbestów i przygotowywania masy azbestowo-cementowej.

Zmodernizowany układ przygotowania masy winien ograniczyć w możliwie największym stopniu szkodliwe zjawisko łamania i skracania włókien. Umożliwiłoby to uzyskanie pewnych oszczędności azbestów dzięki możliwości lepszemu wykorzystaniu ich własności "zbrojących" materiał płyt. Rolę włókien az-



Rys.1. Układ technologiczny maszyn działu przygotowania masy azbestowo-cementowej przed modernizacją

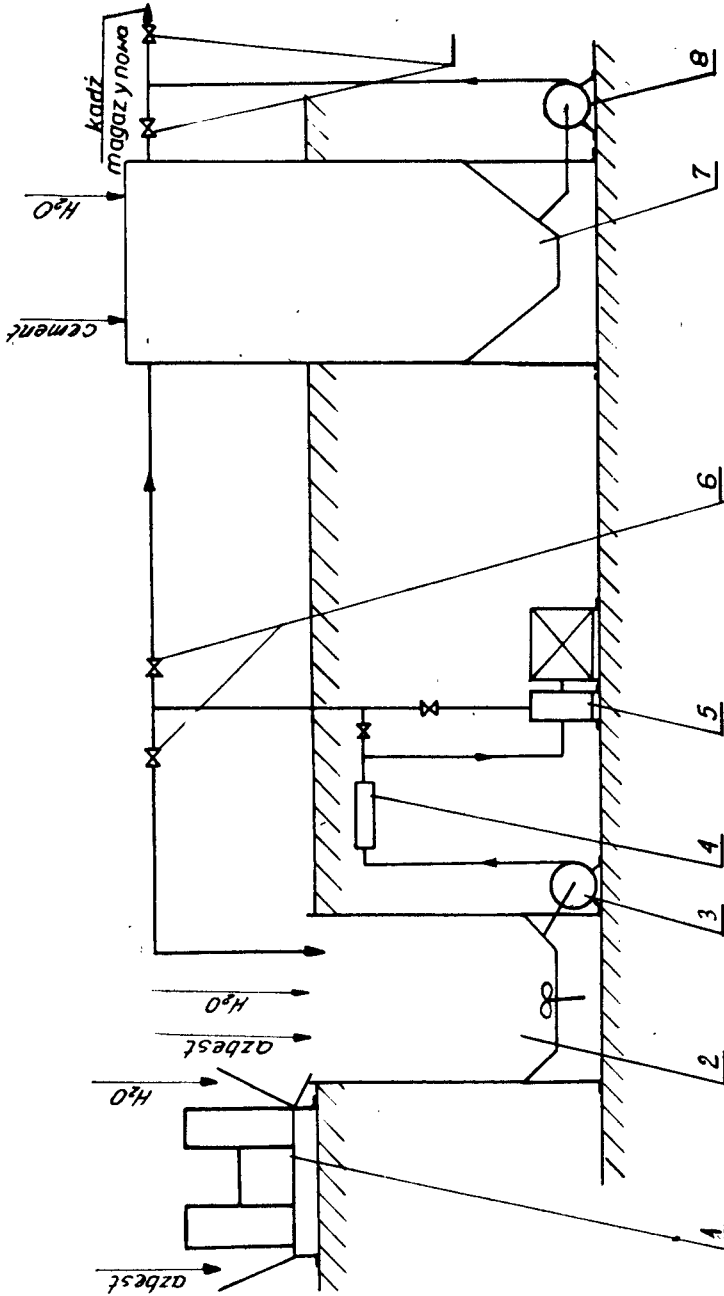
- 1 - gniotownik
- 2 - hydrolpulper
- 3 - pompa transportująca masę azbestową
- 4 - turbomikser
- 5 - pompa cyrkulacyjna
- 6 - zawory sterujące

bestów w płycie azbestowo-cementowej można porównać z funkcją pełnioną przez pręty stalowe zbrojenia w betonie.

3. Modernizacja działu przygotowania masy

Opracowując założenia do modernizacji działu przygotowania masy rozpatrzono obie zasadnicze operacje dokonywane w tym dziale, tj. rozwłóknianie azbestu i mieszanie zawiesiny azbestu z cementem. Urządzenia, w których przeprowadzane są te operacje stanowią bowiem główne źródła łamania i skracania włókien. Dla uniknięcia uszkodzeń włókien należy w czasie rozwłókniania, jak wynika z przeprowadzonej wyżej analizy, ograniczyć mechaniczne oddziaływanie na azbest elementów roboczych maszyn oraz skrócić czas obróbki, tak aby nie następowało łamanie włókien w początkowej fazie procesu rozwłókniania. Mając na względzie te przesłanki zmodernizowano rozwłóknianie azbestów przez zastosowanie nowej metody obróbki, polegającej na działaniu na skupiska włókien pola generowanych mechanicznie szybkozmiennych pulsacji ciśnienia. Układ technologiczny działu przygotowania masy z zastosowaniem nowej metody rozwłókniania przedstawiono na schemacie zamieszczonym na rys.2.

W układzie tym za hydropulperem zainstalowano mechaniczny generator szybkozmiennych pulsacji ciśnienia. Instalacja rurociągów umożliwia pracę generatora w układzie recyrkulacji. Na przewodzie tłocznym pompy pompującej zawieszinę z hydropulpera do generatora zamontowano magnetyczny separator zabezpieczający generator przed uszkodzeniem stalowymi elementami spotykanymi w masie, a pochodzącymi z opakowań azbestów. Tak zmodernizowany układ rozwłókniania umożliwi selektywną obróbkę azbestów. Azbesty trudno rozwłóknialne obrabiane są wstępnie w gniotowniku, a następnie dozowane do hydropulpera, gdzie zasypywane są bezpośrednio azbesty łatwiej ulegające rozwłóknieniu i po dodaniu wody doprowadza się zawartość do stanu jednorodnej zawiesiny wodnej. Hydropulper w tym układzie pełni jedynie rolę mieszalnika. Stosowany czas mieszania wynosi 20 s. W przypadku zastosowania wariantu pracy układu z cyrkulacją cieczy, po opuszczeniu generatora zostaje ona doprowadzona z powrotem do wanny hydropulpera. Stosując cyrkulację masy w układzie generator-wanna hydropulpera wydłuża się czas obróbki masy w generatorze. Do wytworzenia szybkozmiennych pulsacji ciśnienia zastosowano w zmodernizowanym układzie rozwłókniania eksploatowany w przemyśle papierniczym i wytwarzany przez przemysł krajowy szybkoobrotowy rozwłókniacz tarczowy typu HM-75. Po rozwłóknieniu zawieszinę azbestową pompowano do turbomiksera, gdzie po dodaniu cementu mieszano składniki w ciągu 240 s, a następnie przepompowywano do kadzi magazynowej. W podanym niżej zestawieniu zamieszczono parametry pracy ciągów zmodernizowanego i niezmodernizowanego przy rozwłóknianiu mieszaniny azbestów o takim samym składzie. Oba układy pracowały przy optymalnych dla siebie parametrach, przy których osiągnano najlepsze dla danego układu wyniki obróbki.



Rys.2. Układ technologiczny maszyn działu przygotowania masy po modernizacji

- | | | |
|--------------------------|--|------------------------|
| 1 - gniotownik | 4 - separator magnetyczny | 7 - turbomikser |
| 2 - hydropulper | 5 - generator szybkozmiennych pulsacji ciśnienia | 8 - pompa cyrkulacyjna |
| 3 - pompa transportująca | 6 - zawory sterujące | 9 - zawory sterujące |

Obrabiana mieszanina azbestów, ze względu na różnice w odporności na rozwłóknianie jej składników została podzielona na dwa zestawy. Pierwszy z nich złożony z azbestów trudno rozwłókniających się obrabiano najpierw w gniotowniku oddzielnie przez czas 300 s, a następnie dozowano zestaw II złożony z azbestów łatwo rozwłókniających się i oba zestawy obrabiano przez dalsze 300 s. W układzie zmodernizowanym drugi zestaw azbestów dozowano bezpośrednio do hydropulpera spełniającego tu rolę mieszalnika. Rozwłókniając azbesty w układzie niezmodernizowanym przeprowadzano dodatkowe rozwłóknianie w turbomikserze, mieszając zawieszoną pompą cyrkulacyjną.

Tabela 1

Parametry pracy układów przygotowania masy azbestowo-cementowej

Parametry pracy	Układ przed modernizacją	Układ zmodernizowany
Skład mieszaniny azbestów	zestaw I azbest P-3-60 - 25 kg azbest SIPL - 12,5 kg zestaw II azbest P-5-65 - 75 kg azbest 5 M - 30 kg	zestaw I azbest P-3-60 - 25 kg azbest SIPL - 12,5 kg zestaw II azbest P-5-65 - 75 kg azbest 5 M - 30 kg
Czas obróbki w gniotowniku	I zestaw - 10 minut II zestaw - 5 minut /wspólnie z zestawem I/	I zestaw - 10 minut II zestaw - 0 minut /dozowany bezpośrednio do hydropulpera/
Czas obróbki w hydropulperze	210 s	20 s /czas mieszania/
Stężenie zawiesiny	5 %	5 %
Czas obróbki w generatorze szybkozmennych pulsacji	-	120 s
Czas rozwłókniania w turbomikserze	210 s	0 s
Czas mieszania	240 s	240 s

Własności azbestów po rozwłóknianiu przedstawiono dla porównywalnych układów w tabeli 2 [1].

Na rys.3 i 4 przedstawiono graficznie wyniki mikroskopowych pomiarów grubości wiązek włókien azbestów po obróbce w układzie niezmodernizowanym i w układzie po modernizacji.

Porównując histogramy rozkładu grubości mierzonych wiązek włókien oraz wartości charakteryzujących je wskaźników można stwierdzić, że azbesty rozwłókniane w układzie zmodernizowanym są bardziej jednorodne pod względem wymiarów włókien i mają wiązki włókien o grubości około 50 % mniejszej niż w układzie niezmodernizowanym. W azbestach tych jest również

o wiele mniej frakcji drobnej. Wyniki pomiarów i obserwacji mikroskopowych potwierdzają również oznaczenia własności porównywanych azbestów. Mniejszą wartość filtracji wykazywaną przez azbesty rozwiókniane w układzie zmodernizowanym można tłumaczyć mniejszą zawartością w masie frakcji drobnej, która zwiększa wydatnie opór filtracji i utrudnia formowanie warstw elementarnych płyt na sitach cylindrycznych.

Wykrczystując lepsze rozwióknienie azbestów w zmodernizowanym układzie zmniejszono udział azbestu w wytwarzanych płytach azbestowo-cementowych nie pogarszając własności wytrzymałościowych płyt.

W czasie przeprowadzanych badań pracy zmodernizowanego układu rozwiókniania stosowano wskaźniki zużycia azbestów zawierające się w granicach $0,94 + 1,04 \text{ kg/m}^2$. Były więc one mniejsze niż wartości wskaźnika założone w umowie wdrożeniowej, która to wartość była równa $1,07 \text{ kg/m}^2$. Wskaźnik zużycia azbestów dla układu niezmodernizowanego był równy $1,12 \text{ kg/m}^2$.

Tabela 2

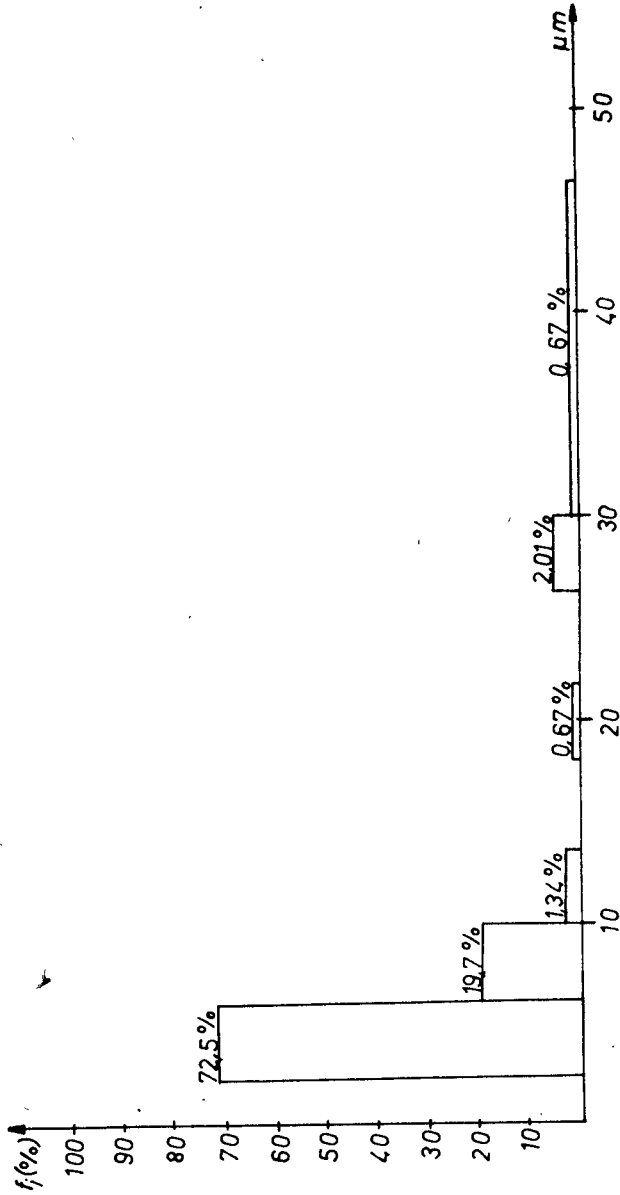
Wyniki obróbki azbestów w niezmodernizowanym i zmodernizowanym układzie przygotowania masy

Parametry i własności azbestów	Układ przed modernizacją	Układ zmodernizowany
Filtracja	272 s	227 s
Sedymentacja	82 %	98,5 %
Średnia grubość wiązek włókien	6,7 um	3,2 um
Wyniki frakcjonowania w aparacie Bauer Mc Netta - pozostałość na sicie:		
I	3,75 %	5,75 %
II	6,35 %	9,75 %
III	11,75 %	13,25 %
IV	11,0 %	13,5 %
włókna przepływające przez sito IV	67,15 %	57,75 %
Zużycie energii na jeden turnus rozwióknienia	8,6 kWh	7,7 kWh

