

Stanisław ŁOPATA

Instytut Aparatury Przemysłowej i Energetyki
Politechnika Krakowska

ŻYWIOTNOŚĆ WYSOKOPRĘŻNYCH ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA

Streszczenie. W pracy przedstawiono zagadnienie trwałości rurociągów parowych eksploatowanych po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. Wykonano porównawcze obliczenia stosując dwie metody. Dla jednej, na której oparta jest instrukcja oceny elementów pracujących w warunkach pełzania, opracowano odpowiedni nomogram. W drugiej wykorzystano wyniki wieloletnich pomiarów odkształceń pełzania prowadzonych od początku eksploatacji.

1. WSTĘP

Obowiązujące obecnie w Polsce zasady obliczania grubości ścianek stalowych rur prostych i łuków poddanych działaniu ciśnienia wewnętrznego i pracujących w warunkach pełzania zakładają okres ich pracy do 200 tys. godz., gdy znana jest wartość $R_z (2 \cdot 10^5) \sigma_0$. Gdy nie jest ona podana, wówczas czas ten jest ograniczony do 100 tys. godz. [1]. W kraju dla znacznej ilości urządzeń na wysokie parametry pary okres eksploatacji dawno przekroczył obliczeniową wartość trwałości 100 tys. godz., zbliżając się niedokrotnie do 200 + 250 tys. godz., a czasami i więcej. Tak znaczne przekroczenie obliczeniowego czasu pracy stawia poważne problemy przed Użytkownikiem. Wymiana wszystkich elementów w krótkim czasie jest praktycznie niemożliwa, szczególnie gdy stanowią one jedyne źródło zasilania ważnych obiektów. Dlatego też istotną sprawą jest ocena pewności eksploatacyjnej, określenie stopnia zużycia materiału i pozostałego zapasu trwałości. Waga tych problemów była podkreślana na Konferencjach [2,3], stanowi ona temat opracowań naukowych i artykułów [4 + 12]. Mimo to są one ciągle aktualne, a konieczność ich rozwiązania staje się coraz pilniejsza.

Nieodczowność oceny, o której mowa wyżej, pojawia się w przypadkach:

- zbliżania się efektywnego czasu eksploatacji do obliczeniowego czasu pracy,
- przekroczenia przydatności obliczeniowej,
- stwierdzenia znacznego odkształcenia,
- wystąpienia uszkodzeń nie wymagających natychmiastowej eliminacji z pracy.

Przedłużanie dopuszczalnego czasu pracy wysokoprężnych elementów bez właściwej oceny i kontroli jest niedopuszczalne, gdyż mogłoby doprowadzić do poważnych w skutkach awarii. Te ostatnie potwierdzają tylko konieczność prowadzenia odpowiedniej diagnostyki statystycznej, technicznej i oceniającej pozostałą trwałość metalu.

Istotnym aspektem jest także wymierny efekt ekonomiczny. Wynika on, np. z odpowiednio zaplanowanych w czasie i wykonanych remontów lub wymian urządzeń bądź zużytych elementów, z pełnego wykorzystania żywotności materiału, unikania drogich i wymuszonych postojów. Ponadto ocena taka oprócz decyzji dalszej eksploatacji w dotychczasowych warunkach może być podstawą do ustalenia warunków modernizacji lub przystosowania do pracy, np. przy obniżonych parametrach.

Jak wiadomo, w warunkach pełzania eksploatowane są te wysokoprężne elementy, których temperatura pracy przekracza tzw. temperaturę graniczną. W zasadzie wszystkie elementy rurowe, wykonane z materiałów stosowanych w kraju, pracujące w temperaturze 450 °C znajdują się w obszarze temperatur pełzania. Do obliczeń wytrzymałościowych przyjmuje się naprężenie dopuszczalne będące częścią naprężenia nominalnego gwarantującego odpowiednią żywotność aż do zniszczenia wskutek pełzania. Należy dodać, że na trwałość wpływają dodatkowo czynniki konstrukcyjne i technologiczne, termozmęczenie, zmiany struktury, przekroczenia temperatury pracy, procesy korezji, itp. Naprężenia dodatkowe, tzn. poza pochodzącymi od ciśnienia wewnętrznego, ujmowane są przez tzw. współczynnik bezpieczeństwa, którego wartość zależy od charakteru pracy elementu i pewności przeprowadzanych obliczeń.

