

Eugeniusz MAŁOBECKI, Marcin POPCZYK

## METODY ORAZ BADANIA LABORATORYJNE ŚCIERALNOŚCI RUROCIĄGÓW PODSADZKOWYCH PRZY PRZEPIYWIE MIESZANINY ZAWIERAJĄCEJ PIASEK ORAZ KAMIEŃ O RÓŻNYM UZIARNIENIU

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych stopnia zużycia rurociągów podsadzkwych ze względu na zastosowany materiał. Do badań użyto kamienia popłuczkowego z KWK „Niwka-Modrzejów” o uziarnieniu 30 i 40 mm oraz piasku podsadzkwego. Badania przeprowadzono w oryginalnym urządzeniu laboratoryjnym umożliwiającym uzyskanie prędkości przepływu w zakresie od 2 do 8 m/s.

## METHODS AND LABORATORY TESTING OF BACFILL PIPELINES WEAR RESISTANCE BY THE FLOW OF MIXTURE CONTAINING SAND AND WASTE ROCK OF DIFFERENT GRAIN SIZE

**Summary.** The paper presents results of laboratory measurements of wear rate of pipes for different materials. Waste rock grained 30 and 40mm from coal mine „Niwka Modrzejów” washery plant and bacfill sand have been used for the tests. The measurements have been carried out on an original apparatus which ensures main flow velocity range from 2 up to 8 m/s.

### 1. Wstęp

Stosowana w kopalniach podsadzka hydrauliczna jako sposób kierowania stropem przy eksploatacji podziemnej pozwala na minimalizację wpływów prowadzonej eksploatacji na obiekty powierzchniowe. Przy eksploatacji pod czułymi obiektami powierzchniowymi należy stosować materiał podsadzkwowy o dobrych właściwościach podpornościowych, natomiast tam gdzie względy ochrony powierzchni na to pozwalają, można stosować materiał podsadzkwowy gorszej jakości, np. skruszoną skałę płonną.

Stosowanie skruszonej skały płonnej jako materiału podsadzkowego pozwala na zagospodarowanie znacznych ilości odpadów górniczych i ograniczenie ich powierzchniowego składowania, a równocześnie ogranicza zużycie piasku podsadzkowego.

W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki badań wpływu uziarnienia i transportu materiału podsadzkowego na zużycie rurociągów podsadzkowych.

## 2. Badania laboratoryjne ścieralności rurociągów podsadzkowych

Hydrauliczny transport cząstek stałych w instalacjach podsadzkowych powoduje zużywanie rurociągów w wyniku erozyjnego i korozyjnego oddziaływania przepływającej mieszaniny. Podstawowy wpływ na żywotność rur podsadzkowych wywiera erozja ścianek rurociągu wynikającej z własności ściernych materiału podsadzkowego. Ścieralność rur podsadzkowych zależy od wielu czynników, do których należy zaliczyć: rodzaj i własności ściernie materiału podsadzkowego, uziarnienie i kształt ziaren, koncentrację objętościową mieszaniny podsadzkowej, nachylenie rurociągu podsadzkowego, rodzaj rur podsadzkowych, dokładność montażu rurociągu.

Znajomość ścieralności rurociągów podsadzkowych w zależności od rodzaju stosowanego materiału podsadzkowego i parametrów przepływu pozwala prognozować zużycie rurociągów i częstotliwość wymiany rur w poszczególnych instalacjach.

Przegląd dotychczasowej literatury pozwala wysunąć stwierdzenie, że obecnie podstawowym sposobem określenia intensywności ścierania ścianek rurociągów są badania eksperymentalne, chociaż w literaturze przedmiotowej można spotkać też niewielką ilość prac teoretycznych. Pogląd ten podzielają autorzy prac [8,10.12].

Podstawową trudnością w teoretycznym opisie zjawiska jest poprawne określenie fizycznego mechanizmu procesu ścierania ścianki rurociągu. Z tego to powodu na potrzeby praktyki inżynierskiej wykonuje się badania eksperymentalne, umożliwiające określenie dla danego rurociągu i danej hydromieszaniny intensywności ścierania. Wyniki te z reguły dają jakościową ocenę zjawiska, gdyż w warunkach przemysłowych występują zmiany we własnościach transportowanej mieszaniny, jak i również mogą występować pewne odchylenia we własnościach materiału, z jakiego wykonane są rurociągi w stosunku do materiału, badanego. Należy podkreślić, że wyniki uzyskane dla określonego rurociągu bądź określonego rodzaju materiału nie mogą być przenoszone na inne warunki, tj. brak jest kryterium podobieństwa pozwalającego

przenosić wyniki badań eksperymentalnych. Najczęściej wyniki badań eksperymentalnych stosowane są w praktyce inżynierskiej poprzez wartości pewnych współczynników określających wpływ danego parametru [5,8,9,10,13].