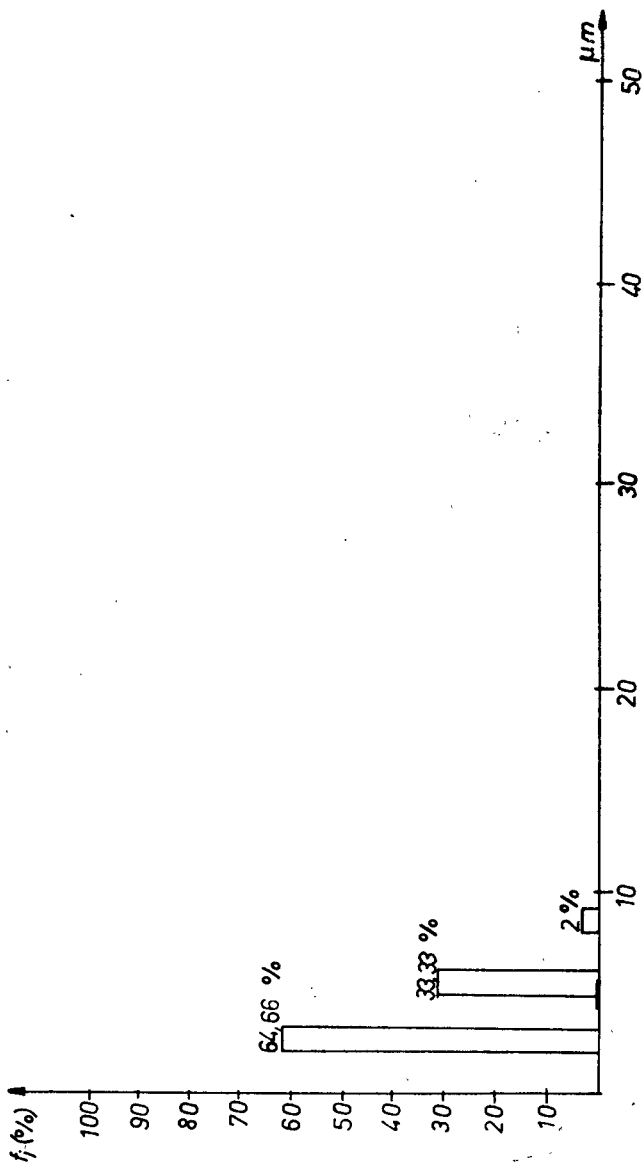
Drugim obok maszyn rozwiókniających urządzeniem gdzie zachodzi intensywne zjawisko łamania i skracania włókien jest jak już nadmieniono turbomikser. Pompa cyrkulacyjna zainstalowana przy turbomikserze oddziałując wirnikiem na rozwiókniony azbest powoduje intensywne łamanie włókien.

Dla ograniczenia szkodliwego wpływu tego zjawiska zaprojektowano mieszalnik odmiennego typu niż turbomikser. Jest to mieszalnik o poziomej cylindrycznej kadzi z mieszadłem w postaci ślimaka wstęgowego.

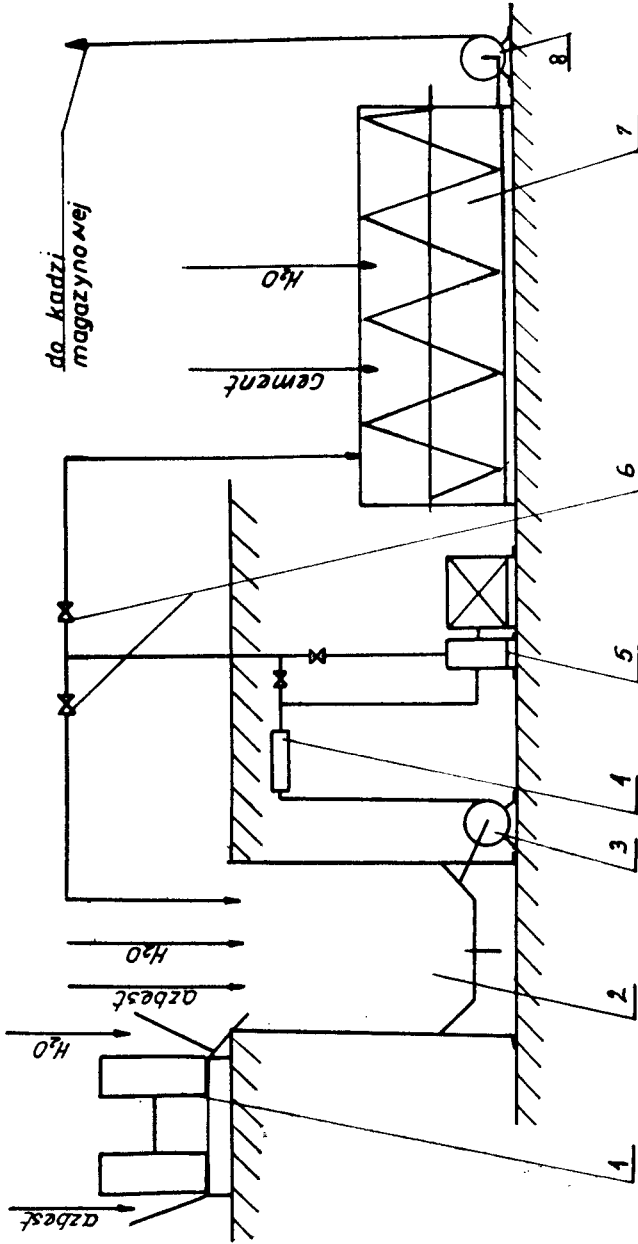
Schemat technologiczny układu przygotowania masy azbestowo-cementowej z zastosowaniem nowego typu mieszalnika przedstawiono na rys.5.



Rys.3. Histogram rozkładu grubości wiązek włókien azbestów obrabianych w układzie niezmodyfikowanym



Rys.4. Histogram rozkładu grubości wiązek włókien azbestów obrabianych w układzie pracującym nową metodą.



Rys.5. Układ technologiczny maszyn z mieszalnikiem poziomym

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| 1 - gniotownik | 4 - separator magnetyczny | 6 - zawory sterujące |
| 2 - hydropulper | 5 - generator szybkozmiennych pulsacji ciśnienia | 7 - mieszalnik ślimakowy |
| 3 - pompa transportująca | | 8 - pompa transportująca |

Cement do mieszalnika jest dozowany przez otwór w górnej części kadzi. Ślimak wstęgowy wirując wewnątrz kadzi mieszalnika miesza składniki masy azbestowo-cementowej, nie uszkadzając dzięki małej prędkości obwodowej i swemu kształtowi, włókien azbestu.

4. Wnioski

1. Zmodernizowany układ przygotowania masy azbestowo-cementowej zapewnia lepsze rozwłóknienie azbestów niż układ przed modernizacją. Umożliwia to zmniejszenie zużycia azbestów do wytwarzania płyt azbestowo-cementowych. Badania eksploatacyjne zmodernizowanego układu przygotowania masy potwierdziły w pełni możliwość obniżenia wartości wskaźnika zużycia azbestu do $1,07 \text{ kg/m}^2$, którą to wartość przyjęto jako docelową w umowie wdrożeniowej. Uzyskane w ten sposób oszczędności w zużyciu azbestów zapewniają jak wynika z obliczeń przeprowadzonych w "Izopolu" w Trzemesznie zmniejszenie kosztów wytwarzania płyt azbestowo-cementowych o 16 milionów złotych rocznie.
2. Zastosowanie zmodernizowanego układu umożliwia również dzięki skróceniu czasu przygotowania masy zwiększenie wydajności układu.
3. Nowa metoda rozwłókniania azbestów wdrożona w zmodernizowanym układzie zapewnia zmniejszenie zużycia energii do rozwłókniania o 11 %.
4. Wyeliminowanie z obróbki w gniotowniku metodą suchą azbestów łatwo rozwłókniających się ogranicza ilość powstających w tej maszynie pyłów szkodliwych dla ludzkiego zdrowia i zwiększających skażenie środowiska.
5. Ograniczenie łamania włókien azbestów w zmodernizowanym układzie umożliwia zastosowanie do wytwarzania płyt, bez obniżenia ich własności wytrzymałościowych, gorszych gatunków azbestów o krótszych włóknach niż dotąd używane. Tą drogą można uzyskać dalsze dodatkowe oszczędności nakładów na wytwarzanie płyt.

Literatura

- [1] Szymański M., Łukasiewicz J.: Badania nad wdrożeniem metody rozwłókniania azbestów generowanymi mechanicznie szybkozmiennymi pulsacjami ciśnienia. ATR, Bydgoszcz 1979, praca niepublikowana

A MODERNIZATION OF THE DEPARTMENT FOR PREPARING MIX FOR ASBESTOS-CEMENT SHEETS PRODUCTION

Summary

A decisive effect on the course of forming processes of asbestos-cement sheets, their practical and strength properties has a way of asbestos defibering and preparation of asbestos-cement suspended matter. In order to limit negative results of shortening and cutting asbestos fibres caused by mechanical activity of machines operating elements, there has been worked out a new method of machining depending on subjecting flowing asbestos suspended matter to speedy pulsations of pressure in the working chamber of the generator.

For limiting the phenomenon of fibre destruction during mixing asbestos water slurry with cement there has been designed a mixer with a worm-shaped arm.

The investigation results have been implemented in industry which has brought a considerable economical profit.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕХА ПОДГОТОВКИ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ

Резюме

Решающее влияние на протекание процесса формирования асбестоцементных плит, на эксплуатационные свойства и прочность производит способ распушивания асбеста и подготовка асбестоцементной взвеси. Чтобы уменьшить отрицательное влияние укорачивания и резки волокон асбеста в результате механического влияния рабочих элементов машин, разработан новый метод обработки заключающийся в обработке протекающей взвеси асбестов быстро изменяемыми пульсациями давления в рабочей камере генератора. Для уменьшения явления разрушения волокон в моменте смешивания водной взвеси асбеста с цементом запроектирован смеситель с мешалкой в виде ленточного червяка.

Результаты исследований внедрены в промышленности, что принесло значительный экономический эффект.

Andrzej Topoliński

NUMERYCZNE ROZWIĄZANIE PRZEPŁYWU W ZAKRZYWIONYM
KANALE ZASILANYM POPRZECZNYM STRUMIENIEM

Ustalone, dwuwymiarowe równania Naviera-Stokesa przedstawione dla funkcji prądu, wirowości i równanie dla temperatury są numerycznie rozwiązane dla przepływu w zakrzywionym kanale zasilanym strumieniem poprzecznym. Obliczeń dokonano z użyciem ruchomej siatki różnicowej przy zastosowaniu metody orientowania z prądem dla konwekcyjnych członów równań.

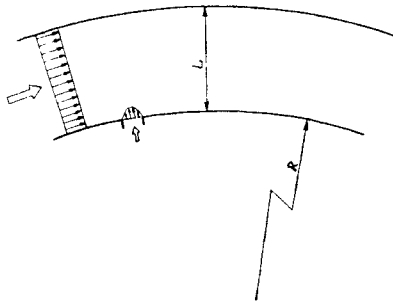
Niektóre rezultaty obliczeń wykonanych dla liczb Reynoldsa $Re = 100 + 1400$ przedstawiono w postaci wykresów stałych linii prądu, linii stałej wirowości i temperatury.

1. Wstęp

Zagadnienia przepływów z zasilaniem poprzecznym są istotne w zastosowaniach praktycznych. Spotykane są w elementach strumieniowych automatyki [3, 6], przepływach rzek [7], zasilanych łożyskach hydraulicznych [4] i innych [5].

Teoretyczne rozwiązania takich problemów wymagają rozwiązania równań Naviera-Stokesa w co najmniej dwuwymiarowej przestrzeni. Zakłócenia strumienia głównego spowodowane wpływem do niego strumienia poprzecznego o znacznym niekiedy wydatku, a także stosunkowo wysokie liczby Reynoldsa przepływu wymagają technik numerycznych o wysokiej stabilności.

Niniejsza praca przedstawia niektóre wyniki teoretycznego rozwiązania laminarnego ustalonego przepływu w zakrzywionym kanale płaskim zasilanym strumieniem poprzecznym /rys.1/. Zilustrowano szczególnie rozkłady temperatur w kanale dla dwóch rodzajów warunków brzegowych na ściankach dla temperatury. Przyjęto dla uproszczenia, że przepływająca ciecz jest nieściśliwa, charak-

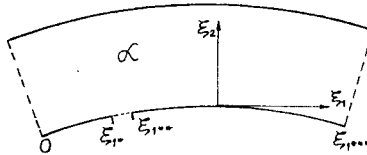


Rys.1. Przepływ w kanale zakrzywionym

ryzuje ją stała lepkość i stała przewodność cieplna.

2. Równania podstawowe. Warunki graniczne

Rozważany obszar obliczeń \mathcal{A} przedstawia rys.2.



Rys.2. Obszar obliczeń

Z dolną ścianką kanału związany jest krzywoliniowy, ortogonalny układ współrzędnych ξ_1 , ξ_2 . Zakrzywienie kanału określa promień krzywizny R (ξ_1), a jego szerokość jest stała i wynosi L .

Równaniami opisującymi przepływ cieczy są znane równania różniczkowe dla funkcji prądu (ψ), wirowości (ω) i temperatury (T) [1, 2], otrzymane na drodze prostych przekształceń z równań: ciągłości, pędu i energii w przyjętym układzie współrzędnych.

Wspomniany wyżej układ równań sprowadzono do bezwymiarowej postaci z wykorzystaniem następujących związków:

$$\bar{\xi}_1 = \frac{\xi_1}{L}, \quad \bar{\xi}_2 = \frac{\xi_2}{L}, \quad \bar{\psi} = \frac{\psi}{UL},$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega L}{U}, \quad \bar{T} = \frac{T}{T_w}, \quad \bar{R} = \frac{R}{L},$$

oraz liczb podobieństw:

$$\text{Reynoldsa} - \text{Re} = \frac{UL}{\nu},$$

$$\text{Prandtla} - \text{Pr} = \frac{\mu c_p}{\lambda}.$$

W powyższym U jest prędkością strumienia na wlocie do kanału ($\xi_1 = 0$), T_w - temperaturą cieczy na wlocie, ν - współczynnikiem lepkości kinematycznej płynu, λ - współczynnikiem przewodności cieplnej.

