

Odporność na ciśnienie hydrostatyczne oraz wymiarowanie dla PP-RCT, nowej klasy materiałów z polipropylenu do zastosowań w instalacjach hydraulicznych i grzewczych.

1. Informacje ogólne

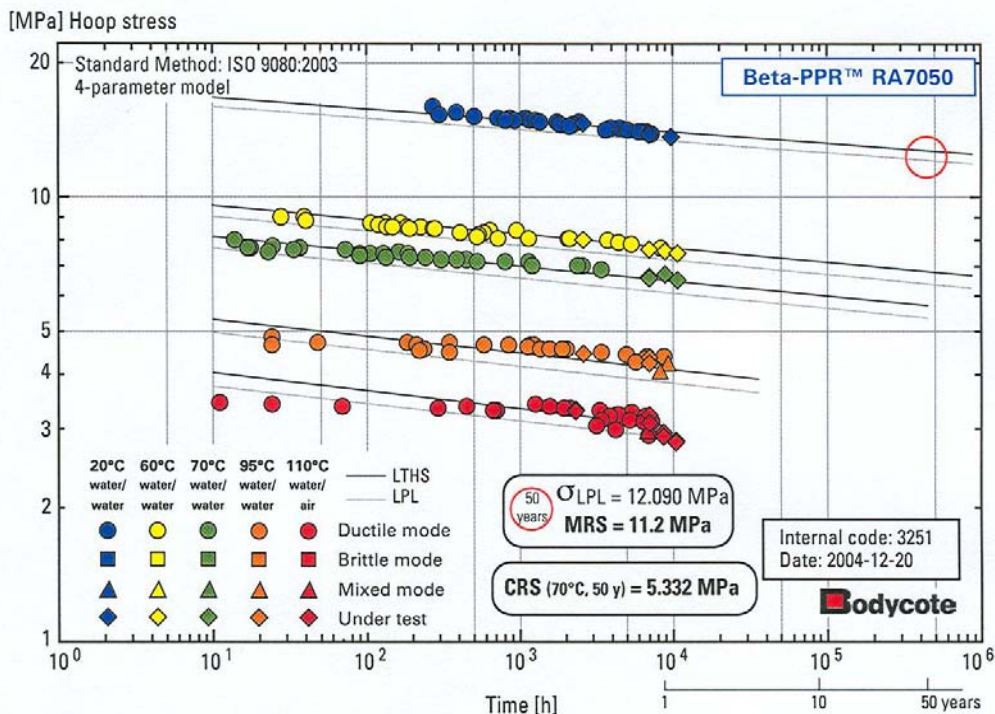
Firma Borealis opracowała nową generację materiału PP-R o nazwie handlowej Beta-PPR, która stanowi milowy krok w rozwoju systemów rur ciśnieniowych PP. Ta nowa generacja surowców otwiera drogę do nowej klasy materiałów: **PP-RCT**.

Oznaczenie jest zgodne z ISO 1043-1 i opisuje polipropylen-losowy-kopolimer o specjalnej krystalicznej morfologii i poprawionej odporności na temperaturę.

2. Krzywe referencyjne dla oczekiwanej wytrzymałości PP-RCT

Długofalową wytrzymałość hydrostatyczną Beta-PPR (PP-RCT) zbadano według metody opisanej przez ISO 9080. Badanie zostało wykonane przez szwedzki instytut Bodycote Polymer AB. Jego wyniki pokazuje Wykres 1.

[MPa] Naprężenia obwodowe
 Metoda standardowa: ISO 9080:2003
 Model 4-parametryczny



Czas [godziny]

20°C woda/woda
 60°C woda/woda
 70°C woda/woda
 95°C woda/woda
 110°C woda/powietrze

Tryb elastyczny
Tryb kruchy
Tryb mieszany
Próba

50 lat

Kod wewnętrzny: 3251
Data: 2004-12-20

Wykres 1: Odporność na ciśnienie hydrostatyczne Beta-PPR

Wynik badania stał się podstawą określenia krzywych referencyjnych dla nowej klasy materiałów PP-RCT. Krzywe referencyjne na wykresie 2 w zakresie temperatur od 10°C do 110°C wyliczono według poniższego równania:

$$\text{Log}(t) = C_1 + C_2 * \frac{1}{T} + C_3 * \text{Log}(\sigma) + C_4 * \frac{\text{Log}(\sigma)}{T}$$

z następującymi wartościami współczynników:

$$\begin{aligned} C_1 &= -119,546 \\ C_2 &= 52176,696 \\ C_3 &= 31,279 \\ C_4 &= -23738,797 \end{aligned}$$

