



# Zagrożenie pękaniem rurociągów wykonanych z polietylenu

Dr inż. Włodzimierz Baranowski, dr hab. inż. Krzysztof Werner Prof. PCz,  
mgr inż. Monika Kula, Politechnika Częstochowska

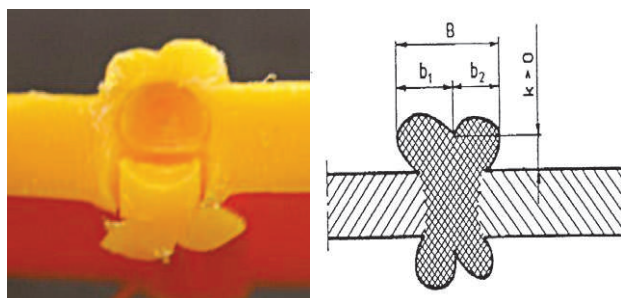
## 1. Wprowadzenie

W rurach wykonanych z polietylenu PE-HD i w ich złączach zgrzewanych, stosowanych do przesyłania paliw gazowych i wody oraz innych płynów [1-3] mogą wystąpić wady, tj. nieciągłości materiału, np. szczeliny wzdłużne (wzdłuż osi rury) albo poprzeczne i to zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne [2-6]. Szczeliny takie powstają najczęściej w wyniku nieprawidłowości podczas transportu i magazynowania rur oraz przygotowania czołowych powierzchni zgrzewanych rur albo nieprawidłowości procesu zgrzewania. Powszechnie stosowaną technologią przy budowie rurociągów jest zgrzewanie doczołowe rur. Technologia ta jest opisana szczegółowo w pracach [7-11].

Szczególnie niebezpieczne są szczeliny wzdłużne ze względu na wysoki poziom naprężeń działającego prostopadle do powierzchni szczeliny, tj. naprężenia obwodowego w rurze (dwukrotnie większego niż naprężenia wzdłużnego). Pęknięcie rur wynika na ogół z istnienia w nich szczelin wzdłużnych zewnętrznych. Natomiast pęknięcie doczołowych złączy rur powodują przeważnie szczeliny wzdłużne wewnętrzne, których nie można wykryć przy oględzinach zewnętrznych złącza. Spiętrzenie naprężeń na czole szczeliny, zwłaszcza w warunkach wcześniejszego pełzania tworzywa w podwyższonej temperaturze, może zainicjować proces pęknięcia prowadzący do zniszczenia (nieszczelności) rurociągu. Zniszczenie takie może nastąpić w wyniku szybkiej propagacji pęknięcia (RCP – Rapid Crack Propagation) z prędkością bliską prędkości dźwięku [5, 7] w warunkach niskiej temperatury  $T$  tworzywa, przy której jego właściwości są zbliżone do materiału sprężysto-krucho (dla polietylenu PE-HD przy  $T \leq 0^\circ\text{C}$ ). RCP może wystąpić nawet w temperaturze dodatniej (nieco wyższej niż  $0^\circ\text{C}$ ) w warunkach udarowego zadziaływania siły zewnętrznej, zwłaszcza w rurociągach o dużej grubości ścianki rury. Przy wyższych temperaturach zainicjowane na czole szczeliny pęknięcie wzrasta powoli, prowadząc także do zniszczenia rurociągu. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń krytycznego wymiaru szczeliny wzdłużnej: zewnętrznej w rurze i wewnętrznej eliptycznej w doczołowym złączu zgrzewanym ze względu na możliwość zainicjowania pęknięcia.

## 2. Kontrola rur i ich połączeń zgrzewanych

Kontrola połączeń zgrzewanych ma istotne znaczenie z uwagi na bezpieczeństwo i szczelność zgrzewanych instalacji. Podstawową metodą kontroli jest ocena wzrokowa rur i ich połączeń zgrzewanych. Ocenia się charakter i wymiary wady (rysy) w rurze oraz prawidłowość wykonania zgrzeiny, a w szczególności wyływki powstałej po zgrzewaniu. Sprawdza się, czy jest ona równa i jednakowa na całym obwodzie połączenia. Prawidłowy kształt wyływek daje prawie 100% pewności dobrego połączenia w przypadku prawidłowego procesu technologicznego [5].