Warunki brzegowe dopełniające układ równań opisujących ruch cieczy są następujące /rys.2/:

a. Na "wlocie" do kanału ($\xi_1 = 0$):

$$\psi = \xi_2, \quad \omega = 0, \quad T = 1 \quad (2.1)$$

b. Na ścianie dolnej kanału ($\xi_2 = 0$) [8]:

- dla $0 < \xi_1 < \xi_{1K}$:

$$\psi = 0, \quad \omega = -\frac{3\psi_1}{\Delta\xi_2} - \frac{\omega_1}{2}, \quad (2.2)$$

$T = T_{JK} = \text{const}$ /warunek I rodzaju/ lub

$$\frac{\partial T}{\partial \xi_2} = 0 \text{ /warunek II rodzaju - ścianki adiabatycznej/},$$

- dla $\xi_{1K} \leq \xi_1 \leq \xi_{1KK}$:

$$\begin{aligned} \psi = & \frac{6z}{(\xi_{1KK} - \xi_{1K})^3} \left[\frac{1}{3} \xi_1^3 - \frac{1}{2}(\xi_{1K} + \xi_{1KK}) \xi_1^2 + \right. \\ & \left. + \xi_{1K} \xi_{1KK} \xi_1 + \frac{1}{2} \xi_{1K}^2 \left(\frac{1}{3} \xi_{1K} - \xi_{1KK} \right) \right], \quad (2.3) \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{-6z}{(\xi_{1KK} - \xi_{1K})^3} \left[2\xi_1 - (\xi_{1K} + \xi_{1KK}) \right],$$

$T = T_{JK} = \text{const.}$,

- dla $\xi_{1KK} < \xi_1 < \xi_{1KKK}$:

$$\psi = -z,$$

$$\omega = -\frac{3(\psi_1 + z)}{\Delta\xi_2} - \frac{\omega_1}{2}, \quad (2.4)$$

$T = T_{JKK} = \text{const.}$, lub $\frac{\partial T}{\partial \xi_2} = 0$

c. Na ścianie górnej kanału ($\xi_2 = 1$):

$$\psi = 1,$$

$$\omega = \frac{-3(\psi_1 - 1)}{\Delta\xi_2} - \frac{\omega_1}{2}, \quad (2.5)$$

$$T = T_{\text{skok}} = \text{const.}, \quad \text{lub} \quad \frac{\partial T}{\partial \xi_2} = 0$$

d. Na "wylocie" kanału ($\xi_1 = \xi_{1 \text{ skok}}$) zakłada się spełnienie warunku:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \xi_1^2} = 0 \quad (2.6)$$

gdzie f jest każdą z funkcji przepływu (ψ, ω, T).

Użyte w (2.2), (2.4) i (2.5) w wyrażeniach na wirowość indeksy "1" przy ψ i ω oznaczają wartości tych funkcji w bliskiej odległości $\Delta \xi_2$ od ścianki, położone z wyznaczonym ω na wspólnej normalnej od ścianki. Występujące w warunkach brzegowych "z" jest ilorazem wydatku strumienia poprzecznego do wydatku strumienia głównego kanału.

Dla wygody całkowania numerycznego obszar \mathcal{Q} drogą przekształcenia:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \eta_1(\xi_1) \\ \eta_2 &= \eta_2(\xi_2) \end{aligned} \quad (2.7)$$

transformuje się w kwadrat $\beta \{0 \leq \eta_1 \leq 1, 0 \leq \eta_2 \leq 1\}$, a równania opisujące przepływ cieczy w nowych zmiennych będą:

$$\begin{aligned} & a_\psi \left[A \frac{\partial}{\partial \eta_1} \left(\psi^D \frac{\partial \psi_1}{\partial \eta_2} \right) - D \frac{\partial}{\partial \eta_2} \left(\psi^A \frac{\partial \psi_1}{\partial \eta_1} \right) \right] + \\ & - b_\psi \left[A \frac{\partial}{\partial \eta_1} \left(\frac{A}{H_1} \frac{\partial \psi}{\partial \eta_1} \right) + D \frac{\partial}{\partial \eta_2} \left(H_1 A \frac{\partial \psi}{\partial \eta_2} \right) \right] + H_1 d_\psi = 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

gdzie:

$$A = \frac{\partial \eta_1}{\partial \xi_1}, \quad D = \frac{\partial \eta_2}{\partial \xi_2}, \quad H_1 = 1 + \frac{\xi_2}{R(\xi_1)} \quad (2.9)$$

Pozostałe oznaczenia użyte w 2.8 przedstawia poniższe zestawienie:

φ	a_φ	b_φ	d_φ
ω	1	$\frac{1}{\text{Re}}$	0
ψ_1	0	1	$-\omega$
T	1	$\frac{1}{\text{Re Pr}}$	0

Przeniesienie warunków brzegowych (2.1 + 2.6) z obszaru \mathcal{O} do β przy użyciu przekształcenia (2.7) jest czysto formalne.

3. Realizacja numeryczna postawionego zadania

Do całkowania układu równań (2.8) zastosowany został schemat różnicowy orientowania z prądem [1]. Użycie tego schematu wymagało dyskretyzacji przebiegu funkcji w obszarze obliczeń przez określenie ich wartości na węzłach wprowadzonej siatki różnicowej. Siatka ta, o regularnych prostokątnych "oczkach" w obszarze β , jest nieregularna w obszarze \mathcal{O} zgodnie z przekształceniem (2.7).

Przekształcenie (2.7) oraz przekształcenie odwrotne nie jest określone, a wyznaczane dynamicznie w trakcie procesu iteracyjnego równocześnie z całkowaniem układu (2.8). Po każdym cyklu iteracyjnym dla funkcji obszaru β zachodzi iteracja siatki, której celem jest znalezienie $\xi_1 = \xi_1(\eta_1)$ i $\xi_2 = \xi_2(\eta_2)$ spełniających warunki proporcjonalności wymiarów, "oczek" siatki różnicowej w \mathcal{O} do gradientu funkcji w tym obszarze [9]. Rzecz jasna, każdy nowy krok iteracyjny dla funkcji przepływu wymaga wyznaczenia nowych wartości A, D i H_1 (2.9).

Założonym warunkiem zbieżności procesu iteracyjnego było spełnienie nierówności:

$$\left| \frac{\omega_{i,j}^n - \omega_{i,j}^{n+1}}{\omega_{i,j}^{n+1}} \right| \ll 0,005$$

Powyżej, dolne indeksy określają położenie węzła siatki różnicowej, górne - numer kroku iteracyjnego.

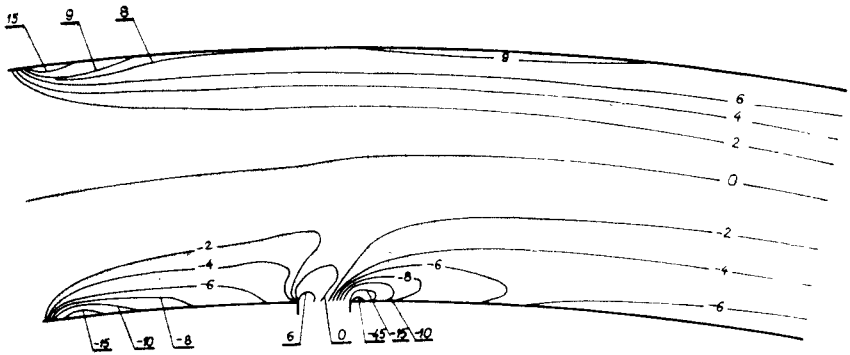
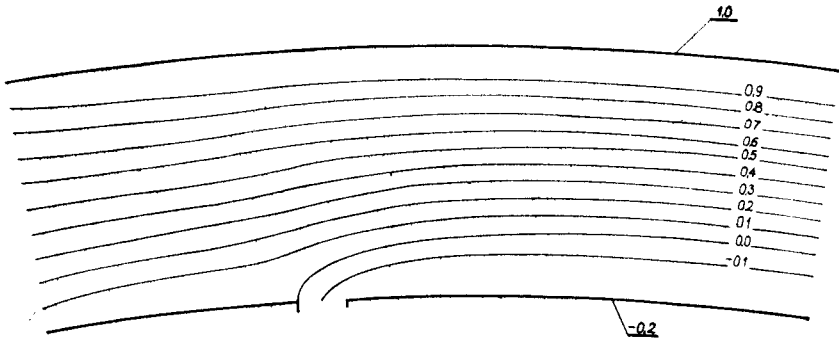
4. Wyniki obliczeń i wnioski

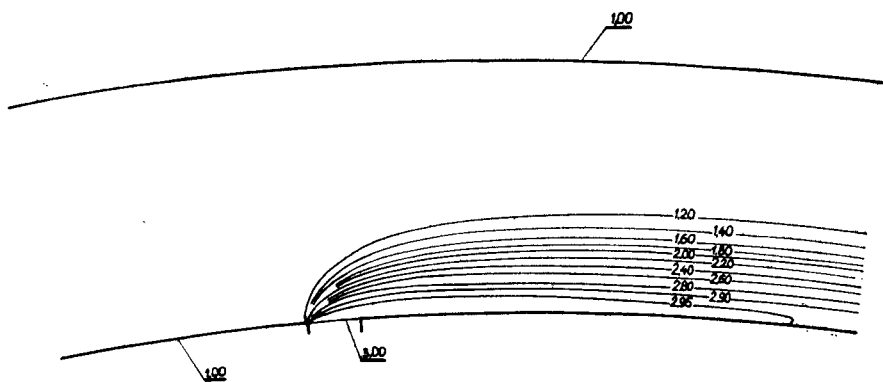
Obliczenia przeprowadzono dla: $Re = 100 + 1400$; $z = 0,2$; $Pr = 10$; $T_{\text{sk}} = 3$ oraz $T_{\text{sk}} = T_{\text{sksk}} = T_{\text{sksksk}} = 1$ dla ścianek o stałej, zadanej temperaturze /pierwszy rodzaj warunku brzegowego dla temperatury/.

Wymiary kanału dla wszystkich przypadków były: $\xi_{1\text{sk}} = 1$; $\xi_{1\text{sksk}} = 1,2$; $\xi_{1\text{sksksk}} = 3,8$ i $R = 10$.

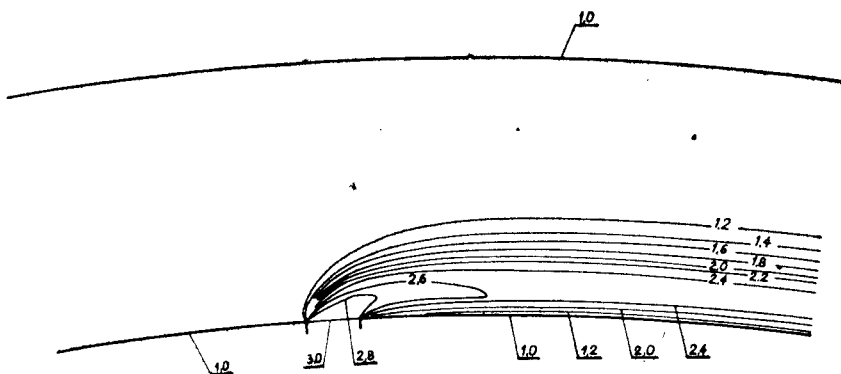
Na rys.3 - 8 przedstawiono wykresy warstwiczne funkcji prądu, wirowości i temperatury dla wybranych liczb Reynoldsa.

Rys.3 przedstawia wykres linii stałej wirowości dla $Re = 100$, a rys.4 pokazuje linie prądu dla przepływu z $Re = 500$. Rys.5-8 ilustrują rozkłady temperatur w kanale dla liczb Reynoldsa 500 i 1400 dla obu rodzajów warunków brzegowych.

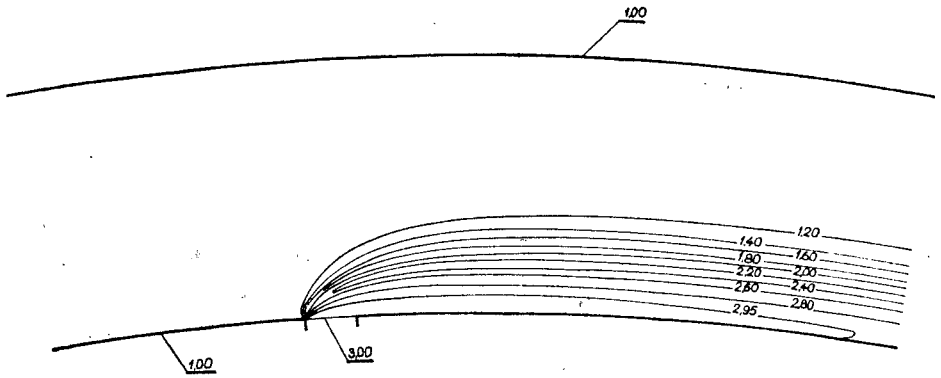
Rys.3. Linie stałej wirowości. $Re = 100$.Rys.4. Linie stałego prądu, $Re = 500$



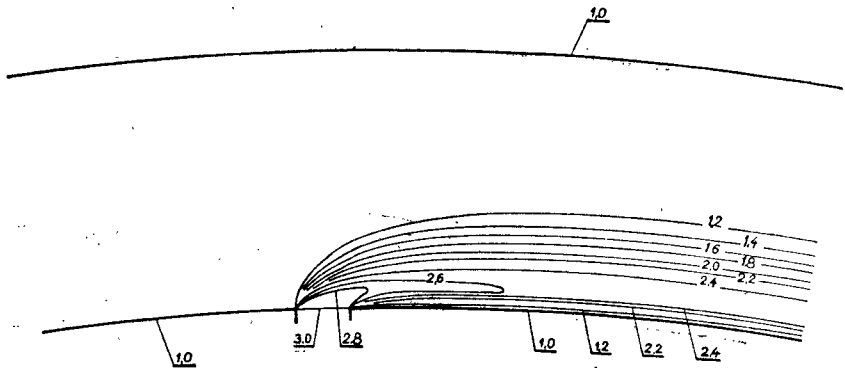
Rys.5. Linie stałej temperatury. Ścianki adiabatyczne.
 $Re = 500$



Rys.6. Linie stałej temperatury. Stała temperatura ścianek.
 $Re = 500$



Rys.7. Linie stałej temperatury. Ścianki adiabatyczne.
 $Re = 1400$



Rys.8. Linie stałej temperatury. Stała temperatura ścianek.
 $Re = 1400$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i badań otrzymanych wykresów, można sformułować następujące wnioski:

- a. Wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa zaobserwować można zwiększenie wirowości na ściankach, szczególnie tuż przy wlocie do kanału i tuż za wlotem strumienia poprzecznego.
- b. Przebiegi linii prądu wykazują brak obszarów recyrkulacyjnych w badanym zakresie Re . Wydaje się, że wystąpić one mogą wraz ze wzrostem wydatku strumienia poprzecznego [7], także dla przepływu przyjętego za laminarny.
- c. Zwracają uwagę gradienty temperatury przy ściankach kanału - szczególnie silne dla warunków brzegowych I rodzaju. Nieznaczny wzrost tych gradientów, wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa wiąże się ze "zwięzieniem" się warstwy podgrzanej cieczy.

