

## Przydatność badań niszczących do prognozowania żywotności wysokoprężnych rurociągów parowych

### Materiały, metody i próbki do badań niszczących

#### Materiały do badań i ich oznaczenie

Materiały do badań niszczących pozyskano:

- z rurociągów wycofanych w całości z eksploatacji,
- z elementów kryterialnych wymienionych w rurociągach dalej eksploatowanych (kolana, odcinki próbne),
- z pracujących rurociągów (minipróbki).

Materiały do badań pochodziły z rurociągów pary świeżej (stale w gatunkach 13HMF, 12HMF i 15.123.1) oraz rurociągów pary wtórnie przegrzanej (stal w gatunku 10H2M) po różnych czasach eksploatacji.

Materiały rurociągów do wtórnego przegrzewu z racji składu chemicznego, struktury i warunków pracy nie podlegają zmianom własności w stopniu, który mógłby ograniczyć jego przydatność do długotrwałej eksploatacji.

Oznaczenia materiałów dla potrzeb niniejszego artykułu są następujące:

- Materiał A – stal 15.123.1 pochodząca z kolektora pary świeżej  $p_r = 13,9$  MPa,  $t_r = 530^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 240\ 000$  h [3],
- Materiał B – stal 13HMF pochodząca z rurociągu pary świeżej bloku 200 MW,  $p_r = 12,8$  MPa,  $t_r = 520^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 158\ 956$  h [2],
- Materiał C – stal 12HMF pochodząca z rurociągu pary świeżej bloku 120 MW,  $p_r = 13,23$  MPa,  $t_r = 540^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 187\ 196$  h [4],
- Materiał D – stal 13HMF pochodząca z rurociągu pary świeżej kotła OP-430,  $p_r = 13,5$  MPa,  $t_r = 540^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 134\ 459$  h [1],
- Materiał E – stal 12HMF pochodząca z rurociągu pary świeżej bloku 200 MW (kocioł OP-650),  $p_r = 12,6$  MPa,  $t_r = 532^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 174\ 734$  h [5],
- Materiał F – stal 10H2M pochodząca z rurociągu pary wtórnie przegrzanej kotła OP-430,  $p_r = 2,3$  MPa,  $t_r = 520^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 158\ 956$  h [2],
- Materiał G – stal 10H2M pochodząca z rurociągu pary wtórnie przegrzanej kotła OP-650,  $p_r = 2,09$  MPa,  $t_r = 535^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 174\ 734$  h [6].

#### Zakres badań niszczących

Badania niszczące obejmowały:

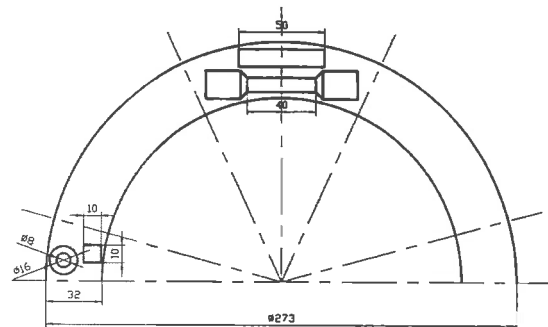
- badania strukturalne,
- statyczną próbę rozciągania,
- badania udarności,
- badania wytrzymałościowe na mikropróbkach,
- skróconą próbę pełzania,
- pomiary twardości.

Badania prowadzone były w temperaturze pokojowej (z wyjątkiem skróconej próby pełzania).

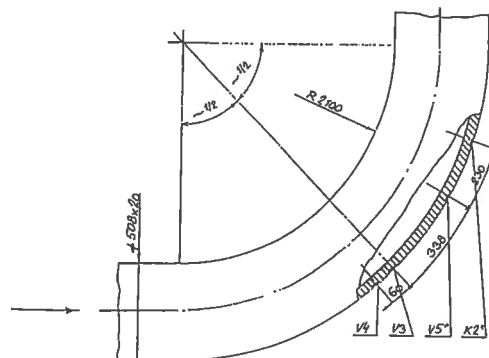
#### Próbki do badań

Badania strukturalne, statyczną próbę rozciągania, badania udarności i skróconą próbę pełzania prowadzono na próbkach wyciętych z prostek i z maksymalnej strefy gięcia kolan. Sposób poboru próbek ilustruje rysunek 1 [1]. Metody badań były zgodne z wymaganiami odpowiednich Polskich Norm.

Mikropróbki pobrano za pomocą specjalnego przyrządu [2] ze strefy rozciąganej kolan (rys. 2).



