

Eugeniusz Wojtowicz

## BADANIA NAD MOŻLIWOCIĄ ZASTĄPIENIA BRĄZU LIGNOFOLEM

### 1. Geneza i opis zagadnienia

Tradycyjne łożyska ślizgowe wykazują cały szereg powszechnie znanych wad technicznych, które przyczyniają się do stopniowego wypierania łożysk ślizgowych przez łożyska toczne. Fakt ten nie upoważnia jednak do wniosku, jakoby łożyska ślizgowe zasługiwały na wyeliminowanie z wszystkich bez wyjątku dziedzin nowoczesnej techniki. Istnieją bowiem dziedziny, których odpowiednio unowocześnione łożyska ślizgowe mają wyraźną przewagę nad łożyskami tocznymi. Spośród dziedzin tych wysuwają się na czoło:

1. Łożyskowanie wałów o stosunkowo dużej średnicy, które wykazują wprawdzie małe prędkości obrotowe ale wywierają duże obciążenie jednostkowe i narażone są na obciążenie dynamiczne.
2. Łożyskowanie wałów pracujących w dużym zanieczyszczeniu pyłami i piaskiem.
3. Łożyskowanie wałów pracujących w wodzie.
4. Łożyskowanie wałów przy zmniejszonej do minimum średnicy łożyska.

Wymienione wyżej przypadki, w których łożyska ślizgowe wykazują przewagę techniczną nad łożyskami tocznymi spotyka się szczególnie często w przemyśle hutniczym, górniczym, okrętowym, elektrotechnicznym i włókienniczym, a także w przemyśle maszyn i urządzeń rolniczych. Ten ostatni przemysł stosował - dla przykładu - w roku 1961 jeszcze około 69% łożysk ślizgowych. łożyska ślizgowe, aczkolwiek znane i stosowane od przeszło 200 lat, nie znajdują się bynajmniej jeszcze u kresu swego technicznego rozwoju i zasługują w pełni na dalsze udoskonalanie. Postęp techniczny w dziedzinie łożysk ślizgowych skupia się głównie na ulepszaniu właściwości ściernych materiału używanego do wyrobu panwi. Szczególną uwagę poświęca się możliwościom zastąpienia tradycyjnego brązu nowymi, nie tylko mniej deficytowymi lecz także doskonalszymi materiałami /1,7,11,17/.

Spośród materiałów, które wprowadza się ostatnio do produkcji panwi w łożyskach ślizgowych na miejsce tradycyjnego brązu, wysuwają się na czoło:

1. Nowo - wypracowane, udoskonalone stopy metali, które otrzymuje się przez właściwy dobór metali dotąd nie używanych do wyrobu panwi.
2. Tworzywa sztuczne, które otrzymuje się z różnego rodzaju materiałów wyjściowych na drodze syntezy chemicznej w postaci nieuzbrojonej, lub najczęściej zbrojonej innymi materiałami.
3. Tworzywa drzewne, które otrzymuje się przez poddawanie odpowiednio przygotowanego drewna różnym zabiegom uszlachetniającym takim jak:
  - a/ nasycanie stopami metali,
  - b/ sprasowanie bez jednoczesnego lub z jednoczesnym nasyceniem sztucznymi żywicami,

g/ sklejanie sztucznymi żywicami pod odpowiednio dobranym przeważnie stosunkowo wysokim ciśnieniem.

Zawężając dalsze rozważania do wymienionych w punkcie 3 tworzyw drzewnych, należy stwierdzić, że te właśnie znane wprawdzie od dawna ale wciąż jeszcze niedoceniane tworzywa posiadają dla postępu technicznego w budowie łożysk ślizgowych szczególnie duże znaczenie.

Stosując wymienione w punktach a, b, c zabiegi otrzymuje się trzy podstawowe rodzaje tworzyw drzewnych, nadających się do wyrobu panwi łożysk ślizgowych, a mianowicie: drewno metalizowane, lignoston i lignofol.

Drewno metalizowane otrzymuje się przez nasycenie tkanki drzewnej łatwo topliwymi stopami metali, takich jak cyna, ołów, bizmut, antymon itp. Proces nasycania obejmuje wpiern wypompowanie powietrza z por drewna a później wtłoczenie do nich pod stosunkowo wysokim ciśnieniem płynnego stopu metali. Zestalający się w tkance metal zwiększa wybitnie wytrzymałość na ściskanie, twardość i przede wszystkim odporność drewna na ścieranie. Mimo swych niezaprzeczalnych zalet drewno metalizowane nie znalazło jednak dotąd szerszego zastosowania praktycznego.

Lignoston czyli "drewno zagęszczone" otrzymuje się przez jedno - lub przeważnie dwukierunkowe sprasowywanie odpowiednio przygotowanych graniaków drewna litego. Zmniejszając objętość prasowanego drewna do 30 a nawet 50% jego pierwotnej objętości, otrzymuje się lignoston o ciężarze właściwym do  $1,4 \text{ G/cm}^3$ , nadający się doskonale do wyrobu panwi dla łożysk ślizgowych. Lignoston wykazuje bowiem w stosunku do drewna naturalnego - tak samo jak drewno metalizowane - wybitnie zwiększoną wytrzymałość na ściskanie, twardość i odporność na ścieranie. Duża skłonność lignostonu do pęcznienia tj. do stopniowej

utruty nadanego mu zaprasowania, przyczynia się jednak do tego, że lignoston zastępuje się coraz szerzej lignofolem.

Lignofol otrzymuje się przez sklejanie pod stosunkowo wysokim ciśnieniem rzędu 50 do 150  $\text{kg/cm}^2$ , stosunkowo cienkich arkuszy forniru pokrytych klejem syntetycznym, przeważnie fenolowo - formaldehydowym. Dzięki zastosowaniu wysokiego ciśnienia prasowania lignofol osiąga - podobnie jak lignoston - stosunkowo wysoki ciężar właściwy do 1,4  $\text{G/cm}^3$ , a dzięki dużemu przesycaeniu wodoodpornym klejem zachowuje dobrze nadany mu stopień zaprasowania. W zależności od rodzaju drewna, grubości forniru i użytego ciśnienia prasowania, a zwłaszcza w zależności od przebiegu włókien drzewnych w poszczególnych warstwach, można otrzymać bardzo wiele różnych typów lignofolu.

W rozdziale VIII, tomu III, części 3 "Mechanika" zatytułowanym "Technologia Drewna Warstwowego" - opracowali prof.dr T.Perkitny i inż.M.Wnuk /13/, rozróżniają następujące zasadnicze typy lignofolu:

1. Poprzeczno-warstwowy lignofol arkuszowy o symbolu LP.
2. Gwiazdzistowarstwowy lignofol arkuszowy o symbolu LG.
3. Równoległowarstwowy lignofol arkuszowy o symbolu LR.
4. Równoległowarstwowy lignofol arkuszowy poprzecznie wzmocniony o symbolu LRP.
5. Gwiazdzistowarstwowy lignofol skrawkowy o symbolu Ls-G.
6. Równoległowarstwowy lignofol skrawkowy o symbolu Ls-R.

Wszystkie wyżej zestawione typy lignofolu można zaliczyć do wspólnej grupy lignofolu zwykłego tj. takiego lignofolu, który składa się wyłącznie z tkanki drzewnej i kleju fenolowego, a więc nie zawiera w sobie żadnych substancji impregnacyjnych. Do wyrobu panwi łożysk ślizgowych nadaje się także i to szczególnie dobrze druga, mniej znana grupa lignofolu, a mianowicie tzw. "lignofol zaimpregnowany", który poza tkanką drzewną

i klejem zawiera także inne, dodatkowo wprowadzone. Szczególnie ważną rolę odgrywa tutaj oczywiście lignofol zaimpregnowany olejem maszynowym lub jakimkolwiek innym smarem, czyli tzw. lignofol samosmarowny.

W Polsce lignofol taki i sposób jego wytwarzania opracował i opatentował w roku 1959 pod nr 43928 prof.dr Tadeusz Perkitny. Produkcja tego samosmarownego lignofolu przewiduje:

- a/ Zaimpregnowanie arkuszy forniru olejem z zastosowaniem zwykłej metody kąpielowej.
- b/ Naniesienie na zaimpregnowany olejem fornir płynnego kleju fenolowo-formaldehydowego.
- c/ Sklejanie zaimpregnowanego olejem forniru w lignofol "samosmarowny", zawierający do 20% jednostek wagowych oleju.

Wszystkie opisane tu odmiany lignofolu stosuje się w Polsce do wyrobu czółenek tkackich, kół zębatach, wodzideł, sprężyn do sit itp.

Zastosowanie lignofolu do wyrobu panwi dla łożysk ślizgowych jest natomiast jeszcze bardzo ograniczone. Przyczynia się do tego głównie fakt, że odporność poszczególnych typów lignofolu na ścieranie zarówno przy ruchu obrotowym jak i przy ruchu posuwistym nie jest jeszcze dostatecznie zbadana.

Istnieje więc realna potrzeba poświęcenia uwagi temu zagadnieniu.

Przegląd dotychczasowych prac badawczych dotyczących odporności materiałów na ścieranie

M.N. Chruszczow i M.A. Babiczew /3/ autorzy obszernej, podstawowej pracy p.t. "Isledowanije iznasziwanija metalkow" wyrażają pogląd, że każde zużycie ściernego materiału spowodowane jest

najczęściej przez proces rysowania jego powierzchni powstającymi wiórami.

W oparciu o powyższe założenia M.F.Łorienc wyodrębnia dwa zasadnicze rodzaje ściernego zużycia materiałów, a mianowicie:

1. Zużycie wywołane ziarnami ściernymi związanymi, co ma miejsce przy zastosowaniu płótna ściernego, tarcz ściernych itp.
2. Zużycie wywołane ziarnami ściernymi nie związanymi, co ma miejsce przy zastosowaniu oleju lub stałego smaru, zanieczyszczonego ziarnkami piasku, pyłu itp.

W oparciu o powyższy podział można wyodrębnić również dwa zasadnicze rodzaje badań zużycia ściernego, a mianowicie: badania zużycia ściernego wywołanego tarcielem o ziarna związane, oraz wywołanego tarcielem o ziarna wolne.

Bazując na pracach wymienionych autorów można wyodrębnić również następujące dwa rodzaje badań ścieralności materiałów:

1. Badania metaloznawcze - pierwiastkowe, których celem jest zbadanie odporności na zużycie ściernie samego materiału, w zależności od jego jakości, a więc głównie od stopu metali w nim zawartych.
2. Badania technologiczne, których celem jest poznanie wpływu, jaki na zużycie ściernie łożyska wywiera nie tylko jakość zastosowanych materiałów, lecz także czynniki takie, jak charakter ruchu, obciążenie jednostkowe, temperatura, rodzaj ścierania, sposób smarowania itp.

Ważnym postulatem przy wykonywaniu badań technologicznych jest zachowanie dokładnie sprecyzowanych i tym samym poznawalnych warunków doświadczenia, co daje się zazwyczaj zrealizować tylko w warunkach laboratoryjnych.

Badania laboratoryjne pozwalają bowiem poznać wpływ różnie dobranych czynników na zużycie ściernie materiałów, oraz umożliwiają jednoczesną obserwację mechanizmu zużycia /3/,/20/.

Pierwsze wyniki badań nad zużyciem ściernym materiałów zostały opublikowane przez francuskiego metaloznawcę F. Robina /3/, w roku 1910. Badał on zużycie próbek stali metodą tarcia o płótno ścierne t.zw. metodą "płyty gramofonowej" charakteryzującą się tym, że płótno ścierne umieszczone było na poziomej, obracającej się tarczy, a badana próbka zamocowana była w uchwycie i poruszała się podobnie, jak igła gramofonowa. Badania F. Robina /3/ wykazały, że wielkość zużycia materiału zależy od prędkości obrotowej.

Badania zużycia ściernego o płótno ścierne próbek czystych metali i stopów metodą "płyty gramofonowej" w zależności od obciążenia jednostkowego w granicach od  $p = 3,2$  do  $15,9 \text{ kg/cm}^2$  przeprowadzili również M.M. Chruszczow i M.A. Babiczew /3,4,5/. Wyniki ich badań doprowadziły do wniosku, że zużycie ściernie materiałów w zależności od prędkości obrotowej nie jest jeszcze definitywnie poznane. Autorzy ci stwierdzili jedynie, że przy zwiększeniu prędkości obrotowej, zwiększa się nieco siła wyrzucająca cząsteczki z badanego materiału. Wniosek ten jest sprzeczny z twierdzeniem F. Robina. Badania M.M. Chruszczowa i M.A. Babiczewa /3/ wykazały również, że zużycie materiału jest proporcjonalne do obciążenia jednostkowego przy niezmiennych pozostałych parametrach.

Badania laboratoryjne łożysk ślizgowych maszyn rolniczych przeprowadzili również S.G. Jekimienkow /8/ i W.F. Łorienc /9/.

S.G. Jekimienkow zajął się wyborem najodpowiedniejszego materiału na tuleje, między innymi: żeliwem, tworzywami sztucznymi i drewnem ulepszonym. Materiały te zastosowano w badaniach na tuleje kół jezdnych pługów ciągnikowych. Badania były przeprowadzane na stanowisku, które odtwarzało wszystkie parametry pracy koła w pługu ciągnikowym. Części trące o siebie smarowane były okresowo smarem stałym, zanieczyszczonym piaskiem / w ilości do 10% wagi smaru/.

W.F. Łorienc /9/ przeprowadził badania porównawcze w celu sprawdzenia możliwości zastąpienia panwi wykonanych z brązu panwiami żeliwnymi. Badania były wykonane przy smarowaniu smarem stałym również zanieczyszczonym piaskiem /w ilości do 10% objętości smaru/. Stanowisko doświadczalne zamocowane było na łożu tokarni i składało się z wałka zamocowanego w dwóch łożyskach. Wałek napędzany był silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię pasową. Badany czop zamocowany był na wystającym z łożyska końcu wałka. Obciążenie grawitacyjne dociskało do czopa dwie półpanwie.

Z wyżej dokonanych przeglądu dostępnej literatury wynika, że zagadnienie zużycia ściernego metali kolorowych jest jeszcze wbrew oczekiwaniu stosunkowo niedokładnie zbadane. Jeszcze mniej dokładnie zbadane jest oczywiście zagadnienie zużycia ściernego innych materiałów, a zwłaszcza tworzyw drzewnych. Ponieważ mimo to jednak stosuje się tworzywa drzewne, a zwłaszcza lignofol do wyrobu panwi dla różnego rodzaju łożysk ślizgowych, przeto istnieje pilna potrzeba przeprowadzenia badań zmierzających do poznania odporności różnych znanych dotąd typów lignofolu na zużycie ściernie.

Szczególnie wskazane wydaje się porównanie ściernalności lignofolu z ściernalnością brązu przeznaczonego do zastąpienia odpowiednio dobranym lignofolem.

## 2. Cel badań

Bazując na rozważaniach opisanych w rozdziale poprzednim postanowiono przeprowadzić badania, których celem jest porównanie dla kilku wybranych rodzajów brązu i kilku wybranych rodzajów lignofolu:



- a/ ścieralności przy ruchu obrotowym i przesuwistym,
- b/ poboru mocy przy ścieraniu,
- c/ warunków odprowadzania ciepła wytworzonego podczas procesu ścierania

1 to w zależności od:

- A/ różnych warunków smarowania ścieranych materiałów,
- B/ różnej prędkości obrotowej ścierającego wału,
- C/ różnego obciążenia jednostkowego ścieranych materiałów.

Pośrednim, praktycznym celem badań jest natomiast:

- 1/ udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy i jakimi rodzajami lignofolu można zastąpić poszczególne rodzaje deficytowego brązu w produkcji łożysk ślizgowych,
- 2/ udzielenie wytycznych dla produkcji wysoko wartościowych łożysk ślizgowych z panwiami wykonanymi z lignofolu.

### 3. Metodyka badań

Badania porównawcze ścieralności lignofolu i brązu postanowiono przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych na stanowisku o ruchu obrotowym i posuwistym. Pragnąc posłużyć się tzw. "metodą intensyfikującą" tj. zmierzającą do skrócenia czasu próby, zdecydowano się na zastosowanie stosunkowo dużej prędkości zarówno ruchu obrotowego jak i posuwistego oraz na stosunkowo wysokie obciążenie jednostkowe, rzędu 20 .....80 kg/cm<sup>2</sup>. Przed przystąpieniem do badań rozważyć należało następujące zagadnienia metodyczne.

### 3.1. Dobór materiału do badań

Na podstawie literatury /2,5,10,13,16,21 i 22/ należało wytypować do badań w pierwszym rzędzie takie rodzaje lignofolu i takie rodzaje brązu, które - z praktycznego punktu widzenia - mogą być ściierane w identycznych warunkach, i których ściERALNOŚĆ w takich właśnie warunkach zasługuje na porównanie.

Wychodząc z tego założenia dokonano na podstawie literatury wyboru materiału do badań, a mianowicie 2 typów lignofolu i 3 typów brązu podanych i bliżej scharakteryzowanych w tabeli 1. Z tabeli tej wynika, że spośród wielu typów lignofolu przewidzianych normą RN-59 ML i PD-04018 wybrano t.zw. "lignofol krzyżowy" sklejony z forniru brzożowego i bukowego o grubości 0,5mm w taki sposób, że włókna drzewne w dwóch sąsiednich warstwach krzyżuje się pod kątem prostym. Wyodrębnione przy tym lignofol zwykły, składający się tylko z tkanki drzewnej i utwardzonego kleju /nazwany w dalszym ciągu pracy dla uwypuklenia różnicy "lignofolem niesamosmarownym/ oraz lignofol samosmarowny zawierający około 10% części wagowych maszynowego oleju "4" wg. normy PN - 55/C - 96071.

Obydwa typy wybranego do badań lignofolu były wyprodukowane przez Bydgoskie Zakłady Przemysłu Sklejek z tym, że do wyrobu lignofolu niesamosmarownego zastosowano powszechnie w Polsce stosowaną metodę produkcji, a do wyrobu lignofolu samosmarownego metodę zastrzeżoną polskim patentem nr 43928 z dnia 7.III.1959 r.

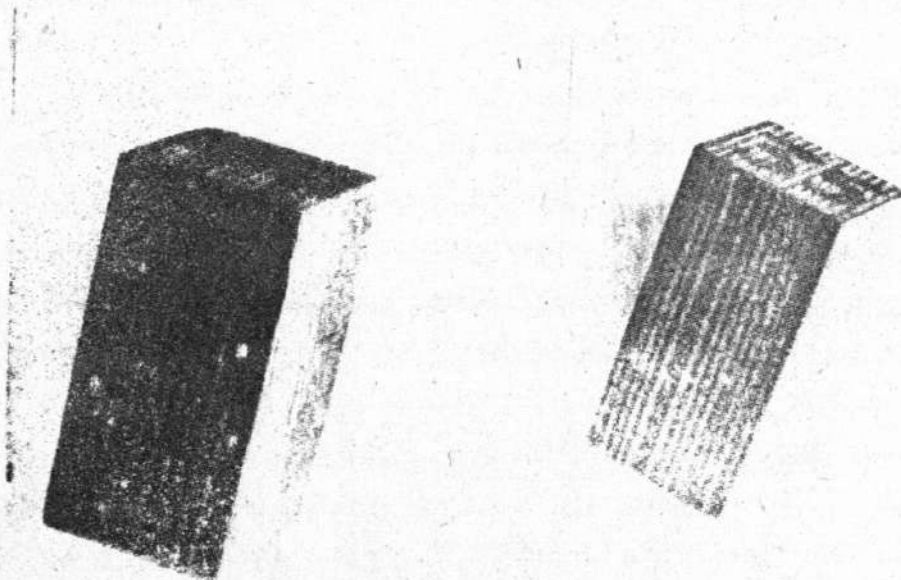
O wyborze do badań obu wyżej wymienionych typów lignofolu zadecydował fakt, że te właśnie typy lignofolu stosuje się najczęściej do wyrobu panwi łożysk ślizgowych.

Z tabeli 1 wynika dalej, że spośród wielu typów brązu przewidzianych polską normą PN/H - 87050 wybrano trzy typy brązu

odlewniczego, a mianowicie brąz cynowy, aluminiowy i cynowo-cynkowo-ołowiowy. Wybór wyżej wymienionych typów brązu można uzasadnić tym, że jego właściwości wytrzymałościowe są zbliżone do właściwości wytrzymałościowych lignofolu. Niezależnie od tego brązy te są najczęściej stosowane na budowę łożysk ślizgowych w różnych maszynach i urządzeniach.

Śledząc na podstawie tabeli 1 główne cechy charakterystyczne materiału wybranego do badań, można stwierdzić w pierwszym rzędzie daleko idącą różnicę w ciężarze właściwym obu porównywanych z sobą tworzyw. Ciężar właściwy lignofolu waha się bowiem w granicach od 1,05 do 1,45 G/cm<sup>3</sup>. Fakt ten przemawia w dużej mierze na korzyść lignofolu, gdyż niski ciężar właściwy stanowi niemal zawsze dużą zaletę łożyska.

Na podstawie tabeli 1 można porównać również skłonność obu materiałów do zmiany wymiarów nadanych im podczas skrawającej obróbki.



Próbki do badań

Rodzaj materiału		Lignofol				Brąz			
		krzyżowy samosmarowny		krzyżowy niesamosmarowny		cynowy	alumi niowy		cynowo cynkowo ołow iowy
Właściwo ści materiału	i	brzo zowy	bukowy	brzo zowy	bukowy	B 101	BA 1032	BA 1044B	B 663
		2		3		4	5		6
Właściwo ści fizyczne	Ciężar właściwy	1,05 - 1,15		1,20 - 1,45		8,80 - 9,40	8,60 - 8,90		8,90 - 9,30
	Pęcznienie w wodzie o temp. 20°C przez 24 godz.	2,9		8,0		-	-		-
	Rozszerzalność liniowa materiału przy wzroście temp. od 20+30°C	-		-		0,1 - 0,5	0,3 - 0,8		0,4 - 0,6
Właściwo ści mechaniczne	Wytrzymałość na rozciąganie	2050 - 2800		1300 - 2400		2000 - 2600	4000 - 6000		1500 - 2100
	Wytrzymałość na ściskanie	Według literatury		1200 - 3200		2800 - 4000	1800 - 4800		2100 - 3800
		Wedł. badań własnych		1100	1750	1836	3230	3465	2650
	Twardość oznaczona metodą Brinella	Według literatury		25 - 30		80 - 100	100 - 170		55 - 60
Wedł. badań własnych		13,9	22,6	23,8	93,0	132,1	145,0	54,2	

U lignofolu zawierającego tkankę drzewną nabiera oczywiście największego znaczenia zjawisko pęcznienia i kurczenia się, wywołane zmianami wilgotności tej tkanki.

U brązu natomiast wysuwają się na czoło stosunkowo duże odkształcenia termiczne, które u lignofolu są znikomo małe i - wobec wielokrotnie większych odkształceń wilgotnościowych - mogą być pominięte.

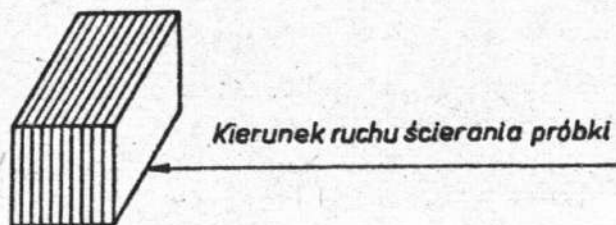
W ostatnich pięciu kolumnach tabeli 1 podano zaczerpnięte z literatury i badań własnych właściwości mechaniczne lignofolu i brązu, na których w pierwszym rzędzie bazował wybór materiału do badań. Zawarte tam dane wytrzymałościowe wydają się wskazywać na to, że wybrane typy lignofolu i brązu mogą być poddane porównawczym próbom ścieralności.

### 3.2. Dobór wielkości i kształtu próbek

Przy ustalaniu wymiarów próbek i tym samym wielkości ściernej powierzchni należało wziąć pod uwagę przewidziane w badaniach stosunkowo wysokie obciążenie jednostkowe oraz wymiary i pobór mocy stojącego do dyspozycji urządzenia laboratoryjnego. Przy uwzględnieniu tych okoliczności zaszła konieczność przeprowadzenia badań na próbkach lignofolu i brązu o stosunkowo małych wymiarach 20 x 10 x 10 mm. Próbki lignofolu postanowiono przy tym wyciąć w taki sposób, aby dłuższy ich wymiar 20 mm skierowany był równolegle do spoin klejowych.

Zarówno próbki lignofolu jak i próbki brązu postanowiono ścierać w taki sposób, aby ruch obrotowy lub posuwisty skierowany był równolegle do spoin klejowych.

Sposób ścierania próbek lignofilu uwzględniający dodatkowo układ zawartych w nim warstw, przedstawiony jest na rys.1.



Rys. 1. Kierunek ścierania próbki lignofolu

### 3.3. Dobór wilgotności lignofolu

Lignofol postanowiono badać przy wilgotności 6... 7%, gdyż taką mniej więcej wilgotność wykazują w czasie pracy wykonane z lignofolu panwie łożysk ślizgowych. Pewną trudność sprawiało doprowadzenie do wymaganej wilgotności lignofolu samosmarownego, gdyż zawarty w nim olej maszynowy zakłócał nieco normalną równowagę higroskopijną drewna i nie pozwalał na kontrolowanie wilgotności powszechnie stosowaną metodą suszarkowo-wagową. Trudność tę wyeliminowano przez założenia, że badaniu ścieralności ma być poddany nie lignofol o ściśle określonej wilgotności  $W$ , lecz lignofol o wilgotności  $W_x$ , którą przybiera po długotrwałym klimatyzowaniu w ściśle określonych warunkach temperatury i względnej wilgotności powietrza.

Założenie to można uzasadnić tym, że dla celów praktycznych ważniejsze jest porównanie ścieralności lignofolu niesamosmarownego i samosmarownego pracującego w identycznych warunkach klimatycznych, aniżeli porównanie ścieralności tych dwóch typów lignofolu po uprzednim idealnym zrównaniu ich wilgotności,

którego zaistnienie jest w praktyce bardzo mało prawdopodobne.

### 3.4. Dobór warunków smarowania

Ponieważ intensywność smarowania próbek odgrywa przy wszelkich badaniach ścieralności bardzo ważną, a niekiedy nawet dominującą rolę, przeto zagadnienie doboru odpowiedniego smaru i sposobu jego stosowania należy rozpatrzyć przed ustaleniem wszystkich pozostałych warunków ścierania. Ponieważ lignofol samosmarowny przeznaczony jest zasadniczo do wyrobu łożysk, które podczas pracy nie mogą być dodatkowo smarowane, przeto należało przewidzieć w badaniach ścierania wszystkich porównywalnych z sobą materiałów bez doprowadzenia smaru z zewnątrz, czyli - jak w dalszym ciągu pracy postanowiono wyrażać się dla skrótu - tzw. ścieranie na sucho. Rozciągnięcie tych badań także na takie materiały, które w praktyce nie są nigdy używane do wyrobu łożysk nie smarowanych, wydawało się konieczne, dla udokumentowania przewagi lignofolu samosmarownego nad tymi materiałami.

Z uwagi na to, że lignofol samosmarowny, a niekiedy nawet lignofol zwykły znajduje zastosowanie do wyrobu łożysk pracujących w wodzie, a więc poniekąd smarowanych wodą, postanowiono także i ten sposób smarowania uwzględnić w badaniach.

Najczęstszym, w praktyce spotykanym przypadkiem jest oczywiście smarowanie łożysk olejem, albo smarem stałym, przy czym równie często stosowane jest smarowanie okresowe, jak i trwałe zanurzenie elementów wirujących w oleju.

Dla przekonania się, czy również przy takim sposobie smarowania zarysuje się przewaga lignofolu nad brązem, postanowiono próbie ścieralności w obecności oleju poddać wszystkie porównywalne z sobą materiały. Do badań postanowiono użyć pospolicie

stosowanego oleju wrzecionowego ciężkiego, który odpowiada polskiej normie PN/C-9670.

### 3.5. Dobór prędkości ścierania przy ruchu obrotowym i posuwistym

Z uwagi na to, że badania ścieralności miały być wykonane wspomnianą już metodą "intensyfikującą", zaszła konieczność zastosowania w doświadczeniach możliwie dużej prędkości ścierania. Prędkość obrotowa w różnego rodzaju maszynach i urządzeniach waha się w szerokich granicach. Dla przykładu można podać, że prędkość obrotowa w maszynach rolniczych, spożywczych, budowlanych, drogowych waha się w granicach od 2 do 500 obr/min. /6/, /17/ i /20/. W związku z tym postanowiono przyjąć prędkość dla ruchu obrotowego w trzech wariantach, a mianowicie:

$v = 4,60 \text{ m/sek.},$	$n = 450 \text{ obr/min.},$
$v = 6,63 \text{ m/sek.},$	$n = 650 \text{ obr/min.},$
$v = 8,67 \text{ m/sek.}$	$n = 850 \text{ obr/min.}$

Dla użytego wału o średnicy zewnętrznej 195 mm odpowiada to prędkości obrotowej  $v$ .

Natomiast badania na ścieranie ruchem posuwisto - zwrotnym postanowiono przeprowadzić przy jednej prędkości  $v = 0,65 \text{ m/sek.},$  co odpowiada ilości suwów  $w = 66 \text{ suw/min.}$

### 3.6. Dobór obciążenia jednostkowego próbek

W maszynach i urządzeniach obciążenie panwi waha się najczęściej w granicach od 0,6 do 6,5  $\text{kg/cm}^2$  /20/. Uwzględniając warunki "intensyfikujące" w badaniach należy przyjąć jednak znacznie wyższe obciążenie jednostkowe próbki. Pozwoli to na duże zuży-



cie próbek w stosunkowo krótkim czasie. W związku z tym będzie można dokładniej określić zachowanie się materiałów w podobnych warunkach ścierania. Jednak zbyt wysokie obciążenie jednostkowe może zniszczyć strukturę badanego materiału.

Biorąc pod uwagę wyżej wspomnianą trudność w ustalaniu największego obciążenia jednostkowego próbek, zdecydowano się na przeprowadzenie szeregu doświadczeń orientacyjnych, których celem było przede wszystkim poznanie górnej granicy wchodzących w rachubę obciążeń.

Doświadczenia te przeprowadzono na próbkach lignofolu i brązu ścieranych "na sucho" i w wodzie przy stałej prędkości obrotowej 850 obr/min. i przy dwóch różnych obciążeniach jednostkowych 60 i 45 kg/cm<sup>2</sup>. Na podstawie tych orientacyjnych doświadczeń można było stwierdzić, że brąz na ścieranie przy smarowaniu wodą i na sucho - przy założonych parametrach - wykazał bardzo duże i szybkie zużycie. Próbki z brązu aluminiowego przy ścieraniu na sucho zużywały się w czasie od 10 do 35 sekund. Natomiast inne brązy przy tarcia na sucho zużywały się w czasie około 130 sekund. Podobnie duże zużycie przy ścieraniu na sucho występowało dla lignofolu niesamosmarownego. Natomiast zużycie lignofolu samosmarownego było bardzo małe dla obydwu przypadków ścierania. Na podstawie wstępnych doświadczeń z dalszych badań postanowiono wyeliminować ze ścierania na sucho brąz aluminiowy - BA 1032. Przeprowadzone doświadczenia wstępne pozwoliły również ustalić, że do dalszych badań ścieralności lignofolu i brązu - w zależności od rodzaju smarowania - droga tarcia nie powinna przekraczać 800 m, a obciążenie jednostkowe nie powinno przekraczać 45 kg/cm<sup>2</sup>.

Po przeprowadzeniu analizy doświadczeń wstępnych, do badań w zależności od rodzaju smarowania, postanowiono przyjąć obciążenie jednostkowe:

$$p = 25 \text{ kg/cm}^2,$$

$$p = 45 \text{ kg/cm}^2,$$

Do dalszych badań w zależności od obciążenia i drogi tarcia przy smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim postanowiono przyjąć:

$$p = 20 \text{ kg/cm}^2, \quad p = 30 \text{ kg/cm}^2, \quad p = 40 \text{ kg/cm}^2, \quad p = 60 \text{ kg/cm}^2,$$

$$p = 80 \text{ kg/cm}^2.$$

Natomiast przy ścieraniu próbek ruchem posuwistym postanowiono przyjąć jeden wariant obciążenia.

