

## Ćwiczenie: „Oznaczanie ścieralności tworzyw polimerowych”

### 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zaznajomienie studentów z zagadnieniami dotyczącymi zużycia ściernego tworzyw sztucznych, a także przeprowadzenia oznaczenia wskaźników ścieralności na aparacie Grasselli.

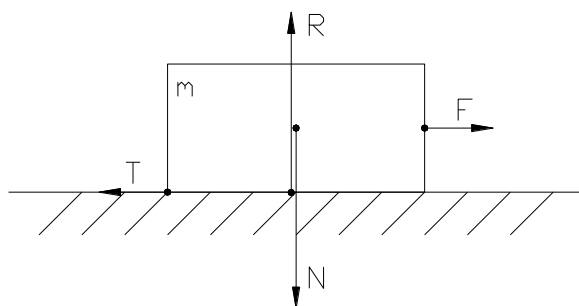
### 2 Tarcie ślizgowe i zużycie ściernie.

Tarcie jest niezbędnym warunkiem poruszania się istot żywych oraz samochodów, pociągów itp., a także funkcjonowania wielu mechanizmów, np. sprzęgła czy przekładni. Tam, gdzie jest ono zjawiskiem niekorzystnym, zmniejsza się je, wprowadzając pomiędzy trące mechanizmy cieczy (np. w przekładniach zębatych i łożyskach - "wzorcem" jest tu rozwiązanie problemu tarcia w stawach łączących kości), zamieniając tym samym tarcie w układzie dwóch ciał stałych na tarcie w cieczy.

Rozróżnia się tarcie ślizgowe i tarcie toczne. Tarcie przy toczeniu jest znacznie mniejsze niż przy posuwaniu się. Tarcie toczne w instrukcji pominięto.

**Tarcie ślizgowe** (suwne, posuwiste, dynamiczne) jest to zjawisko powstawania siły mechanicznej dyssypatywnej (tj. rozpraszającej energię) przeciwdziałającej ruchowi, występujące przy przesuwaniu się dwóch stykających się powierzchni ciał stałych względem siebie.

Siła tarcia proporcjonalna jest do siły nacisku (tj. składowej prostopadłej do powierzchni styku z wypadkowej siły działającej na poruszające się ciało). Siła tarcia zależy od rodzaju powierzchni, stopnia ich wygładzenia itp. Charakteryzuje się je podając współczynnik tarcia tj. współczynnik proporcjonalności między siłą tarcia a naciskiem.



$$T = \mu \cdot N$$

Rys. 1.

Rysunek 1. Tarcie klocka o podłoże.  $N$  – nacisk,  $R$  – reakcja podłoża,  $F$  – siła usiłująca przesunąć klocek,  $T$  – siła tarcia przeciwstawiająca się  $F$  (w przypadku gdy prędkość klocka  $v = \text{const}$  to  $T = F$ ),  $m$  – masa klocka,  $\mu$  – współczynnik tarcia ślizgowego

Współczynnik tarcia  $\mu$  jest wielkością bezwymiarową i wyraża zdolność ciała do hamowania. Współczynnik  $\mu$  jest liczbą, która zmienia się w zależności od panujących warunków. Im większe  $\mu$  tym materiał lepiej hamuje, tym wyższe jest tarcie.

$$\mu = f(T, v, p)$$

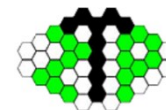
$T$  - temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$v$  - prędkość ślizgowa [m/s]

$p$  - nacisk [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]

Wyznacza się dwa rodzaje współczynnika tarcia:

- $\mu_{\text{stat}}$  - statyczne określające zdolność do hamowania w bezruchu, tzn. wskazuje siłę jaka musi być



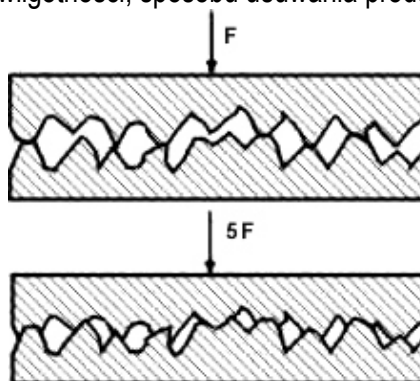
- użyta przy danym nacisku i danej temperaturze do wprowadzenia elementu w ruch,  
•  $\mu_{kin}$  - kinetyczne określające zdolność do hamowania poruszającego się elementu.

