



Doświadczenia eksploatacyjne i rozwój powłok ochronnych typu Hybrid stosowanych dla ekranów kotłów parowych

Marek Danielewski

AGH



www.remak-rozruch.pl

Technologia realizowana obecnie przez **REMAK-ROZRUCH** i **AGH** w wersjach **MD** i **BIO**

Powłoka nakładana na ściany parowników kotłów od 2001 roku w firmach :

- **EDF**
- **PGNiG TERMIKA (Vattenfall)**
- **GDF Suez**
- **PGE Elektrownia Opole**

Nałożono w sumie ponad **14 500 m²** powłoki Hybrid na **24 kotłach** w tym kotły malowane po okresie gwarancyjnym.

**Powłoka HybridMD stosowana
w energetyce od 2001**

**Powłoka HybridBIO
testy przemysłowe
w energetyce od 2008**



Spalanie z niską zawartością NO_x oraz współspalanie biomasy powodują skutki uboczne

**Atmosfera redukcyjna,
niszcząca ochronne
warstwy tlenków na ekranach
w warunkach spalania
nieskoemisyjnego**

**Związki chloru w
produktach spalania
biomasy intensyfikują
procesy korozyjne**

Kosztowne wymiany fragmentów ekranów kotłów parowych

HybridMD

- Warstwa spodnia (grubość $30 \div 80 \mu\text{m}$): spoiwo nieorganiczne + wypełniacz - proszki Al.
- Warstwa wierzchnia (grubość $25 \div 60 \mu\text{m}$): spoiwo organiczne + wypełniacz w postaci sferycznych i/lub płatkowych Al, Si lub stopów Al-Si.
- Zachowuje własności ochrony chemicznej powierzchni ekranów do temperatury pracy 500°C

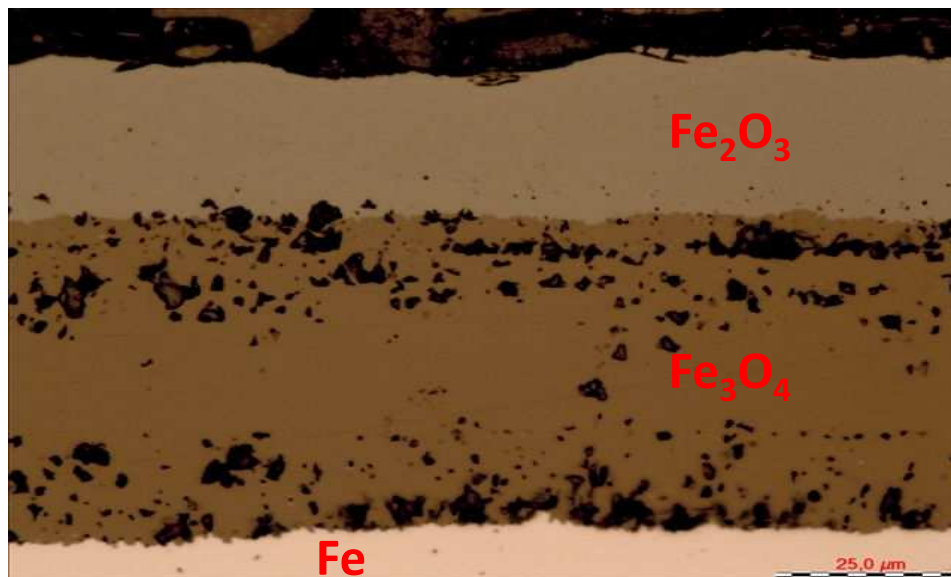
Hybrid Bio

- Trzy warstwy o sumarycznej grubości od 80 do 140 μm , warstwa spodnia zawiera chrom
- Zachowuje własności ochrony chemicznej powierzchni ekranów dla całości warstwy do temperatury pracy 600°C, dla warstwy podkładowej 700°C,
- Wykazuje większą odporność na korozyjne działanie chloru i siarki niż HybridMD

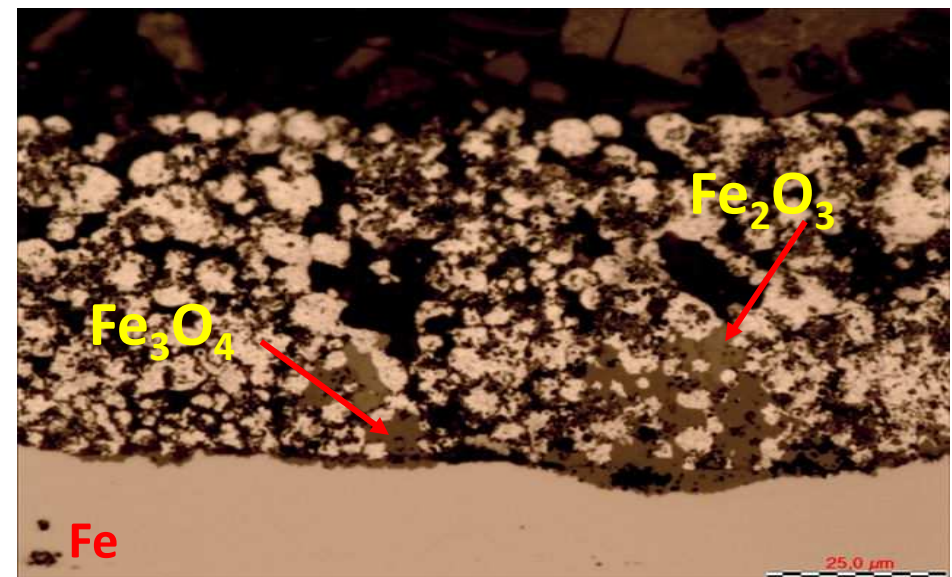
Jak to działa...