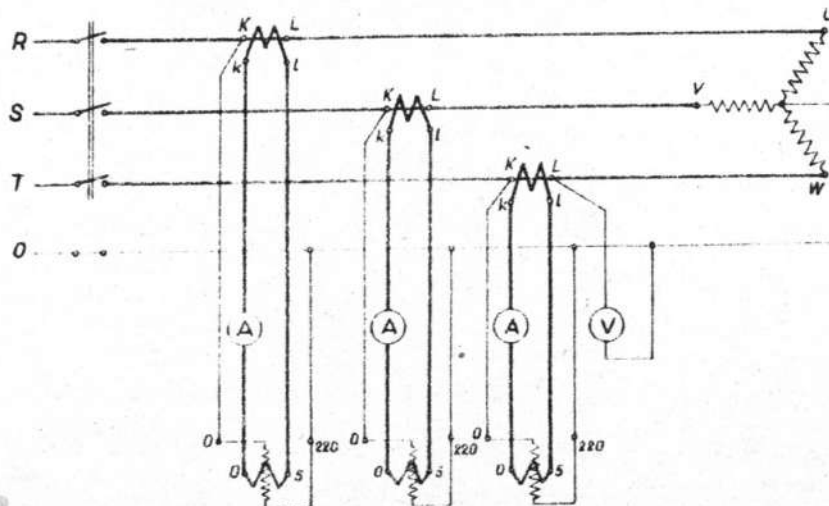
$$p = 25 \text{ kg/cm}^2$$

### 3.7. Dobór metody pomiaru mocy

W celu określenia mocy pobieranej przez silnik elektryczny przy ścieraniu lignofolu i brązu postanowiono użyć trzech watomierzy i trzech amperomierzy włączonych do poszczególnych faz prądu trójfazowego, zgodnie z schematem przedstawionym na rys.2.

Do pomiaru napięcia międzyfazowego zastosowano woltomierz o dokładności odczytu  $\pm 4V$ .

Moc użyteczną na wale silnika elektrycznego, niezbędną do ścierania próbki, postanowiono obliczyć w ten sposób, że od mocy całkowitej - uzyskanej po zsumowaniu wskazań trzech watomierzy odejmowano moc bierną, a uzyskany wynik korygowano z wykresami.



Rys.2. Sposób zainstalowania mierników elektrycznych na poszczególnych fazach prądu zasilającego silnik

### 3.8. Dobór metody pomiaru temperatury

Biorąc pod uwagę fakt, że wywołane tarciem nagrzewanie się nie tylko samej próbki lecz i metalowych elementów ścierających wywiera bardzo duży wpływ na wynik próby ścierania, postanowiono podczas wszystkich doświadczeń mierzyć skrupulatnie temperaturę badanej próbki, uchwytu próbki, elementu ścierającego, czynnika smarującego oraz powietrza otaczającego aparaturę. Do pomiaru temperatury próbki i elementu ścierającego wydawał się być najodpowiedniejszy termistorowy termometr kontaktowy o dokładności odczytu  $1^{\circ}\text{C}$ .

Do wszystkich pozostałych pomiarów temperatury wystarczał zwykły termometr rtęciowy o dokładności odczytu  $1^{\circ}\text{C}$ . Pomiaru temperatury postanowiono przeprowadzać na początku i przy końcu procesu ścierania.

W celu wytworzenia jednakowych warunków procesu tarcia, po każdej przebadanej próbce postanowiono chłodzić wał, uchwyt próbki i czynnik smarujący wodą bieżącą do temperatury około  $18^{\circ}\text{C}$ .

## 4. Opis wykonanych doświadczeń

### 4.1. Wykonanie próbek oraz ich pomiar

#### 4.1.1. Pozyskanie próbek lignofolu

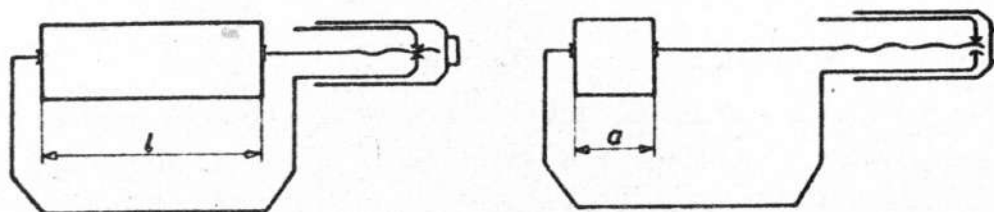
Do badań zastosowano bukowy i brzozy lignofol zwykły i samosmarowny o prostopadłym przebiegu włókien w poszczególnych warstwach. Płyty tego lignofolu o wymiarach  $400 \times 200 \times 50$  mm wyprodukowane były zgodnie z normą RN - 59 ML i PD 04018 przez

Bydgoskie Zakłady Przemysłu Sklejek w Bydgoszczy. Płyty powyższe nacinano frezem tarczowym na głębokość 30 mm, wykonując nacięcia wzdłuż i w poprzek płyty w odstępach 10 mm. Następnie rozcięto płytę wzdłuż jej płaszczyzny na głębokość 20 mm, przez co otrzymano oddzielne próbki o wymiarach 20x10x10 mm.

Pozyskane w ten sposób próbki szlifowano papierem ściernym nr 0 aż do uzyskania gładkości odpowiadającej klasie 7 i 8 - w myśl normy PN - 59/N - 4250 - 4255. Oszlifowane próbki klimatyzowano w powietrzu o temperaturze 20°C i o względnej wilgotności 35%, aż do uzyskania przez nie równomiernie rozmieszczonej wilgotności 6 .... 7%. W ten sposób przygotowane próbki poddano pomiarom wagowym i metrycznym. Pomiar wagowy wykonano na wadze analitycznej o nośności do 300 G i dokładności  $\pm 0,02$ mg. W związku z tym przy pomiarze wagowym  $\pm 0,04$  mg uzyskano dokładność pomiarów dla ubytku masy próbki średnio od 28 do 1300 mg wg obliczenia:

$$\frac{0,04 \cdot 100}{28} \quad \text{do} \quad \frac{0,04 \cdot 100}{1300} = 0,13\% \text{ do } 0,003\%$$

Natomiast pomiar metryczny próbki wykonano śrubą mikrometryczną o zakresie od 0 do 25 mm i błędzie pomiarowym wynoszącym około  $\pm 2$  mikronów. Schemat dokonanych pomiarów przedstawiono na rys.3. Błąd pomiaru metrycznego obliczono w analogiczny sposób, jak przy pomiarze wagowym, który wynosił od 0,7% do 0,21%.

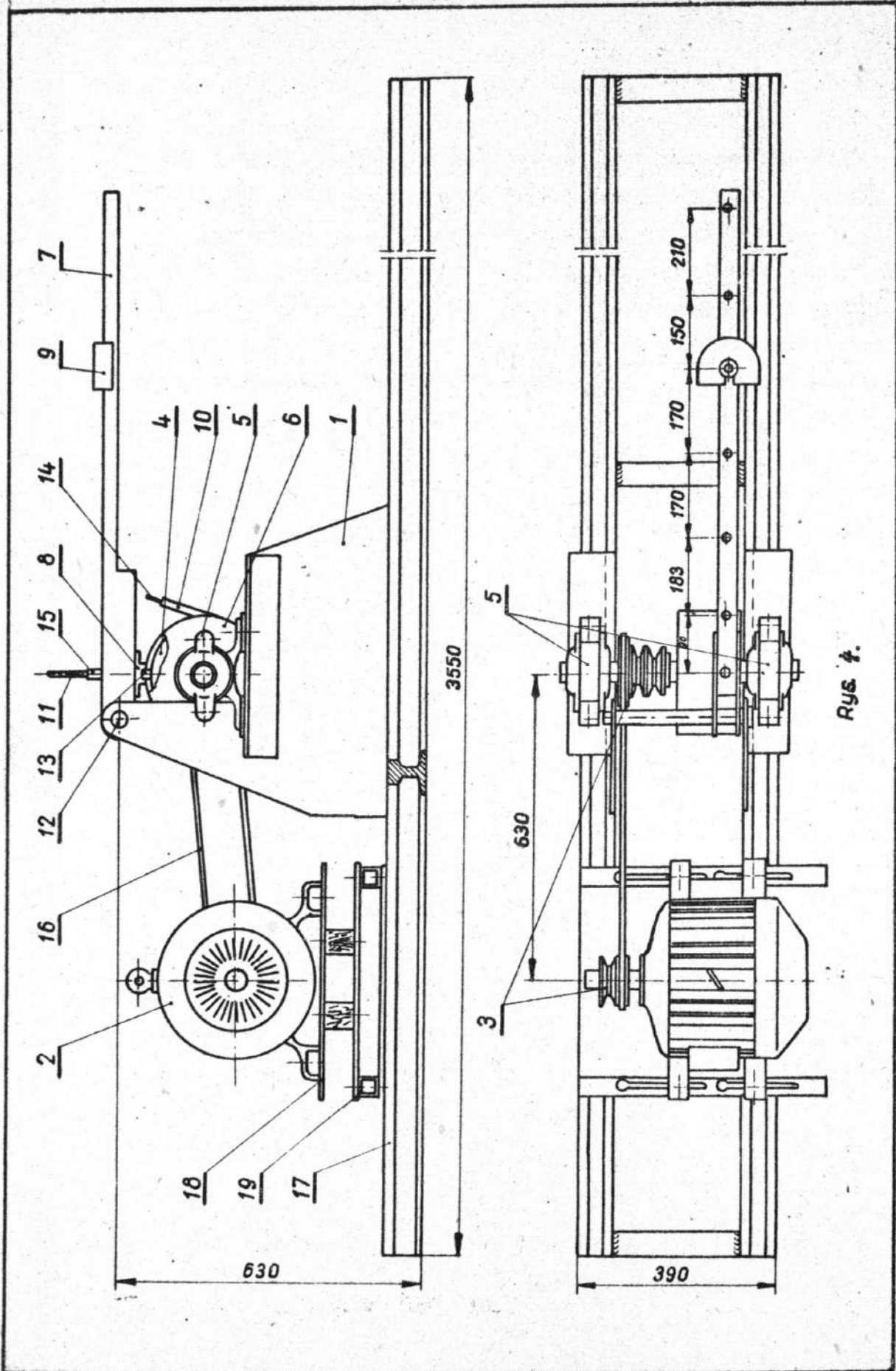


Rys.3. Sposób pomiaru próbek śrubą mikrometryczną

#### 4.1.2. Pozyskanie próbek brązu

Do badań na ścieranie zastosowano brązy odlewnicze BA 1032, BA 1044 B, B 663 i B 101. Pręty tego brązu o wymiarach 350x12 x12 mm zostały odlane w Wielkopolskiej Fabryce Urządzeń Mechanicznych w Poznaniu z "gąsek" wyprodukowanych w hucie zgodnie z normą PN/H - 87050. Odlane w ten sposób pręty frezowano frezem walcowym na wymiar 10x10 mm, a następnie cięto frezem tarczowym poprzecznie na długość 20 mm. Otrzymane w ten sposób próbki o wymiarach 20x10x10 mm szlifowano papierem ściernym nr 0 aż do uzyskania gładkości odpowiadającej klasie 7 i 8 - w myśl normy PN - 58/N - 4250 - 4255. Tak przygotowane próbki poddano pomiarom wagowym i metrycznym w taki sam sposób, jak próbki lignofolu.

Przygotowane w ten sposób próbki lignofolu i brązu poddano badaniom ścieralności na dwóch prototypowych urządzeniach, zaprojektowanych przez autora i wykonanych w warsztatach Politechniki Poznańskiej. Opisy tych dwóch urządzeń podane są w rozdziale następnym.



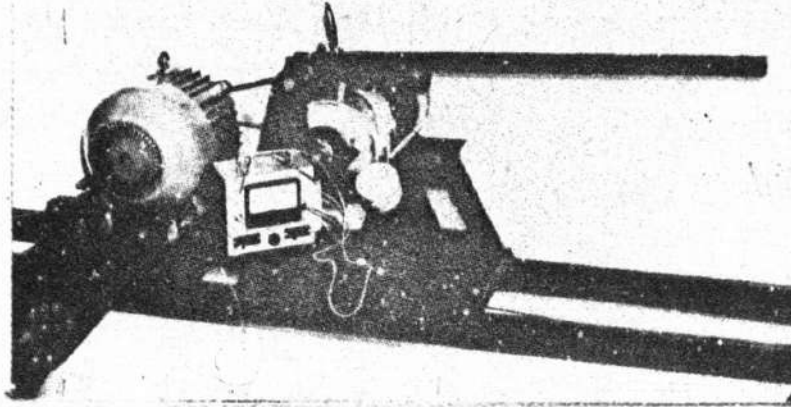
Rys. 4.

Rys.4. Stanowisko do badań ścieralności próbek ruchem obrotowym  
1 - korpus, 2 - silnik elektryczny, 3 - przekładnie pasowe,  
4 - wał, 5 - łożyska wału, 6 - obudowa wału, 7 - dźwignia,  
8 - uchwyt próbki, 9 - ciężar obciążający próbkę, 10 - rurka  
z wodą, 11 - termometr, 12 - sworzeń dźwigni, 13 - próbka,  
14 - termometr, 15 - rurka z wodą, 16 - pas klinowy, 17 - szyn-  
ny /podstawa urządzenia/, 18 - podstawa silnika, 19 - sanki  
przesuwne

#### 4.2. Opis urządzenia zastosowanego do badania ścieralności próbek ruchem obrotowym

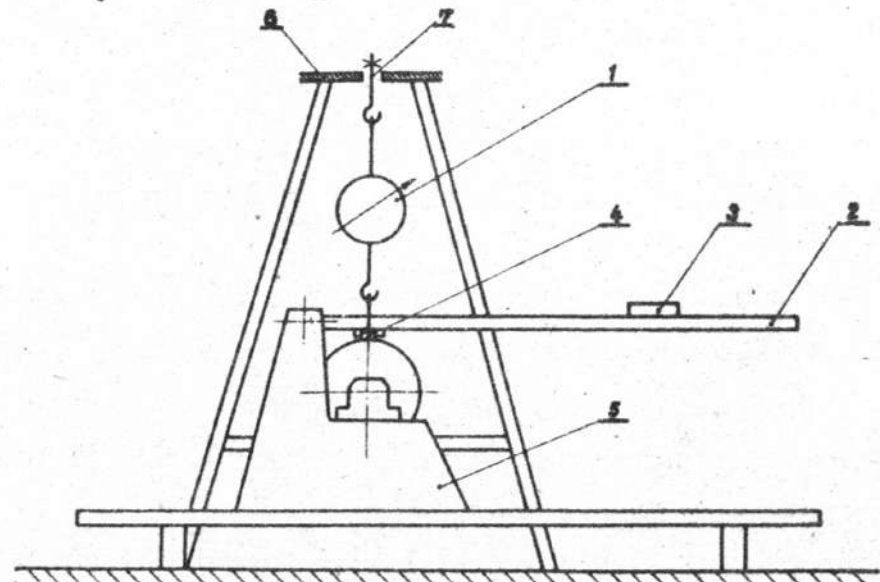
Urządzenia przeznaczone do badania ścieralności próbek  
ruchem obrotowym przedstawiono na rys. 4, 5. W skład jego  
wchodzi następujące, zasadnicze części składowe:

1. Wykonana z szyn /17/ i płyt /1/ stalowych rama, stanowiąca podstawę urządzenia.
2. Silnik elektryczny /2/ o ilości obrotów 1440 obr/min. zamocowany na sankach przesuwnych /18/ i /19/.
3. Zespół kół pasów klinowych /3/, umożliwiających przenoszenie i zmianę prędkości obrotowej z silnika na wał w granicach od 1:6 do 1:1,3.
4. Wał ścierający próbkę /4/ z osłoną /6/, łożyskowany na łożyskach wahlowych /5/.
5. Dźwignia /7/ z przesuwym ciężarem /9/ obciążającym ścieraną próbkę i z uchwytem /8/ przeznaczonym do zamocowania próbki.
6. Termometry rtęciowe /11/ i /14/ służące do mierzenia temperatury uchwytu próbki i czynnika smarującego.



Rys. 5. Widok urządzenia do ścierania ruchem obrotowym z ustawionymi termometrami termistorowymi do mierzenia temperatur

Dźwignię /7/ przedstawioną na rys.4 obciążającą próbkę wyskalowano przy pomocy dynamometru o zakresie od 0 do 150 kg. Sposób skalowania dźwigni przedstawiono na rys. 6. Dynamometr /1/, jak wynika z rys. 6 jest zamocowany jednym końcem na stojaku /6/, drugim zaś na dźwigni w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś symetrii wału. W momencie doprowadzenia do styku próbki z wałem przy pomocy śruby /7/, dynamometr wskazywał właściwe, żądane obciążenie. Stopniowe przesuwanie ciężaru po dźwigni umożliwiło jej wyskalowanie.



Rys.6. 1-dynamometr, 2-dźwignia, 3-obciążenie próbki, 4-uchwyt z próbką, 5-szyny urządzenia ścierającego, 6-stojak z płytą, 7-śruba z hakiem, na której umocowano dynamometr

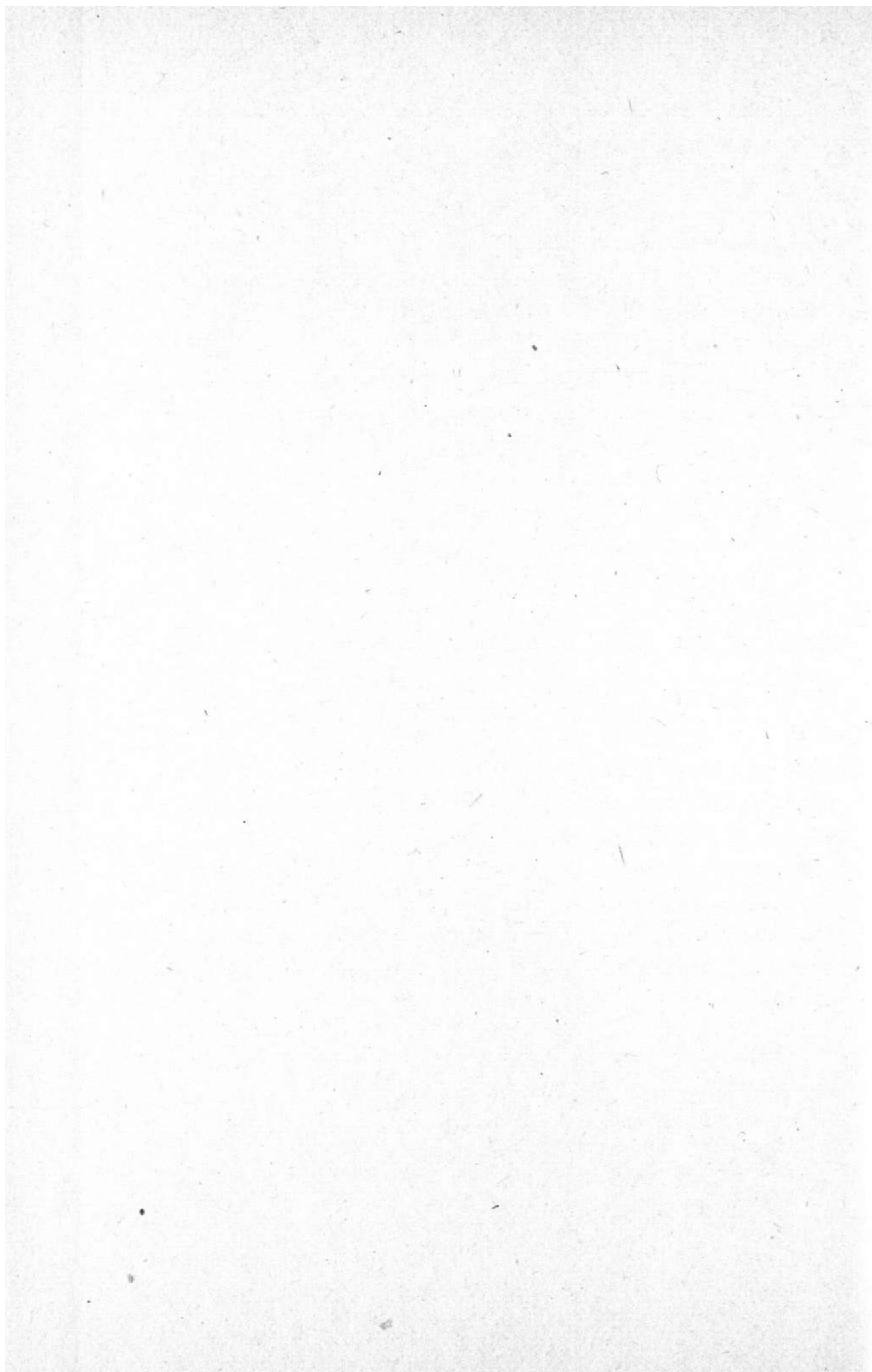


#### 4.3. Opis urządzenia zastosowanego do badania ścieralności próbek ruchem posuwistym

Urządzenie przeznaczone do badania ścieralności próbek ruchem posuwistym przedstawiono na rys. 7, 8 i 9. W skład tego urządzenia wchodziły następujące, zasadnicze części składowe:

1. Wykonana z kątowników stalowych rama /1/, stanowiąca podstawę urządzenia.
2. Silnik elektryczny /13/ o ilości obrotów 1410 obr/min.
3. Zespół kół pasowych /12/ umożliwiający przenoszenie ruchu obrotowego z silnika na wał korbowy /16/, zapewniający przełożenia w granicach:  
od 1:45 do 1:10
4. Wał korbowy /16/ z korbą /11/ poprzez korbówód /10/ zamieniający ruch obrotowy na ruch posuwisty głowicy /5/ o skoku 400 mm.
5. Uchwyt próbki /8/ umieszczony suwliwie w głowicy /5/ urządzenia.

Rys.7. Stanowisko do ścierania próbek przy ruchu posuwistym  
1-konstrukcja nośna, 2-prowadzenie uchwytu, 3-łożyska, 4-drażek uchwytu próbki, 5-głowica suwaka, 6-belki prowadzące, 7-płyta mocująca obciążenie próbki, 8-uchwyt próbki, 9-wymieniana płyta, na której są ścierane próbki, 10-korbówód, 11-korba, 12-przekładnia pasowa, 13-silnik elektryczny, 14-płyty nośne urządzenia, 15-łożyska, 16-oś korby, 17-cięgna mocujące płytę obciążenia



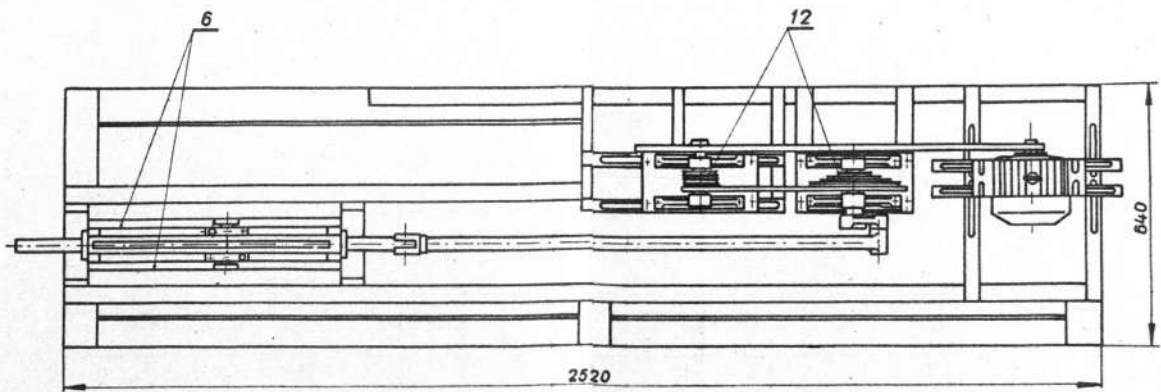
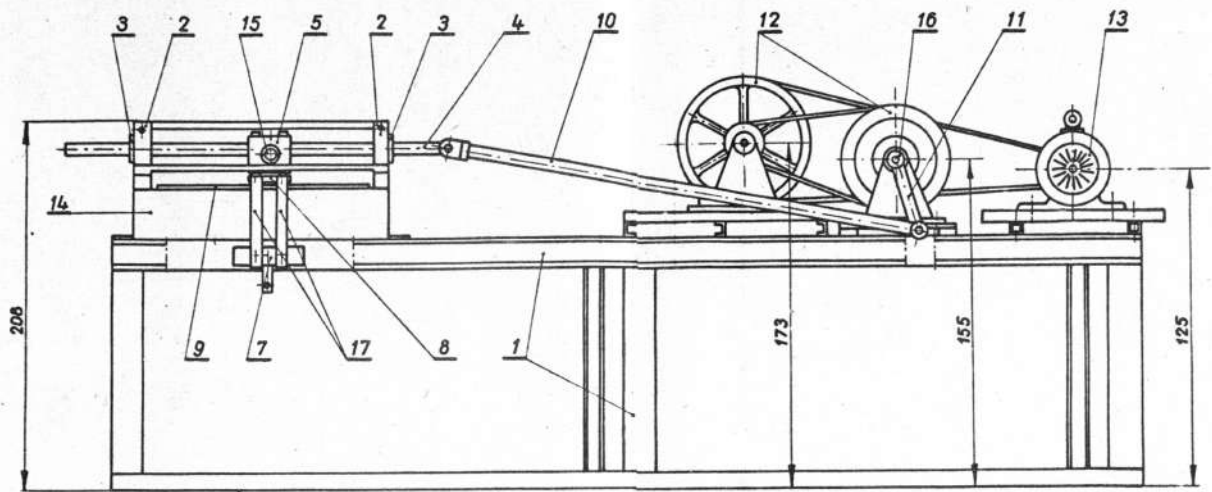
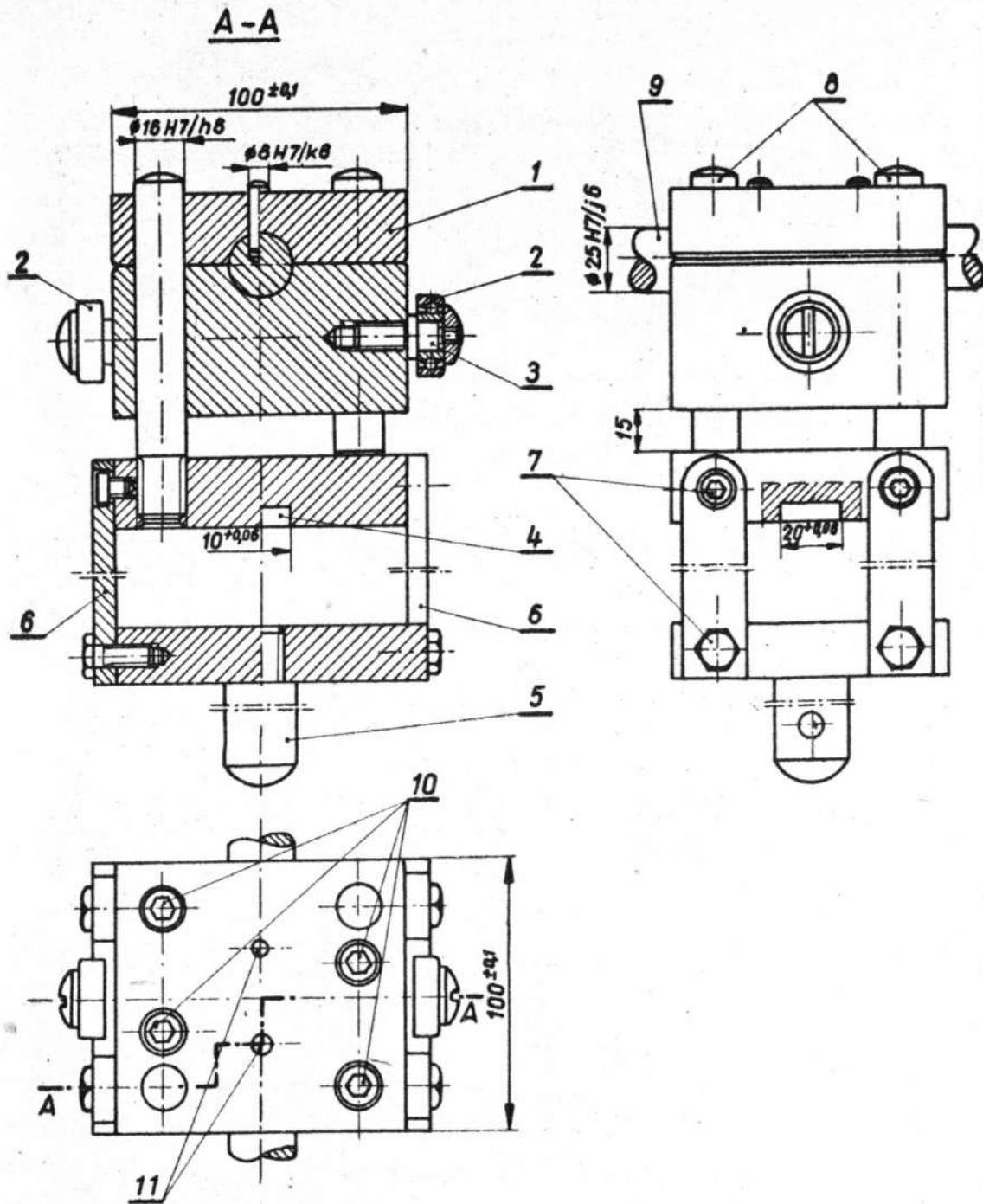
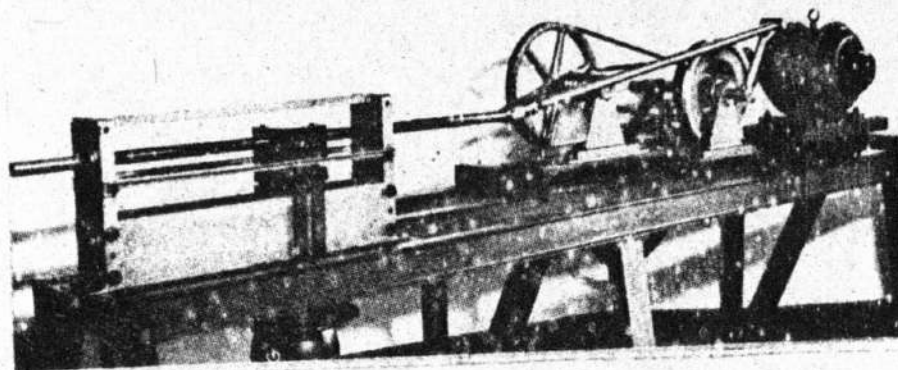


Рис. 7.





Rys.8. 1-głowica, 2-łożyska prowadzące, 3-os łożysk, 4-uchwyt próbki, 5-uchwyt mocujący obciążenie próbki, 6-ciągna, na których umocowana jest płyta z obciążeniem próbki, 7-wkręty ciąglen, 8-trzpienie prowadzące uchwyt próbki, 9-drażek uchwytu i napędu głowicy, 10-wkręty imbusowe mocujące drażek, 11-kołki ustalające głowicę na drażku.



Rys.9. Ogólny widok urządzenia do ścierania próbek ruchem posuwistym

#### 4.4. Opis doświadczeń wykonanych na urządzeniu o ruchu obrotowym

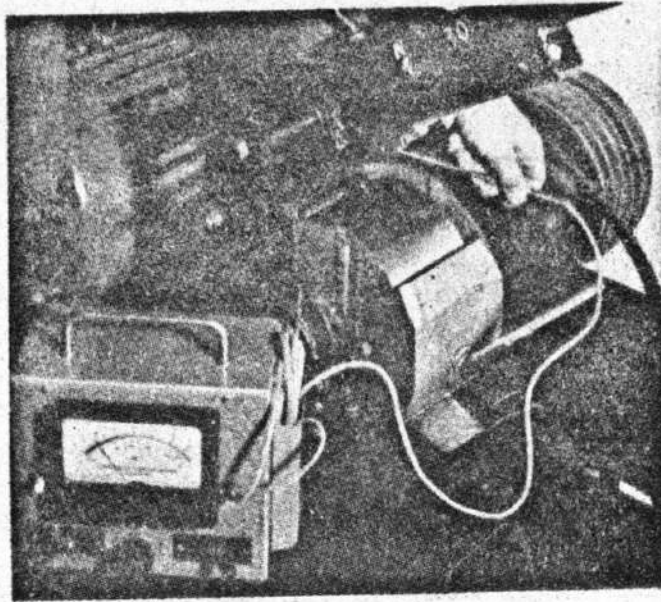
Przed przystąpieniem do ścierania próbek ruchem obrotowym na urządzeniu przedstawionym na rys. 5, 5 wykonano następujące czynności:

1. Odczytanie na termometrach rtęciowych temperatury otoczenia i czynnika smarującego.
2. Odczytanie na hygrometrze włosowym względnej wilgotności powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie urządzenia.
3. Uruchomienie silnika i odczytanie na miernikach elektrycznych mocy pobieranej przez silnik przy ruchu jałowym.
4. Zmierzenie obrotomierzem prędkości obrotowej silnika i wału.