Istnieje zależność:  $\mu_{stat} > \mu_{dyn}$  czyli tarcie przy rozpoczynającym się ruchu jest większe niż przy ruchu już odbywającym się.

Pełne informacje o przebiegu procesu tarcia i zużycia danego skojarzenia ślizgowego można uzyskać tylko na drodze eksperymentalnej. Złożoność zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących w warstwie wierzchniej podczas tarcia i zużywania się badanych materiałów wynika z dużej liczby czynników mających wpływ na przebieg tych zjawisk. Dlatego uzyskanie możliwie pełnych informacji o badanym skojarzeniu ślizgowym staje się realne tylko w przypadku wszechstronnych badań i analiz z wykorzystaniem różnych metod i technik badawczych.

**Zużyciem ściernym**, powodowanym procesami tarcia, nazywa się ubytek materiału spowodowany procesami mikroskrawania, rysowania i brzdowania, z dwóch stykających i przesuwających się po sobie powierzchni. Produkty zużywania ściernego są usuwane ze strefy kontaktu, lub są wciskane w warstwę wierzchnią tworzywa, zmieniając przez to warunki współpracy.

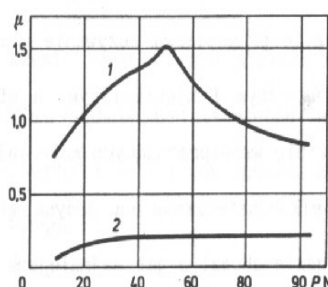
Proces zużycia ściernego zależy od: nacisku, prędkości przesuwu powierzchni trących, ruchu względnego elementów trących, rodzaju powierzchni trących i geometrii ich styku ze sobą, smarowania, temperatury otoczenia i w strefie tarcia, wilgotności, sposobu usuwania produktów ścierania.



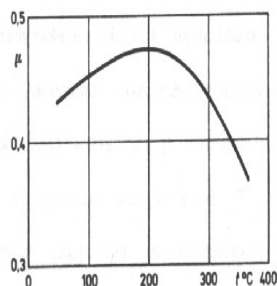
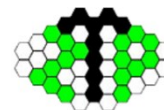
Rysunek 2. Trące o siebie powierzchnie przy nacisku F i pięciokrotnie większym 5F.

Nierówności materiałów odpowiedzialne za tarcie i ścieranie się pokazane są na rysunku 2, oprócz tego obrazowo pokazane jest czemu zwiększanie nacisku F powoduje zwiększenie tarcia i zużycia ściernego.

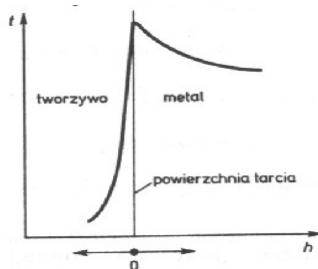
Energia zużyta na pokonanie sił tarcia i powodująca ścieranie się powierzchni zamieniana jest prawie w 100% na ciepło nagrzewając warstwę wierzchnią. Podczas tarcia może następować zmienianie się właściwości i struktury powierzchni powodujące zmianę procesów tarcia.



