Centralny Program
Badawczo-Rozwojowy

p.n. Kompleksowy Rozwój Energetyki

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
w Gdańsku

ENERGETYKA WODNA

Elektrody stalowe do napawania elementów
turbin wodnych narażonych na działanie kawitacji

INFORMATOR

ELEKTRODY STALOWE DO NAPAWANIA ELEMENTÓW TURBIN WODNYCH NARAŻONYCH NA DZIAŁANIE KAWITACJI

autorzy: dr inż. Tadeusz Krzysztofowicz
Politechnika Gdańska
Instytut Technologii Materiałów
Maszynowych i Spawalnictwa
80 - 952 Gdańsk, ul. Majakowskiego 11/12

dr inż. Jan Sitko
Huta Baildon
Wytwórnia Elektrod
40 - 952 Katowice, ul. Żelazna 9

prof. dr inż. Kazimierz Steller
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
80 - 952 Gdańsk, ul. Gen. J. Fiszera 14

Sprawdzający: prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Zaczek
Politechnika Gdańska
Instytut Technologii Materiałów
Maszynowych i Spawalnictwa

Opiniujący: mgr inż. Ryszard Daszkiewicz
Zakłady Remontowe Energetyki
Gdańsk, ul. Na Stępce 1a

Redaktor: mgr Anna Ćwiertnia
Instytut Maszyn Przepływowych PAN

Wydawca: *Dział Dokumentacji Technicznej*
Instytutu Maszyn Przepływowych PAN
Nakład: 50 egzemplarzy;
Wydano: listopad 1990 r

S P I S T R E Ś C I

1. WSTĘP 4

2. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH ELEKTROD HANDLOWYCH I SPECJALNYCH OPRACOWANYCH W RAMACH CPBR NR 5.1 4

3. OCENA NIEKTÓRYCH ELEKTROD HANDLOWYCH I SPECJALNYCH ZASTOSOWANYCH PRZY NAPRAWACH CZĘŚCI MASZYN USZKODZONYCH WSKUTEK KAWITACJI 13

4. CHARAKTERYSTYKI ELEKTROD ZALECANYCH DO NAPRAW CZĘŚCI MASZYN USZKODZONYCH WSKUTEK KAWITACJI 14

5. BIBLIOGRAFIA 28

1. W S T Ę P

Naprawa maszyn i urządzeń hydraulicznych uszkodzonych wskutek kawitacji odbywa się przez wymianę części uszkodzonych, uzupełnianie ubytków materiału przez napawanie łukiem elektrycznym, nakładanie (napylanie, natryskiwanie) proszków metali , wypełnianie pastami na bazie żywicy epoksydowej oraz platerowanie za pomocą blach stalowych. W praktyce remontowej turbin wodnych i maszyn odwracalnych najczęściej stosowanym sposobem naprawy jest naprawa przez napawanie.

Technologia napraw jest opisana, między innymi, w poradniku pn.: "Naprawa uszkodzeń kawitacyjnych w elektrowniach wodnych" [1] opracowanym w ramach Centralnego Programu Badawczo - Rozwojowego nr 5.1 Kierunek 7 pn.: "Odnawialne źródła energii".

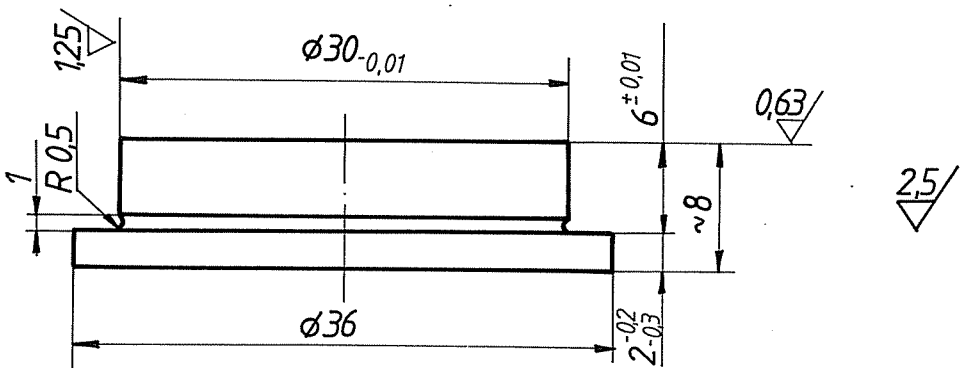
W niniejszym informatorze poinformowano o elektrodach handlowych nadających się do napraw przez napawanie łukiem elektrycznym oraz o nowych elektrodach opracowanych przez Hutę Baildon w Katowicach przy współpracy Instytutu Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa Politechniki Gdańskiej i Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. W szczególności wskazano na elektrody zalecane do stosowania podczas remontów maszyn hydraulicznych w elektrowniach wodnych. Między innymi przedstawiono ich charakterystyki techniczne oraz wyniki badań kawitacyjnych na stanowisku laboratoryjnym. Dokonano również klasyfikacji elektrod ze względu na ich odporność na działanie kawitacji oraz poinformowano o wynikach napraw próbnych w krajowych elektrowniach wodnych.

2. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH ELEKTROD HANDLOWYCH I SPECJALNYCH OPRACOWANYCH W RAMACH CPBR NR 5.1

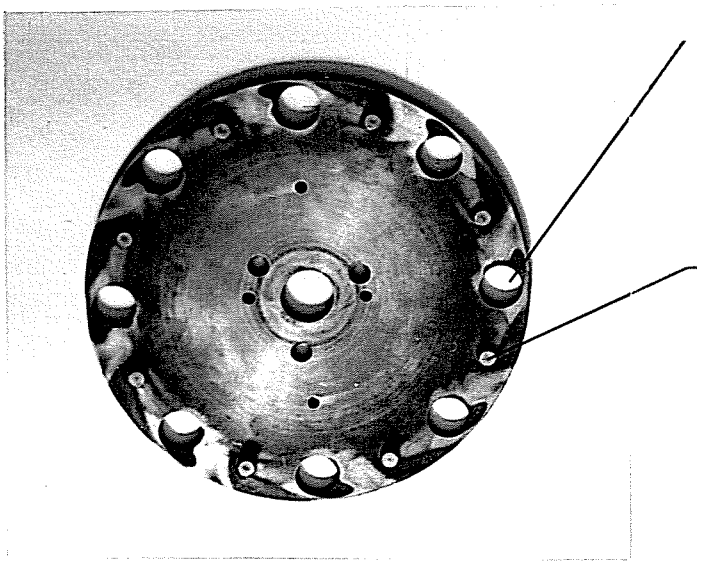
Celem ustalenia odporności, różnych napoin na działanie kawitacji, wykonano badania laboratoryjne próbek materiałów na stanowisku generującym kawitację przepływową. Próbki o średnicy 30 mm uzyskane przez napawanie stali różnymi elektrodami (rys. 1) osadzono w tarczy, która wirowała ze stałą prędkością obrotową, w komorze kawitacyjnej stanowiska badawczego (rys. 2). Parametry pracy stanowiska były następujące:

- średnica zewnętrzna tarczy 330 mm,
- średnica osadzenia wzbudników 270 mm,
- średnica osadzenia próbek materiałów 279 mm,
- wymiary wzbudników (średnica: 12 mm; wysokość: 8 mm),

- średnica czynna próbek 30 mm,
- liczba wzbudników i próbek 8
- szybkość obrotowa tarczy 3000 obr/min,
- prędkość obwodowa wzbudników 42 m/s,
- ciecz robocza: woda wodociągowa o temperaturze 20 $\pm$ 2^{o}C



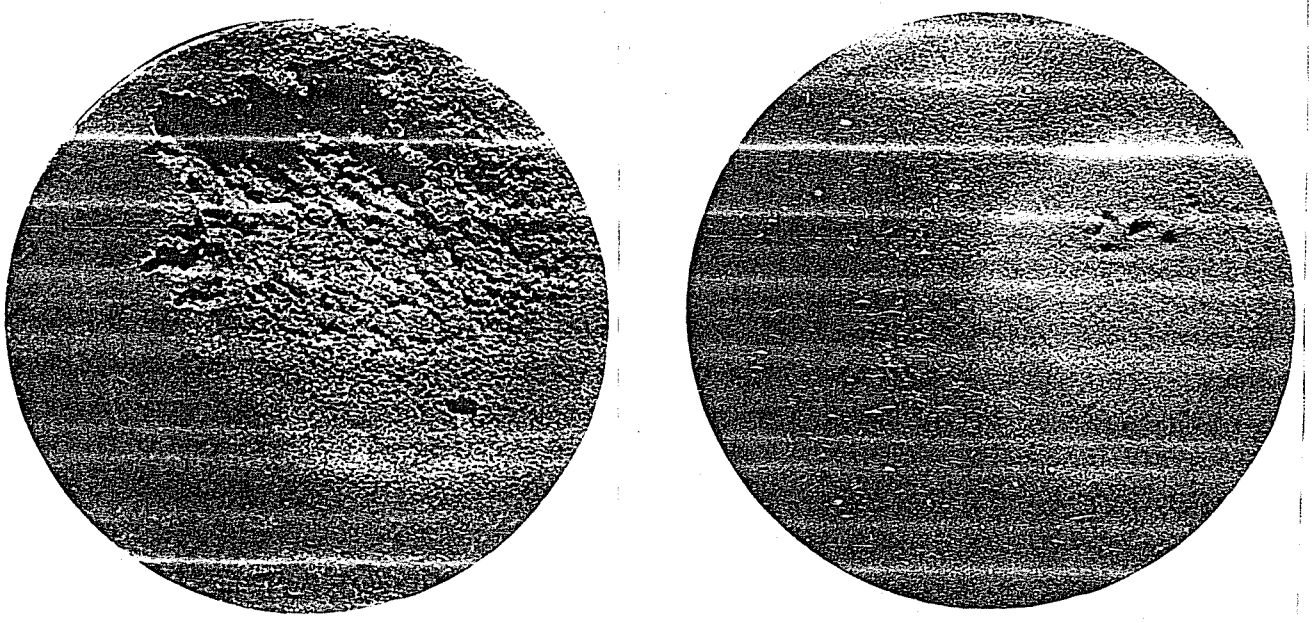
Rys. 1. Próbka do badania odporności erozyjnej materiałów na stanowisku z wirującą tarczą