## 2.1. Metody pomiarów ścieralności

### *Badania na rurociągach*

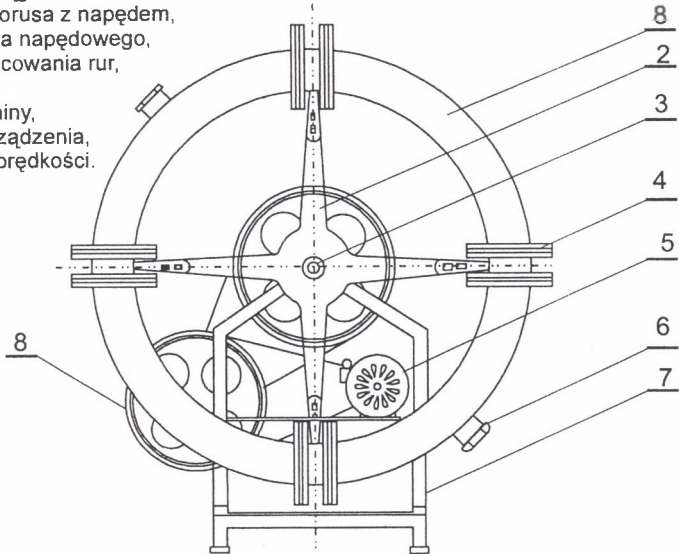
Badania przeprowadza się na zamkniętym obiegu przepływu hydromieszaniny w tzw. pętli rurociągu. Płynąca w określonym czasie, z określoną prędkością mieszanina o znanych parametrach powoduje ścieranie ścian. Po upływie pewnego czasu waży się wybrany odcinek rurociągu i na tej podstawie określa intensywność ścierania.

Metoda ta posiada niedogodności związane z degradacją tego materiału przez pompę. W trakcie prowadzenia badań wzrasta również temperatura mieszaniny, co powoduje zmianę własności samej mieszaniny, jak i również materiału, z którego wykonany jest rurociąg. Poza tym w metodzie tej z reguły występują ograniczenia stosowanej prędkości przepływu, co wynika z możliwości danej instalacji i wysokich kosztów eksperymentu powodowanych ilością zużywanej energii elektrycznej [2]. Metodę tę zaleca się do stosowania w skali półtechnicznej do oceny procesu erozji w zaprojektowanych instalacjach hydrotransportowych przy przepływie mieszanin zawierających mało degradujący się materiał.

### *Torus*

Znacznie częściej do oceny erozyjności materiałów, z których wykonane są rurociągi dla transportu określonej mieszaniny, stosowany jest torus (rys.1). Urządzenie to umożliwia jednocześnie badanie kilku materiałów w tych samych warunkach. Zużycie materiału określane jest wagowo.

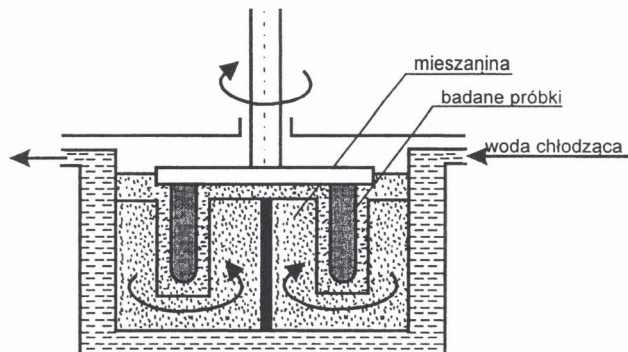
1. odcinki rurociągu,
2. mocowanie torusa z napędem,
3. oś urządzenia napędowego,
4. kołnierze mocowania rur,
5. silnik,
6. wlot mieszanki,
7. podstawa urządzenia,
8. przekładnie prędkości.