Żelazo w powietrzu, 550°C

www.remak-rozruch.pl



bez powłoki

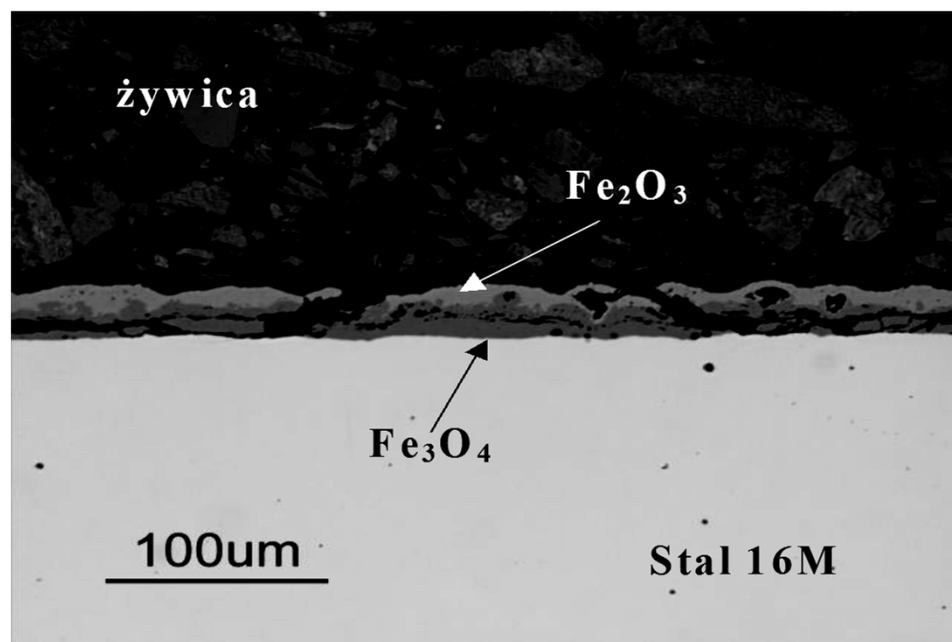


z powłoką HybridMD

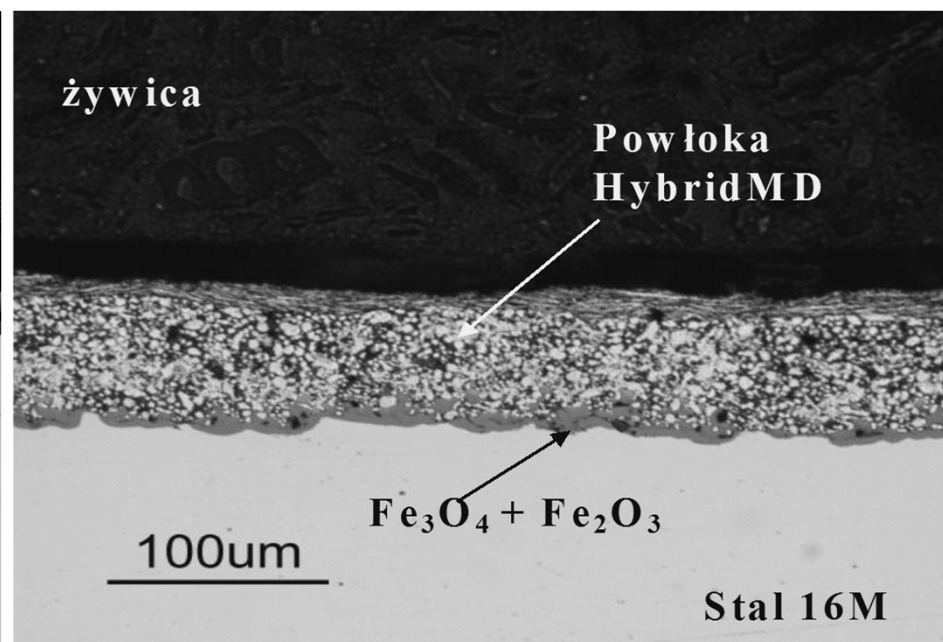
REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

Stal 16M w powietrzu, $T = 550^{\circ}\text{C}$

www.remak-rozruch.pl

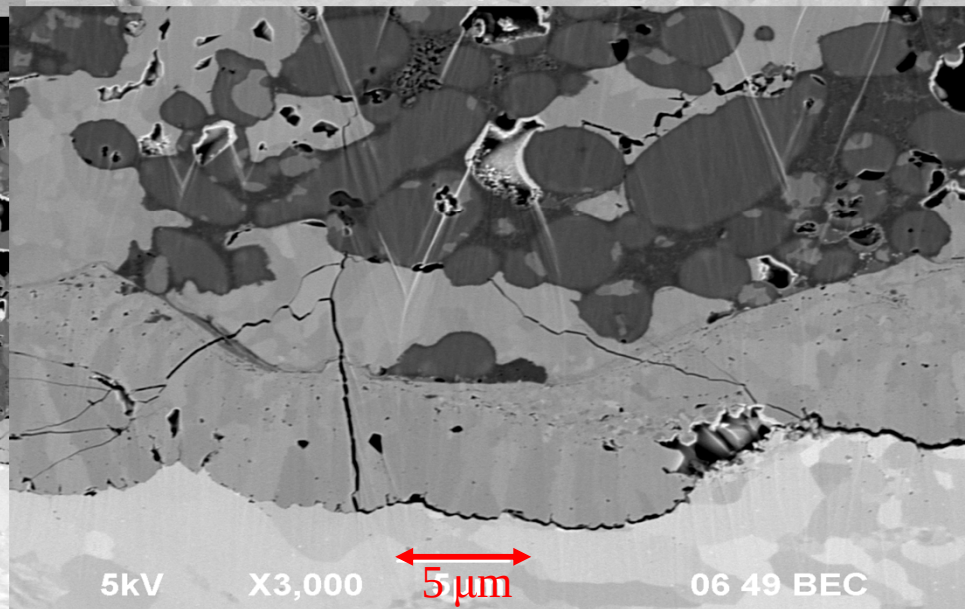
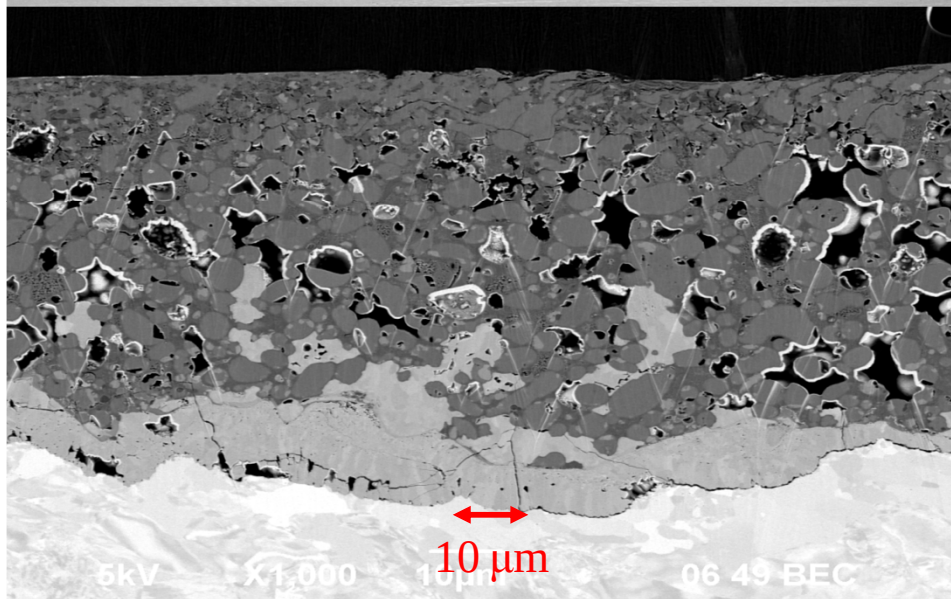
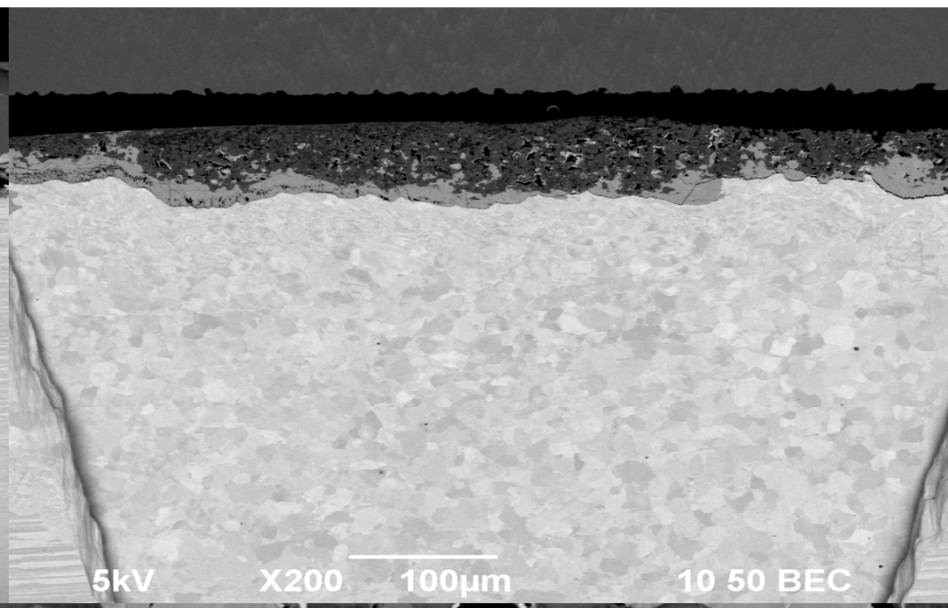
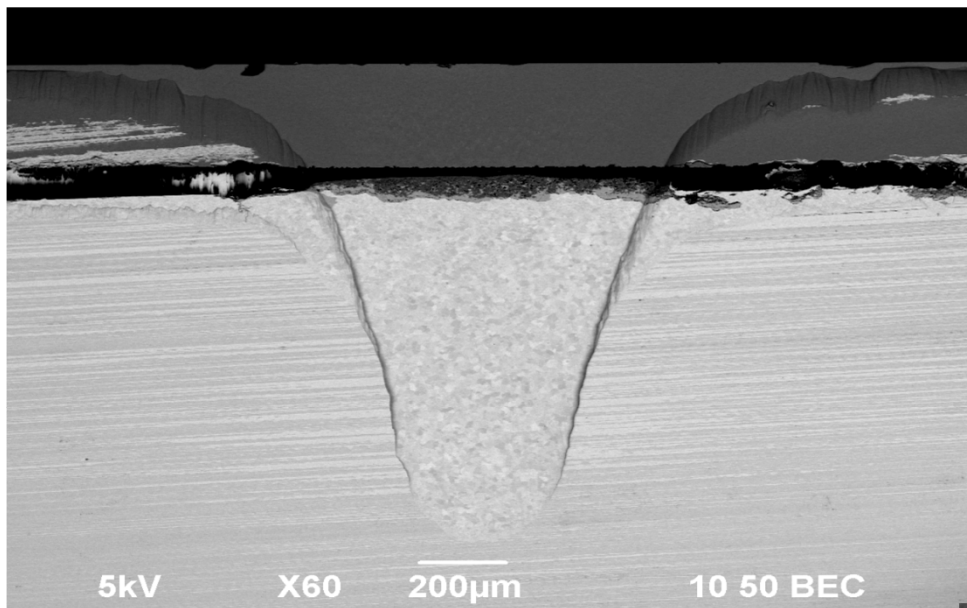