Rys. 2. Fotografia tarczy wirującej stanowiska laboratoryjnego

Badania polegały na poddawaniu próbek działaniu kawitacji przez okres 1020 min (w interwałach czasowych: 3 x 15 min, 1 x 30 min, 1 x 45 min, 13 x 60 min i 1 x 120 min) i wyznaczeniu krzywej erozji całkowitej tj. zależności między ubytkiem masy (Δm) i czasem (τ) ekspozycji próbek w warunkach kawitacyjnych. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe fotografie powierzchni próbek po badaniach na stanowisku z wirującą tarczą.

a) b)



Rys. 3. Obraz powierzchni próbek po badaniach w czasie 17 godz.
a) EN 600B ; b) IMP 9

Jak już nadmieniono, przedmiotem badań były próbki napawane elektrodami handlowymi oraz elektrodami o nowym składzie chemicznym. Skład chemiczny elektrod handlowych zamieszczono w tabeli 1, natomiast skład chemiczny nowych elektrod zamieszczono w tabeli 2.

Wyniki badań wybranych elektrod handlowych przedstawiono na rysunku 4, natomiast wyniki badań elektrod specjalnych, na rysunku 5. Krzywe na rysunku 4 odnoszą się do elektrod, które uznano za nadające się do stosowania podczas napraw części maszyn uszkodzonych wskutek kawitacji. Rysunek 5 ilustruje wyniki badań wszystkich elektrod o nowym składzie chemicznym. Na podstawie obydwu rysunków można wnioskować o zachowaniu się napoin podczas ich ekspozycji na stanowisku doświadczalnym. Krzywe wskazują na różne ubytki masy próbek materiałów, w tym samym czasie, umożliwiają ocenę napoin pod względem ich odporności na działanie kawitacji.

Na tej podstawie można wnioskować, iż uszeregowanie testowanych napoin według ich odporności na działanie kawitacji jest następujące:

elektrody handlowe:

1 - EN 9Cr-Si B
2 - EN 10-10 B
3 - ENS 15Cr B
4 - ES 13Cr B
5 - EN 600 B

elektrody o nowym składzie (specjalne)

1 - IMP 9
2 - IMP 6
3 - IMP 1
4 - IMP 5
5 - EN 6-10 B
6 - IMP 7
7 - IMP 10

Oprócz tej oceny dokonano także oceny własności spawalniczych nowych elektrod, przy napawaniu w pozycji podolnej. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 3. Jak wynika z tego zestawienia własności spawalnicze nowych elektrod są na ogół dobre lub bardzo dobre, a więc nie wskazują na trudności technologiczne podczas ich stosowania przy naprawach częsi maszyn uszkodzonych wskutek kawitacji.

Tabela 1

Elektrody handlowe poddane badaniom w ramach CPBR nr 5.1

Lp	Oznaczenie elektrody	Skład chemiczny, %									Uwagi
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	
	do spawania stali										
1	EN 450 B	0,25	1,94	0,77	0,052	0,016	1,00	–	–	–	
2	EN 350 B	0,17	1,65	0,45	0,060	0,016	0,48	–	–	–	
3	EN 200 B	0,12	1,33	0,24	0,044	0,015	–	–	–	–	
4	ES 10 H N B	0,09	0,80	0,38	0,020	0,013	0,80	0,63	–	0,36	
5	ES 018-12-3 R	0,04	1,00	0,71	0,026	0,020	19,10	13,00	2,50	–	
6	ES 20-24-4Cu B	0,04	1,24	0,24	0,024	0,011	21,60	24,80	4,00	1.71	
7	ES 20-10-6 B	0,07	5,00	0,87	0,018	0,007	19,40	9,30	–	–	
8	ES 18-8 B	0,05	1,60	0,22	0,024	0,011	19,50	9,30	–	–	*
9	ES 13 Cr B	0,09	0,82	0,61	0,039	0,021	13,60	0,42	–	–	
10	ES 17 Cr B	0,05	0,47	0,27	0,028	0,011	17,30	0,22	–	–	
11	ES 18-8-2 B	0,05	1,71	0,19	0,063	0,011	17,40	10,30	2,08	–	
12	ES 10 H B	0,06	0,78	0,25	0,019	0,021	0,60	–	–	0,71	*
13	EN 10-10 B	0,32	9,00	0,26	0,036	0,012	10,20	–	–	–	
14	EB 350 Ni2	0,06	0,78	0,38	0,015	0,021	–	2,25	–	–	
15	EN 280 Mo B	0,05	1,53	0,17	0,042	0,018	–	–	1,33	–	*
16	EN 9Cr-Si B	0,47	1,40	1,50	0,022	0,019	8,80	–	–	–	
17	EN 12 Mn Ni B	0,47	12,40	0,08	0,030	0,010	–	3,30	1,20	–	
18	ES 30-10 R	0,21	1,40	0,68	0,016	0,013	29,70	10,50	–	–	
19	EN 600 B	0,89	2,00	0,75	0,025	0,023	2,00	–	–	–	*
20	ENS 50 B	0,31	0,88	0,48	0,029	0,022	6,40	–	2,0	W = 1,56	*
21	ENS 15 Cr B	0,35	0,58	0,21	0,026	0,014	15,60	–	0,95	–	
	do spawania żeliwa										
22	ES 21-16-4 B	0,07	6,0	0,24	0,034	0,011	20,80	16,0	3,10	Nb = 0,55	
23	CT 24/3	0,06	1,46	2,41	0,009	0,018	17,00	8,0	–	Nb = 0,95	
24	E2 FeNi/B G F	1,51	1,10	1,31	0,007	0,021	–	53,3	–	–	
25	ZJ 08	0,07	2,5	0,29	0,016	0,016	23,50	14,0	–	–	