Rys.1. Torus – urządzenie do badań erozji  
Fig.1. Torus – erosion test apparatus

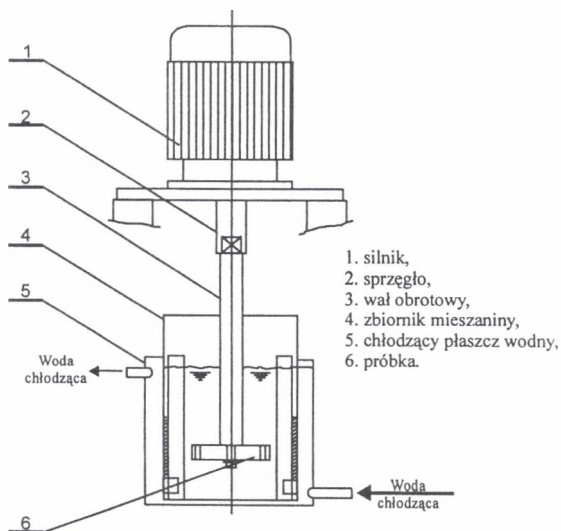
#### Aparat komorowy

Aparatem stosowanym do badań porównawczych różnych materiałów, z których wykonany jest rurociąg, bądź też porównania wpływu własności fizycznych różnych hydromieszanin jest aparat wg patentu GIG [3] przedstawiony na rys.2. Bardzo podobną konstrukcję posiada aparat do porównawczych badań ścieralności wykonywanych przez Politechnikę Śląską w Gliwicach. Podstawową zaletą tego typu aparatu jest możliwość: jednoczesnego badania w tych samych warunkach kilku różnych materiałów (aparat skonstruowany na Politechnice Śląskiej umożliwi pomiar 4 próbek), stosowania wysokich prędkości obrotowych, długiego okresu pomiaru w tej samej temperaturze dzięki chłodzącemu płaszczowi wodnemu.



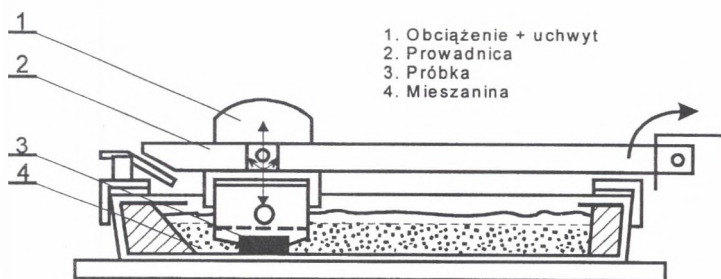
Rys.2. Aparat komorowy do badań ścieralności  
Fig.2. Chamber apparatus for wear testing

Aparaty działające na tej samej zasadzie stosowane były przez Huggetta i Walkera [6]. Działanie tych testerów oparte było na zasadzie ścierania obracającej się tarczy (rys.3) w mieszaninie (Warman Disc Tester) lub posuwisto - zwrotnego ścierania próbki materiału (Miller Test Apparatus) (rys.4).



Rys.3. Tarcza Wormana do badań ścieralności

Fig.3. Worman Disc Tester



Rys.4. Posuwisto-zwrotny aparat Millera

Fig.4. Miller Test Apparatus

Z przedstawionego stanu zagadnienia widać, że badania nad ścieralnością rurociągów wymagają wykonania jedynie analizy porównawczej dla wyboru optymalnego materiału, z którego powinien być wykonany rurociąg, bądź też umożliwiającą określenie optymalnych

własności hydromieszanki z uwagi na minimalizację ścierania ścian rurociągu. Rzeczywistą intensywność ścierania ścian rurociągów określa się na podstawie pomiarów na pracujących rurociągach transportujących hydromieszankę.

## 2.2. Metoda badań

Z przeglądu przedmiotowej literatury oraz rezultatów obliczeń wykonanych na podstawie zaleceń w niej podawanych oraz zagranicznych instrukcjach branżowych wynika, że rozbieżności między wynikami wyznaczonej intensywności ścierania ścian rurociągów sięgają nawet kilkaset procent. Jedną z dróg prowadzących do stosunkowo przybliżonego określenia wartości odpowiednich wskaźników opisujących proces ścierania są eksperymentalne badania porównawcze. Należy podkreślić również, że opisane aparaty do badań ścieralności konstruowane były dla materiałów drobnoziarnistych i małych prędkości ścierania. W pionowych torusach i walcach o poziomej osi obrotu prędkości te zależą od ich średnic i tak np. przy  $D=2.0$  m (średnica torusa, walca) maksymalna prędkość ścierania wynosi 3,0 m/s. W aparatach z wirującymi próbkami ścieralnego materiału następuje szybka degradacja cząstek (efekt miksowania), zwłaszcza miękkich skał i minerałów.