Rys. 1. Schemat przekroju złącza zgrzewanego doczołowo [1] i jego wada wewnętrzna

Wymiary zgrzeiny rur o grubości ścianki  $e$  muszą spełniać kilka warunków dotyczących:

- wysokości rowka  $k$  pomiędzy waleczkami ( $k > 0$ );
- szerokości waleczków  $b_1, b_2$  ( $b_1 \geq 0,7b_2$ );
- średniej szerokości zgrzeiny  $B_{sr} = 0,5 (B_{max} + B_{min})$ , przy czym  $B_{max}$  i  $B_{min}$  – to maksymalna i minimalna szerokość zgrzeiny na całym obwodzie rury ( $B_{max} \leq 1,1B_{sr}$ ,  $B_{min} \geq 0,9B_{sr}$ ). Szerokość zgrzeiny  $B_{sr}$  powinna się mieścić w granicach  $0,7e \leq B_{sr} \leq e$ .

Jednakże mając na względzie niekorzystne warunki zewnętrzne podczas procesu zgrzewania rur (np. niską temperaturę lub dużą wilgotność powietrza) nawet poprawny wygląd zgrzeiny nie daje pewności, że w połączeniu zgrzewanym nie powstały wady wewnętrzne.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat przekroju zgrzeiny oraz szczelinę wewnętrzną w przekroju połączenia rur zgrzewanych doczołowo. Na podstawie oględzin zewnętrznych połączenie to oceniono jako wykonane



**Tabela 1.** Właściwości mechaniczne polietylenu (PE-HD)

Polietylen PE-HD (gęstość $\rho=930, \text{ kg/m}^3$ );	Materiał rodzimy	Materiał zgrzeiny
Granica plastyczności $\sigma_y$ , MPa	21,0	23,3
Wytrzymałość na rozciąganie $\sigma_p$ , MPa	22,3	23, 6
Wydłużenie przy zerwaniu $e_p$ , %	430	510
Moduł Younga $E$ , MPa	615	603
Odporność na pękanie $K_{Ic}$ , $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	2,39	1,92

prawkidlowo. Dlatego w celu wykrycia wady wewnętrznej i określenia jej wielkości oprócz oględzin wzrokowych należy przeprowadzić badania nieniszczące: rentgenowskie lub ultradźwiękowe, gdy zachodzi uzasadnione podejrzenie mniejszej wytrzymałości zgrzeiny spowodowanej uchybieniami w procesie zgrzewania lub gdy wygląd wyptywki budzi wątpliwości [1].

### 3. Badania doświadczalno-obliczeniowe

Badania właściwości mechanicznych rur i ich złączy zgrzewanych przeprowadzono zgodnie z odpowiednimi procedurami i normami [12-17]. Rury o zewnętrznej średnicy  $d_n = 110 \text{ mm}$  wykonane z polietylenu dużej gęstości PE-HD produkcji firmy „Borealis” (SDR11 o minimalnej grubości ścianki  $e = 10 \text{ mm}$  i SDR17,6 o  $e = 6,25 \text{ mm}$ ) oraz ich złącza miały następujące właściwości mechaniczne (tab. 1).