bez powłoki



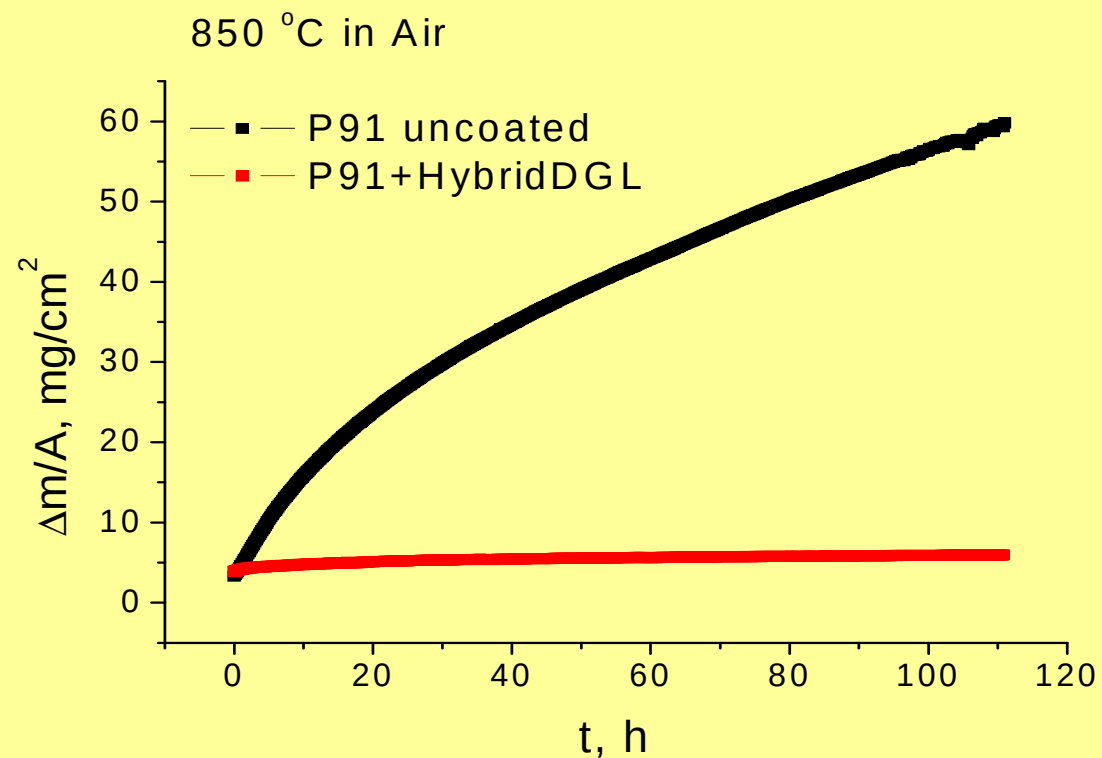
z powłoką HybridMD

REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA



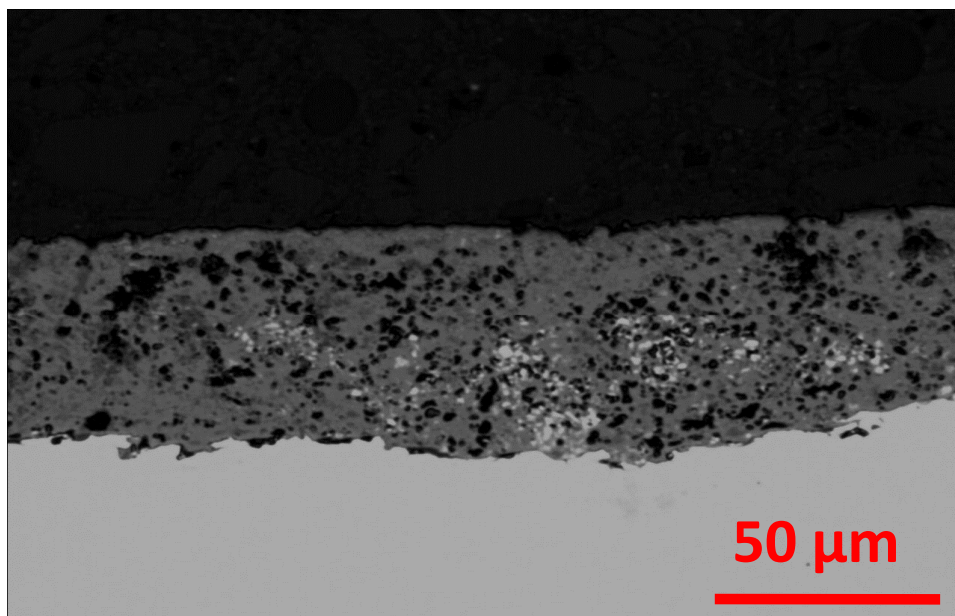
Bio Hot Corrosion...

Utlenianie w powietrzu 850 °C, 110 h

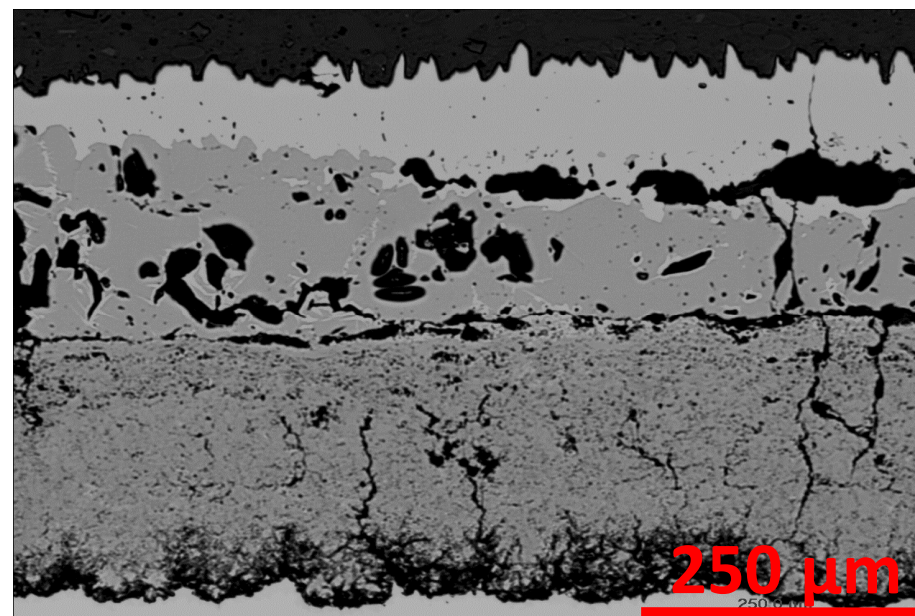


Utlenianie w powietrzu: 850 °C, 110 h

www.remak-rozruch.pl



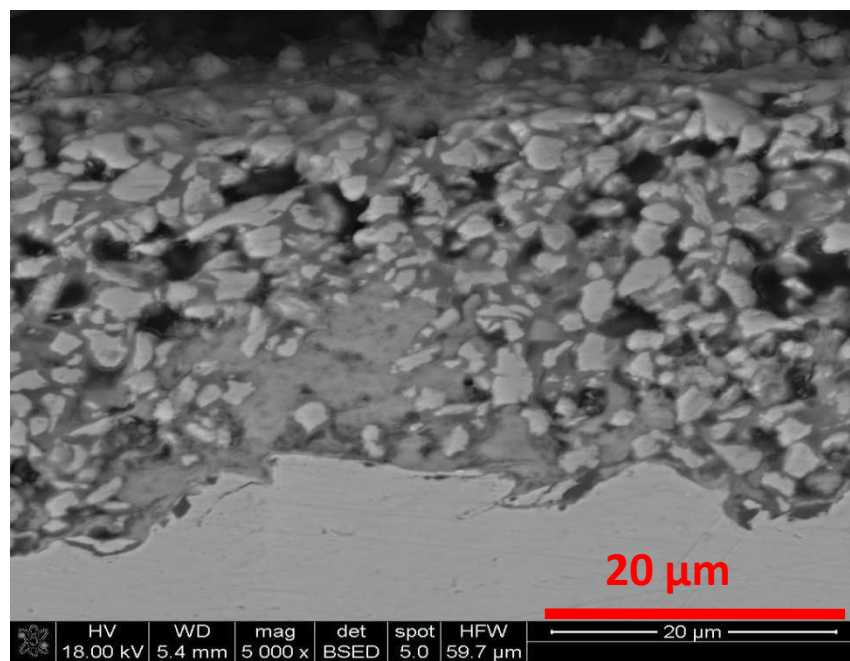
P91+HybridBio...