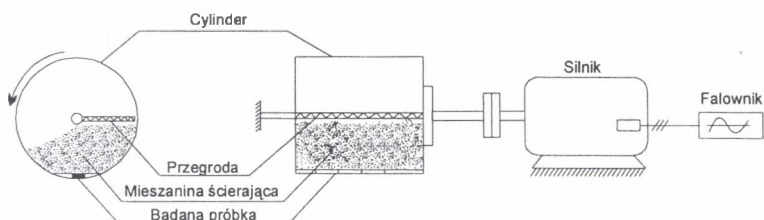
Na potrzeby badań ścieralności rurociągów podsadzkowych badania eksperymentalne wymagają takiej konstrukcji aparatu, aby zapewnić odpowiednio duże prędkości ścierania dla mieszanin o różnych wielkościach cząstek stałych.

## 2.3. Urządzenie pomiarowe

Do przeprowadzenia pomiarów ścieralności rurociągu podsadzkowego wykonano aparat komorowy o poziomej osi obrotu. Przymocowane do pobocznicy obracającego się walca 3 próbki ścieranego rurociągu podsadzkowego osiągają założoną prędkość obrotową względem ścierającej mieszaniny podsadzkowej. Badania przeprowadzono dla 500 szt. próbek o wymiarach 30x20x10 mm i wadze średnio 44 g. Próbki te zostały wycięte ze ścianek rurociągu podsadzkowego transportującego mieszaninę podsadzkową do ściany 317 w pokł.510 w KWK „Niwka – Modrzejów”.

W celu wykluczenia efektu wirówki (wirowania mieszaniny razem z cylindrem) zastosowano przegrodę poziomą na nieruchomej osi. Stalowy cylinder o średnicy  $D=200$  mm zawierający mieszaninę podsadzkową obracany jest bezpośrednio silnikiem o mocy 5.5 kW. Dla zapewnienia

nia założonej prędkości liniowej próbek obroty silnika sterowane są falownikiem. Schemat ideowy aparatu przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Schemat ideowy aparatu do badań ścieralności  
Fig.5. The idea of wear test apparatus

## 2.4. Zakres pomiarów

Przeprowadzone pomiary ścieralności rurociągu podsadzkowego wykonano dla mieszanin piasku średnioziarnistego jako mieszaniny wzorcowej i mieszanin kamienia z procesu wzbogacania węgla w KWK „Niwka-Modrzejów”. Przyjęto mieszaninę podsadzkową o koncentracji objętościowej 1:1, tj.  $c_v=0,5$ . Wyznaczona gęstość cząstek stałych piasku wynosi  $\rho_s=2650$   $\text{kg/m}^3$  a kamienia  $\rho_m=2590$   $\text{kg/m}^3$ , zatem gęstości mieszanin wynosiły odpowiednio  $\rho_m=1825$   $\text{kg/m}^3$  dla mieszaniny piasku i  $\rho_m=1795$   $\text{kg/m}^3$  dla mieszaniny kamienia. Badania wykonano dla mieszanin piasku i mieszanin kamienia o średnicy 30 mm i 40 mm przy prędkościach 2.0, 4.0, 6.0 i 8.0 m/s. Przed przystąpieniem do właściwych badań ścieralności wykonano pomiary degradacji kamienia w mieszaninach i przyjęto czas pomiaru dla każdej wybranej prędkości. Czas pomiarów określony został badaniami stopnia degradacji ziaren kamienia oraz mierzącą, z dostateczną dokładnością wartością ubytku ciężaru próbki.

Ustalony na tej podstawie czas pomiaru w zależności od prędkości wynosił:

Dla prędkości $v = 2.0$ m/s	15 min
Dla prędkości $v = 4.0$ m/s	10 min
Dla prędkości $v = 6.0$ m/s	7.5 min
Dla prędkości $v = 8.0$ m/s	5 min

Do ważenia próbek użyto wagi analitycznej o dokładnością do 0001g.

### 3. Metodyka pomiarów

Dla przeprowadzenia badań próbek ze ścianek rurociągu podsadzkiowego w przedstawionym zakresie przyjęto następującą metodykę:

1. Przygotowanie mieszanin piasku wzorcowego o gęstości  $\rho_m=1825 \text{ kg/m}^3$  i mieszanin kamienia o średnicy 30 mm oraz kamienia o średnicy 40 mm i gęstości  $\rho_m=1795 \text{ kg/m}^3$ .
2. Wykonanie dla każdej mieszaniny pomiarów ścierania przy założonych prędkościach i czasie trwania pomiaru (wyniki pomiarów zestawiono w tablicach 1, 2 i 3).