Analizę inicjacji pęknięcia i jego propagacji w złączu rury zawierającej szczelinę o wymiarze charakterystycznym  $a$  oparto na europejskiej procedurze obliczeniowej FIT-NET (FIT-ness for Service NET-work) i wykresie zniszczenia FAD (Failure Assessment Diagram) [18], opisaną szerzej dla rur z polietylenu w pracy [1]. Na wykresach FAD krzywa graniczna  $K_r = f(L_r)$  dla naprężenia referencyjnego  $\sigma_{ref}$  na poziomie obciążenia  $L_r = \sigma_{ref}/\sigma_y$ , obowiązująca do  $L_r = L_{rmax}$ , ogranicza bezpieczny obszar punktu (elementu ze szczeliną) o współrzędnych:  $K_r = K_a/K_{Ic}$ ,  $L_r$  [18]. Analizę wykonano na poziomie zerowym, dla którego przy obciążeniu  $L_r \leq L_{rmax} = 1$  wystarczy znajomość granicy plastyczności  $\sigma_y$  i modułu

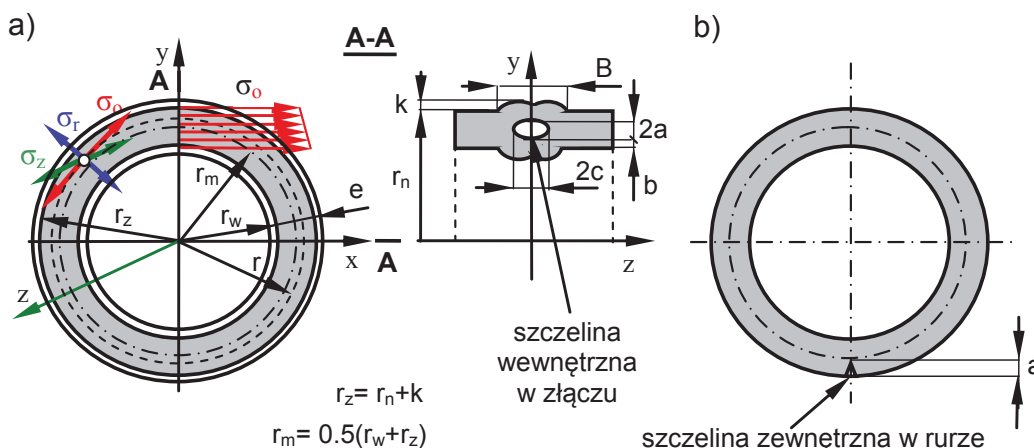
Younga  $E$  materiału rury do określenia krzywej granicznej  $K_r = f(L_r)$  [18]. Współczynnik intensywności naprężenia  $K_a$ , dla charakterystycznego wymiaru szczeliny  $a$ , określono na podstawie naprężenia  $\sigma$  na czole szczeliny. Dla danego poziomu obciążenia  $L_r$ , szczelina osiągnie wartość krytyczną  $a = a_c$  (ze względu na możliwość inicjacji pęknięcia), gdy spełniony zostanie warunek:

$$K_a/K_{Ic} = K_r(L_r) \tag{1}$$

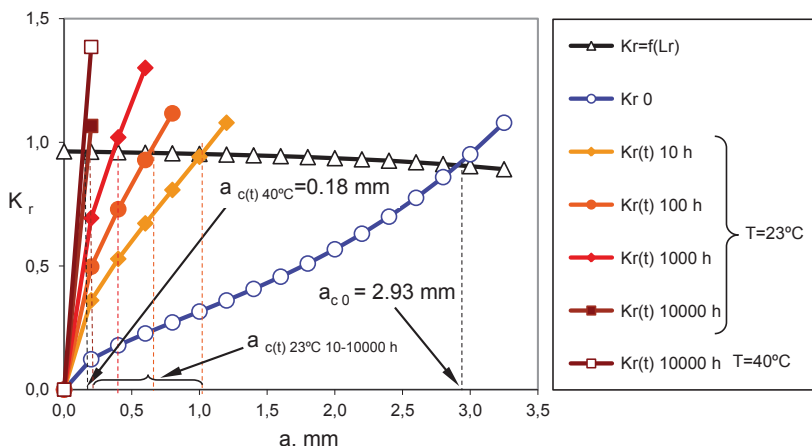
W eksploatacji rurociągów przemysłowych, służących do przesyłania różnych płynów technologicznych i wody o podwyższonej temperaturze ( $T=20^\circ\text{C}-70^\circ\text{C}$ ), istotny wpływ na właściwości tworzywa ma proces pełzania oraz jego degradacja w wyniku starzenia. W pracy poddano analizie wpływ procesu pełzania na pękanie. W wyniku pełzania tworzywa maleje moduł Younga  $E$ , powodując zmniejszenie odporności na pękanie.