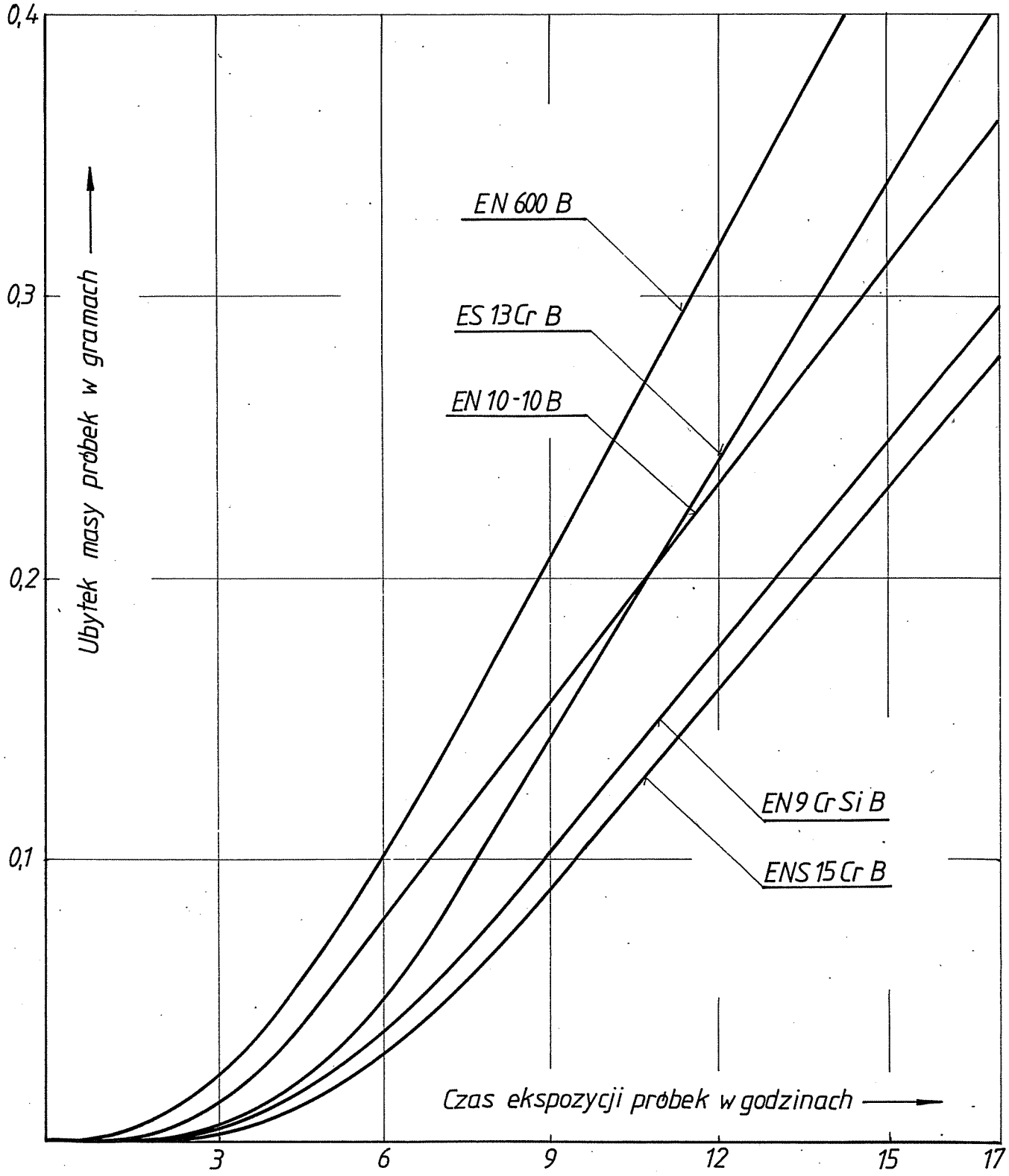
*) Zalecane do stosowania przy naprawach części maszyn uszkodzonych wskutek kawitacji (na rysunku 4 zamieszczono krzywe erozji próbek napawanych tymi elektrodami)