Rys. 1. Sposób poboru próbek do badań strukturalnych i materiałowych



Rys. 2. Sposób pobrania mikropróbek i ich oznaczenie

## Skład chemiczny materiałów, %

Materiał	Element	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Al <sub>całk.</sub>
A 15.123.1	kolano 1	0,13	0,56	0,28	0,018	0,020	0,59	0,47	0,25	0,09	0,1	-
	kolano 2	0,09	0,57	0,31	0,013	0,014	0,49	0,42	0,27	0,08	0,1	-
ČSN415123		0,10÷ 0,16	0,50÷ 0,65	0,20÷ 0,65	0,045 max	0,045 max	0,50÷ 0,65	0,40÷ 0,50	0,20÷ 0,35	-	-	-
B 13HMF	kolano 10A01I	0,14	0,53	0,34	0,048	0,023	1,01	0,33	0,25	0,22	-	-
	kolano 10A03P	0,10	0,53	0,25	0,011	0,010	1,07	0,28	0,20	0,12	0,10	0,008
C 13HMF	kolano 01A02P	0,11	0,58	0,24	0,013	0,019	1,10	0,29	0,24	0,10	0,08	-
	kolano 01A09	0,09	0,87	0,23	0,030	0,030	1,02	0,28	0,22	0,33	0,08	-
	kolano 01A11	0,08	0,47	0,22	0,024	0,024	0,97	0,28	0,21	0,33	0,07	-
D 13HMF	odcinek próbny	0,15	0,54	0,26	0,018	0,003	0,40	0,63	0,33	0,08	0,09	-
PN-75/H-84024		0,10÷ 0,18	0,40÷ 0,70	0,15÷ 0,35	0,040 max	0,040 max	0,30÷ 0,60	0,50÷ 0,60	0,22÷ 0,35	0,30 max	0,15 max	-
E 12HMF	kolano 11A04L	0,12	0,61	0,35	0,024	0,009	1,03	0,30	0,24	0,13	0,14	-
	kolano 11A05P	0,128	0,48	0,37	0,014	0,016	0,96	0,29	0,19	0,16	0,10	-
PN-75/H-84024		0,08÷ 0,15	0,4÷ 0,7	0,15÷ 0,40	max 0,030	max 0,030	0,90÷ 1,20	0,25÷ 0,40	0,15÷ 0,35	max 0,25	max 0,25	max 0,020
F 10H2M	kolano 10C01L	0,13	0,49	0,24	0,019	0,023	1,81	1,02	-	-	-	-
	kolano 10C03P	0,09	0,49	0,24	0,021	0,020	1,90	1,04	-	-	0,07	0,007
G 10H2M	kolano 11C01P	0,14	0,50	0,33	0,026	0,027	2,29	1,02	-	0,14	0,07	-
	kolano 11C01L	0,09	0,47	0,24	0,028	0,019	2,31	1,02	-	0,13	0,12	-
	kolano 11C02P	0,12	0,47	0,21	0,014	0,017	2,07	1,01	-	0,25	0,06	-
	kolano 11C02L	0,11	0,63	0,26	0,019	0,033	2,29	1,04	-	0,15	0,05	-
	kolano 11C03P	0,11	0,63	0,25	0,019	0,033	2,28	1,02	-	0,14	0,06	-
G 10H2M	kolano 11C03L	0,12	0,48	0,20	0,013	0,017	2,07	1,01	-	0,25	0,07	-
	kolano 11C04P	0,12	0,47	0,28	0,009	0,012	2,22	1,03	-	0,09	0,04	-
	kolano 11C04L	0,11	0,47	0,28	0,009	0,012	2,23	1,00	-	0,09	0,05	-
	kolano 11C05L	0,11	0,51	0,27	0,021	0,028	2,24	0,99	-	0,12	0,08	-
PN-75/H-84024		0,08÷ 0,15	0,40÷ 0,60	0,15÷ 0,50	0,030 max	0,030 max	2,00÷ 2,50	0,90÷ 1,10	-	0,30 max	0,25 max	0,020 max
13HMF	nowe kolano	0,10	0,61	0,23	0,028	0,023	0,70	0,40	0,25	0,28	0,09	-
10H2M	nowe kolano	0,13	0,46	0,39	0,018	0,006	2,23	0,96	-	0,31	0,14	-