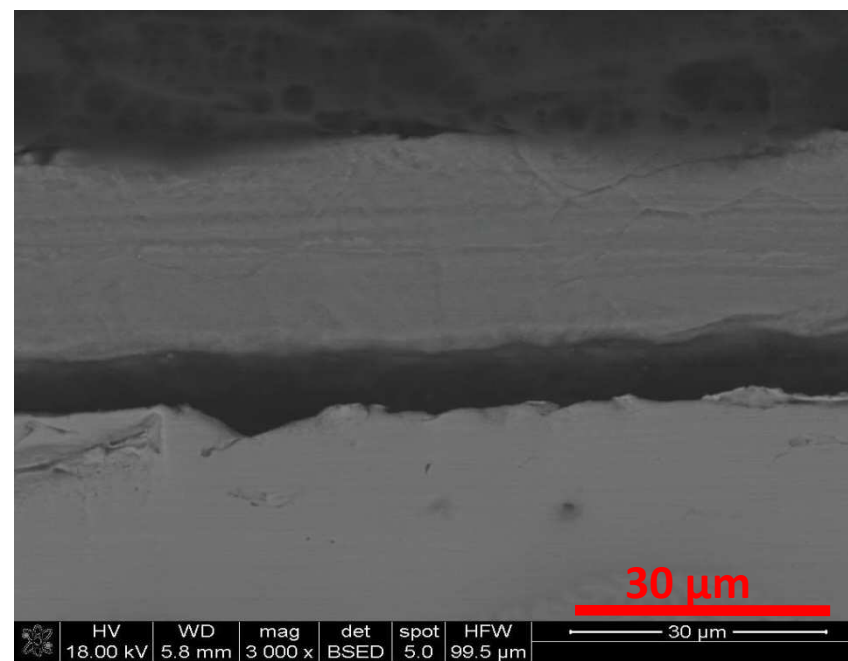
P91

Siarkowanie w S_2 : 600 °C, 7 h

www.remak-rozruch.pl



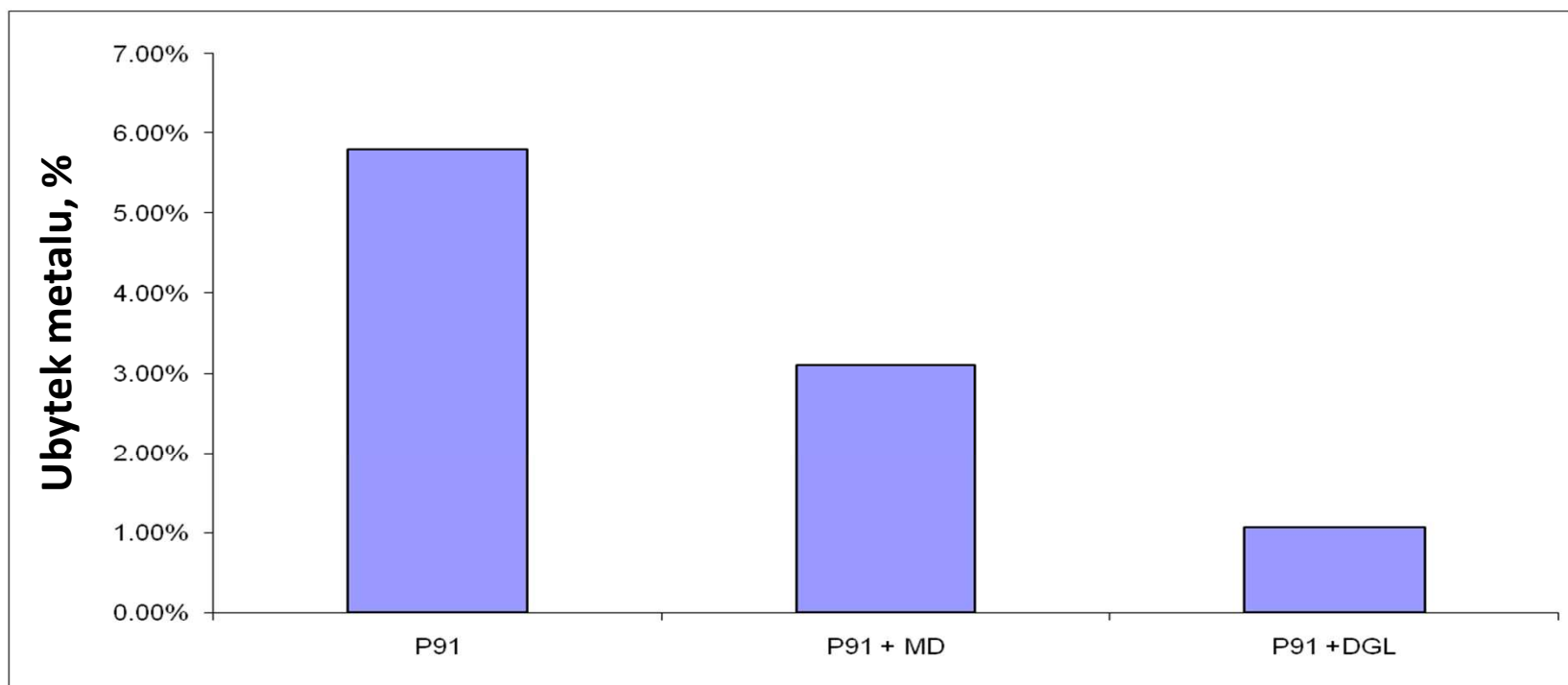
P91+HybridBio...