Żywotność /trwałość eksploatacyjna, długotrwałość, czasokres, dopuszczalny czas pracy/ elementu konstrukcji energetyki cieplnej jest to okres od uruchomienia do uszkodzenia eliminującego je z pracy. Oczywiście, że dla zapewnienia bezpieczeństwa oraz ze względów ekonomicznych czas eksploatacji jest odpowiednio skrócony. W ten sposób eliminuje się niebezpieczeństwo uszkodzenia i jego ewentualne groźne następstwa. Pozostałą trwałość /rezerwę, zapas trwałości, trwałość resztkową/ długo eksploatowanych elementów określa się jako różnicę między trwałością eksploatacyjną a okresem już przepracowanym.

Istnieje wiele metod oceny przydatności do dalszej eksploatacji. Ogólnie ujmując, może być ona dokonywana na drodze analitycznej oraz poprzez badania faktycznego stanu metalu. Pierwsze z nich bazują na określonej na drodze obliczeń wielkości naprężenia w elemencie dla danych, projektowych lub eksploatacyjnych, parametrów pracy oraz na charakterystykach czasowej wytrzymałości na pełzanie. Drugie oparte są na analizie, np. składu chemicznego, mikrostruktury, dyslokacji struktury, fazy węglkowej, krótkotrwałych mechanicznych charakterystyk elementów, itp. Istnieją także metody oceny zapasu wg zmiany gęstości materiału, wzrostu licz-

by nieciągłości oraz wg kontroli odkształceń pełzania elementów konstrukcyjnych. Niezbędne do analizy wyniki otrzymuje się na drodze nieniszczących i póniszczających badań wykonywanych na obiekcie, niszczących metod laboratoryjnych i obliczeń. W literaturze dla wyżej wymienionych metod stosowane są różne określenia, np.: metody ilościowe i jakościowe [2], metody obliczeniowe i oparte na pomiarze uszkodzenia [8], metody standardowe i nowe oparte na badaniach mikrostruktury [13], metody kontroli eksploatacyjnej /typu E/ i prostych prób laboratoryjnych /typu L/ [14].

W niniejszej pracy nie będzie dokonywana analiza metod określania trwałości. Celem jest przedstawienie wyników oceny pozostałej trwałości elementów rurociągów długotrwale eksploatowanych w warunkach pełzania. Wykorzystano do tego dwie metody należące w zasadzie do skrajnie odmiennych. Pierwsza jest metodą obliczeniową i bazuje tylko na statystycznych danych dotyczących zastosowanego materiału oraz na projektowych lub rzeczywistych parametrach pracy. Na niej oparta jest obowiązująca w energetyce instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany elementów urządzeń [15]. Druga należy do metod nieniszczących i oparta jest na ocenie uszkodzeń. Wykorzystano tutaj wyniki wieloletnich pomiarów odkształceń rurociągów [16].

2. OPIS WYBRANYCH METOD OCENY TRWAŁOŚCI I WYNIKI OBLICZEŃ

Poniżej zostaną przedstawione podstawowe zasady obu metod, które wykorzystano do obliczeń mających na celu ocenę pozostałej trwałości nieogrzewanych elementów kotłów i rurociągów eksploatowanych po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. Jak wiadomo, do chwili ukazania się obecnie obowiązującej normy [1], wynosił on 100 tys. godz. i przez większość obiektów został już przekroczony.

Istotą instrukcji [15] jest wykonanie obliczeń sprawdzających najpierw w oparciu odane dokumentacji projektowej, a następnie dla rzeczywistych parametrów pracy i wymiarów elementów. W obu przypadkach określana jest wymagana grubość ścianki przy założeniu czasu pracy do 200 tys. godz. i żywotność wg zależności:

$$g_2 = \frac{p \cdot D_z}{(1,6 \cdot R_z (2 \cdot 10^5)_t - p) z + 2p} \quad (1)$$

$$g = \frac{p [D_z - g_1 (2 - z)]}{2gz} \quad (2)$$

$$\tau_c = 10^a \quad ,$$

$$a = 5 + 0,30103 \frac{\lg(0,8 \cdot R_z(10^5)t) - \lg 6}{\lg(0,8 \cdot R_z(10^5)t) - \lg(0,8 \cdot R_z(2 \cdot 10^5)t)} \quad (3)$$