Literatura

- [1] Gosman A.D. i inni: Heat and Mass Transfer in Recirculating Flows. Academic Press, London and New York 1969
- [2] Prosnak W.J.: Mechanika płynów. t.I, PWN, Warszawa 1970
- [3] Chavez S.P., Richards C.G.: A Numerical Study of the Coanda Effect. Fluids Quartely No 4, 1970
- [4] Walicki E.: Przepływ cieczy lepkiej w szczelinie między wirującymi powierzchniami obrotowymi. Mech. Teor. i Stos., Nr 1, 1974
- [5] Chien J.C., Schetz J.A.: Numerical Solution of the Three-Dimensional Navier-Stokes Equations with Applications to Channel Flows and a Buoyant Jet in a Cross Flow. J. Appl. Mechanics, Sept. 1975
- [6] Nakayama Y. i inni: A Numerical Study on the Flow Field in a Wall Attachment Amplifier. Bull. ISME, Nr 158, 1978
- [7] Mc Guirk J.J., Rodi W.: A Depth-Averaged Mathematical Model for the Near Field of Side Discharges into Open-Channel Flow. J. Fluid Mech. Nr 4, 1978
- [8] Gupta M.M., Manohar R.P.: Boundary Approximations and Accuracy in Viscous Flow Computations. J. Comp. Physics, 31, 1978
- [9] Kovenya V.M., Yanenko N.N.: Numerical Method for Solving the Viscous Gas Equations on Moving Grids. Comp. Fluids, Nr 1, 1980

NUMERICAL SOLUTION OF FLOW IN CURVED CANAL WITH TRANSVERSE FLUX FEEDING

Summary

There has been ascertained that the Navier-Stokes two-dimensional equations presented for the functions of current, rotation and temperature are solved numerically for the flow in a curved canal with a transverse flux feeding. The calculations were made with the use of the mobile differential net when applying the method of vectoring with current for convection terms of the equation.

Some results of the calculations made for Reynolds numbers $Re=100-1400$ were presented in the form of diagrams of constant current lines, rotation and temperature constant lines.

ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ИСКРИВЛЕННОМ КАНАЛЕ ПИТАЕМОМ ПОПЕРЕЧНОЙ СТРУЕЙ

Резюме

Установлено двухкамерное уравнение Навьера - Стокса представленное для функции тока, завихренности и температуры численно решены для течения в искривленном канале питаемом поперечной струей. Расчеты произведены с использованием подвижной дифференциальной сетки методом ориентования с током для блоков конвекционных уравнений.

Некоторые результаты расчетов произведенных для чисел Рейнольдса $Re = 100 - 1400$ представлены в виде диаграмм постоянных линий тока, постоянной линии завихренности и температуры.

Janusz Wełnowski

TENSOMETRYCZNY PRZETWORNIK DO POMIARU
PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU POWIETRZA

W referacie przedstawiono koncepcję nowego przyrządu do pomiaru prędkości przepływu powietrza i innych gazów. Działa on na zasadzie tensometrycznego pomiaru siły oporu profilu umieszczonego w przepływie.

Przyrząd ten w porównaniu z innymi tego typu urządzeniami jest odporny na zapylenie przepływającego medium.

Specyfika badań przemysłowych, charakteryzująca się trudnymi warunkami pomiarów powodowanymi hałasem, zapyleniem i zanieczyszczeniem powietrza, wahaniami temperatury czy koniecznością podporządkowania się ustalonymu rytmowi produkcji sprawia, że wiele metod pomiarowych zdających znakomicie egzamin w laboratorium jest całkowicie nieprzydatnych w warunkach przemysłowych.

Artykuł ten jest próbą zastanowienia się nad problemem pomiaru prędkości przepływu powietrza w instalacjach przemysłowych transportu pneumatycznego, wentylacji, suszarniczych i innych, w których przepływające powietrze może z sobą nieść znaczne ilości pyłów i drobnych zanieczyszczeń.

Stosowane metody pomiaru prędkości przepływu powietrza w rurociągu, wykorzystujące takie przyrządy, jak rurki spiętrzające i termoanemometry wymagają czystego powietrza. W przeciwnym razie w rurkach spiętrzających zapychają się kanały impulsowe a w termoanemometrach ulegają zniszczeniu czujniki pomiarowe wykonane z drutu wolframowego o średnicy rzędu kilku μm . Prędkość określić można również poprzez pomiar natężenia przepływu jedną z wielu znanych metod jak np: za pomocą kryz, dysz, turbin pomiarowych itp. Metody te wymagają jednak skomplikowanych zabiegów montażowych i dają w efekcie pomiar w jednym punkcie rurociągu, jednocześnie poważnie dławiąc i zakłócając przepływ.

Proponowana metoda polega na tensometrycznym pomiarze siły reakcji P płaskiej płytki umieszczonej w przepływającym powietrzu. Siła ta jest funkcją gęstości powietrza ρ , jego prędkości V , pola powierzchni płytki S , a także liczby Reynoldsa oraz Macha [1].

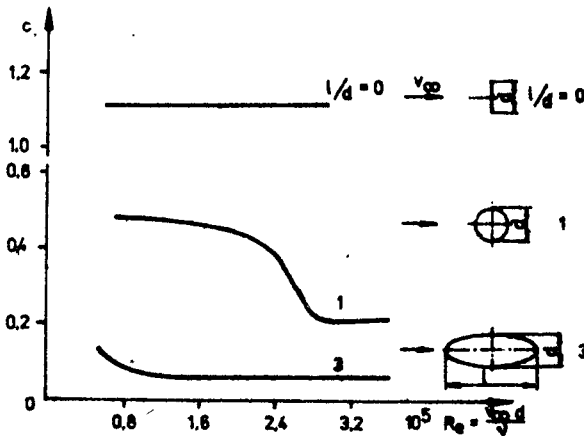
Zatem

$$P = c \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$$

gdzie:

$c = f(Re, M)$ - współczynnik oporu

Jeżeli za maksymalną mierzoną prędkość przyjmiemy ok. 100 m/s, to możemy nie uwzględniać ściśliwości, a tym samym zaniedbać zależność współczynnika oporu od liczby Macha. Natomiast zależność $c = f(Re)$ ilustruje rys.1 [1].



Rys.1. Współczynniki oporu krążka, kuli i elipsoidów w funkcji liczby Reynoldsa

Jak wynika z przedstawionych na rysunku zależności współczynnik oporu dla płaskiej płytki jest praktycznie stały, niezależny od liczby Reynoldsa. Przyjmując gęstość powietrza ρ oraz powierzchnię płytki S za stałe, widzimy, że siła reakcji jest proporcjonalna do kwadratu prędkości powietrza. Mierzac zatem siłę reakcji płytki możemy wyznaczyć prędkość przepływu powietrza.

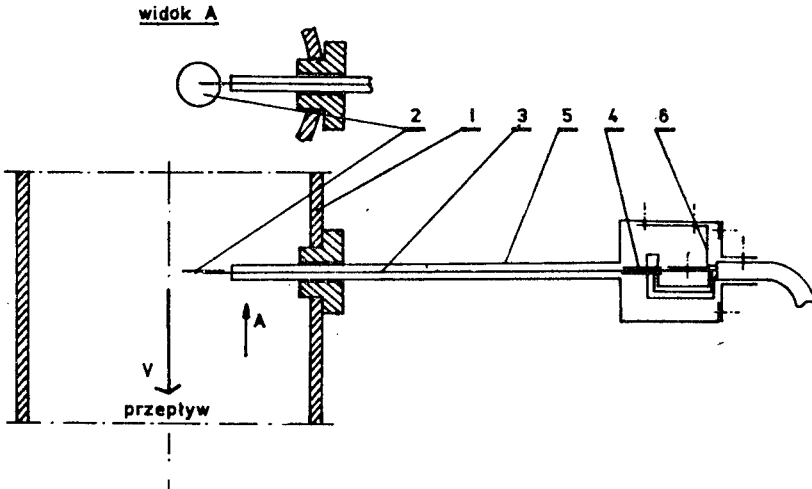
Tak więc

$$v = \sqrt{\frac{1}{c \cdot \rho \cdot S} \cdot P} = \text{const} \cdot \sqrt{P}$$

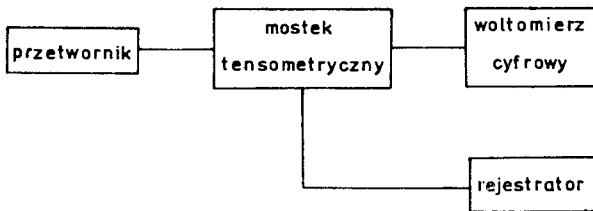
Schemat przetwornika pomiarowego pracującego na tej zasadzie został przedstawiony na rys.2.

Tarczka pomiarowa 2 umieszczona jest w przepływie, którego prędkość mierzymy i umocowana jest do belki 3 z naklejonymi na jej końcu tensometrami 4. Opór stawiany przez tarczkę pomiarową powoduje odkształcanie się belki utwierdzonej w podporze 6, a tym samym odkształcanie się tensometrów oporowych. Pomiar odbywa się w układzie połowy mostka z wykorzystaniem aparatury tensometrycznej, do wyjścia której możemy podłączyć woltomierz

owy, rejestrator lub inne urządzenia analizująco-liczące. Schemat blokowy toru pomiarowego został przedstawiony na rys.3.



Rys.2. Schemat tensometrycznego przetwornika prędkości przepływu powietrza



Rys.3. Schemat toru pomiarowego prędkości przepływu powietrza

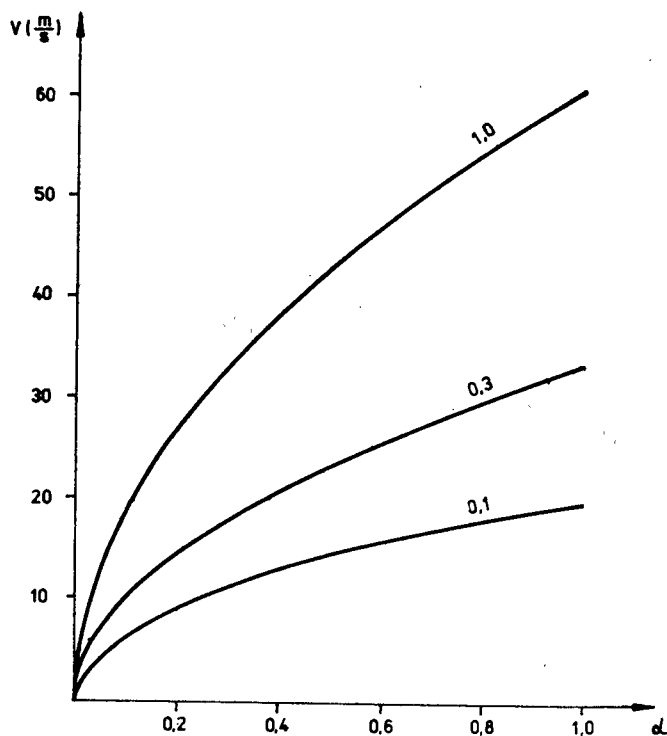
W pomiarach przemysłowych można używać prostego zestawu złożonego z przetwornika oraz jednokanałowego mostka tensometrycznego z wbudowanym miernikiem wychyłowym.

Ze względu na trudną do teoretycznego określenia wartość współczynnika oporu c tarczki pomiarowej, przetwornik musi być przed podjęciem pomiarów wywzorcowany celem określenia zależności funkcyjnej $V = f(P)$. Zależność ta dla wykonanego prototypu przetwornika ma przebieg przedstawiony na rys.4.

Po odpowiednim zaprogramowaniu toru pomiarowego można uzyskać bezpośredni odczyt cyfrowy prędkości przepływu w m/s.

W Zakładzie Eksploatacji Maszyn wykonano egzemplarz prototypowy tensometrycznego przetwornika prędkości i wykorzystano go w pomiarach przemysłowych. Pomiaru prowadzono w zakresie szybkości 3-60 m/s i stwierdzono

pełną przydatność przetwornika.



Rys.4. Krzywa wzorcowa dla tensometrycznego przetwornika prędkości przepływu powietrza
 V - prędkość przepływu powietrza
 L - wskazanie miernika mostka tensometrycznego
 0,1; 0,2; 0,3 - zakresy pomiarowe mostka tensometrycznego

W celu stwierdzenia wpływu zanieczyszczenia mierzonego medium na wskazania przetwornika przeprowadzono pomiary testujące, w których do przepływającego strumienia powietrza wprowadzano mąkę, ziarno pszenicy rozdrobnione o wielkości cząstek 0,7 - 1 mm oraz całe ziarna. Uzyskane stężenia zanieczyszczeń wynosiły 50 - 300 g/m³. W wyniku pomiarów stwierdzono, że zanieczyszczenia o takim charakterze i stężeniu nie mają zauważalnego wpływu na wskazania miernika.

Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań w celu określenia zachowania się przetwornika przy większych koncentracjach cząstek stałych, np: w procesach transportu pneumatycznego.

Podczas prowadzenia pomiarów oprócz wad ujawniły się liczne zalety tego przetwornika, z których najważniejsze to:

1. Prosty pomiar umożliwiający w krótkim czasie uzyskanie profilu prędkości w badanym przekroju rurociągu.
2. Odporność przetwornika na zapylenie ośrodka mierzonego.
3. Krótki czas przygotowania zestawu do wykonywania pomiarów oraz uzyskania gotowych wyników.
4. Szeroki zakres pomiarowy wynoszący 0-100 m/s.
5. Małe zakłócanie przepływu.
6. Uzyskiwanie wyniku pomiaru w postaci analogowej.

Literatura

- [1] Bukowski J.: Mechanika płynów. PWN, Warszawa 1976
- [2] Styburski W.: Przetworniki tensometryczne. WNT, Warszawa 1971
- [3] Kremlewski P.P.: Rascet i konstruowanie raschodomierow. Masinostrojenie, Leningrad 1978

A TENSOMETRIC CONVERTER FOR FLOW VELOCITY MEASUREMENT

Summary

The paper presents an idea of a new device for flow velocity measurement of air and other gases. It operates on the basis of tensometric measurement of resistance force of a profile placed in a flow.

The device as compared with other equipment of the kind is resistant to dustiness of the flowing medium.

