ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1973

Seria: Mechanika z. 52 Nr kol. 389

Jan Adamczyk

Instytut Mechaniki i Podstaw
Konstrukcji Maszyn

# KINETYCZNA LICZBA TARCIA ROZDROBNIONYCH MATERIAŁÓW DRZEWNYCH PO STALI

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis badań kinetycznej liczby tarcia po stali rozdrobnionych materiałów drzewnych. Scharakteryzowano badane materiały drzewne będące przedmiotem transportu w procesie technologicznym wytwarzania płyt wiórowych. Wyniki pomiarów opracowano za pomocą statystyki matematycznej przy użyciu elektronicznej maszyny cyfrowej ODRA 1204.

## Wstęp

Proces technologiczny wytwarzania płyt wiórowych wymaga transportowania kilku rodzajów rozdrobnionych materiałów drzewnych stosowanych do wyrobu płyt wiórowych, trzy i pięciowarstwowych. Stan transportowanych materiałów związany jest z przebiegiem procesu technologicznego wytwarzania płyt: na pewnych odcinkach ciągu technologicznego transportowane są materiały w stanie mokrym o wilgotności do 160%, na innych w stanie suchym o wilgotności 5% ÷ 7% oraz o wilgotności 7% ÷ 11%, nasycone klejem mocznikowo-formaldehydowym [1].

Materiał do badań pobrano z zakładów płyt wiórowych, a mianowicie: zrębki ZR, WW i WZ, mikrowióry MW i pył drzewny PŁ - z Zakładów Płyt Wiórowych w Szczecinku, przy czym mikrowióry MW i pył PŁ wydzielono jako frakcję podczas przesiewania zrębków WZ. włókna WŁ pobrano z ciągu technologicznego płyt pilśniowych w Zakładach Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie.

Charakterystykę rozdrobnionych materiałów drzewnych zawiera tablica 1.

Jedną z głównych podstaw doboru cech konstrukcyjnych przenośników materiałów drzewnych jest znajomość własności materiałów transportowanych, tj: liczby tarcia materiału transportowanego po tworzywie rynny przenośnika; liczby tarcia wewnętrznego; spójności; gęstości pozornej; liczby zagęszczania, oraz klasy granulometrycznej.

Liczba tarcia materiału transportowanego po stali jako tworzywie rynny i innych elementów przenośnika ma wpływ na wielkość zapotrzebowania mocy oraz na geometryczne cechy konstrukcyjne przenośników.

Tablica 1

Charakterystyka drzewnych materiałów rozdrobnionych stanowiących przedmiot badań

| Lp. | Rodzaj materiału drzewnego. | Oznaczenie materiału nienasyconego klejem. | Oznaczenie materiału nasyconego klejem. | Maksymalna grubość ziaren. | Maksymalna szerokość ziaren. | Maksymalna długość ziaren. | Przeznaczenie na warstwę płyty trzywarstwowej. | Przeznaczenie na warstwę płyty pięciowarstwowej. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | [μm] | [μm] | [μm] | — | — |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
| 1. | Zrębki grube. | ZR | — | 10.000 | 10.000 | 25.000 | — | — |
| 2. | Zrębki. | WW | WWZ | 800 | 10.000 | 25.000 | środkowa | wewnętrzna |
| 3. | Zrębki. | WZ | WZZ | 300 | 4.000 | 25.000 | zewnętrzna | pośrednia |
| 4. | Mikrowióry. | MW | MWZ | 600 | 600 | 5.000 | — | okładowa |
| 5. | Włókna. | WŁ | WŁZ | 100 | 100 | 10.000 | — | okładowa |
| 6. | Pył. | PŁ | PŁZ | 400 | 400 | 400 | — | okładowa |

## Liczba tarcia materiału sypkiego po tworzywie rynny przenośnika

Liczba tarcia materiału sypkiego po tworzywie rynny przenośnika może być wyznaczona przez pomiar siły tarcia między słupem materiału sypkiego a powierzchnią tworzywa [2,5]. Naprężenia normalne na powierzchni styku słupa materiału sypkiego z powierzchnią badanego tworzywa są sumą naprężeń od ciężaru własnego materiału i ciężaru obciążników, obciążających słup materiału. Wartość naprężeń normalnych wynosi:

$$\sigma = \frac{G + G_m}{F}, \quad [Nm^{-2}] \tag{1.1}$$

gdzie

$G$ - ciężar obciążników obciążających słup materiału sypkiego, N,
$G_m$ - ciężar słupa materiału, N,
$F$ - pole powierzchni styku słupa materiału sypkiego z badanym tworzywem, $m^2$.