Tabela 2

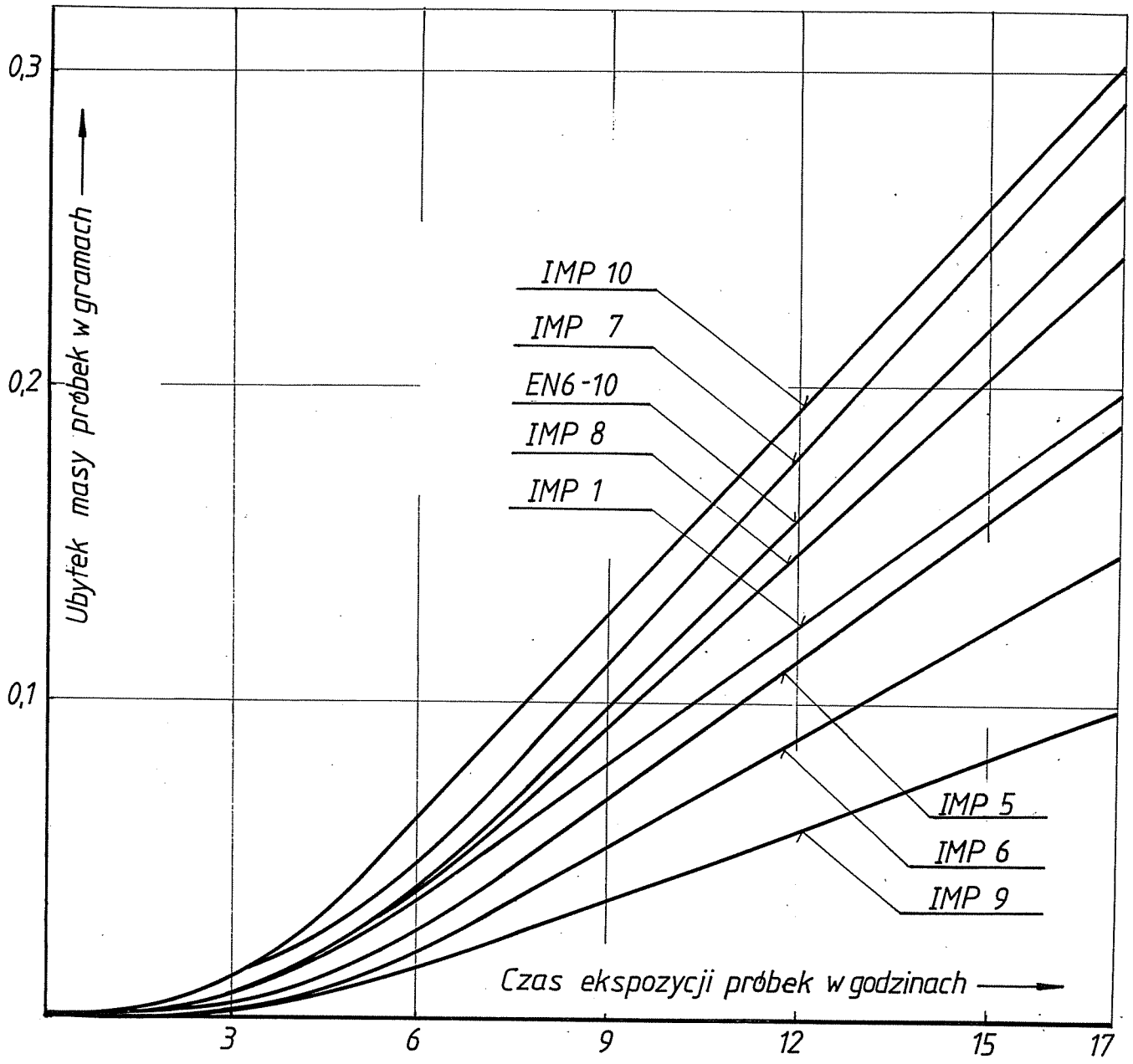
Nowe elektrody doświadczalne

Lp	Oznaczenie	Skład chemiczny, %						
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Co
1	IMP 1	0,22	6,08	0,22	0,055	0,003	11,1	-
2	IMP 5	0,30	6,42	0,23	0,058	0,012	11,2	-
3	IMP 6	0,35	8,31	0,26	0,069	0,012	10,93	-
4	IMP 7	0,22	8,28	0,36	0,063	0,013	13,86	-
5	IMP 8[1)]	0,27	10,23	0,37	0,066	0,013	5,83	-
6	IMP 9	0,31	0,55	0,30	0,016	0,010	16,5	6,07
7	IMP 10	0,25	0,35	0,24	0,022	0,013	13,6	8,00
8	EN 6 - 10	0,19	9,4	0,12	0,039	0,010	6,9	-

Uwaga: Nie nadaje się do stosowania przy naprawach części maszyn uszkodzonych wskutek kawitacji (ze względu na kruchość stopiwa)



Rys. 4 Krzywe erozji całkowitej elektrod handlowych



Rys.5 Krzywe erozji całkowitej elektrod specjalnych

Tabela 3

Własności spawalnicze nowych elektrod doświadczalnych przy napawaniu w pozycji podolnej

Elektroda próbna	IMP - 1	IMP - 5	IMP - 6	IMP 7	IMP - 9	IMP - 10	EN 6-10
Średnica otuliny [mm]	5,53	5,55	5,54	5,54	5,56	5,55	5,57
natężenie prądu (A)	100-110	100-110	102-108	102-108	100-110	105-110	120-130
napięcie łuku (V)	25-29	25-30	26-29	23-28	26-30	/24/26-30	23-28
stabilność łuku	dość dobra	dosyć dobra	dobra	dobra	dobra	dobra	dobra
rozprysk	średni	średni	mały	mały drobny	bardzo mały	b. mały	mały
krycie żużla	właściwe	właściwe miejscami nierównomierne	właściwe	właściwe	właściwe	właściwe	właściwe
usuwanie żużla	dosyć łatwe miejscami trudne	dosyć łatwe, miejscami przywiera do lica spoiny	dosyć łatwe	łatwe	łatwe	b. łatwe, żużel sam popękał	łatwe
wygląd lica napoiny	równa, z wyraźną łuską, bez wad	równa, miejscami z dość wyraźną łuską, bez wad	wyraźna regularna łuska, bez wad	równa, z wyraźną łuską, bez wad	równe, z regularną drobną łuską bez wad	równą, z regularną drobną łuską bez wad	wyraźna łuska, bez wad

