

# PRÓBY SPECJALNE

ANDRZEJ KOPCZYŃSKI

*Hydrauliczne próby odbiorowe zarówno standardowe jak i specjalne mają na celu eksperymentalne potwierdzenie zaprojektowanych zgodnie z normą PN-90/M-34502 stanów granicznych nośności i użyteczności przy zachowanym kryterium szczelności wg PN-92/M-34503. Przy czym próby standardowe projektuje się wykorzystując teorię sprężystości a próby specjalne wykorzystując teorię plastyczności. Próba standardowa przebiega przy wytężeniu materiału rur w zakresie jego sprężystości. Powstające odkształcenia są sprężyste (odwracalne) i proporcjonalne do naprężenia. W związku z czym stan naprężeniowo-odkształceniowy materiału rury można ocenić na podstawie kontroli jedynie naprężenia. Kontrola naprężenia dokonywana jest pośrednio przez pomiar ciśnienia w rurociągu.*

Próba specjalna przebiega przy wytężeniu materiału rur w zakresie jego plastyczności. Powstające odkształcenia w materiale są plastyczne (trwałe) a zależność między nimi i naprężeniami jest nieliniowa. W tym przypadku dla oceny stanu naprężeniowo-odkształceniowego w materiale rury konieczna jest kontrola zarówno naprężenia, jak i odkształcenia. Kontrola naprężenia i odkształcenia dokonywana jest pośrednio odpowiednio przez pomiar ciśnienia w rurociągu i pomiar objętości dopompowywanej wody wywołującej ciśnienie próbne. Przy pomiarze objętości uwzględniana jest korekta termiczna i zmiana objętości gazociągu w wyniku odkształcenia.

Próba specjalna ma podwyższyć trwałość gazociągu i umożliwić lepsze rokowanie jego bezpieczeństwa. Aby te pożądane cele osiągnąć, powinna ona zwłaszcza:

- zmniejszyć albo usunąć naprężenia od układania, naprężenia dodatkowe z powodu odkształceń, naprężenia własne i spiętrzenia naprężeń,
- usunąć miejsca wadliwe przez zerwanie, a wadom, które z powodu swojej wielkości znajdują się w zakresie stabilnego wzrastania rysy, utrudnić przez stworzenie wstępnego naprężenia ściskającego na szczycie pęknięcia rozwój pod obciążeniem ruchowym,
- wykazać właściwości konstrukcji, ułożenia i wykonania, jak też należyty dobór materiału,
- pokazać położenie zakresu proporcjonalności rurociągu, aby umożliwić ocenę marginesu bezpieczeństwa wobec ciśnienia roboczego i porównanie z obliczeniami konstrukcyjnymi,
- umożliwić ocenę stopnia bezpieczeństwa i współczynnika bezpieczeństwa,

- przy sprawdzaniu rurociągów istniejących umożliwić ekspertyzę rzeczoznawcom lub ewentualną rehabilitację gazociągów.

Próba specjalna służy zatem nie tylko kontroli ale również poprawieniu właściwości wytrzymałościowych gazociągu, jest częścią procesu technologicznego polegającego na jego ekspandowaniu pod wpływem zadanego ciśnienia wewnętrznego. W konsekwencji za pomocą tej próby zamierza się lepiej chronić środowisko naturalne i obiekty terenowe oraz zwiększyć niezawodność przesyłania w przyszłej eksploatacji gazociągu. Próbę specjalną można realizować przy niewielu dodatkowych przyrządach pomiarowych, urządzeniach i aparaturze normalnie wykorzystywanych do prób standardowych. Jednakże znacznie wyższe wymagania stawiane są personelowi wykonawczemu ze względu na osiąganą nośność plastyczną gazociągu w trakcie próby.

## ZAKRES PRÓBY

Rurociąg należy podzielić na odcinki prób, których objętość nie powinna przekraczać 15 000 m<sup>3</sup>, a długość 15 km. Równocześnie różnica wysokości wyrażona w metrach, między najniższym a najwyższym punktem odcinka rurociągu, nie powinna przekroczyć 80% wartości ciśnienia  $p_{100\% R_{t0,5}}$  (ciśnienie, które wywołuje w stali naprężenie równe 100% jej granicy plastyczności).

Przy podziale rurociągu na odcinki próbne należy uwzględnić:

- lokalizację punktów poboru wody i ich wydajność oraz miejsca zrzutu wody,
- odległości armatury, kształtek i łuków od końców odcinka wpływającego na stateczność rurociągu wg PN- M/90- 34502,
- konfigurację i charakterystykę rurociągu,
- wydajność pomp.

## CZYNNIK PRÓBY

Czynnikiem próby może być woda lub ciecz niezamarzająca.

Woda służąca do prób powinna mieć następujące własności fizykochemiczne:

- odczyn w zakresie  $6,5 < \text{pH} < 7,5$ ,
- zawartość soli  $< 500 \text{ mg/l}$ ,
- zawartość zawiesin  $< 100 \text{ mg/l}$ ,
- brak substancji działających w roztworach wodnych na materiał rur i armatur.