3. Wymiarowanie przy użyciu PP-RCT

Krzywe referencyjne stanowią podstawę wymiarowania systemu rur w zależności od warunków roboczych. Norma EN ISO 15874 definiuje cztery różne klasy zastosowania w zależności od warunków roboczych:

- * Klasa 1: instalacja ciepłej wody użytkowej 60°C
- * Klasa 2: instalacja ciepłej wody użytkowej 70°C
- * Klasa 4: ogrzewanie podłogowe i grzejniki (radiatory) niskotemperaturowe
- * Klasa 5: ogrzewanie centralne, grzejniki (radiatory) wysokotemperaturowe

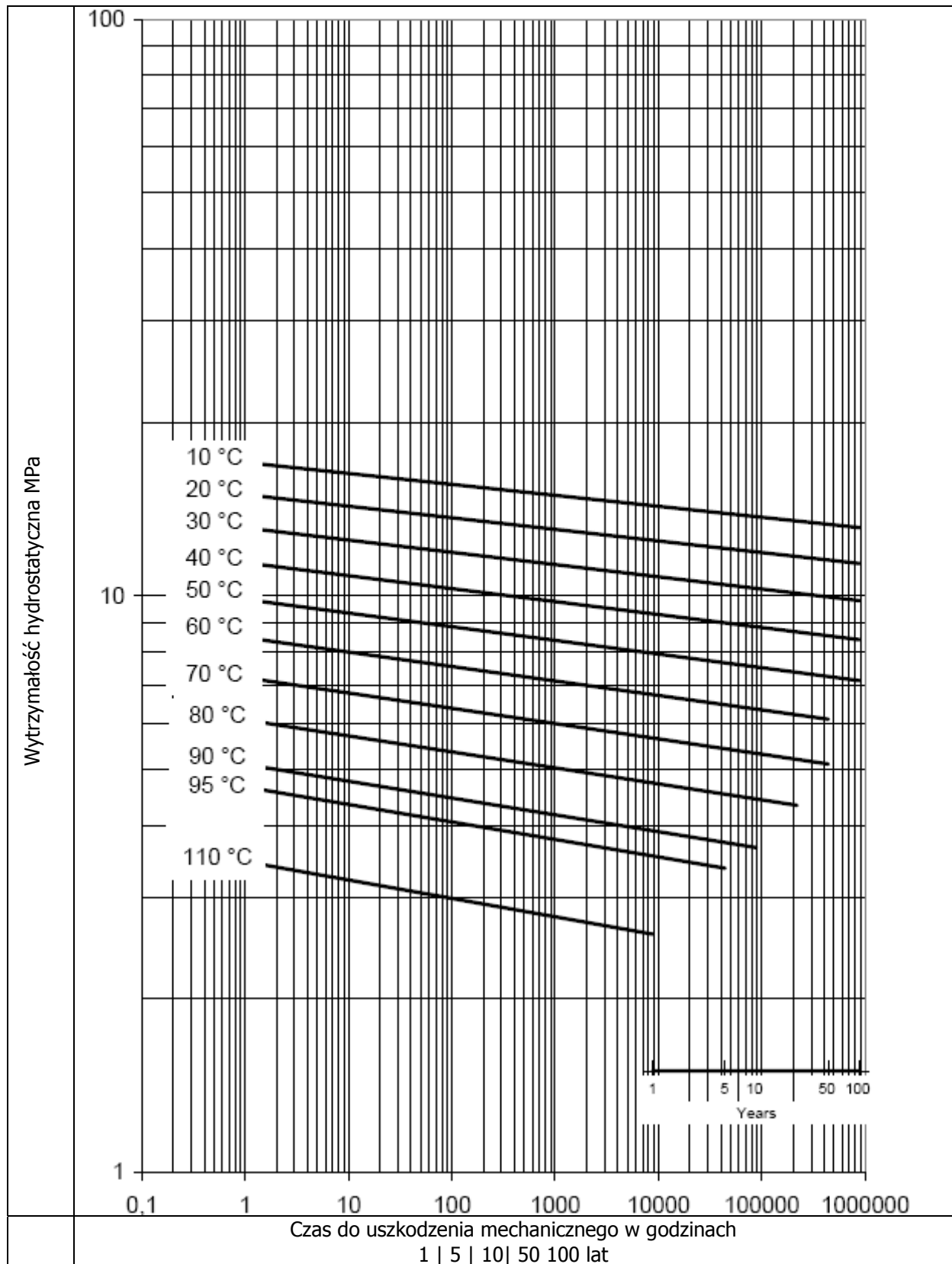
Pierwszym krokiem do otrzymania odpowiednich wymiarów rury jest obliczenie projektowanej wytrzymałości dla konkretnej klasy warunków roboczych (klasy zastosowania) za pomocą równania dla krzywych referencyjnych przy użyciu reguły Minera, zgodnie z ISO 13760 i biorąc pod uwagę wymagania odpowiedniej klasy oraz współczynniki robocze (współczynniki bezpieczeństwa, patrz Tabela 1).