Naprężenia styczne na powierzchni styku wyznacza się dzieląc średnią wartość zarejestrowanej siły tarcia przez pole powierzchni styku:

$$\tau = \frac{T_{śr}}{F}, \quad [Nm^{-2}] \tag{1.2}$$

gdzie:

$T_{śr}$ - średnia wartość zarejestrowanej siły tarcia między słupem materiału drzewnego a powierzchnią badanego tworzywa, N,

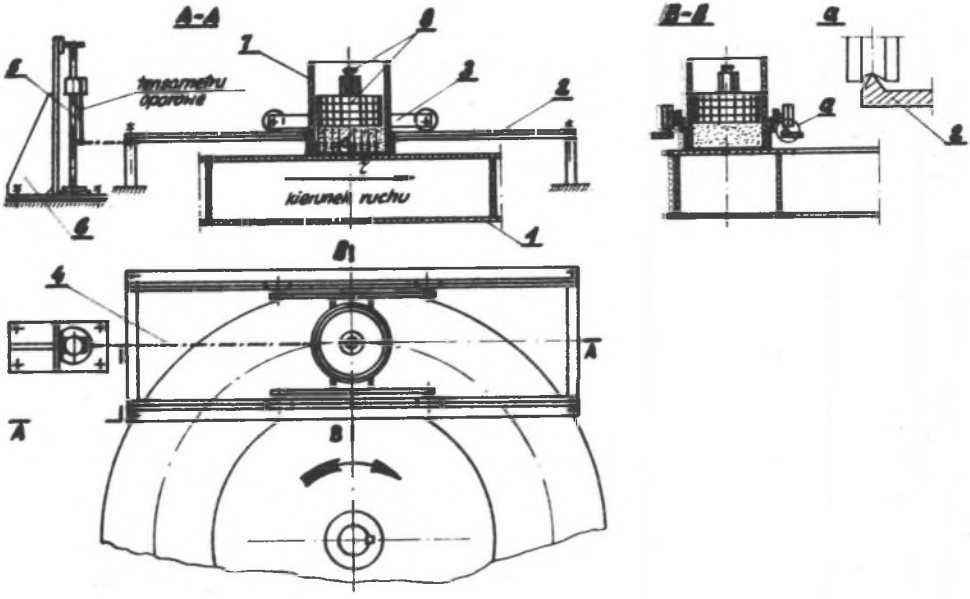
F - pole powierzchni styku słupa materiału sypkiego z badanym tworzywem, $m^2$.

Zmieniając i razy ciężar obciążników obciążających słup materiału sypkiego otrzymuje się i punktów pomiarowych o współrzędnych $\sigma_i$ - odcięte i $\tau_i$ - rzędne.
Pomiędzy wartościami $\sigma_i$ i $\tau_i$ zachodzi korelacja liniowa, zaś prosta najmniejszych kwadratów poprowadzona przez punkty pomiarowe przechodzi w pobliżu początku układu współrzędnych $\sigma, \tau$. Wartość zmierzonej liczby tarcia jest równa wartości współczynnika kierunkowego prostej najmniejszych kwadratów, poprowadzonej przez punkty pomiarowe. Chociaż prosta ta przechodzi w pobliżu początku układu współrzędnych $\sigma, \tau$ to jednak zaleca się prowadzić prostą najmniejszych kwadratów przez początek układu współrzędnych, gdyż nie wpływa to istotnie w sensie statystycznym na wartość mierzonej liczba tarcia [5].

## Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze rys. 1 składa się z obrotowego pierścienia stalowego 1, z którym współdziała słup materiału drzewnego. Po pryzmatycznych prowadnicach 2 usytuowanych nad pierścieniem 1 może przemieszczać się wózek 3 wsparty na czterech kołach jezdnych, ułożyskowanych tocznie. Wózek połączony jest sztywnym cięgłem 4 z płytką ze stali sprężynowej 5, zamocowaną wspornikowo w stojaku 6. Na płytce naklejone są dwa tensometry oporowe w układzie półmostka. Taki układ tensometrów mierzy tylko odkształcenia od momentu zginającego płytkę i zapewnia kompensację zmian rezystancji tensometrów, wywołanych zmianą temperatury [3]. W wózek 3 wbudowane jest naczynie cylindryczne 7 bez dna, napełnione badanym materiałem drzewnym. Słup materiału w naczyniu obciążony jest ciężarkami 8. Podczas obrotu pierścienia 1 zgodnie z kierunkiem zaznaczonym strzałką, pomiędzy słupem materiału drzewnego a powierzchnią pierścienia pojawia się siła tarcia, zapisywana w sposób ciągły na taśmie rejestratora.