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТОКОПРОТЕКАНИЯ

Резюме

В докладе представлена концепция нового прибора для измерения скорости протекания воздуха и других газов. Он работает по принципу тензометрического измерения силы сопротивления профиля помещенного в протекании.

Этот прибор по сравнению с другими такого же типа устройствами пыленепроницаем для протекающих в нем рабочих тел.

Krzysztof Wermerowski
Ryszard Poznań

ZAGADNIENIA MODELOWANIA ANALOGOWEGO BELEK

Przedstawiono praktyczną metodę modelowania analogowego belek dla różnych obciążeń. Określono modelowanie sił skupionych, obciążenia ciągłego, momentów gnących, reakcji podpór i momentów utwierdzenia. Zastosowanie modelowania analogowego powiększa efektywność obliczeń.

1. Podstawy elektrycznego modelowania pręta prostego

Rozwiązywanie wielu zagadnień statyki konstrukcji belkowych bardzo prostych z punktu widzenia teorii, napotyka w praktyce znaczne trudności rachunkowe. Obliczanie belek, ram czy płyt sprowadza się najczęściej do rozwiązywania układów równań algebraicznych.

W związku z tym stosowanie elektrycznych maszyn analogowych, modelujących wprost schematy statyczne jest specjalnie korzystne, gdyż uwalnia konstruktora od konieczności układania równań. Przez pomiar odpowiednich wielkości elektrycznych - natężeń prądów czy napięć w sieci - uzyskuje się w konsekwencji wielkości mechaniczne, np. siły lub odkształcenia. Dlatego zastosowania metod elektrycznej analogii wykorzystuje się z powodzeniem do rozwiązywania różnych problemów wytrzymałościowych, zwłaszcza w tych przypadkach, w których badania teoretyczne i eksperymentalne są szczególnie trudne. Prace w zakresie badań wytrzymałościowych dotyczą modelowania stanów odkształceń i naprężeń w konstrukcjach belkowych określających reakcje i odkształcenia w zginanych belkach, w ustrojach ramowych czy też w płytach.

W technice analogii elektrycznych w odróżnieniu od matematycznych maszyn cyfrowych, operacje matematyczne podporządkowane są odpowiednim wielkościom fizycznym, nie operuje się zatem cyframi, lecz buduje fizyczny model danego układu prętowego, w którym mają znaczenie te same prawa, jakie przypisywane są rozwiązywanemu problemowi.

Równanie ruchu drgań swobodnych tłumionych

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\zeta \frac{dx}{dt} + \omega^2 x = 0 \quad (1.1)$$

oraz równanie opisujące wyładowanie kondensatora w układzie RLC

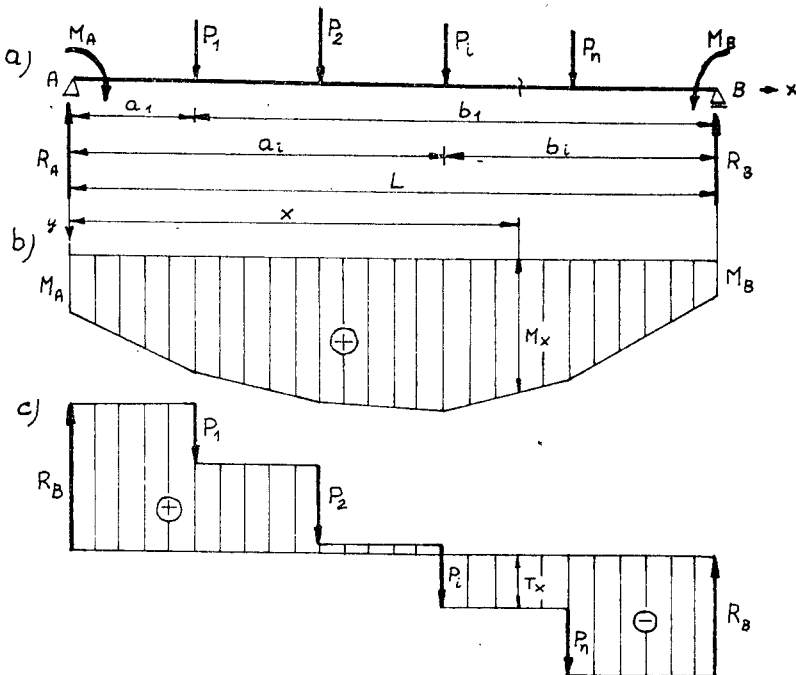
$$\frac{d^2 U_{ct}}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dU_{ct}}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} U_{ct} = 0 \quad (1.2)$$

uzasadniają odpowiedniość wielkości mechanicznych i elektrycznych. Rozpatrując model mechaniczny belki prostej obciążonej siłami skupionymi oraz momentami na podporach - zakładając, że dodatnie obciążenie posiada zwrot w kierunku osi "y" oraz dodatni moment /taki, który powoduje ugięcie w kierunku osi "y"/ - otrzymamy typowe wielkości mechaniczne /rys.1.1/:

$$R_A = \frac{\sum_1^n P_i \cdot b_i}{L} + \frac{M_B - M_A}{L} \quad (1.3)$$

$$R_B = \frac{\sum_1^n P_i \cdot a_i}{L} - \frac{M_B - M_A}{L} \quad (1.4)$$

$$T_x = R_A - \sum_{k=1}^{k=1} P_k \quad (1.5)$$

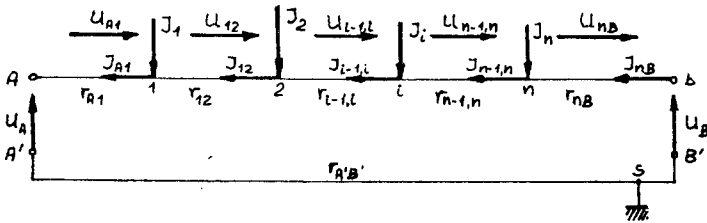


Rys.1.1. Przykład obciążenia belki

Rozpatrując z kolei sieć elektryczną /rys.1.2/, korzystając z drugiego prawa Kirchhoffa oraz z prawa Ohma otrzymamy wartości natężeń prądów w węzłach A i B [4]:

$$I_A = \frac{\sum_1^n I_i \cdot R_{iB}}{R_{AB}} + \frac{U_B - U_A}{R_{AB}} \quad (1.6 a)$$

$$I_B = \frac{\sum_1^n I_i \cdot R_{iA}}{R_{AB}} - \frac{U_B - U_A}{R_{AB}} \quad (1.6 b)$$



Rys.1.2. Sieć elektryczna modelująca obciążenie belki z powyższego przykładu

Sumę wartości oporów połączonych szeregowo można wyrazić następująco:

$$R_{AB} = r_{A1} + r_{12} + \dots + r_{i-1,i} + \dots + r_{nB}$$

$$R_{1B} = r_{12} + \dots + r_{i-1,i} + \dots + r_{nB}$$

(1.7 a, b, c, d)

$$R_{iB} = r_{i-1,i} + \dots + r_{nB}$$

$$R_{nB} = r_{nB}$$

Porównując wzory na natężenia prądów w węzłach A i B z wzorami na reakcje podpór A i B widzimy, że przedstawiony układ sieci elektrycznej może być analogiem pręta zginanego, jeżeli odpowiednie opory między węzłami będą przedstawiać kolejne odcinki belki, prądy zasilające I_i przedstawiać będą siły P_i działające na belkę, a siły elektromotoryczne U_A i U_B reprezentować będą działanie momentów podporowych M_A i M_B . Łatwo sprawdzić, że gdy węzły A - B połączymy opornikiem o długości L o stałej oporności wzdłuż jego długości, to wartość natężenia prądu w przekroju X odpowiadać będzie sile poprzecznej, a różnica potencjałów w stosunku do masy - momentowi zginającemu. W praktyce oś belki przedstawić można szeregiem równych co do wartości oporników " Δr " połączonych szeregowo lub odcinkiem papieru przewodzącego. Załóżmy, że liczba oporników " Δr " wynosi " n ". Obliczmy

wartości prądów i napięć pod wpływem wprowadzenia obciążenia wyrażonego przez I_1 .

Napięcie w punkcie "i" wyniesie

$$U_i = I_1 \cdot R_z \quad (1.8)$$

gdzie:

R_z - oporność zastępcza układu dwóch gałęzi równoległych z punktu "i" do masy.

Oznaczając oporności z punktu "i" do węzła A jako R_{iA} , a z punktu "i" do węzła B przez R_{iB} otrzymamy

$$U_i = I_1 \cdot \frac{R_{iA} \cdot R_{iB}}{R_{iA} + R_{iB}} \quad (1.9)$$

Uwzględniając, że

$$R_{iA} = \Delta r \cdot n \cdot \frac{a_i}{L} \quad (1.10 a)$$

$$R_{iB} = \Delta r \cdot n \cdot \frac{b_i}{L} \quad (1.10 b)$$

równanie 1.9 przyjmie postać

$$U_i = I_1 \cdot \frac{\Delta r \cdot n}{L} \cdot \frac{a_i \cdot b_i}{L} \quad (1.11)$$

Natężenia prądów w węzle A i B znajdziemy z warunku równowartości spadku potencjału na drodze z węzła "i" do węzła "s" na oporze R_{iA} oraz R_{iB} /prawo Ohma/, ponadto z warunku równowagi "i" /pierwsze prawo Kirchhoffa/ [4]:

$$I_A \cdot R_{iA} = I_B \cdot R_{iB} \quad (1.12 a)$$

$$I_A + I_B = I_1 \quad (1.12 b)$$

Rozwiązując ten układ równań otrzymamy

$$I_A = I_1 \cdot \frac{R_{iB}}{R_{iA} + R_{iB}} = I_1 \frac{b_i}{L} \quad (1.13 a)$$

$$I_B = I_1 \cdot \frac{R_{iA}}{R_{iA} + R_{iB}} = I_1 \frac{a_i}{L} \quad (1.13 b)$$

Obliczmy jeszcze wartość napięcia w dowolnym węźle, którego położenie

określa odległość x od węzła A.

Z rysunku widać, że

$$U_x = U_1 \frac{x}{a_1} \quad \text{dla } 0 \leq x \leq a_1 \quad (1.14 \text{ a})$$

oraz

$$U_x = U_1 \frac{L-x}{b_1} \quad \text{dla } a_1 \leq x \leq L \quad (1.14 \text{ b})$$

Porównując otrzymane wielkości (1.11), (1.13) i (1.14) ze znanymi wzorami statyki (1.3), (1.4) i (1.5) widzimy, że układ sieci elektrycznej przedstawiony na rysunku będzie analogiem belki prostej, jeżeli wartość nałożenia prądu zasilającego

$$I_1 = \frac{P_1}{k_p} \quad \text{oraz} \quad I = \frac{T}{k_p} \quad (1.15)$$

oraz

$$U_x = \frac{M_x}{k_M} \quad (1.16)$$

gdzie:

k_p - współczynnik przeniesienia sił,
 k_M - współczynnik przeniesienia momentów.

$$k_M = k_p \cdot k_L \quad (1.17)$$

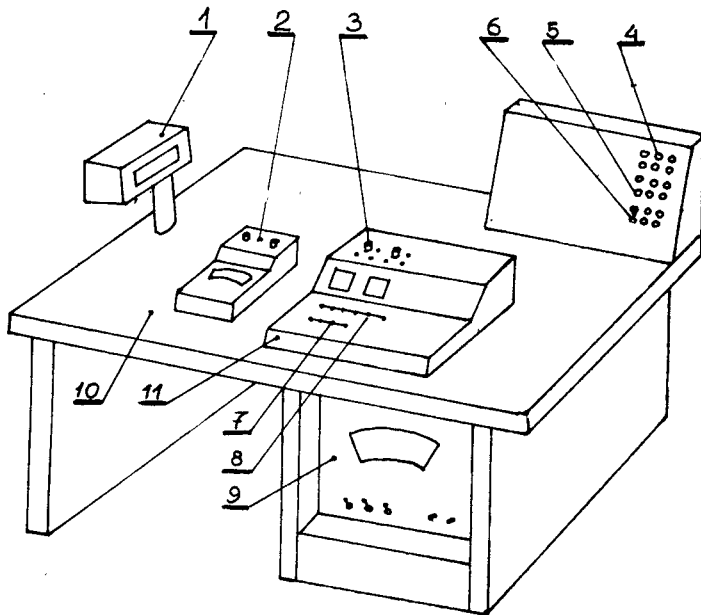
Współczynnik k_L zależy od danych konstrukcyjnych analogu i wymiarów belki

$$k_L = \frac{L}{\Delta r \cdot n} \quad \left[\frac{\text{m}}{\Omega} \right] \quad (1.18)$$

a współczynnik k_p przyjmujemy każdorazowo w zależności od możliwości zasilania, zakresów przyrządów pomiarowych i wielkości sił działających na belkę.

2. Stanowisko laboratoryjne

Modelowanie zginania konstrukcji belkowych realizuje się na urządzeniu treningowym do określania przebiegów momentów gnących z wykorzystaniem reo-elektrycznego urządzenia analogowego typu RUA-1 produkcji ASPAN w Lubawie. Rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska zapewnia właściwą dokładność oraz dużą niezawodność /rys.2.1/.



Rys.2.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego

- 1 - woltomierz cyfrowy
- 2 - miernik uniwersalny /V i A/
- 3 - zespół układów regulacji wtórnej
- 4 - oporowy dzielnik napięcia
- 5 - grupy zwartych gniazd przejściowych
- 6 - gniazda zasilające punkty obwodu płyty stołu /10/
- 7 - sieć dolna analogu
- 8 - sieć górna analogu
- 9 - zasilacz stabilizowany
- 10 - stół urządzenia analogowego RUA-1
- 11 - urządzenie analogowe do modelowania belek

Zasilacz stabilizowany 9 typu 204 umieszczony jest we wnęce pod stołem 10 i połączony torem wewnętrznym z oporowym dzielnikiem napięć 4. Reo-elektryczne urządzenie analogowe zasilane jest prądem stałym o możliwości ciągłej regulacji. Oporowy dzielnik napięcia 4 posiada 100 wartości. Gniazda podzespołu umieszczone są na tablicy. Przy pomocy torów zewnętrznych doprowadza się do gniazd zwartych 5. Analogicznie prowadzi się przewody do odpowiednich gniazd zespołu układów regulacji wtórnej 3. Następnie z gniazd pojedynczych potencjometrów układów regulacji wtórnej przewodami łączy się z odpowiednimi gniazdami miernika 2, a następnie po ustaleniu wartości wymuszeń torami zewnętrznymi doprowadza się do odpowiednich gniazd sieci górnej 8 analogu 11.

