

5

Zastosowanie tworzyw sztucznych w wykonawstwie instalacji sanitarnych

Tomasz Adamiak¹

¹⁾ dr inż., Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka, Polska, ORCID ID: 0000-0001-9812-9782

Doi: 10.34658/9788367934923.5

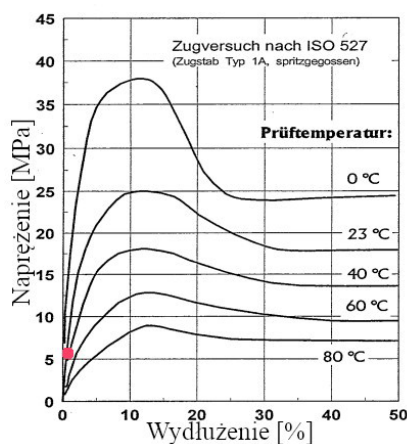
5.1. Wprowadzenie

Zmiany wymiarów i właściwości urządzeń zachodzące podczas eksploatacji mają istotne znaczenie na ich cechach funkcjonalno-użytkowych. Problem ten ma decydujące znaczenie przy projektowaniu elementów instalacji sanitarnych wykonanych z materiałów polimerowych. Tworzywa sztuczne wykazują bowiem dużą zmienność podstawowych właściwości mechanicznych wywołanych: stanem naprężeń, temperaturą i czasem pracy, oraz wpływem środowiska. Ogólne ujęcie tych zmian jest bardzo trudne do inżynierskiego opisu, gdyż wynika z jednoczesnego nakładania się czynników wewnętrznych wynikających ze składu i struktury materiałów (cech morfologicznych), i czynników zewnętrznych, spośród których na

podkreślenie zasługują zachodzące w czasie: zmiany temperatury, oddziaływanie mechaniczne i chemiczne otoczenia. Wspomniane trudności ze znalezieniem prostych (z perspektywy inżyniera praktyka) praw opisujących zachowanie materiałów skłoniły do wybiórczej analizy zachowań najważniejszych dla pracy danego urządzenia. Stąd wprowadzono pojęcia: pełzania, relaksacji naprężeń, starzenia, korozji itp., których intensywność rośnie z upływem czasu i temperatury.

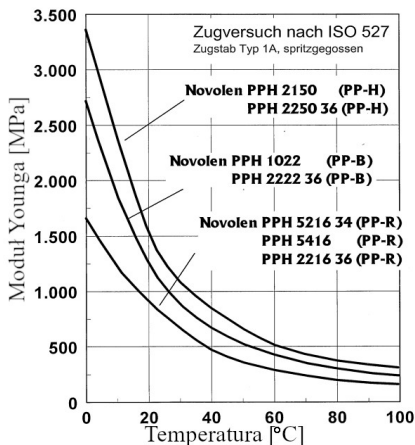
5.2. Polimery jako materiały konstrukcyjne

W krajowym wykonawstwie ciśnieniowych systemów rurowych instalacji sanitarnych od lat 90. ubiegłego stulecia dominują tworzywa z grupy poliolefinów. Wyparły one metalowych konkurentów doskonałą odpornością korozyjną w stosunku do wody i zawartych w niej typowych zanieczyszczeń, korzystną ceną oraz zaletami technologicznymi montażu. Mają jednak znaczące wady: niewielką wytrzymałość (rysunek 5.1), małą wartość modułu Younga (rysunek 5.2), wysoki współczynnik rozszerzalności liniowej. Po porównaniu z nimi podstawowych parametrów wytrzymałościowych stali niestopowej gatunku L235 według EN 10224 [1] wynoszących: granica plastyczności 235 MPa; wydłużenie przy zerwaniu 25%, a moduł Younga 3×10^5 MPa, właściwości mechaniczne polimerów wypadają wyjątkowo niekorzystnie.



Rys. 5.1. Wpływ zmiany temperatury na początkowy przebieg próby rozciągania (wydłużenie przy zerwaniu w temperaturze 23°C przekracza 700%) polipropylenu statystycznego

Źródło: opracowano na podstawie materiałów firmy Targor.