Naprężenia normalne na powierzchni styku słupa materiału drzewnego z pierścieniem 1 wyznacza się z zależności (1.1), natomiast naprężenia styczne na tej powierzchni z zależności (1.2). Zmieniając i razy obciążenie słupa materiału otrzymuje się i realizacji wartości $\sigma_i$ $\tau_i$, co pozwala na wyznaczenie za pomocą metod statystyki matematycznej wartości mierzonej liczby tarcia. Pomiary przeprowadzono przy pomocy 4 kanałowej aparatury tensometrycznej firmy Kelvin and Hughes.




Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do pomiaru liczby tarcia rozdrobnionych materiałów drzewnych po stali

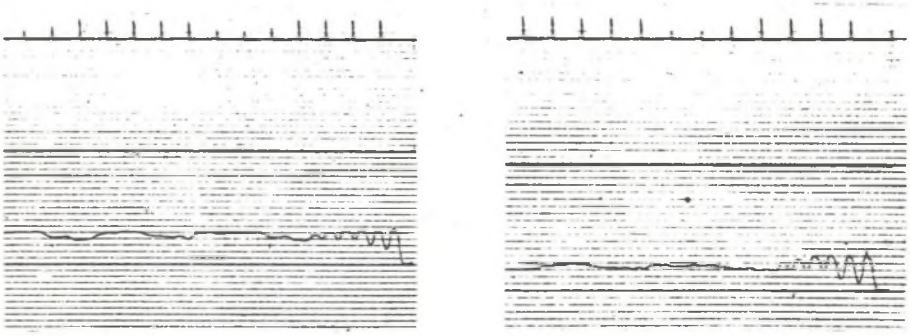
Opis badań

Warunki badań:

- pole powierzchni styku słupa materiału drzewnego z pierścieniem stalowym 0,02 $m^2$,
- średnią prędkość poślizgu materiału drzewnego po pierścieniu 0,05 $ms^{-1}$,
- średnia średnica pierścienia stalowego 1,00 m,
- powierzchnia pierścienia stalowego: surowa po walcowaniu,
- wartości naprężeń normalnych w płaszczyźnie styku słupa materiału drzewnego z powierzchnią pierścienia: 122,6 $Nm^{-2}$, 245,2 $Nm^{-2}$, 490.3 $Nm^{-2}$, 735,5 $Nm^{-2}$, 980,7 $Nm^{-2}$, 1225,8 $Nm^{-2}$, 1471,0 $Nm^{-2}$, 1716,2 $Nm^{-2}$, 1961,3 $Nm^{-2}$, 2206,5 $Nm^{-2}$, 2451,7 $Nm^{-2}$

Opis sposobu pomiarów

Odważoną masę badanego materiału drzewnego, wsypywano małymi porcjami do cylindra 7. Powierzchnię swobodną materiału w cylindrze wyrównywano sztywną płytką. Następnie słup materiału w cylindrze obciążano ciężarkami 8. Ciężarki i materiał w cylindrze wywoływały w płaszczyźnie u podstawy słupa materiału naprężenia normalne o wartości 2451,7 $Nm^{-2}$. Z kolei włączano napęd pierścienia stalowego. Kinetyczną siłę tarcia pomiędzy słupem materiału drzewnego a powierzchnią pierścienia rejestrowano w sposób ciągły na taśmie rejestratora. W pierwszej chwili po włączeniu napędu pierścienia występowały silnie tłumione drgania wózka z cylindrem (patrz rys. 2), po ustaleniu się siły pomiar przerywano. Po zdjęciu obciążników