$$\tau_{sn} = k_n \cdot \tau_c \quad (4)$$

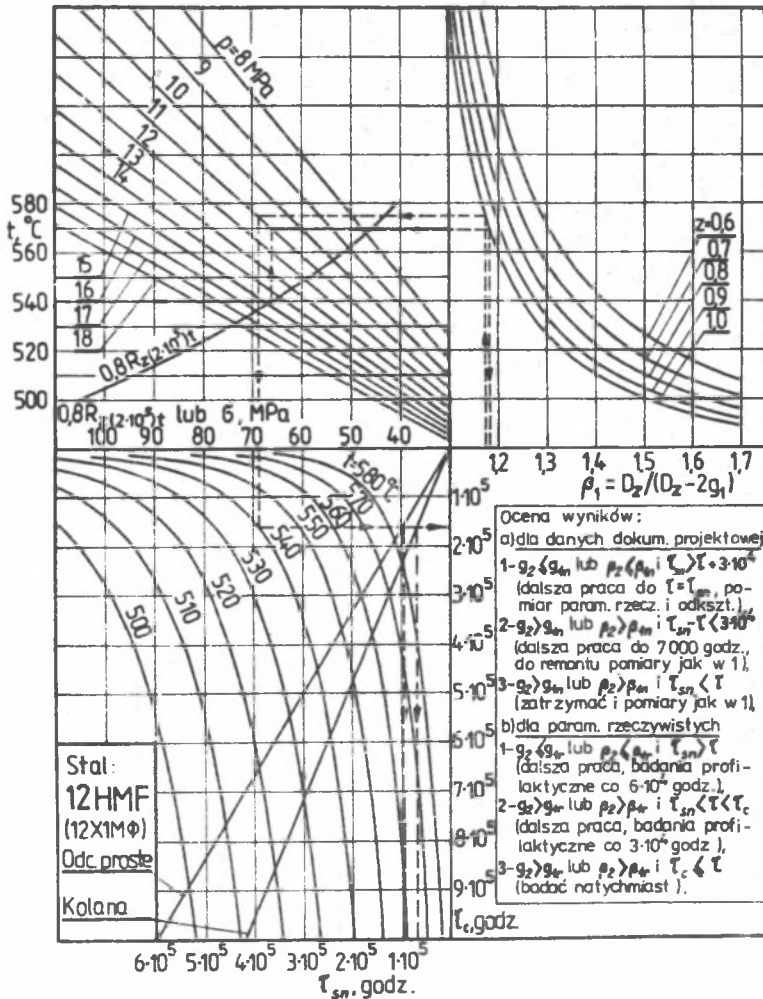
gdzie:

- ε_2 - wymagana grubość ścianki elementu przy pracy do 200 tys. godz., mm,
- p - ciśnienie wewnątrz elementu, MPa,
- D_z - średnica zewnętrzna elementu, mm,
- z - obliczeniowy współczynnik wytrzymałościowy /wg UDT/,
- σ - naprężenie w elemencie, MPa,
- ε_1 - grubość ścianki elementu /projektowa - $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1D}$, rzeczywista - $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1R}$ /, mm,
- $R_z(10^5)t, R_z(2 \cdot 10^5)t$ - średnia czasowa wytrzymałość materiału na peizanie w czasie 100 tys. i 200 tys. godz. przy temperaturze t °C, MPa,
- τ_c - obliczeniowy czas pracy elementu, godz.,
- k_n - współczynnik uwzględniający działanie naprężeń dodatkowych, trudnych do ustalenia - $k_n = 0,6$,
- τ_{sn} - czas pracy, po przekroczeniu którego należy rozpocząć specjalny nadzór ocenianego elementu, godz.

Powyższe zależności odnoszą się do odcinków prostych. W cytowanej instrukcji brak jest obliczeniowej metodyki oceny zapasu trwałości kolan rurociągów. Przyjmując, wg danych statystycznych, że w zakresie temperatur 500 + 530 °C jest ona niższa, w porównaniu do odcinków prostych, o ok. 20%, gdy wykonane są ze stali typu H-M i o ok. 30%, gdy ze stali H-M-F [17], można przeprowadzać ocenę, jak przedstawiono powyżej, z tym że teoretyczny czas pracy i czas, po którym należy rozpocząć specjalny nadzór, byłby obniżony o podane wartości.