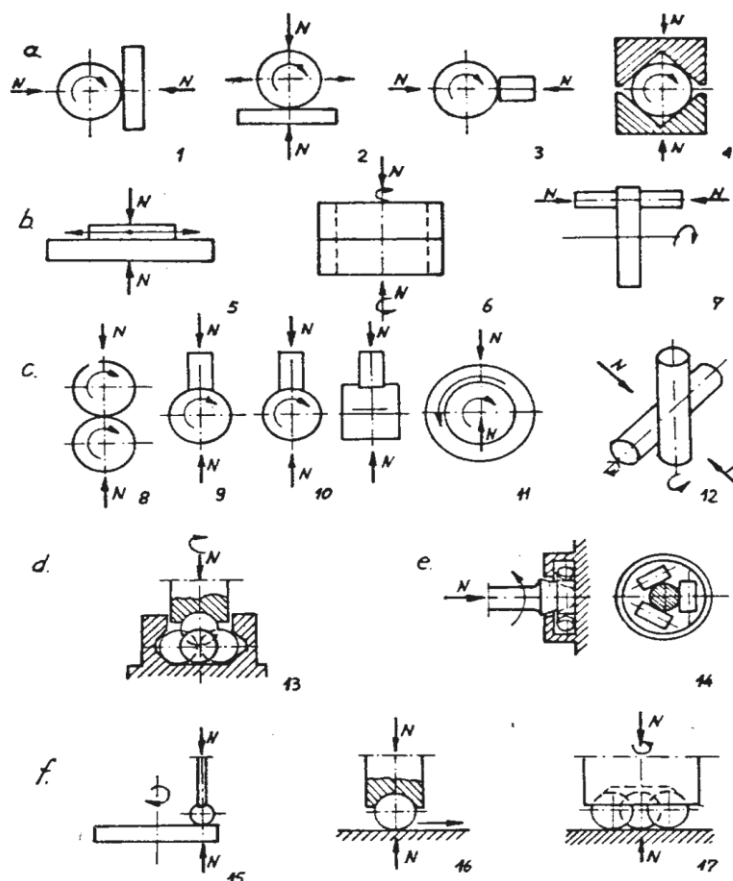
Rysunek 3. Zależność współczynnika tarcia od obciążenia normalnego 1 – poliamid po poliamidzie, 2 – poliamid po policzterofluoroetylenie.



Rysunek 4. Zależność współczynnika tarcia od temp. w przypadku współpracy tworzywa na okładziny hamulców samochodowych.



Rysunek 5. Porównanie gradientów temp. dla skojarzenia tworzywo – metal.



Rysunek 6. Schematy geometrii styku próbki z przeciwpróbką w różnych urządzeniach do laboratoryjnych badań trybologicznych.

grupa 1 – styk powierzchniowy:      poz. 5, 6, 7, 9, 10, 11  
grupa 2 – styk liniowy:              poz. 1, 2, 3, 4, 8



### 3 Metody

Znormalizowane badania zużycia ściernego tworzyw sztucznych podane są w wykazie literatury. Zakład Tworzyw Polimerowych Politechniki Szczecińskiej wyposażony jest w następujące urządzenia do badań zużycia ściernego:

- aparat Grasselli
- aparat Tabera
- aparat Schoppera (obracający bęben cylindryczny)

Ćwiczenie zostanie przeprowadzone na aparacie Grasselli

#### 3.1 Oznaczanie wskaźników ścieralności na aparacie Grasselli.

##### 3.1.1 Zakres stosowanie metody

Metoda stosuje się przede wszystkim do gumy i tworzyw gumopodobnych, ale można ją z powodzeniem zastosować do wszystkich tworzyw sztucznych.

##### 3.1.2 Opis metody

Aby najbardziej obrazowo scharakteryzować tworzywo sztuczne pod względem odporności na ścieranie w określonych warunkach ścierania podaje się najczęściej ubytek wysokości próbki  $h$  w stosunku do drogi ścierania  $L$ .

$$K_s = \frac{h}{L}$$

Wartości  $h$  z powyższego wzoru czyli ubytek wysokości próbki można wyznaczyć mierząc ubytek masy próbki  $m$  i dzieląc go przez gęstość  $\rho$  oraz pole powierzchni trącej  $S$ .

$$K_s = \frac{m}{\rho \cdot S \cdot L}$$

W aparacie Grasselli (rys. 7.) wyznacza się wskaźnik ścieralności, nie mówiący nam jaka wysokość próbki ściera się po określonej drodze ścierania, tylko jak duża objętość próbki w  $\text{cm}^3$  ulegnie starciu po wykonaniu pracy jednej kWh (kilowatogodziny) – w dokładnie określonych warunkach ścierania tj. prędkości, nacisku itp.

