

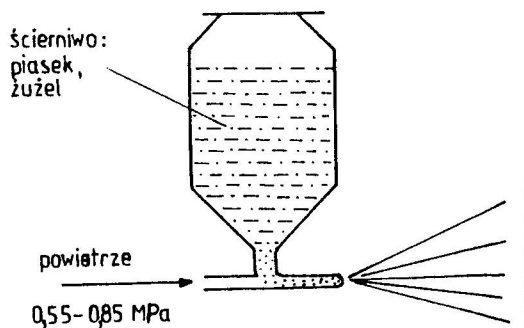
Jerzy RZECZUŁA*

GOSPODARCZE WYKORZYSTANIE ODPADOWEGO ŚCIERNIWA Z ŻUŻŁA POMIEDZIOWEGO

Do strumieniowo ściernego czyszczenia materiałów i konstrukcji metalowych dotychczas głównie są stosowane piaski i żużle pomiedziowe. Po użyciu stanowią one odpad, usuwany zwykle na wysypiska komunalne. Przykładowo szacuje się, że w aglomeracji Trójmiasta powstaje rocznie ok. 100 000 t tych odpadów. Należy uznać, że możliwość wykorzystania tych odpadów, np. zastąpienie nimi kopalnych surowców mineralnych ma istotne znaczenie. Zbadano wybrane właściwości tych odpadów i niektóre zastosowania z uwzględnieniem ochrony środowiska.

1. WSTĘP

Do strumieniowo-ściernego czyszczenia materiałów i konstrukcji metalowych, obecnie w kraju najczęściej stosowane są piaski, w mniejszej ilości żużle pomiedziowe, a w dalszej kolejności elektrokorund, ścierniwo stalowe i inne (rys. 1.).



Rys. 1. Czyszczenie strumieniowo-ściernie

Chamer R. (1980) wskazuje na możliwość stosowania żużli pomiedziowych m.in. do czyszczenia. Szyrle W. i Kuszczak A. (1981) porównywali właściwości ziarn żużla pomiedziowego z innymi ścierniwami. W latach późniejszych problem ten był tematem kilku dalszych prac (Chamer R. 1986; Woźniak K., Szyrle W. 1986; Szyrle W., Woźniak K. 1988; Chamer R. i in. 1988). Ścierniwo z żużla pomiedziowego o nazwie „polgtrit” przedstawili w swoim opracowaniu Chamer R. i Orski J. (1992). Wpływ pyłu z żużla pomiedziowego na organizmy żywe badał wraz z zespołem Szymkiewicz K. (1984).

* Politechnika Gdańska, Katedra Technologii Chemicznej, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk.

Znacznie korzystniejsze w porównaniu z piaskiem cechy żużla pomiedziowego pozwalają przewidywać, że w przyszłości wspomniany żużel może stać się ścierniwem dominującym w czyszczeniu materiałów i konstrukcji metalowych (tab. 1.).

Tabela 1. Wybrane właściwości ścierniwa żużla pomiedziowego i piasku

Wybrane własności	Żużel	Piasek
Twardość wg Mohsa	ok. 8	ok. 7
Gęstość g/cm ³	2,95	2,60
Zapylenie	małe	duże
Pylica krzemowa	nie	tak
Efektywność czyszczenia	duża	mała
Ziarna	ostrokrawędziste	obtoczone

Zużyty odpadowy żużel na ogół jest dotychczas usuwany na wysypiska komunalne. Ze względu na skład chemiczny, poza typowymi komponentami występującymi w surowcach i materiałach glinokrzemianowych, w żużlu pomiedziowym znajdują się m.in. takie składniki, jak Zn, Cu, Pb i inne. Mogą one być wymywane przez wody opadowe i w postaci roztworów zatruwać wody gruntowe i głębinowe, glebę i ziemię wokół miejsc ich składowania. Według Dz. U. nr 116 (1991) uznaje się, że wymywalność przez wodę podanych składników nie może być większa niż: Zn – 2,0 mg/dm³, Pb – 0,5 mg/dm³, Cu – 0,5 mg/dm³.