## Wyniki badań własności mechanicznych materiałów

Materiał	Miejsce poboru próbki i jej orientacja		R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	KCV [J/cm <sup>2</sup> ]	Postać przełomu
A	kolano 1	prostka	304	488	21,0	72,4	13	100% kruchy
		łuk	299	501	18,0	68,3	8,0	100% kruchy
	kolano 2	prostka	269	473	19,0	77,4	15,2	60% kruchy
		łuk	269	468	20,0	77,4	163	60% kruchy
B	kolano 10A01I	prostka	277	462	28,0	-	275	15% kruchy
		łuk	265	465	27,0	-	342	25% kruchy
	kolano 10A03P	prostka	279	461	28,0	-	245	25% kruchy
		łuk	267	470	27,0	-	250	30% kruchy
C	kolano 01A02P	wzdłużne	247	442	28,7	78,9	208	40% kruchy
		obwodowe	259	450	27,0	74,5	105	60% kruchy
	kolano 01A09	wzdłużne	251	431	27,0	75,3	7,5	100% kruchy
		obwodowe	250	450	-	70,1	6,25	100% kruchy
	kolano 01A11	wzdłużne	239	432	28,7	77,7	10,0	100% kruchy
		obwodowe	243	432	27,0	70,4	6,25	100% kruchy
D	odcinek próbny	wzdłużne	402	601	25,2	75,3	8,50	100% kruchy
		obwodowe	398	597	22,4	75,0	8,75	100% kruchy
E	kolano 11A04L	wzdłużne	278	493	31,2	77,0	160	70% kruchy
		obwodowe	271	481	28,0	75,0	67,5	100% kruchy
	kolano 11A05P	wzdłużne	258	469	29,9	75,6	120	85% kruchy
		obwodowe	270	509	29,6	71,8	70	100% kruchy
F	kolano 10C01L	prostka	240	470	28,3	-	68	100% kruchy
		łuk	235	470	28,8	-	67	100% kruchy
	kolano 10C03P	prostka	240	470	27,0	-	80	90% kruchy
		łuk	240	405	28,3	-	63	100% kruchy
G	kolano 11C01P	wzdłużne	278,5	511	28,2	70,4	50,0	100% kruchy
		obwodowe	274,5	508	29,0	61,7	37,5	100% kruchy
	kolano 11C01L	wzdłużne	243	454	30,3	74,4	132,5	70% kruchy
		obwodowe	243	457	29,2	70,7	62,6	95% kruchy
	kolano 11C02P	wzdłużne	215	445	33,0	74,8	150	70% kruchy
		obwodowe	207	449	31,8	72,8	75	95% kruchy
	kolano 11C02L	wzdłużne	215	457	30,4	74,4	155	60% kruchy
		obwodowe	199	457	30,8	67,3	52,5	100% kruchy
	kolano 11C03P	wzdłużne	259	489	29,4	70,4	150	60% kruchy
		obwodowe	262	481	28,2	64,4	52,5	100% kruchy
	kolano 11C03L	wzdłużne	235	447	27,2	75,8	55,0	95% kruchy
		obwodowe	215	445	27,9	69,7	50,0	100% kruchy
	kolano 11C04P	wzdłużne	248	469	27,1	69,0	67,5	95% kruchy
		obwodowe	255	474	26,6	67,4	60,0	95% kruchy
	kolano 11C04L	wzdłużne	358	497	24,1	72,8	155	60% kruchy
		obwodowe	362	501	22,5	70,8	85,0	90% kruchy
	kolano 11C05L	wzdłużne	229	469	29,5	72,8	55,0	95% kruchy
		obwodowe	420	465	28,1	62,7	35,0	100% kruchy
13HMF	nowe kolano	wzdłużne	378,2	533,4	27,0	76,2	165	80% kruchy
		obwodowe	358	509	26,0	70,4	82,5	95% kruchy
10H2M	nowe kolano	wzdłużne	406	577	26,1	77,1	307	
		obwodowe	414	589	25,5	76,2	300	
<b>Właściwości mechaniczne stali wg normy PN-75/H-84024 i ČSN415123</b>								
13HMF	normalizowana		365	490 ÷ 690	20	-	90*	
	odpuszczana				10	-	60*	
10H2M	normalizowana		265	440 ÷ 590	20	-	80*	
	odpuszczana				18	-	50*	
12HMF	normalizowana		295	440 ÷ 640	21	-	70*	
	odpuszczana				19	-	50*	

\*) Norma podaje udarność KCU 2.