Rys. 5.2. Wpływ zmiany temperatury na moduł Younga przykładowych typów polipropylenu: homopolimeru (PP-H); kopolimeru blokowego (PP-B) i kopolimeru statystycznego (PP-R)

Źródło: opracowano na podstawie materiałów firmy Targor.

Dodatkowo, wszystkie podstawowe parametry wytrzymałościowe silnie zależą od temperatury (rysunki 5.1 i 5.2). Z perspektywy instalacji o szacowanej trwałości przekraczającej 50 lat najbardziej niepokojącą wadą jest znacznie większa wrażliwość na upływ czasu, oceniana przez pełzanie, relaksację naprężeń i starzenie. Zwłaszcza, że dopuszcza się występowanie temperatury ciągłej pracy dla piątej klasy zastosowania o wartości 90°C i awaryjnej aż 100°C [3, 4]. Są to temperatury bliskie temperaturze mięknięcia tworzyw. Przykładowo temperatura mięknięcia komercyjnych polipropylenów określona metodą Vicata mieści się w przedziale 110–145°C [5]. Czynniki te stanowią duże wyzwanie dla projektantów systemów instalacyjnych. Ich zlekceważenie może okazać się zgubne, szczególnie w stosunku do coraz popularniejszych połączeń zaprasowywanych. O ile niskie własności wytrzymałościowe łatwo skompensować przez zwiększenie grubości ścianki rury, odpowiednie prowadzenie instalacji, to znacznie trudniej ująć w zaleceniach projektowych czynniki reologiczne i degradacyjne.

Z tej przyczyny podstawową metodą określania przydatności systemów instalacyjnych jest badanie regresyjne. Obecnie wykonuje się je zgodnie z normą EN ISO 9080 [6]. Polega ono na ekstrapolacji wyników badań przeprowadzonych w wyższych temperaturach i ciśnieniach niż przewidywane podczas normalnej pracy, ale w krótszym czasie, zwykle nie przekraczającym jednego roku. Wyniki takich analiz są zamieszczane w normach wyrobów w postaci wzorów i graficznej. Wyznaczają one zdeterminowaną czasem wytrzymałość na ciśnienie wewnętrzne, wyrażone naprężeniem

obwodowym panującym w ścianie rury, nazwanym ciśnieniem hydrostatycznym określonym wzorem [6]:

$$\sigma = 10p \frac{(d - e)}{2e} \quad (5.1)$$

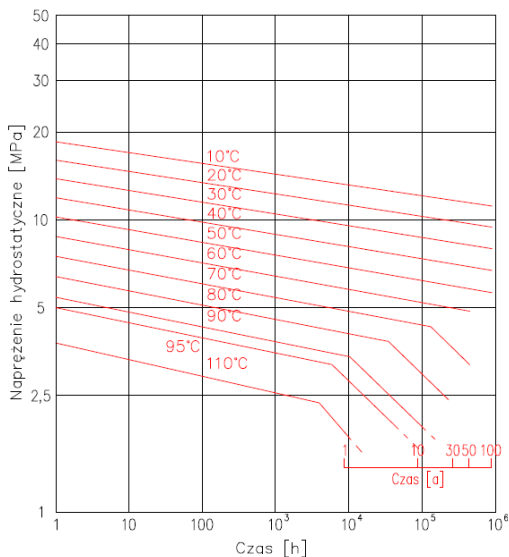
gdzie:

p – ciśnienie [bar];

d – średnica zewnętrzna rury [mm];

e – grubość ścianki rury [mm].

Przykładowy przebieg krzywych odniesienia dla kopolimeru statystycznego polipropylenu przedstawiono na rysunku 5.3.