Przy temperaturach powietrza poniżej 0°C dopuszcza się stosowanie wody, jako czynnika próby, pod warunkiem zabezpieczenia rurociągu, armatury i przyrządów pomiarowych przed zamrażaniem, a temperatura wody w źródle nie powinna być niższa niż 4°C.

## PRZYGOTOWANIE ODCINKA PRÓBY DO WYKONANIA PRÓBY

Badany odcinek próby należy wyposażyć w niezbędne urządzenia, armaturę odcinającą oraz przyrządy kontrolno-pomiarowe. Schemat technologiczny próby odcinka próby przedstawiono na rysunku nr 1.

Wszystkie elementy konstrukcyjne potrzebne do przeprowadzenia próby takie jak: śluzy, przewody łączące poszczególne urządzenia ze śluzami, powinny być obliczone pod względem wytrzymałości na maksymalne ciśnienie próby, z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa równego 1,1 w stosunku do granicy plastyczności stali. Przy projektowaniu króćców przyłączeniowych do pomp należy uwzględnić obciążenia dynamiczne. Wszystkie złącza spawane powinny być wykonywane i kontrolowane zgodnie z PrPN- EN 12732. Armatura użyta do przeprowadzenia prób powinna być przed zainstalowaniem sprawdzoną na szczelność, zgodnie z normą przedmiotową.

Podczas próby końce odcinka próby oraz armatura powinny być odkryte i dostępne dla kontroli wizualnej,

a króćce manometrów powinny posiadać średnicę wewnętrzną nie mniejszą niż 5 mm.

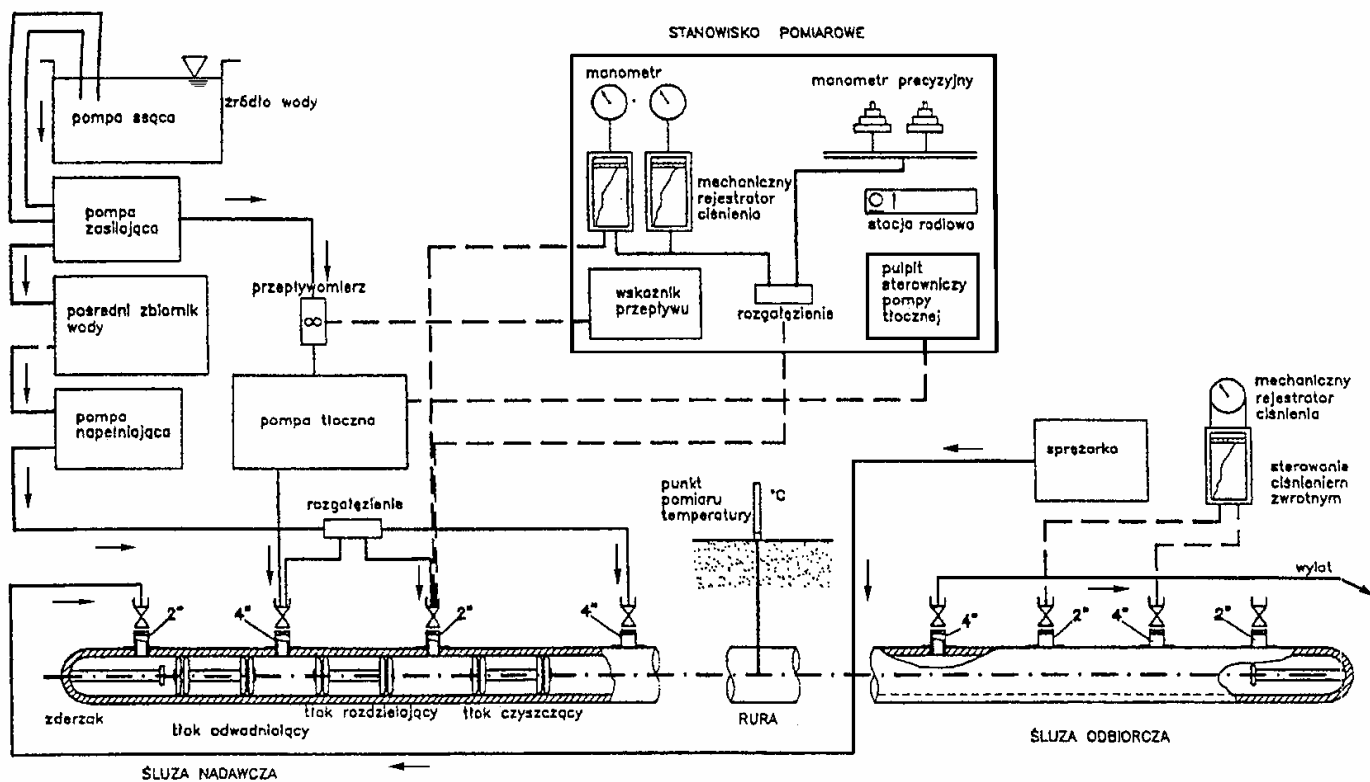
Przed i po przeprowadzeniu próby należy za pomocą tarcz kalibrujących sprawdzić drożność rurociągu. Stalowe tarcze kalibrujące nie mogą być hartowane i nie powinny być grubsze od 5 mm. Zaleca się, aby średnice tarcz były mniejsze o 10 mm od wielkości średnicy wewnętrznej rury, pomnożonej przez liczbę 0,98. A oprócz tego średnica tarczy kalibrującej powinna być dostosowana do wymiarów wewnętrznych elementów konstrukcyjnych rurociągu, takich jak: łuki i armatura.