Problem ten jest szczególnie istotny w odniesieniu do żużla odpadowego, który w porównaniu z materiałem wyjściowym (ziarna powyżej 0,4 mm), zawiera znaczną ilość ziarn bardzo drobnych, do tzw. pyłów włącznie. Odpady żużlowe zawierają ponadto najczęściej powłoki malarskie, czyszczony materiał i inne. Składniki te mogą bardzo niekorzystnie oddziaływać na środowisko wokół miejsc składowania odpadowych żużli. Przykładowo, niektóre stocznie Trójmiasta (budujące statki), obecnie zużywają ok. 25 000 t/rok ścierniwa z żużla pomiedziowego. Ilość ta może wzrosnąć do ok. 100 000 t/rok, lecz zakłady przemysłowe wzbraniają się przed stosowaniem tego materiału, gdyż dotychczas :

- powstające odpady zagrażają środowisku
- w porównaniu z piaskiem znaczny jest koszt składowania tych odpadów – według Dz. U. nr 125 (1991) – 100 000 zł/t.

Te dwie główne przyczyny są powodem tego, że w znacznej liczbie zakładów przemysłowych preferowanym ścierniwem jest piasek. Zastąpienie piasków żużłami pomiedziowymi (oraz gospodarcze wykorzystanie odpadów żużla pomiedziowego) może przynieść dodatkowo bardzo wymierne korzyści :

- zwiększy pojemność przepełniających się wysypisk komunalnych o wykorzystaną ilość odpadowego żużla
- ochroni zwykle lokalne zasoby piasków stosowanych jako ścierniwo
- ochroni zasoby piasków i innych surowców mineralnych, jeśli zastąpi się je odpadowymi żużłami w pewnych działach gospodarki, w sposób bezpieczny dla środowiska
- zakładom oszczędzi dużych kosztów za składowanie odpadów na wysypiskach komunalnych

– zwiększy się gospodarcze wykorzystanie odpadu przemysłowego jakim jest żużel pomiedziowy.

Należy również uznać, że ze względu na ciągle rosnące koszty transportu, odpadowe ścierniwo z żużla pomiedziowego powinno być wykorzystywane w miejscu jego powstawania lub w niedalekiej odległości.

Dotychczasowe prace nad gospodarczym wykorzystaniem żużla pomiedziowego dotyczą materiału w pewnym stopniu innego, co poprzednio podkreślono, niż odpadowe ścierniwo. Badano możliwość wykorzystania żużla pomiedziowego w drogownictwie (Badziąg M. 1974, Duszyński A. i in. 1982, Suwała E. 1985). Żużlem pomiedziowym próbowano zastąpić żwir w betonach – Sidorowicz J. (1974), Derdacka A. i in. (1975) Wieja K. (1979) analizowali możliwość wykorzystania żużla pomiedziowego w produkcji cementu. Chamer R. (1980) wskazywał na wykorzystanie żużla pomiedziowego w ceramice. Żużel pomiedziowy był badany ze względu na możliwość użycia go do produkcji materiałów i narzędzi ściernych – Szyrle W. i Woźniak K. (1988), Grot K. i Oleska-Kapłoniak J. (1989), Herman D. i Pluta Z. (1989), Słowiński B. (1989).

Spośród tych, już wytyczonych, kierunków utylizacji badaniom poddano niektóre z nich, uwzględniając specyfikę odpadowego ścierniwa, ochronę środowiska i lokalne możliwości.

2. ODPADOWE ŚCIERNIWO Z ŻUŻLA POMIEDZIOWEGO

W przemyśle stoczniowym zalecane jest określone uziarnienie żużla pomiedziowego do strumieniowo-ściernego czyszczenia (tab. 2.).

Tabela 2. Zalecane uziarnienie żużla pomiedziowego

Według BN-87/4268-01		Według <i>Instrukcji technologicznej czyszczenia konstrukcji okrętowych...</i> (1985)	
Klasa ziarnowa mm	%	Klasa ziarnowa mm	%
< 0,4	≤ 10	0,40–0,50	< 20
0,4 – 2,5	≥ 80	0,50–1,25	> 65
> 2,5	≤ 10	1,25–2,50	< 15

W żużlu o takim uziarnieniu wymywalne składniki toksyczne zazwyczaj nie przekraczają najwyższych dopuszczalnych stężeń. Po procesie obróbki ulega on jednak rozdrobnieniu i zostaje wzbogacony w powłokę malarską i częściowo w obrabiany materiał. W stocznich budujących statki, do czasowej ochrony przed korozją materiałów i konstrukcji metalowych, dotychczas stosuje się farby epoksydowo-cynkowe zawierające do ok. 70% pyłu metalicznego cynku. Po wybudowaniu kadłuba statku, powłoka tej farby grubości ok. 100 µm musi być całkowicie usunięta w sposób podany we wstępie. Dotychczasowa organizacja pracy i stosowane narzędzia pozwalają w zasadzie na jednorazowe użycie ścierniwa. W bardzo małym

stopniu, do czyszczenia detali w komorach, jest ono jednak używane kilkakrotnie. Wzrasta wówczas niepominiemie zapylenie wokół stanowiska i rozdrobnienie odpadowego żużla.