Statyczną próbę rozciągania prowadzono na próbkach okrągłych pięciokrotnych o średnicy pomiarowej  $d_0 = 8,0$  mm. Badania udarności wykonano na próbkach typu Charpy KCV. Skróconą próbę pełzania prowadzono na próbkach o średnicy pomiarowej  $d_0 = 5$  mm i o długości pomiarowej  $l_0 = 25$  mm.

Badania strukturalne i pomiary twardości przeprowadzono na całym przekroju poprzecznym wycinków rurociągu.

## Wyniki badań

### Wyniki badań strukturalnych

Wyniki analizy składu chemicznego badanych materiałów wykonanej metodą spektralną zamieszczono w tabeli 1.

### Badania własności mechanicznych

Badania własności mechanicznych przeprowadzono w temperaturze pokojowej, a ich wyniki zamieszczono w tabeli 2.

### Wyniki badań metalograficznych i pomiarów twardości

Badania metalograficzne i pomiary twardości prowadzono na całym przekroju poprzecznym prostopadłym do osi rurociągów.

Wyniki badań i pomiarów podano poniżej.

- Materiał A** — struktura materiału obydwu kolan zarówno na odcinkach prostych jak i na łukach była bardzo podobna, ferrytyczno-bainityczna ze skoagulowanymi węglkami; zakres zmian twardości na grubości ścianki kolan wynosił 144—149HV30\*,
- Materiał B** — materiał kolan ma strukturą poli- i kwasi-poligonalnego ferrytu z niewielką ilością bainitu. Twardość materiału kolan była niemal jednakowa na całej grubości rurociągu i wynosiła 140,6—142,0 HV30\*,
- Materiał C** — struktura materiału miała charakter ferrytyczno-bainityczny, ferryt poligonalny i kwasi-poligonalny z licznymi globularnymi węglkami wydzielonymi wewnątrz i po granicach ziaren; podobnie jak dla materiału B dla wszystkich kolan twardość zmieniała się nieznacznie i wynosiła 136—140 HV30\*,

\*1) Wartości średnie z pięciu pomiarów.

- Materiał D** — badany materiał posiadał strukturę probainitycznego ferrytu i bainitu z obecnością martenzytu, co tłumaczy wysoką twardość wynoszącą 184,2—206,6HV30\*,
- Materiał E** — struktura materiału kolan to ferryt i bainit poligonalny lub ferryt kwasi-poligonalny (kolano 11A05P); twardość materiału kolan po grubości ścianki wahała się w granicach 137,6—149 HV30\* (najmniejsza w środku przekroju poprzecznego),
- Materiał F** — struktura materiału kolan to poli- i kwasi-poligonalny ferryt oraz bainit z licznymi globularnymi węglkami; twardość wynosiła 142—148 HV30\*,
- Materiał G** — struktura materiału badanych kolan to bainit z niewielką ilością probainitycznego ferrytu; twardość zmieniała się w granicach 129,6—148,2 HV30 z wyjątkiem kolana 11C04L, dla którego twardość wynosiła 161,2—163,4 HV30\*
- Nowe kolano ze stali 13HMF** — struktura materiału badanego kolana — ferryt poligonalny i kwasi-poligonalny oraz bainit i perlit; twardość wahała się w granicach 153,2—163,8 HV30\*,
- Nowe kolano ze stali 10H2M** — struktura materiału badanego kolana — bainit ze śladami probainitycznego ferrytu; twardość niemal stała po grubości 180,0—180,2 HV30.

### Wyniki badań wytrzymałościowych na małych próbkach

Mikropróbki pobrane zostały z materiału B (kolano 10A01L) i z materiału F (kolano 10C01L). Badania prowadziły dwa niezależne zespoły:

- I pod kierunkiem prof. dr inż. Jarosława Purmensity'ego [7]
- II pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Ryszarda Kozłowskiego [8].

Wyniki badań zamieszczono w tabeli 3.

### Wyniki skróconej próby pełzania

Skróconą próbę pełzania prowadzono przy pięciu stałych temperaturach wyższych od temperatury pracy i przy stałym naprężeniu wynikającym z ciśnienia obliczeniowego rurociągów.

Wyniki badań zamieszczono w tabeli 4 [10,11].