Praca w mechanice jest iloczynem siły jaką musimy przyłożyć, aby przesunąć ciało, oraz drogi jaką pokona punkt przyłożenia siły

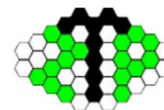
$$W = F \cdot L \quad , N \cdot m = J \text{ dżul}$$

W aparacie Grasselliego ruch próbki, a co za tym idzie, droga ścierania dokonywana jest po okręgu. Praca w takim przypadku równa jest iloczynowi momentu  $M$  powodującego ruch obrotowy (iloczyn siły i ramienia) i kąta  $\varphi$  o jaki dokonał się obrót.

$$W = F \cdot L = F \cdot r \cdot \varphi = M \cdot \varphi$$

Siła potrzebna do przesuwania próbki pokonuje siłę tarcia. Siła tarcia jest wprost proporcjonalna do iloczynu nacisku i współczynnika tarcia. W aparacie Grasselliego nacisk jest stały i wynosi 26 N. Nacisk ten rozkłada się na dwie próbki o łącznej powierzchni styku z papierem ściernym wynoszącą  $2 \times 4 \text{cm}^2 = 8 \text{cm}^2$ .

Próbki przymocowane do dźwigni dociskane są do papieru ściernego zamocowanego na tarczy. Próbki są nieruchome natomiast przesuwana się podłoże, czyli obraca się tarcza z papierem ściernym. Siły tarcia usiłują obracać całą dźwignię, dlatego umieszcza się na ramieniu dźwigni określoną masę, czyli przykładają siłę utrzymującą dźwignię w równowadze. Siłę tą uzyskuje się poprzez umieszczanie ciężarków na szalce umocowanej na ramieniu dźwigni (na rys. 7. poz. 10), a po pomnożeniu ich masy przez przyspieszenie ziemskie  $g$  otrzymujemy siłę wyrażoną w  $N$ .



Po wykonaniu przez tarczę  $n$  obrotów, a więc obrócenia się jej o kąt  $n \cdot 2\pi$ , utrzymywanie dźwigni w poziomie masą  $m$  czyli siłą  $F = m \cdot g$  przyłożoną na ramieniu długości  $r$  wykonane jest kosztem pracy równej

$$W = \underbrace{n \cdot 2\pi}_{\varphi} \cdot \underbrace{m \cdot g}_{F} \cdot r$$

$$\underbrace{\varphi}_{\varphi} \cdot \underbrace{F \cdot r}_M$$

$$\underbrace{1, kg \cdot \frac{1, m}{1, s^2} \cdot 1, m = 1, N \cdot 1, m = 1, J}_{1, N}$$

Moc jest to stosunek pracy do czasu w jakim została wykonana. Jednostką mocy jest dżul na sekundę, czyli watt.

$$\frac{1, J}{1, s} = 1, W \quad \text{przekształcając } 1, J = 1, s \cdot 1, W$$

Ilość wykonanej pracy można wyrażać iloczynem mocy i czasu, ponieważ jest to równoważne. Dżul jest małą jednostką, dlatego określając ilość pracy lub energii często posługujemy się kilowatogodzinami, czyli pracą jaką wykonuje moc 1000 Watt w czasie 1 godziny (3600,s).

$$1, kWh = 1000, W \cdot 3600, s = 3600000, W \cdot s = 3,6 \cdot 10^6, J$$

Znając już sposób wyliczenia pracy jaka potrzebna jest do ścierania próbki, pozostaje określić ubytek objętości. Oblicza się go dokonując pomiaru masy próbek przed ścieraniem  $g_1$  i po ścieraniu  $g_2$  dzięki czemu można określić ubytek masy. Dzieląc ubytek masy  $g_1 - g_2$  przez gęstość materiału  $\rho$  obliczymy ubytek objętości

$$\Delta V = \frac{g_1 - g_2}{\rho}$$

Dzieląc ubytek objętości  $\Delta V$  przez ilość wykonanej pracy  $W$  otrzymamy wzór do obliczenia wskaźnika ścieralności Grasseliego  $K_{SGr}$ .