Zużycie ścierniwa żużlowego na oczyszczenie 1m² konstrukcji metalowej wynosi 30–60 kg. Przeciętna masa powłoki malarskiej do czasowej ochrony wynosi ok. 0,1 kg/m². Z tego wynika, że żużel odpadowy może być zanieczyszczony powłoką malarską w przybliżonych ilościach podanych w tabeli 3.

Tabela 3. Przybliżona, obliczona zawartość powłok malarskich w żużlu odpadowym i wprowadzonego cynku

Zużycie żużla kg/m ²	Zawartość powłok w żużlu odpadowym %	Ilość cynku w żużlu odpadowym (w powłoce malarskiej) %	Zawartość powłoki żywicznej %
30	0,33	0,23	0,10
40	0,25	0,18	0,07
50	0,20	0,14	0,06
60	0,17	0,12	0,05

W żużlach pomiedziowych występuje ok. 0,15% cynku, a więc żużel odpadowy zostaje wzbogacony o ten składnik do sumarycznej ilości ok. 0,35%.

W operacji czyszczenia pierwotne ziarna żużla ulegają w dużym stopniu rozdrobnieniu. W tabeli 4. podano uziarnienie odpadowego ścierniwa żużlowego pobieranego w stoczni w różnych okresach i z różnych miejsc.

Tabela 4. Skład granulometryczny żużli odpadowych

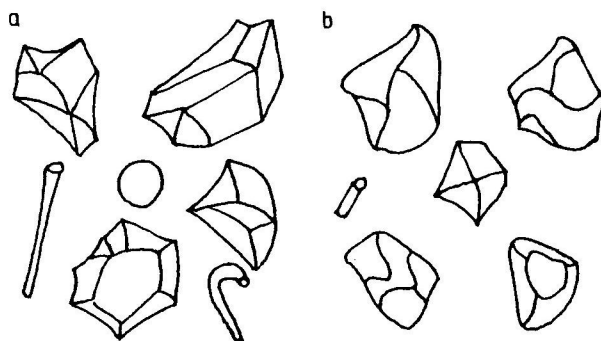
Klasa ziarnowa mm	Wychody klas ziarnowych w badanych próbkach, %							
	a	b	c	d	e	f	g	średnio
> 2,00	0,66	0,38	0,20	1,51	0,40	0,40	0,46	0,6
2,00–2,60	1,41	0,97	0,57	1,15	1,23	0,66	1,53	1,1
1,60–1,25	2,62	2,28	1,44	2,38	2,28	1,22	3,41	2,2
1,25–1,00	3,94	3,05	2,25	3,87	3,87	2,10	4,94	3,4
1,00–0,80	10,93	9,44	6,76	10,79	11,52	6,69	11,62	9,7
0,80–0,50	16,97	16,05	12,04	18,40	17,82	15,17	18,32	16,4
0,50–0,40	10,02	8,96	8,53	11,60	10,03	9,88	12,12	10,2
0,40–0,315	8,90	9,34	9,46	9,02	9,36	9,43	9,13	9,2
0,315–0,16	22,94	25,45	28,08	22,73	24,27	26,96	20,97	24,5
0,16–0,071	14,81	16,40	20,14	12,56	13,41	17,78	12,00	15,3
< 0,071	6,80	7,68	10,54	6,00	5,82	9,68	5,50	7,4

Przedstawione wyniki wskazują, że:

- w odpadowym żużlu występuje powyżej 48% ziarn większych od 0,4 mm, a więc ziarn stosowanych jako ścierniwo
- makroskopowe obserwacje pozwalają stwierdzić, że frakcje powyżej 0,4 mm nie zawierają zanieczyszczeń, z czego wynika, że gromadzą się one we frakcjach poniżej 0,4 mm.