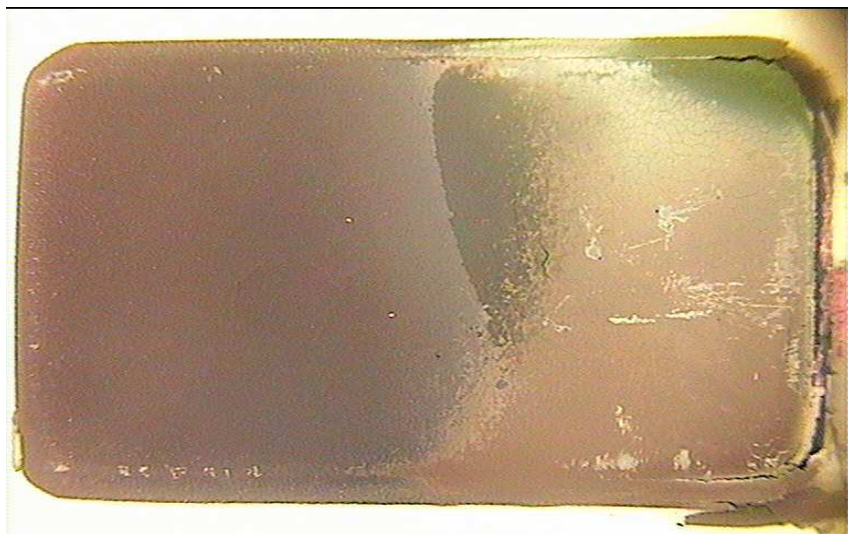


P91

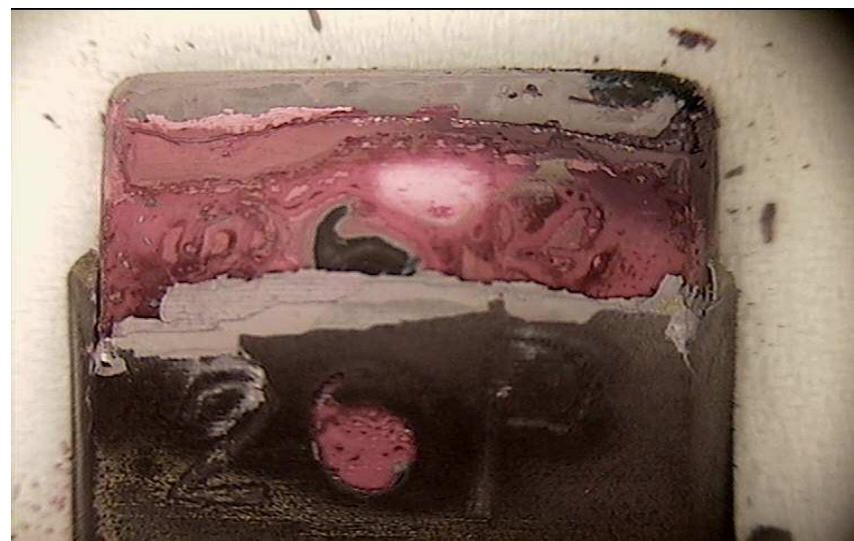
Siarkowanie w S₂: 600 °C, 7 h

www.remak-rozruch.pl





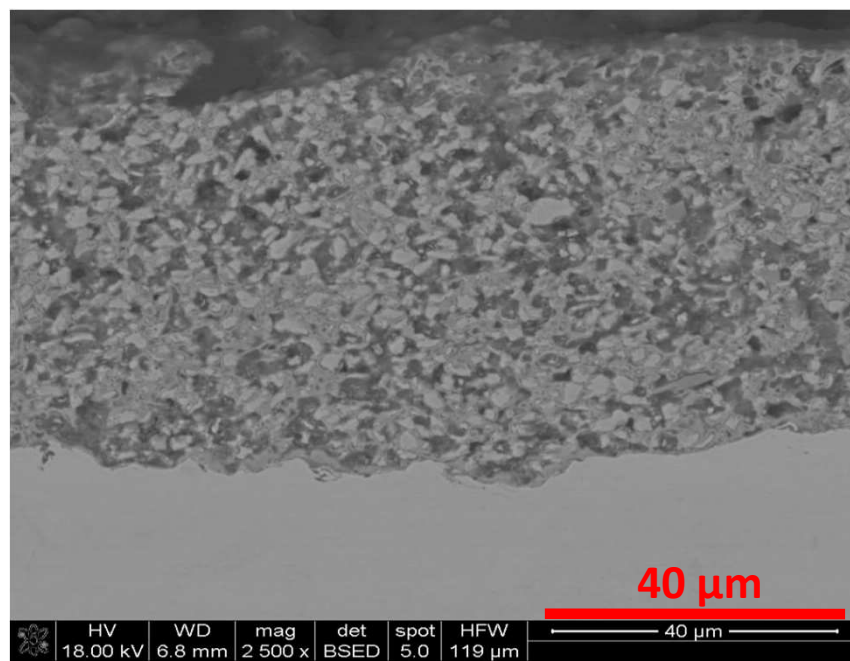
Stal P91+HybridBio



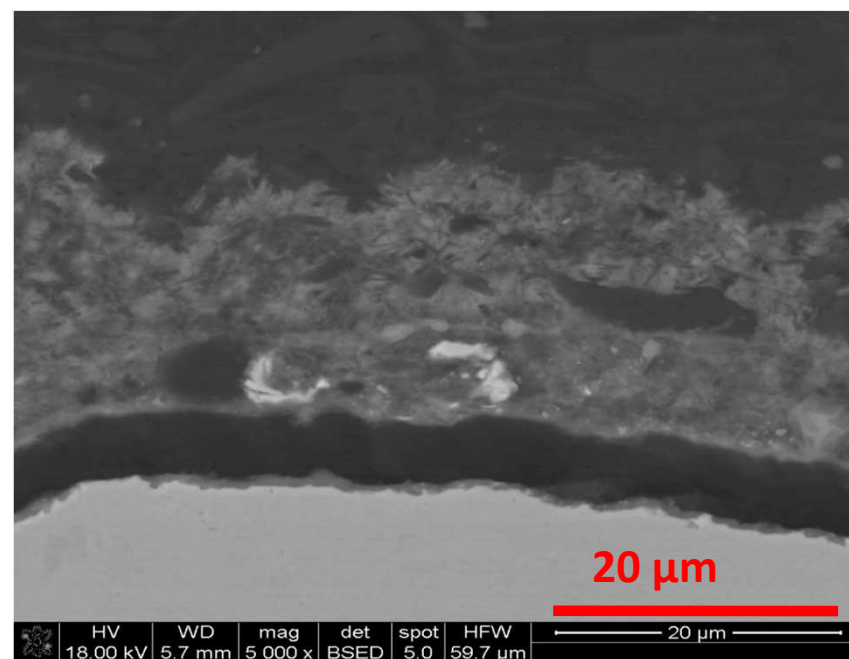
Stal P91

Korozja chlorkowa w Cl_2 : 620 °C, 5 h

www.remak-rozruch.pl



P91+HybridBio...



P91

- Szybkość utleniania stali 16M z powłoką jest niemal o rząd wielkości niższa od stali niepokrytej.
- Powłoka zapewnia dostęp tlenu do podłoża i tworzenie się ochronnej warstwy zgorzeliny.
- Zgorzelina pod powłoką HybridMD składa się z magnetytu i hematytu.

Doświadczenia eksploatacyjne na przykładzie EC Kraków oraz kotłów Vattenfall

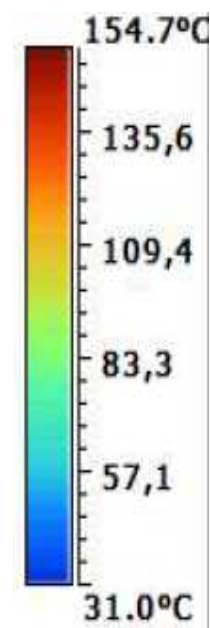
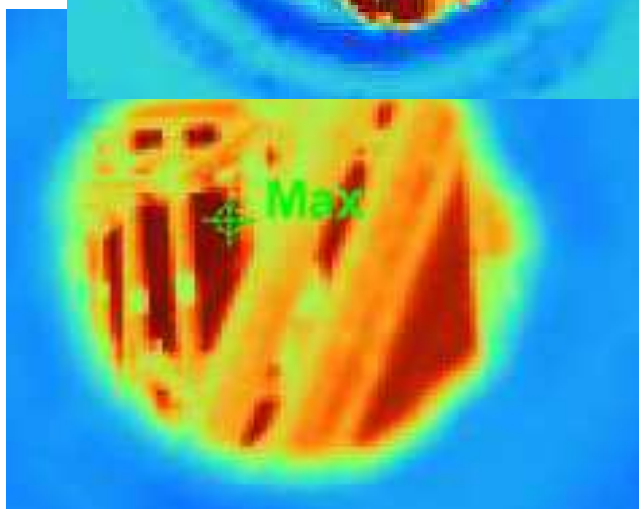
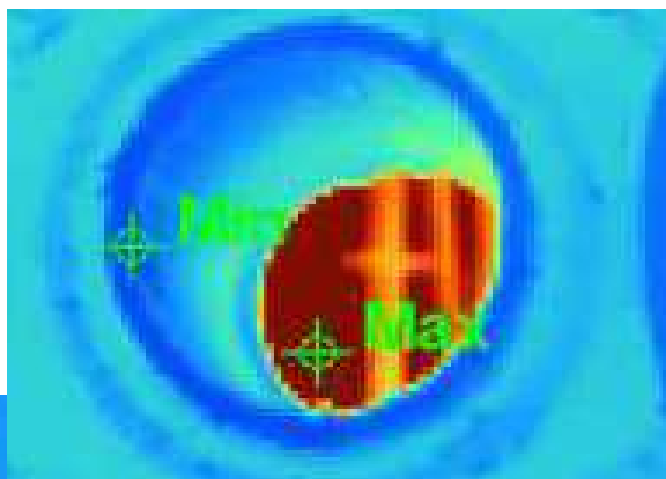


Etap I
Ekrany eksploatowanego kotła są czyszczone metodą ścierno - strumieniową do czystego metalu (klasa Sa2,5)