Powyższe stanowisko służy do modelowania belek zginanych pod wpływem obciążenia ciągłego, sił skupionych oraz momentów gnących. Za jego pomocą

analizować można belki o stałym i skokowo zmiennym przekroju. Generalnie, powyższe stanowisko umożliwia obliczanie belek statycznie wyznaczalnych i statycznie niewyznaczalnych.

3. Technologia stanowiska

Na podstawie danych o obiekcie należy wykonać schemat mechaniczny, który z kolei będzie stanowić podstawę do opracowania modelu analogowego. Model mechaniczny i analogowy determinują podziałki modelowe dla n - odcinkowej aproksymacji analogu.

Podziałka modelowa długości

$$k_L = \frac{\Delta L}{\Delta r} \left[\frac{m}{\Omega} \right] ; \quad \Delta L = \frac{L}{n} \quad (3.1)$$

Modelowanie sił skupionych P_i

Podziałka modelowa sił skupionych

$$k_p = \frac{P_i}{I} \left[\frac{N}{A} \right] \quad (3.2)$$

Ustalając podziałkę modelową sił k_p należy spełnić następujące warunki:

$$\sum_{i=1}^n I_i \leq 0,16 \text{ A} ; \quad I_{i_{\max}} \leq 0,02 \text{ A}$$

Korzystając z dzielnika napięć oraz z zespołu układów regulacji wtórnej należy doprowadzić prądy

$$I_i = \frac{P_i}{k_p}$$

do odpowiednich i zgodnych z modelem mechanicznym i analogowym punktów zasilania analogu.

Modelowanie obciążenia ciągłego q

Do optymalnego rozwiązania należy zaliczyć niezależne zasilanie każdego węzła sieci górnej analogu na określonej długości odpowiadającej na modelu mechanicznym odcinkowi działania obciążenia ciągłego. Przy braku tej możliwości aproksymujemy "x" razy, gdzie liczba "x" odpowiada ilości układów zasilania dysponowanych w zespole układów regulacji wtórnej urządzenia analogowego, a liczba węzłów sieci górnej analogu na danej długości jest wielokrotnością liczb "x".

Podziałka modelowa obciążenia ciągłego

$$k_q = \frac{b \cdot q}{I_q \cdot x} \left[\frac{N}{A} \right] \quad (3.3)$$

gdzie wielkość b oznacza długość odcinka działania obciążenia ciągłego.

Modelowanie momentów gnących

Momenty gnące modelujemy jako różnicę potencjałów

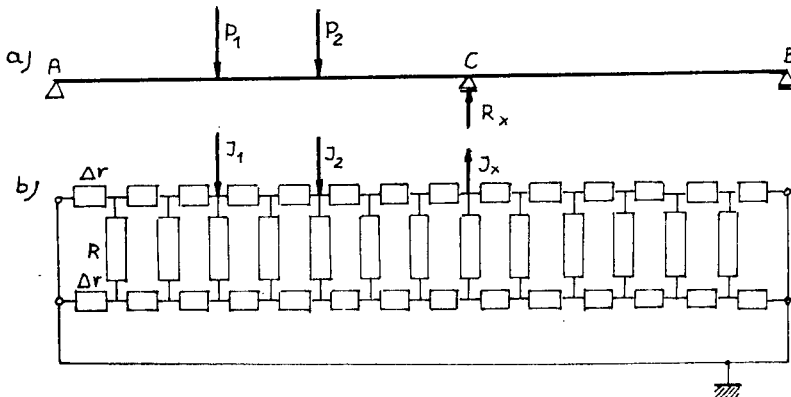
$$U_M = I_M \cdot \Delta r \quad [U]$$

Podziałkę modelową momentów gnących określają zależności

$$k_M = \frac{M}{U_M} \left[\frac{Nm}{V} \right] \quad \text{oraz} \quad k_M = k_p \cdot k_L \quad (3.4)$$

Modelowanie reakcji podpór

Do obliczenia nadliczbowej reakcji R_x wystarczy zaczepić w odpowiednim punkcie takie źródło prądu, aby w tym punkcie siatki dolnej otrzymać napięcie równe zero, co oznacza, że ugięcie w tym punkcie jest równe zero /rys.3.1/.



Rys.3.1. Schemat mechaniczny oraz elektryczny układ sieci dla belki dwuprzęsłowej

Nieznane natężenie prądu I_x modelującego poszukiwaną reakcję nadliczbową pobieramy z dzielnika napięcia regulując jego wartość za pomocą potencjometru zespołu układów regulacji wtórnej oraz ewentualnie zmieniając

znak. Regulację kończymy, gdy odczyt napięcia U_x na woltomierzu wskaże wartość zerową. Mierzac natężenie prądu I_x w momencie zrównoważenia układu $U_x = 0$ obliczymy wielkość reakcji nadliczbowej /z uwzględnieniem podziałości modelowej sił k_p /.

Wielkość reakcji nadliczbowej w podporze C wyznaczamy z zależności

$$R_x = k_p \cdot I_x \quad [N] \quad (3.5)$$

M o d e l o w a n i e m o m e n t u u t w i e r d z e n i a

Nieznaną wartość momentu utwierdzenia znajdujemy z warunku, że kąt obrotu osi na danym końcu belki powinien być równy zeru.

Do sieci analogu włączamy siłę elektromotoryczną modelującą moment utwierdzenia tak, aby potencjały w danym węźle oraz w sąsiednim miały tę samą wartość. Wielkość tej siły określamy z równania

$$M_u = U_u \cdot k_M \quad [Nm] \quad (3.6)$$

4. Zastosowanie modelowania analogowego w przemyśle

Bardzo czasochłonne są w praktyce obliczenia wytrzymałościowe wałów, osi lub właściwych belek w konstrukcjach stalowych oraz innych rodzajach konstrukcji. Wały i osie maszynowe oraz ustroje im podobne obliczane są jak belki.

Zastosowanie modelowania analogowego umożliwia zwiększenie efektywności obliczeń i ułatwia projektowanie dowolnych układów belkowych. Istnieje również możliwość współpracy z maszyną cyfrową przez wyposażenie urządzenia analogowego w zespół pośredniczący z wyjściem cyfrowym.

Zaletą modelowania analogowego jest ograniczenie pomyłek, a także łatwość sprawdzenia wyników. Dziś nie można wyobrazić sobie postępu technicznego bez prac laboratoryjnych wykonywanych zwykle na modelach. Teoria podobieństwa znajduje ostatnio szerokie zastosowanie i powinna być znana nie tylko pracownikom naukowym wyższych uczelni i instytutów, ale także inżynierom zatrudnionym w przemyśle, którzy wysuwać będą żądania postępu technicznego i stawiać zadania dla nauki i instytutów badawczych.

Literatura

- [1] Brzoska Z.: Wytrzymałość materiałów. PWN, Warszawa 1972
- [2] Lisowski A.: Technika analogii elektrycznych w budownictwie. Arkady, Warszawa 1969
- [3] Müller L.: Teoria podobieństwa mechanicznego. PWN, Warszawa 1961

- [4] Masewicz T., Paul S.: Podstawy elektrotechniki. Część I. PWSZ, Warszawa 1968
- [5] Siołkowski B., Wernerowski K.: Laboratorium mechaniki technicznej. Część II. Skrypt. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 1980

SOME PROBLEMS OF ANALOGUE SIMULATION OF BEAMS

Summary

There is presented a practical method of analogue simulation of beams for various loads. Simulation of concentrated forces, continuous load, bending moment, reaction of bearings and fixing moments has been determined. The application of analogue simulation enlarges calculations efficiency.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛОГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БАЛКИ

Резюме

Представлен практический метод аналогового моделирования балок для разных нагрузок. Определено моделирование сосредоточенных сил, сплошной нагрузки, изгибающих моментов, реакции опор и моментов упрочнения. Применение аналогового моделирования увеличивает эффективность расчетов.

Krzysztof Wernerowski
Edmund Chabowski

BADANIA ELASTOOPTYCZNE
TRÓJKĄTNEJ PROWADNICY NIESYMETRYCZNEJ
PODDANEJ OBCIĄŻENIOM SKUPIONYM

Korzystając z elastoptycznej metody badawczej przeprowadzono badania trójkątnej prowadnicy niesymetrycznej. Wykazano na przykładzie przyzmy możliwość całkowitego określenia pola naprężeń w najbardziej obciążonych punktach części, szczególnie istotnych z punktu widzenia wytrzymałości i niezawodności.

W artykule opisano ponadto zastosowane przyrządy i sposób badania.

1. Wstęp

Metoda elastoptyczna należy do grupy metod doświadczalnych służących poznaniu rzeczywistych zjawisk zachodzących w obciążonych i odkształconych ciałach. Badania przeprowadza się na modelach sporządzonych z optycznie czynnych przezroczystych materiałów. Stosowane przyrządy to polaryskopy elastoptyczne. Obserwowany efekt elastoptyczny to izochromy i izokliny.

Izochroma jest krzywą składającą się z punktów, w których różnica $\sigma_1 - \sigma_2$ jest wartością stałą.

Izokliny to linie utworzone przez punkty, dla których kąt między kierunkiem naprężeń głównych a osiami polaryzatora i analizatora jest wielkością stałą - parametrem danej izokliny.

Układ izochrom o równaniu

$$\sigma_1 - \sigma_2 = K \cdot m \quad (1.1)$$

umożliwia wyznaczenie wartości $\sigma_1 - \sigma_2$. Stałą modelową K wyznaczono doświadczalnie. Zastosowano obciążenie, dla którego σ_1 było znane i $\sigma_2 = 0$. Następnie wyznaczono rząd izochromy m /ilość krzywych na ekranie od krawędzi/. Na podstawie uzyskanych wielkości empirycznych obliczono stałą modelową

$$K = \frac{\sigma_1}{m} \quad (1.2)$$

Suma naprężeń wynika z pomiaru zmian grubości modelu, czyli

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta \delta}{\delta} = -\frac{\nu}{E} / \sigma_1 + \sigma_2 / \quad (1.3)$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = -\frac{E}{\nu} \frac{\Delta \delta}{\delta} \quad (1.4)$$

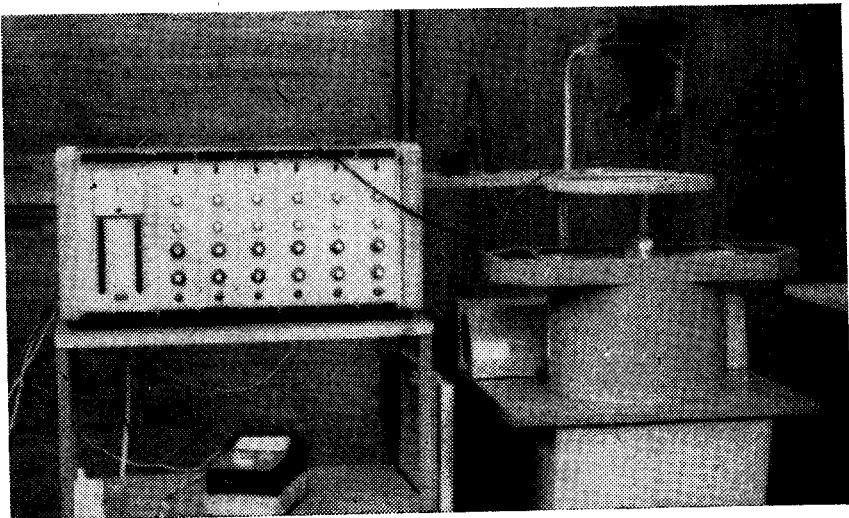
Na podstawie wyników prac laboratoryjnych określających różnicę i sumę analizowanych wielkości wyznacza się naprężenia główne

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} / K \cdot m - \frac{E}{\nu} \frac{\Delta \delta}{\delta} / \quad (1.5)$$

$$\sigma_2 = -\frac{1}{2} / K \cdot m + \frac{E}{\nu} \frac{\Delta \delta}{\delta} /$$

2. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na stanowisku /rys.1/, którego zasadniczą częścią był polaryskop $\tilde{\pi}$ KC 250.

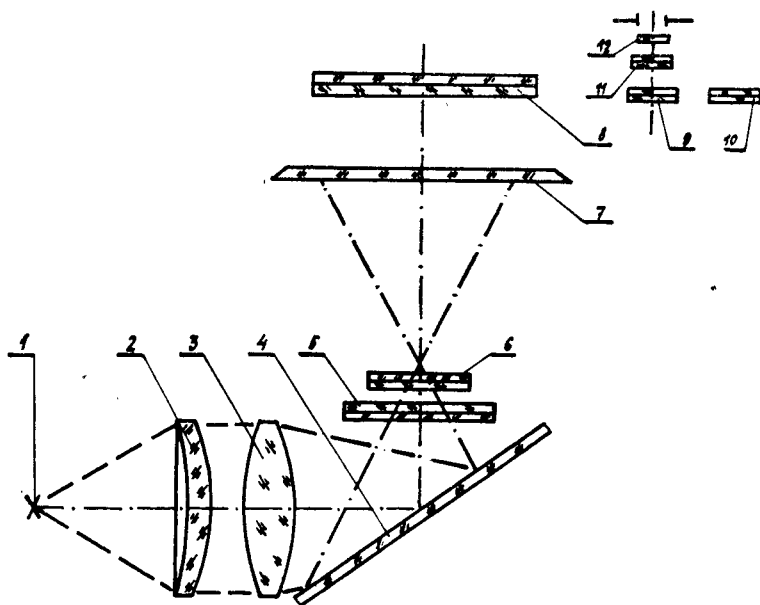


Rys.1. Stanowisko badawcze

Budowa polaryskopu dostosowana jest do przemysłowej kontroli wyrobów z przezroczystych materiałów. Ocenę przeprowadza się dwoma sposobami:

1. Ocena przybliżona na podstawie barw interferencyjnych.
2. Dokładny pomiar opóźnień względnych kompensatorem.

Zasada działania polaryskopu $\tilde{\pi}$ KC 250 przedstawia się następująco /rys.2/:

Rys.2. Schemat optyczny polaryskopu π KC 250

Światło ze źródła 1 przechodzi przez kondensator 2, 3, odbija się od zwierciadła 4 i pada na polaryzator 5. Tu zostaje spolaryzowane liniowo. Filtr świetlny 6 wydziela część promieniowania o długości fali około 540 [nm]. Światło to pada na szkło matowe 7, gdzie zostaje rozproszone. Po przejściu przez przestrzeń pomiarową między szkłem matowym a analizatorem, gdzie umieszcza się badany obiekt, pada na analizator 8. W badanym obiekcie światło zostaje w ogólnym przypadku spolaryzowane eliptycznie. Przez analizator widać badany obiekt pokryty prążkami izoklin i izochrom. Kompensator, w skład którego wchodzi ćwierćfalówka 9, analizator 11 i okular 12 umożliwia pomiar przesunięć względnych z dokładnością do ± 10 [nm], tj. około $\pm 0,02$ rzędu izochromy. Aby zmierzyć nieznaną rzęd izochromy, należy kompensator obracać /dla większości materiałów zgodnie z rosnącymi wartościami podziałki/ od położenia zerowego aż do maksymalnego zaciemnienia badanego punktu. 180° obrotu kompensatora odpowiada jednemu rzędowi izochromy m.

$$m = \frac{\alpha}{180^\circ} + k, \quad k = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2.1)$$

Część całkowitą rzędu izochromy wyznacza się na podstawie obserwacji wizualnej.