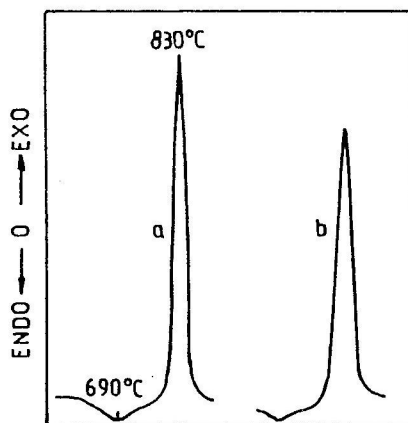
Ponadto, makroskopowe badania odpadowych żużli wskazują na zmienioną morfologię ziarn. W ścierniwie żużlowym (przed użyciem) występują głównie ostrokrawędziste, izometryczne ziarna, ale dodatkowo obecne są również perełki szkła żużlowego, ziarna w postaci pręcików i igiełek szklanych.

W żużlu odpadowym brak niemal perełek szkła, pręcików i igiełek szklanych – zostały one prawie całkowicie zniszczone. Ostrokrawędziste ziarna zostały częściowo zaokrąglone, szacunkowo w ilości ok. 20% (rys. 2.).



Rys. 2. Morfologia ziarn żużla pomiedziowego
 ϕ 0,5–1,0 mm: a – świeżego, b – odpadowego

Makroskopowa ocena frakcji wyższych od 0,4 mm pozwala wnioskować, że są one zubożone w fazę szklaną. Dotychczas wykonane badania rentgenograficzne nie pozwoliły na jednoznaczną ocenę tego wniosku, natomiast potwierdziła to analiza termiczna (rys. 3.).



Rys. 3. Efekty cieplne krystalizacji (DTA) fazy szklanej żużla pomiedziowego

ϕ 0,4–1,6 mm: a – świeżego, b – odpadowego

Efekt cieplny krystalizacji fazy szklanej żużla świeżego jest większy niż w przypadku żużla odpadowego – można to wiązać tylko z większą zawartością szkła w żużlu świeżym w porównaniu z odpadowym dla granulacji powyżej 0,4 mm.

We wstępie wspomniano o szkodliwym wpływie na środowisko niektórych wymywalnych przez wodę składników żużla. Dlatego zbadano stężenia głównych metali ze szczególnym uwzględnieniem cynku (tab. 5.).

Tabela 5. Wymywalne składniki toksyczne z żużla odpadowego
mg/dm³

Składnik	Najwyższe dopuszczalne stężenie	Zbadane stężenie
Zn	2,0	0,80
Pb	0,5	0,28
Cu	0,5	0,30

Określone ilości wymywalnych składników mieszczą się w zakresie stężeń dopuszczalnych. Należy jednak zauważyć, że w stosunku do miedzi i ołowiu zbliżają się one do wartości granicznych. Przedstawione wyniki odnoszą się do badań prowadzonych w środowisku wody destylowanej. Woda o większej kwasowości (kwaśne deszcze) może spowodować przekroczenie dopuszczalnych stężeń. Niepełne jeszcze badania żużli odpadowych wskazują, w jak znacznym stopniu mogą one zatruwać środowisko.

W podanych rozważaniach pominięto stocznie remontowe, z których odpadowe ścierniwo zanieczyszczone będzie zupełnie innymi rodzajami powłok malarskich (w tym bardzo toksycznych) oraz w znacznym stopniu skorodowaną konstrukcją metalową (stałe, zawierające inne, poza omówionymi, metale toksyczne).

3. WARUNKI GOSPODARCZEGO WYKORZYSTANIA ODPADOWEGO ŚCIERNIWA ŻUŻLOWEGO

Dotychczasowe prace wskazują, że żużle pomiedziowe mogą być gospodarczo wykorzystane w:

- drogownictwie
- produkcji cementu
- ceramice
- produkcji materiałów i narzędzi ściernych
- czyszczeniu strumieniowo-ściernym.

W cytowanych we wstępie pracach opisano jednak sposoby zastosowania żużla z hałd lub też pochodzącego z bieżącej produkcji. Odpadowe ścierniwo jest jednak nieco innym materiałem i wskazane jest jego lokalne wykorzystanie (Rzechuła J. i Pielak A. 1991, Rzechuła J. 1993).

Dotychczasowe rozpoznanie zagadnienia w stosunkowo nielicznych, cytowanych publikacjach oraz przedstawione wyniki badań własnych wskazują trzy główne kierunki wykorzystania odpadowego ścierniwa :

- bez jego przetwarzania
- z częściowym przetwarzaniem,
- z całkowitym przetwarzaniem.