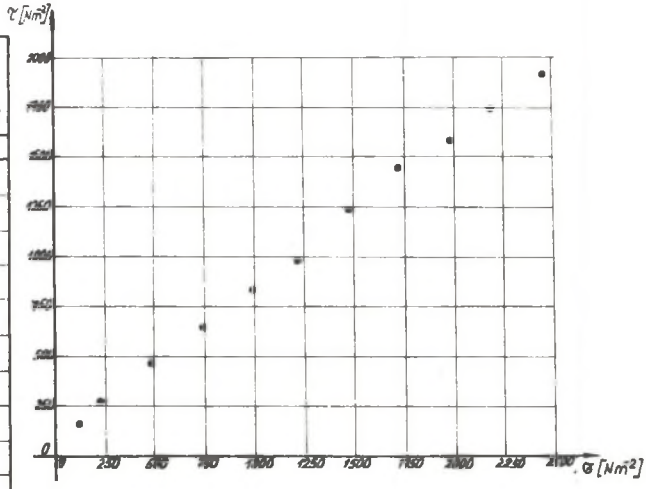
Rys. 2. Typowe przebiegi kinetycznej siły tarcia między słupem. materiału drzewnego i stalą

wymieszano materiał w cylindrze, aby w czasie kolejnego pomiaru z tworzywem badanym współdziałały inne ziarna materiału drzewnego. Z kolei nakładano obciążniki, które wraz z materiałem w cylindrze wywoływały w płaszczyźnie styku naprężenia normalne o wartości 2206,5 $Nm^{-2}$ i włączano napęd pierścienia. Czynności te powtarzano 11 razy, otrzymując dla materiału drzewnego o danej wilgotności 11 realizacji $\sigma_i$ $\tau_i$. W czasie pomiaru pobierano próbkę materiału drzewnego w celu określenia jego wilgotności. Wilgotność określano metodą suszarkowo-wagową.

Typowe przebiegi rejestrowanej kinetycznej siły tarcia przedstawia rys. 2, natomiast kartę pomiarową oraz naniesione na układ współrzędnych $\sigma, \tau$ punkty pomiarowe rys. 3.

Pomiary kinetycznej liczby tarcia zrębków ZR, WW, WZ, mikrowiórów MW i włókien WŁ wykonano w zakresie wilgotności od 0% do 160%, pyłu PŁ w zakresie wilgotności od 0% do 50% a materiałów nasyconych klejem w zakresie wilgotności od 7% do 11%. Łącznie wykonano 382 pomiary otrzymując 4202 punkty pomiarowe.

| Lp | Naprężenia normalne w płaszczyźnie styku [Nm⁻²] | Naprężenia styczne w płaszczyźnie styku [Nm⁻²] |
|---|---|---|
| 1. | 2. | 3. |
| 1. | 122,6 | 166,7 |
| 2. | 245,2 | 269,7 |
| 3. | 490,3 | 470,7 |
| 4. | 735,5 | 647,2 |
| 5. | 980,7 | 938,5 |
| 6. | 1225,8 | 985,6 |
| 7. | 1471,0 | 1240,5 |
| 8. | 1716,2 | 1456,3 |
| 9. | 1961,3 | 1578,9 |
| 10. | 2206,5 | 1740,7 |
| 11. | 2451,7 | 1817,2 |




Rys. 3. Przykładowa karta pomiarowa oraz naniesione na układ współrzędnych $\sigma$, $\tau$ punkty pomiarowe

## Statystyczne opracowanie wyników badań

Dla danego pomiaru punkty pomiarowe o współrzędnych $\sigma_i$ $\tau_i$ aproksymowano prostą najmniejszych kwadratów o równaniu $\tau = B\sigma$, czyli prostą przechodząca przez początek układu współrzędnych. Współczynnik kierunkowy B prostej jest równy mierzonej liczbie tarcia. Obliczono przedziały ufności liczby tarcia na poziomie istotności $\alpha = 0{,}01$. Słuszność aproksymacji punktów pomiarowych przy pomocy linii prostej sprawdzono, obliczając dla każdej prostej współczynnik korelacji i stosując test Fishera istotności korelacji [4]. Punkty pomiarowe wyrównano również prostą najmniejszych kwadratów o równaniu $\sigma = A + B_1\tau$, tj. prostą nie przechodzącą przez początek układu współrzędnych. Następnie przy pomocy testu t porównano współczynniki kierunkowe B i $B_1$. Stwierdzono, że nie ma istotnej różnicy między tymi współczynnikami, wobec czego jako wartość mierzonej liczby tarcia przyjęto wartość współczynnika B.