Po wykonaniu opisanych wyżej czynności, mocowano próbkę badanego materiału w uchwycie /8/ przedstawionym na rys.4 przy podniesionej dźwigni /7/, następnie opuszczono dźwignię z próbką do zetknięcia się jej z powierzchnią wału ściernego. W chwili tej uruchomiono zegar przeznaczony do pomiaru czasu ścierania, który dla poszczególnych doświadczeń wahał się w granicach od 92 sekund do 25 godzin. Podczas procesu ścierania próbki w pewnych odstępach czasu, przystosowanych do czasu trwania poszczególnych doświadczeń, mierzono moc pobieraną przez silnik elektryczny oraz prędkość obrotową silnika i wału ściernego.

Pomiaru mocy dokonano przy użyciu walizki monterskiej typu VAW - M 2. Odczytaną w ten sposób moc całkowitą pobraną przez silnik elektryczny, korygowano na podstawie wykresów, skąd odczytano użyteczną moc na wale silnika, niezbędną do ścierania próbki.

Pomiaru temperatury uchwytu próbki i czynnika smarującego dokonywano na początku i przy końcu procesu ścierania termometrami rtęciowymi o zakresie pomiarowym od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $150^{\circ}\text{C}$ , umieszczonymi w rurkach /10/ i /15/ przedstawionymi na rys. 4, wypełnionymi rtęcią w celu lepszego przewodzenia ciepła. Natomiast pomiaru temperatury próbki i wału dokonywano termometrem termistorowym - kontaktowym, przedstawionym na rys. 10 o zakresie pomiarowym od  $0^{\circ}$  do  $200^{\circ}\text{C}$ . Po przebyciu zaplanowanej drogi tarcia zatrzymywano silnik, wyjmowano próbkę z uchwytu oraz oczyszczono ją tamponem umocnionym w benzynie ekstrakcyjnej. Pomiar wagowy i metryczny wykonywano natychmiast po wyczyszczeniu próbki w sposób taki sam, jak przed badaniem. Po zakończeniu doświadczenia chłodzono wodą zarówno wał, jak i uchwyt próbki, tak aby temperatura ich w chwili rozpoczęcia następnego doświadczenia wynosiła  $18^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 10. Pomiar temperatury próbki przez dotyk końcówką termometru termistorowego

Po każdej ścieranej próbce oczyszczono wał aż do uzyskania pierwotnej gładkości powierzchni. Powierzchnię wału oczyszczono papierem ściernym nr 0, umieszczonym na płaskowniku, który był dociskany do jego powierzchni.

#### 4.5. Opis doświadczeń wykonanych na urządzeniu o ruchu posuwistym

Przed przystąpieniem do ścierania próbki ruchem posuwistym na urządzeniu przedstawionym na rys. 7 i 8 wykonano te same wstępne czynności, jak przed przystąpieniem do ścierania ruchem obrotowym. Po ich wykonaniu mocowano próbkę narazie w uniesionym uchwycie /8/ przedstawionym na rys. 7 i /4/ rys.9.



Po opuszczeniu uchwytu z próbką uruchomiono silnik elektryczny i rozpoczęto mierzyć czas ścierania próbki.

Temperaturę płyty ścierającej, uchwytu próbki, czynnika smarującego oraz samej próbki mierzono termometrami termistorowymi - kontaktowymi o zakresie 0°C do 200°C. Ilość suwów przypadająca na 1 minutę była stała podczas całego procesu ścierania, podobnie jak to miało miejsce z prędkością obrotową do ruchu obrotowego.

## 5. Wyniki badań

Ponieważ wyniki otrzymane przy przeprowadzonym w niniejszej pracy, 6-cio krotnym powtórzeniu każdego doświadczenia, różniły się między sobą tylko w sposób nieistotny, przeto zrezygnowano - dla zaoszczędzenia miejsca - z ich podawania a ograniczono się do przedstawienia wartości średnich dla tych sześciu powtórzeń.

Skomasowane w ten sposób wyniki z 1450 doświadczeń zestawiono w tabelach 2 do 11 oraz zilustrowano na rycinach 1 do 34. Na rycinach tych pominięto te wszystkie przypadki, w których badana próbka uległa zniszczeniu przed ukończeniem zaplanowanego doświadczenia. Brak na wykresie pewnego wariantu badań oznacza więc, że próbka przy danym wariancie wykazała zużycie 100%.

Z uwagi na zasadnicze różnice, jakie występują przy ścieraniu materiału ruchem obrotowym i posuwistym postanowiono wyniki badań uzyskane przy zastosowaniu tych dwóch zasadniczych sposobów ścierania omówić oddzielnie.

L.p.	Rodzaj materiału ściernego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy - próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
					próbki	uchwyty próbki	watu	czynnika smarującego	otoczenia	
					°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Lignofol bukowy	olej wrzecionowy	0,0015	270	28	27	29	30	20	
2		woda	0,0070	270	30	27	30	30	22	
3		na sucho	0,0180	550	32	29	37	-	21	
4	Lignofol brzoźowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0020	275	28	27	30	30	20	
5		woda	0,0080	275	30	28	32	30	19	
6		na sucho	0,0210	550	31	29	39	-	21	
7	Lignofol bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0034	240	32	23	28	28	19	
8		woda	0,1851	350	25	22	25	23	16	
9		na sucho	0,5230	1100	34	24	35	-	19	
10	Lignofol brzoźowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0040	300	28	21	23	26	22	
11		woda	0,2036	377	26	23	26	25	24	
12		na sucho	0,6388	1322	54	26	35	-	20	
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0135	223	31	29	30	30	24	
14		woda	2,9526	777	36	33	34	39	17	
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0147	233	41	40	30	25	16	
16		woda	4,4129	1020	36	32	33	26	17	
17		na sucho	31,8980	1327	173	133	35	-	15	
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0170	212	34	34	27	26	18	
19		woda	2,8502	500	27	26	27	22	16	
20		na sucho	9,5570	552	103	61	33	-	19	
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0150	328	37	34	38	28	18	
22		woda	2,1240	1005	29	27	29	22	16	
23		na sucho	7,8570	1055	107	70	36	-	18	

Stale:

Obciążenie  $p = 25 \text{ kg/cm}^2$

Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$

Droga tarcia 796 m

L.P.	Rodzaj materiału ścieranego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
					próbki	uchwyty próbki	watu	czynnik smarującego	otoczenia	
					°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Lignofol bukowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0039	450	31	30	35	30	20	
2		woda	0,0120	450	31	31	35	30	21	
3		na sucho	0,0220	650	32	28	36	-	25	
4	Lignofol brzoźowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0045	450	32	29	32	30	18	
5		woda	0,0140	450	32	30	33	30	19	
6		na sucho	0,0260	655	33	28	36	-	24	
7	Lignofol bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0090	377	37	23	35	26	20	
8		woda	0,3550	420	29	23	27	23	14	
9		na sucho	0,7240	2213	40	24	38	-	18	
10	Lignofol brzoźowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0070	350	35	24	32	26	19	
11		woda	0,4001	403	28	24	26	25	16	
12		na sucho	0,8074	2275	56	26	41	-	17	
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0209	350	38	35	39	30	21	
14		woda	8,9725	1777	40	41	40	39	25	
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0240	405	42	39	41	25	19	
16		woda	12,1040	1965	41	34	35	26	16	
17		na sucho	41,5770	2110	147	130	38	-	20	
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0269	338	48	44	43	26	19	
19		woda	3,1850	877	31	28	30	22	21	
20		na sucho	16,4230	1105	103	95	46	-	15	
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0222	548	53	35	38	30	12	
22		woda	3,0460	1252	34	31	35	28	14	
23		na sucho	12,3970	1373	157	128	41	-	13	

State:

Obciążenie  $p = 4,5 \text{ kg/cm}^2$ Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$ 

Droga tarcia 796 m

Lp.	Rodzaj materiału ścieranego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi		
					%	W	próbki	uchwyty próbki	watu		czynnik smarującego	otoczenia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Lignofol bukowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0017	285	32	30	36	30	22			
2		woda	0,0074	285	28	27	30	30	21			
3		na sucho	0,0182	730	33	29	38	-	25			
4	Lignofol brzoazowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0024	280	32	30	35	30	23			
5		woda	0,0086	280	28	27	31	30	22			
6		na sucho	0,0235	733	33	30	37	-	26			
7	Lignofol bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0035	300	36	27	37	38	14			
8		woda	0,1920	320	28	25	32	23	15			
9		na sucho	1,7070	1662	38	29	35	-	13			
10	Lignofol brzoazowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0050	400	35	26	34	26	22			
11		woda	0,2481	440	28	25	30	25	23			
12		na sucho	1,8740	1570	37	26	35	-	24			
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0153	223	37	35	40	30	21			
14		woda	4,7660	1457	38	36	39	39	26			
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0153	405	42	35	36	25	13			
16		woda	6,2530	1565	36	34	39	26	15			
17		na sucho	41,7680	1776	163	125	41	-	13			
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0223	217	38	37	37	30	14			
19		woda	3,0330	465	29	31	28	28	15			
20		na sucho	11,0270	998	145	74	33	-	13			
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0160	512	37	36	35	30	18			
22		woda	3,2615	1062	38	35	36	28	17			
23		na sucho	8,3170	1122	133	82	34	-	19			

Staż:

Obciążenie  $p = 25 \text{ kg/cm}^2$

Prędkość obrotowa  $n = 650 \text{ obr/min}$

Droga tarcia 796 m

L.p.	Rodzaj materiału ścieranego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
					próbki	uchwyty próbki	watu	czynnika smarującego	otoczenia	
					°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Lignofol bukowy	olej wrzecionowy	0,0043	450	34	31	40	30	23	
2		woda	0,0129	450	30	27	30	30	22	
3		na sucho	0,0260	950	35	27	39	-	20	
4	Lignofol brzoźowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0048	450	35	34	41	30	25	
5		woda	0,0145	450	28	28	29	30	22	
6		na sucho	0,0285	955	36	32	42	-	19	
7	Lignofol bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0100	552	37	26	37	26	23	
8		woda	0,3700	577	24	21	25	23	17	
9		na sucho	30,3100	3228	50	29	38	-	19	
10	Lignofol brzoźowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0148	475	38	25	35	26	24	
11		woda	0,4166	528	25	23	23	25	20	
12		na sucho	31,5550	3200	34	28	42	-	23	
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0254	400	39	36	41	30	21	
14		woda	16,8650	2527	44	37	39	39	25	
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0300	728	45	44	41	25	19	
16		woda	15,6600	2310	42	43	39	26	15	
17		na sucho	41,4070	2882	152	91	34	-	19	
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0415	325	41	42	40	30	18	
19		woda	3,7700	877	30	26	27	28	14	
20		na sucho	19,3410	1505	141	103	34	-	18	
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0247	603	37	41	45	30	19	
22		woda	6,6615	1300	34	32	35	28	14	
23		na sucho	12,5960	1415	102	80	45	-	16	

State:  
 Obciążenie  $p = 45 \text{ kg/cm}^2$   
 Prędkość obrotowa  $n = 650 \text{ obr/min}$   
 Droga tarcia 796 m

L.p.	Rodzaj materiału ściernego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
					próbki	uchwyty próbki	watu	czynnika smarującego	otoczenia	
					°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Lignofol bukowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0022	335	31	30	31	30	22	
2		woda	0,0078	335	35	32	39	30	19	
3		na sucho	0,0185	950	35	30	41	-	23	
4	Lignofol brzoźowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0030	337	30	29	30	30	19	
5		woda	0,0093	337	35	33	39	30	17	
6		na sucho	0,0244	930	35	30	42	-	21	
7	Lignofol bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0039	312	31	24	32	28	19	
8		woda	0,2590	327	26	24	25	23	16	
9		na sucho	4,8880	2255	70	29	39	-	18	
10	Lignofol brzoźowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0111	420	33	24	35	26	14	
11		woda	0,3037	470	28	23	27	25	16	
12		na sucho	5,1722	2075	62	25	37	-	21	
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0182	245	44	42	37	30	23	
14		woda	5,8670	1850	44	38	43	39	26	
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0220	455	44	31	35	25	17	
16		woda	4,4708	1810	40	33	36	26	16	
17		na sucho	36,6390	2075	170	140	31	-	13	
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0152	229	43	35	35	30	19	
19		woda	3,3280	425	27	26	25	28	14	
20		na sucho	11,9870	1425	150	109	43	-	19	
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0178	550	35	33	35	30	18	
22		woda	6,0030	1115	41	35	34	28	17	
23		na sucho	8,9550	1160	102	71	42	-	16	

State:

Obciążenie  $p = 25 \text{ kg/cm}^2$

Prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$

Droga tarcia 796 m

L.p.	Rodzaj materiału ścieranego	Rodzaj smarowania	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi		
					%	W	próbki	uchwyty próbki	watu		czynnik smarującego	otoczenia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Lignofal bukowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0045	580	37	34	37	30	16			
2		woda	0,0135	580	36	33	39	30	19			
3		na sucho	0,0290	1380	37	36	44	-	21			
4	Lignofal brzoźowy samosmarowny	olej wrzecionowy	0,0051	580	35	30	38	30	17			
5		woda	0,0153	580	36	33	39	30	23			
6		na sucho	0,0310	1382	34	36	43	-	24			
7	Lignofal bukowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0110	550	30	26	29	28	13			
8		woda	0,4105	577	30	26	30	23	13			
9		na sucho	39,5000	3888	55	29	35	-	19			
10	Lignofal brzoźowy niesamo-smarowny	olej wrzecionowy	0,0185	530	28	20	23	26	16			
11		woda	0,4962	580	32	33	34	25	24			
12		na sucho	44,6100	3900	74	29	47	-	21			
13	BA 1032	olej wrzecionowy	0,0420	430	44	43	49	30	26			
14		woda	26,1300	3905	100	56	51	39	23			
15	BA 1044 B	olej wrzecionowy	0,0491	1225	46	42	47	27	12			
16		woda	21,2730	2710	45	46	42	28	15			
17		na sucho	43,7850	3310	173	122	28	-	14			
18	B 663	olej wrzecionowy	0,0389	350	45	43	33	30	19			
19		woda	4,1760	880	33	32	35	28	13			
20		na sucho	21,4470	2275	160	135	29	-	14			
21	B 101	olej wrzecionowy	0,0263	735	38	35	31	30	16			
22		woda	14,9610	2005	49	43	44	28	12			
23		na sucho	19,2250	2645	155	110	45	-	16			

Stać:

Obciążenie  $p = 45 \text{ kg/cm}^2$

Prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$

Droga tarcia  $796 \text{ m}$

L.p.	Rodzaj materiału ściernego	Prędkość obrotowa wata	Obciążenie	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
						próbki	uchwyty próbki	watu	czynnika smarującego	otoczenia	
						°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Lignofol bukowy somosmarowny	450	20	0,0013	220	26	26	30	25	18	
2			30	0,0018	282	32	30	35	28	21	
3			40	0,0037	350	33	32	40	32	23	
4			60	0,0099	525	38	36	46	38	18	
5			80	0,0153	658	42	40	50	42	19	
6		650	20	0,0019	280	27	24	29	25	17	
7			30	0,0023	375	31	26	33	28	18	
8			40	0,0042	480	34	27	37	31	17	
9			60	0,0110	721	41	32	46	37	13	
10			80	0,0190	950	44	35	49	40	12	
11	Lignofol bukowy niesomosmarowny	450	20	0,0031	261	29	27	31	26	15	
12			30	0,0037	309	33	30	36	30	16	
13			40	0,0075	405	36	32	40	33	14	
14			60	0,0160	588	40	37	47	39	17	
15			80	0,0222	736	42	41	52	44	18	
16		850	20	0,0033	298	28	25	30	26	13	
17			30	0,0040	405	32	27	34	29	14	
18			40	0,0099	522	37	29	39	32	18	
19			60	0,0154	780	44	34	47	38	15	
20			80	0,0275	1005	47	37	50	41	11	

Stoła:

Druga tarcia S = 796 m



L.p.	Rodzaj materiału ściernego	Prędkość obrotowa wrotu	Obciążenie	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
						próbki	uchwyty	wrotu	czynnika smarującego	obciążenia	
						°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Brąz BA 1032	450	20	0,0118	227	31	32	34	27	21	
2			30	0,0161	257	35	36	39	31	20	
3			40	0,0222	325	39	38	43	35	19	
4			60	0,0380	445	45	40	49	40	17	
5			80	0,0582	550	44	42	53	45	18	
6		850	20	0,0170	236	32	29	33	29	14	
7			30	0,0232	280	33	31	38	31	13	
8			40	0,0323	388	37	33	41	34	15	
9			60	0,0498	580	41	36	47	39	13	
10			80	0,0721	753	44	40	52	42	18	
11	Brąz B 663	450	20	0,0098	215	30	29	32	26	14	
12			30	0,0145	250	34	33	37	30	17	
13			40	0,0182	315	37	35	41	34	18	
14			60	0,0341	400	41	39	48	39	13	
15			80	0,0563	505	43	42	52	44	16	
16		850	20	0,0151	215	29	28	32	27	12	
17			30	0,0213	275	34	30	36	30	16	
18			40	0,0301	345	38	32	40	33	18	
19			60	0,0480	506	46	36	48	39	17	
20			80	0,0699	663	47	39	51	42	12	

State:

Droga tarcia S = 796 m

Lp.	Rodzaj materiału ściernego	Czas ścierania	Droga tarcia	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
						próbki	uchwyty próbki	watu	czynnika smarującego	otoczenia	
						°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Lignofol bukowy samosmarowny	20	174	0,0000	947	25	21	22	22	19	
2		50	435	0,0100	950	29	24	25	23	20	
3		100	870	0,0420	952	33	25	31	24	18	
4		200	1740	0,2080	962	37	28	37	31	15	
5		400	3480	0,7360	972	48	36	54	41	18	
6		600	5220	1,7512	979	54	39	61	46	17	
7		800	6960	3,6198	984	59	41	67	51	16	
8		1000	8700	7,5320	998	64	43	73	57	21	
9	Lignofol bukowy niesamosmarowny	20	174	0,0000	980	26	23	24	23	16	
10		50	435	0,0166	990	31	25	27	24	17	
11		100	870	0,1111	993	33	26	33	26	19	
12		200	1740	0,2333	994	38	30	39	32	18	
13		400	3480	0,7518	998	49	37	56	43	17	
14		600	5220	1,9811	1004	55	38	62	49	14	
15		800	6960	3,9781	1007	59	40	68	54	18	
16		1000	8700	7,6740	1016	65	41	77	61	20	
17	Brz BA 1032	20	174	0,0033	750	29	27	26	26	21	
18		50	435	0,0087	760	32	29	27	28	20	
19		100	870	0,0204	860	36	33	30	31	18	
20		200	1740	1,1283	1160	53	50	44	38	19	
21		400	3480	5,1100	2010	73	69	80	52	17	
22		600	5220	8,9640	2410	85	77	91	58	15	
23		800	6960	8,5122	2810	102	83	104	63	16	
24		1000	8700	10,7480	3210	113	88	114	70	20	
25	Brz B 663	20	174	0,0063	650	29	25	25	24	19	
26		50	435	0,0188	660	31	27	26	27	17	
27		100	870	0,0229	672	34	31	29	29	15	
28		200	1740	0,5094	885	47	46	42	35	18	
29		400	3480	4,2100	1615	66	63	66	47	20	
30		600	5220	6,1240	1850	72	67	72	54	18	
31		800	6960	7,1082	2020	78	70	81	58	17	
32		1000	8700	8,5264	2285	84	75	87	61	15	

Stale:  
obciążenie  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$   
prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$

Lp.	Rodzaj materiału ściernego	Czas ścierania	Droga tarcia	Ubytek objętościowy próbki	Moc efektywna zużyta na ścieranie	Max. temperatura					Uwagi
						próbki	uchwyty próbki	płyty	czynnika smarowania	otoczenia	
						°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Lignofol bukowy samosmarowny	2,0	3168	0,0008	120	25	23	24	20	14	
2		4,5	7128	0,0070	127	25	23	25	21	13	
3		10,0	15840	0,0121	131	28	25	27	21	17	
4		18,0	28512	0,0458	137	30	27	39	22	16	
5		25,0	39600	0,0820	143	33	29	31	24	17	
6	BA 1032	2,0	3168	0,0350	115	31	28	30	23	16	
7		4,5	7128	0,0958	118	34	32	33	24	15	
8		10,0	15840	0,2000	126	36	35	35	25	13	
9		18,0	28512	0,3444	145	38	36	37	27	12	
10		25,0	39600	0,4801	160	40	38	39	28	14	

Stać:

Częstotliwość suwów  $v = 66$  suwów/min

Obciążenie  $p = 25$  kg/cm<sup>2</sup>

Tabela 11

Zużycie ściernego lignofolu i brązu w zależności od drogi tarcia.

Ilość suwów  $w = 66$  suw/min.,

- smarowanie olejem wrzecionowym ciężkim,

- obciążenie jednostkowe  $p = 25$  kg/cm<sup>2</sup>.

W tabeli podano wartości średnie dla 6 powtórzeń.

### 5.1. Wyniki badań uzyskane przy ścieraniu ruchem obrotowym

Wyniki tej pierwszej części badań zestawione są w tabelach 2 do 10, które udzielają odpowiedzi na 3 następujące pytania:

1. Jaki był procentowy ubytek pierwotnej objętości próbki zaobserwowany po zakończeniu próby ścierania?
2. Jaka była moc pobrana przez silnik podczas całej próby ścierania?
3. Jaka była maksymalna temperatura próbki, uchwytu próbki, wału, czynnika smarującego i powietrza otaczającego urządzenie, zaobserwowana podczas próby ścierania?

Wymienione wyżej tabele można podzielić na 3 zasadnicze grupy:

Grupę I tworzą tabele 2 do 7, w których

a/ głównym czynnikiem zmienianym jest sposób smarowania próbki /olejem, wodą, "na sucho"/,

b/ ubocznymi czynnikiemmi zmienianymi są:

- jednostkowe obciążenie próbki /25 i 45 kg/cm<sup>2</sup>/,
- prędkość obrotowa wału ścierającego /450, 650, 850 obr/min.

Grupę II tworzą tabele 8 do 9, w których

a/ głównym czynnikiem zmienianym jest:

- jednostkowe obciążenie próbki /20, 30, 40, 60 i 80 kg/cm<sup>2</sup>/,

b/ ubocznym czynnikiem zmienianym jest:

- prędkość obrotowa wału ścierającego /450, 850 obr/min/

Grupę III tworzy tabela 10, w której głównym czynnikiem zmienianym jest droga tarcia /174, 435, 870, 1740, 3480, 5220, 6960

i 8700 m/, równoznaczna z czasem trwania próby.

Wykresy, które ilustrują materiał zawarty w powyższych tabelach podzielono również na 3 grupy.

Jako kryterium podziału zastosowano jednak - nie, jak w odniesieniu do tabel - czynniki zmieniane lecz czynniki obserwowane, co daje następujące 3 grupy wykresów:

Grupę I tworzą wykresy ilustrujące zużycie ścierne próbek zaobserwowane w poszczególnych doświadczeniach.

Grupę II tworzą wykresy ilustrujące moc, jaką pobierał silnik elektryczny w czasie poszczególnych doświadczeń.

Grupę III tworzą wykresy ilustrujące maksymalne temperatury zaobserwowane podczas poszczególnych doświadczeń.

Wyniki badań zilustrowane przez powyższe 3 grupy wykresów postanowiono omówić oddzielnie.

#### 5.1.1. Zużycie próbek przy ścieraniu ruchem obrotowym

##### 5.1.1.1. Wpływ sposobu smarowania na zużycie próbek ścieranych ruchem obrotowym

Na podstawie wykresów 1 do 6 można poczynić następujące spostrzeżenia:

1. Sposób smarowania wywiera bardzo wyraźny wpływ na zużycie badanych materiałów.

Wpływ ten zarysowuje się:

szczególnie jaskrawo przy ścieraniu brązu,

znacznie mniej wyraźnie przy ścieraniu lignofolu niesamosmarownego,

w nieznacznym stopniu przy ścieraniu lignofolu samosmarownego.

2. Przy smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim zużycie zarówno brązu, jak i lignofolu jest dla drogi tarcia rzędu 800 m znikomo małe, także różnice zaobserwowane pomiędzy badanymi materiałami są pozbawione praktycznego znaczenia.
3. Przy smarowaniu wodą zużycie lignofolu utrzymuje się na tym samym poziomie, jak przy smarowaniu olejem, lub wzrasta tylko nieznacznie. Zużycie brązu wzrasta natomiast przy zastąpieniu oleju wodą w sposób jaskrawy.

Przewaga lignofolu samosmarownego nad lignofolem niesamosmarownym jest przy smarowaniu próbek wodą bardzo mała

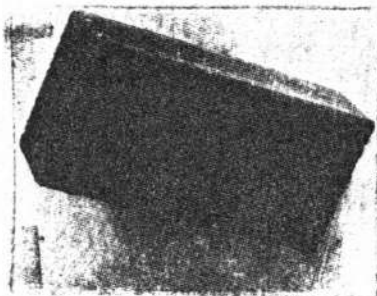
i w większości przypadków pozbawiona znaczenia.

4. Przy ścieraniu "na sucho" zużycie ściernie brązu wzrasta we wszystkich przypadkach do niedopuszczalnie wielkich wartości, a często osiąga nawet wartość 100% tj. prowadzi do całkowitego zniszczenia próbki przed zakończeniem doświadczenia.

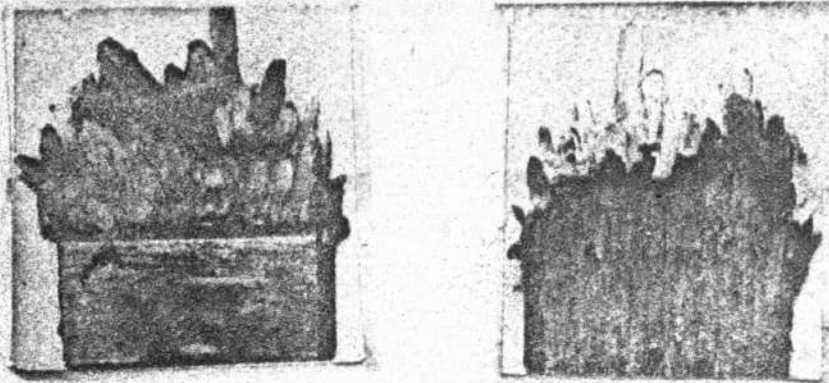
Dla należytego zilustrowania przewagi, jaką - w przypadku ścierania "na sucho" wykazuje lignofol nad wszystkimi rodzajami brązu, sporządzono fotografie 11 do 14, z których wynika całkowita nieprzydatność brązu do wyrobu łożysk pracujących w wyżej wspomnianych warunkach.



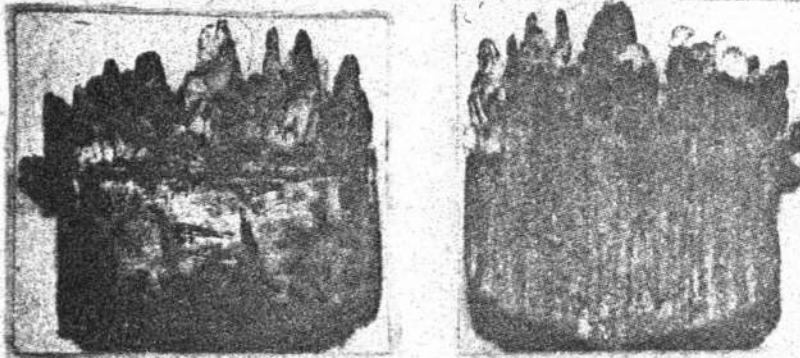
Rys.11. Zużycie próbki z lignofolu samosmarownego przy ścieraniu na sucho po 120 sekundach na stanowisku o ruchu obrotowym przy obciążeniu jednostkowym  $p = 45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $n = 850 \text{ obr/min}$



Rys.12. Zużycie próbki z lignofolu niesamosmarownego przy ścieraniu na sucho po 120 sekundach, na stanowisku o ruchu obrotowym przy obciążeniu jednostkowym  $p = 45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $n = 850 \text{ obr/min}$



Rys. 13. Zużycie próbki z brązu BA 1044 B przy ścieraniu na sucho po 35 sekundach, na stanowisku o ruchu obrotowym oraz obciążeniu jednostkowym  $p = 45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $n = 850 \text{ obr/min}$



Rys. 14. Zużycie próbki z brązu BA 1032 przy ścieraniu na sucho po 12 sekundach, na stanowisku o ruchu obrotowym oraz obciążeniu jednostkowym  $p = 45 \text{ KG/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $n = 850 \text{ obr/min}$

Przy ścieraniu "na sucho" zarysowuje się nie tylko wyraźna przewaga lignofolu nad brązem, lecz także przewaga lignofolu samosmarownego nad lignofolem niesamosmarownym. Przewaga ta zarysowuje się tym wyraźniej im większe jest obciążenie jednostkowe próbek obu porównywanych z sobą typów lignofolu.

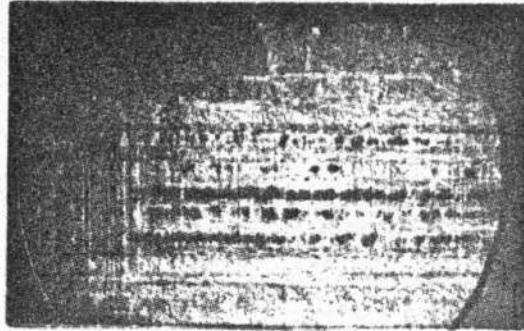
### 5.1.1.2. Wpływ obciążenia jednostkowego na zużycie próbek próbek ścieryanych ruchem obrotowym

Na podstawie wykresów 7 i 8 można poczynić następujące spostrzeżenia:

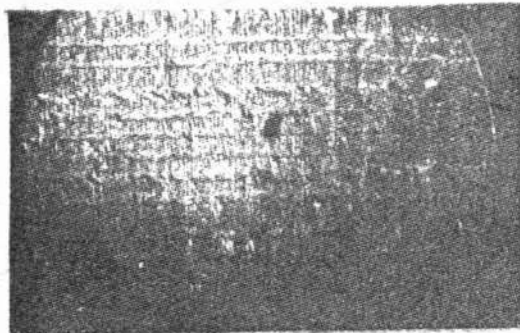
1. Ze wzrostem obciążenia jednostkowego wzrasta zużycie ściernie wszystkich badanych materiałów w sposób mniej więcej paraboliczny.
2. Linie paraboliczne ilustrujące zależność zużycia ściernego od obciążenia jednostkowego próbek przebiegają dla brązu znacznie stromiej niż dla lignofolu. Niezależnie od tego jednak procentowy wzrost zużycia ściernego wywołany wzrostem obciążenia jednostkowego od 20 do 80 kg/cm<sup>2</sup> jest większy dla lignofolu aniżeli dla brązu. Zużycie ściernie lignofolu wzrasta średnio o 700%, a zużycie ściernie brązu średnio o 493%.
3. Linie paraboliczne ilustrujące zależność zużycia ściernego od obciążenia jednostkowego próbki są dla lignofolu praktycznie niezależne od obu badanych prędkości obrotowych wału ściierającego, wynoszących 450 i 850 obr/min. U próbek brązu natomiast obserwuje się fakt, że wywołane wzrostem obciążenia jednostkowego zintensyfikowanie zużycia ściernego jest tym większe, im większa jest prędkość obrotowa ściierającego wału.
4. Duże zużycie ściernie brązu spowodowane jest między innymi zdzieraniem próbki przez cząsteczki brązu przylepione do powierzchni wału. Świadczą o tym powierzchnie ścieryanych próbek przedstawione na rys. 15, 16, 17, 18, 19 i 20, na których widoczne są rowki spowodowane właśnie tym zjawiskiem. Zjawisko zdzierania powierzchni próbki występowało tym wyraźniej, im wyższe było obciążenie jednostkowe i im wyższa



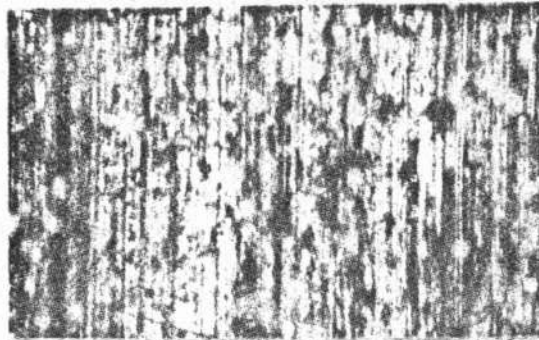
była prędkość obrotowa wału ścierającego.