Aby ułatwić korzystanie z instrukcji, w niniejszej pracy przedstawiono opracowany nomogram, rys. 1, umożliwiający bardzo szybką ocenę elementów zarówno dla danych dokumentacji projektowej, jak i dla parametrów rzeczywistych. Na rys. 1 podano także przypadki, do których kwalifikowane są oceniane elementy w zależności od uzyskanych wyników. Nomogram sporządzono dla stali 12HMF (12X1MΦ). Podobne nomogramy można wykreślić i dla innych stali używanych w energetyce polskiej. Sposób korzystania z nomogramu oznaczono strzałkami. Jedna droga pozwala wyznaczyć trwałość

elementu τ_c i czas specjalnego nadzoru τ_{sn} dla odcinków prostych i kolan. Drugą wymaganą grubość ścianki /zamiennie stosunek D_z/D_w / przy założonej eksploatacji do 200 tys. godz. Nomogram pozwala także na łatwe i szybkie określenie temperatury pracy przy założonej trwałości, warunkującej dalszą bezpieczną eksploatację obiektu.



Rys. 1. Nomogram do oceny trwałości rurociągów pracujących w warunkach pełzania, wykonanych ze stali 12HMF (12X1MΦ)

Fig. 1. Nomogram for the life determination of pressure elements operating under creep conditions made of 12HMF steel

Druga metoda polega na określaniu odkształceń obwodowych rurociągu na podstawie okresowych pomiarów przyrostu średnicy mierzonej na specjalnie w tym celu przyspawanych, w dwu wzajemnie prostopadłych kierunkach, czopach. Metoda ta pozwala stosunkowo dokładnie ocenić pozostałą trwałość, gdyż uwzględnia rzeczywiste parametry pracy, złożony stan naprężeń i, co jest ważne, rzeczywistą wytrzymałość stali na peizanie. W obliczeniach przyjęto, że elementy będą w fazie peizania ustalonego aż do osiągnięcia odkształcenia dopuszczalnego. Obecnie w świecie przyjmuje się, że elementy winny być wymienione po osiągnięciu trwałego odkształcenia $\epsilon_{dop} = 1\%$ względnie $\epsilon_{dop} = 2\%$ lub gdy szybkość peizania jest większa od $2 \cdot 10^{-5} \%$ /godz. dla stali H-M, lub większa od $1 \cdot 10^{-5} \%$ /godz. dla stali H-M-F. Przyjmując wartość ϵ_{dop} oraz wyznaczając szybkość peizania v można określić pozostałą trwałość ze znanej zależności:

$$t_p = t_0 - t = \frac{\epsilon_{dop} - \epsilon_0}{v} - t, \quad (5)$$

gdzie przez t oznaczono czas przepracowany.

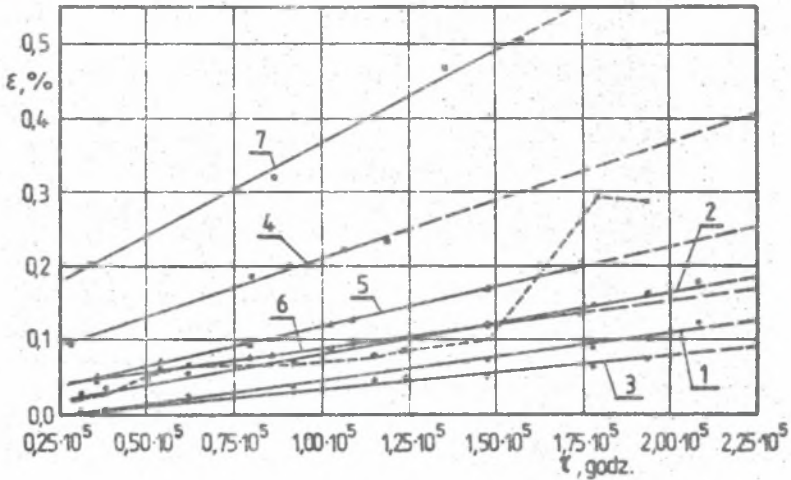
Do analizy wybrano te elementy spośród kilkuset, na których odkształcenie jest mierzone od początku eksploatacji [16]. Ich charakterystykę podano w tabelicy 1, a krzywe peizania na rys. 2.