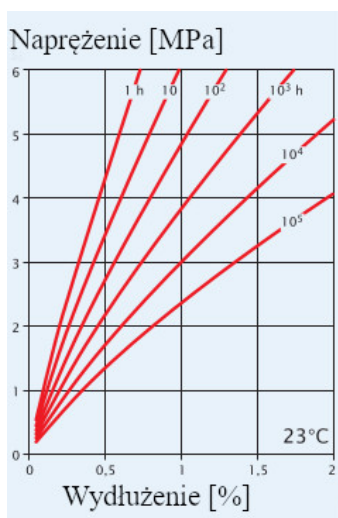


Rys. 5.3. Krzywe odniesienia dla oczekiwanych wytrzymałości dla kopolimeru statystycznego polipropylenu

Źródło: PN-EN ISO 15874-2:2013-06. Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody ciepłej i zimnej. Polipropylen (PP). Część 2: Rury.

W pierwszym okresie (płasko nachylona linia) mamy do czynienia ze zniszczeniem wywołanym czynnikami mechanicznymi. Zniszczenie ma charakter plastyczny. W drugim okresie pojawiającym się w wyższych temperaturach (bardziej stroma linia) dominuje czynnik chemiczny, przeważnie związany z oddziaływaniem tlenu [8]. Poprawność tej metody poświadcza praktyka związana z wielodziesięcioletnim stosowaniem. Wyniki tych analiz dają jednak jedynie informacje o przydatności tworzywa do wykonywania rur, jego odporności na czynniki mechaniczno-starzeniowe.

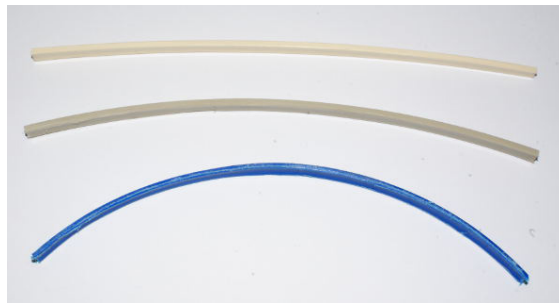
Istotna jest także świadomość, jak w elementach systemów instalacyjnych zmieniają się naprężenia i wydłużenia w trakcie ich pracy. Przyczyną dużej wrażliwości na te zjawiska jest budowa wewnętrzna polimerów. Posiadają one za wyjątkiem PVC, budowę krystaliczno-amorficzną. Obszary krystaliczne o swoistej dla poliolefinów strukturze otoczone są tłem amorficznym, w którym łańcuchy polimerów mogą się w miarę swobodnie przemieszczać, oczywiście ich ruchliwość wzrasta wraz z temperaturą. Oznacza to, że tworzywa sztuczne wykazują właściwości lepko-sprężyste, rola czynnika wiskotycznego wzrasta z upływem czasu i temperatury, co makroskopowo nazywamy pełzaniem i relaksacją naprężeń. Informacje o pełzaniu podaje się w formie modułu pełzania lub izochronu naprężenie-wydłużenie (rysunek 5.4).



Rys. 5.4. Izochrony kopolimeru blokowego polipropylenu

Źródło: opracowano na podstawie materiałów firmy Basell.

Na zachowanie polimerów istotny wpływ ma także proces produkcji. Rury wytwarzane są przez wytłaczanie. W trakcie formowania trudno zapewnić równomierne chłodzenie ścianki rury, co wywołuje powstanie naprężeń wewnętrznych i zmian morfologicznych, zachodzących po produkcji [5]. Stąd obserwuje się zmianę właściwości w elementach kondycjonowanych w temperaturze pokojowej [9]. Skutek występowania naprężeń szczątkowych można zobaczyć na rysunku 5.5. Przedstawia on paski wycięte wzdłuż tworzącej rury z najpopularniejszych stosowanych materiałów. Różnica w deformacji wynika także z innych modułów Younga tworzyw.



Rys. 5.5. Swobodne odkształcenie próbek w kształcie pasków wyciętych z rur 20×2. Patrząc od góry: PVC-C; PP-R i PE-HD

Źródło: materiały własne.

Na podstawie wcześniejszych badań [10] stwierdzono, że w rurach polipropylenowych następuje wzmocnienie, przejawiające się we wzroście wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne pracujących rur. Wzrost był tym większy im wyższa była temperatura pracy i naprężenia panujące w ściankach. Oczywiście to zachowanie można wydedukować patrząc na przebieg wykresu rozciągania (rysunek 5.1). Po przekroczeniu granicy plastyczności (fragment nie pokazany na rysunku) następuje płynięcie tworzywa, podczas którego powinno nastąpić przeorientowanie łańcuchów polimerowych.