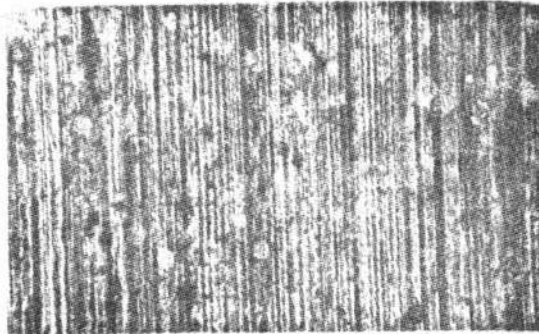
Rys.15. Powiększenie 5-cio krotne powlechni ścieranej próbki lignofolu samosmarownego przy prędkości obrotowej  $n=850$  obr/min., obciążeniu jednostkowym  $p=40$  kg/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S=796$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



Rys.16. Powiększenie 5-cio krotne powierzchni ścieranej próbki lignofolu niesamosmarownego przy prędkości obrotowej  $n=850$  obr/min., obciążeniu jednostkowym  $p=40$  kg/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S=796$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



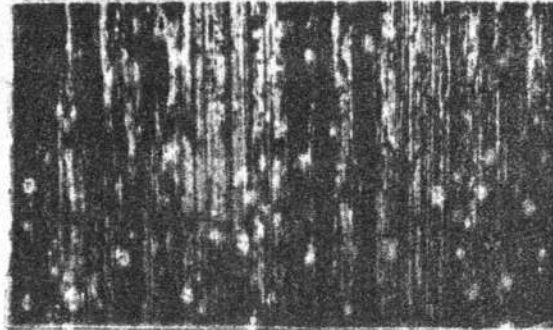
Rys.17. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu B 663 przy prędkości obrotowej  $n=850$  obr/min., obciążeniu jednostkowym  $p=40$  kg/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S=796$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



Rys.18. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu BA 1032 przy prędkości obrotowej  $n=850$  obr/min., obciążeniu jednostkowym  $p=40$  kg/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S=796$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



Rys.19. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu B 663 przy prędkości obrotowej  $n=450$  obr/min., obciążeniu jednostkowym  $p=60$  kg/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S=796$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



Rys. 20. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu BA 1032 przy prędkości obrotowej  $n = 450 \text{ obr/min.}$ , obciążeniu jednostkowym  $p = 60 \text{ kg/cm}^2$ , na drodze tarcia  $S = 796 \text{ m}$  i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim.

#### 5.1.1.3. Wpływ drogi tarcia na zużycie próbek ścieranych ruchem obrotowym

Z wykresu 9 wynika, co następuje:

1. Zużycie ścierne obu badanych rodzajów brązu przyrasta w początkowym okresie ścierania to jest na drodze tarcia do około 1000 m stosunkowo powoli, w dalszym okresie ścierania to jest na drodze tarcia do około 3500 m dość gwałtownie, a w końcowym okresie ścierania znowu dość wolno. Zużycie ścierne brązu B 663 jest mniejsze niż zużycie brązu BA 1032.

W związku z tym można wyodrębnić dla brązu trzy zasadnicze fazy ścierania:

a/faza docierania się próbki przy drodze tarcia do 1200 m,

b/ faza intensywnego zużycia ściernego przy drodze tarcia 1200 m do około 3500 m,

c/ faza stabilizacji zużycia ściernego przy drodze tarcia powyżej 3500 m.

2. Zużycie ściernie obu badanych rodzajów lignofolu przyrasta w miarę zwiększania się drogi tarcia w sposób zupełnie inny, jak zużycie brązu.

Zużycie ściernie lignofolu jest mianowicie w początkowym okresie ścierania bardzo powolne, a później przyrasta w sposób coraz gwałtowniejszy.

3. Przebieg krzywych przedstawionych na wykresie 9 pozwala przypuszczać, że już przy drodze tarcia rzędu 10000 m zużycie ściernie lignofolu nie tylko zrównało by się z zużyciem ściernym brązu, lecz nawet przekroczyłoby je znacznie. Ten dość nieoczekiwany fakt można wytłumaczyć tym, że w omawianym tu doświadczeniu ścierano lignofol pod stosunkowo dużym obciążeniem jednostkowym  $80 \text{ kg/cm}^2$  i przy stosunkowo dużej prędkości obrotowej 850 obr/min., a więc w warunkach dla lignofolu dość niekorzystnych.

#### 5.1.2. Pobór mocy przy ścieraniu próbek ruchem obrotowym

##### 5.1.2.1. Wpływ sposobu smarowania na pobór mocy przy ścieraniu próbek ruchem obrotowym

Na podstawie wykresów 10 do 15 obrazujących pobór mocy można poczynić następujące spostrzeżenia:

1. Sposób i rodzaj smarowania wywiera bardzo wyraźny wpływ na zapotrzebowanie mocy w procesie ścierania badanych materiałów. Wpływ ten zarysowuje się: szczególnie jaskrawo przy ścieraniu materiałów dla prędkości obrotowej 850 obr/min.;

1. obciążeniu jednostkowym  $45 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Przy smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim zapotrzebowanie mocy dla ścierania zarówno brązu, jak i lignofolu jest bardzo małe, tak że różnice zaobserwowane pomiędzy badanymi materiałami nie mają praktycznego znaczenia.  
Zapotrzebowanie mocy dla brązu wynosiło średnio około 428 wat, natomiast dla lignofolu średnio około 398 wat. W związku z tym średnio wzrost zapotrzebowania mocy przy smarowaniu olejem wrzecionowym był przy ścieraniu brązu zaledwie o 7% większy aniżeli przy ścieraniu lignofolu.
3. Przy smarowaniu wodą zapotrzebowanie mocy przy ścieraniu lignofolu utrzymuje się w przybliżeniu na takim samym poziomie, jak przy smarowaniu olejem i wynosi średnio około 420 wat.  
Natomiast zapotrzebowanie mocy przy ścieraniu brązu smarowanego wodą wzrasta w sposób bardzo wyraźny i wynosi średnio około 1478 wat. Zapotrzebowanie mocy było więc przy ścieraniu brązu średnio o 35% wyższe od zapotrzebowania mocy przy ścieraniu lignofolu.
4. Przy ścieraniu "na sucho" zapotrzebowanie mocy dla brązu i lignofolu niesamosmarownego wzrasta do bardzo wielkich wartości. Dla brązu zapotrzebowanie mocy wynosi średnio około 1671 wat, natomiast dla lignofolu niesamosmarownego średnio około 2390 wat. Jest to spowodowane oblepianiem się wału ścierającego cząsteczkami brązu, albo utwardzonego kleju fenolowego zawartego w lignofolu. Zapotrzebowanie mocy rośnie również ze wzrostem prędkości obrotowej wału ścierającego, jak i obciążenia jednostkowego próbki.  
Zapotrzebowanie mocy przy ścieraniu lignofolu samosmarownego "na sucho" jest tylko nieznacznie większe aniżeli zapotrzebowanie mocy obserwowane przy ścieraniu lignofolu

smarowanego olejem lub wodą i wynosi średnio 868 wat.

Średnie zapotrzebowanie mocy w procesie tarcia, niezależnie od rodzaju smarowania, kształtuje się dla poszczególnych materiałów w sposób następujący:

- 1/ przy ścieraniu brązu średnio 1192 wat,
- 2/ przy ścieraniu lignofolu niesamosmarownego średnio 1077 wat,
- 3/ przy ścieraniu lignofolu samosmarownego średnio 548 wat.

#### 5.1.2.2. Wpływ obciążenia jednostkowego na pobór mocy przy ścieraniu ruchem obrotowym

Z wykresów 16 i 17 wynika, co następuje:

1. Ze wzrostem obciążenia jednostkowego próbki zapotrzebowanie mocy wzrasta u wszystkich badanych materiałów w przybliżeniu proporcjonalnie.
2. Pobór mocy przy ścieraniu materiałów wzrasta również ze wzrostem prędkości obrotowej wału ścierającego.

Jak wynika z wykresów różnice zapotrzebowania mocy dla brązu i lignofolu są stosunkowo niewielkie. Zapotrzebowanie mocy na tej krótkiej drodze tarcia jest dla brązu mniejsze i wynosi średnio około 387 wat, natomiast dla lignofolu 498 wat.

#### 5.1.2.3. Wpływ drogi tarcia na pobór mocy przy ścieraniu ruchem obrotowym

Z wykresu 18 wynika, co następuje:

1. Przy ścieraniu brązu pobór mocy jest początkowo mniejszy

aniżeli przy ścieraniu lignofolu, ale w miarę zwiększania się drogi tarcia zużycie brązu dość gwałtownie wzrasta. Po przebyciu drogi tarcia rzędu 1500 ... 2000 m pobór mocy zużywanej na ścieranie brązu przekracza już pobór mocy zużywanej na ścieranie lignofolu i do końca doświadczenia stale wzrasta, aż do średniej wartości około 2750 wat.

2. Po przebyciu drogi tarcia 8500 m pobór mocy zużywanej do ścierania brązu B 663 jest około 1,4 razy większy, a pobór mocy zużywanej do ścierania brązu BA 1032 nawet 1,8 razy większy od poboru mocy zużywanej do ścierania lignofolu. Fakt powyższy można wytłumaczyć intensywnym zdzieraniem badanej próbki cząsteczkami brązu, przyklepionymi do powierzchni wału.
3. Przy ścieraniu lignofolu pobór mocy jest w przybliżeniu stały przez cały proces ścierania i wynosi średnio około 980 wat, a więc jest - praktycznie biorąc - uzależniony od przebytej drogi tarcia, która w omawianym tu doświadczeniu była stosunkowo długa i wynosiła 8700 m.

### 5.1.3. Maksymalne temperatury zaobserwowane przy ścieraniu ruchem obrotowym

#### 5.1.3.1. Wpływ sposobu smarowania na temperatury przy ścieraniu ruchem obrotowym

Na podstawie tabel 2 do 7, a zwłaszcza na podstawie kolumn 5, 6, 7, 8 i 9 można poczynić następujące spostrzeżenia:

1. Sposób smarowania wywiera bardzo wyraźny wpływ na wzrost temperatury przy ścieraniu brązu. Natomiast podczas ścierania lignofolu samosmarownego wpływ sposobu smarowania na

wzrost temperatury jest niewielki, gdyż lignofol nagrzewa się przy wszystkich sposobach smarowania zaledwie do temperatury rzędu  $40^{\circ}\text{C}$ .

2. Przy smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim temperatury obserwowane u wszystkich badanych materiałów nie przekraczają wartości  $50^{\circ}\text{C}$  i różnią się tylko nieznacznie.
3. Przy smarowaniu wodą temperatura próbki, uchwytu próbki i czynnika smarującego utrzymuje się prawie na jednakowym poziomie dla brązu i lignofolu.
4. Przy ścieraniu "na sucho" obserwowane temperatury rosną gwałtownie dla brązu i osiągają niekiedy stosunkowo wysokie wartości rzędu  $173^{\circ}\text{C}$ .

Temperatury obserwowane przy ścieraniu lignofolu niesamosmarownego są również stosunkowo wysokie i wynoszą średnio około  $74^{\circ}\text{C}$ .

Natomiast najniższe temperatury nie przekraczające wartości  $40^{\circ}\text{C}$  obserwuje się przy ścieraniu lignofolu samosmarownego.

#### 5.1.3.2. Wpływ obciążenia jednostkowego na temperatury przy ścieraniu ruchem obrotowym

Z wykresów 19 do 26 wynika, co następuje:

1. Ze wzrostem obciążenia jednostkowego rosną u wszystkich badanych materiałów obserwowane temperatury w sposób w przybliżeniu paraboliczny.
2. Temperatury próbki, uchwytu próbki i czynnika smarującego są z reguły znacznie niższe od temperatury wału ścierającego.
3. Temperatury obserwowane u poszczególnych materiałów różnią się wyraźnie, przy czym temperatury obserwowane dla lignofolu samosmarownego są znacznie niższe od wszystkich



pozostałych temperatur.

### 5.1.3.3. Wpływ drogi tarcia na temperatury przy ścieraniu ruchem obrotowym

Na podstawie wykresów 27 do 30 można poczynić następujące spostrzeżenia:

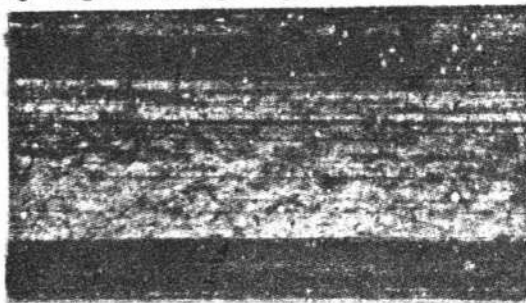
1. Stosunkowo długa droga tarcia przy założonych parametrach wywiera bardzo wyraźny wpływ na temperaturę badanych materiałów.
2. Szczególnie wysoka temperatura rzędu  $65^{\circ}\text{C}$  próbki i wału występowała przy ścieraniu brązu BA 1032
3. Szczególnie wyraźne różnice w temperaturze uchwytu próbki można zaobserwować - jak wynika z wykresu 46 - przy ścieraniu lignofolu i brązu pod obciążeniem jednostkowym  $80 \text{ kg/cm}^2$ .  
Fakt, że uchwyt przytrzymujący próbkę lignofolu nagrzewa się do znacznie niższej temperatury aniżeli uchwyt przytrzymujący próbkę brązu, można oczywiście wytłumaczyć stosunkowo małym przewodnictwem cieplnym lignofolu.
4. Temperatura czynnika smarującego, to jest oleju lub wody, jest we wszystkich przypadkach znacznie niższa od temperatury próbki, uchwytu próbki i wału ścierającego.

## 5.2. Wyniki badań uzyskane przy ścieraniu ruchem posuwistym

### 5.2.1. Wpływ drogi tarcia na zużycie próbek ścieranych ruchem posuwistym

Na podstawie wykresu 31 obrazującego zużycie ściernie przy ruchu posuwistym można poczynić następujące spostrzeżenia:

1. Zużycie materiałów na stosunkowo długiej drodze tarcia wynoszącej 39600 m, sarysowuje się szczególnie wyraźnie dla brązu. Natomiast bardzo małe zużycie występuje dla lignofolu samosmarownego.
2. Zużycie brązu przebiega liniowo, natomiast lignofolu parabolicznie. Upoważnia to do przypuszczenia, że na bardzo długiej drodze tarcia nastąpi przecięcie się krzywych.
3. Przy ścieraniu brązu występował zjawisko szcierania powierzchni próbki podobnie, jak przy ruchu obrotowym. Rowki widoczne na rys. 21 i 22 spowodowane są tymi właśnie zjawiskami. Przy ścieraniu lignofolu samosmarownego natomiast nie zauważono wyżej wspomnianego zjawiska.



Rys. 21. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu BA 1032 przy ilości suwów/min,  $w = 66$  suw/min, obciążeniu jednostkowym  $p = 25$  kG/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S = 7128$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim



Rys. 22. Powiększenie 50-cio krotne powierzchni ścieranej próbki z brązu BA 1032 przy ilości suwów/min,  $w = 66$  suw/min, obciążeniu jednostkowym  $p = 25$  kG/cm<sup>2</sup>, na drodze tarcia  $S = 15850$  m i smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim

### 5.2.2. Wpływ drogi tarcia na pobór mocy przy ścieraniu ruchem posuwistym

Na podstawie wykresu 32 można stwierdzić, co następuje:

1. Droga tarcia wpływa tylko w nieznacznym stopniu na moc pobieraną do ścierania próbki.
2. Wzrost zapotrzebowania mocy na dłuższej drodze tarcia spowodowany jest - tak samo, jak przy ruchu obrotowym - przyklepianiem się cząstek brązu do płyty ścierającej.
3. Zapotrzebowanie mocy znacznie szybciej rośnie dla brązu aniżeli dla lignofolu. Przy ścieraniu obu badanych materiałów zapotrzebowanie mocy wzrastało liniowo.
4. Przy ścieraniu brązu pobór mocy początkowo jest mniejszy aniżeli przy ścieraniu lignofolu, ale w miarę zwiększania się drogi tarcia pobór mocy powoli przyrasta. Po przebyciu drogi tarcia około 16000 m, pobór mocy zużywanej na ścieranie lignofolu samosmarownego i aż do końca doświadczenia stale przyrasta.

Średnia moc pobierania przy ścieraniu lignofolu wynosiła 133 wat, a przy ścieraniu brązu 110 wat.

### 5.2.3. Wpływ drogi tarcia temperatury przy ścieraniu próbek ruchem posuwistym

Na podstawie wykresów 33 i 34 można stwierdzić, że wpływ drogi tarcia na temperaturę poszczególnych elementów, obserwowaną przy ścieraniu próbek ruchem posuwistym, jest w zasadzie taki sam, jak przy ścieraniu próbek ruchem obrotowym.

## 6. Podsumowanie głównych wyników badań

Na podstawie tabel 2,3,4,5,6 i 7 sporządzono syntetyczną tabelę 12, która ułatwia porównanie zużycia ściernego poszczególnych materiałów, zaobserwowanego w większości doświadczeń.

W tabeli tej wyrażono zużycie ściernie poszczególnych materiałów w procentach maksymalnego zużycia ściernego, jakie przy danym sposobie smarowania zaobserwowano u jednego z porównywanych materiałów. Maksymalne zużycie ściernie wyrażające się wartością 100% pojawia się więc - jak wynika z tabeli 12 - przy smarowaniu olejem wrzecionowym u brązu BA 1044 B w kolumnie 9, przy smarowaniu wodą u brązu BA 1032 w kolumnie 17, a przy ścieraniu "na sucho" u brązu B 663 w kolumnie 26.

Na podstawie tabeli 12 można stwierdzić, co następuje:

1. Przy smarowaniu olejem wrzecionowym ciężkim największe względne zużycie wykazuje brąz B 663, bo około 55%, natomiast najmniejsze zużycie - lignofol samosmarowny, bo około 7%.
2. Przy smarowaniu wodą największe względne zużycie wykazuje brąz BA 1032, bo około 42%, natomiast lignofol samosmarowny - tak jak w przypadku poprzednim - najmniejsze zużycie, bo około 0,1%.  
Lignofol samosmarowny wykazuje więc dużą odporność na ścieranie przy smarowaniu wodą.
3. Przy ścieraniu materiałów "na sucho" wykazuje największe zużycie brąz BA 1032, który już po upływie 12 sekund, od chwili rozpoczęcia procesu ścierania, ulega całkowitemu zniszczeniu.

Jeśli się zważy, że fakt całkowitego zniszczenia próbki przed zakończeniem próby - a praktycznie biorąc - nawet natychmiast po jej rozpoczęciu wyklucza porównywanie wyniku

próby z wynikami prób planowo zakończonych, wówczas łatwo jest zrozumieć powód, dla którego wyniki uzyskane przy ścieraniu "na sucho" brązu BA 1032 wyeliminowano z dalszych porównań.

Jako wartość maksymalną uzyskaną przy ścieraniu materiałów "na sucho" przyjęto więc czynnik ścierania brązu BA 1044 B, zamieszczony w kolumnie 26 tabeli 12.

Przy przyjęciu powyższej bazy porównawczej otrzymane następujące, w procentach wyrażone, średnie zużycie ściernie badanych materiałów: lignofol samosmarowny 0,1%, lignofol niesamosmarowny 34%.

Brąz BA 1044 B - 90%, brąz B 663 - 33%, i brąz B 101 - 26%. Przy ścieraniu "na sucho" zarysowuje się więc szczególnie wyraźnie przewaga lignofolu samosmarownego nad wszystkimi pozostałymi materiałami.

Do stosunkowo szybkiego ścierania się brązu przyczyniło się niewątpliwie wielokrotnie już wspomniane zjawisko tak zwane mikroskrwanie.

Niezależnie od tego, że cząsteczki brązu wyrwane z powierzchni ścierniej próbki mogły zasadniczo opadać na dno osłony wału, a więc oddzielały się grawitacyjnie od czynnika smarującego, wystarczała nawet stosunkowo drobna ich ilość przyklepiona na powierzchni wału do wytworzenia wyraźnych rowków, widocznych na rys. 17 do 22.

Cząsteczki lignofolu wrywane z powierzchni ścierniej próbki jako stosunkowo lekkie nie opadały tak łatwo na dno osłony wału, a więc wykazywały skłonność do tworzenia zawiesiny i do zanieczyszczenia czynnika smarującego.

Niezależnie od tego jednak mikroskrwanie lignofolu było - - jak wskazują rysunki 15 i 16 - jedynie zmieszane, co świadczy o tym, że stosunkowo miękkie i pozbawione ostrych krawędzi cząsteczki lignofolu nie są - praktycznie biorąc - zdolne do wywoływania zjawiska mikroskrwania.





Zestawienie średniego zużycia ściernego lignofolu i brązu wyrażonego w procentach wartości maksymalnych, zaobserwowanych dla trzech sposobów smarowania.  
- 174 -

Tabela 12

Lp.	Rodzaj materiału ściernego	Sposób smarowania																												Średnie	
		smarowanie olejem wrzecionowym								smarowanie wodą								na sucho													
		Obciążenie jednostkowe w kg/cm <sup>2</sup>				Średnia z kolumn 5 i 9	Obciążenie jednostkowe w kg/cm <sup>2</sup>				Średnia z kolumn 14 i 18	Obciążenie jednostkowe w kg/cm <sup>2</sup>				Średnia z kolumn 23 i 27	z kolumn 10, 19 i 28	wyrażone w % wartości maksymalne													
		25		45			25		45			25		45																	
		Prędkość obrotowa w obr/min				Średnia z kolumn 5 i 9	Prędkość obrotowa w obr/min				Średnia z kolumn 14 i 18	Prędkość obrotowa w obr/min				Średnia z kolumn 23 i 27	z kolumn 10, 19 i 28	wyrażone w % wartości maksymalne													
		450	650	850	śr.		450	650	850	śr.		450	650	850	śr.				450	650	850	śr.									
Zużycie ściernie badanych materiałów wyrażone w % zaobserwowanego zużycia maksymalnego																															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	Ligno- fol	samo- smarowny	4	4	6	5	8	10	10	10	7	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2	4	
2		niesamo- smarowny	4	8	14	9	16	27	31	25	17	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	4	12	6	2	71	98	56	34	17	28
3	Brąz	BA 1032	29	31	37	32	43	53	86	61	46	11	18	23	17	34	65	100	66	42	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	
4		BA 1044 B	31	31	45	35	49	61	100	70	53	17	24	17	19	46	60	82	63	41	73	95	84	84	95	94	100	96	90	61	100
5		B 663	35	45	31	37	55	86	79	74	55	11	12	13	12	12	14	16	14	13	22	25	27	25	37	44	49	44	33	34	55
6		B 101	31	33	37	33	45	51	55	55	44	8	13	21	14	12	26	57	32	23	18	19	20	19	28	29	44	34	26	31	51

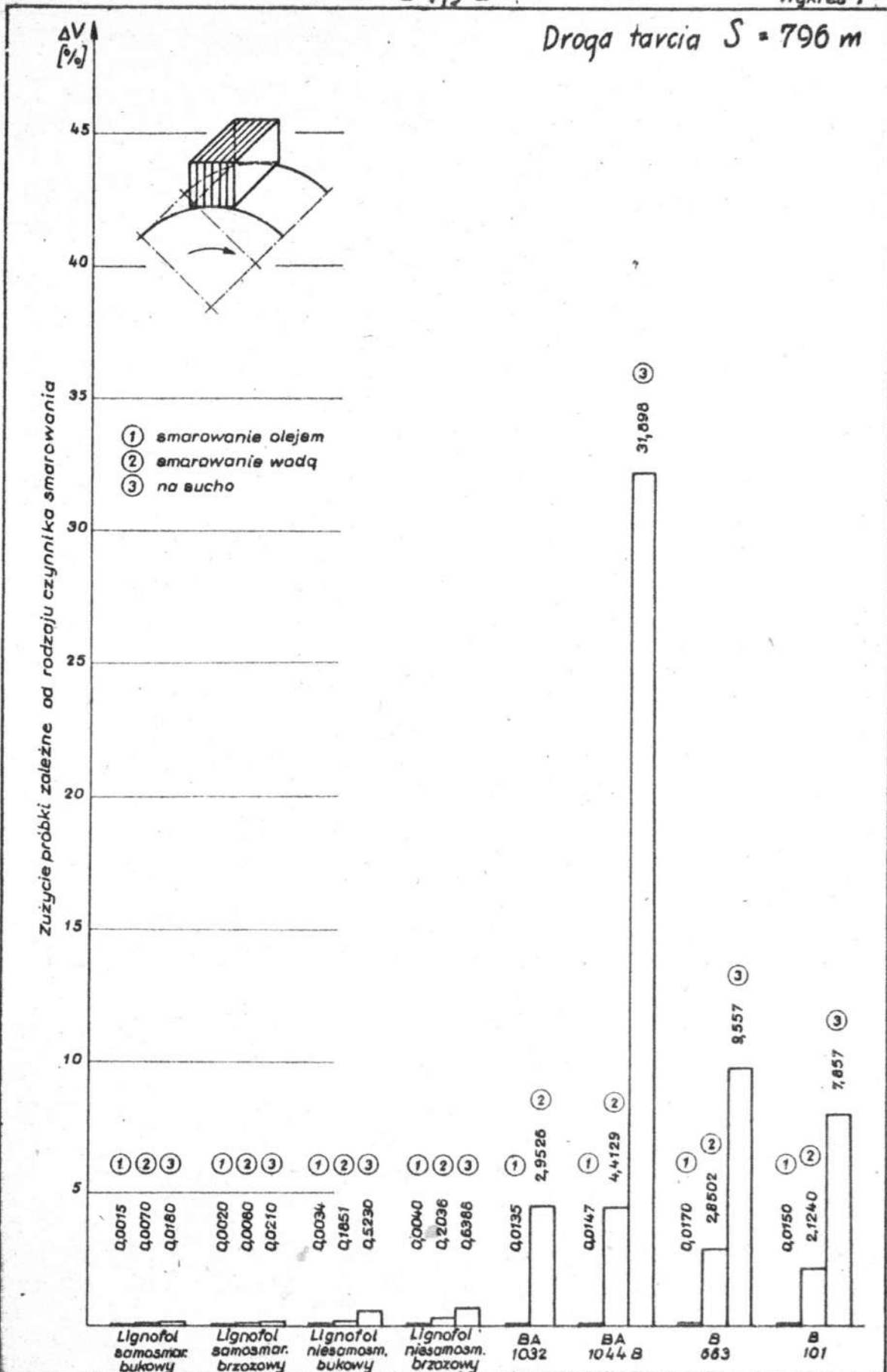




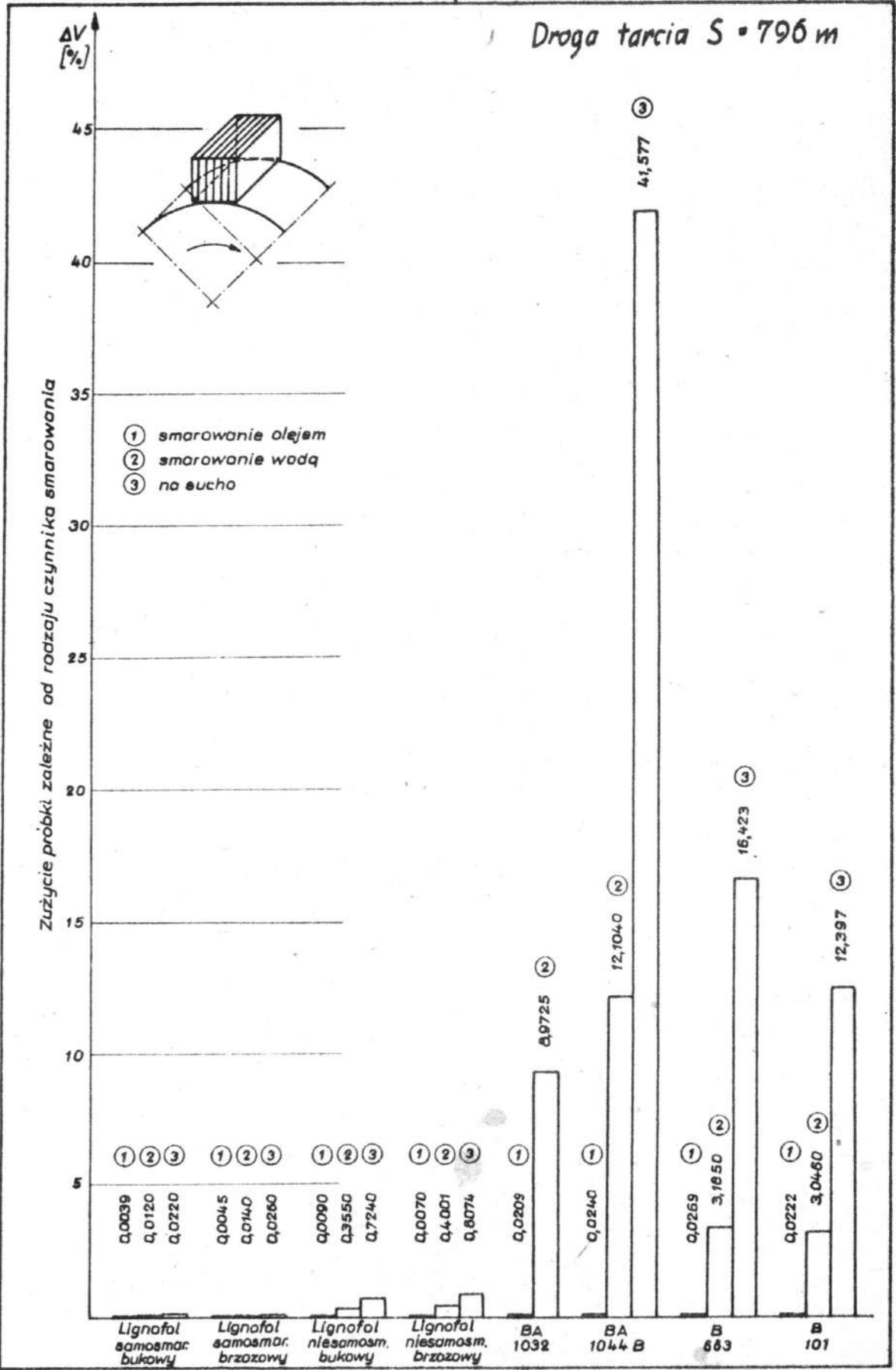
Zużycie próbek przy statym obciążeniu 25 kg/cm<sup>2</sup> i prędkości obrotowej 450 obr/min.  
 - 175 -

Wykres 1

Droga tarcia  $S = 796 \text{ m}$

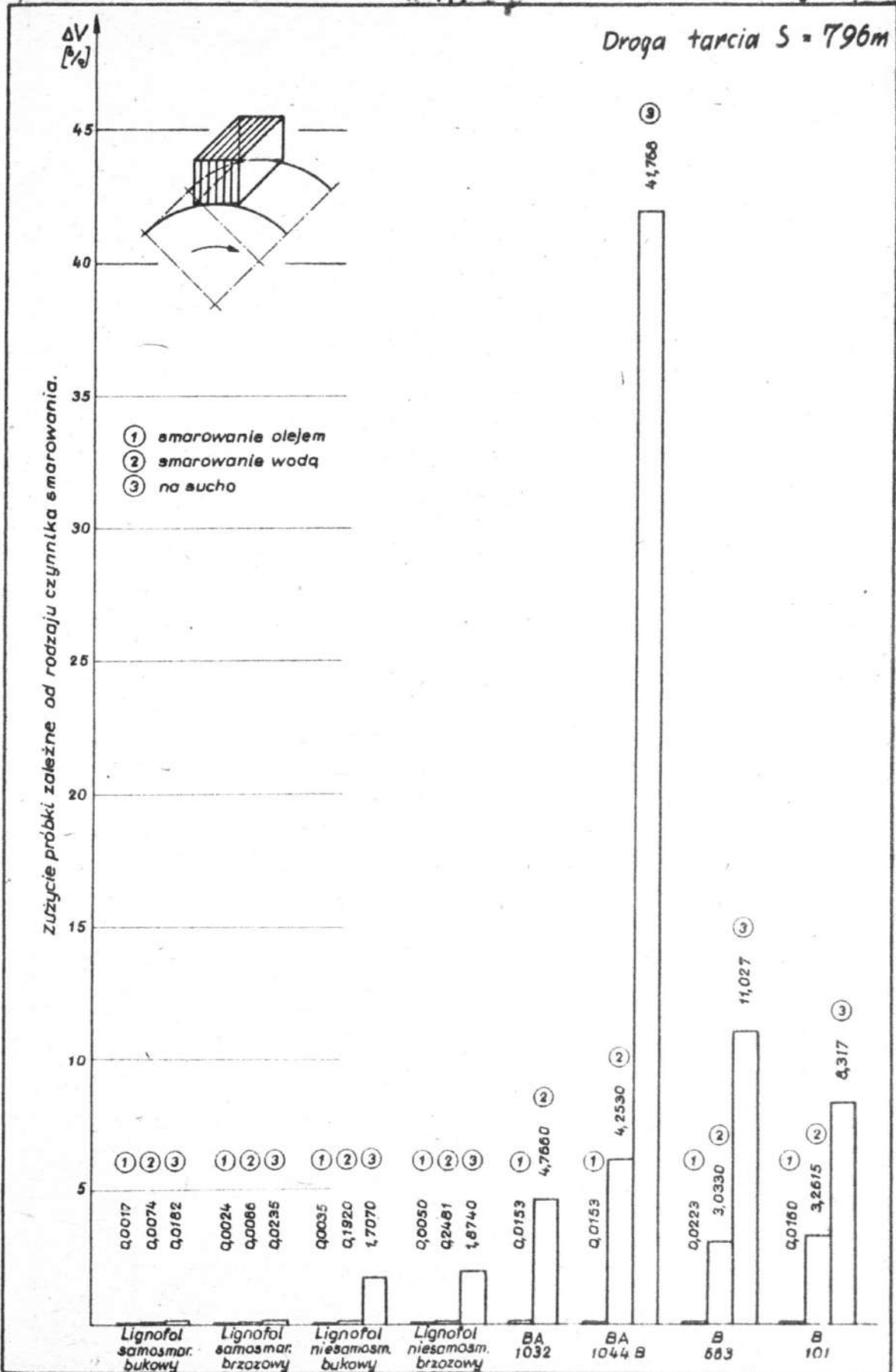


Zużycie próbek przy statym obciążeniu  $45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $450 \text{ obr/min}$ .  
 = 176 = Wykres 2