Wzór na obliczenie wskaźnika ścieralności na aparacie Grasselli, mówiący nam o tym jak duża objętość próbki zostanie starta w określonych warunkach, jeśli wykonana praca związana z tym ścieraniem wyniesie 1 kWh, ma postać

$$K_{SGr} = \frac{g_1 - g_2}{\rho \cdot n \cdot 2\pi \cdot (m_r + S_{mr}) \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot r} \cdot 3,6 \cdot 10^6$$

$K_{SGr} = \frac{\overbrace{\rho \cdot n \cdot 2\pi \cdot (m_r + S_{mr}) \cdot 10^{-3} \cdot g \cdot r}^{\text{praca, J}} \cdot \underbrace{3,6 \cdot 10^6}_{J \rightarrow kWh}}{\underbrace{g_1 - g_2}_{\text{objętość próbki, cm}^3}}$

objętość próbki, cm<sup>3</sup>  
 g<sub>1</sub> - g<sub>2</sub>  
 ρ · n · 2π · (m<sub>r</sub> + S<sub>mr</sub>) · 10<sup>-3</sup> · g · r  
 kąt                      siła, N                      ramię, m  
 moment, Nm

$$\frac{\frac{g}{cm^3} \cdot \frac{kg}{g} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m}{cm^3} \cdot \frac{J}{kWh} = \frac{1}{cm^3} \cdot \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m \cdot \frac{J}{kWh} = \frac{1}{N \cdot m} \cdot \frac{J}{kWh} = \frac{cm^3}{J} \cdot \frac{J}{kWh} = \frac{cm^3}{kWh}$$

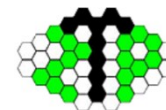
$K_{SGr}$  – wskaźnik ścieralności,  $cm^3/kWh$

$g_1$  – łączna masa próbek po ścieraniu wstępnym, g

$g_2$  – łączna masa próbek po zakończeniu ścierania właściwego, g

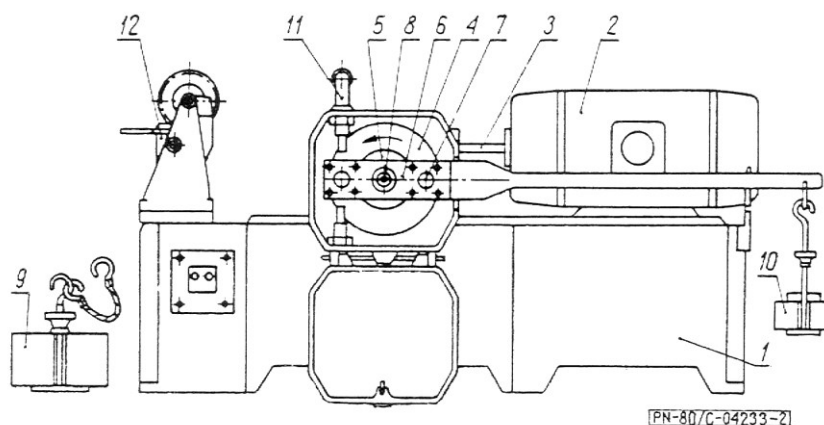
$\rho$  – gęstość badanej próbki,  $\frac{g}{cm^3}$

$n$  – ilość obrotów,



- $2\pi$  – kąt pełny,
- $m_r$  – masa równoważąca,  $g$
- $S_{mr}$  – stała przyrządu wyrażająca masę działającą na ramieniu  $r$ , po odjęciu której ramię dźwigni jest w równowadze (dla naszego przyrządu 91  $g$ ),  $g$
- $10^{-3}$  – przelicznik gramów na kilogramy  $10^{-3}$ ,  $\frac{kg}{g}$
- $g$  – przyspieszenie ziemskie (9,81),  $\frac{m}{s^2}$
- $r$  – odległość od środka obrotu dźwigni do miejsca w którym dokonuje się równoważenia ramienia dźwigni (w przypadku naszego przyrządu 0,43 m),  $m$
- $3,6 \cdot 10^6$  – stała potrzebna do przeliczenia dzuli na kilowatogodziny  $3,6 \cdot 10^6$ ,  $\frac{J}{kWh}$

### 3.1.3 Przyrząd pomiarowy

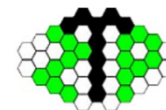


Rys. 7.

Rysunek 7. Aparat Grasselli do badania wskaźnika ścieralności: 1 – korpus, 2 – silnik, 3 – sprzęgło, 4 – tarcza na papier ścierny, 5 – płytka dociskająca papier do tarczy, 6 – dźwignia z zamocowanymi próbkami, 7 – śruba ustalająca próbki, 8 – sworzeń dźwigni, 9 – obciążnik do dociskania próbek do tarczy, 10 – ciężar utrzymujący dźwignię w równowadze, 11 – przewody sprężonego powietrza do usuwania pyłu, 12 – licznik obrotów tarczy.