Tablica 1
Charakterystyka analizowanych wysokociśnieniowych elementów

Nr	Opis elementu	Materiał	D_z , $\frac{kg}{mm}$	P, MPa	t , °C	z	Czas pracy t , godz.																																																													
1	Rurociąg, odcinek kontrolny	12MH	<u>273x26</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	1	208 209																																																													
			273,6x26,1	9,8	510			2	Rurociąg prosty z króćcami	12MH	<u>273x26</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	0,87	208209	273,5x26,1	9,8	510	3	Komora wylotowa przegrz. pary	15HM	<u>325x40</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	0,64	193 501	326,5x40,1	9,8	510	4	Komora zbiorcza przegrz. pary	13CrMo910	<u>419x85</u>	<u>11,5</u>	<u>545</u>	0,69	118 499	419x85	9,8	540	5	Rurociąg, odcinek prosty	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	1	174 269	273,6x20	9,8	530	6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269	273,8x20	9,8	530	7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>
2	Rurociąg prosty z króćcami	12MH	<u>273x26</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	0,87	208209																																																													
			273,5x26,1	9,8	510			3	Komora wylotowa przegrz. pary	15HM	<u>325x40</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	0,64	193 501	326,5x40,1	9,8	510	4	Komora zbiorcza przegrz. pary	13CrMo910	<u>419x85</u>	<u>11,5</u>	<u>545</u>	0,69	118 499	419x85	9,8	540	5	Rurociąg, odcinek prosty	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	1	174 269	273,6x20	9,8	530	6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269	273,8x20	9,8	530	7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078	194,2x14,1	9,8	530						
3	Komora wylotowa przegrz. pary	15HM	<u>325x40</u>	<u>10,8</u>	<u>510</u>	0,64	193 501																																																													
			326,5x40,1	9,8	510			4	Komora zbiorcza przegrz. pary	13CrMo910	<u>419x85</u>	<u>11,5</u>	<u>545</u>	0,69	118 499	419x85	9,8	540	5	Rurociąg, odcinek prosty	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	1	174 269	273,6x20	9,8	530	6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269	273,8x20	9,8	530	7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078	194,2x14,1	9,8	530																	
4	Komora zbiorcza przegrz. pary	13CrMo910	<u>419x85</u>	<u>11,5</u>	<u>545</u>	0,69	118 499																																																													
			419x85	9,8	540			5	Rurociąg, odcinek prosty	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	1	174 269	273,6x20	9,8	530	6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269	273,8x20	9,8	530	7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078	194,2x14,1	9,8	530																												
5	Rurociąg, odcinek prosty	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	1	174 269																																																													
			273,6x20	9,8	530			6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269	273,8x20	9,8	530	7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078	194,2x14,1	9,8	530																																							
6	Rurociąg prosty z króćcami	12HMF	<u>273x20</u>	<u>10,8</u>	<u>545</u>	0,87	174 269																																																													
			273,8x20	9,8	530			7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078	194,2x14,1	9,8	530																																																		
7	Rurociąg, prosty odc. kolana	12HMF	<u>194x14</u>	<u>9,8</u>	<u>540</u>	1	157 078																																																													
			194,2x14,1	9,8	530																																																															

Uwaga: W liczniku podano dane wg dokumentacji projektowej, w mianowniku podano parametry rzeczywiste.

Wartości v i ϵ_0 wyznaczone aproksymując krzywe pełzania funkcją liniową metodą najmniejszych kwadratów dla czasu pracy powyżej 30 tys. godz.



Rys. 2. Krzywe pełzania rurociągów Nr 1 + 7 /patrz tablica 1/ Fig. 2. Creep curves of the pipelines no. 1 + 7 /see table 1/

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Wyniki obliczeń dla elementów zestawionych w tablicy 1