Tablica 1

Zestawienie badań ścieralności dla piasku

	Nr próbki	Czas badania ścieralności			
		5 min – 2m/s	7,5 min – 4m/s	10 min – 6m/s	15 min – 8m/s
Masa przed badaniem [g]	1	43,0798	43,1904	45,2802	43,1340
	2	43,0728	43,1965	45,2368	43,1732
	3	43,2515	45,3180	45,2840	43,1160
Masa po badaniu [g]	1	43,0322	43,1648	45,2594	43,1256
	2	43,0308	43,1664	45,2164	43,1660
	3	43,2196	45,2882	45,2584	43,1072
Ubytek masy [g]	1	0,0476	0,0256	0,0208	0,0084
	2	0,0420	0,0301	0,0204	0,0072
	3	0,0319	0,0298	0,0256	0,0088
Średnia		<b>0,0405</b>	<b>0,0285</b>	<b>0,0223</b>	<b>0,0081</b>



Tablica 2

Zestawienie badań ścieralności dla kamienia  $\phi 30$  mm

	Nr próbki	Czas badania ścieralności oraz prędkość			
		5 min – 2m/s	7,5 min – 4m/s	10 min – 6m/s	15 min – 8m/s
Masa przed badaniem [g]	1	42,9992	43,2682	45,2304	43,1520
	2	42,9894	43,2900	45,2326	43,1712
	3	43,0398	43,1944	45,2642	43,1873
Masa po badaniu [g]	1	42,9600	43,2446	45,2070	43,1428
	2	42,9404	43,2638	45,2162	43,1646
	3	43,0042	43,1648	45,2446	43,1790
Ubytek masy [g]	1	0,0392	0,0236	0,0234	0,0092
	2	0,0400	0,0262	0,0164	0,0066
	3	0,0356	0,0296	0,0196	0,0083
Średnia		<b>0,0383</b>	<b>0,0265</b>	<b>0,0198</b>	<b>0,0080</b>

Tablica 3

Zestawienie badań ścieralności dla kamienia  $\phi 40$  mm

	Nr próbki	Czas badania ścieralności			
		5 min – 2m/s	7,5 min – 4m/s	10 min – 6m/s	15 min – 8m/s
Masa przed badaniem [g]	1	43,1802	43,2232	45,3410	43,1336
	2	43,2614	43,2448	45,3402	43,1132
	3	43,2810	43,2334	45,3436	45,3410
Masa po badaniu [g]	1	43,1458	43,1994	45,3442	43,1244
	2	43,2256	43,2294	45,3204	43,1054
	3	43,2470	43,2086	45,3468	45,3342
Ubytek masy [g]	1	0,0344	0,0238	0,0168	0,0092
	2	0,0358	0,0154	0,0198	0,0078
	3	0,0340	0,0248	0,0168	0,0068
Średnia		<b>0,0347</b>	<b>0,0213</b>	<b>0,0178</b>	<b>0,0079</b>

#### 4. Analiza wyników badań eksperymentalnych

Określone eksperymentalnie ubytki masy próbek rurociągu podsadzkowego powodowane erozją mieszaniny piasku stanowią poziom odniesienia (wzorzec) do oceny ścieralności pozostałych badanych mieszanin kamienia. Oceny tej można dokonać za pomocą wskaźnika ścieralności zdefiniowanego następująco:

$$W_e = \frac{\text{ubytek masy próby}}{\text{ubytek masy wzorca}}$$

Zgodnie z definicją wskaźnik ścieralności pokazuje, ile razy szybciej ścierany jest rurociąg przez daną mieszaninę w stosunku do mieszaniny wzorcowej przy przetransportowaniu tej ilości mieszaniny. Obliczone wskaźniki ścieralności zestawiono w tabelicy 4. Dla prędkości ścierania  $v = 8$  m/s ścieralność mieszaniny kamienia 30 mm i kamienia 40 mm wynosi odpowiednio 0.94 i 0.86 ścieralności mieszaniny piasku wzorcowego. Zatem trwałość instalacji podsadzkowej w przypadku użycia mieszanin kamienia zwiększy się dla kamienia 30 mm 1.06 razy, a dla kamienia 40 mm 1.16 razy.