Obliczenia statystyczne wykonano na elektronicznej maszynie cyfrowej ODRA 1204. Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach w układzie współrzędnych prostokątnych: odcięte - wilgotności badanych materiałów drzewnych, rzędne - odpowiadające tym wilgotnościom wartości kinetycznej liczby tarcia wraz z 99% przedziałami ufności. Otrzymane w ten sposób punkty wyrównano graficznie krzywymi, przedstawiającymi zależność kinetycznej

liczby tarcia od wilgotności badanych materiałów. Wykreślono również średni 99% przedział ufności tych krzywych.

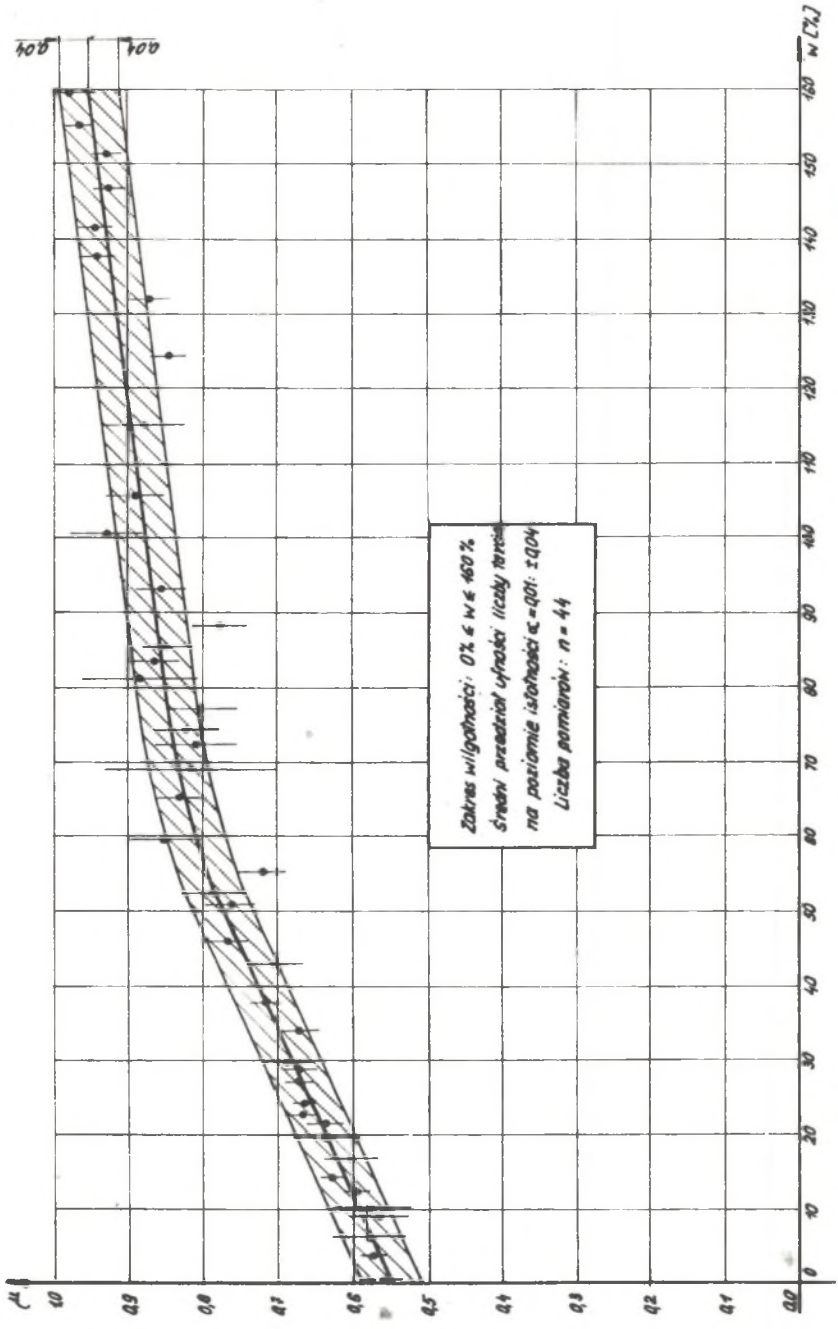
Tablica 2

Wyniki badań kinetycznej liczby tarcia rozdrobnionych materiałów drzewnych po stali