Nr	Obliczenia wg instrukcji [15] /licznik dla danych dok. projektowej mianownik dla param. rzeczywistych/				Obliczenia na podstawie pomiarów odkształceń pełzania		
	ϵ_2 , mm	τ_c , godz.	τ_{sn} , godz.	$\tau_{sn} - \tau$, godz.	$v \cdot 10^5$, %/godz.	$\tau_c (\epsilon_{dop}=1\%)$	$\tau_c (1\%) - \tau$
						$\tau_c (\epsilon_{dop}=2\%)$ godz.	$\tau_c (2\%) - \tau$ godz.
1	17,2	1 460 620	876 372	668 163	0,082	1 215 644	1 007 435
	15,7	2 261 189	1 356 713	1 148 504		2 431 288	2 223 079
2	19,4	839 298	503 579	295 370	0,064	1 556 694	1 348 485
	17,7	1 301 818	781 091	572 882		3 113 388	2 905 179
3	29,8	911 642	546 985	353 484	0,040	2 516 134	2 322 633
	27,5	1 384 481	830 688	637 187		5 032 269	4 838 768
4	57,7	2 006 333	1 203 800	1 085 301	0,159	627 041	508 542
	46,7	8 831 783	5 299 070	5 180 571		1 254 082	1 135 583
5	21,9	115 936	69 562	- 104 707	0,109	917 227	742 958
	16,9	576 855	346 113	171 844		1 834 455	1 660 186
6	24,6	56 133	33 679	- 140 590	0,064	1 574 081	1 399 812
	19,1	270 627	162 376	- 11 893		3 148 163	2 973 894
7	13,4	181 553	108 932	- 48 146	0,255	392 073	234 995
	12,0	386 937	232 163	75 085		784 146	627 068

Analiza wyników tablicy 2 pozwala zauważyć, że ewentualne czasy dalszej pracy elementów są duże lub bardzo duże. Obie metody dają znaczne różnice, zwłaszcza przy przyjęciu $f_{dop} = 2\%$. Ocena oparta na obowiązującej instrukcji [15] jest o wiele ostrożniejsza w porównaniu do bazującej na odkształceniach pełzania. Wyjątek stanowi tutaj tak odpowiedzialny element, jakim jest komora zbiorcza wylotowa przegrzewacza pary /element Nr 4/, dla której proporcje te są odwrócone. Widoczny jest znaczny wpływ wartości obliczeniowego współczynnika wytrzymałości z. Czasy elementów bez otworów są oczywiście znacznie większe. Faktu tego zupełnie nie potwierdza pomiar odkształceń /por. elem. Nr 1 i 2 oraz Nr 5 i 6/.

Ciekawy przypadek stanowi komora, elem. Nr 3, dla której obie metody wykazały dużą pozostałą trwałość. Na rys. 2 linią przerywaną przedstawiono krzywą pełzania dla drugiego punktu pomiaru odkształceń zainstalowanego na tej komorze. Jak widać, charakteryzuje się ona dużym wzrostem szybkości pełzania po 150 tys. godz. pracy. Została ona wymieniona po przepracowaniu 208 tys. godz.

3. UWAGI KOŃCOWE

W wyniku uszkodzeń metalu przez pełzanie rurociągi i ich elementy tracą swe własności wytrzymałościowe. Przekroczenie obliczeniowego czasu pracy niekiedy ponad 2,5-krotne oraz inne czynniki, krótko przedstawione we wstępie, wywołały potrzebę opracowywania metod i środków oszacowywania pozostałej trwałości. Właściwa obsługa musi uwzględniać okresowe przeglądy i badania, zwłaszcza elementów najbardziej obciążonych. Wstępnie można je wytypować na podstawie analizy stanu wiedzy w tym zakresie, wykorzystując dane projektowe i eksploatacyjne, atesty dotyczącej użytych materiałów, itp.

Dla Użytkownika niewątpliwie ważnym czynnikiem oceny stanu materiału są jak najniższe koszty, niewielka pracochłonność metod i szybkość uzyskania wyników pozwalających podjąć właściwą decyzję. W zasadzie obie metody, w przedstawionym zakresie, spełniają raczej pozytywnie te wymogi.

Istotne jest pytanie, kiedy rozpocząć prace związane z oceną. Jeśli prowadzone są one od początku eksploatacji, to w odpowiednim czasie można dysponować niezbędnym materiałem. W przeciwnym wypadku trzeba korzystać z nagromadzonego materiału naukowego i doświadczeń. Niekiedy jedynym wyjściem są drogie i czasochłonne badania laboratoryjne. Można dodać, że niejednokrotnie, w przypadku obiektów, które znacznie przekroczyły obliczeniowy czas pracy, brak jest odpowiednich danych, nie jest możliwe ustalenie dotychczasowych warunków eksploatacji, itp. Utrudnia to znacznie ich ocenę.