## WYPOSAŻENIE

Stanowisko pomiarowe w czasie pomiaru powinno być zlokalizowane poza granicami strefy zagrożenia. Stanowisko to powinno być wyposażone w co najmniej następujące przyrządy pomiarowe:

- a) do pomiaru ciśnienia:
  - barografy,
  - manometry kontrolne klasy 0,6,
  - rejestratory ciśnienia klasy 1,0,
  - manometr precyzyjny klasy co najmniej 0,1 i czułości 0,0025 %.

Względny błąd przypadkowy wyników pomiarów wykonanych na manometrze precyzyjnym nie może przekroczyć 0,02 %. Błąd bezwzględnościowy manometru precyzyjnego, przy zmianie ciśnienia z prędko-



Rys. 1. Schemat technologiczny próby hydraulicznej

ścią 0,1 MPa/min., nie może przekraczać 0,01 MPa. Zalecane jest zastosowanie manometru obciążnikowo-tłokowego z elektrycznym napędem i prędkością obrotową obciążnika talerzowego od 0,6 do 1 obr./min.

- b) do pomiaru temperatury:
- termometry z działką elementarną 0,1 oC do pomiaru temperatury czynnika próby napęlniającego odcinek próby lub pomiaru temperatury ścianki nieosłoniętych elementów rurociągu (wartość działki elementarnej 12 mm/°C),
  - termometry z działką elementarną 0,05 °C do mierzenia temperatury ścianki rurociągu o zakresie pomiarowym od 0 °C do +20 °C, (wartość działki elementarnej 12 mm/°C),
  - termometry z działką elementarną 0,5 °C do pomiaru temperatury zewnętrznej;
- c) do pomiaru objętości tłoczonej wody.
- przepływomierz obrotowy klasy 0,5 lub równorzędny przyrząd do pomiaru objętości. Wartość działki elementarnej przepływomierza nie może przekraczać 0,5 % objętości, jaka jest potrzebna do podwyższenia ciśnienia wody w gazociągu o 0,1 MPa (wskazane jest aby wartość działki elementarnej nie była większa niż 0,1l). Do obliczania objętości wody należy stosować elektroniczne liczniki, które pozwalają na bezpośrednie odczytanie różnicy objętości.

Do przeprowadzenia próby potrzebne są co najmniej następujące urządzenia:

- pompa ssąca
- pompa tłoczna,
- pompa napęlniająca,
- zestaw śluz do zamykania odcinków próby;
- przewody giętkie łączące poszczególne urządzenia ze śluzami.

Ilość i parametry urządzeń należy uzależnić od przyjętego harmonogramu prac i objętości odcinka próby.

## WYKONANIE PRÓBY

### Napęlnianie odcinka próby czynnikiem próby

Napęlnianie odcinka rurociągu czynnikiem próby powinno odbywać się równomiernie i bez przerwy. Napęlnianie powinno być połączone z równoczesnym odpowietrzaniem gazociągu. Odpowietrzenie powinno być prowadzone za pomocą tłoków rozdzielających. Przestrzeń przed tłokiem należy zalać czynnikiem próby w ilości ok. 15

% objętości odcinka próby, a prędkość posuwu tłoka nie powinna przekraczać 5 km/h.

### Badanie wytrzymałości

Zmiana ciśnienia w czasie powinna odbywać się zgodnie z poniższym wykresem.

Pompy wysokociśnieniowe powinny pracować jednostajnie bez uderzeń. Doprowadzoną ilość czynnika próby należy mierzyć przepływomierzem. Jednocześnie z pomiarem objętości czynnika próby należy mierzyć jego ciśnienie. Pomiar objętości czynnika próby należy wykonywać przy zmianie ciśnienia:

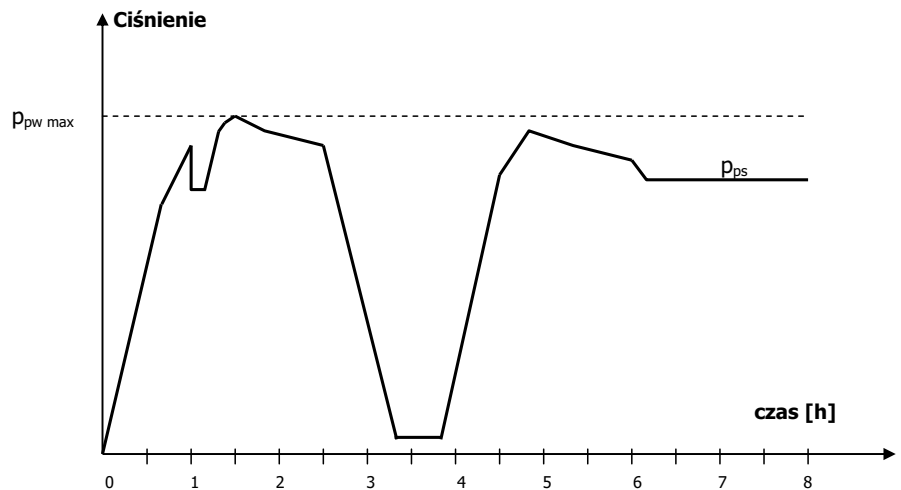
- co 0,5 MPa do ciśnienia ok. 50% ciśnienia  $p_{100\% Rt 0,5}$ ,
- co 0,1 MPa powyżej 50% do ok. 85% ciśnienia  $p_{100\% Rt 0,5}$ ,
- co 0,02 MPa powyżej 85% ciśnienia  $p_{100\% Rt 0,5}$  do osiągnięcia ciśnienia badania wytrzymałości.

W trakcie pomiarów należy sporządzić wykres zależności ciśnienia czynnika próby  $p$  od przyrostu jego objętości  $\Delta V$  lub ilorazu przyrostu objętości czynnika próby  $\Delta V$  i przyrostu ciśnienia czynnika próby  $\Delta p$  między kolejnymi pomiarami.

Dla ciśnienia powyżej 85% ciśnienia  $p_{100\% Rt 0,5}$ , skala wykresu powinna być tak dobrana aby 0,1 MPa odpowiadał odcinkowi 5 cm na wykresie co pozwala zaobserwować wtłoczoną objętość czynnika próby 1 do  $2 \times 10^{-6}$  objętości odcinka. W trakcie podnoszenia ciśnienia należy wykreślić tzw. linię zadaną tłoczenia. Linię tą wyznacza się według wzoru określając ilość dotłoczonego czynnika próby:

$$\Delta V = F \left[ \kappa + \left( 0,87 \cdot 10^{-5} \right) \frac{r_w}{g} \right] V \cdot \Delta p$$

w którym:



$p_{pw \max}$  - maksymalne ciśnienie próby wytrzymałości rurociągu,  
 $p_{ps}$  - ciśnienie próby szczelności rurociągu

Rys. 2. Wykres zmiany ciśnienia w trakcie próby

$F$  — współczynnik korekcyjny,  
 $\kappa$  — współczynnik ściśliwości wody, MPa<sup>-1</sup> (według PN-M/92-34503),  
 $r_w$  — promień wewnętrzny rury, mm,  
 $g$  — nominalna grubość ścianki, mm,  
 $V$  — objętość wewnętrzna badanego odcinka rurociągu, dm<sup>3</sup>,  
 $\Delta p$  — różnica ciśnień między dwoma kolejnymi ciśnieniami próby, MPa.

Wyznaczony doświadczalnie w trakcie podnoszenia ciśnienia współczynnik korekcyjny  $F$  powinien mieścić się w granicach 1,01 do 1,03. W przypadku nie spełnienia tego wymagania należy rozprężyć wodę i odpowietrzyć rurociąg, a następnie ponownie podnosić ciśnienie.

W zakresie ciśnień wywołujących plastyczne odkształcenie stali, należy stosować 15 minutowe przerwy w procesie tłoczenia czynnika próby, aby nie dopuścić do niekontrolowanego nadmiernego odkształcenia stali. Pierwsza przerwa powinna nastąpić po osiągnięciu około 1/20 dopuszczalnego przyrostu objętości czynnika próbnego. W trakcie każdej przerwy w tłoczeniu czynnika próby należy obniżyć ciśnienie o około 6% jego wartości.

Prędkość zmiany ciśnienia powinna wynosić od 1 do 2% ciśnienia równego 1,1  $p_{100\% R_{t0,5}}$  na minutę.