Płytką λ wprowadzona zamiast ćwierćfalówki wprowadza przesunięcie względne promieni świetlnych równe 572 [nm]. Ustawiona jest tak, że płasz-

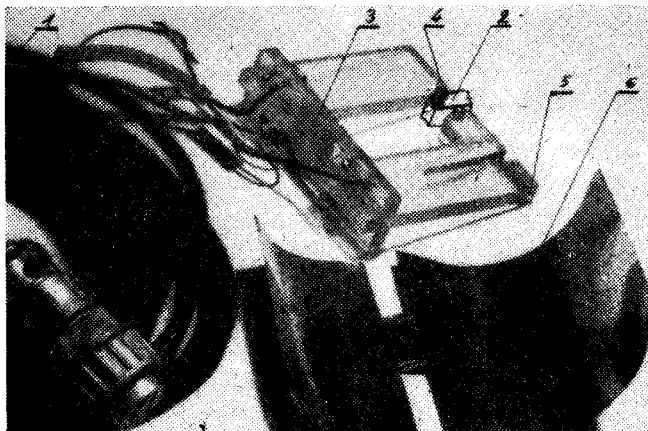
czyzna drgań promienia szybszego tworzy kąt 45° z osią polaryzatora. Jest to ustawienie dające w polu widzenia barwę purpurową, nazywaną czułą barwą przejścia [4]. Niewielkie zmiany przesunięcia względnego promieni /12 - 15 [nm]/ powodują pojawienie się żółtej lub niebieskiej barwy. Korzystając z powyższego można wizualnie wykrywać nawet nieznaczne naprężenia wewnętrzne.

Przedstawiony polaryskop został przystosowany do badań elastooptycznych poprzez zastosowanie dodatkowego oprzyrządowania.

Rama do obciążania modeli zapewnia obciążenie modelu zgodnie z potrzebami. Możliwe jest dzięki walcowej podstawie obracanie całej ramy wraz z modelem w celu wyznaczenia rodziny izoklin.

Do rejestracji wyników zastosowano małowzrostowy aparat fotograficzny Praktica LTL.

W celu pomiaru zmian grubości modelu na skutek obciążenia zaprojektowano i wykonano przetwornik tensometryczny przedstawiony na rys.3.



Rys.3. Przetwornik tensometryczny

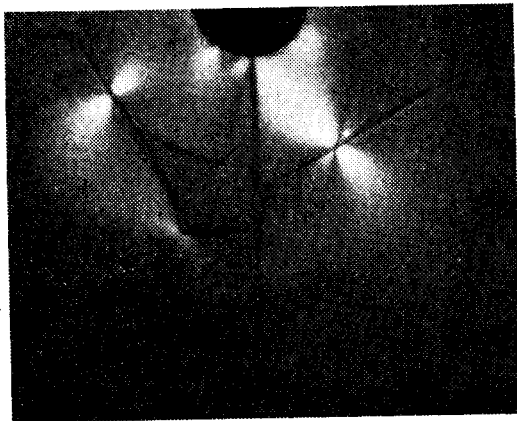
- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1 - kabel przyłączeniowy | 4 - kulki stalowe |
| 2 - element odkształcany | 5 - wkręt regulacji zakresu |
| 3 - tensometry | 6 - ekran |

Jako materiału konstrukcyjnego użyto szkła organicznego. Tensometry 3 przyklejono do poprzecznej, zginanej belki i połączono w układ pełnego mostka. Wkręt regulacyjny 5 umożliwia regulację zakresu w granicach $\pm 0,5$ mm. Prowadzone są dalsze prace mające na celu udoskonalenie przetwornika.

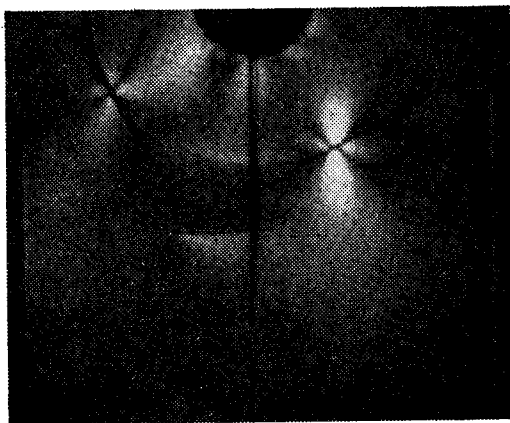
Badano trójkątną prowadnicę niesymetryczną poddaną obciążeniom skupionym, którą stosuje się w budowie obrabiarek i przyrządów. Model wykonano z płyty polimetakrylanu metylu o grubości $\delta = 5,65$ [mm] w skali 1:1. Jest to materiał o niskiej wartości efektu elastooptycznego. Dobrze nadaje się do wyznaczania izoklin, natomiast pomiar izochrom możliwy jest jedynie

metodami kompensacyjnymi.

Uzyskany w polaryskopie obraz izoklin fotografowano. Na rys.4 i 5 przedstawiono przykładowo izokliny 0° i 45° .

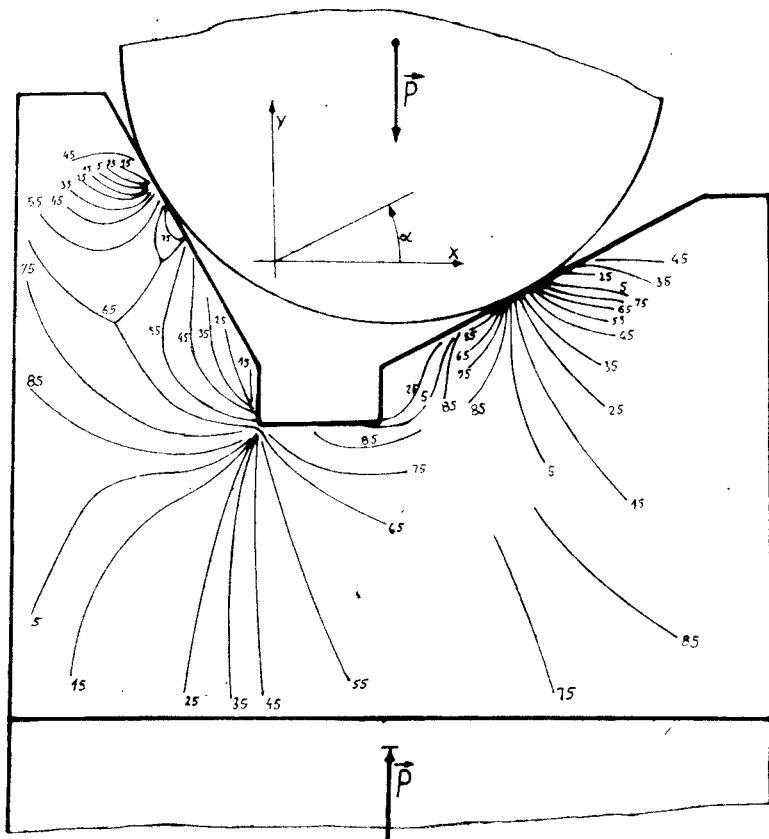


Rys.4. Zdjęcie izoklin 0°



Rys.5. Zdjęcie izoklin 45°

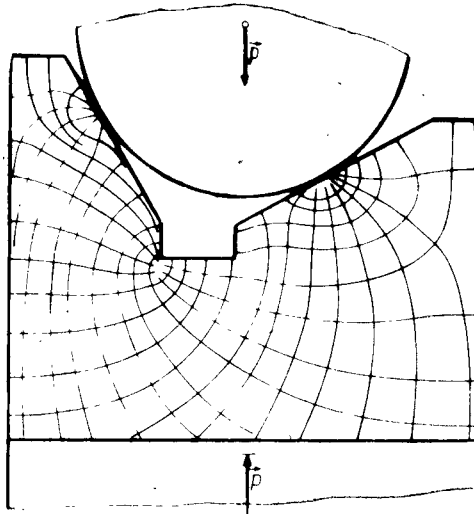
Dla wyznaczenia całej rodziny izoklin /rys.6/ korzystano bezpośrednio z negatywu. Obraz negatywu rzutowano metodą tylnej projekcji na ekran z kalki technicznej. Izokliny przedstawiają się na tym obrazie jako linie jasne [1]. Ułatwia to, podobnie jak duży format, znalezienie ich przebiegu.



Rys.6. Układ izoklin

Rodzinę izoklin przetransformowano za pomocą metod [4, 5] na trajektorie naprężeń głównych /rys.7/.

Pomiar rzędu izochromy zrealizowano metodą kompensacyjną przedstawioną w opisie polaryskopu.

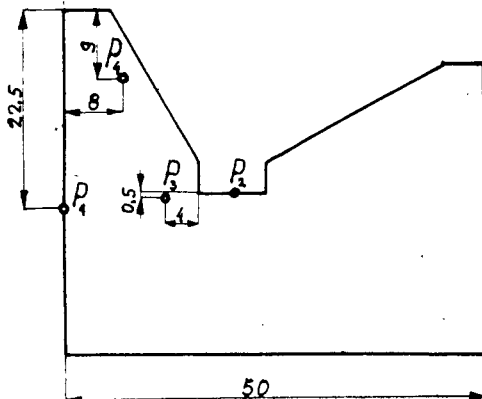


Rys.7. Trajektorie naprężeń głównych

3. Wyniki badań

Jako wyniki badań uzyskano:

1. Fotografie izoklin wskazujące wizualnie miejsca koncentracji naprężeń, służące także do wyznaczenia układu izoklin.
2. Układ izoklin /rys.6/.
3. Układ trajektorii naprężeń głównych /rys.7/; znajomość rodziny krzywych jest pomocna w ilościowej analizie naprężeń.
4. Dla kilku wybranych punktów wyznaczono wartości naprężeń głównych korzystając z zależności (1.1) i (1.4) /rys.8/.



Rys.8. Rozmieszczenie miejsc pomiaru

Siła obciążająca model posiadała wartość 500 [N]. Wartości stałych wynoszą:

$$E = 2965 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$K = 43,11 \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ rz. izochrom}$$

$$\nu = 0,38$$

nachylenie charakterystyki przetwornika - 360 [mV/mm]

Lp.	$\Delta\alpha$ [°]	Δm	ΔU [mV]	$\Delta\delta$ [mm]	σ_1 [N/mm ²]	σ_2 [N/mm ²]
1	31,6	0,175	*	*	0	-7,19
2	28,9	0,161	*	*	6,61	0
3	14,5	0,081	-5,4	-0,0158	12,75	9,27
4	12,9	0,072	4,0	0,0117	-6,57	-9,66

* - punkt położony na nieobciążonej krawędzi

4. Zastosowanie w przemyśle

Metoda jest szczególnie przydatna w zakresie wyznaczania koncentracji naprężeń w punktach lub obszarach, które są początkiem pęknięć zmęczeniowych, szczególnie w przypadku obciążeń dynamicznych.

Przyczyny zniszczeń zmęczeniowych często tkwią w miejscowych koncentracjach naprężeń. Miejsca te decydują o późniejszych wytrzymałościowych i eksploatacyjnych walorach maszyn i urządzeń mechanicznych. Efekt elastoptyczny jest szczególnie intensywny w obszarach największego wyciężenia [2, 3]. Stośując elastoptykę można wyznaczyć rzeczywisty rozkład maksymalnych naprężeń w charakterystycznych punktach różnych części maszynowych, np. trójkątnej prowadnicy niesymetrycznej poddanej obciążeniom skupionym.

Na podstawie kierunków naprężeń głównych i ich wartości można optymalizować cechy konstrukcyjne z punktu widzenia eksploatacji maszyn i urządzeń mechanicznych. Możliwe jest także wyznaczenie prawdopodobieństwa uszkodzenia danej części.

Koszty modelowania elastoptycznego są zdecydowanie niższe od kosztów wykonania prototypowych części.

Elastoptyczna metoda badawcza może w dużym stopniu przyczynić się do podniesienia jakości sporej grupy wytworów przemysłowych.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa red. Chiesin: Metod fotouprugosti. GNTI, Moskwa 1975
- [2] Jakubowicz A., Orłóś Z.: Wytrzymałość materiałów. WNT, Warszawa 1978

- [3] Orłowski Z.: Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń. WNT, Warszawa 1977
- [4] Pindera J.T.: Zarys elastooptyki. PWT, Warszawa 1953
- [5] Pindera J.T.: Współczesne metody elastooptyki. PWT, Warszawa 1960

PHOTO-ELASTIC EXAMINATION OF TRIANGULAR ASYMMETRICAL GUIDE SUBJECTED
CONCENTRATED LOAD

Summary

Using the photo-elastic method there were conducted examinations of a triangular asymmetrical guide. Possibilities of a complete definition of the stress field in parts with heaviest load which are particularly significant as regards life and reliability were shown while examining V-block.

The article also includes a description of the equipment applied and the way of examination.

ФОТОУПРУГОСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОДВЕРЖЕННОЙ СОСРЕДОТОЧЕННЫМ НАГРУЗКАМ

Резюме

Используя фотоупругостный исследовательский метод были проведены исследования треугольной несимметричной направляющей. На примере призмы показана возможность полного определения поля напряжений в наиболее нагруженных пунктах части, особенно существенных с точки зрения прочности и надежности.

В статье описаны также применяемые приборы и способы исследования.