1. Zastosowania odpadowego ścierniwa bez jego przetwarzania

Obecnie, gdy ograniczenie środków na inwestycje jest duże, ten kierunek jest szczególnie istotny. Odnosi się to do wykorzystania odpadowego żużla w drogownictwie, a zwłaszcza w betonach asfaltowych. Jest to szczególnie korzystne ze względu na wymywalność wspomnianych składników toksycznych. Uznano bowiem, że w masach, w których ziarna żużla „obtopione” zostaną asfaltem, penetracja do nich wody będzie bardzo utrudniona. Ponadto, szacunkowo ustalono, że drogownictwo jest tym działem, który może wchłoniąć tak znaczną ilość odpadowego żużla.

W warunkach laboratoryjnych wykonano próby betonów asfaltowych zawierających 20% odpadowego żużla. Pominąwszy korzystne, techniczne właściwości tych betonów istotnym zagadnieniem dla środowiska jest wymywalność przez wodę składników toksycznych (tab. 6.).

Tabela 6. Wymywalność składników toksycznych
mg/dm³

Składnik	Najwyższe dopuszczalne stężenie	Żużel odpadowy < 2,5 mm	Żużel odpadowy w masie bitumicznej	Masa bitumiczna z 20% żużla odpadowego
Zn	2,0	0,80	0,06	0,012
Pb	0,5	0,28	0,02	0,004
Cu	0,5	0,30	0,03	0,006

Uzyskane wyniki wskazują, że zaprojektowany beton asfaltowy według obecnych przepisów jest całkowicie bezpieczny. Badania techniczne próbek wskazują, że może on być stosowany jako warstwy dolne dróg o średnim natężeniu ruchu. Ostateczną ocenę takiego wykorzystania żużla odpadowego można będzie przedstawić po wybudowaniu doświadczalnych odcinków dróg z tego rodzaju betonu asfaltowego. Poza gospodarczym wykorzystaniem odpadów w podanym materiale, można przewidywać oszczędność zastąpionych surowców mineralnych, tj. mączki bazaltowej i piasku. Należy nadmienić, że skład chemiczny żużli pomiedziowych jest bardzo zbliżony do składu chemicznego bazaltów.

2. Częściowe przetwarzanie odpadowego żużla

Całkowite wykorzystanie żużla w masach bitumicznych dla drogownictwa zależne będzie od zapotrzebowania na remonty i budowy nowych dróg. Z tego względu rozpatrzono również tę drugą możliwość.

Podany w tabeli 4. skład żużli odpadowych, oraz poczynione obserwacje skłaniają do rozpatrzenia możliwości wydzielenia ziarn do ponownego użytku jako ścierniwa. W tym celu z odpadowego ścierniwa, którego w odpadach występuje powyżej 43%, w warunkach przemysłowych, wyseparowano frakcje powyżej 0,4 mm (tab. 7.). Dla porównania przedstawiono również skład granulometryczny świeżego ścierniwa żużlowego przed jego użyciem.

Tabela 7. Skład granulometryczny ścierniwa, %

Klasa ziarnowa mm	Odzyskane ścierniwo z żużła odpadowego	Ścierniwo żużlowe przed użyciem
> 2,0	0,60	9,22
2,00–1,69	1,47	12,74
1,69–1,25	3,68	13,68
1,25–1,00	7,38	13,62
1,00–0,80	23,45	20,47
0,80–0,50	44,76	15,86
0,50–0,40	7,90	6,43
0,40–0,315	5,05	2,24
0,315–0,16	5,25	3,77
0,16–0,071	0,40	1,42
< 0,071	0,06	0,55

Skład granulometryczny odzyskanego ścierniwa z odpadów różni się nieco od stosowanego ścierniwa świeżego. Wyniki te zestawiono z wymaganiami dla ścierniwa odmiany 0,4–2,5 mm w tabeli 8.