3. OCENA NIEKTÓRYCH ELEKTROD HANDLOWYCH I SPECJALNYCH ZASTOSOWANYCH PRZY NAPRAWACH CZĘŚCI MASZYN USZKODZONYCH WSKUTEK KAWITACJI

Wśród elektrod handlowych najszersze zastosowanie mają elektrody EN 10-10B opracowane przez Instytut Energetyki w Warszawie we współpracy z Hutą Baildon. Charakteryzują się one dobrymi własnościami spawalniczymi (bez konieczności podgrzewania części napawanych) oraz dobrą odpornością na działanie kawitacji. W odniesieniu do tych elektrod opracowano ramową instrukcję technologiczną [2] zawierającą m.in. karty technologiczne napawania. Wytyczne do napraw elementów maszyn, za pomocą elektrod EN 10-10B zawiera również poradnik [1] opracowany w ramach CPBR nr 5.1.

W ramach programu CPBR nr 5.1 wykonano szereg napraw próbnych za pomocą nowych elektrod wymienionych w tabeli 2. Serie informacyjne tych elektrod wykonała Huta Baildon, natomiast naprawy próbne wykonali pracownicy Zakładów Remontowych Energetyki w Gdańsku. Przedmiotem napraw próbnych były turbiny Kaplana w EW Żur oraz turbina Francisa i pompo-turbina w EPS Żydowo. Do napraw próbnych użyto następujących elektrod: ES 13 Cr B, EN 9 Cr-Si B, EN 6-10 B, IMP 9, IMP 1, IMP 6. Były one zastosowane do uzupełnienia ubytków materiałów łopatek wirników i kierownic oraz piast wirników pompo-turbin , a także osłon wirników turbin Kaplana (uszkodzenia spowodowane kawitacją szczelinową).
Według oceny pracowników ZRE w Gdańsku dobre własności spawalnicze wykazały elektrody oznaczone symbolami: EN 9 Cr-Si B, EN 6-10 B, IMP 6 i IMP 9. Elektroda IMP 1, okazała się mniej korzystna , a zwłaszcza w przypadku napawania w pozycji pułapowej.

Przegląd miejsc napawanych po 1200 godz. i po 3600 godz. eksploatacji turbiny w EW Żur wykazał, iż napoiny wykonane na osłonie wirnika są odporne na działanie kawitacji szczelinowej. Nie stwierdzono bowiem żadnych śladów uszkodzeń.
Należy przypuszczać, iż dobry stan miejsc naprawionych będzie zachowany przez dłuższy okres aniżeli okres trwałości napraw wykonanych elektrodami handlowymi

Ocena napraw próbnych wykonanych w EPS Żydowo zostanie przeprowadzona podczas "akcji remontowej" w 1991 roku.

4. CHARAKTERYSTYKI ELEKTROD ZALECANYCH DO NAPRAW CZĘŚCI MASZYN USZKODZONYCH WSKUTEK KAWITACJI

Poniżej przedstawiono wykaz i klasyfikację oraz charakterystyki techniczne elektrod zalecanych do napraw części maszyn uszkodzonych wskutek kawitacji. Informacje te opracowano głównie na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Badania w warunkach naturalnych nie zostały zakończone, lecz na podstawie wstępnych ocen należy przypuszczać, iż wyniki tych ostatnich badań potwierdzą wyniki badań laboratoryjnych. Kierując się tymi przesłankami sporządzono tabelę 4, zawierającą klasyfikację elektrod handlowych i specjalnych, z punktu widzenia ich odporności na działanie kawitacji. Klasyfikację tę oparto na wartościach szybkości erozji i głębokości wżerów ustalonych na podstawie krzywych z rysunków 1 i 2. Dobrą i bardzo dobrą odporność erozyjną stopiw z nowych elektrod należy przypisać strukturze austanitycznej i austanityczno-mertenzytycznej.

Jak już nadmieniono, wszystkie zalecane elektrody mogą być użyte do napraw "pokawitacyjnych" bez wstępnego nagrzewania części i obróbki po napawaniu .

Charakterystyki techniczne zalecanych elektrod zamieszczono w tabelach 5 ÷ 17 [3, 4].