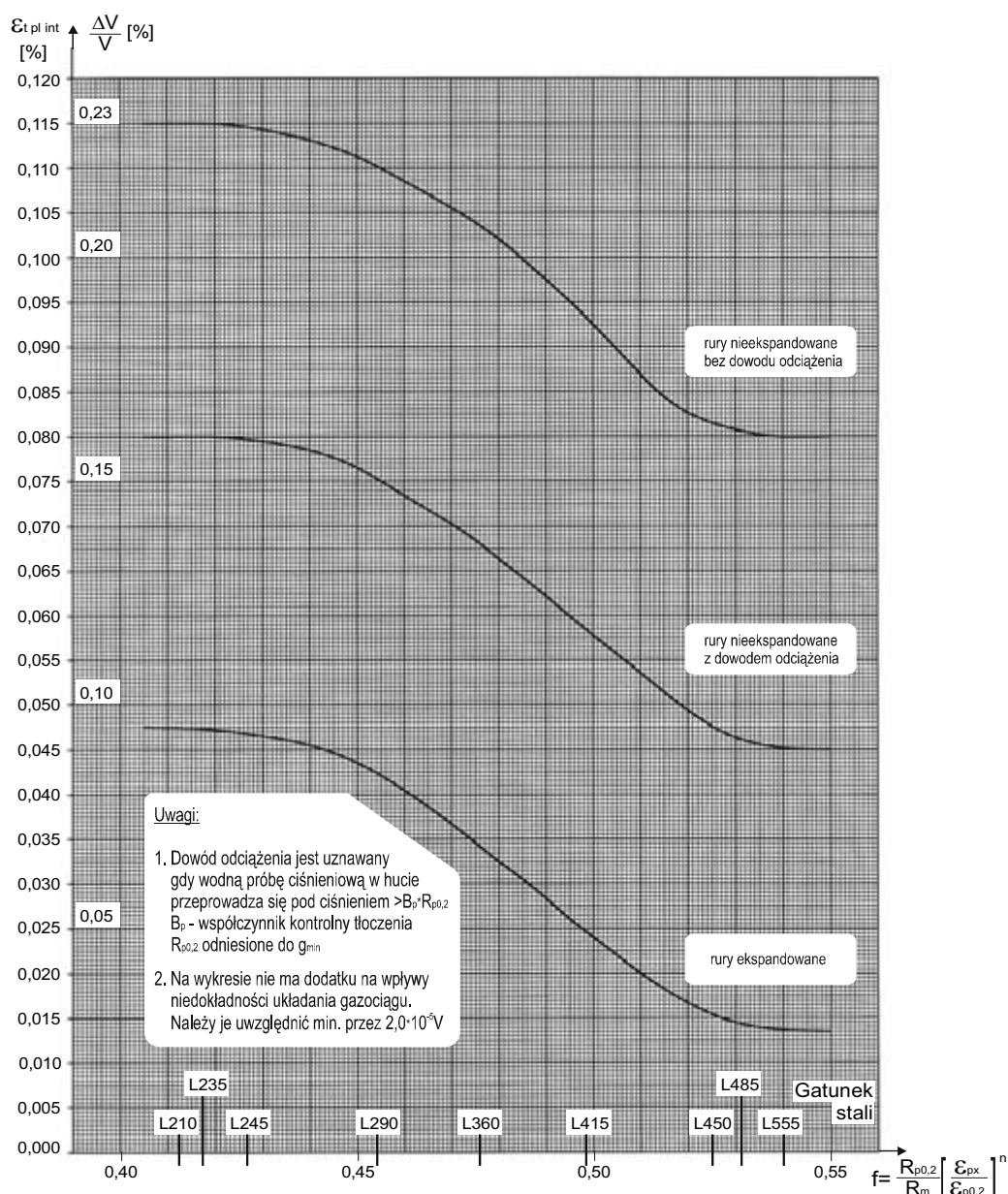
Po osiągnięciu maksymalnego ciśnienia badania wytrzymałości należy w czasie ok. 60-90 min. mierzyć ciśnienie i nanosić na wykres spadek ciśnienia co 0,01 MPa. Następnie należy obniżyć ciśnienie do poziomu poniżej 0,2 MPa mierzonego w najwyższym punkcie odcinka próby, które powinno być utrzymane przez 30-60 min. Drugi cykl podnoszenia ciśnienia powinien przebiegać odpowiednio do pierwszego, przy czym maksymalne ciśnienie powinno być niższe o ok. 0,01 MPa od maksy-

malnego ciśnienia podczas pierwszego podnoszenia ciśnienia.

Przyrost ciśnienia powinien odbywać się w sposób ciągły od ok. 70 % wartości maksymalnego ciśnienia. Przyrost ciśnienia przy drugim cyklu podnoszenia nie powinien być wyższy niż przy pierwszym. Po drugim podniesieniu ciśnienia należy postępować identycznie jak po pierwszym.

Kolejne cykle podnoszenia i obniżania ciśnienia przeprowadza się tylko w przypadku konieczności odnalezienia nieszczelności.

W przypadku, gdy badanie wytrzymałości następuje bezpośrednio po napełnieniu rurociągu, temperaturę niezbędną do wyznaczenia wartości współczynnika ściśliwości czynnika próbnego  $\kappa$  można określić przez pomiar



temperatury czynnika próby na wlocie i wylocie badanego odcinka. Jeżeli czas pomiędzy napełnieniem a badaniem jest dłuższy niż 24 h, zaleca się pośrednie określenie temperatury czynnika próby poprzez pomiar temperatury ścianki rurociągu.

### USTALENIE WARTOŚCI CIŚNIENIA BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI

Ciśnienie badania wytrzymałości powinno być co najmniej równe wartości  $p = 0,85 p_{100\% Rt 0,5}$  jednak nie powinno przekraczać wartości  $p = 1,10 p_{100\% Rt 0,5}$  lub wartości ciśnienia odpowiadającego plastycznemu obwodowemu odkształceniu  $\varepsilon_{t pl int}$  materiału rury o wartości podanej na wykresie.