Zużycie próbek przy statym obciążeniu 25 kG/cm<sup>2</sup> i prędkości obrotowej 850 obr/min.  
 = 177 =

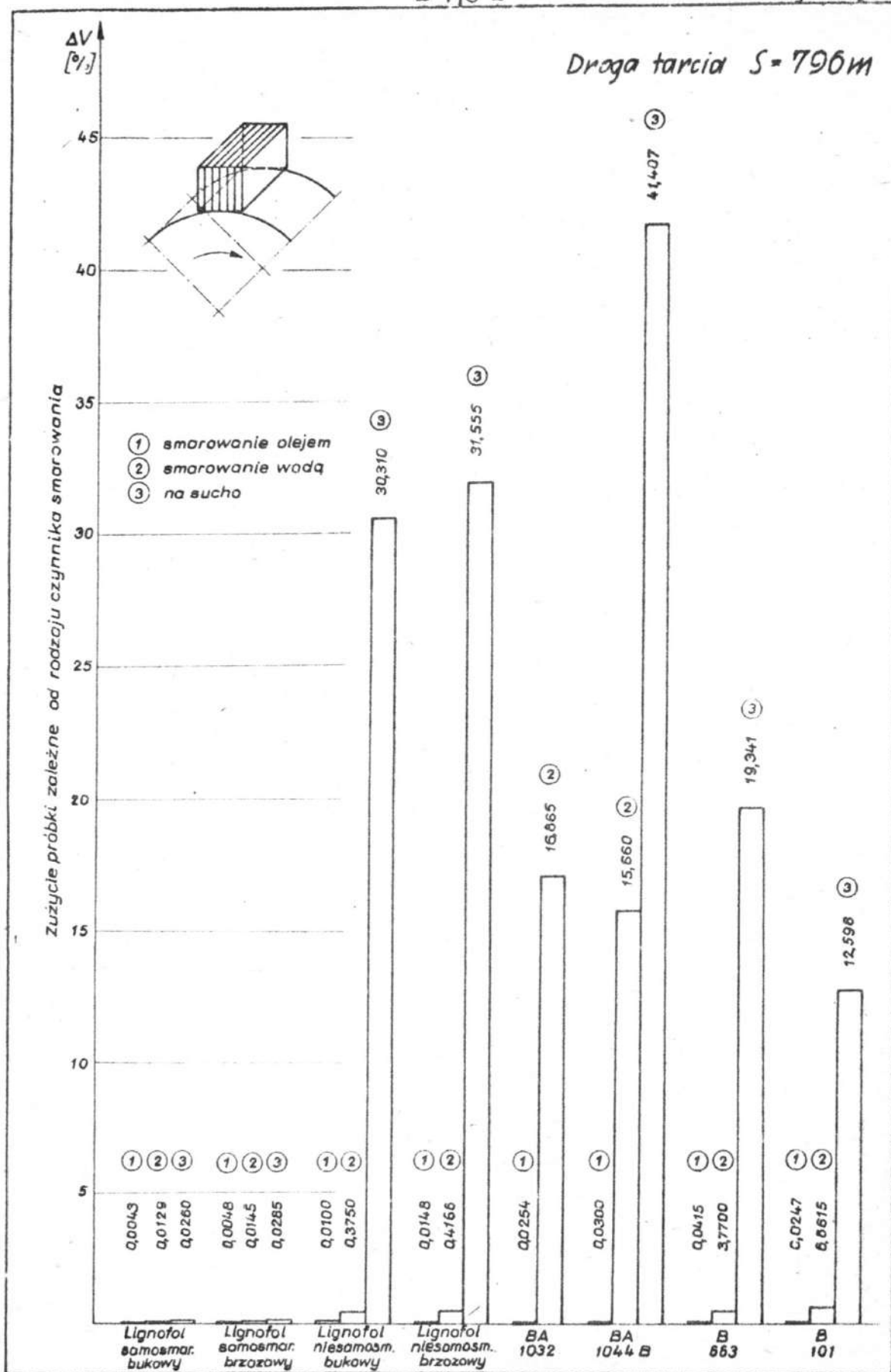
Wykres 3

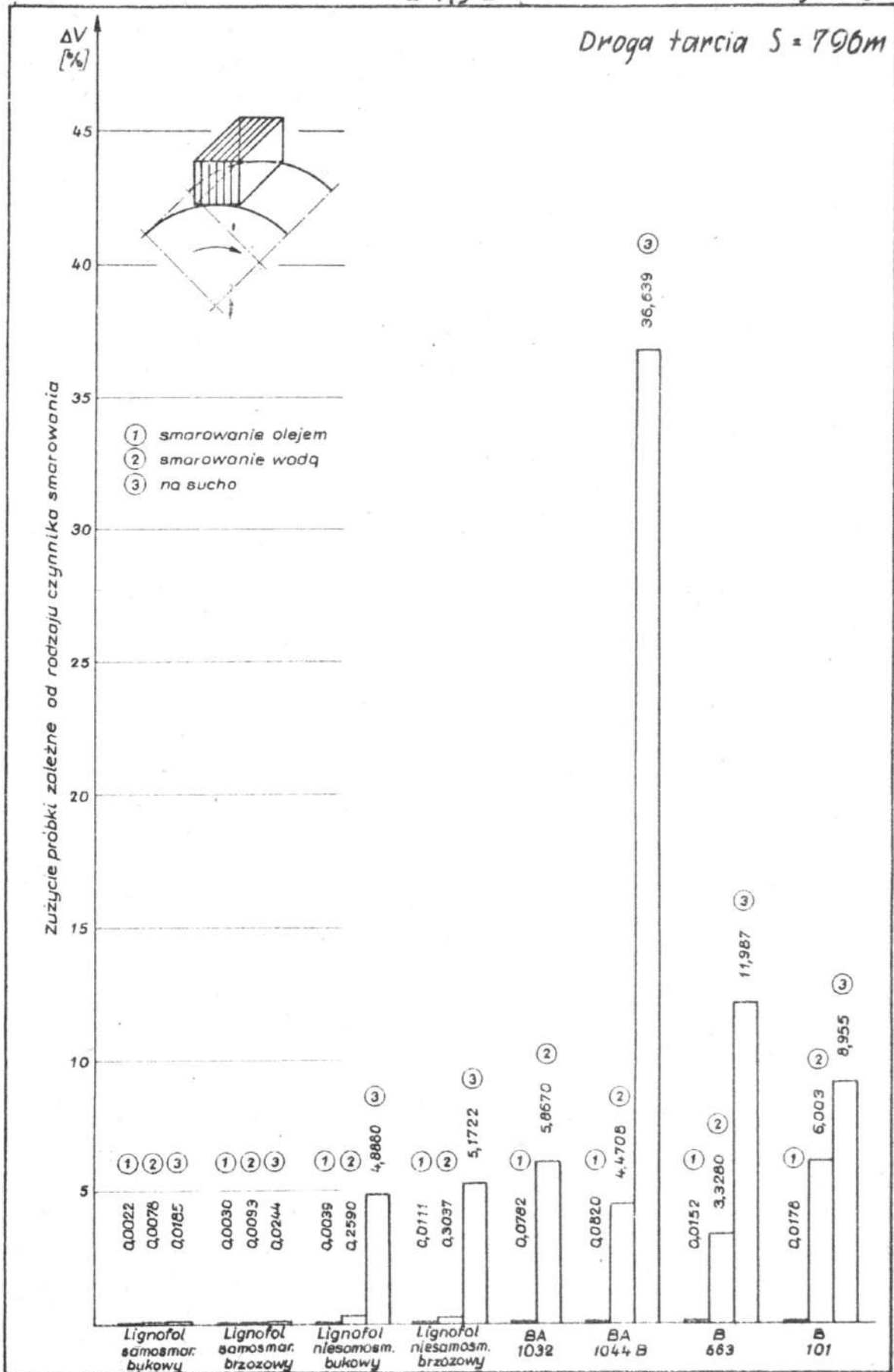


Zużycie próbek przy statycznym obciążeniu  $45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $650 \text{ obr/min}$ .

- 178 -

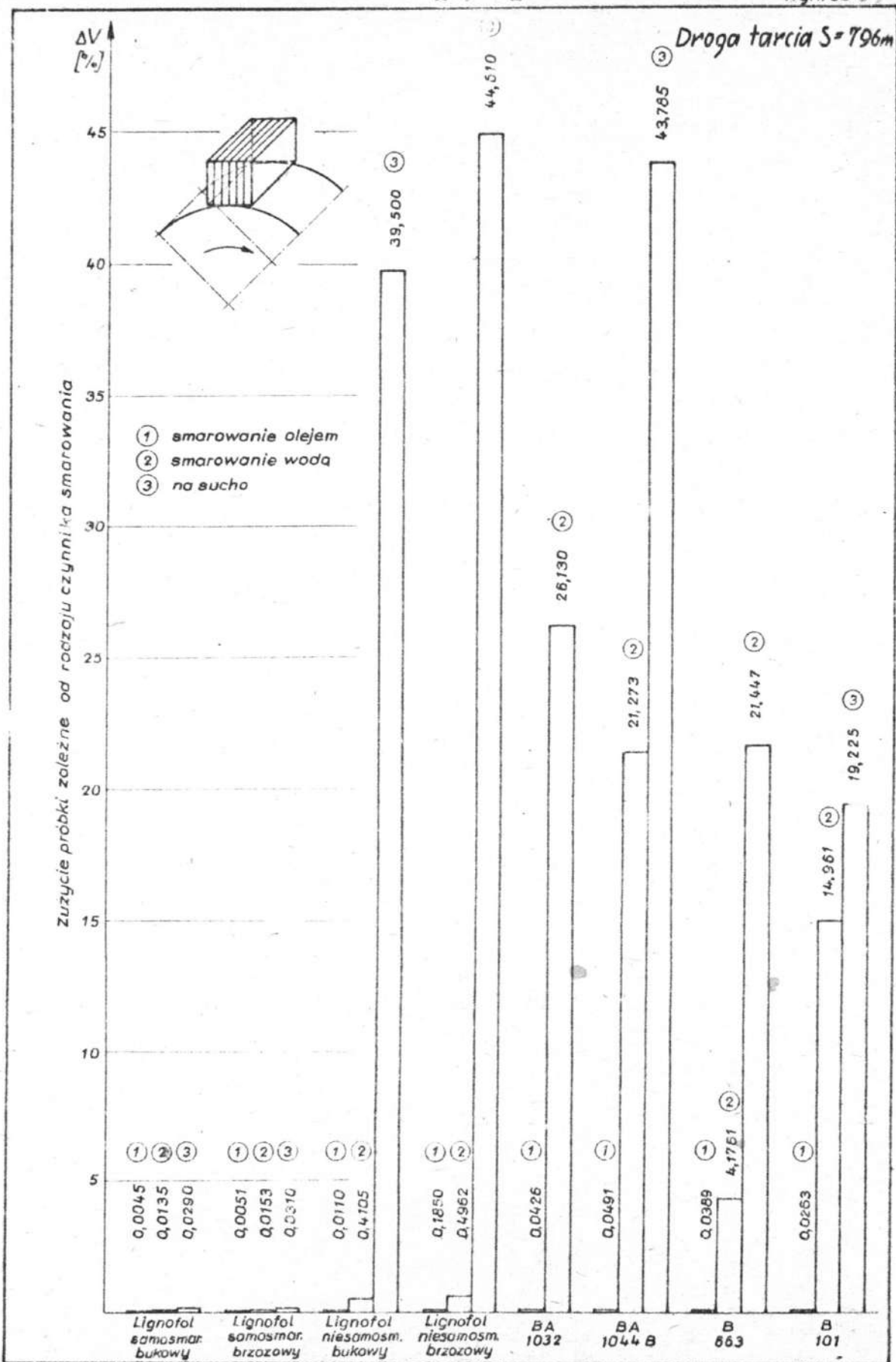
Wykres 4





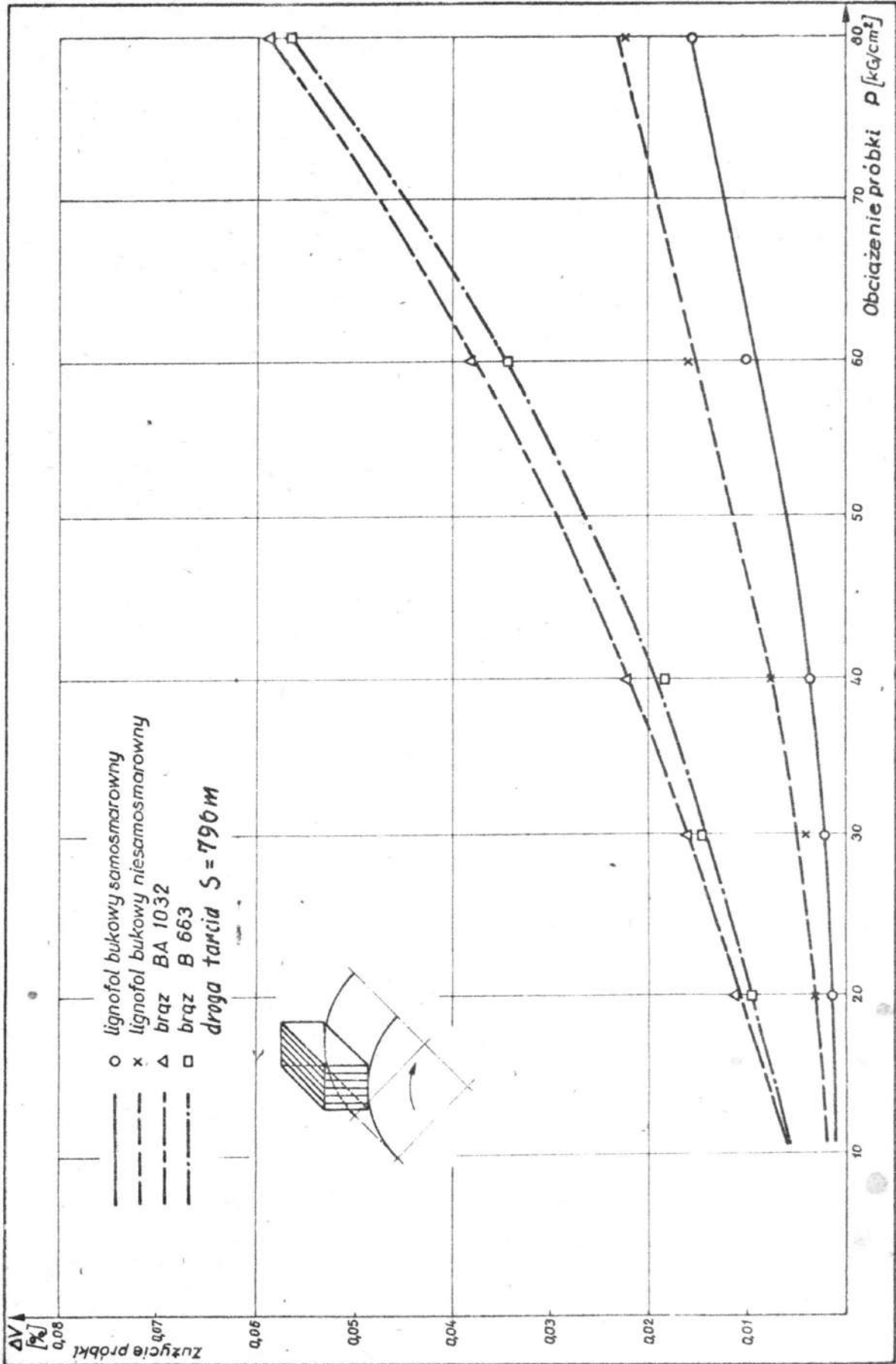
Zużycie próbek przy statycznym obciążeniu 45 kg/cm<sup>2</sup> i prędkości obrotowej 850 obr/min.

Wykres 6

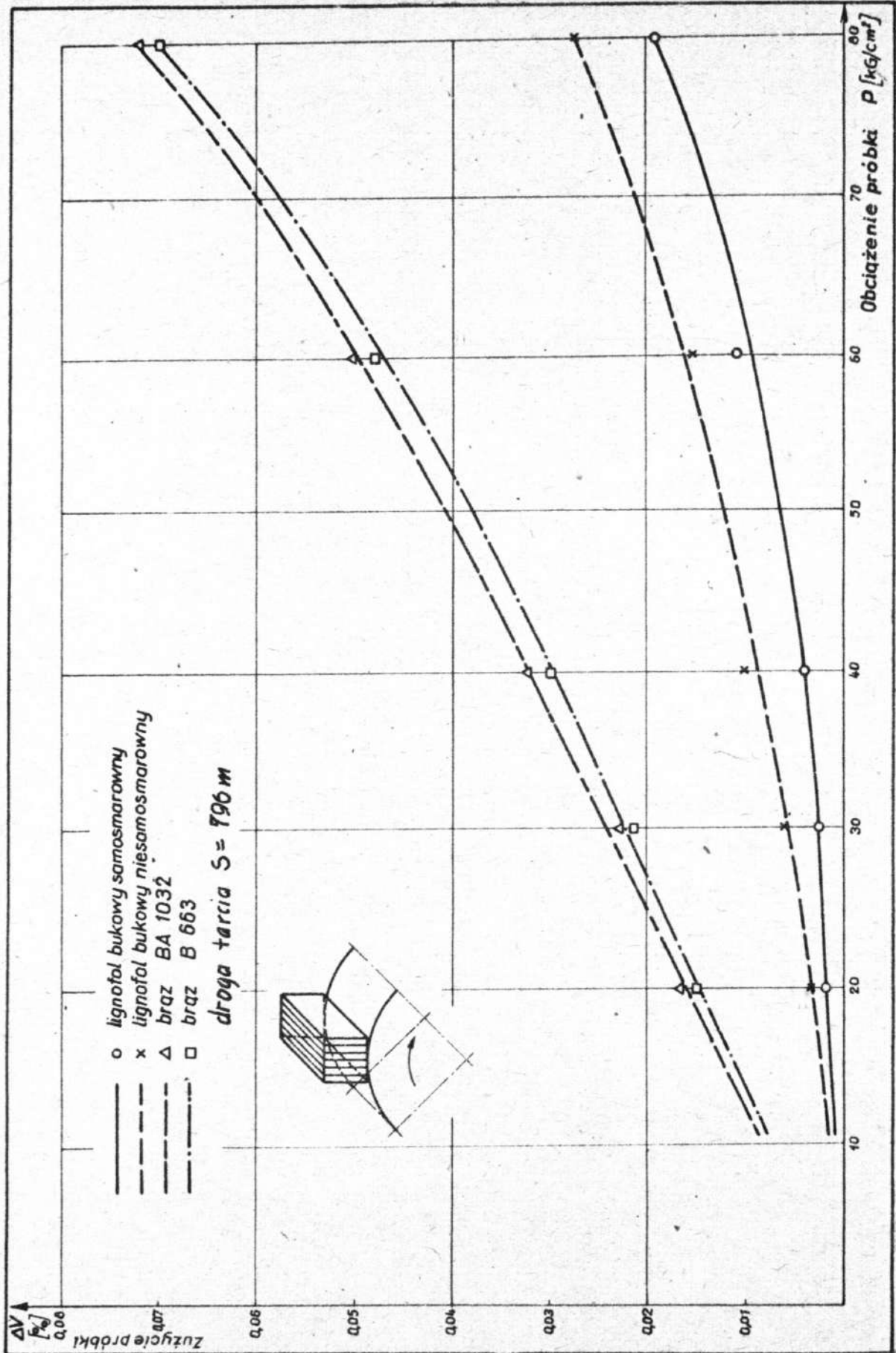


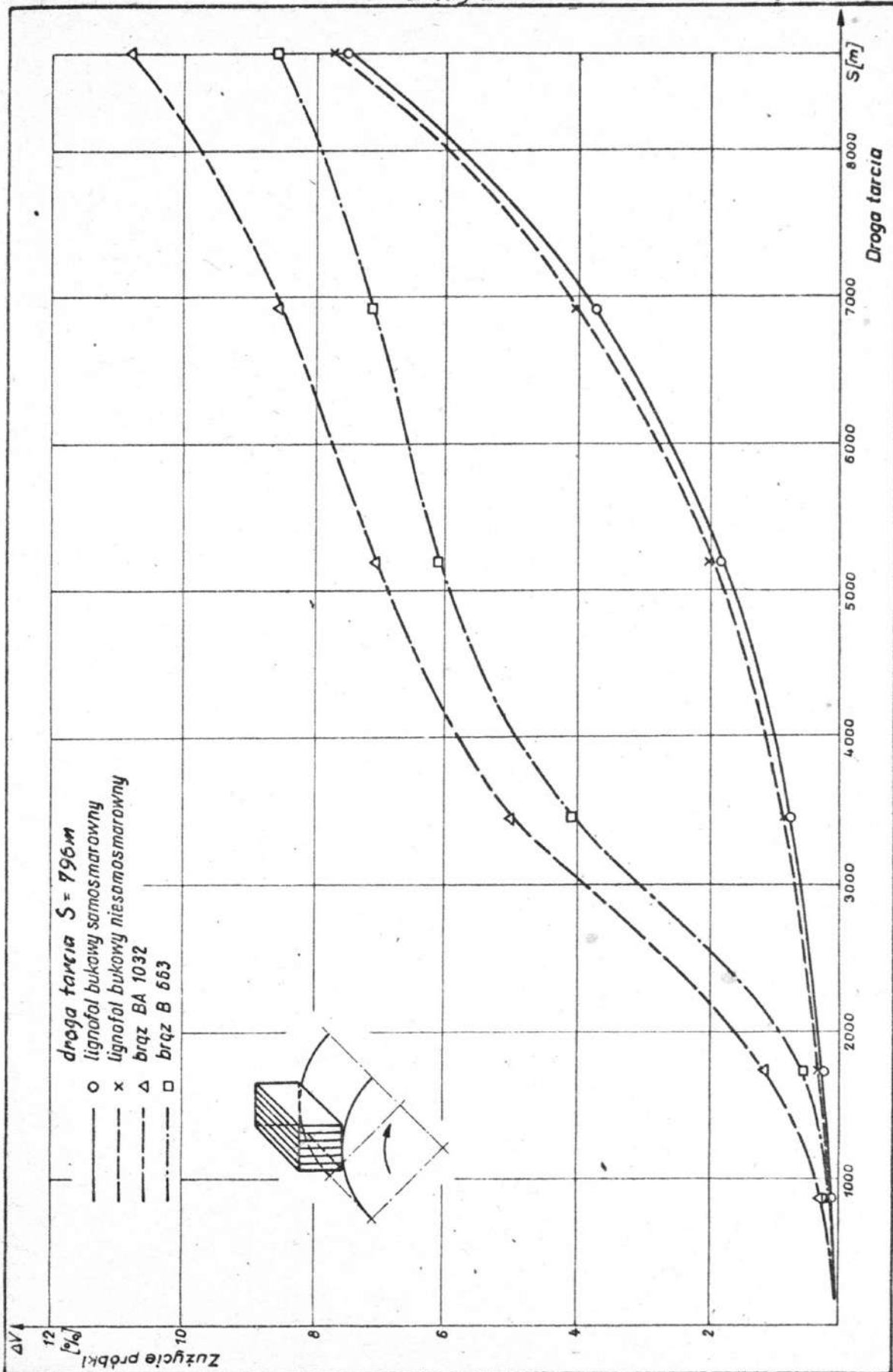
Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$   
 - 181 -

Wykres 7



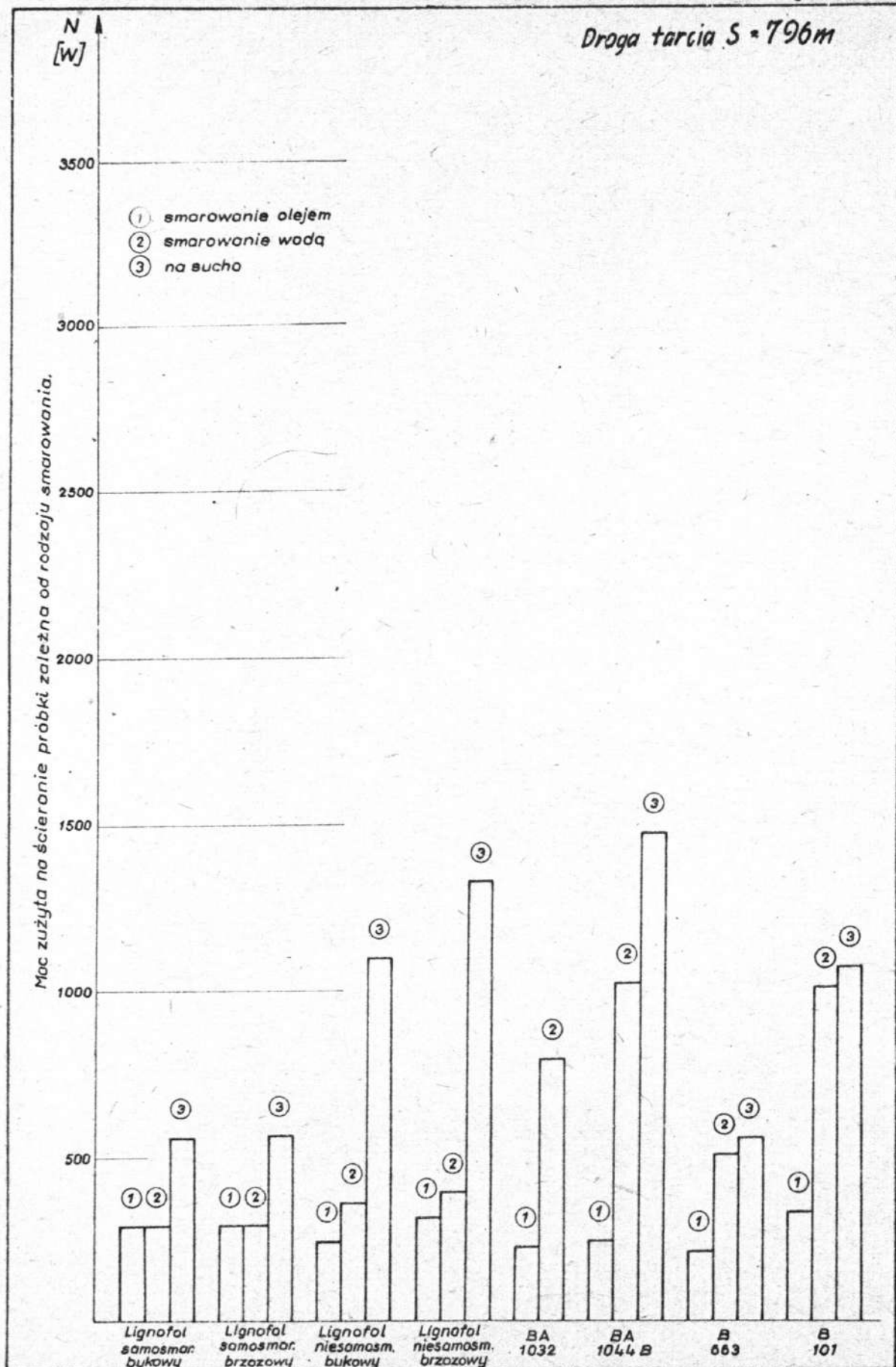






Moc efektywna zużyta przy statym obciążeniu  $25 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $450 \text{ obr/min}$ .  
 - 184 -

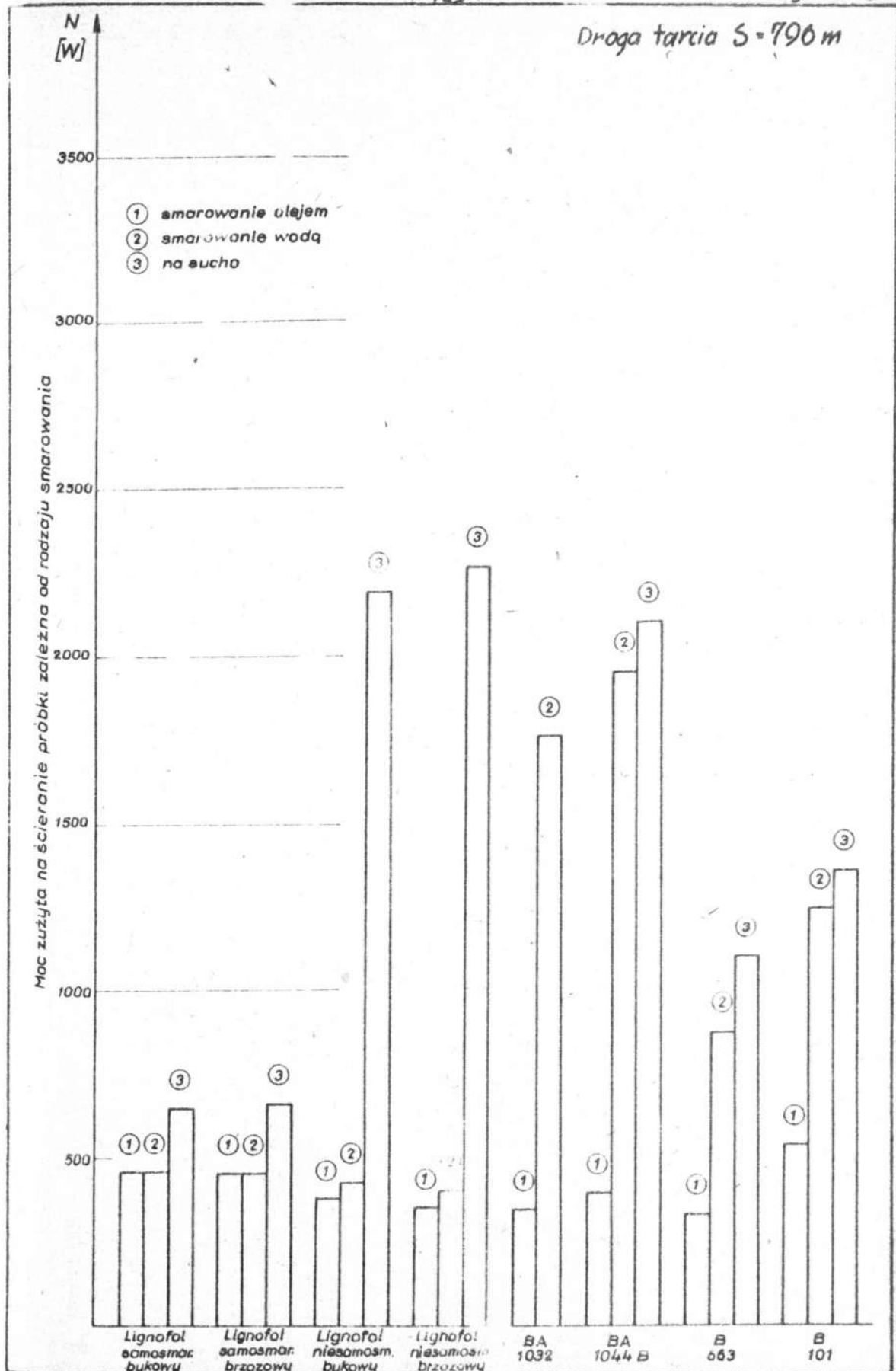
Wykres 10

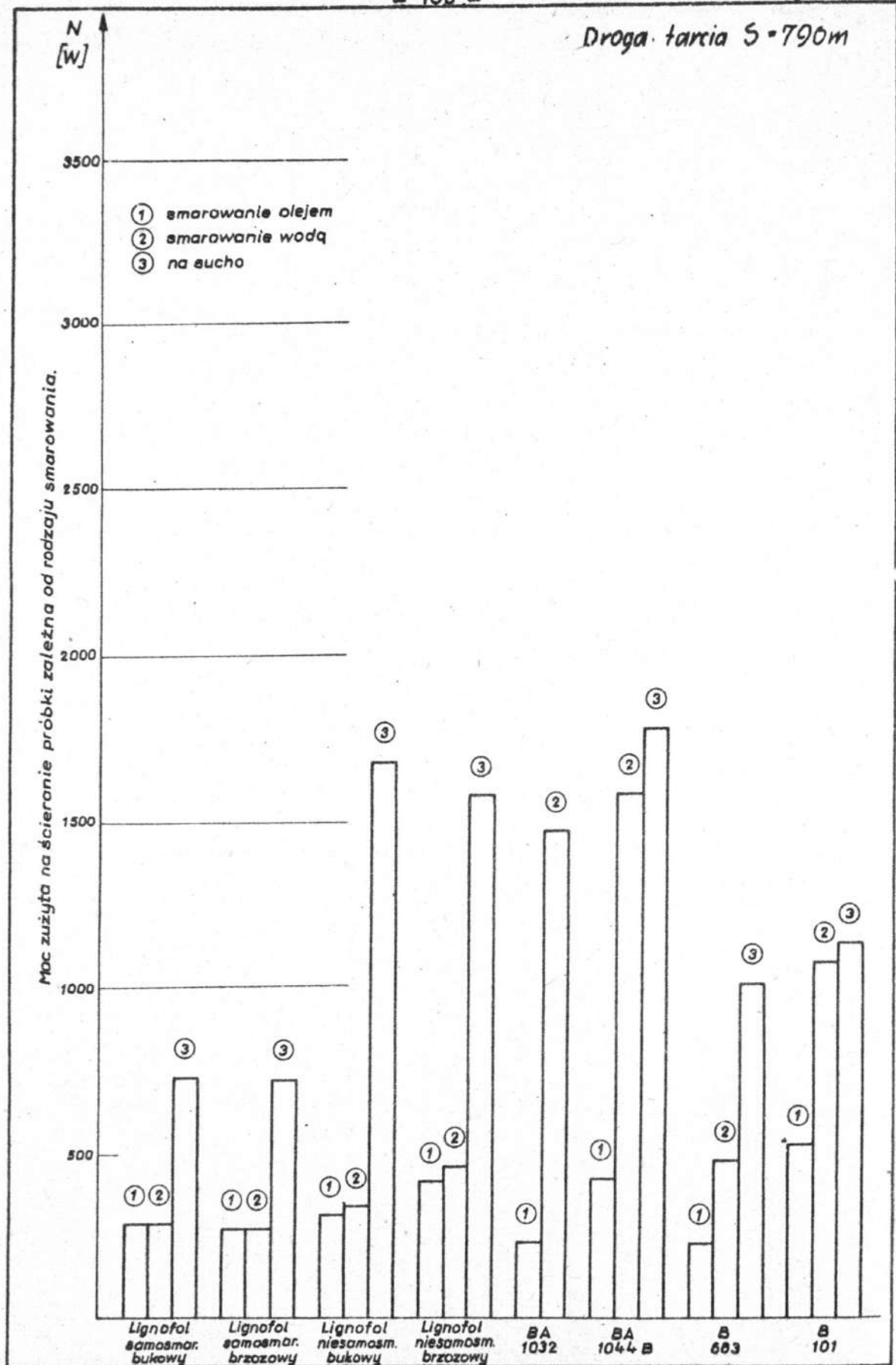


Moc efektywna zużyta przy stałym obciążeniu  $45 \text{ kg/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $450 \text{ obr/min}$