Tabela 4

Elektrody zalecane do napraw pokawitacyjnych ze względu na bardzo dobrą lub dobrą odporność w warunkach działania kawitacji

Lp	Oznaczenie elektrody	Maksymalna szybkość względna erozji V_{max}/V_{max}, EN 10-10B	Wskaźnik liczbowy h_{max}/h_{max}, EN 10-10B	Stopień odporności
1	EN 10-10 B	1,00	1,00	dobra
2	EN 600 B	1,77	1,10	dość dobra
3	ES 13 Cr B	1,43	1,06	dość dobra
4	ENS 15 Cr B	1,15	0,93	dobra
5	EN 9 Cr-Si B	0,43	0,80	dobrara
6	IMP 1	0,715	0,73	bardzo dobra
7	IMP 5	0,784	0,73	bardzo dobra
8	IMP 6	0,625	0,76	bardzo dobra
9	IMP 7	1,034	0,93	dobra
10	IMP 9	0,465	0,40	bardzo dobra
11	IMP 10	1,136	0,86	dobra
12	EN 6-10	0,931	0,80	dobra

*) Uwaga: od 1 ÷ 5 elektrody handlowe;
od 6 ÷ 12 elektrody specjalne Cr-Mn oraz Cr-Co

**) Uwaga: V_{max}- maksymalna prędkość ubywania masy materiału, określona z z krzywej prędkości,
h_{max}- maksymalna głębokość wżerów, pomierzona na próbkach

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda EN 10-10 B

Typ otuliny: - zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa:

C - 0,3 %
Mn - 9,0 %
Si - 0,3%
Cr - 10,0%

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 250 HB

Prąd spawania i biegunowość:
Stały /+/ do elektrody.

Pozycja napawania:
- podolna.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda do regeneracji uszkodzeń kawitacyjnych np. elementów turbin wodnych.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	2,5	3,25	4,0	5,0
- długość [mm]	250	350	350	450
- ciężar [100 szt/kg]	1,5	3,5	5,1	10,3
- średnie natężenie prądu [A]	70	100	140	185
- uzysk [%]	ok. 110			
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 10,5			

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda EN 600 B

Klasyfikacja: PN - EN 50

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa:

dla średnicy 3,25 i 4 mmm	dla średnicy 5 i 6 mm
C - 0,8 %	C - 0,6 %
Mn - 2,0 %	Mn - 1,9 %
Si - 0,7 %	Si - 1,0 %
Cr - 2,1 %	Cr - 1,2 %
	W - 2,7 %

Orientacyjna twardość stopiwa:

50 55 HRC ; 54 - 62 HRC

Prąd spawania i biegunowość:

Stały /+/ do elektrody.

Pozycja napawania:

- podolna.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do regeneracji zużytych elementów maszyn i urządzeń o wymaganej twardości napawanej powierzchni w stanie surowym minimum 50 HRC.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25	4,0	5,0	6,0
- długość [mm]	450	450	450	450
- ciężar [100 szt/kg]	4,2	6,3	9,9	14,0
- średnie natężenie prądu [A]	110	150	190	230
- uzysk [%]	ok. 100			
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 8,6			

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda EN 9 Cr-Si B

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa:

C - 0,5 %
Mn - 0,8 %
Si - 2,0 %
Cr - 9,0 %

Orientacyjna twardość stopiwa:

Stan surowy : 50 - 60 HRC
Po wyżarzeniu w temperaturze 800^{0}C/ 2-5 godz. - 250 HB
Po hartowaniu w 1000^{0}C w oleju - 50-60 HRC

Prąd napawania i biegunowość:
Stały /+/ dla elektrody.

Pozycja napawania:
- podolna.

Opis i zastosowanie:

Elektroda przeznaczona do regeneracji głównie krawędzi tnących , np. wykrojników. Można ją także stosować do napawania elementów ze stali węglowych o wymaganej twardości powierzchni napawanej pow. 50 HRC.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	2,5	3,25	4,0	5,0
- długość [mm]	350	450	450	450
- ciężar [100 szt/kg]	2,2	4,8	7,2	11,1
- średnie natężenie prądu [A]	80	100	150	190
- uzysk [%]	ok. 110			
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 8			

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda ENS 15 Cr B

Klasyfikacja : PN - EN 35 Cr Mo

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa:

C - 0,4 %

Mn - 0,5 %

Si - 15 %

Mo - 1,0 %

Orientacyjna twardość stopiwa:

42 - 48 HRC

Prąd spawania i biegunowość:
Stały /+/ do elektrody.

Pozycja napawania:
- podolna.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napawania armatury do wody, gazu lub pary wodnej o temperaturze do 450^{0}C.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25	4,0	5,0
- długość [mm]	350	350	450
- ciężar [100 szt/kg]	3,4	4,9	9,9
- średnie natężenie prądu [A]	90	130	160
- uzysk [%]	ok. 100		
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 11		

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda ES 13 Cr B

Klasyfikacja: PN - 13

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa:

C - 0,10 %
Mn - 0,7 %
Si - 0,4 %
Cr - 13 %

Orientacyjne własności mechaniczne stopiwa:

Re = powyżej 450 MPa [450 kG/mm^2]
Rm = powyżej 600 MPa [60 kG/mm^2]
A_5 = 18 24 %
KM (+20^{0}C) = 60 - 90 J/cm^2 (6 - 9 kGm/cm^2)

Prąd spawania i biegunowość:
Stały /+/ do elektrody.

Pozycja spawania:
Wszystkie z wyjątkiem pionowej z góry na dół.