### 3.1.4 Wykonanie pomiaru

1. Określić gęstość próbek,
2. Zamocować na tarczy krążek papieru lub płótna ściernego o średnicy  $\phi$  170 z otworem  $\phi$  50,
3. Umieścić w uchwytach dźwigni dwie próbki przy dokręconej do końca śrubie ustalającej (na rys. 7. poz. 7). Oznaczyć próbki i zaznaczyć ich rozmieszczenie w uchwytach, tak aby po ich wyjęciu i ponownym włożeniu zajmowały dokładnie taką samą pozycję (to samo dotyczy blaszek dociskających). Blaszkę dociskającą dokręcić z wyczuciem tak, aby próbka dokładnie przylegała do podstawy. Zamocować ramię dźwigni i dołączyć tłumik. Tłumik eliminuje drgania dźwigni. Zawiesić na przedłużeniu sworznia odważnik 2,6 kg. Zawiesić na dźwigni szalkę. Przygotować odważniki laboratoryjne. Zamocować do aparatu przewód sprężonego powietrza z kompresora. Zamocować rurę odkurzacza w celu usuwania produktów ścierania. Nastawić licznik aparatu na żądaną ilość obrotów (trzymając dźwignię Y na liczniku przyciskami nastawić żądaną wartość). Ilość obrotów przy docieraniu wstępnym zależy od stopnia nierówności powierzchni czołowych próbek (przeważnie nastawia się nie mniej niż 200 obr.). Wyzerować licznik (dźwignia X). Uruchomić kompresor nastawiając ciśnienie sprężonego powietrza na 0,15 MPa ( $\approx$  1,5 atm,  $\approx$  1,5 kg/cm<sup>2</sup>,  $\approx$  1,5 bar). Uruchomić odkurzacza. Zamknąć pokrywę aparatu i uruchomić aparat,
4. Po uruchomieniu aparatu następuje ścieranie wstępne próbek, które ma na celu zetrzeć część czołową

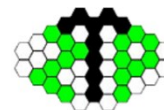


- próbki tak aby całą powierzchnią, równomiernie się ścierały w czasie właściwego badania. W czasie ścierania wstępnego dokładając do szalki odważników ustalamy wstępnie masę równoważącą ramię (zrównoważone ramię zajmując pozycję poziomą równo oddaloną od ograniczników). Po każdym dodaniu lub odjęciu odważników ręką ustawić pozycję poziomą dźwigni i dokonywać obserwacji,
5. Po wykonaniu zadanej liczby obrotów silnik aparatu zatrzyma się. Wyłączyć odkurzacz, zamknąć zawór sprężonego powietrza. Zdjąć szalkę, odważnik. Otworzyć pokrywę i wyjąć dźwignie jednocześnie zdejmując tłumik. Dokonać obserwacji próbek. W razie stwierdzenia, że próbki nie są równo dotarte powtórzyć operację docierania,
  6. Po stwierdzeniu właściwego dotarcia (równomierne rysy na obu powierzchniach próbek) wymontować próbki z uchwytów dźwigni, oczyścić z pyłu sprężonym powietrzem i zważyć (obydwie jednocześnie) z dokładnością nie mniejszą niż 0,001 g. Jest to masa próbek g1 przed właściwym ścieraniem,
  7. Zamocować nowy krążek papieru ściernego. Ponownie umieścić próbki w uchwytach dokładnie w takim samym położeniu w jakim były docierane. Dalej postępować jak przy docieraniu wstępnym próbek z tym, że ustawić licznik obrotów na 200, a na szalce ma się znajdować masa równoważąca wyznaczona podczas docierania,
  8. Po uruchomieniu aparatu i rozpoczęciu właściwego ścierania cały czas kontrolować i razie konieczności korygować równoważenie dźwigni poprzez dokładanie lub odejmowanie odważników. Po każdym dodaniu lub odjęciu odważników ręką ustawić pozycję poziomą dźwigni i dokonać obserwacji, Wystarczające jest ustalić masę równoważącą z dokładnością do 1 grama. W razie zmieniania się masy potrzebnej do równoważenia w trakcie właściwego ścierania, zapisywać wartości masy co kilkadziesiąt obrotów i na końcu obliczyć średnią arytmetyczną,
  9. Po ponownym zatrzymaniu aparatu wymontować próbki postępując zgodnie z wcześniej opisanymi zasadami. Oczyścić próbki i dokonać ponownego pomiaru masy obydwu próbek, czyli ustalić masę g2. Obliczyć wskaźnik ścieralności Grasselliego,
  10. Po zakończonym badaniu wyłączyć z sieci wszystkie używane do badania urządzenia, wypuścić powietrze ze zbiornika kompresora i zostawić po sobie należyty porządek,