- 185 -

Wykres 41

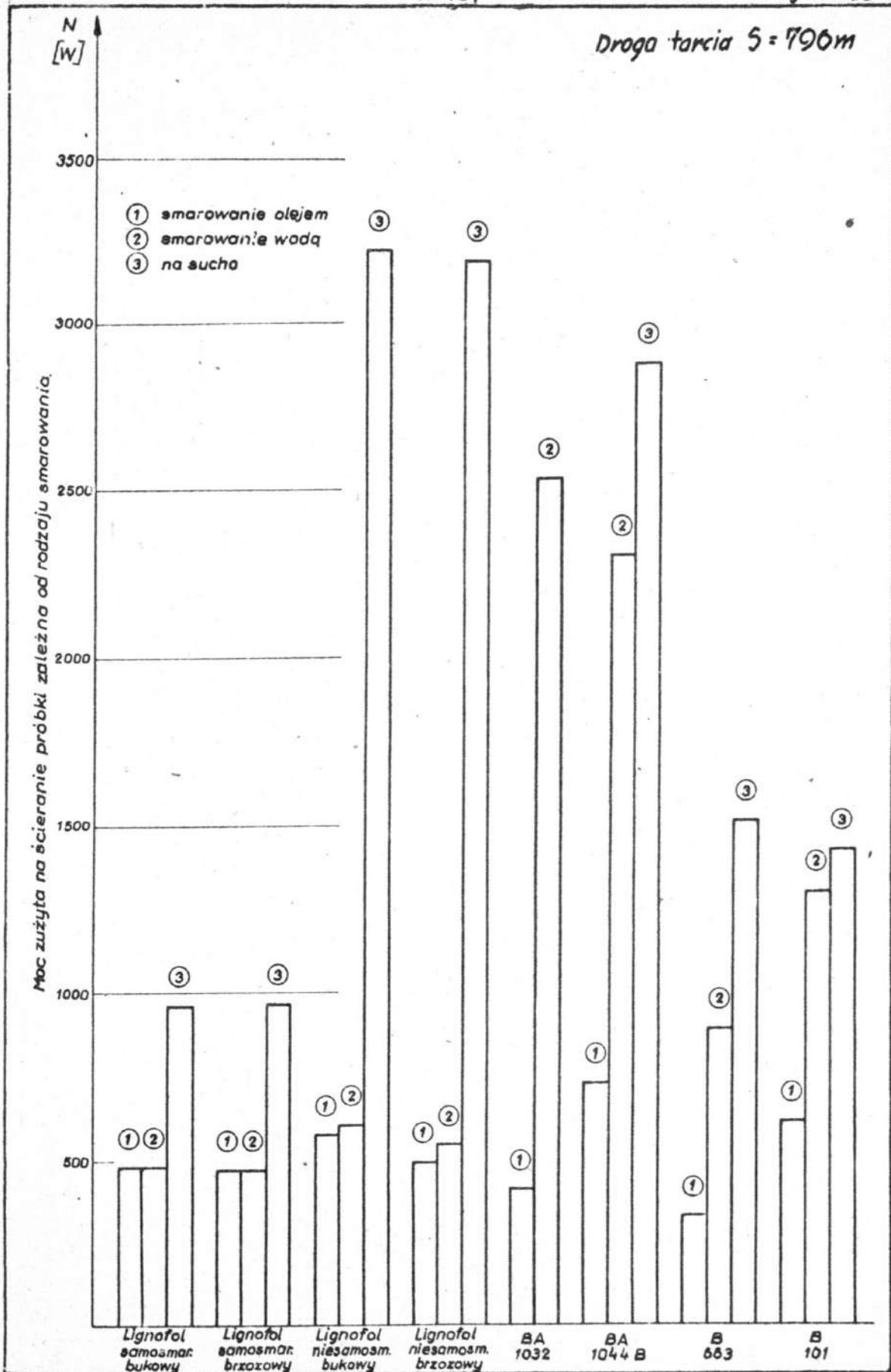


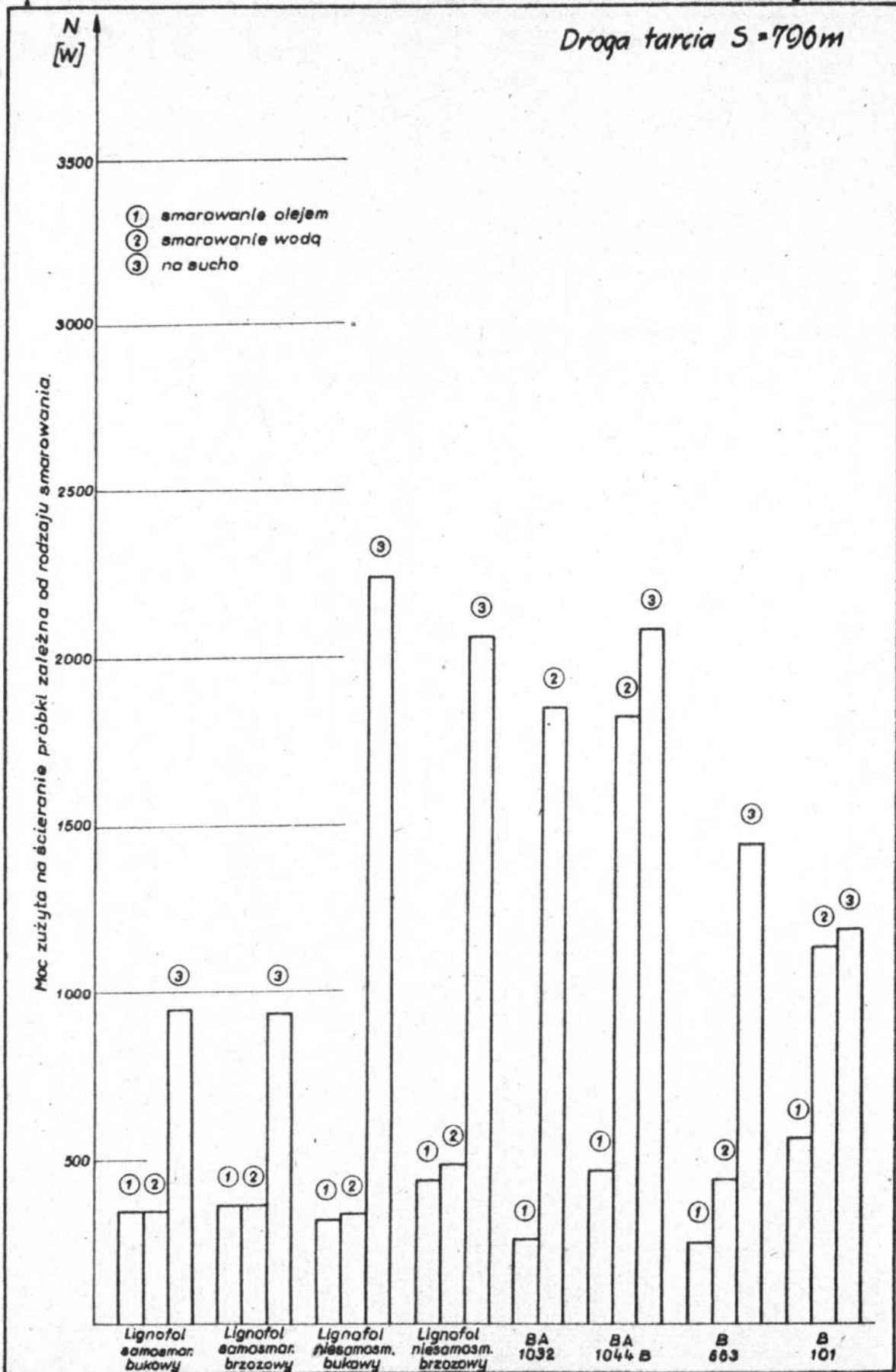


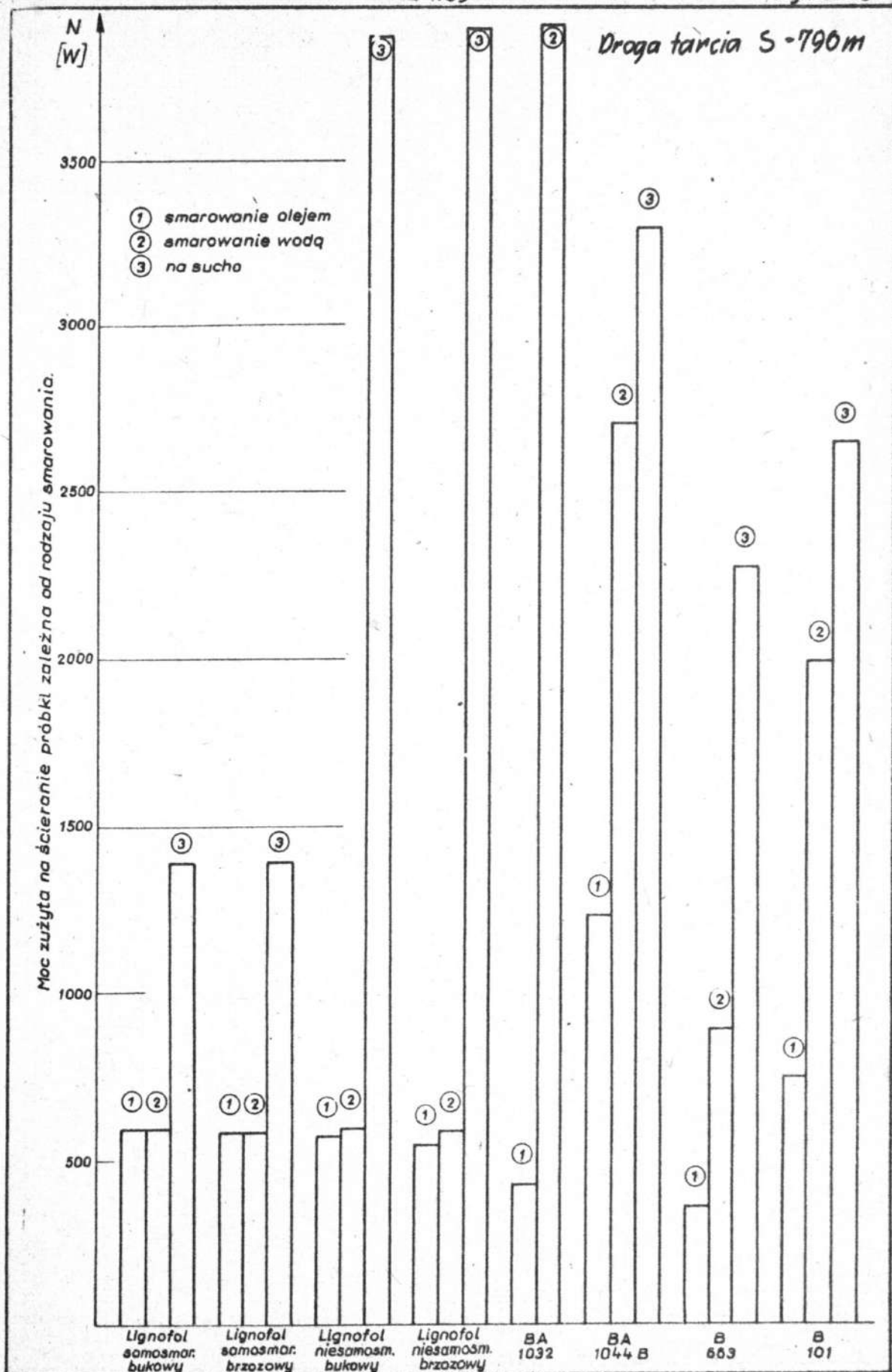
Moc efektywna zużyta przy statym obciążeniu  $45 \text{ kG/cm}^2$  i prędkości obrotowej  $650 \text{ obr/min}$ .

- 187 -

Wykres 13



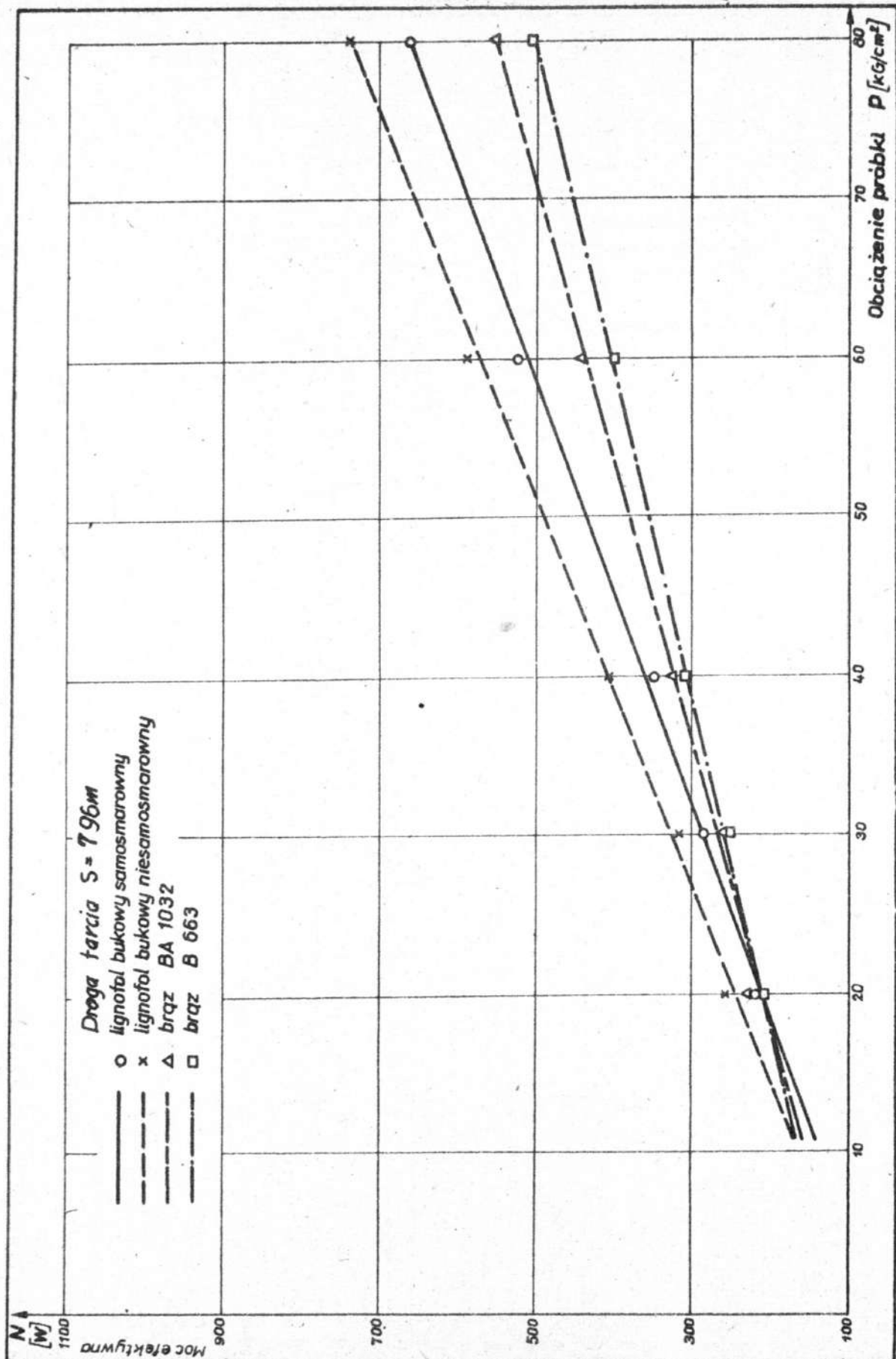


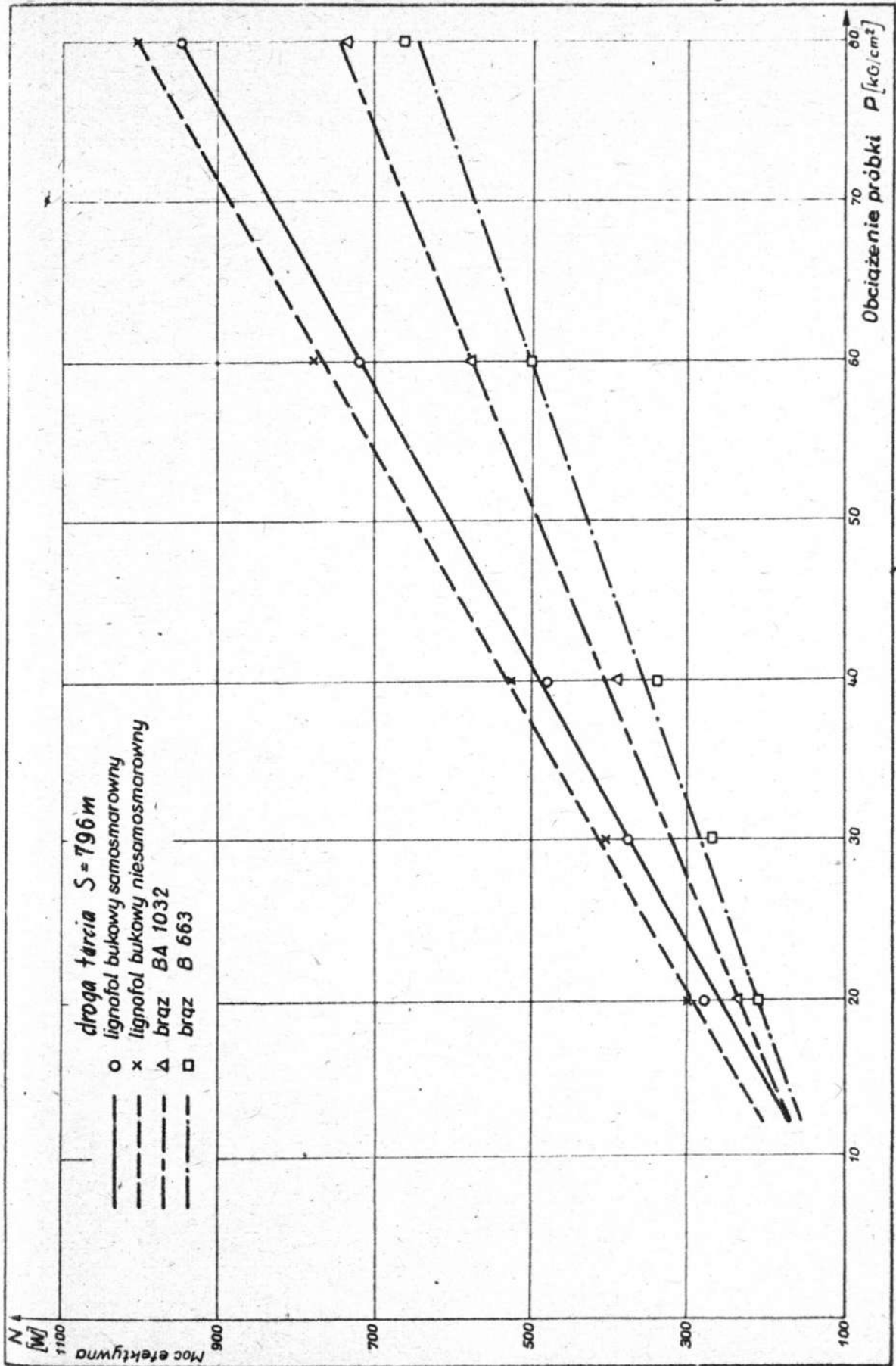




Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$   
= 190 =

Wykres 48

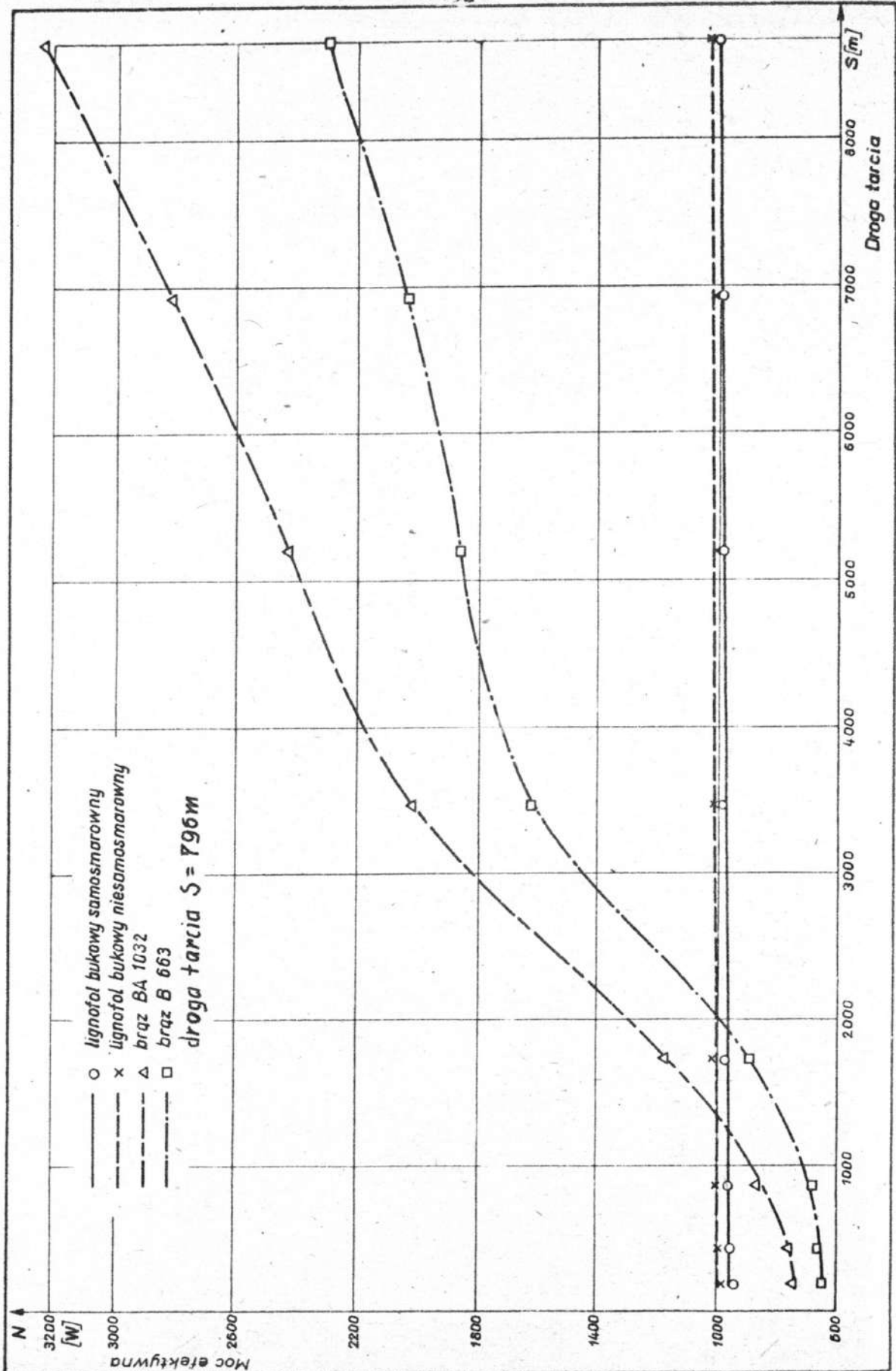




Obciążenie  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$     Prędkość obrotowa  $n = 650 \text{ obr/min}$

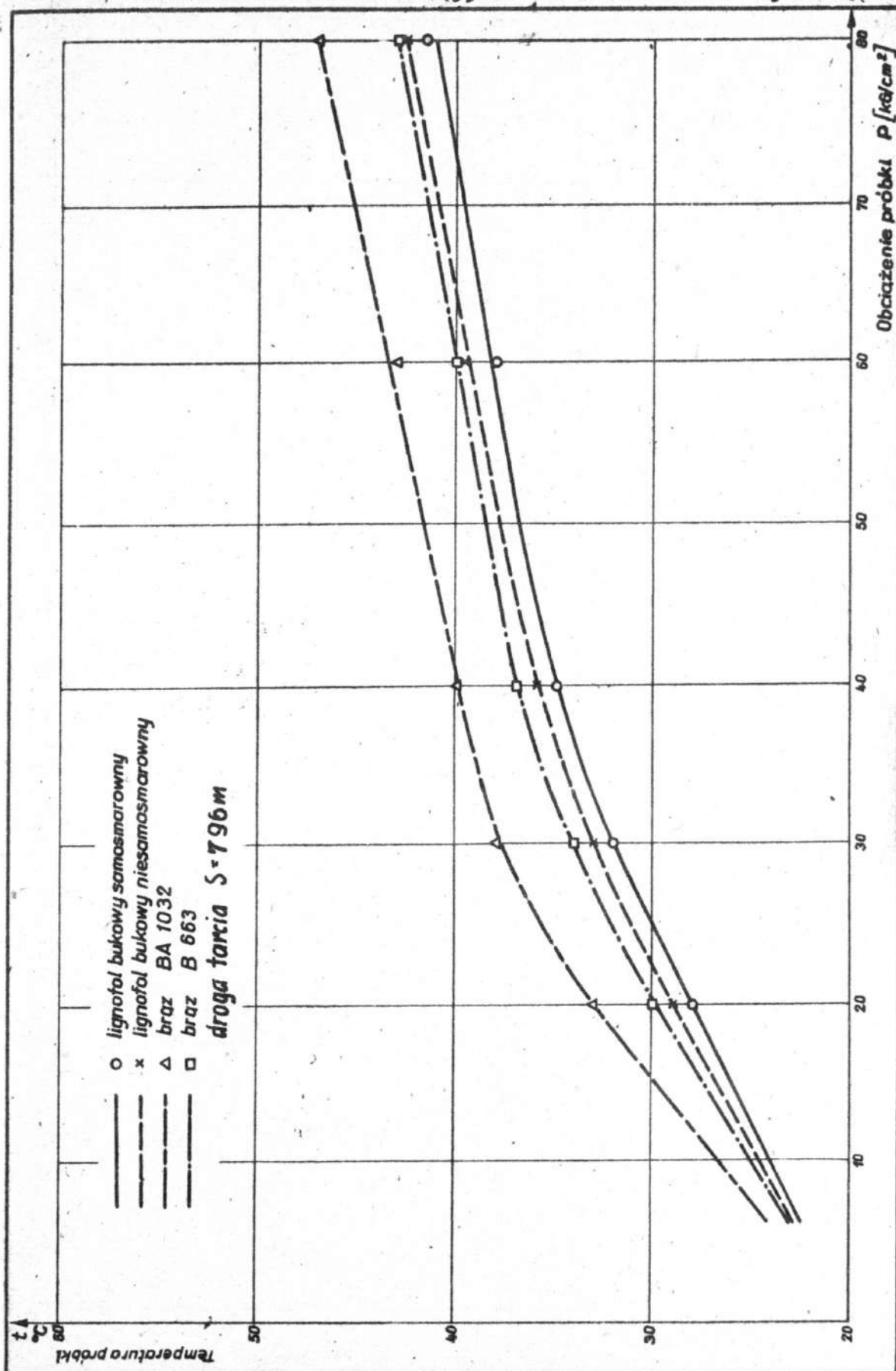
- 192 -

Wykres 18



Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$   
 $= 193 \text{ } \cdot$