Opis i zastosowanie:
Przeznaczona do spawania stali typu 1 H 13 oraz do napawania powierzchni elementów narażonych na działanie wody, pary itp. Elementy o grubości > 3mm spawać z podgrzaniem do temperatury 200 - 350^{0}C. Po spawaniu wyżarzać przy temperaturze 750 - 800^{0}C.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	2,5	3,25	4,0	5,0
- długość [mm]	250	350	350	450
- ciężar [100 szt/kg]	1,4	3,0	4,6	9,5
- średnie natężenie prądu [A]	60	95	130	170
- uzysk [%]	ok. 90			
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 11,2			

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 1

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,2
Mn - 6,0
Si - 0,2
Cr - 11,0

Orientacyjna twardość stopiwa ok. 35 HRC

Prąd spawania i biegunowość:

Stały biegun dodatni na elektrodę.

Pozycja napawania:
podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych elementów i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie erozji kawitacyjnej.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25	4,0
- długość [mm]	350	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,4	-
- natężenie prądu napawania [A]	80 - 120	
- uzysk [%]		
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 8,2	

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 5

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%)

C - 0,30
Mn - 6,42
Si - 0,23
Cr - 11,2

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 35 HRC

Prąd spawania i biegunowość:

Stały, biegun dodatni na elektrodę.

Pozycja napawania:

podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda do regeneracji uszkodzeń kawitacyjnych na stalowych elementach maszyn hydraulicznych w elektrowniach wodnych.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25
- długość [mm]	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,4
- natężenie prądu napawania [A]	80 - 120
- uzysk [%]	
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 8,2

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 6

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,3
Mn - 8
Cr - 11
Si - 0,3

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 25 HRC

Prąd spawania i biegunowość:

Stały, biegun dodatni do elektrody.

Pozycja napawania:
podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych elementów i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie erozji kawitacyjnej.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25	4,0
- długość [mm]	350	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,5	5,1
- natężenie prądu napawania [A]	80 - 120 ;	120 - 160
- uzysk [%]	ok. 100	
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 8,4	

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 7

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,2

Mn - 8,0

Si - 0,3

Cr - 14,0

Orientacyjna twardość stopiwa: -

Prąd spawania i biegunowość:

Stały, biegun dodatni na elektrodę.

Pozycje napawania:

podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych elementów maszyn i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie kawitacji.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25
- długość [mm]	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,5
- natężenie prądu napawania [A]	80 - 120
- uzysk [%]	-
- współczynnik topnienia [g/Ah]	-

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 9

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,3
Mn - 0,6
Si - 0,3
Cr - 16
Co - 5,5

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 33 HRC

Prąd spawania i biegunowość: stały, biegun dodatni do elektrody.

Pozycja napawania: podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych elementów i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie erozji kawitacyjnej.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25	4,0
- długość [mm]	350	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,5	5,4
- natężenie prądu [A]	80 - 120;	120 - 160
- uzysk [%]	ok. 104	
- współczynnik topnienia [g/Ah]	ok. 9,9	

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

Elektroda IMP 10

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,25
Mn - 0,3
Si - 0,2
Cr - 13,6
Co - 8,0

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 34 HRC

Prąd spawania i biegunowość: stały, biegun dodatni do elektrody.

Pozycja napawania: podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych części maszyn i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie erozji kawitacyjnej.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25
- długość [mm]	350
- ciężar [100 szt/kg]	3,5
- natężenie prądu [A]	80 - 120
- uzysk [%]	-
- współczynnik topnienia [g/Ah]	-

Elektroda EN 6 - 10

Typ otuliny: zasadowa

Orientacyjny skład chemiczny stopiwa (%):

C - 0,2
Mn - 9,0
Si - 0,12
Cr - 5 ÷ 6

Orientacyjna twardość stopiwa: ok. 32 HRC

Prąd spawania i biegunowość: stały, biegun dodatni do elektrody.

Pozycja napawania: podolna, naboczna i pionowa.

Opis i zastosowanie:

Grubootulona elektroda przeznaczona do napraw zużytych stalowych części maszyn i urządzeń elektrowni wodnych, narażonych na działanie erozji kawitacyjnej.

Wymiary i wskaźniki technologiczne:

- średnica [mm]	3,25
- długość [mm]	350
- ciężar [100 szt/kg]	4,9
- natężenie prądu [A]	80 - 120
- uzysk [%]	-
- współczynnik topnienia [g/Ah]	7,3

5. BIBLIOGRAFIA

[1] ZACZEK Z., DASZKIEWICZ R.: Naprawa uszkodzeń kawitacyjnych w maszynach hydraulicznych, 1990, Gdańsk, CPBR nr 5.1 "Kompleksowy rozwój energetyki", Informator

[2] Ramowa instrukcja technologii napraw uszkodzeń kawitacyjnych elementów turbin wodnych i pomp akumulacyjnych, Instytut Energetyki w Warszawie, Warszwa 1980

[3] SITKO J., LORKIEWICZ M.: Katalog elektrod stalowych produkowanych przez Hutę Baildon, CZWM "Metalzbyt", Bytom 1984

[4] SITKO J., LORKIEWICZ M.: Praca cząstkowa7.6 PK - 09.03 nt.: Wykonanie partii informacyjnej elektrod do napraw pokawitacyjnych, Katowice 1988, (maszynopis)