Dla ustalenia maksymalnego ciśnienia badania wytrzymałości miarodajna jest mniejsza wartość wynikająca z obu warunków.

Podane na wykresie wartości  $\varepsilon_{t pl int}$  dotyczą rurociągu ułożonego na płaskim terenie. Różnicę wysokości poszczególnych punktów odcinka próby należy uwzględnić według następującego wzoru:

$$\varepsilon_{t pl int H} = x \cdot \varepsilon_{t pl int}$$

w którym:

$\varepsilon_{t pl int H}$  — dopuszczalne plastyczne odkształcenie obwodowe rury po uwzględnieniu wysokości położenia rurociągu,

$\varepsilon_{t pl int}$  — dopuszczalne plastyczne odkształcenie obwodowe rury.

Natomiast współczynnik  $x$  określa się ze wzoru:

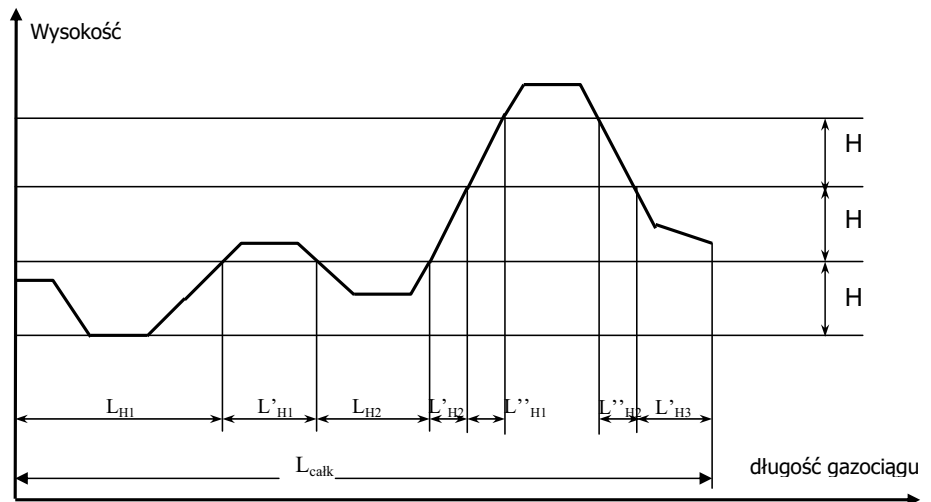
$$x = \frac{L_H}{L_{całk}}$$

w którym:

$L_{całk}$  — całkowita długość badanego odcinka, m,

$L_H$  — suma długości badanych odcinków, które znajdują się między najniższym punktem i wysokością  $H$ , m.

W przypadku nie ekspandowanych rur nie posiadających dowodu odciążania, przy ustalaniu dopuszczalnego plastycznego odkształcenia obwodowego wymaga się również uwzględnienia współczynnika określającego udziały tych części badanego odcinka, które znajdują się powyżej wysokości  $H$  nad najniższym punktem badanego odcinka rurociągu, według poniższych wzorów:



Rys. 3. Określenie poszczególnych wysokości odcinka próby.

$$\varepsilon'_{t pl} = 0,35 \cdot X' \cdot \varepsilon_{t pl int}$$

$$\varepsilon''_{t pl} = 0,25 \cdot X'' \cdot \varepsilon_{t pl int}$$

$$\varepsilon_{t pl całk} = \varepsilon_{t pl int} H + \varepsilon'_{t pl} + \varepsilon''_{t pl}$$

w których:

$\varepsilon_{t pl int} H$  — dopuszczalne plastyczne odkształcenie obwodowe rury po uwzględnieniu wysokości położenia rurociągu od najniższego punktu do wysokości  $H$ ,

$\varepsilon_{t pl int}$  — dopuszczalne plastyczne odkształcenie obwodowe rury,

$\varepsilon_{t pl całk}$  — całkowite dopuszczalne plastyczne odkształcenie obwodowe rury po uwzględnieniu wysokości położenia rurociągu od najniższego punktu badanego odcinka do wysokości  $3H$ ,

$\varepsilon'_{t pl}$  — plastyczne odkształcenie obwodowe rury po uwzględnieniu wysokości położenia rurociągu między  $H$  i  $2H$ , ponad najniższym punktem badanego odcinka,

$\varepsilon''_{t pl}$  — plastyczne odkształcenie obwodowe rury po uwzględnieniu wysokości położenia rurociągu między  $2H$  i  $3H$ , ponad najniższym punktem badanego odcinka,

$X'$  — względny udział długości odcinków rurociągu, które znajdują się między wysokością  $H$  a  $2H$ , ponad najniższym punktem badanego odcinka, określa się ze wzoru:

$$X' = \frac{L'_{H1} + L'_{H2} + L'_{H3}}{L_{całk}}$$

$X''$  — względny udział długości odcinków rurociągu, które znajdują się między  $2H$  a  $3H$ , ponad najniższym punktem badanego odcinka, określa się ze wzoru:

$$X'' = \frac{L''_{H1} + L''_{H2}}{L_{całk}}$$

Wysokość H, zależną od gatunku stali, z której jest wykonany rurociąg, pokazano w tablicy.