Etap II

Powłoka nakładana jest technikami malarskimi na ekrany parownika na obiekcie



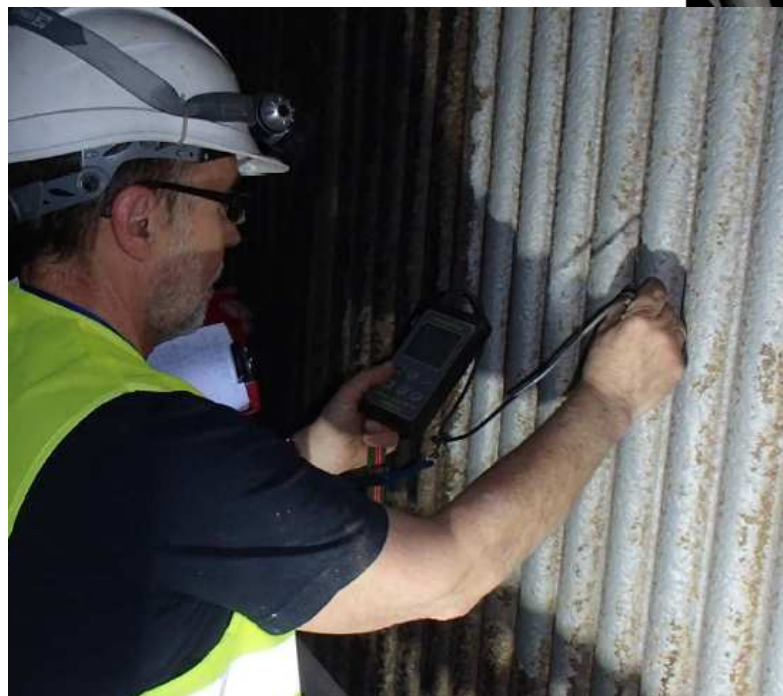
Etap III

Wygrzewanie (120°C, 24 godz.)
przy pomocy istniejących
instalacji

Etap IV

Nakładanie warstw
wierzchnich





Kontrola jakości
prowadzona przez
nadzór naukowy na
każdym etapie procesu
realizacji powłoki