Krytyczny wymiar szczeliny  $a_c$  i wyznaczono dla normalnych warunków pracy rurociągu, tj. dla dodatniej temperatury gruntu – zbliżonej do  $0^\circ\text{C}$  ( $a_{c(0)}$ ) oraz dla temperatur eksploatacji rurociągów  $T=23^\circ\text{C}$  i  $T=40^\circ\text{C}$  ( $a_{c(t)}$ ) występujących w warunkach przemysłowych procesów technologicznych. Zmniejszoną odporność na pękanie  $K_{ct}$  po czasie  $t$  w wyniku pełzania w podwyższonej temperaturze wyznaczono na podstawie początkowej odporności na pękanie polietylenu  $K_{Ic}$  dla niskiej temperatury i modułu Younga  $E$  zmniejszonej po czasie  $t$  do wartości  $E_t$  [7, 19, 20]:

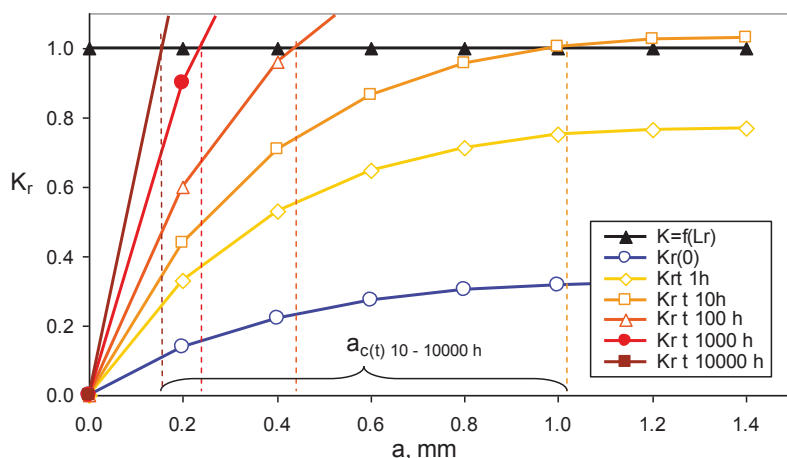
$$K_{ct} = K_{Ic} (E_t/E) \tag{2}$$



**Rys. 2.** Schemat przekroju złącza doczołowo zgrzewanych rur z wzdłużną, wewnętrzną szczeliną eliptyczną (a) i rury ze szczeliną wzdłużną zewnętrzną (b)



**Rys. 3.**  
Krzywe zniszczenia rury ze szczeliną wzdłużną zewnętrzną. SDR17,6;  $p=1$  MPa



**Rys. 4.**  
Krzywe zniszczenia złącza rury ze szczeliną eliptyczną. SDR17,6;  $p=1$  MPa;  $k=0,25$  mm;  $b=0,1$  mm;  $c=3$  mm;  $T=23^\circ\text{C}$

Moduł Younga  $E_t$  w podwyższonej temperaturze określono na podstawie wykresów pełzania  $E=f(t, \sigma)$  polietylenu PE-HD dla naprężenia nominalnego  $\sigma$  w przekroju złącza rury [8,9].