Tabela 8. Porównanie składu ziarnowego ścierniów z wymaganiami, %

Klasa ziarnowa mm	Skład zalecany		Ścierniwo z odpadów		Ścierniwo świeże	
	a	b	a	b	a	b
< 0,40	≤ 10	–	10,80	10,80	8,00	8,00
0,40–0,50	80	< 20	89,20	7,90	92,00	6,40
0,50–1,25		> 65		75,50		50,00
1,25–2,50		< 15		5,80		35,60
> 2,50	≤ 10	–	–	–	–	–

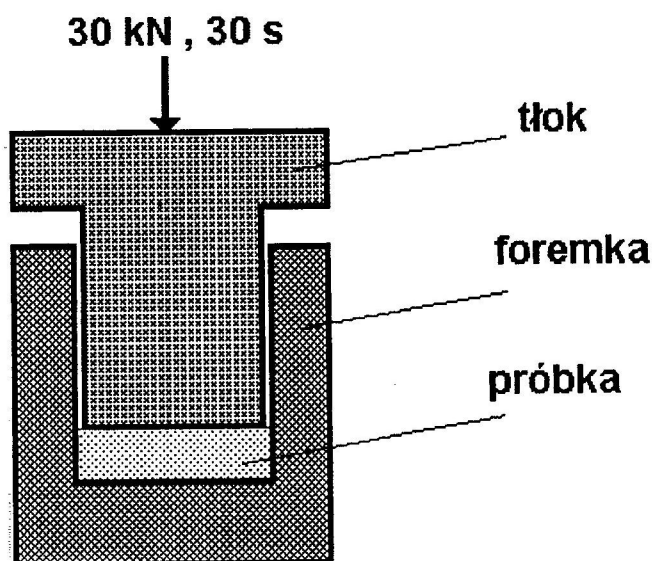
a – wg BN-87/4268-01

b – wg *Instrukcji technologicznej ...* (1985)

Z danych wynika, że odzyskane ścierniwo z odpadowego żużła niemal odpowiada wymaganiom normy.

Makroskopowe obserwacje ziarn odzyskanego ścierniwa, tj. brak w nim perełek szkła żużlowego, ziarn pręcikowatych i igielkowatych, skłaniają do przewidywań, że dla strumieniowo-ściernego czyszczenia jakość odzyskanego ścierniwa jest lepsza od świeżego ścierniwa. Powinno się to objawić w wytrzymałości mechanicznej ziarn. W wyniku operacji czyszczenia zniszczeniu ulegają bowiem wszystkie ziarna słabe, a pozostają ziarna o dużej wytrzymałości mechanicznej. Dla potwierdzenia tego przypuszczenia wykonano badania, które przedstawiono na rysunku 4.

Na określonych sitach bardzo dokładnie wydzielano próbkę o ustalonym uziarnieniu. Próbkę o ustalonej masie badano, po czym ponownie, bardzo starannie przesiewano ją przez określone sito. W ten sposób ustalono ilość zniszczonych ziarn (tab. 9.). Siłę nacisku dobrano tak, aby uzyskać znaczące zmiany. Dla porównania w tabeli uwzględniono również piasek stosowany jako ścierniwo.



Rys. 4. Foremka i pomiar wytrzymałości ziarn ścierniwa

Tabela 9. Wytrzymałość ziarn ścierniwa na zniszczenie

Klasa ziarnowa mm	Ziarna zniszczone %		
	żużel odpadowy	żużel świeży	piasek
2,0–1,6	47	77	49
1,6–1,0	39	53	33
1,0–0,8	35	49	23
0,8–0,5	30	50	12
0,5–0,4	33	60	10

Przedstawione wyniki badań wskazują, że odzyskane z żużla odpadowego ziarna powyżej 0,4 mm mają o ok. 40 % większą wytrzymałość mechaniczną niż ziarna żużla świeżego.

Stwierdzenie to pozwala przewidywać, że :

- efektywność czyszczenia ścierniwem odzyskanym z odpadów będzie większa niż ścierniwem świeżym,
- zapylenie przy stosowaniu ścierniwa odzyskanego z odpadów będzie mniejsze niż przy stosowaniu żużla świeżego.

Ten kierunek częściowego przetwórstwa odpadowego ścierniwa należy uznać za najbardziej właściwy, chociaż związany jest z budową zakładu zawierającego suszarnię (odpad żużlowy jest wilgotny) i układ do separacji ziarn o średnicy 0,4 mm. Ten sposób pozwala na:

- odzyskiwanie ścierniwa o bardzo dobrych właściwościach
- pomniejsza o ok. 45% „import” żużla

– zmniejsza ilość odpadów do utylizacji lub ponownego wykorzystania o ok. 45%.

Odpadowe ścierniwo o uziarnieniu mniejszym od 0,4 mm w ilości ok. 55% w stosunku do ścierniwa użytego do czyszczenia przewiduje się do wykorzystania w produkcji bitumicznych mas dla drogownictwa co całkowicie ochroni środowisko przed skażeniem.