## 4 Opracowanie wyników

Norma nakazuje dokonać wyznaczania wskaźnika ścieralności dla sześciu próbek (trzech par) z badanego materiału, a jako wynik podać średnią arytmetyczną. Niedopuszczalna jest różnica powyżej 10% między średnią arytmetyczną a wynikami poszczególnych badań.

Wszystkie wyznaczone wielkości i dane wpisywać do podanego poniżej protokołu.



Imię i nazwisko, grupa.....

Miejsce i data .....

L.p	Rodzaj tworzywa	l.p.	łączna masa dwóch próbek po ścieraniu wstępnym, g1	łączna masa dwóch próbek po ścieraniu właściwym, g2	gęstość badanych próbek (średnia), $\rho_{\dot{s}r}$	Masa równoważąca dźwignię, $m_r$	ilość obrotów tarczy, n	Wskaźnik ścieralności $K_{SGr}$	Wskaźnik ścieralności (średnia) $K_{SGr \dot{s}r}$
			g	g	$\frac{g}{cm^3}$	g		obr	$cm^3/kWh$
1		1							
		2							
		3							
2		1							
		2							
		3							
3		1							
		2							
		3							

rodzaj próbek: .....

sposób wykonania próbek: .....

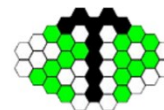
stała przyrządu  $S_{mr}$  : .....

prędkość obrotowa tarczy: .....

czas badania .....

wyposażenie aparatu: .....

rodzaj papieru ściernego .....



## Literatura

1. Nam P. Suh: „Tribophysics”, Prentice-Hall, Inc, New Jersey 1986
2. Oleksiuk K.: „ Wybrane problemy trybologii”, PWN, Warszawa 1993
3. Rymuza Z.: „Trybologia polimerów ślizgowych”, WNT, Warszawa 1996.
4. T.Broniewski i inni „Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych”, WNT, Warszawa 2000.
5. PN – 80/C-04233 Guma. Oznaczenie wskaźników ścieralności na aparacie Grasselli.
6. PN-69/C-89081 Tworzywa sztuczne. Oznaczenie ścieralności za pomocą papieru ściernego.
7. PN-92/C-89426 Tworzywa sztuczne. Oznaczenie odporności na ścieranie przy użyciu tarcz ściernych.
8. PN-EN ISO 5470-1:2001 Płaskie wyroby tekstylne powleczone gumą lub tworzywami sztucznymi. Wyznaczanie odporności na ścieranie. Część 1: Urządzenie ścierające Tabera
9. PN-EN ISO 5470-2:2004 (U) Płaskie wyroby tekstylne powleczone gumą lub tworzywami sztucznymi. Wyznaczanie odporności na ścieranie. Część 2: Urządzenie ścierające Martindale'a
10. PN-EN ISO 5981:2001 Płaskie wyroby tekstylne powleczone gumą lub tworzywami sztucznymi. Wyznaczanie odporności na połączone zginanie ścinające i ścieranie
11. PN-EN ISO 7662:2002 Węże z gumy i z tworzyw sztucznych. Oznaczenie ścieralności warstwy wewnętrznej
12. PN-EN ISO 6945:2002 Węże z gumy. Oznaczenie odporności na ścieranie warstwy zewnętrznej
13. PN-ISO 4649:1999 Guma. Oznaczenie odporności na ścieranie za pomocą aparatu z obracającym się bębnem cylindrycznym
14. PN-88/C-94300.030 Ogumienie. Badanie ścieralności bieżnika opon w warunkach drogowych