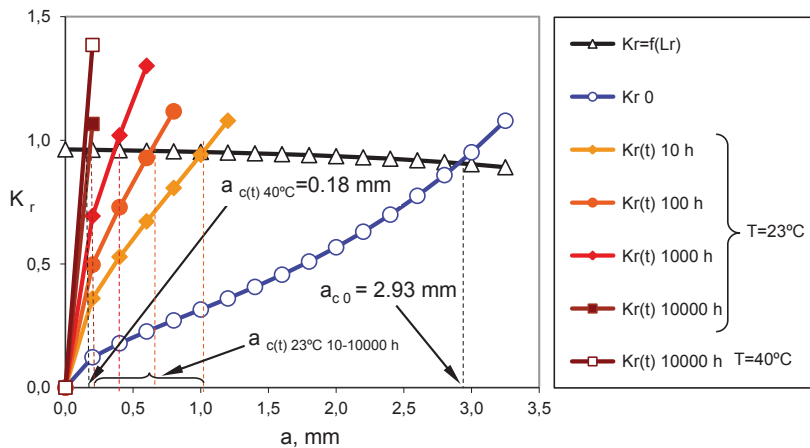
Rozpatrywano typ szczeliny zewnętrznej w rurze oraz wewnętrznej o kształcie półeliptycznym w złączu (rys. 3) w zakresie wymiaru szczeliny  $a$  od  $a=0$  do połowy grubości ścianki rury ( $a=e/2$ ).

Naprężenie obwodowe (styczne)  $\sigma_o$  (rys. 2) w zgrzeinie obliczono dla nominalnego poziomu ciśnienia gazu  $p = 0,5$  MPa w rurze o SDR11 i nominalnego ciśnienia wody  $p = 1,0$  MPa w rurze o SDR17,6 oraz dla  $p=1,25$  MPa w przypadku rury SDR11 [4, 5, 21, 22]. Naprężenie  $\sigma_o$  obliczono dla skrajnych wymiarów złącza (mieszczących się jednak w warunkach jego odbioru [5]), tj. dla łącznej szerokość wałeczków złącza  $B = e$  i odległości dna rowka między wałeczkami od powierzchni rury  $k > 0$  (przyjętej jako minimum  $k = 0,25$  mm). Obliczenia naprężeń w zgrzeinie wykonano dla pole poprzecznego przekroju złącza w płaszczyźnie rowka o średnicy zewnętrznej  $d_z = d_n + 2k$ . Niewielkie zakłócenia rozkładu naprężeń w zgrzeinie (jako karbie geometrycznym) pominięto ze względu na niewielką szerokość wałeczków zgrzeiny ( $e/2$ ) [5, 6, 9].

#### 4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki obliczeń krytycznej głębokości szczeliny (rysy) zewnętrznej na całej długości rury SDR = 17.6 przy ciśnieniu  $p = 1$  MPa przedstawiono na rysunku 3. Analiza przedstawionych wyników wskazuje, że zainicjowanie pęknięcia w normalnych warunkach pracy rury (zakopanej w gruncie) wystąpi dla rysy o głębokości  $a_c = 2,93$  mm. Natomiast w przypadku wcześniejszego pełzania tworzywa w podwyższonej temperaturze  $T = 23^\circ\text{C}$  możliwość zainicjowania pęknięcia wystąpi przy znacznie mniejszej głębokości rysy, której wartość  $a_c$  zależna od czasu  $t$  działania rury pod obciążeniem w podwyższonej temperaturze wynosi od około: 1,03 mm dla  $t = 10$  h do 0,24 mm dla  $t = 10000$  h. Przy wyższej temperaturze  $T = 40^\circ\text{C}$  dla tych czasów pełzania krytyczne głębokości rys były jeszcze mniejsze i np. dla  $t = 10000$  h wartość  $a_c = 0,18$  mm (rys. 3).