Tab. 1. Wartość parametru H w funkcji gatunku stali

Stal gatunku wg PN-EN 10208-1, 2, 3	H [m]
L 210	8 p <sub>100% Rt 0,5</sub>
L 235	
L 245	
L 290	7 p <sub>100% Rt 0,5</sub>
L 360	6 p <sub>100% Rt 0,5</sub>
L 415	4,5 p <sub>100% Rt 0,5</sub>
L 450	3 p <sub>100% Rt 0,5</sub>
L 485	
L 555	

p<sub>100% Rt 0,5</sub> – ciśnienie, które wywołuje w stali naprężenie równe 100% jej granicy plastyczności

Do obliczenia ciśnienia, które wywołuje w stali naprężenie równe 100 % jej granicy plastyczności, stosuje się następujący wzór:

$$p_{100\%Rt\ 0,5} = \frac{2 \cdot g_{\min} \cdot R_{t\ 0,5}}{D_z}$$

w którym:

g<sub>min</sub> – minimalna grubość ścianki rury (normatywna grubość pomniejszona o dolną odchyłkę grubości), mm,

D<sub>z</sub> – średnica zewnętrzna rury, mm,

R<sub>t 0,5</sub> – granica plastyczności materiału (wartość minimalna), MPa.

### WSKAZÓWKI PRAKTYCZNE PRZEPROWADZANIA PRÓBY SPECJALNEJ

1. W przypadku rur o średnicach nie większych od DN 500 i wykonanych ze stali w gatunkach do L360, zaleca się, przy ocenie iloczynu parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub>, powoływać się na wartość parametru R<sub>t 0,5</sub>, określoną na próbkach poprzecznych w stosunku do osi głównej rury.
2. W przypadku każdej nowej dostawy rur o średnicach powyżej DN 500 i wykonanych ze stali w gatunkach począwszy od L415, zaleca się w trakcie próby specjalnej, w zakresie ciśnień wywołujących plastyczne odkształcenie stali, zastosować 15 minutową przerwę w procesie tłoczenia wody. Przerwa powinna nastąpić po osiągnięciu około 1/10 wartości dopuszczalnego przyrostu objętości wody, określonego na wykresie. W trakcie przerwy w tłoczeniu wody należy obniżyć ciśnienie o około 6 % jego wartości.

3. Podczas próby specjalnej należy dążyć do tego, aby jednocześnie zostały spełnione następujące warunki:
  - w rurze o największej wartości iloczynu parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub> np.: (R<sub>t 0,5</sub> × g<sub>min</sub>)<sup>97,5%</sup><sup>1</sup>, ułożonej w najwyższym punkcie odcinka próby, została przekroczona w jej materiale wartość naprężenia obwodowego równa 85 % jego granicy plastyczności.
  - w rurze o najmniejszej wartości iloczynu parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub> np.: (R<sub>t 0,5</sub> × g<sub>min</sub>)<sup>2,5%</sup><sup>2</sup>, ułożonej w najniższym punkcie odcinka próby, nie zostało przekroczone w jej materiale dopuszczalne względne odkształcenie obwodowe określone na rysunku w załączniku A.

### BADANIE SZCZELNOŚCI

Badanie szczelności należy rozpocząć po wyrównaniu się temperatury czynnika próby i temperatury ścianki rurociągu. W przypadku rurociągów podziemnych czas stabilizacji ts powinien wynosić co najmniej:

- 24 h - dla średnicy nominalnej nie większej niż DN 400,
- 48 h - dla średnicy nominalnej powyżej DN 400 do DN 700,
- 72 h - dla średnicy nominalnej powyżej DN 700 do DN 1000,
- 96 h - dla średnicy nominalnej DN 1200,
- 120 h - dla średnicy nominalnej DN 1400,

Czas badania szczelności zależy od pojemności odcinka próby i błędów wskazań przyrządów pomiarowych. Minimalny czas badania szczelności określa się wg wzoru:

$$t_{ps} \geq \frac{V \cdot |(\mu - \gamma)|}{q} \eta$$

w którym:

V – wewnętrzna objętość badanego odcinka rurociągu, [dm<sup>3</sup>]

μ - γ – różnica współczynników rozszerzalności objętościowej czynnika próby i stali (według PN-M/92-34503), [1/°C],

q – dopuszczalny przeciek, dm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

η – średni błąd pomiaru temperatury czynnika próby, Średni błąd pomiaru różnicy temperatury czynnika próby określa się ze wzoru (niepewność pomiaru wynosi ±10C na poziomie ufności 95%):

$$\eta = \frac{4 \cdot e}{\sqrt{N}}$$

w którym:

e – błąd bezwzględny wskazań termometru, °C,

1 wartość iloczynu parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub> właściwa 97,5 % rur z ogólnej liczby rur określonej dostawy, według statystycznej krzywej wyników pomiarów rzeczywistych wartość parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub>.