Na obecnym etapie nawet najdokładniejsza metoda obliczeniowa, zakła-

dając pewne uproszczenia, pozwala wyznaczyć tylko orientacyjny czas, po przekroczeniu którego wzrasta prawdopodobieństwo uszkodzenia. Taką metodą jest także obowiązująca w energetyce instrukcja. Wychodzi ona jednak częściowo na przeciw potrzebom, pozwalając oceniać elementy przy założeniu podwyższenia czasu eksploatacji z obliczeniowych 100 tys. godz. do 200 tys. godz. Wykazywane czasowe zużycie materiału nie eliminuje go z pracy, ale nakłada zwiększony zakres i częstotliwość specjalistycznych badań kontrolnych, profilaktycznych. Umożliwiają one okresowe przedłużanie czasu pracy.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w kraju jest wiele obiektów, których okres eksploatacji przekroczył znacznie 200 tys. godz. i w ich przypadku instrukcja traci sens. Również otrzymane z obliczeń czasu powyżej tej wartości są bardzo orientacyjne. Wymagają one korekty, dla której należałoby znać charakterystyki materiałowe dla np. 300 tys. godz., itd.

Obróbka wyników pomiarów średnic na czopach pozwala otrzymać informacje o końcowym odkształceniu i szybkości pełzania. Charakterystyki pełzania mogą być jednym z podstawowych wskaźników dla oceny trwałości. Oczywiście prognozowanie czasu w tym przypadku realizowane jest do początku stadium lawinowego. Wychwycenie go umożliwia dopuszczenie badanego elementu do dalszej eksploatacji w czasie wynoszącym $20 + 30\%$ jego rzeczywistego dotychczasowego czasu pracy [9]. Nie zawsze jednak krzywe pełzania mają określone fazy. Należy wówczas bazować na odkształceniu dopuszczalnym. Dopiero jego osiągnięcie lub nie wyjaśnione innymi metodami wątpliwości co do stanu materiału powinny być postawą do laboratoryjnych badań pełzania. Te ostatnie nie mogą, ze względu na czasochłonność i wysokie koszty, być w każdym etapie podstawą do prognozowania dalszej przydatności do eksploatacji.

Trudność w ocenie przedstawiają elementy nie wykazujące odkształceń. Wówczas może, ale nie musi zachodzić niebezpieczeństwo kruchych pęknięć. Ocena winna polegać np. na pomiarze twardości, badaniach na replikach, badaniach defektoskopowych.

Osobne zagadnienie mogą stanowić łuki rurociągów. Najczęściej brak jest odpowiednich danych, np. owalizacji, grubości ścianki, pozwalających dokonać obliczeń. Duża ich liczba sprawia, że trzeba szukać sposobów obniżenia kosztów ich oceny. Ponadto niekiedy trudny dostęp uniemożliwia zastosowanie specjalistycznej aparatury. Wytypowanie kilku, przebadanie ich i postawienie diagnozy nie pozwala przenieść wyników na pozostałe ze względu na różnice warunków pracy, wartości wyjściowych, itd., nawet przy identycznych parametrach pary. Stąd potrzeba opracowania prostej metody oceny trwałości łuków jest ciągle aktualna.

Niezawodna praca rurociągów to także konieczność okresowej kontroli stanu materiału połączeń spawanych, armatury, króćców. Ich ocena, ze względu na brak metod obliczeniowych, polega głównie na oględzinach, pomiarach twardości, nieniszczących badaniach ich struktury, badaniach defektoskopowych i ultradźwiękowych.

Poprawna ocena wszystkich elementów pracujących w warunkach pełzania umożliwi remontować je wg ich faktycznego stanu technicznego, a tym samym wykorzystać w maksymalnym stopniu materiał. W zakończeniu można zwrócić uwagę na konieczność automatyzowania procedur diagnostycznych, co związane jest z przechodzeniem na komputerowe sterowanie w energetyce.