Tabela 1: Ogólne współczynniki robocze (projektowe) (znane też jako współczynniki bezpieczeństwa) dla PP-RCT *

Temperatura	Ogólny współczynnik roboczy (projektowy)
T _{oper}	1,5
T _{max}	1,3
T _{mal}	1,0
T _{cold}	1,4

* współczynniki są takie same, jak dla standardowego PP-R

Obliczone wytrzymałości projektowe dla PP-RCT w porównaniu do standardowych dla PP-R są podane w Tabeli 2.



Wykres 2: Krzywe referencyjne dla oczekiwanej wytrzymałości PP-RCT

Tabela 2: Wytrzymałość projektowana dla PP-R oraz PP-RCT

Klasa zastosowania	Wytrzymałość projektowana [MPa]	
	PP-R	PP-RCT
1	3,09	3,63
2	2,13	3,40
4	3,30	3,67
5	1,90	2,92
20°C / 50 lat	6,93	8,24

Następnym krokiem do otrzymania odpowiednich wymiarów rury jest znalezienie maksymalnej obliczonej wartości rury $S_{calc,max}$. Wartość ta jest mniejszą wartością wytrzymałości projektowanej podzielonej przez projektowane ciśnienie, lub też wytrzymałości projektowanej przy 20°C w odniesieniu do okresu 50-letniego podzielonej przez ciśnienie projektowane 10 bar. Wartości $S_{calc,max}$ są podane w Tabeli 3.

Tabela 3: wartości $S_{calc,max}$ dla PP-RCT

Ciśnienie projektowane [bar] ^a	Klasa zastosowania			
	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 4	Klasa 5
	$S_{calc,max}$ ^b			
4	8,2 ^c	8,2 ^c	8,2 ^c	7,3
6	6,1	5,7	6,1	4,8
8	4,5	4,3	4,5	3,6
10	3,6	3,4	3,7	2,9

^a 1 bar = 10⁵ N/mm²
^b Wartości są zaokrąglone do pierwszego miejsca dziesiętnego
^c oparte o $\sigma_{cold} \div p_D$

Ostatnim krokiem jest wybranie wymaganego szeregu wymiarowego rur S w taki sposób, że S nie jest większe niż $S_{calc,max}$. Na przykład, dla instalacji wody gorącej o temperaturze 70°C (klasa zastosowania 2) przy ciśnieniu roboczym 10 bar wartość $S_{calc,max}$ wynosi 3,4. Zatem wymagany szereg wymiarowy rur S równa się 3,2. Rura w SDR 7,4 wykonana z PP-RCT może być wykorzystana do tych warunków roboczych (tzn. 32 x 4,4 mm). Przy standardowym PP-R wartość $S_{calc,max}$ dla tych warunków roboczych wynosi 2,1. W konsekwencji odpowiedni szereg wymiarowy rur S wynosi 2, co odpowiada rurom SDR 5 (tzn. 32 x 6,5mm).

Ten przykład wyraźnie pokazuje, że wymiarowanie PP-RCT pozwala na zmniejszenie kosztów oraz osiągnięcie optymalnej funkcjonalności elementów systemów hydraulicznych i grzewczych.

W niektórych krajach wymiarowanie nie opiera się na zestawie warunków roboczych zdefiniowanych w EN ISO 15874 (klasy zastosowań), ale na pojedynczej wartości wytrzymałości hydrostatycznej.