~12 000 godzin; ~20% biomasy

www.remak-rozruch.pl

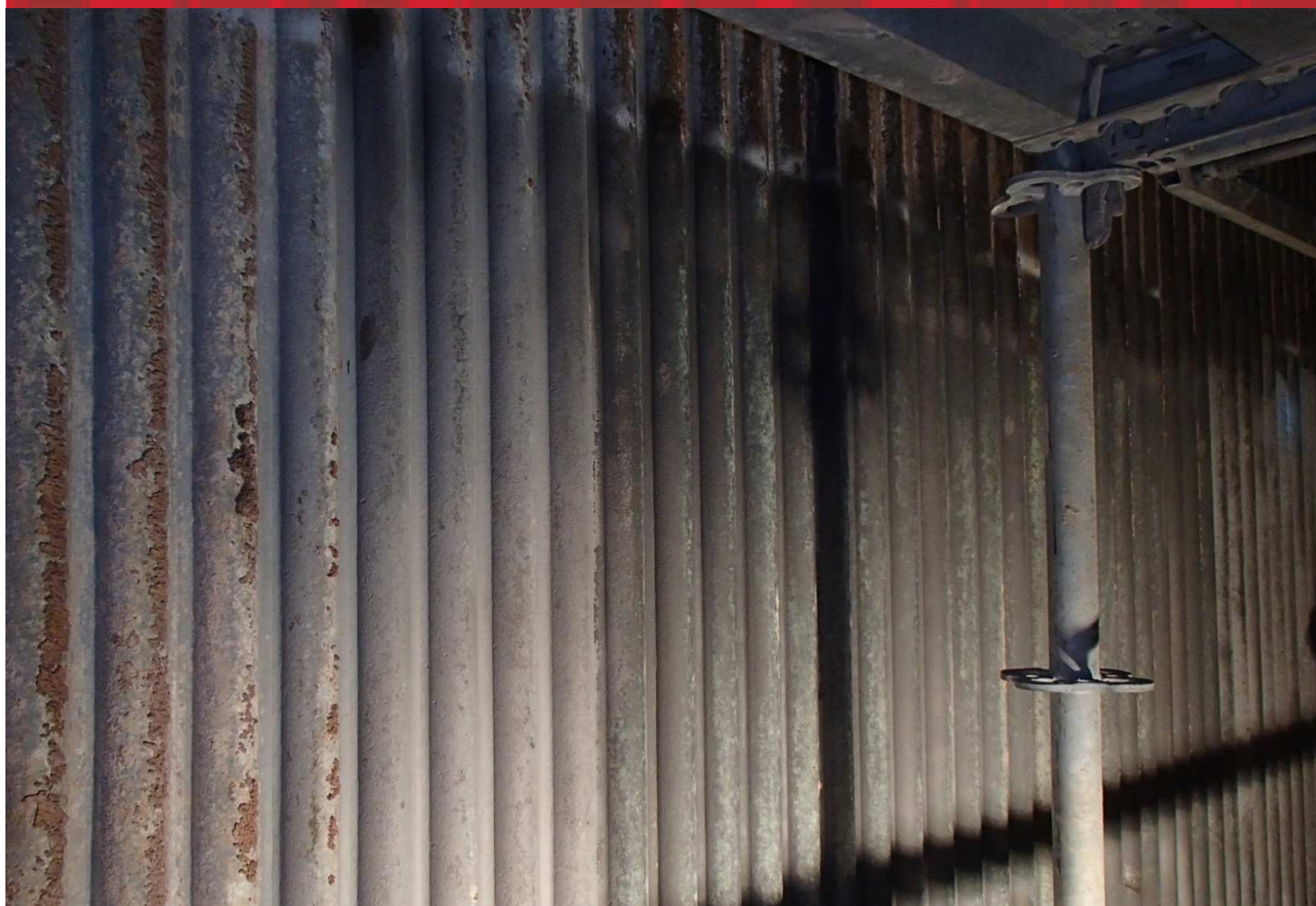
HybridBio-x0

REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA



~5 lat w warunkach współspalania biomasy

www.remak-rozruch.pl

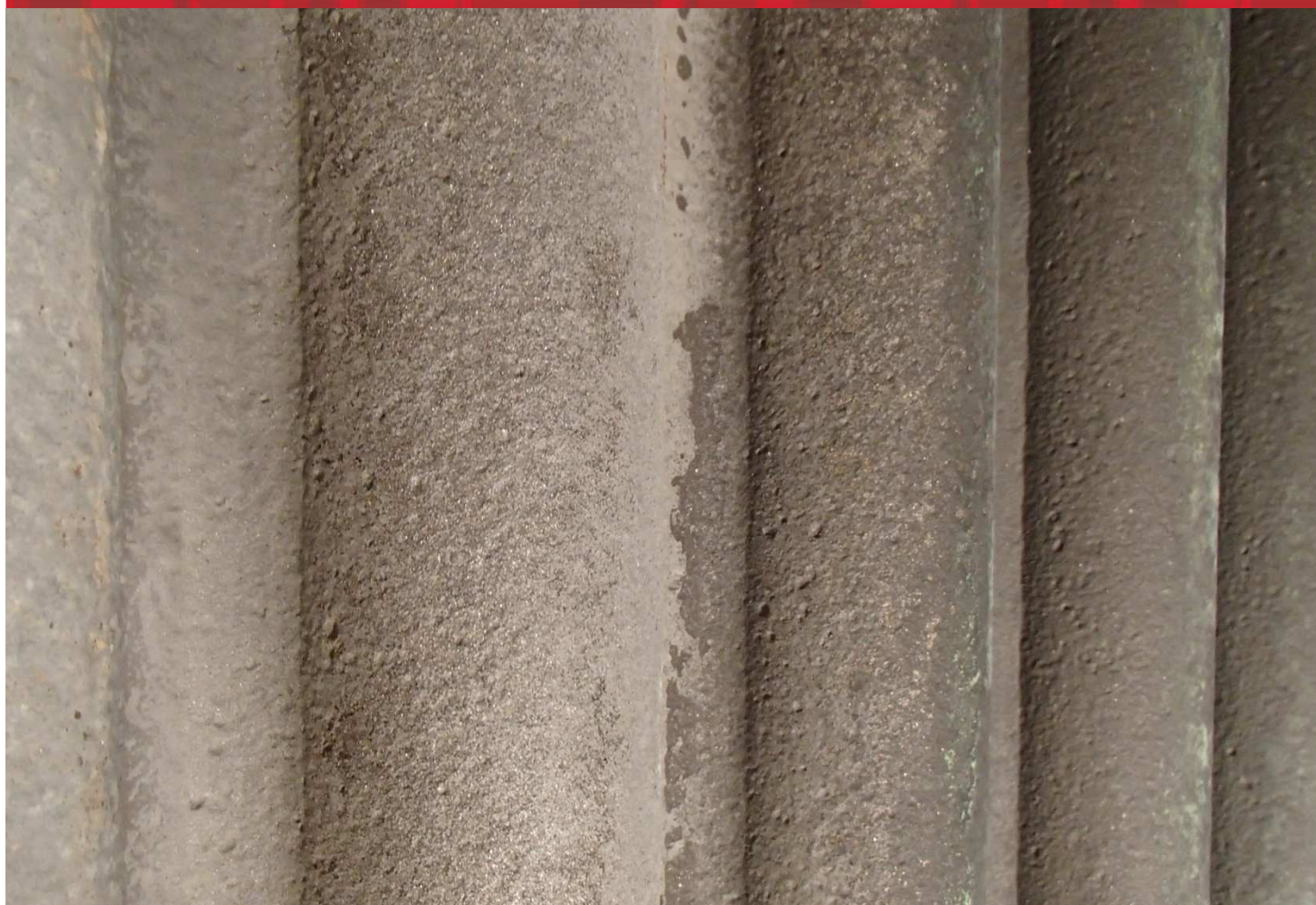


**HybridBio
i
HybridMD**

REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

~5 lat w warunkach współspalania biomasy

www.remak-rozruch.pl



**HybridBio
i
HybridMD**

REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA



HybridMD i HybridBIO: 5 lat eksploatacji

www.remak-rozruch.pl

HybridMD

HybridBio



REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

~5 lat - współspalanie biomasy

www.remak-rozruch.pl

HybridBio

REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

Koszt technologii nanoszenia powłok

Technologia/materiał	Metoda	Gwarancja, lata	Koszt jednostkowy, €/m ²
Napawanie łukowe/Inconel	Serwisowo On-site	8	~10 x
HVOF/Ni-Cr-X	Warsztatowa Ex-site	8	~5-6 x
Napawanie plazmowe	Warsztatowa Ex-site	4-8	~2-3 x
Napawanie łukowe/powłoki metaliczno-ceramiczne	Serwisowo On-site	3	~3 x
Powłoki hybrydowe/HybridMD	Ex-site/On-site	3-5	1

Symulacja kosztów :

- Typ kotła: OP 430; Typ ekranu: szczelny;
- Orurowanie: $\phi = 70$ mm (ścianka rury 5 mm);
- Powierzchnia pokrywana powłoką: 700 m²; Stan ekranów: nowe; Zakładany czas eksploatacji: 15 lat;
- Pomiar grubości ścianek rur:
 - Bez powietrza osłonowego: raz na rok;
 - Z powietrzem osłonowym: co dwa lata.

Nr.	Powierzchnia ekranów, %	Szybkość korozji (ubytek grubości ścianki rury/rok)	Częstość wymiany rur (w latach)
1	4.0	> 0.60 mm	2
2	7.0	0.40 – 0.50 mm	3
3	24.0	0.20 – 0.30 mm	5
4	39.5	< 0.19 mm	8
5	30.0	< 0.10 mm	15

Porównanie stosowanych typów powłok antykorozyjnych:

- Wartość odniesienia stanowi koszt wymiany skorodowanych ekranów na nowe.
- Zaawansowane powłoki ochronne (np. Inconel) mogą być ekonomicznie nieuzasadnione w warunkach Polski.
- **Powłoka HybridMD jest ekonomicznie najefektywniejszym środkiem ograniczenia korozji płomieniowej ekranów.**
- Pełna ocena efektywności powłoki HybridMD po dłuższym czasie jej stosowania.

Powłoka Hybrid MD po 3 latach eksploatacji



Doświadczenia eksploatacyjne

Typowe uszkodzenia powłoki wynikające ze spalania „na ścianach”





Doświadczenia eksploatacyjne

www.remak-rozruch.pl

Powłoka HybridMD **po 9 latach eksploatacji**

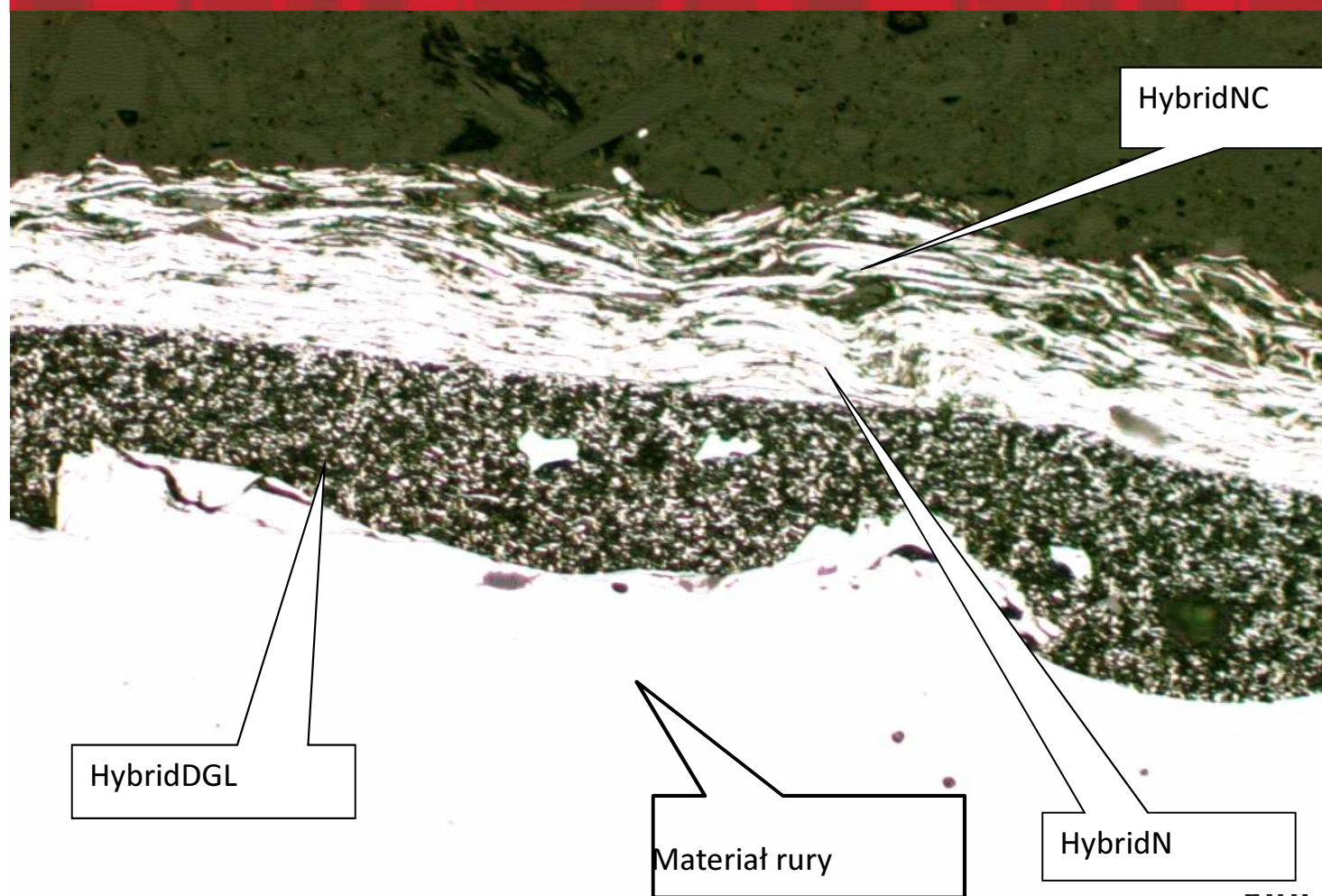


Doświadczenia eksploatacyjne HybridMD

- Bardzo dobra odporność powłoki na działanie atmosfery redukcyjnej (**po 9 latach** eksploatacji powłoka na > 50% powierzchni ekranów)
- Ograniczoną odporność powoduje wadliwe prowadzenie spalania (spalanie pyłu węglowego na ścianach): lokalne przekroczenia temperatury dopuszczalnej dla powłoki.
- Dla kotłów współspalających biomasę zalecana jest powłoka HybridBio o podwyższonej odporności na działanie chloru