Tabela 4

v [m/s]	Wskaźnik ścieralności $W_e$		
	Piasek wzorcowy	Kamień $\phi 30\text{mm}$	Kamień $\phi 40\text{mm}$
2,0	1	0,98	0,96
4,0	1	0,89	0,80
6,0	1	0,92	0,75
8,0	1	0,94	0,86

#### 5. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentalnych badań porównawczych można przedstawić następujące wnioski:

1. Zastosowanie mieszaniny podsadzkowej składającej się z wody i kamienia o uziarnieniu do 30 mm oraz z wody i kamieni o uziarnieniu do 40 mm w stosunku objętościowym 1:1

- nie powoduje istotnej różnicy ścieralności ścianek rurociągów niż stosowanie mieszaniny składającej się z wody i piasku średniego.
2. W zakresie badanych prędkości przepływu mieszaniny składające się z kamieni o większym uziarnieniu (kamień  $\phi 40$  mm) powodują mniejsze ścieranie ścianek rurociągu niż mieszaniny składające się z materiału drobniejszego (piasek, kamień  $\phi 30$  mm).
  3. Ścieralność rur podsadzkowych przy stosowaniu skruszonej skały płonnej jako materiału podsadzkowego przy średniej prędkości przepływu mieszaniny równej 8 m/s wynosi odpowiednio 0,94 dla materiału o uziarnieniu do 30 mm i 0,86 dla materiału o uziarnieniu do 40 mm w stosunku do ścieralności dla piasku. Jest zatem 6 do 16% niższa niż w przypadku stosowania piasku.

## LITERATURA

1. Adamek R., Podsadzanie wyrobisk górniczych „Śląsk”, Katowice 1980.
2. Boczarski S., Gambarian L.: Ścieralność rurociągów przy hydrotransportie odpadów flotacji, Zesz. Nauk AR, Melioracja XXXIX nr 209, Wrocław 1991.
3. Goczitaszwili T.Sz.: Raszot parametrów dołgowieczności truboprowodów technologiczskich sistem gidrotransporta, V Międzynarodowe Seminarium „Transport and Sedimentation of Solid Particles” 3-7.09, Wrocław 1984.
4. Huggett P., Walher C.: Development of wear test to simulate slurry erosion, Hydrotransport 11 p. K1, Stratford, UK, 1988.
5. Krysik M.: Trwałość instalacji podsadzkowej w warunkach eksploatacji w kopalniach, Prace GIG, Komunikat nr 537, Katowice 1971.
6. Palarski J.: Hydrotransport, WNT, Warszawa 1982.
7. Pokrowskaja W.N.: Puti powyższenia efektywnosti gidrotransporta, Niedra, Moskwa 1972.
8. Pokrowskaja W.N.: Truboprowodnyj transport w gornoj promyszlenności, Niedra, Moskwa 1985.
9. Sobota J., Boczarski S. I in.: Badania erozji i rekonstrukcja sieci rurociągów szlamów i wód przemysłowych ZG Rudna, ZG Polkowice i ZG Lubin, Etap 1, raport 25/I/2-M/90 Instytutu Budownictwa Wodnego i Ziemi Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1991.
10. Palarski J.: Wykorzystanie skały płonnej do podsadzki pneumatycznej w świetle badań zagranicznych i krajowych. Ochrona Terenów Górniczych, nr 1/1998.

11. Mazurkiewicz M.: Rodzaj i jakość podsadzki w świetle ochrony powierzchni, Ochrona Terenów Górniczych, nr 4/1984.
12. Plewa F., Małobęcki E.: Badania wpływu uziarnienia i transportu materiału podsadzkowego na wartość współczynnika eksploatacji przez zużycie rurociągów podsadzkowych, 1999. (praca niepublikowana).
13. Plewa F., Bednarek M., Małobęcki E.: Badania laboratoryjne wpływu uziarnienia i hydrotransportu materiału podsadzkowego na zużycie rurociągów podsadzkowych, Konferencja Górnictwo 2000, Szczyrk 1999.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. M. Mazurkiewicz

### **Abstract**

The paper presents results of laboratory measurements of wear rate of pipes for different materials. Waste rock grained 30 and 40mm from coal mine „Niwka Modrzejów” washery plant and bacfill sand have been used for the tests. The measurements have been carried out on an original apparatus which ensures main flow velocity range from 2 up to 8 m/s.