Wyniki przeprowadzonej analizy zainicjowania pęknięcia dla złącza rur z wzdłużną eliptyczną szczeliną wewnętrzną wykazały, że przy ciśnieniu  $p = 1,0$  MPa zagrożenie inicjacji pęknięcia pojawia się dla złącza z taką szczeliną o niewielkiej półosi  $c = 3$  mm tylko po uprzednim pełzaniu tworzywa w temp.  $23^\circ\text{C}$ , już po czasie pełzania  $t = 10$  h (rys. 4). Wymiar krytyczny  $a_c$  szczeliny po tym



**Rys. 5.**  
Krzywe zniszczenia złącza rury ze szczeliną eliptyczną. SDR11;  $p=1,25$  MPa;  $k=0,25$  mm;  $b=0,1$  mm;  $c=3$  mm;  $T=23^\circ\text{C}$

czasie pełzania wynosi nieco ponad 1 mm. Jeszcze mniejsze wartości wymiaru  $a_c$  wystąpiły po dłuższych okresach pełzania takiej szczeliny i wynosiły one: po  $t = 100$  h;  $a_c = 0,44$  mm, po  $t = 1000$  h;  $a_c = 0,24$  mm, a po  $t = 10000$  h;  $a_c = 0,16$  mm.

Podobne zagrożenie inicjacji pęknięcia istnieje także dla złącza rur SDR11 z taką samą szczeliną eliptyczną ( $c = 3$  mm) przy nominalnym ciśnieniu roboczym  $p = 1,25$  MPa (rys. 5).

Na wartości wymiaru krytycznego  $a_c$ , przy którym może wystąpić inicjacja i rozwój pęknięcia, duży wpływ mają: głębokość rowka złącza  $k$  i położenia czoła szczeliny względem powierzchni złącza  $b$  oraz długość jej półosi szczeliny  $c$  (rys. 1 i 2). Wpływ tych czynników wartości wymiaru krytycznego  $a_c$  dla złącza rury SDR11 przy  $p = 1,25$  MPa z wzdłużną szczeliną eliptyczną przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki obliczeń zawartych w tabeli 1 wskazują, że wzrost wymiaru  $c$  szczeliny powoduje zmniejszenie jej wymiaru krytycznego  $a_c$ , np. przy wzroście  $c$  z 3,5 do 5,0 mm wymiar  $a_c$  zmienia się o 0,18 mm, tj. o około 20%. Natomiast wzrost parametru  $b$  powoduje znaczne zwiększenie wymiaru krytycznego. Na przykład, wzrost  $b$  z 0,10 do 0,25 mm powoduje wzrost  $a_c$  o około 127%. Również w wyniku wzrostu parametru  $k$  z 0,25 mm do 2,00 mm wzrasta wartość wymiaru krytycznego  $a_c$  o około 90%. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić ogólnie,

że wzrost parametrów  $b$  i  $k$  zmniejsza zagrożenie inicjacji pęknięcia w złączu, natomiast wzrost wymiaru  $c$  zwiększa to zagrożenie.

Przy niskim ciśnieniu  $p = 0,5$  MPa stosowanym do przesyłania gazu dla złącza rury o SDR11 z wewnętrzną szczeliną eliptyczną ( $c = 3$  mm) nie występuje zagrożenie zainicjowania pęknięcia. Dotyczy to zarówno eksploatacji rurociągu w niskich temperaturach, jak i po uprzednim wystąpieniu pełzania w podwyższonej temperaturze  $23^\circ\text{C}$ . Krzywe  $K_r$  dla tej temperatury nie przecinają się z krzywą graniczną  $K(Lr)$ , nawet dla dużej szczeliny o długości  $2c \approx B$  przy założeniu niekorzystnych pozostałych parametrów, tj. niewielkiej odległości  $b = 0,1$  mm jej czoła od powierzchni wewnętrznej złącza oraz małej głębokości dna rowka  $k = 0,25$  mm. Natomiast duże zagrożenie inicjacji pęknięcia w złączu z wewnętrzną szczeliną eliptyczną wzdłużną występuje po uprzednim pełzaniu tworzywa w temperaturze  $T = 40^\circ\text{C}$ . W tych warunkach nawet dla małej szczeliny ( $c = 3$  mm) po krótkim czasie pełzania  $t = 1$  h krytyczny wymiar szczeliny eliptycznej  $a_c$  wynosił nieco ponad 1 mm, a po długim czasie pełzania  $t = 10000$  h wymiar ten wynosił około 0,26 mm.