Zamiast podsumowania:

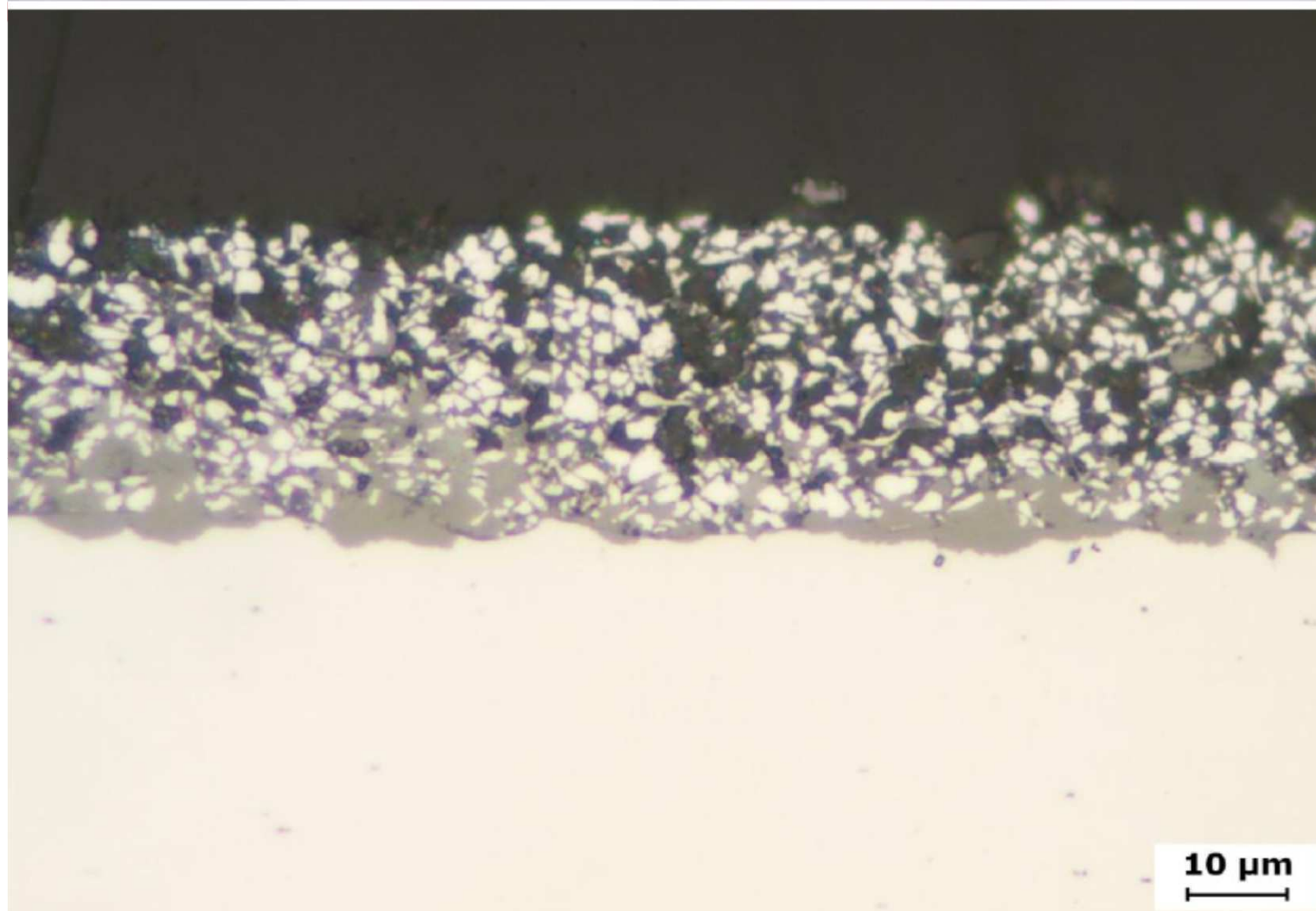
Co dalej...



Powłoki HybridDGL (Bio) + nanokrzemionka

HybridDGL + SiO_2 , 336 godzin/ 500°C, pow. 500x

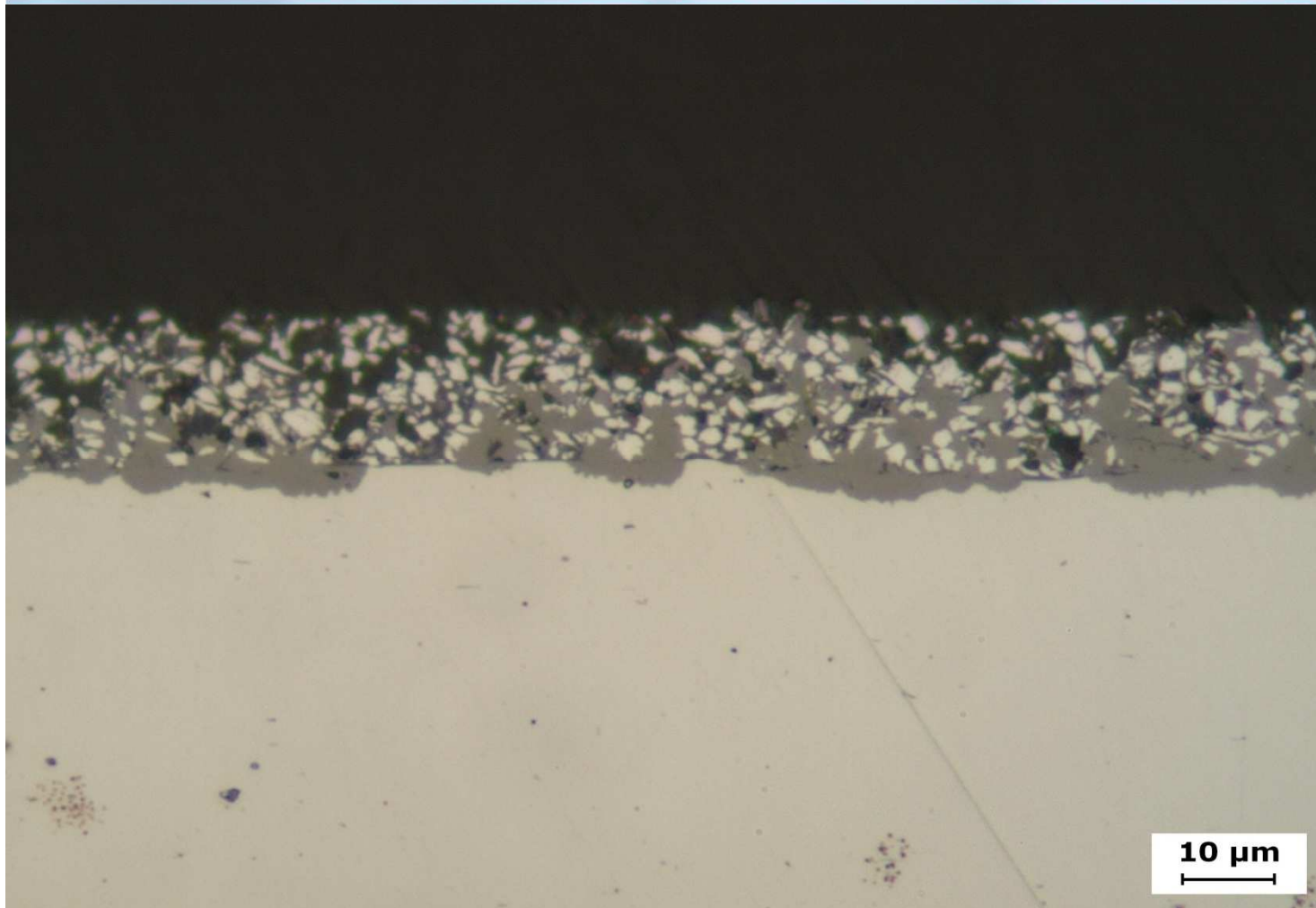
www.remak-rozruch.pl



REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

HybridDGL + SiO₂, 672 godziny/ 500°C, pow. 500x

www.remak-rozruch.pl



REMAK-ROZRUCH
SPÓŁKA AKCYJNA

Dziękujemy za uwagę