Wyniki badań wytrzymałościowych na małych próbkach

Materiał	$R_e$ , MPa			$R_m$ , MPa			Mikro- twardość, HV <sub>0,02</sub>
	PN-75/H-84024	I	II	PN-75/H-84024	I	II	
B	355 365	274±20	355	490 690	481±24	520	161±5
F	265	286±20	330	440 590	484±24	525	151±5

Tabela 4

Wyniki skróconych prób pełzania

Materiał	Wymiary $d_z \times g_n$ , mm	Parametry obliczeniowe:			Napre- żenie badania $\sigma_{br}$ MPa	Temperatura badania $T_{br}$ , °C					Osza- cowana trwałość resztkowa, h
		ciśnie- nie $p_{obl}$ MPa	tempe- ratura $T_{obl}$ °C	napre- żenie $\sigma_{obl}$ MPa		600	625	650	675	700	
						czas do zerwania próbki $t_z$ , h					
D	273x32	14,0	540	58,62	60	(6351) <sup>1)</sup>	(6571) <sup>1)</sup>	1692	335	119	446 000
E	323,9x20	13,95	540	55,09	55	(6351) <sup>1)</sup>	2350	811	234	71	528 000
G	508x20	2,94	540	43,31	45	(5705) <sup>1)</sup>	(6571) <sup>1)</sup>	1627	498	118	99 500
H <sup>2)</sup>	273x32	14,0	540	58,62	60	(5705) <sup>1)</sup>	2635	673	192	192	114 000

<sup>1)</sup> W nawiasach wyniki prób nie zakończonych do 15 maja 2002.<sup>2)</sup> H — odcinek próbny z rurociągu par świeżej kotła OP-430 – stal 13HMF.

## Omówienie wyników badań

Wyniki badań spektralnych wskazują, że skład chemiczny dotychczas stosowanych materiałów na rurociągi pary świeżej jak i wtórnie przegrzanej nie odbiega od składu chemicznego przewidzianego dla konkretnego gatunku stali przez normę przedmiotową. Wyjątek stanowią materiały B i C, dla których ilość chromu jest niemal dwukrotnie wyższa, a molibdenu dwukrotnie niższa od wymaganych w normie. Nie jest to z pewnością skutkiem długotrwałej eksploatacji. Niestety nie zachowały się lub w ogóle nie było wyników badań początkowych, czyli tzw. rejestracji stanu przedeksplotacyjnego. Dotyczy to wszystkich omawianych w artykule wyników badań niszczących, dla których jedynym odniesieniem są wartości przewidziane w normie przedmiotowej dla danego gatunku stali. Dla elementów kryterialnych, które zostały wymienione w eksploatowanych rurociągach *Pro Novum* prowadzi pełne badania stanu przedeksplotacyjnego.

Wyniki badań strukturalnych nie pozwalają stwierdzić wpływu długotrwałej eksploatacji na stan struktury na całym przekroju poprzecznym badanych materiałów. Nie wykryto ani pojedynczych, ani tym bardziej pogrupowanych po granicach ziarn pustek pełzaniowych. Degradacja materiału zachodzi w obszarach największych naprężeń, co dla rurociągów związane jest z powierzchnią kolan w strefie rozciąganej. Jednoznaczna oznaka zachodzących w materiale procesów pełzaniowych — pojedyncze pustki pełzaniowe — można stwierdzić badając kolana nieinwazyjnie metodą replik.

Analiza wyników statycznej próby rozciągania pozwala na dwa praktyczne spostrzeżenia.

- 1) metoda nie jest czuła na miejsce poboru próbek; dla materiałów A, B i F próbki do badań pobrano zarówno z prostek jak i łuków kolan. Wyniki nie różnią się istotnie od siebie. Dla materiałów C, D, E i G badano próbki wzdłużne i obwodowe (rys. 1). Otrzymane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że orientacja próbek nie ma wpływu na wartości określonych własności mechanicznych badanych materiałów.
- 2) własności mechaniczne badanych materiałów mieszczą się w przedziałach przewidzianych przez normy przedmiotowe, aczkolwiek oscylują raczej przy dolnej granicy ( $R_e$ ,  $R_m$ ). Natomiast otrzymane wartości  $A_5$  są wyraźnie wyższe od przewidzianych przez normy, dotyczy to również materiałów nowych kolan.

Wyniki prób udarności korespondują z wymaganiami norm przedmiotowych. Bez znajomości wartości udarności materiałów przed eksploatacją nie można stwierdzić czy istnieją możliwości oceny stopnia degradacji własności materiału na skutek długotrwałej eksploatacji. Bardzo niska udarność materiału A w niczym nie przeszkodziła w eksploatacji rurociągu przez 240 000 h. Dla materiału C to nie niska udarność, a zbyt mała grubość ścianki w stosunku do wymaganej dla zakładanego czasu pracy była powodem wymiany kolan po prawie 200 000 h pracy. Niską udarność w stanie wyjściowym miały rurociągi pary świeżej ze stali 15 123.1, które w elektrowniach *Turów* i *Pruněřov* (Czechy), przepracowały po ~ 200 000 h.