Na przykład, DVGW W544 w Niemczech jako podstawę do wymiarowania zaleca wartość krzywej referencyjnej 50 lat przy 70°C w połączeniu z ciśnieniem roboczym wynoszącym 10 barów oraz współczynnikiem bezpieczeństwa 1,5. Aby spełnić to wymaganie, dla standardowego PP-R należy użyć szeregu wymiarowego rur S=2 (SDR 5). Dopiero kiedy stała temperatura robocza jest obniżona do 67°C, można użyć szeregu wymiarowego rur S=2,5 (SDR 6).

Wykorzystując poniższe równanie, całkiem łatwo obliczyć wymaganą wartość naprężenia przy 70°C i po 50 latach dla szeregu wymiarowego rur S=3,2 (SDR 7,4) zgodnie z warunkami roboczymi według DVGW:

$$\sigma = p * S * S_F$$

σ = wartość naprężeń obwodowych
 p = ciśnienie robocze (10 bar = 1 MPa)
 S = szereg wymiarowy (S 3,2 = SDR 7,4)
 S_F = współczynnik bezpieczeństwa (1,5)

$$\sigma = 4,8 \text{ MPa}$$

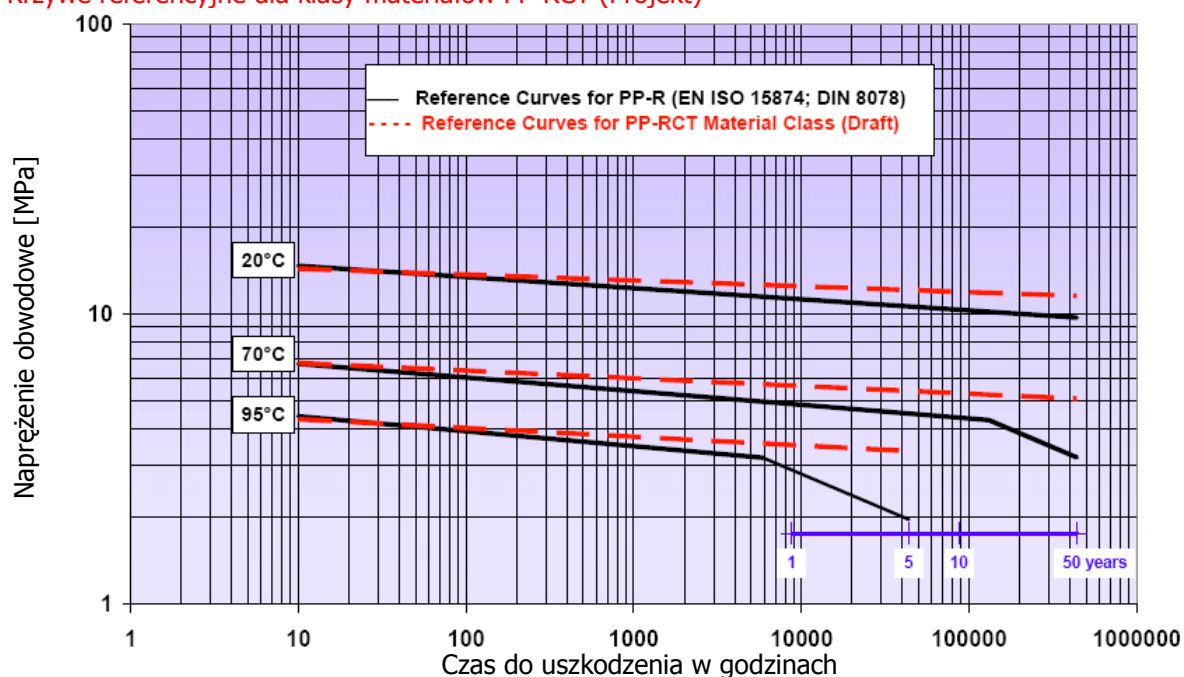
Wartość naprężenia obwodowego wynosząca 4,8 MPa przy 70°C i po 50 latach będzie zatem konieczna, aby użyć szeregu wymiarowego rur $S=3,2$ (SDR 7,4) w warunkach roboczych według DVGW. Można łatwo obliczyć z krzywej referencyjnej, że PP-RCT wykazuje wartość 5,1 MPa. To z kolei umożliwi użycie rur SDR 7,4 wykonanych z PP-RCT do instalacji w warunkach roboczych według DVGW zamiast rur SDR 6 wykonanych ze standardowego PP-R.