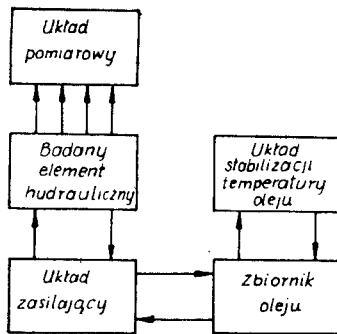
Bogdan Zastempowski

UNIwersALNE STANOWISKO BADAWCZE HYDRAULIKI SIŁOWEJ

W artykule opisano uniwersalne stanowisko do badania elementów hydrauliki siłowej małej i średniej mocy. Stanowisko wyposażone jest w układ stabilizacji temperatury oleju. Przedstawiono również wyniki badań dławika śrubowego.

1. Wstęp

W Instytucie Technologii i Eksploatacji Maszyn ATR zbudowane zostało uniwersalne stanowisko do badania elementów hydrauliki siłowej. Prowadzone są na nim badania własne i zajęcia dydaktyczne Instytutu. Schemat ideowy stanowiska przedstawia rys.1.



Rys.1. Schemat ideowy stanowiska badawczego

Krótki opis tego stanowiska badawczego ma za zadanie zasygnalizowanie możliwości prowadzenia przez Instytut badań zleconych dla przemysłu z zakresu hydrauliki siłowej. Można prowadzić na nim badania:

- pomp,
- silników hydraulicznych,
- dławików,
- zaworów przelewowych,
- regulatorów przepływu,
- innych elementów hydraulicznych.

2. Opis stanowiska badawczego

Schemat układu zasilania przedstawiono na rys.2. Układ posiada pompę łopatkową 1 firmy Rexroth o parametrach:

- wydajność nominalna $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$,
- ciśnienie nominalne 10 MPa.

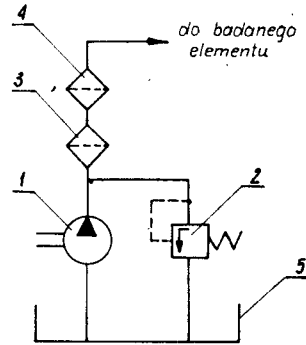
Do pompy zainstalowano silnik o mocy 10 kW i 1460 obr/min. Na odgałęzieniu przewodu tłocznego pompy o przełocie nominalnym 20 mm, dołączono zawór przelewowy 2. W celu uzyskania dobrej filtracji oleju zastosowano dwa filtry: siatkowy 3 o średniej dokładności oczyszczania i granulkowy 4 o wysokiej dokładności oczyszczania. Umożliwiło to uzyskanie filtracji poniżej $25 \mu\text{m}$. Stanowisko posiada zbiornik oleju 5 o pojemności $0,25 \text{ m}^3$ z olejem hydraulicznym Hydrol 30, którego lepkość dynamiczna i gęstość w temperaturze 323 K wynoszą:

$$\mu = 0,032 \text{ Pas}$$

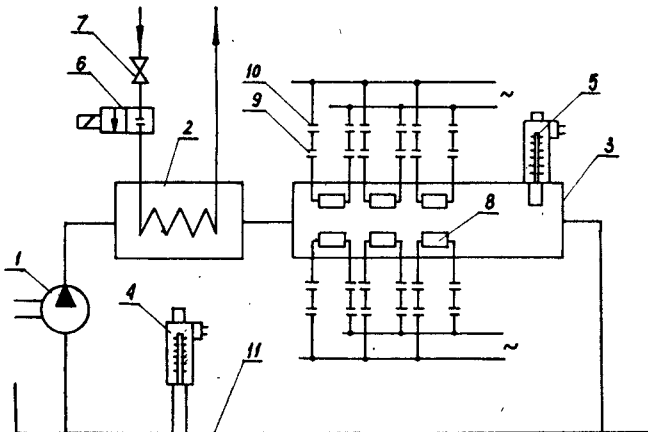
$$\rho = 860,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Zmieniając temperaturę oleju w granicach 298 + 328 K, można otrzymać zmianę lepkości w przedziale 0,11 + 0,025 Pas.

Schemat układu stabilizacji temperatury przedstawiono na rys.3.



Rys.2. Układ zasilający.



Rys.3. Układ stabilizacji temperatury oleju

Pompa wirowa 1 o wydajności ok. $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ tłoczy olej w obiegu zbiornik - układ stabilizacji temperatury - zbiornik. Układ stabilizacji temperatury jest układem regulacji dwustawnej. Pracą układu steruje termometr elektrostykowy 4 mierzący temperaturę oleju w zbiorniku 11. W przypadku, gdy temperatura oleju w zbiorniku jest wyższa od temperatury zadanej termometrem kontaktowym, układ stycznikowo-przełącznikowy /nie uwidoczniony na rysunku/ włącza elektrozawór 6 i wyłącza styki 9 stycznika. Przez chłodnicę 2 o powierzchni chłodzącej ok. 3 m^2 przepływa woda chłodząca olej, a grzałki elektryczne 8 nagrzewnicy 3 są odcięte od zasilania. W chwili wyrównania się temperatury oleju z temperaturąadaną, wyłączony zostanie elektrozawór 6 i włączone styki 9. Termometr kontaktowy 5 wbudowany w nagrzewnicę zabezpiecza olej przed ewentualnym nadmiernym nagrzaniem, wyłączając zasilanie elektryczne bez względu na stan pracy termometru 4.

Istnieje możliwość optymalnego wyboru własności dynamicznych układu stabilizacji temperatury w zależności od poziomu zakłóceń. Dokonuje się to poprzez odpowiedni wybór mocy czynnych grzałek i regulację przepływu wody chłodzącej zaworem 7. Moc grzania można zaprogramować w granicach od 1 do 6 kW co 1 kW, za pomocą kombinacyjnego włączania styków 10. Dokładność stabilizacji temperatury oleju wynosi $\pm 1 \text{ K}$.

Laboratorium wyposażone jest w zestaw aparatury potrzebnej przy badaniu elementów i układów hydraulicznych.

• Do pomiaru ciśnienia mogą być stosowane:

- manometry zegarowe o klasie dokładności 0,6, zakres pomiarowy do 10 MPa,

- przetworniki tensometryczne ciśnienia, zakres pomiarowy w przedziałach $0,1 \pm 1 \text{ MPa}$ i $1 \pm 10 \text{ MPa}$.

▼ Pomiar natężenia przepływu można przeprowadzać:

- metodą wagową lub objętościową /rys.5/ przy małych natężeniach przepływu,

- przepływomierzem kolumnowym,

- przepływomierzami turbinkowymi w zakresie pomiarowym $(0,017 \pm 1,7) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

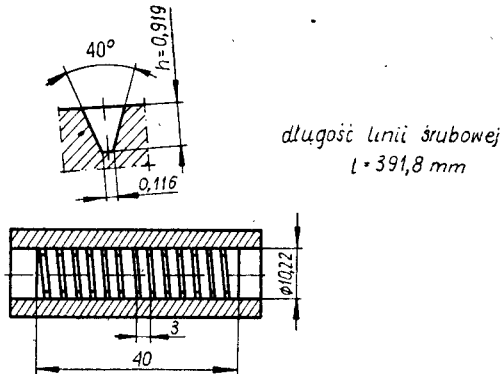
• Pomiar temperatury oleju wykonuje się za pomocą wywzorcowanych termistorów i omomierza cyfrowego.

Istnieje możliwość prowadzenia badań dynamicznych wykorzystując do pomiaru ciśnienia przetworniki tensometryczne, a do pomiaru natężenia przepływu przepływomierzy turbinkowych.

Laboratorium wyposażone jest również w dwa manometry obciążnikowo-tłokowe o zakresach pomiarowych do 6 MPa i 25 MPa, służące do sprawdzania i wzorcowania manometrów i przetworników ciśnienia.

3. Badanie charakterystyki dławika śrubowego i analiza wyników

W celu lepszego zaprezentowania możliwości stanowiska badawczego przedstawione zostaną badania dławika śrubowego. Parametry geometryczne badanego dławika pokazano na rys.4.



Rys.4. Dławik śrubowy

W pierwszym etapie badań przeprowadzono pomiary lepkości i gęstości oleju oraz wzorcowano termistor. Pomiary lepkości przeprowadzono na lepkościomierzu Höpplera, pomiar gęstości na wadze hydrostatycznej, a termistor wzorcowano w termostacie. W wyniku analizy regresji otrzymano następujące zależności [2]:

$$\mu = 0,1344 e^{-0,04819 (T - 293)} \quad (1)$$

$$\rho = 884,6 - 0,6151 (T - 293) \quad (2)$$

$$T = 313,2 e \left[-9,858 \cdot 10^{-4} (R - 100) + 3,758 \cdot 10^{-6} (R - 100)^2 \right] \quad (3)$$

gdzie:

ρ - gęstość oleju, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

μ - lepkość dynamiczna oleju, Pas

T - temperatura oleju, K

R - rezystancja termistora, Ω

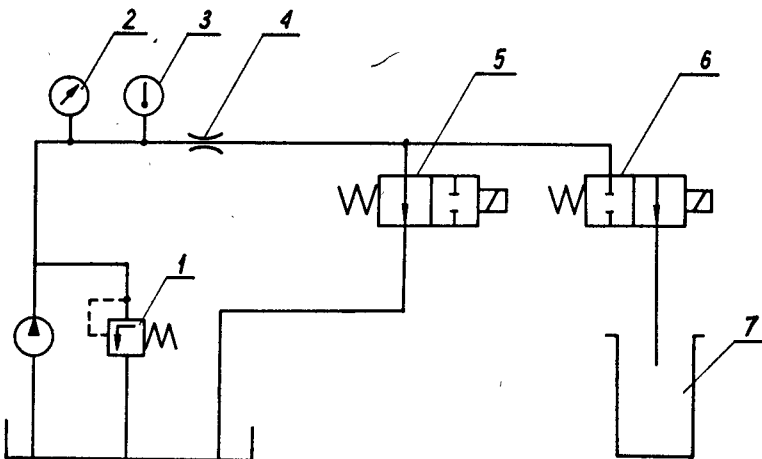
Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie parametrów k i m charakterystyki dławika:

$$Q = k \left(\frac{\Delta p h^4}{l \mu} \right)^m \quad (4)$$

gdzie:

- Q - objętościowe natężenie przepływu
- Δp - spadek ciśnienia na dławiku
- μ - lepkość dynamiczna oleju
- l - długość linii śrubowej rowka
- h - wysokość przekroju poprzecznego dławika
- k - stała dławika
- m - wykładnik potęgowy

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Schemat układu pomiarowego

Badania dławika 4 prowadzono nastawiając zaworem przelewowym 1 ciśnienie 2 + 6 MPa, co 1 MPa. Spadek ciśnienia na dławiku Δp jest równy ciśnieniu wskazywanemu przez manometr 2. Temperaturę oleju zmieniano w przedziale 298 + 323 K. Termometrem kontaktowym 4 /rys.3/ zadawano żadaną temperaturę oleju. Dla każdego spadku ciśnienia Δp pomiary przeprowadzono przy czterech temperaturach oleju równomiernie rozmieszczonych w zaplanowanym przedziale. Pomiaru temperatury 3 /rys.5/ dokonywano metodą pośrednią. Odczytywano z miernika cyfrowego wartość rezystancji termistora R. Za pomocą uprzednio wyznaczonych zależności (1) i (3) obliczano kolejno temperaturę oleju T i lepkość μ .

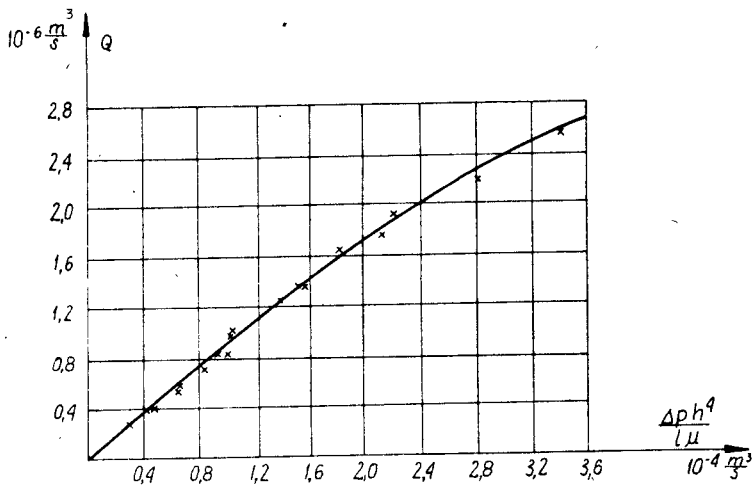
Z uwagi na małe natężenie przepływu pomiar ten wykonywano metodą wagową. Olej tłoczony był do zbiornika, albo do naczynia pomiarowego 7 poprzez rozdzielacze 5 i 6. W chwili włączenia rozdzielacza 6 uruchamiany był tym samym włącznikiem stoper elektryczny odmierzający czas napełniania naczynia pomiarowego. Objętościowe natężenie przepływu Q obliczono z zależności:

$$Q = \frac{\Delta M}{t \cdot \rho} \quad (5)$$

gdzie:

- ΔM - różnica masy naczynia pomiarowego przed i po pomiarze
- t - czas pomiaru, s
- ρ - gęstość oleju wyznaczona z zależności [2]

Wyniki pomiaru przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Charakterystyka dławika śrubowego

Po przeprowadzeniu analizy regresji [2] otrzymano następujące wartości współczynników regresji:

$$k = 6,902 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

$$m = 0,975$$

Wartość wykładnika potęgowego m jest bliska jedności. W dławiku występuje więc przepływ laminarny.

Równanie (4) ze współczynnikami (6) bardzo dobrze opisuje wyniki pomiarów, o czym świadczy uzyskana wartość współczynnika korelacji wielokrotnej równa 0,9993.

Współczynniki regresji do równań (1, 2, 3, 4) wyznaczono na EMC.

Literatura

- [1] Zastempowski B.: Materiały ze stażu naukowego w Zakładzie Napędów Hydraulicznych Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 1977 /niepublikowane/
- [2] Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973

A UNIVERSAL STAND FOR FORCE HYDRAULICS

Summary

The paper discusses a universal stand for examining elements of force hydraulics of low and medium power. The stand is equipped with a system of stabilizing oil temperature. There are also presented the results of the screwed gland examination.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД СИЛОВОЙ ГИДРАВЛИКИ

Резюме

В статье описан универсальный стенд для исследования элементов силовой гидравлики малой и средней мощности. Стенд оборудован системой стабилизирующей температуру масла. Представлены также результаты исследования винтового дресселя.



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

ZESZYTY NAUKOWE NR 90

MECHANIKA 24



BYDGOSZCZ - 1981