Materiały polimerowe są niezwykle podatne na zmiany materiałami konstrukcyjnymi. Ich właściwości zmieniają się przez: dodanie czynników nukleujących, substancji wzmacniających, napęlniających, stabilizatorów, kopolimeryzację, rozkład i wielkości masy molowej, itp. [11]. To także

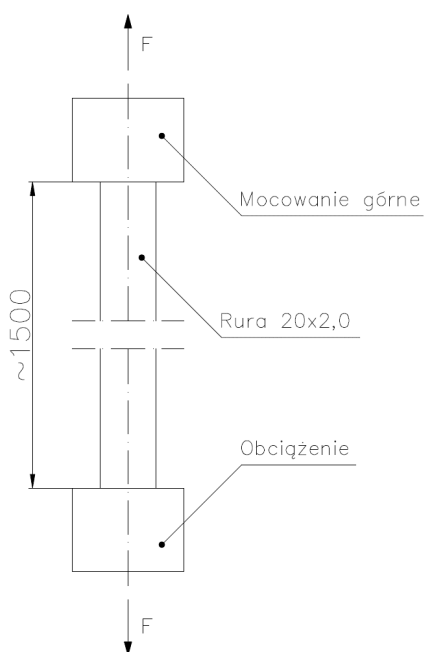
utrudnia poznanie ich właściwości, szczególnie podczas kosztownych badań związanych z czasem.

Jednym z podstawowych, i jednocześnie bardzo pożytecznych badań, jest badanie pełzania materiałów. Standardowo wykonuje się je na próbkach wiosełkowatych, wyniki mają jednak ograniczoną przydatność w odniesieniu do wyrobów formowanych w postaci rury. Badanie próbek wyciętych z rur dałoby lepszy obraz wpływu czynników produkcyjnych na finalny wyrób, problemem jest jednak pomiar wymiarów początkowych np. grubości ścianki.

5.3. Cel i program badań

Badaniom wyznaczono następujące cele:

- 1) Określenie pełzania wywołanego działaniem siły działającej w kierunku współosiowym w temperaturze pokojowej.
- 2) Sprawdzenie ewentualnego wpływu tego zjawiska na strukturę wewnętrzną polimeru i wytrzymałość hydrostatyczną rur.



Rys. 5.6. Stanowisko badawcze: a) próbka; b) widok stanowiska – próbki B i C

Źródło: materiały własne.

Badaniom poddano rurę z PP-R 20x2 klasy 1/6 bar. Zgodnie z normą przedmiotową EN 15874-2 [7] pola tolerancji wynoszą dla średnicy zewnętrznej $d=20+0,3$ mm, a grubości ścianki $e=2+0,4$ mm. Wykonano sześć próbek wyciętych z trzech rur (po dwie z każdej rury), pochodzących z tej samej partii produkcyjnej (identyczne: czas wytłaczania, tworzywo i wytłaczarka). Po jednym egzemplarzu z tych par (symbole próbek: A, B, C), o wymiarach przedstawionych na rysunku 5.6a, poddano pełzaniu na stanowisku przedstawionym na rysunku 5.6b, pozostałe posłużyły do określenia stanu bazowego. Wydłużenie związane z pełzaniem mierzono na odcinku pomiarowym o długości około 100 mm, znajdującym się w środkowych częściach próbek. Zmianę średnic zewnętrznych rur w trakcie pełzania wykonywano w środku odcinków pomiarowych. W celu uniknięcia wpływu zmian strukturalnych, mogących zachodzić w początkowym okresie po wytłoczeniu rur, były one kondycjonowane w temperaturze pokojowej przez 383 dni. Szczegółowe informacje o próbkach i przebiegu pełzania zamieszczono w tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Dane próbek i badań etapu I

Cecha	jednostka	Próbka A	Próbka B	Próbka C
Długość odcinka pomiarowego	mm	$L_{0A} = 100,00$	$L_{0B} = 100,35$	$L_{0C} = 99,15$
Średnica zewnętrzna	mm	$d_{0A} = 20,21$	20,14	$d_{0C} = 20$

Źródło: materiały własne.