4. Porównanie PP-R i PP-RCT

Przy porównaniu krzywych referencyjnych PP-R i PP-RCT różnice są wyraźne (patrz Wykres 3). Krótkotrwała odporność ciśnieniowa PP-RCT jest na nieco niższym poziomie niż standardowego PP-R. Ponieważ jednak krzywa jest znacznie bardziej płaska, **odporność długotrwała jest na znacznie wyższym poziomie**. Odporność ta w długim czasie jest czynnikiem decydującym dla wymiarowania systemu rur. Co więcej, PP-RCT nie wykazuje punktów przegięć widocznych dla PP-R. Należy pamiętać, że odporność ciśnieniowa PP-RCT nie jest przesunięciem równoległym standardowego PP-R.

Krzywe referencyjne dla PP-R (EN ISO 15874; DIN 8078)

Krzywe referencyjne dla klasy materiałów PP-RCT (Projekt)



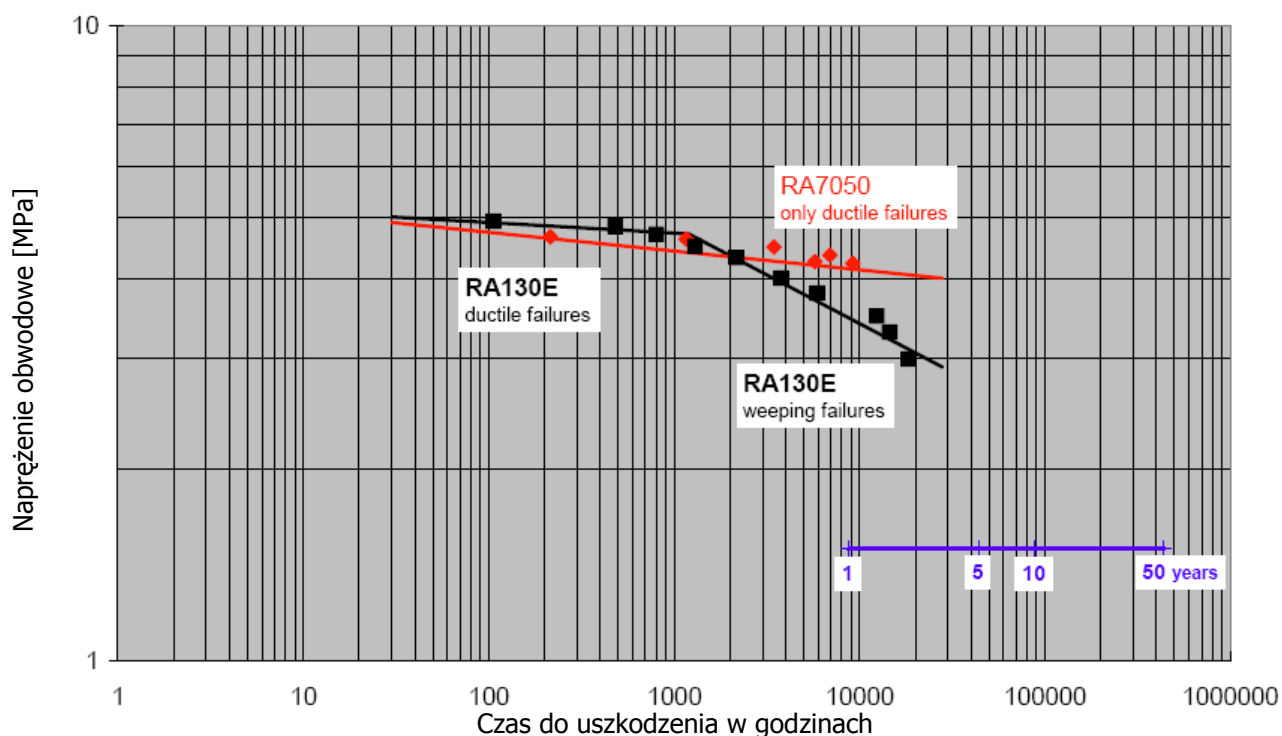
Wykres 3: Porównanie krzywych referencyjnych PP-R oraz PP-RCT

Odmienne zachowanie pod wpływem ciśnienia ma poważne konsekwencje dla kontroli jakości rur. Obecnie próby ciśnieniowe wykonuje się przy różnych temperaturach. Materiały muszą przetrwać dany minimalny okres do wystąpienia uszkodzenia. Wymagane poziomy naprężeń dla punktów kontroli jakości podane są w Tabeli 3 dla PP-R oraz PP-RCT. Dane te pokazują, że krótkotrwałe próby ciśnieniowe dla PP-RCT należy wykonywać na niższym poziomie naprężeń.