Ponadto, ze względu na korzystne uziarnienie wstępnie zbadano możliwość wykorzystania tej frakcji do produkcji tynków używanych w budownictwie. Badania wykonano zgodnie z zaleceniami PN-91/B-10125 ustalając niezwykle prosty skład mieszanki tynkarskiej: 70% – żużel odpadowy < 0,4 mm, 15% – cement portlandzki 35, 15% – wapno hydratyzowane. Wyniki badań zestawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wyniki badania tynków zawierających żużel odpadowy

Właściwość	Wymagania wg PN-91/B-10125	Uzyskany wynik
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	> 2,0	3,8
Skurczliwość, %	< 0,1	0,09
Mrozoodporność, 15 cykli	bez zmian	bez zmian

Należy więc uznać, że odpadowy żużel o uziarnieniu poniżej 0,4 mm, jako kruszywo w pełni zabezpiecza techniczne parametry wymagane dla tynków. Poprzednio wspomniano, że istotnym zagadnieniem ze względu na środowisko jest wymywalność składników toksycznych. W p. 2 wspomniano, że zasadnicze produkty usuwanych powłok z czyszczonej konstrukcji gromadzą się we frakcjach drobnych, poniżej 0,4 mm. Rozwinięcie powierzchni tych frakcji będzie dodatkowo sprzyjało lepszej wymywalności składników z odpadowego ścierniwa. O ile jednak zalecana technika badania odnosi się do wody destylowanej, to w przypadku podanej masy tynkarskiej, środowisko jest zdecydowanie zasadowe (pH = 12,5) i to jest powodem zahamowania wymywalności składników szkodliwych dla środowiska (tab. 11).

Tabela 11. Wymywalność składników toksycznych w mg/dm³ z żużla odpadowego < 0,4 mm i z tynku

Składnik	Najwyższe dopuszczalne stężenie	Z odpadowego żużla < 0,4 mm		Z próbki tynku zawierającego 70% odpadu < 0,4 mm
		w wodzie o pH = 7,0	w wodzie o pH = 12,5	
Zn	2,0	1,60	0,19	0,13
Cu	0,5	0,71	0,03	0,02
Pb	0,5	0,39	0,20	0,14

Uzyskane wyniki wskazują, że wymywalność szkodliwych składników z podanego zestawu tynku (sezonowanego 28 dni) nie przekracza dopuszczalnych stężeń i jest bezpieczna dla środowiska. Można przewidywać, że wszelkie tworzywa, których składnikami będą odpadowy żużel jako kruszywo oraz cement i wapno jako materiały wiążące wykazą przybliżone wyniki do podanych.

3. Całkowite przetwarzanie odpadowego żużla

Rozważono również ten sposób wykorzystania odpadów, tj. ponowne ich stopienie i zgranulowanie na ścierniwo. Wiąże się to jednak z bardzo kosztowną inwestycją, nieco inną niż stosowaną w produkcji ścierniwa. W p. 2. wspomniano o tym, że odpadowe ścierniwo zawiera wprawdzie powłokę żywiczną w małej ilości ok. 0,1%, ale podczas jej spalania do atmosfery będą się przedostawać objętościowo znaczne ilości składników gazowych szkodliwych dla zdrowia ludzkiego i środowiska. Składniki te mogą zatruwać otoczenie zakładu przetwórczego. Instalacja przetapiająca odpadowe ścierniwo musi więc być wyposażona w układ unieszkodliwiający wspomniane składniki gazowe.

Aby wyeliminować szkodliwe gazy powstające podczas spalania stocznie budujące statki musiałyby zamiast farb epoksydowo-cynkowych używać farb krzemiano-cynkowych, które nie będą powodować wydzielania do atmosfery wspomnianych, szkodliwych gazów. Zastąpienie farb epoksydowo-cynkowych farbami krzemiano-cynkowymi jest możliwe tylko w stoczniach budujących statki. Stocznie remontowe będą produkowały odpadowe ścierniwo zawierające przede wszystkim żywiczne powłoki malarskie oraz produkty korozji konstrukcji metalowych.

Dodatkowo można przypuszczać, że w tym zamkniętym cyklu: ścierniwo odpadowe – topienie i granulowanie – ścierniwo użyteczne, regenerowany produkt będzie coraz bardziej wzbogacany w metale pochodzące z powłok malarskich i konstrukcji. W procesie topienia odpadowego żużla można przewidywać, że będą one w zasadniczym stopniu wbudowywane w strukturę szkła żużlowego jako modyfikatory. Proces ten będzie stopniowo zmieniał własności regenerowanego ścierniwa – nie wiadomo tylko czy w korzystnym kierunku?