### 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników obliczeń krytycznej wielkości szczelin można stwierdzić,

**Tabela 1.** Krytyczny wymiar szczeliny eliptycznej w złączu rury SDR11 przy  $p=1,25$  MPa

k = 0,25 mm b = 0,1 mm; t = 100 h				
c, mm	3,5	4,0	4,5	5,0
a <sub>c</sub> , mm	0,88	0,80	0,73	0,70
c = 3,5 mm; k = 0,25 mm; t = 100 h				
b, mm	0,10	0,15	0,20	0,25
a <sub>c</sub> , mm	0,88	1,15	1,44	2,00
c = 3,5 mm; b = 0,1 mm; t = 1000 h				
k, mm	0,25	0,50	1,00	2,00
a <sub>c</sub> , mm	0,38	0,42	0,50	0,72





że zagrożenie inicjacją pęknięcia w rurze SDR17,6 ze szczeliną wzdłużną eksploatowaną w normalnych warunkach przy ciśnieniu  $p = 1$  MPa występuje dopiero dla głębokości szczeliny równej około 3 mm, natomiast po uprzednim pełzaniu tworzywa w temperaturze 23°C lub wyższej przez czas  $t = 10$  h i większe zagrożenie to może wystąpić dla znacznie płytszej szczeliny. Zagrożenie pękaniem złączy rur zgrzewanych doczołowo ze szczeliną eliptyczną wewnętrzną o półosi  $c = 3$  mm w normalnych warunkach przy ciśnieniu  $p = 1$  MPa występuje tylko po uprzednim pełzaniu tworzywa w temp. 23°C już po czasie pełzania  $t = 10$  h. Wymiar krytyczny  $a_c$  szczeliny w tych warunkach wynosi zaledwie około 1 mm. Po dłuższych okresach pełzania wartości wymiaru krytycznego  $a_c$  takiej szczeliny są jeszcze mniejsze. Podobnie duże zagrożenie występuje dla złącza rur SDR11 ze szczeliną eliptyczną wewnętrzną przy nominalnym ciśnieniu wewnętrznym  $p = 1,25$  MPa po pełzaniu zachodzącym w temperaturze 23°C przez 100 h. Wymiar krytyczny takiej szczeliny wynosi w tym przypadku tylko 0,9 mm.

Wartości wymiaru krytycznego  $a_c$  szczeliny eliptycznej wewnętrznej, przy których może nastąpić propagacja pęknięcia w złączu rur, zależą także od parametru złącza  $k$  (odległości rowka złącza od powierzchni rury) i położenia czoła szczeliny eliptycznej względem powierzchni złącza, tj. od parametru  $b$ . Ogólnie można stwierdzić, że ze wzrostem parametrów  $k$  i  $b$  wartość krytyczna szczeliny eliptycznej  $a_c$  wzrasta, co w praktyce oznacza zmniejszenie zagrożenia zainicjowania procesu pęknięcia złącza. Natomiast wzrost długości  $2c$  szczeliny eliptycznej zwiększa to zagrożenie (wartość  $a_c$  maleje).

Duże zagrożenie inicjacji pęknięcia w złączu z wewnętrzną szczeliną eliptyczną wzdłużną występuje po uprzednim pełzaniu tworzywa w temperaturze 40°C (nawet dla małej szczeliny  $c = 3$  mm) przy niewielkim czasie pełzania.

Ze względu na zagrożenie pękaniem rur ze szczeliną wzdłużną zewnętrzną zaleca się bezwarunkowo przestrzeganie zasady nieprzekraczania głębokości szczeliny powyżej  $0,1e$ .