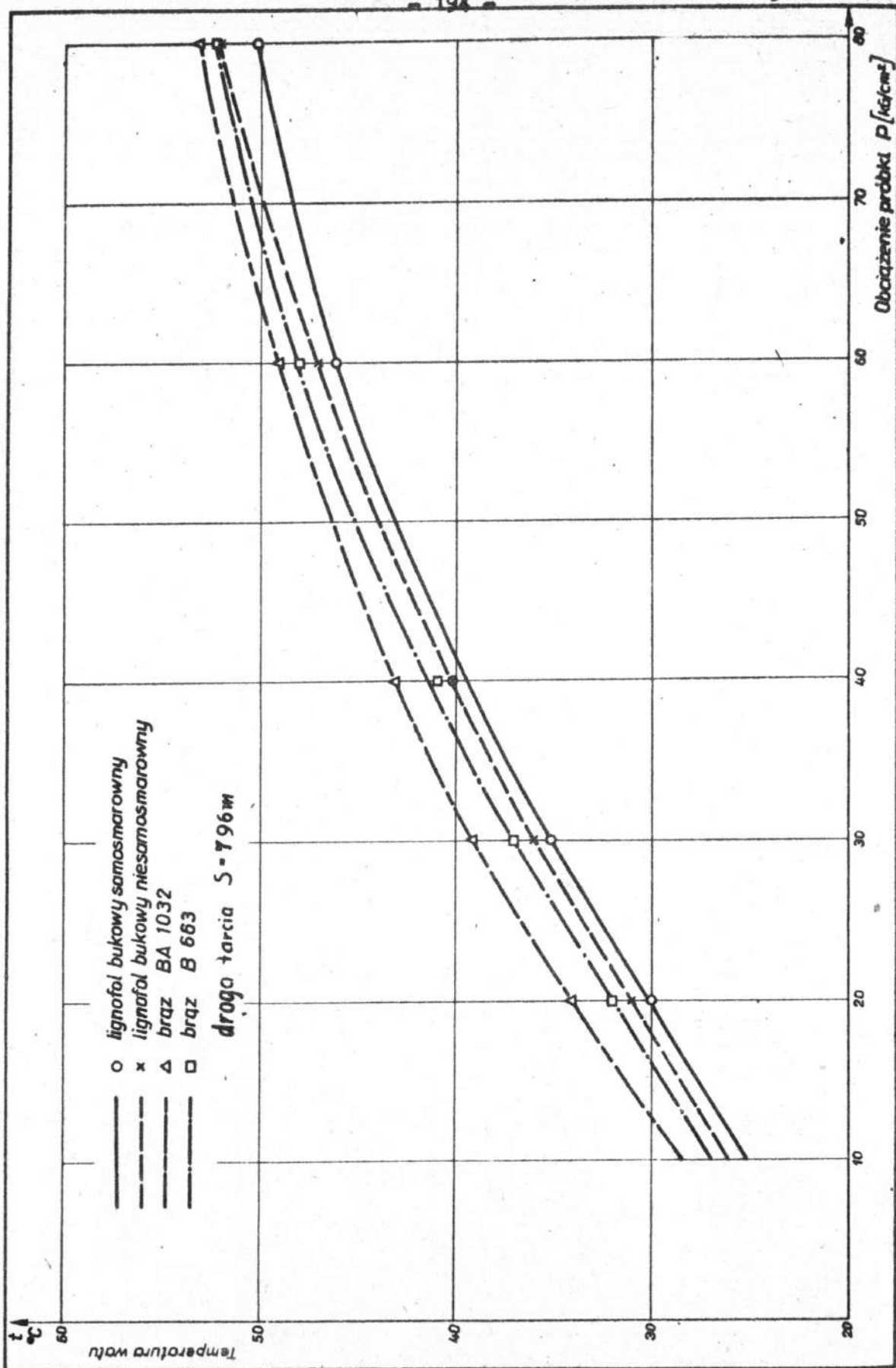
Wykres 19



Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$

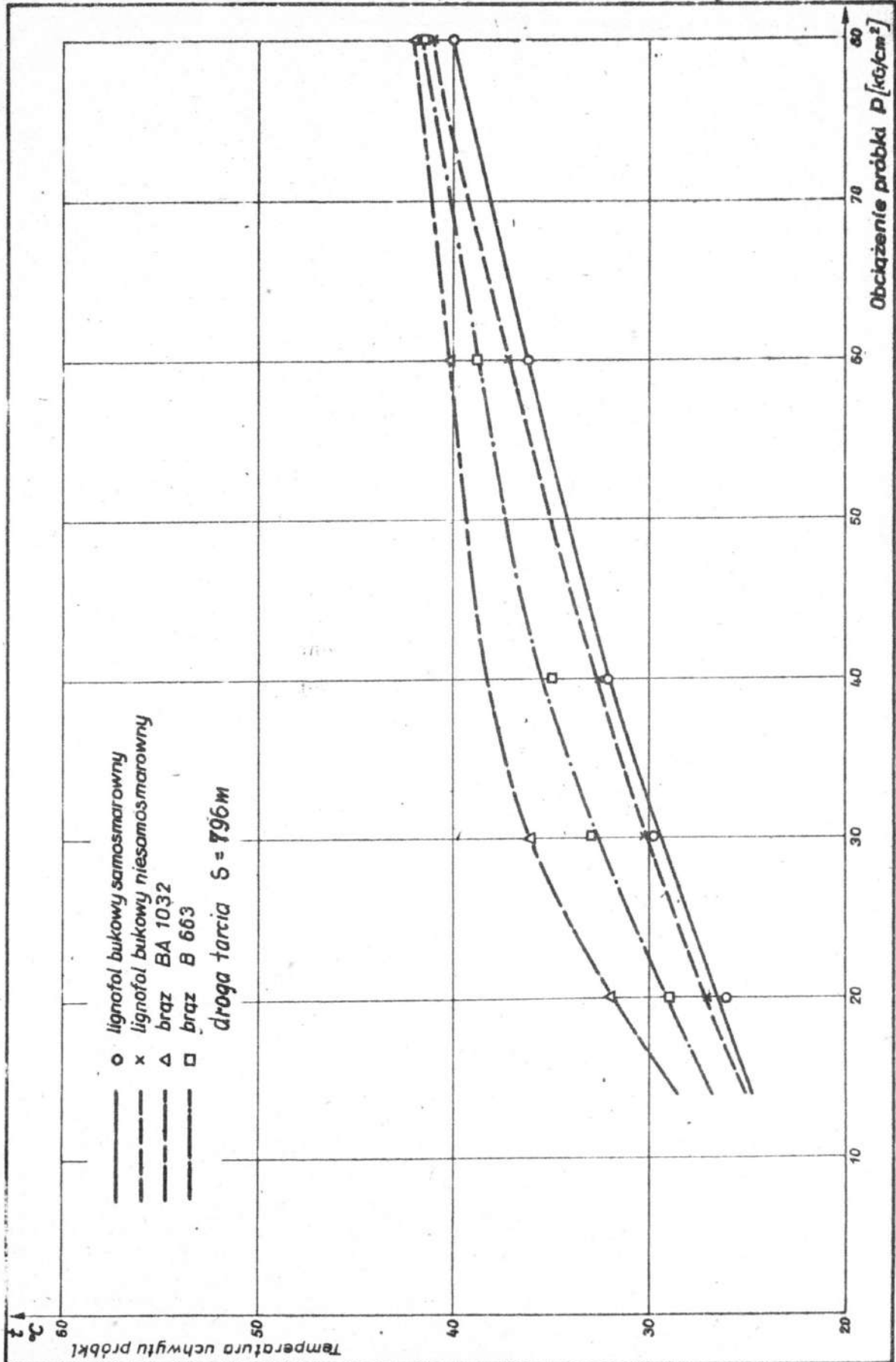
Wykres 20'

194



Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$   
- 195 -

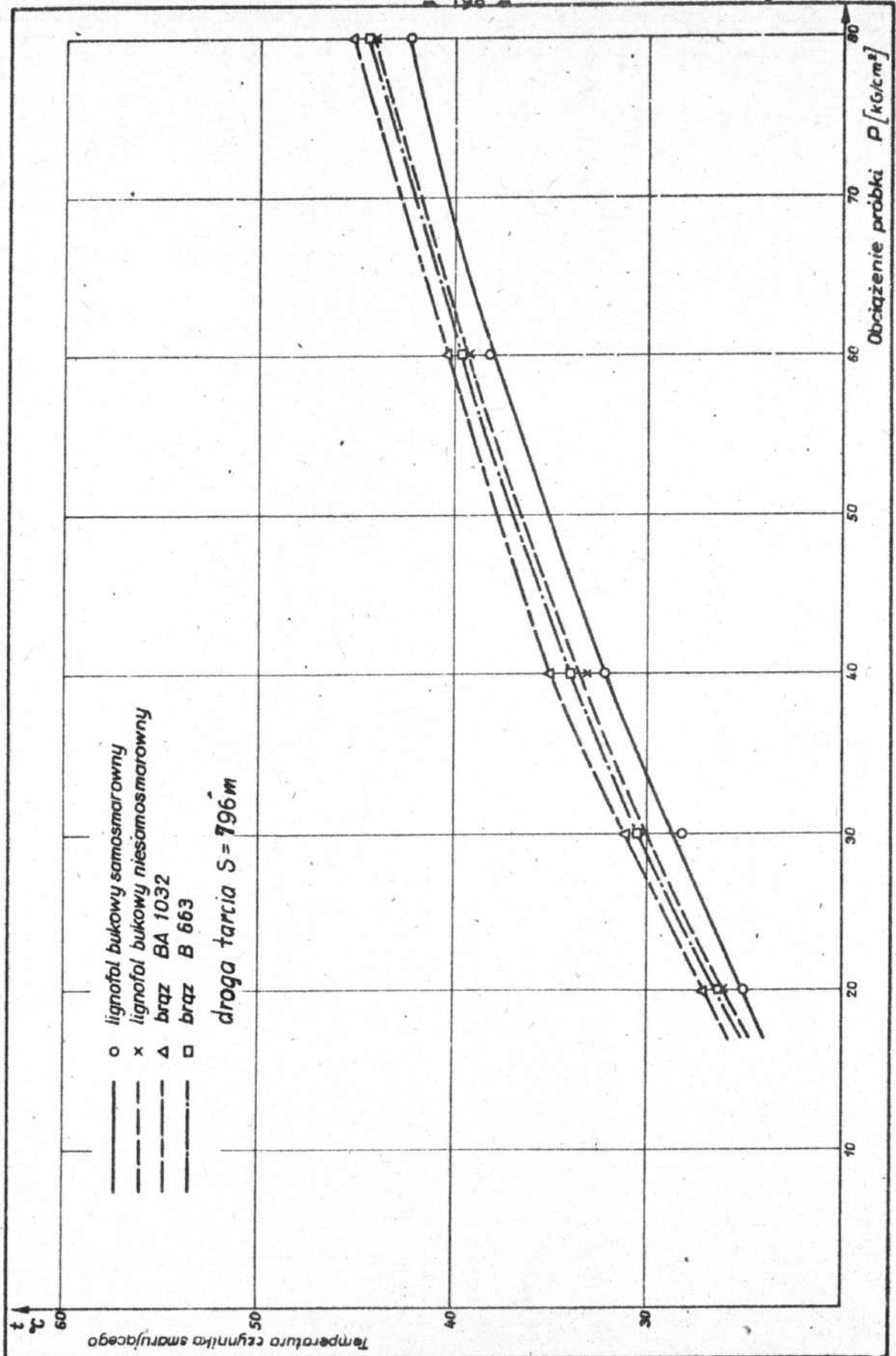
Wykres 21

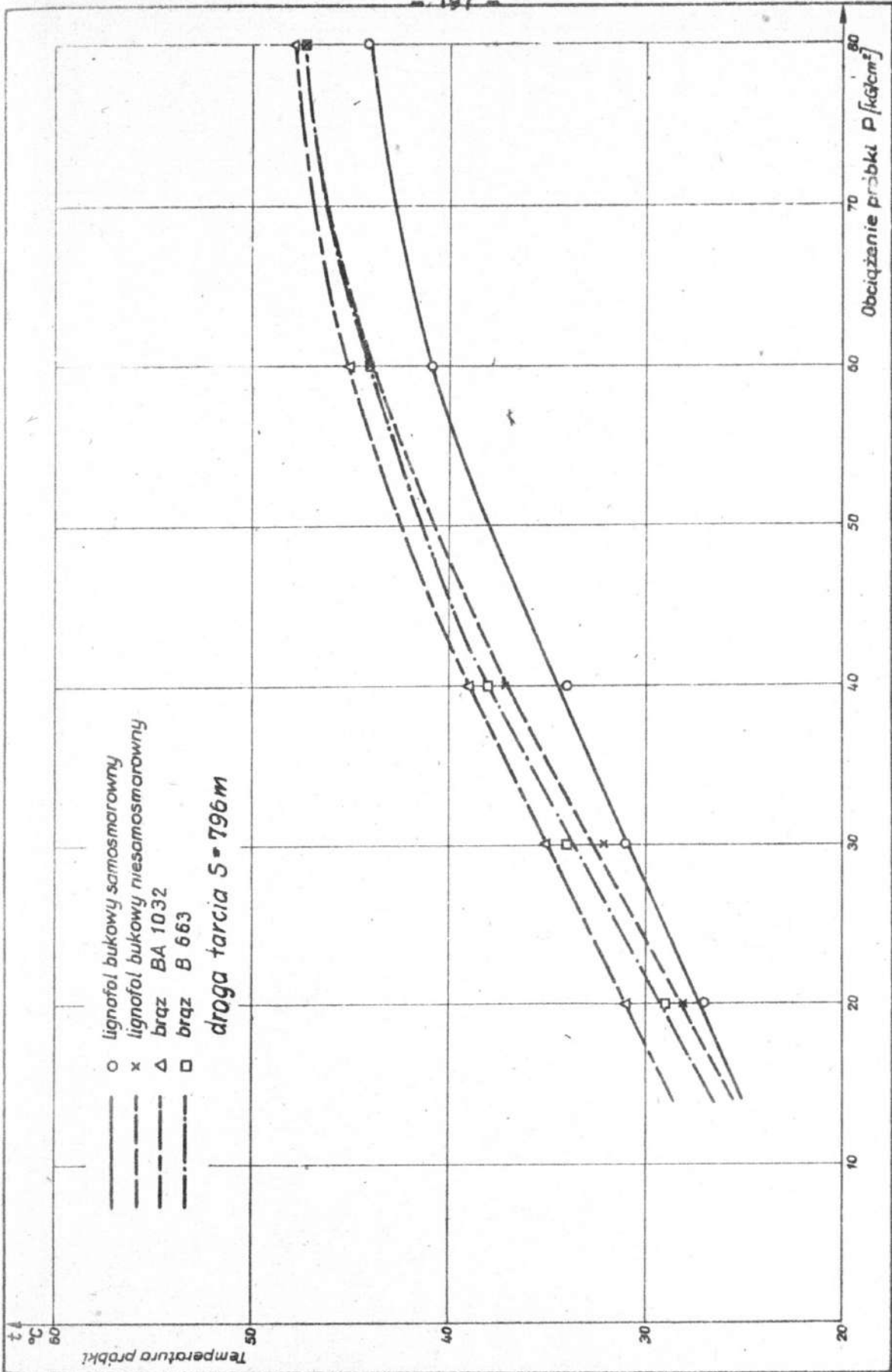


Prędkość obrotowa  $n = 450 \text{ obr/min}$

$S = 196 \text{ m}$

Wykres 22

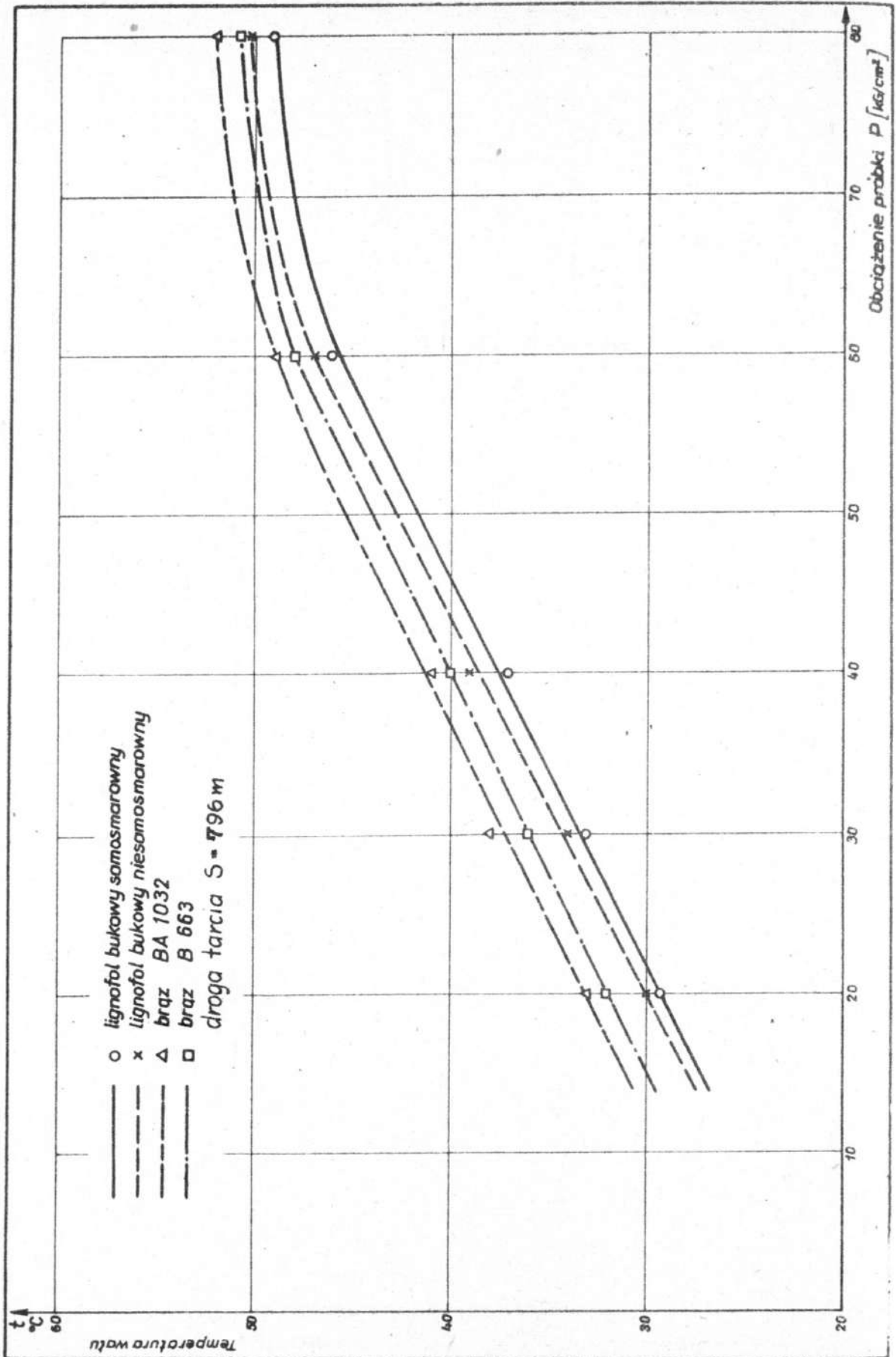






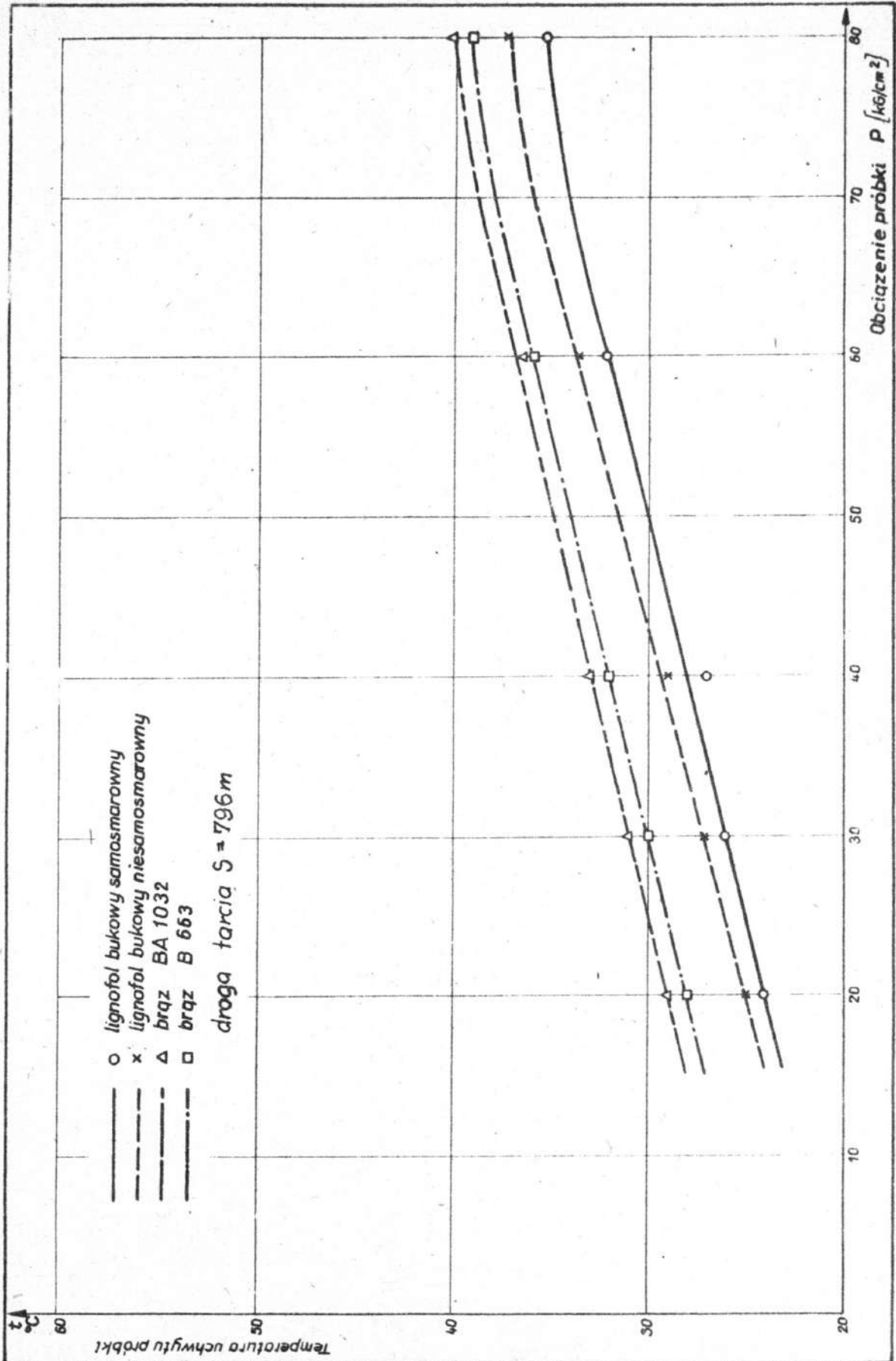
Prędkość obrotowa  $n = 198 \frac{obr}{min}$

Wykres 24



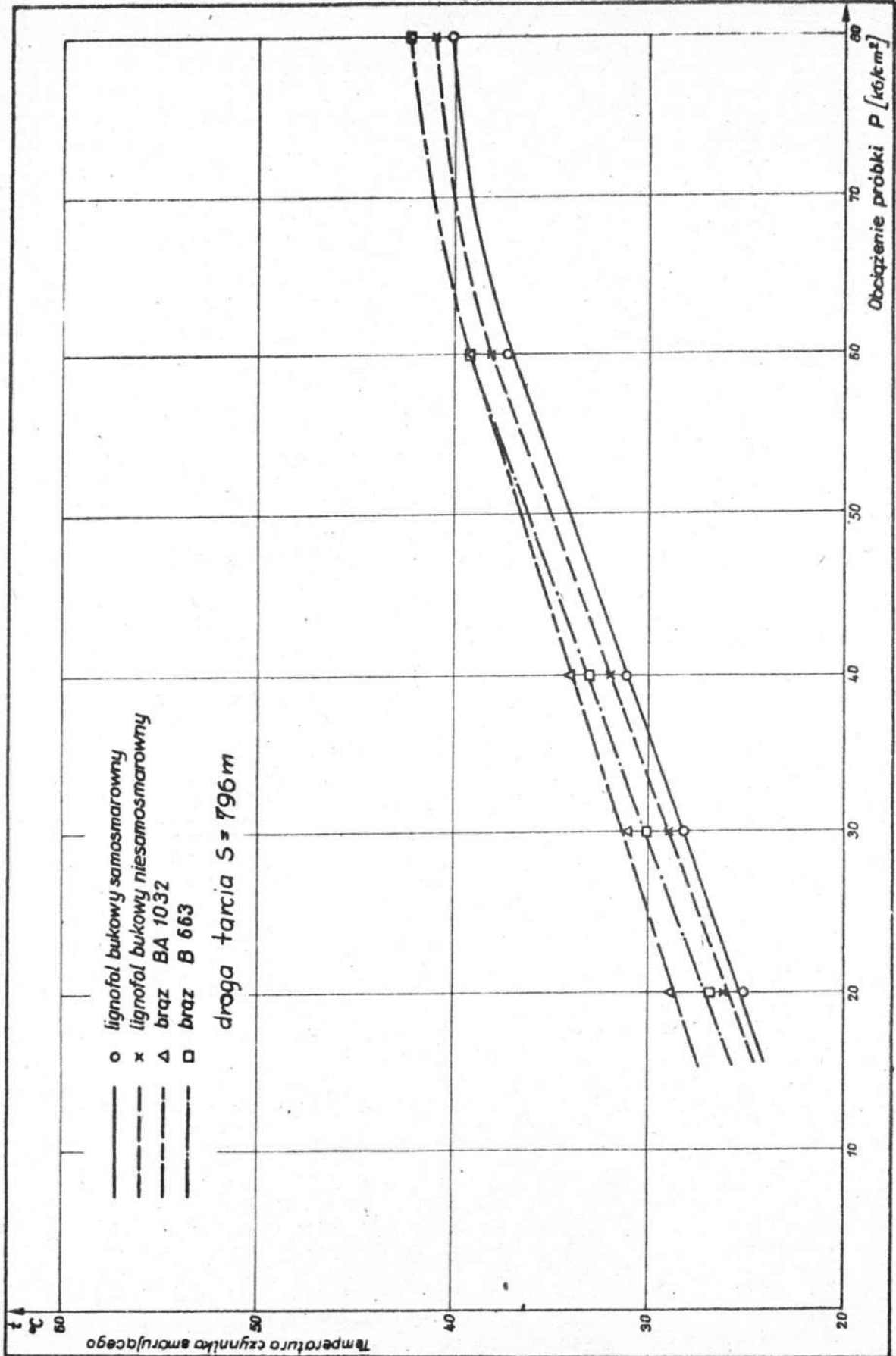
Prędkość obrotowa  $n = 850$  obr/min

Wykres 25



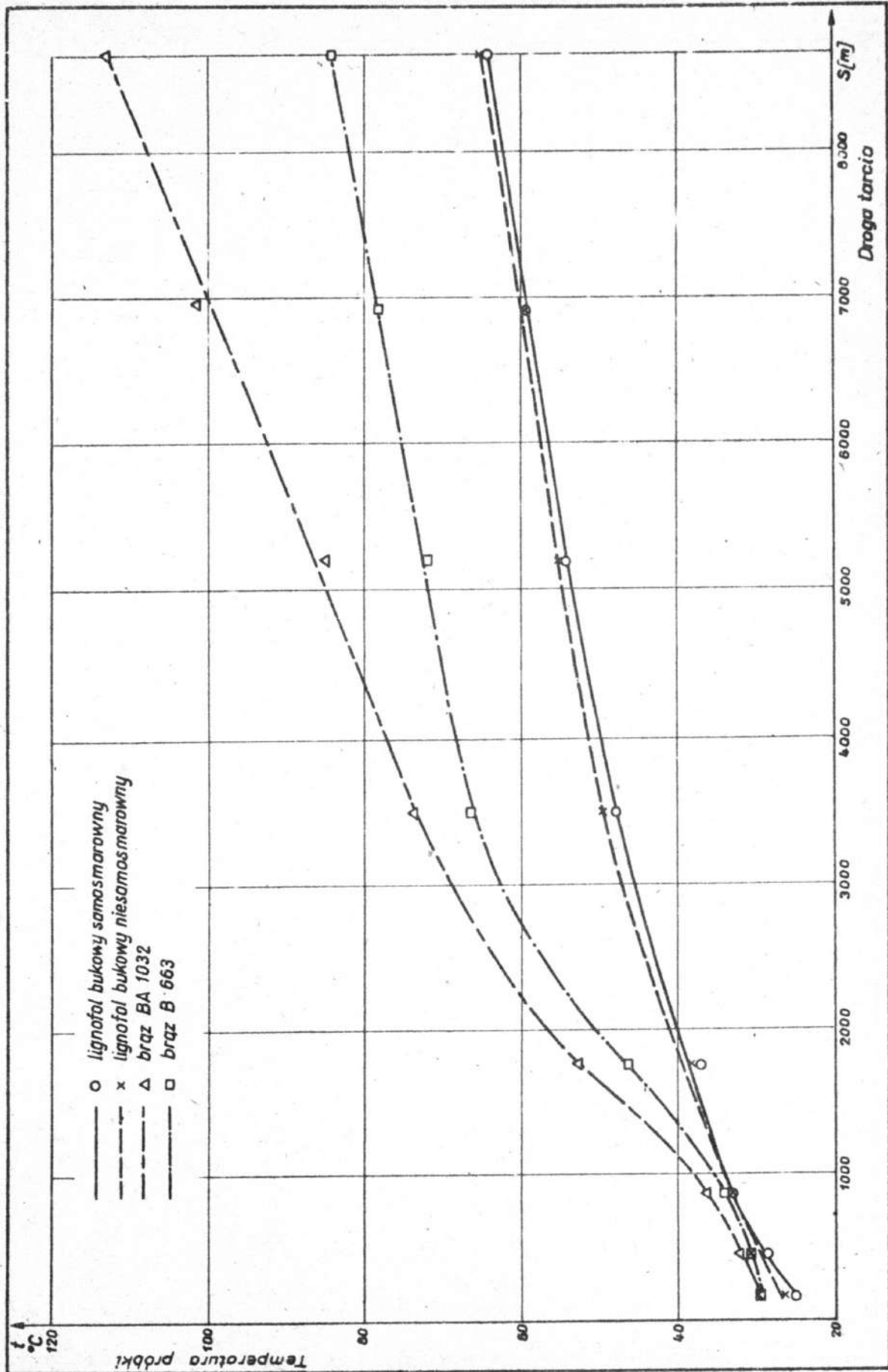
Prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$   
 $= 200 =$

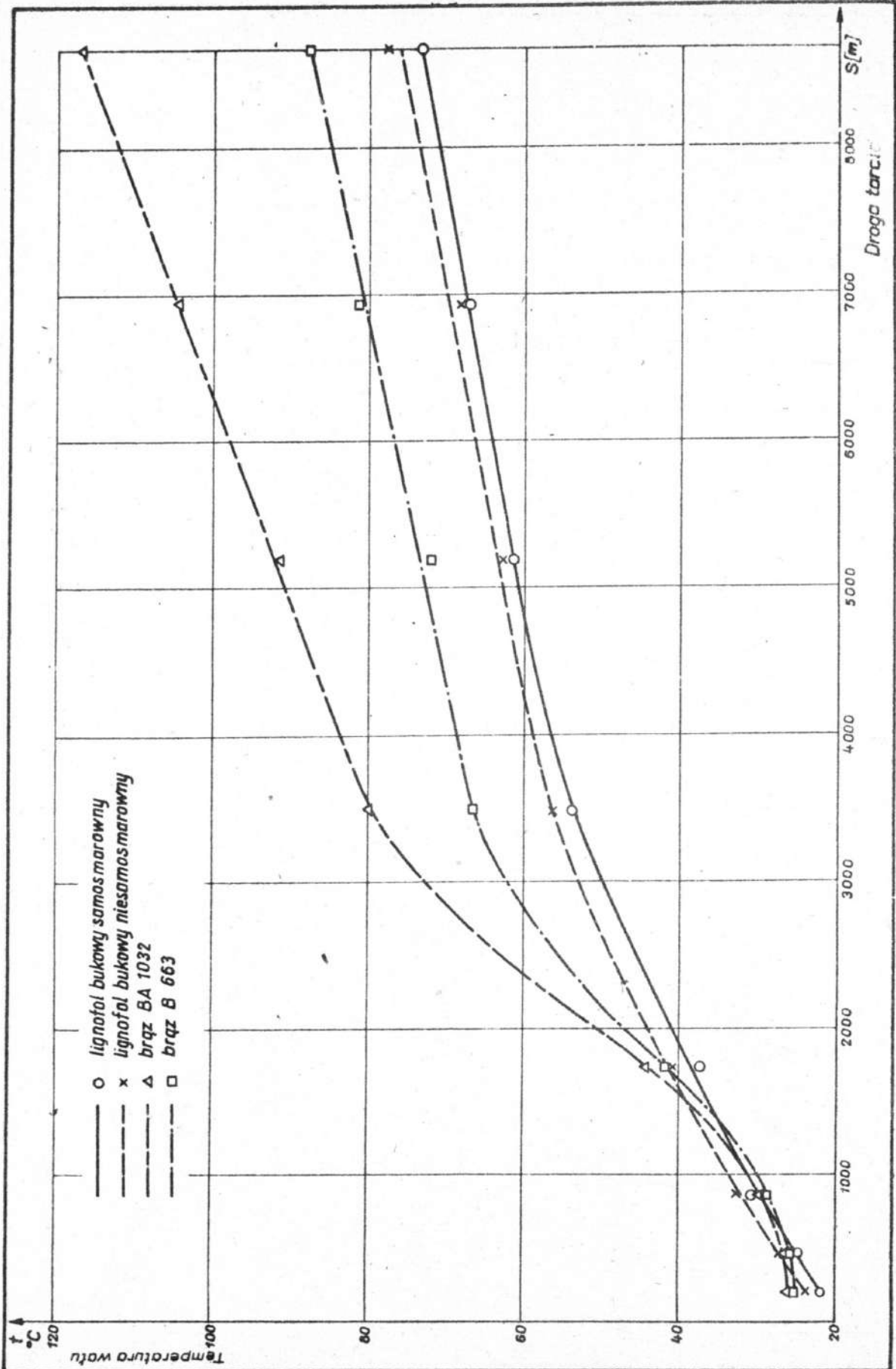
Wykres 26

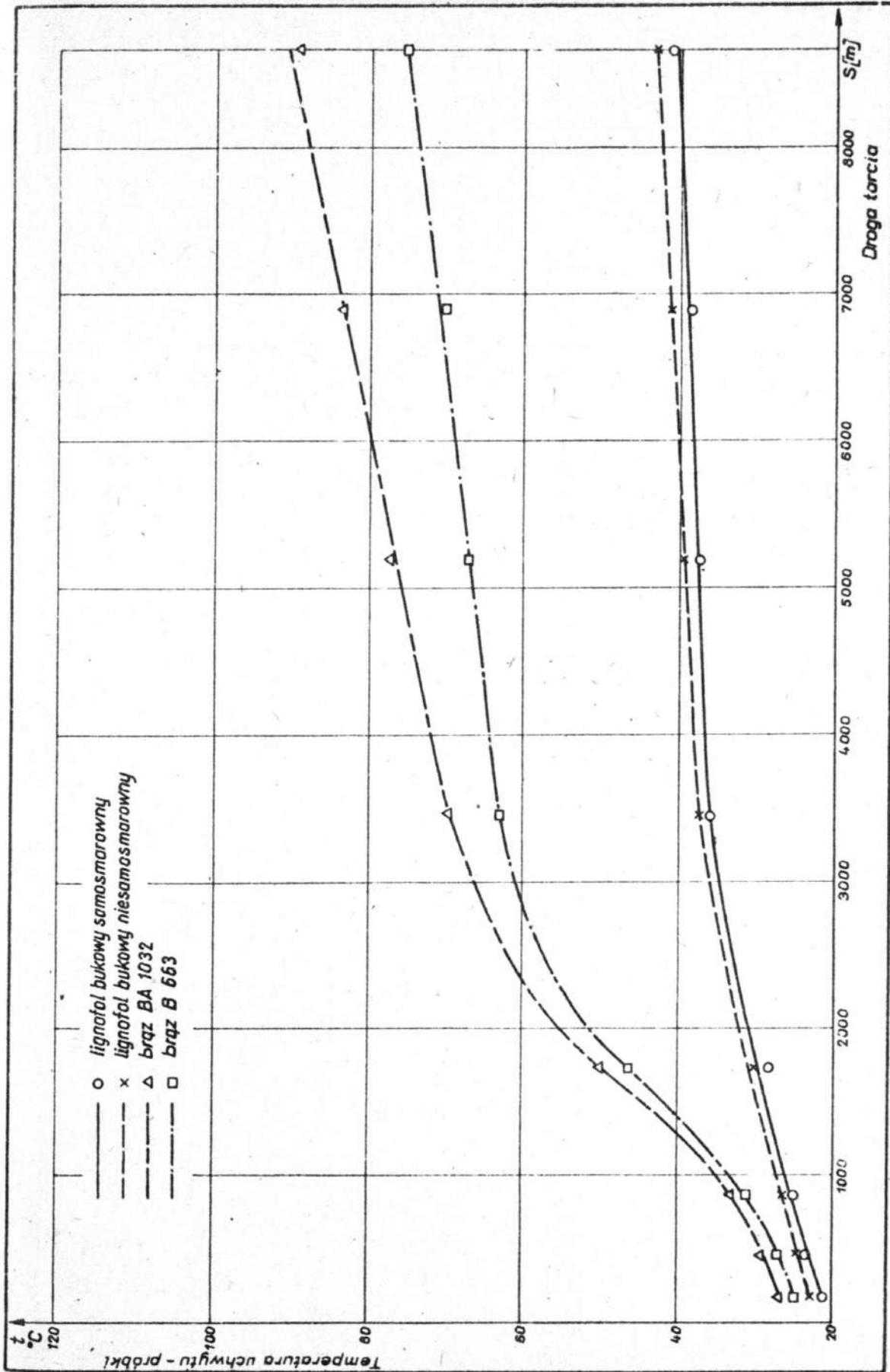


Obciążenie  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$  Prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$   
 = 201 =