Powyższe względy, według autora, w obecnym czasie wskazują na niecelowość tego kierunku utylizacji.

4. WNIOSKI

Wykonane badania oraz ich analiza wskazują, że z odpadowego ścierniwa z żużla pomiedziowego najkorzystniej jest odzyskać ziarną powyżej 0,4 mm w ilości ok. 45% do ponownego użycia jako ścierniwa, natomiast pozostałą ilość ok. 55% poniżej 0,4 mm wykorzystać w masach bitumicznych w drogownictwie lub do produkcji tynków w budownictwie, albo innych materiałów zawierających cement i wapno. Za mniej korzystne uznaje się przeznaczenie całej ilości odpadowego ścierniwa do produkcji mas bitumicznych w drogownictwie. Na obecnym etapie wiedzy, za niekorzystne dla środowiska uznaje się ponowne przetwarzanie odpadu żużlowego i jego granulację na ścierniwo.

LITERATURA

- BADZIĄG M. (1974), *Drogownictwo*, 29(4), s. 98–101.
- CHAMER R. (1980), *Rudy i Metale Nieżelazne*, 25(8), s. 337–341.
- CHAMER R. (1986), *Rudy i Metale Nieżelazne*, 31(1), s. 6–9.
- CHAMER R., ORSKI J. (1992), *Rudy i Metale Nieżelazne*, 37(1), s. 19–20.
- CHAMER R., DARKOWICZ J., ORSKI J., SZYRLE W. (1988), *Powłoki Ochronne*, 18(3), s. 20–24.
- DERDACKA A., PALUCH E., GAWLICKI M. (1975), *Cement, Wapno, Gips*, 29/41(8–9), s. 229–236.
- DUSZYŃSKI A., GRZEBSKA Z., SUWAŁA E. (1982), *Drogownictwo*, 37(2), s. 44–47.
- GROT K., OLESKA-KAPŁONIAK J. (1989), *Powłoki Ochronne*, 17(1–2), s. 60–64.
- HERMAN D. (1989), *Powłoki Ochronne*, 17(1–2), s. 47–49.
- PLUTA Z. (1989), *Powłoki Ochronne*, 17(1–2), s. 55–59.
- RZECZUŁA J. (1993), III Konferencja – Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi, PAN, Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zakopane, 17–19.11, s. 22.1–22.7.
- RZECZUŁA J., PIELAK A. (1991), *Powłoki Ochronne*, 19(4–6), s. 58–60.
- SIDOROWICZ J. (1974), *Przegląd Budowlany*, 46(2), s. 215–217.
- SŁOWIŃSKI B. (1989), *Powłoki Ochronne*, 17(1–2), s. 50–54.
- SUWAŁA E. (1985), *Gospodarka Materiałowa*, (8), s. 215–217.
- SZYMKIEWICZ K. i in. (1984), *Medycyna Pracy*, 35(3), s. 201–208.
- SZYRLE W., WOŹNIAK K. (1988), *Powłoki Ochronne*, 16(3), s. 16–19.
- WOŹNIAK K., SZYRLE W. (1986), *Powłoki Ochronne*, 14(2), s. 9–14.
- Instrukcja technologiczna czyszczenia konstrukcji okrętowych metodą strumieniowo-ścierną*, T/39-26, 1985, Stocznia Gdynia S.A.
- Dz.U. nr 116, poz. 305, z dn. 1991.11.05. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.
- Dz.U. nr 125, poz. 558, z dn. 1991.12.31. Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian.
- BN-87/4268-01. *Wyroby ściernie. Ścierniwo z żużli pomiedziowych.*
- PN-91/B-10125. *Suche mieszanki tynków szlachetnych oraz lastryka na spoiwie hydraulicznym.*

Rzechuła J., (1994), Economical utilization of copper slag waste abrasives, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 28, 207–218 (Polish text)

So far, sands and copper slags have been mostly used for blast cleaning of materials and metal constructions. Until now, after using they have been deposited as sewage on city dumping grounds. For instance, the estimated amount of the sewage in the Gdańsk–Gdynia–Sopot agglomeration is approximately 100 000 t a year. It should be stated that a possibility to utilize the waste product economically, e.g. by using it to replace mineral resources, is of great importance. Certain properties of the waste product and some possibilities of its utilization with regard to environment have been investigated.