| L.p. | Wilgotność materiału drzewnego [%] | Wartość kinetycznej liczby tarcia po stali wraz z 99% przedziałem ufności. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ZR | WW | WZ | MW | PŁ | WŁ |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
| 1. | 0 | 0,50 ± 0,04 | 0,59 ± 0,03 | 0,47 ± 0,03 | 0,59 ± 0,03 | 0,83 ± 0,04 | 0,55 ± 0,04 |
| 2. | 10 | 0,57 ± 0,04 | 0,62 ± 0,03 | 0,61 ± 0,03 | 0,62 ± 0,03 | 0,64 ± 0,04 | 0,58 ± 0,04 |
| 3. | 20 | 0,63 ± 0,04 | 0,65 ± 0,03 | 0,66 ± 0,03 | 0,66 ± 0,03 | 0,66 ± 0,04 | 0,63 ± 0,04 |
| 4. | 30 | 0,69 ± 0,04 | 0,69 ± 0,03 | 0,69 ± 0,03 | 0,69 ± 0,03 | 0,74 ± 0,04 | 0,67 ± 0,04 |
| 5. | 40 | 0,71 ± 0,04 | 0,71 ± 0,03 | 0,70 ± 0,03 | 0,72 ± 0,03 | 0,85 ± 0,04 | 0,72 ± 0,04 |
| 6. | 50 | 0,73 ± 0,04 | 0,73 ± 0,03 | 0,72 ± 0,03 | 0,76 ± 0,03 | 0,89 ± 0,04 | 0,76 ± 0,04 |
| 7. | 60 | 0,73 ± 0,04 | 0,74 ± 0,03 | 0,73 ± 0,03 | 0,79 ± 0,03 | 0,86 ± 0,04 | 0,80 ± 0,04 |
| 8. | 70 | 0,74 ± 0,04 | 0,75 ± 0,03 | 0,75 ± 0,03 | 0,80 ± 0,03 | Nie przeprowadzono pomiarów | 0,83 ± 0,04 |
| 9. | 80 | 0,75 ± 0,04 | 0,75 ± 0,03 | 0,75 ± 0,03 | 0,81 ± 0,03 | | 0,84 ± 0,04 |
| 10. | 90 | 0,76 ± 0,04 | 0,76 ± 0,03 | 0,77 ± 0,03 | 0,82 ± 0,03 | | 0,85 ± 0,04 |
| 11. | 100 | 0,77 ± 0,04 | 0,78 ± 0,03 | 0,78 ± 0,03 | 0,83 ± 0,03 | | 0,87 ± 0,04 |
| 12. | 110 | 0,78 ± 0,04 | 0,77 ± 0,03 | 0,79 ± 0,03 | 0,83 ± 0,03 | | 0,88 ± 0,04 |
| 13. | 120 | 0,79 ± 0,04 | 0,78 ± 0,03 | 0,80 ± 0,03 | 0,84 ± 0,03 | | 0,89 ± 0,04 |
| 14. | 130 | 0,80 ± 0,04 | 0,79 ± 0,03 | 0,82 ± 0,03 | 0,85 ± 0,03 | | 0,91 ± 0,04 |
| 15. | 140 | 0,81 ± 0,04 | 0,79 ± 0,03 | 0,83 ± 0,03 | 0,86 ± 0,03 | | 0,92 ± 0,04 |
| 16. | 150 | 0,82 ± 0,04 | 0,80 ± 0,03 | 0,84 ± 0,03 | 0,87 ± 0,03 | | 0,93 ± 0,04 |
| 17. | 160 | 0,83 ± 0,04 | 0,81 ± 0,03 | 0,85 ± 0,03 | 0,87 ± 0,03 | | 0,95 ± 0,04 |

Dla poszczególnych materiałów badanych dla wilgotności 0%, 10%, 20%, ... 160% z krzywych tych odczytano i ujęto w tablicy 2 wartości kinetycznej liczby tarcia. Wyniki badań liczby tarcia nasyconych klejem materiałów drzewnych przedstawiono w tablicy 3.

Graficzną zależność kinetycznej liczby tarcia włókien drzewnych WŁ po stali w funkcji ich wilgotności przedstawia rys. 4, a zależność kinetycznej liczby tarcia nasyconych klejem tych włókien - rys. 5.