Wyniki pomiarów twardości również nie odbiegają od wartości wymaganych przez normy przedmiotowe, wyjątek stanowi materiał D, dla którego wyższa od spodziewanej wartości twardości związana jest ze strukturą martenzytyczną materiału.

Wyniki badań wytrzymałościowych na mikroprobkach wskazują, że metodyka badawcza wymaga jeszcze dopracowania. Badania te mogą być traktowane jako odpowiedź alternatywy dla badań niszczących.

Wyniki skróconej próby pełzania, a ściślej szacowana na tej podstawie trwałość resztkowa wskazują, że każdy z badanych materiałów spełnia postulat dalszej bezpiecznej eksploatacji do  $\tau = 300\ 000$  h.

### Podsumowanie

Przystępując do oceny stanu technicznego rurociągów, a zwłaszcza opracowując prognozę ich dalszej bezpiecznej eksploatacji należy pamiętać, że wykorzystanie do tego celu wyników badań niszczących związane jest z uwzględnieniem poniższych, najbardziej istotnych ograniczeń:

- badania niszczące elementów rurociągu, jeśli wiążą się z jego trwałym uszkodzeniem i potrzebą wymiany, zaprzeczają istocie badań inżynierskich;
- własności wytrzymałościowe i udurowienie to drugorzędne cechy w stosunku do tych, które decydują o dalszej przydatności materiału do długotrwałej eksploatacji;
- wyniki badań niszczących dotyczą wyłącznie fragmentu rurociągu i nie można bezkrytycznie ich uogólniać na pozostałe elementy kryterialne;
- skrócona próba pełzania przeprowadzana jest w temperaturach istotnie odbiegających od temperatury pracy rurociągu, a jej wynik to interpolacja do warunków pracy rurociągów;
- wyniki badań niszczących mają charakter quasi-jakościowy i nie mogą być uwzględniane w obliczeniach konstrukcyjnych rurociągów.

Negatywna opinia na temat przydatności badań niszczących do oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania nie oznacza nawiązywania do całkowitej z nich rezygnacji.

Powinny stanowić jeden z elementów poszerzenia wiedzy zawsze tam, gdzie z powodów remontowych

i innych ich wykonywanie nie prowadzi do uszkodzenia i wycofania z eksploatacji badanego elementu.

Badania tak rozumiane od parudziesięciu lat prowadzi m.in. Instytut Metalurgii Żelaza badając systematycznie wycofane z eksploatacji elementy rurociągów po długotrwałej eksploatacji. Wydaje się, że zdobywana w takim trybie wiedza jest wystarczająca, aby obecnie można było uniknąć stosowania badań niszczących jako badań służących do rutynowej, bieżącej oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania.

### LITERATURA

- [1] Obliczenia konstrukcyjne, badania metalograficzne i niszczące badania własności mechanicznych. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 129.1250/2001
- [2] Ocena stanu rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej bloku nr 10 na podstawie badań niszczących. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 94.868/98
- [3] Trzeszczyński J., Stachura S.: Przydatność badań niszczących do oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1997, nr 3
- [4] Modernizacja urządzeń kotłowych- Etap II. Wymiana elementów rurociągów — modernizacja rurociągów oraz badania. Dokumentacja powykonawcza. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 95.1097/2000.
- [5] Modernizacja rurociągów pary świeżej z wymianą kolan K11. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 106.1227/2001
- [6] Modernizacja rurociągów pary wtórnej z wymianą kolan K11. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 107.1228/2001
- [7] Analiza wzorku odebranych z wybranych dilów ciepłych elektrórem *Laziska* a *Jaworzno*. Sprawozdanie Vitkovice SA nr 940.2/6/77, Ostrava 1997
- [8] Technika małych próbek w ocenie diagnostycznej wybranych elementów rur kotłowych oraz wirnika w elektrowniach *Łaziska* i *Jaworzno*. Sprawozdanie Politechniki Krakowskiej nr 1/10/1997
- [9] Wykonanie badań i omówienie wyników skróconej próby pełzania. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 28.1285/2002
- [10] Sprawozdanie Instytutu Metalurgii żelaza z pracy badawczej nr N-06699/01/BM
- [11] Sprawozdanie Instytutu Metalurgii żelaza z pracy badawczej nr N-06720/01/BM

□