2 wartość iloczynu parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub> właściwa 2,5 % rur z ogólnej liczby rur określonej dostawy, według statystycznej krzywej wyników pomiarów rzeczywistych wartość parametrów R<sub>t 0,5</sub> i g<sub>min</sub>.

N — ilość termometrów zlokalizowanych wzdłuż trasy odcinka próby.

Zaleca się aby minimalny czas badania szczelności nie był krótszy od 24 h.

Wartość ciśnienia badania szczelności pps powinna być mniejsza o ok. 6% wartości ciśnienia badania wytrzymałości ppw.

#### OBLICZANIE RZECZYWISTEGO SPADKU CIŚNIENIA

Obliczanie rzeczywistego spadku ciśnienia należy wykonać według wzoru:

$$\Delta p = P_{ps1} - P_{ps2} - \Delta p_t$$

gdzie:

$$P_{ps1} = p_{ps1} + b_0$$

$$P_{ps2} = p_{ps2} + b_0$$

$$b_0 = b \cdot (1 - 0,00017 v_0) \cdot 13,33 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta p_t = K (v_{c1} - v_{c2})$$

$$K = \frac{\mu - \gamma}{\kappa + \frac{D_z}{g \cdot E}}$$

w których:

$P_{ps1}$  — ciśnienie absolutne na początku badania szczelności rurociągu, MPa,

$P_{ps2}$  — ciśnienie absolutne na końcu badania szczelności rurociągu, MPa,

$p_{ps1}$  — ciśnienie zmierzone na początku badania szczelności rurociągu, MPa,

$p_{ps2}$  — ciśnienie zmierzone na końcu badania szczelności rurociągu, MPa,

$b_0$  — ciśnienie barometryczne sprowadzone do temperatury 0°C, MPa,

$b$  — ciśnienie barometryczne w temperaturze otoczenia  $v_0$ , mmHg

$K$  — współczynnik zmiany ciśnienia w funkcji temperatury, MPa / 0C,

$t_{ps}$  — czas badania szczelności rurociągu, h

$v_{c1,2}$  — temperatura czynnika próby na początku i na końcu badania szczelności, 1/°C,

Wartości  $v_{c1}$   $v_{c2}$  należy przyjmować jako równe odpowiednio:

-  $v_{r1}$ ,  $v_{r2}$  — dla rurociągów podziemnych,

-  $v_{o1}$ ,  $v_{o2}$  — dla rurociągów nadziemnych,

gdzie:

$v_{r1,2}$  — temperatura ścianki rurociągu na głębokości jego osi (średnia wartość wszystkich jednocześnie zmierzonych temperatur – wartość dwóch kolejnych odczytów), oC

$v_{o1,2}$  — temperatura powietrza, oC (wartość dwóch kolejnych odczytów).

#### OBLICZANIE DOPUSZCZALNEGO SPADKU CIŚNIENIA

Obliczanie dopuszczalnego spadku ciśnienia należy wykonać według wzoru

$$[\rho] = \frac{q \cdot t_{ps}}{V \cdot \left[ \kappa + \frac{D_z}{g \cdot E} \right]}$$

Wartość dopuszczalnego przecieku  $q$  należy przyjmować

$$\frac{2p_{ps} + 1}{3}$$

— dla ciśnienia badania szczelności pps nie większego niż 10 MPa,

7,0 — dla ciśnienia badania szczelności pps powyżej 10 MPa.

#### OCENA WYNIKÓW PRÓBY

Rurociąg należy uznać za wytrzymały, jeżeli w czasie badania wytrzymałości nie zostaną stwierdzone nieuszczelności, pęknięcie lub odkształcenia.

Rurociąg należy uznać za szczelny, jeżeli po zakończeniu próby nie stwierdzi się żadnych nieprawidłowości na wykresie pomiarowym przyrządu rejestrującego zmienność ciśnienia oraz gdy spełniony jest warunek:

$$\Delta p < [\Delta p]$$

#### OPRÓŻNIANIE ODCINKA PRÓBY Z CZYNNIKA PRÓBY I OSUSZANIE RUROCIĄGU

Po zakończeniu próby należy opróżnić odcinek próby z czynnika próby grawitacyjnie lub za pomocą tłoków rozdzielających. Prędkość posuwu tłoków rozdzielających powinna wynosić 3-10km/h.

Po usunięciu czynnika próby należy rurociąg osuszyć. Osuszanie rurociągu należy przeprowadzać po połączeniu poszczególnych odcinków próby. Na jego końcach należy zainstalować śluzy do nadawania i odbierania tłoków czyszczących i odwadniających (tłoki gąbkowe z pianki poliuretanowej).

Osuszanie rurociągu zaleca się przeprowadzać metodą próżniową w połączeniu z nadmuchiemy suchego powietrza (punkt rosy - około minus 60°C). Osuszanie rurociągu należy przeprowadzać aż do momentu, w którym powietrze w nim zawarte osiągnie temperaturę punktu rosy na poziomie - 20°C.