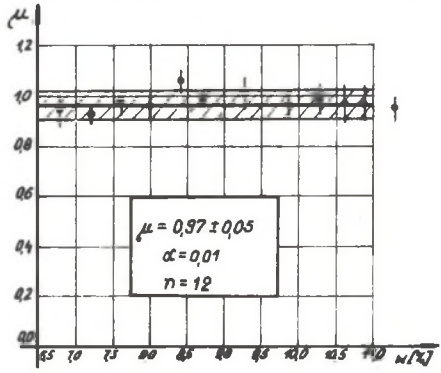



Rys. 4. Zależność kinetycznej liczby tarcia włókien drzewnych WŁ po stali od ich wilgotności

Tablica 3

Wyniki badań kinetycznej liczby tarcia rozdrobnionych materiałów drzewnych nasyconych klejem po stali

| Lp. | Badany materiał drzewny | Przedział wilgotności materiałów badanych | Liczba tarcia po stali wraz z 99% przedziałem ufności |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | WWZ | 7% - 11% | 0,81 ± 0,03 |
| 2 | WZZ | 7% - 11% | 0,84 ± 0,03 |
| 3 | MWZ | 7% - 11% | 0,86 ± 0,04 |
| 4 | PŁZ | 7% - 11% | 0,87 ± 0,04 |
| 5 | WŁZ | 7% - 11% | 0,97 ± 0,05 |




Rys. 5. Zależność kinetycznej liczby tarcia, włókien drzewnych WŁZ nasyconych klejem po stali od ich wilgotności

## Wnioski z badań

Przedstawiona metoda pomiaru kinetycznej liczby tarcia jest metodą skuteczną i wystarczająco dokładną, pozwalającą na otrzymanie powtarzalnych wyników. Odchylenie standardowe wynosi przeciętnie 1,4% zmierzonej wartości liczby tarcia.

Tarcie rozdrobnionych materiałów drzewnych po stali spełnia warunki tarcia coulombowskiego. Zależność siły tarcia od siły nacisku (naprężeń stycznych od naprężeń normalnych w płaszczyźnie styku słupa materiału drzewnego z badanym tworzywem) jest liniowa. Swiadczy o tym zarówno obliczany dla każdego pomiaru wskaźnik korelacji, wynoszący od 0,9917 do 0,9999, jak również bardzo wysoki poziom istotności korelacji $\alpha = 0,001$.

Liczba tarcia nienasyconych klejem materiałów drzewnych rośnie ze wzrostem wilgotnosci. Wzrost ten jest intensywny do wilgotności, odpowiadającej w przybliżeniu wilgotności nasycenia włókien drewna. Powyżej tej wilgotności wzrost liczby tarcia jest nieznaczny.

Najmniejsze wartości liczby tarcia zaobserwowano dla materiałów suchych co może być spowodowane znaną własnością pyłu drzewnego do zmniejszania siły tarcia.

Liczba tarcia materiałów drzewnych nasyconych klejem po stali w badanym zakresie wilgotności jest stała dla poszczególnych materiałów.

LITERATURA

1. Adamczyk J.: Biuletyn Informacyjny Ośrodka Badawczo-Doświadczalnego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych 3, 1972, s. 192 ÷ 199.
2. Jenike A.: Bulletin No 123 Of the Utah Engineering Experiment Station, University of Utah 1964.
3. Morecki A.: Miernictwo parametrów mechanicznych maszyn metodami elektrycznymi, WPW Warszawa 1968.
4. Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT Warszawa 1965.
5. Zenkov R.: Mechanika nasypnych gruzov, Osnovanija raščeta pogruzočno-razgruzočnych i transportnych ustrojstv. Mašgiz. Moskva 1957.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ МЕЛОЧИ ПО СТАЛИ

Р е з ю м е

В разработке даётся описание исследований кинематического коэффициента трения по стали размельчённых древесных материалов. Характеризуются исследуемые древесные материалы, являющиеся предметом транспорта в технологическом процессе производства фибролитовых плит. Описывается специально спроектированную и изготовленную установку для исследований и представлен способ проведения измерений. Результаты измерений были разработаны при помощи методов математической статистики с использованием электронно-вычислительной машины ОДРА 1204. Результаты исследований приводятся в виде диаграмм и таблиц.

THE KINETIC FRICTION FACTOR OF DISINTEGRATED WOODEN MATERIALS ON STEEL

S u m m a r y

The paper describes investigations of the kinetic friction factor of disitegrated wooden materials on steel. The tested wooden materials have been characterised which are being transported during the technological process of chipboard production. There have been discussed a specially constructed test stand as well as the method of taking measurements. The obtained measuring results have been handled by means of mathematical statistic methods, making use of the electronic computer Odra 1204. The results of these investigations have been presented graphically and in the form of tables.