Badanie podzielono na dwa etapy:

- ETAP I – Pełzanie:

Pełzanie rur rozciąganych zawieszonym ciężarem o wartości 653,3 N. Ta siła w odniesieniu do przekroju nominalnego wywoływała naprężenie rozciągające $\sigma = 5,78$ MPa (czerwona kropka na rysunku 5.1), które odpowiadało ciśnieniu hydrostatycznemu $p = 12,84$ bar (wzór 5.1). Czas trwania obciążenia wyniósł dla poszczególnych próbek: $t_{AP} = 6094^{\text{h}26^{\text{min}}}$; $t_{BP} = 6094^{\text{h}28^{\text{min}}}$; $t_{CP} = 6094^{\text{h}29^{\text{min}}}$. Po usunięciu obciążenia rejestrowano zmiany wymiarów zachodzące podczas rozprężenia przez czas: $t_{AP} = 861^{\text{h}0^{\text{min}}}$; $t_{BP} = 860^{\text{h}45^{\text{min}}}$; $t_{CP} = 860^{\text{h}28^{\text{min}}}$. Temperatura podczas badań wahała się w zakresie $18 \div 23,5^{\circ}\text{C}$. Pomiaru długości odcinka pomiarowego wykonywano suwmiarką z dokładnością odczytu

0,05 mm, a średnicy zewnętrznej mikrometrem o dokładności odczytu 0,01 mm. Niepewność pomiaru wywołana wahaniami temperatury nie przekraczała przy pomiarze długości odcinka pomiarowego 0,04 mm, średnicy 0,008 mm,

- ETAP II – Próba wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne:

Po wykonanym pełzaniu z każdej badanej próbki wycięto po dwie próbki do badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne zgodne z EN ISO 1167-2 [12] o długości $L=250$ mm. Próbki oznaczono symbolami X0Y, gdzie X symbol próbki (A, B lub C), Y kolejny numer próbki. Próbki wycięto z różnych miejsc rozciąganej rury. Także po dwie próbki wycięto z pozostałych, nie poddanych badaniu pełzania, fragmentów rur. Oznaczono je symbolami X1Y (znaczenie liter X i Y jak wyżej). Badania przeprowadzono na urządzeniu służącym do oznaczania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne zgodne z EN ISO 1167-1 [13], mocując w uchwytach typu A. Próbki przed badaniem były kondycjonowane przez godzinę. Temperatura kąpeli wynosiła $23^{\circ}\text{C}^{+0,5}_{+0,1}$. Odstęp czasu do określenia wytrzymałości na wewnętrzne ciśnienie hydrostatycznego wyniósł 74 dni (włącznie z etapem rozprężania trwającym 36 dni). Próbę wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne wykonano w środowisku „woda-woda”. Szybkość przyrostu ciśnienia wynosiła 26 [bar/min].

5.4. Wyniki analizy

Zmianę wydłużenia względnego w trakcie badania, zarówno podczas obciążania, jak i rozprężania, przedstawiono na rys 5.7. Wydłużenie względne obliczono przy pomocy wzoru:

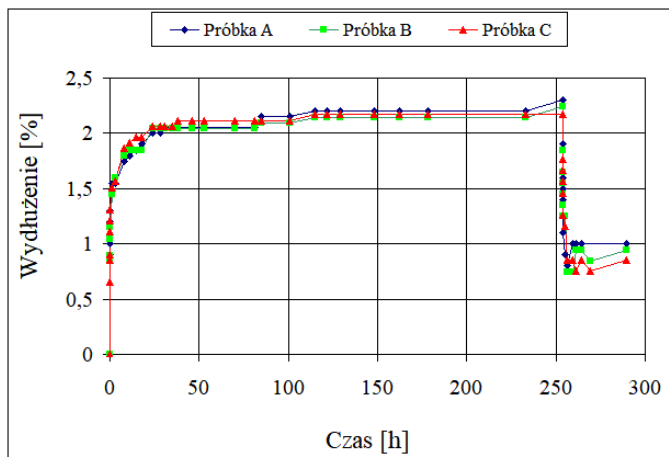
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (5.2)$$

gdzie:

Δl – przyrost długości [mm];

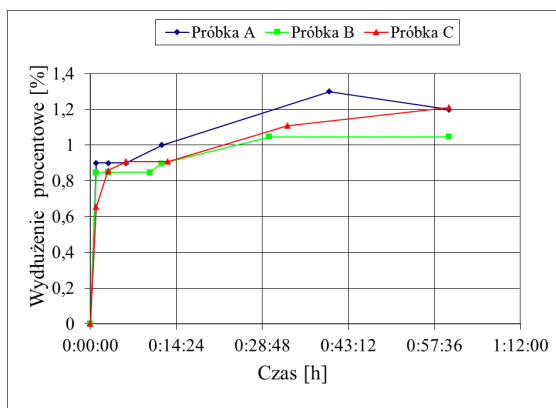
l_0 – długość początkowa próbki [mm];

l – długość [mm].

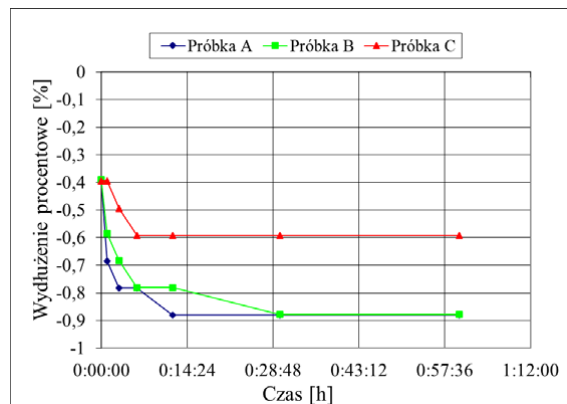


Rys. 5.7. Zmiana wydłużenia procentowego (względne) w trakcie obciążania i rozprężania próbek
Źródło: materiały własne.

Przebieg krzywych pokazanych na rysunku 5.7 przedstawia klasyczny obraz pełzania, w początkowym okresie gwałtowny wzrost spowodowany wydłużeniem sprężystym z uwidaczniającym się później wydłużeniem plastycznym (rysunek 5.8). Podobnie zachowywały się próbki podczas rozprężania (rysunek 5.9), chociaż zmiany wymiarów zachodziły z mniejszą prędkością. Wartości wydłużenia w charakterystycznych momentach badania przedstawiono w tabeli 5.2.



Rys. 5.8. Zmiana wydłużenia procentowego w trakcie godziny obciążania
Źródło: materiały własne.



Rys. 5.9. Zmiana wydłużenia procentowego w trakcie godziny rozprężania

Źródło: materiały własne.

Tabela 5.2. Zmiany wymiarów podczas pełzania i rozprężania w charakterystycznych momentach czasowych

Moment badania	Wydłużenie odcinka pomiarowego (czas rzeczywisty pomiaru)			Względna zmiana średnicy zewnętrznej		
	[%]			[%]		
	Próbka A	Próbka B	Próbka C	Próbka A	Próbka B	Próbka C
Pierwsze pięć minut	0,90 0 ^h 6 ^{min}	0,85 0 ^h 3 ^{min}	0,91 0 ^h 6 ^{min}	-0,25	-0,25	-0,35
Pierwszy kwadrans	1 0 ^h 12 ^{min}	0,90 0 ^h 12 ^{min}	0,91 0 ^h 13 ^{min}	-0,30	-0,25	-0,40
Pierwsze pół godziny	1,3 0 ^h 40 ^{min}	1,3 0 ^h 30 ^{min}	1,11 0 ^h 33 ^{min}	-0,35	-0,30	-0,45
Godzina	1,2 1 ^h 0 ^{min}	1,05 1 ^h 0 ^{min}	1,21 1 ^h 0 ^{min}	-0,35	-0,35	-0,45