LITERATURA

- [1] PN-79/M-34033. Rurociągi pary i wody. Obliczanie grubości ścianek rur.
- [2] Konferencja nauk.-techn. pt. "Badania nieniszczące materiałów urządzeń energetycznych". Ustron, listopad 1980.
- [3] Ziółkowski R. Problemy badawcze w technice kotłowej. V Konferencja Kotłowa pt. "Podstawowe problemy techniki kotłowej". Szczyrk 1986.
- [4] Bukowski P., Sukniewicz W. Prognozowanie trwałości elementów urządzeń cieplnych elekrowni. Energetyka. BIE 1973 nr 1/2.
- [5] Dobosiewicz J. Trwałość elementów kotła jako problem ciągle jeszcze nie rozwiązany. Energetyka 1979 nr 9.
- [6] Seyna F., Ginalski J. Warunki długotrwałej bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych. Energetyka 1987 nr 6.
- [7] Sukniewicz W., Grzegorzewska K. Prognozowanie trwałości rurowych elementów urządzeń energetycznych. Energetyka. BIE 1989 nr 1.
- [8] Młynarski F., Taler J. Residual Life Assessment for Boiler Pressure Components Based on Measurements of Creep Strains. Transaction of the ASME, J. of Pressure Vessel Technology 110, 1988 No. 3.
- [9] Gofman J.M. Ocena stanu metalu rurociągów parowych. Energetyka 1989/9.
- [10] Rauszer A. Branżowy system diagnostyczny w energetyce - opóźniająca się konieczność. Energetyka 1989 nr 11.
- [11] Sukniewicz W., Grzegorzewska K. Zasady prognozowania trwałości elementów energetycznych pracujących w podwyższonych temperaturach. Prognozowanie trwałości elementów kotłowych i rurociągów pracujących w obszarze temperatur pełzania /projekt/. Oprac. Instytutu Energetyki nr 11954-d. Warszawa 1976.
- [12] Osasjuk W.W., Badajew A.N., Krawcenko L.B. Ocena rabotosposobnosti materialow paroprowodow posle dlitelnoj eksploatacji. Problemy prochnosti 1985 nr 9.
- [13] Haftek J. Przegląd metod przewidywania trwałości elementów konstrukcyjnych ulegających zjawisku pełzania. Metaloznawstwo i obróbka cieplna. Listopad-grudzień 1985 nr 78.
- [14] Bukowski P. Prognozowanie trwałości eksploatacyjnej wysokoprężnych elementów cieplnych na podstawie granicznego odkształcenia. Energetyka. BIE 1973 nr 5/6.
- [15] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Opr. zespół: Dobosiewicz J., Krzywdą Z., Sanetra P., Wojczyk K., Suchanek E. Min. Górnictwa i Energetyki. Warszawa 1986.
- [16] Młynarski F., Łopata S., Taler J., Treger J., Przędzik J. Analiza wyników wieloletnich badań pełzania rurociągów pary przegrzanej. Oprac. ZMIUE Politechniki Krakowskiej. Kraków 1987.
- [17] Dobosiewicz J., Wojczyk K. Trwałość kolan rurociągów parowych. Energetyka 1988 nr 3.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ РАБОТАЮЩИХ
В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ****Р е з ю м е**

В работе представлены проблемы прогнозирования работоспособности трубопроводов работающих в условиях ползучести после расчетного срока службы. Оценку произведено расчетным методом на основании условий проекта или эксплуатации и статистических данных по пределу длительной прочности стали. Для облегчения работы построено номограмму. Полученные результаты сравнено с оценкой найденной по контрольным многолетним измерениям деформации ползучести элементов. Остаточный ресурс вычислен принимая, что они находятся во второй стадии ползучести до момента достижения допустимой величины остаточной деформации. Определено, что представленные методы различаются между собой в оценке долговечности трубопроводов.

LIFE OF PRESSURE ELEMENTS WORKING IN CREEP CONDITIONS**S u m m a r y**

This paper presents the problem of residual life of the pipelines operating under creep conditions after assumed design life time. Assessment for such elements can be calculated using the method basing on design data or measured actual work condition and creep strength values obtained from published tables. The adequate nomogram has been worked out. The other method used for comparison purposes uses the experimentally determined tangential creep rate at outside surface of the tube. Measurement of diameter on creep swelling have been carried out since the beginning of exploitation of the pipelines. In such case the life assessment was made basing on the measured second-stage creep and assumed allowable strain. Both discussed methods give different results of life time assessment.