Z uwagi na niebezpieczeństwo wystąpienia pęknięcia złączy rur z polietylenu zawierających wadę – szczelinę wzdłużną wewnętrzną eliptyczną, pracujących uprzednio w podwyższonych temperaturach, należałoby poddawać doczołowe złącza zgrzewane kontroli nieniszczącej np. metodą ultradźwiękową w celu wykrycia i pomiaru wielkości wady.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Baranowski W, Werner K., Analiza rozwoju pęknięć i lokalnego odkształcenia rur z polietylenu. *Polimery* 2013, 58, nr 1 s.51-58  
 [2] Katalog – Systemy ciśnieniowe PE-HD i PVC-U, Kartoszyño 2012, s. 4-11 i 22-32, www.pipelife.pl  
 [3] Sikora R., Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych, Wyd. Pol. Lubelskiej, Lublin 2006

- [4] Instrukcja Montażu – Układanie Rurociągów Z Polietylenu (PE) W Gruncie, Wyd. Spyra Primo Poland Sp. z o. o., Mikołów 2008  
 [5] Pusz A., Gazociągi z tworzyw sztucznych, Monografie, seria gazownictwo nr 2, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002  
 [6] Specyfikacja techniczna projektowania, budowy i odbioru sieci gazowej wyd.3. DSG-Wrocław, Zakład Gazowniczy Wałbrzych, 2005  
 [7] Wilczyński A., Mechanika polimerów w praktyce konstrukcyjnej, WNT, Warszawa 1984, s. 245-249  
 [8] Frącz W., Krywult B., Projektowanie i wytwarzanie elementów z tworzyw sztucznych, Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005  
 [9] Katalog informacyjny SIMONA tech. Info Engineering Manual for Piping System z 2010 roku  
 [10] Jasiulek P., Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2006  
 [11] Klimpel A., Spawanie i zgrzewanie tworzyw termoplastycznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000  
 [12] Norma ASTM D5045-93: Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastics Materials  
 [13] Handbook of Polymer Testing. Physical Methods – edited by R. Brown, Marcel Dekker, Inc., New York – Basel 1999  
 [14] Polymer Testing, Grellmann W., Seidler S. (Eds.), Publ. Carl Hanser Verlag, München 2007  
 [15] Polska Norma PN-EN ISO 1167-1:2006 Rury, kształtki i połączenia z termoplastycznych tworzyw sztucznych do przesyłania płynów – Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne – Część 1: Ogólna metoda, PKN, Warszawa 2006  
 [16] Polska Norma PN-EN ISO 1167-2:2006 Rury, kształtki i połączenia z termoplastycznych tworzyw sztucznych do przesyłania płynów – Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne – Część 2: Przygotowanie próbek do badań, PKN, Warszawa 2006  
 [17] Polska Norma PN-EN ISO 1167-4:2006 Rury, kształtki i połączenia z termoplastycznych tworzyw sztucznych do przesyłania płynów – Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne – Część 4: Przygotowanie zestawów, PKN, Warszawa 2007  
 [18] Neimitz A., Dzioba I., Graba M., Okrajni J., Ocena wytrzymałości trwałości i bezpieczeństwa pracy elementów konstrukcyjnych zawierających defekty, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2008, ss. 38-94 i 319-357  
 [19] Bessonov M.I., Kuvšinskij E.V., Ob osobennostjach rasvitiya treščin w tverdyh polimerach, *Fiz. Tverd. Tel.*, 1961, 3, 2, ss. 607-610  
 [20] Burdekin F.M., Stone D.E.W., The Crack Opening Displacement Approach to Fracture Mechanics in Yielding Materials, *Jour. of Strain Analysis*, 1966, 1, 2, ss. 145-153  
 [21] Sieci gazowe z PE, Informator techniczny. Wyd. Elplast, Jastrzębie Zdrój 2005  
 [22] Niezgodziński M.E., Niezgodziński T., Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe, wydanie 9, WNT, Warszawa 2007. s.171-172

Oddział Małopolski Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa w Krakowie organizuje II Konferencję Naukowo-Techniczną TECH-BUD 2015.

W tym roku Konferencja poświęcona będzie nowoczesnym materiałom, technikom i technologiom we współczesnym budownictwie. Konferencja odbędzie się 21-23 października 2015 roku w Krakowie.

Więcej informacji w numerze styczniowym.