Tabela 3: Wymagane poziomy naprężeń dla danych okresów do wystąpienia uszkodzenia dla PP-R oraz PP-RCT

Warunki przeprowadzania próby	Wymagany poziom naprężeń [MPa]	
	PP-R	PP-RCT
20°C – 1 godzina	16	15
95°C – 22 godziny	4,3	4,2
95°C – 165 godzin	3,8	4,0
95°C – 1 000 godzin	3,5	3,8
110°C – 8 760 godzin	1,9	2,6

Odmienne zachowanie PP-R oraz PP-RCT pod ciśnieniem hydrostatycznym można zilustrować za pomocą rzeczywistych zmierzonych czasów do uszkodzenia dla standardowego PP-R (RA130E) oraz nowego materiału PP-RCT (Beta-PPR RA7050) firmy Borealis. Wykres 4 przedstawia porównanie czasów do uszkodzenia dla RA130E oraz Beta-PPR RA7050 przy 95°C, określonych przez szwedzki instytut Bodycote Polimer AB.



RA130 uszkodzenia elastyczne

RA130E uszkodzenia prowadzące do przecieku do warstwy zewnętrznej

RA7050 tylko uszkodzenia elastyczne

Wykres 4: Porównanie zachowania pod ciśnieniem hydrostatycznym Beta-PPR RA7050 oraz RA130E-8427 w temperaturze 95°C (dane pochodzą z badań własnych zgodnych z ISO 9080, przeprowadzonych przez Bodycote Polymer AB).

Wykres ponownie wykazuje, że krótkotrwałe zachowanie PP-RCT (naszego Beta-PPR RA7050) nie jest lepsze niż standardowego PP-R (naszego RA130E). Niestety, tylko ten zakres czasowy jest zwykle objęty próbami jakościowymi. Dopiero przy dłuższych czasach do uszkodzenia ujawnia się lepsza odporność Beta-PPR. W celu zweryfikowania lepszej odporności Beta-PPR należy przeprowadzić próby długotrwałe.

Oto kolejny błędny pogląd: aby zbadać, czy rury SDR 7,4 wykonane z PP-RCT wytrzymają wyższe wartości ciśnienia, muszą one wykazywać się czasami do uszkodzenia dla standardowego PP-R przy ciśnieniu próby wymaganym dla rur SDR 6. Na przykład, standardowy PP-R musi charakteryzować się czasem do uszkodzenia dłuższym niż 165 godzin, gdy próba przeprowadzana jest przy 95°C i naprężeniach obwodowych 3,8 MPa. Takie naprężenia obwodowe występują przy ciśnieniu wewnętrznym 15,6 bar dla rury SDR 6. Uważa się, że rura SDR 7,4 wykonana z PP-RCT musi wytrzymać takie samo ciśnienie 15,6 bar przez 165 godzin. Takie podejście jest niewłaściwe. Ciśnienie 15,6 bar przyłożone do rury SDR 7,4 powoduje naprężenia obwodowe na poziomie 4,8 MPa. Odnosząc się do krzywych referencyjnych można wykazać, że przy takim naprężeniu obwodowym PP-RCT charakteryzuje się czasem do uszkodzenia wynoszącym 0,36 godziny (tj. zaledwie 22 minuty). Przy takim podejściu należy spodziewać się bardzo krótkich czasów do uszkodzenia. Aby zbadać wytrzymałość Beta-PPR w najodpowiedniejszy sposób, należy przeprowadzić długotrwałe próby ciśnieniowe w oparciu o wymagania krzywych referencyjnych dla PP-RCT.

Reinhold Gard, Borealis AB

Serwis Techniczny i Rozwój Rynku

Tłumaczył Jerzy Pawlicki, Borealis Polska Sp. z o.o.