Wykres 27

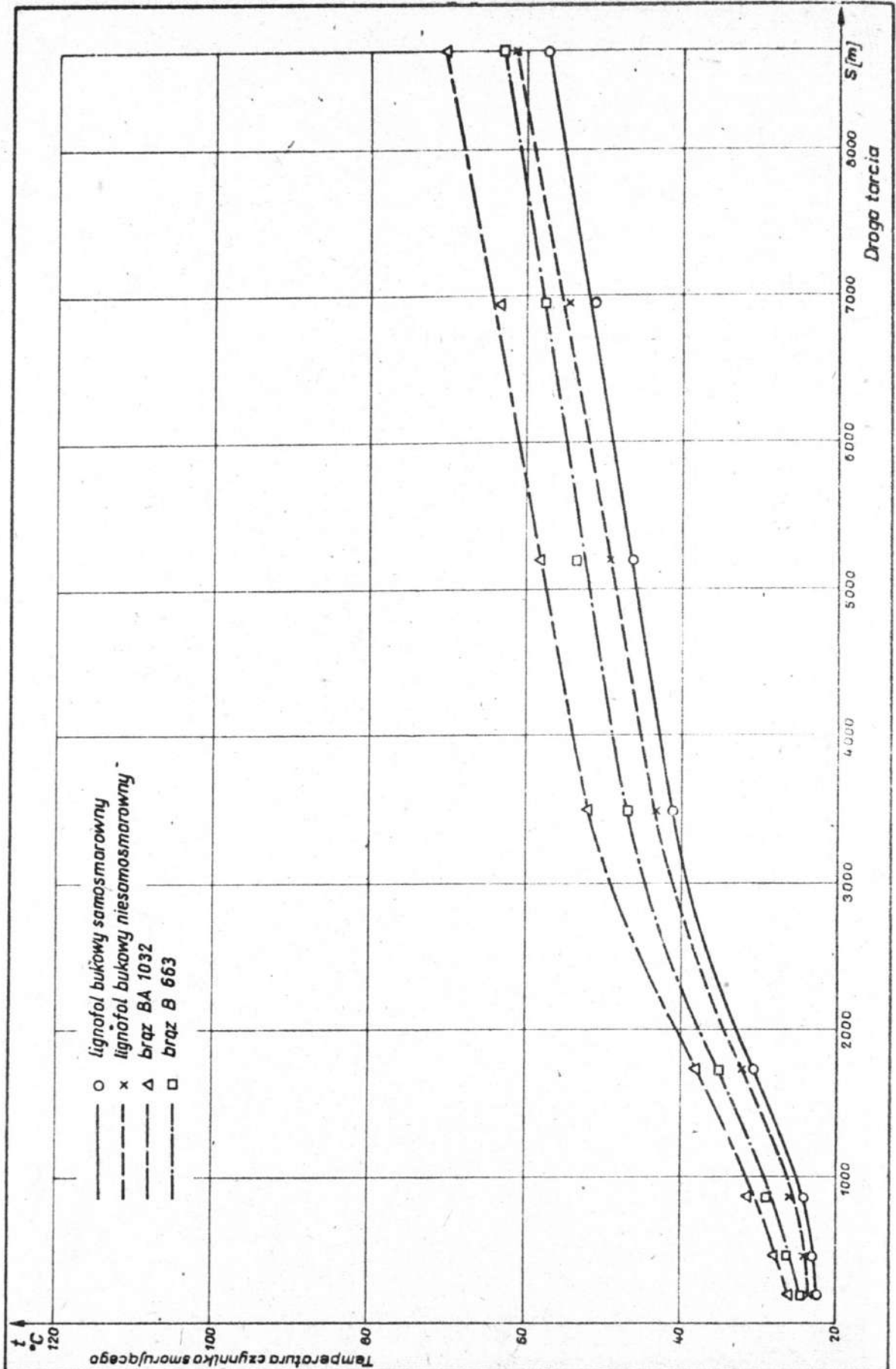






Obciążenie  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$  Prędkość obrotowa  $n = 850 \text{ obr/min}$   
= 204 =

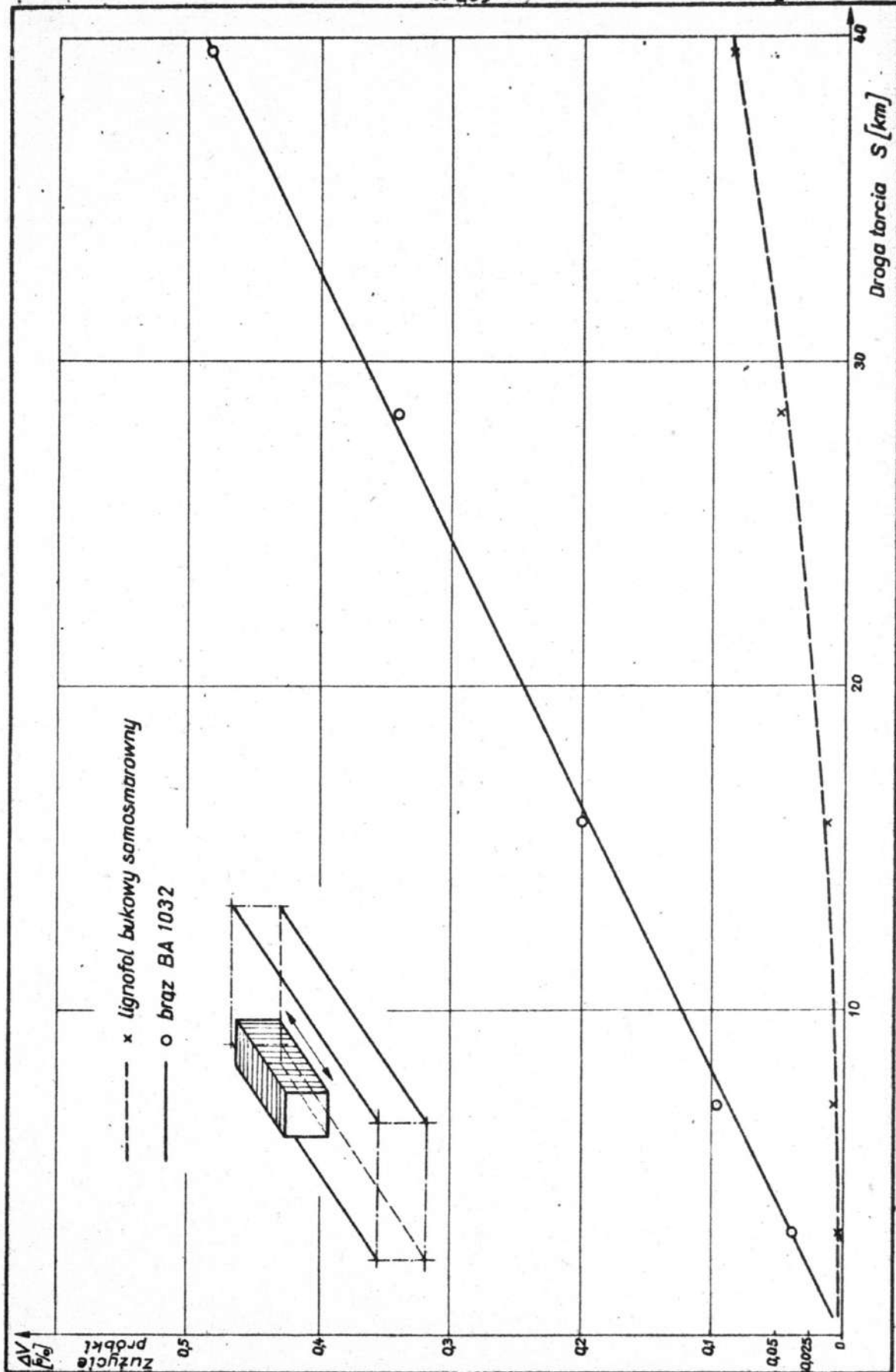
Wykres 30



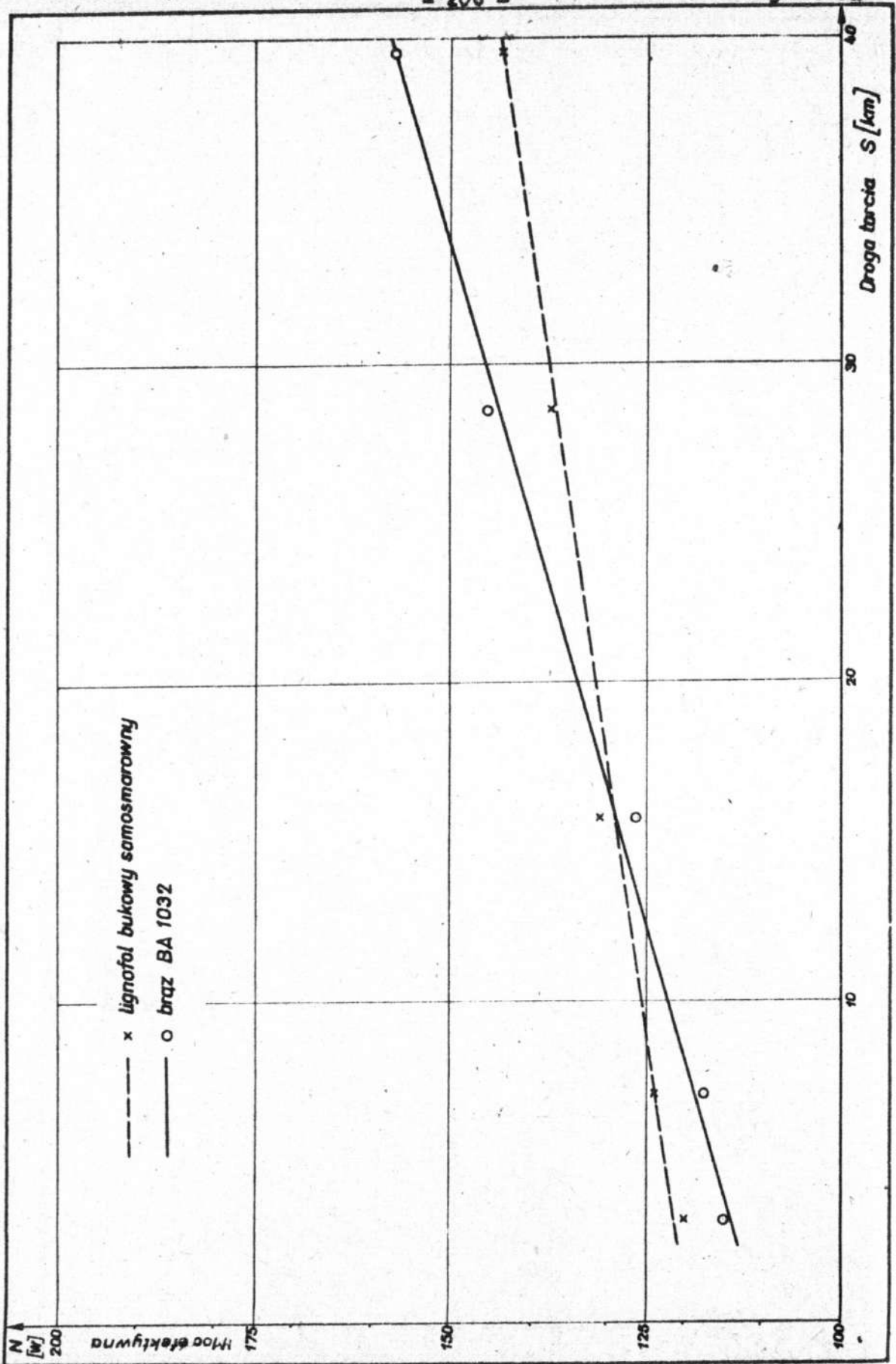
Obciążenie  $p = 25 \text{ kG/cm}^2$  Częstotliwość suwów  $v = 66 \text{ suwów/min}$

- 205 -

Wykres 54

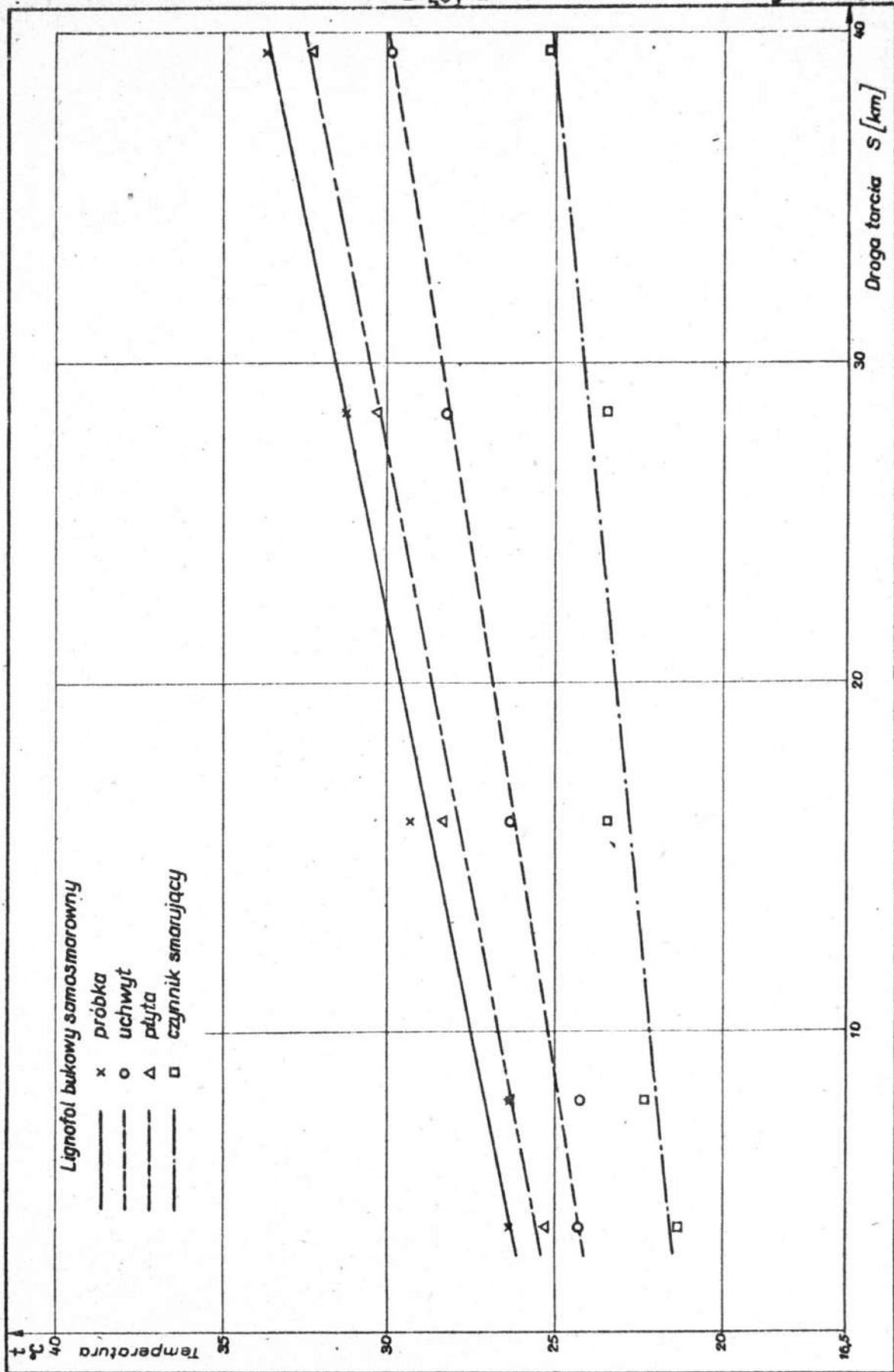






Obciążenie  $p = 25 \text{ kg/cm}^2$  Częstotliwość suwów  $v = 66 \text{ suwów/min}$

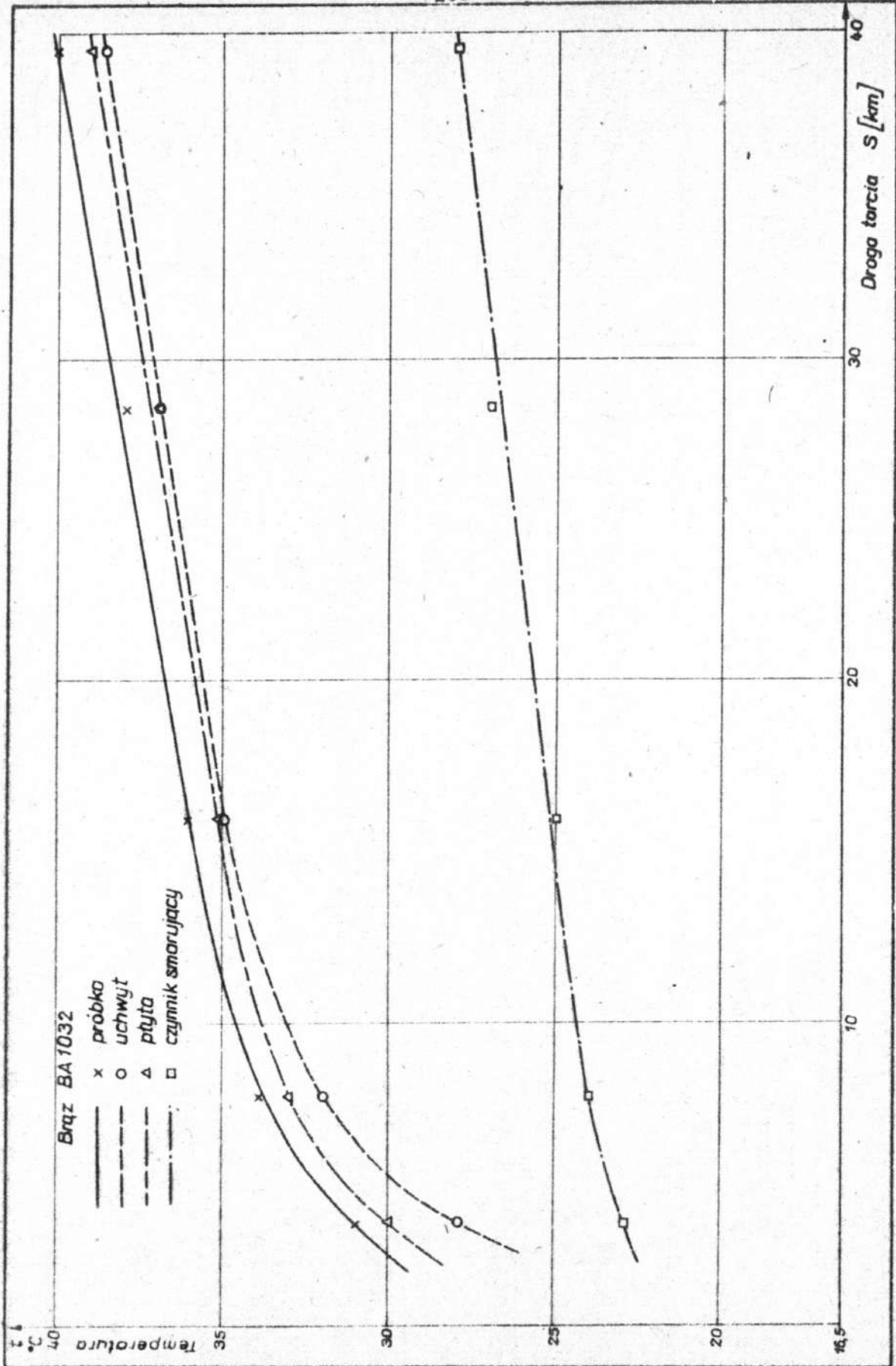
Wykres 23



Obciążenie  $p = 25 \text{ kN/cm}^2$

Częstotliwość suwów  $v = 66 \text{ suwów/min}$

Wykres 24



## 7. Wnioski końcowe

### 7.1. Wnioski dotyczące zużycia ściernego badanych materiałów

1. Dla obciążenia jednostkowego 25 i 45 kg/cm<sup>2</sup>, oraz dla prędkości obrotowej 450, 650 i 850 obr/min., zużycie ściernego badanych materiałów wyraża się dla ruchu obrotowego następującymi, procentowymi wskaźnikami:

a/przy smarowaniu olejem wrzecionowym

lignofol samosmarowny	13%
lignofol niesamosmarowny	31%
brąz B 101	80%
brąz BA 1032	83%
brąz BA 1044 B	96%
brąz B 663	100%

b/przy smarowaniu wodą

lignofol samosmarowny	0,2%
lignofol niesamosmarowny	5%
brąz B 663	31%
brąz B 101	55%
brąz BA 1044 B	98%
brąz BA 1032	100%

c/przy ścierniu "na sucho"

lignofol samosmarowny	0,1%
brąz B 101	29%
brąz B 663	37%
lignofol niesamosmarowny	38%
brąz BA 1044 B	100%
brąz BA 1032	

zniszczony przed zakończeniem próby

d/ średnio dla wszystkich sposobów smarowania

lignofol samosmarowny	4%
lignofol niesamosmarowny	28%
brąz B 101	51%
brąz B 663	55%
brąz BA 1044 B	100%
brąz BA 1032	zniszczony przed zakończeniem próby

2. Przy zwiększeniu obciążenia jednostkowego o 100%, zużycie ściernie porównywanych materiałów przy smarowaniu olejem wrzecionowym dla prędkości obrotowej 450 i 850 obr/min., wzrasta średnio:

brąz BA 1032	90%
brąz B 663	95%
lignofol samosmarowny	144%
lignofol niesamosmarowny	172%

3. Przy zwiększeniu drogi tarcia o 100%, zużycie ściernie porównywanych materiałów przy smarowaniu olejem wrzecionowym dla prędkości obrotowej 850 obr/min., wzrasta średnio:

brąz B 663	21%
brąz BA 1032	134%
lignofol samosmarowny	320%
lignofol niesamosmarowny	568%

4. Zużycie ściernie badanych materiałów kształtuje się dla ruchu posuwistego w przybliżeniu tak samo, jak dla ruchu obrotowego.

7.2. Wnioski dotyczące zapotrzebowania mocy przy  
ścieraniu badanych materiałów .

1. Dla obciążenia jednostkowego 25 i 45 kg/cm<sup>2</sup> i prędkości obrotowej 450, 650 i 850 obr/min , zapotrzebowanie mocy dla badanych materiałów dla ruchu obrotowego, przy drodze tarcia 796 m wyraża się następującymi, procentowymi wskaźnikami:

a/przy smarowaniu olejem wrzecionowym

brąz B 663	49%
brąz BA 1032	54%
lignofol samosmarowny	69%
lignofol niesamosmarowny	70%
brąz B 101	95%
brąz BA 1044 B	100%

b/przy smarowaniu wodą

lignofol samosmarowny	20%
lignofol niesamosmarowny	21%
brąz B 663	33%
brąz B 101	62%
brąz BA 1044 B	92%
brąz BA 1032	100%

c/przy ścieraniu "na sucho"

lignofol samosmarowny	36%
brąz B 663	51%
brąz B 101	61%
brąz BA 1044 B	83%
lignofol niesamosmarowny	100%

2. Przy zwiększeniu obciążenia jednostkowego o 100%, zapotrzebowanie mocy do ścierania materiałów przy smarowaniu olejem wrzecionowym i prędkości obrotowej 850 obr/min ,

wzrasta:

brąz B 663	53%
brąz BA 1032	55%
lignofol samosmarowny	66%
lignofol niesamosmarowny	67%

3. Przy zwiększaniu drogi tarcia o 100%, zapotrzebowanie mocy do ścierania materiałów przy smarowaniu olejem wrzecionowym, prędkości obrotowej 850 obr/min, i obciążeniu jednostkowym  $80 \text{ kg/cm}^2$  wzrasta:

lignofol samosmarowny	0,2%
lignofol niesamosmarowny	0,3%
brąz B 663	1,8%
brąz BA 1032	13%

4. Zapotrzebowanie mocy przy ścieraniu badanych materiałów ruchem posuwistym kształtuje się w przybliżeniu podobnie, jak dla ruchu obrotowego.

### 7.3. Wnioski dotyczące temperatury obserwowanej przy ścieraniu badanych materiałów

1. Dla obciążenia jednostkowego 25 i  $45 \text{ kg/cm}^2$ , oraz prędkości obrotowej 450, 650 i 850 obr/min, obserwowane temperatury próbki i jej uchwytu przy ścieraniu materiałów wynosiły średnio:

a/przy smarowaniu olejem wrzecionowym

	próbka	uchwyt próbki
lignofol samosmarowny	$33^{\circ}\text{C}$	$31^{\circ}\text{C}$
lignofol niesamosmarowny	$34^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C}$
brąz B 101	$40^{\circ}\text{C}$	$36^{\circ}\text{C}$

brąz BA 1032	40°C	37°C
brąz B 663	41°C	40°C
brąz BA 1044 B	43°C	39°C
b/przy smarowaniu wodą		
lignofol niesamosmarowny	28°C	25°C
lignofol samosmarowny	31°C	30°C
brąz B 663	37°C	31°C
brąz B 101	38°C	28°C
brąz BA 1044 B	40°C	37°C
brąz BA 1032	51°C	41°C
c/przy ścieraniu "na sucho"		
lignofol samosmarowny	34°C	31°C
lignofol niesamosmarowny	50°C	27°C
brąz B 101	126°C	91°C
brąz B 663	134°C	96°C
brąz BA 1044 B	163°C	124°C
brąz BA 1032	zniszczony przed zakoń- czeniem próby ścierania	

2. Przy zwiększeniu obciążenia jednostkowego o 100%, obserwowane temperatury próbki i jej uchwytu podczas ścierania badanych materiałów przy smarowaniu olejem wrzecionowym wznoszą się średnio:

	próbka	uchwyt próbki
lignofol samosmarowny	28-34°C	25-29°C
lignofol niesamosmarowny	29-37°C	26-31°C
brąz B 663	30-38°C	29-34°C
brąz BA 1032	32-38°C	31-36°C

3. Przy zwiększeniu drogi tarcia o 100%, zaobserwowane temperatury próbki i jej uchwytu podczas ścierania poszczególnych materiałów, przy smarowaniu olejem wrzecionowym, prędkości obrotowej 850 obr/min., i obciążeniu jednostkowym



80 kg/cm<sup>2</sup> wynosiły:

	próbka	uchwyt próbki
lignofol samosmarowny	29-33°C	24-25°C
lignofol niesamosmarowny	31-33°C	25-26°C
brąz B 663	31-34°C	27-31°C
brąz BA 1032	32-36°C	29-33°C

4. Zaobserwowane temperatury podczas ścierania badanych materiałów kształtują się dla ruchu posuwistego tak samo, jak dla ruchu obrotowego.

#### 8. Literatura

1. Andrejew L.: Zastosowanie łożysk lignofolowych w klatkach walców zębatach walcowni trio.250  
Wiad.hut.1955,nr 4,s.113-114
2. Bączkowski T.: Porównanie niektórych fizycznych i mechanicznych własności lignofolu nasyconego i nienasyconego olejem maszynowym  
Praca magisterska KMTD WSR - Poznań 1962
3. Chruszczow M.M., Babiczew M.A.: Issledowanije iznasziwanija mietalłow. Izd.A.N.SSSR-Moskwa 1960
4. Chruszczow M.M., Babicz M.A.: Issledowanije wlijanija twierdosti abraziwa na isnos mietalłow.Trienije i iznos w maszinach zb.XI. -1956
5. Chruszczow M.M.: Issledowanije iznasziwanija mietalłow i spławow pri trienii ob abraziwnuju powierchnost. Trienije i iznos w maszinach zb.XI.- 1956
6. Chuchrianskij P.N.: Pressowanije dREWIESINY. Moskwa 1964
7. Folfasiński J.: Niemetaliczne materiały łożyskowe w hutnictwie. Kraków 1953

8. Jekimienkow S.G.: Primienienije p̄lastmass i p̄riesowannoj d̄rewiesiny w podszipnikach sielskochoziajstwiennych maszin. P̄lastmassy kak antifrikcionnyje materiały. Izd.A.N.SSSR-Moskwa 1961
9. Łorienc W.F.: Iznos dietaliej sielskochoziajstwiennych maszin. Maszgiz -Moskwa 1948
10. Michalski K.: Łożyska i koła zębate z tworzyw sztucznych. Techn.Motoryz., 1959, nr 9, s.330-334
11. Michalski M.: Nowe tworzywa sztuczne i ich zastosowanie na łożyska ślizgowe. Techn.Motoryz., 1961, nr 8
12. Perkitny T.: Badanie nad ciśnieniem pęczenia drewna. PWR 1 L.1951
13. Perkitny T., Wnuk M.: Technologia drewna warstwowego "Mechanik" Poradnik Techniczny tom III. Warszawa 1956
14. Perkitny T., Wnuk M., Dziedzic L.: Badania zmierzające do opracowania optymalnej technologii klejenia lignofoli z zastosowaniem wstępnego ogrzewania paczki. Zakład Tworzyw Drzewnych Poznań 1961
15. Romanowski A.: Stopy miedziowo-ołowiowe jako materiał łożyskowy. Motoryzacja, 1954, nr 6, t.9, s.166-170
16. Stephan H.: Zur Bewertung der Lagerwerkstoffe. Z.VDI Dusseldorf, 1954, t.96, nr 14, s.403-410.
17. Surowiak W., Chudzyński S.: Tworzywa sztuczne w budowie maszyn PWT - Warszawa 1954
18. Sroblukow N.N., Iwanow : Antiwirkcionnyje materiały dla podszipników skalienja. Maszgiz.D., s.88, Moskwa 1956
19. Tienienbaum M.M.: K metodikie ispytanja podszipnikowych materiałkow na iznos. Trienije i iznos w maszinach Sbornik 7, Moskwa 1953, s. 99-103
20. Wojciechowicz B.: Wpływ zanieczyszczenia ziarnami piasku na zużycie łożysk ślizgowych. Praca doktorska 1963
21. Wesołowski K.: Metaloznawstwo tom.I. PWT - Warszawa 1954
22. Wesołowski K.: Metaloznawstwo tom III. PWT - Warszawa 1957
23. Wnuk M.: Dokumentacja technologiczna produkcji lignofoli samosmarownych. Zakład Tworzyw Drzewnych. Bydgoszcz 1958