Koniec obciążania	2,3 6094 ^h 16 ^{min}	2,2 6094 ^h 28 ^{min}	2,2 6094 ^h 29 ^{min}	-1,04	-0,99	-1,09
Pierwsze pięć minut*	-0,78 0 ^h 6 ^{min}	-0,78 0 ^h 6 ^{min}	-0,59 0 ^h 6 ^{min}	0,45	0,35	0,40
Pierwszy kwadrans*	-0,88 0 ^h 12 ^{min}	-0,78 0 ^h 12 ^{min}	-0,59 0 ^h 12 ^{min}	0,55	0,35	0,40
Pierwsze półgodziny*	-0,88 0 ^h 30 ^{min}	-0,88 0 ^h 30 ^{min}	-0,59 0 ^h 30 ^{min}	0,45	0,40	0,40
Godzina*	-0,88 1 ^h 00 ^{min}	-0,88 1 ^h 00 ^{min}	-0,59 1 ^h 00 ^{min}	0,45	0,40	0,45
Koniec rozprężania*	-1,270 861 ^h 00 ^{min}	-1,270 860 ^h 45 ^{min}	-1,28 860 ^h 28 ^{min}	0,75	0,75	0,80

*odniesione do wymiarów (długość odcinka pomiarowego i średnica) w chwili zakończenia obciążania; czas mierzony od początku rozprężania

Źródło: materiały własne.

Czas i ciśnienie rozrywające próbki, oraz klasyfikację zniszczenia przedstawiono w tabeli 5.3 i na rysunku 5.10. Medianę ciśnienia rozrywającego, czasu zniszczenia i ich odchyłeń standardowych dla próbek poddanych pełzaniu (X0Y) i odniesienia (X1Y) przedstawiono w tabeli 5.4 (obliczenia przeprowadzono w aplikacji Excel). Analizując wyniki trudno stwierdzić wpływ badania na wytrzymałość na rozrywanie rur lub zmiany w strukturze są na tyle subtelne, że aby je potwierdzić należałoby wykonać badania na większej populacji. Także wygląd pęknięć nie pozwala na korelację ich kształtu z wcześniej przeprowadzonym pełzaniem. Oceniając wygląd pęknięć można stwierdzić, że dominuje zniszczenie o charakterze plastycznym. W dwóch próbkach: A01 (rysunek 5.11) i A11 widoczne jest także drugie pęknięcie we wczesnym etapie powstawania (rysunek 5.11b). Charakter pęknięć w tych dwóch próbkach określono mianem:

plastyczno-podwójne. Różnią się one jednak kształtem pęknięcia, w próbce A01 ma ono silnie powywijane krawędzie, natomiast w próbce A11 są one proste. W większości pozostałych próbek zauważamy zniszczenia o charakterze plastycznym, ale o słabo zaznaczonych deformacjach krawędzi. Przykładowy wygląd i charakter zmian ciśnienia podczas próby wytrzymałości na ciśnienie przedstawiono na rysunku 5.12. W trzech próbkach (A12; B01; C11) pęknięcia są wąskie, ich krawędzie praktycznie nie wykazują śladów silnych deformacji plastycznych w ostatnim okresie płynięcia materiału – określono je mianem plastyczno-kruchym. Charakter procesów zachodzących w trakcie odkształcenia i formowania pęknięcia widać także na wykresach przedstawiających zależności ciśnienia od jego przyrostu. W przypadku pęknięć plastycznych podwójnych zaobserwować można silne wahania ciśnienia, które zanikają przed momentem pęknięcia próbki (rysunek 5.11c). W przypadku zniszczenia „plastycznego” wahania o mniejszej amplitudzie kończą krzywą zmiany ciśnienia (rysunek 5.12b). Najbardziej wygładzoną krzywą zmiany ciśnienia zaobserwować można w przypadku próbek o zniszczeniu „krucho-plastycznym” (rysunek 5.13). Przypuszczalną przyczyną wahań ciśnienia jest proces płynięcia materiału, wywołany naprężeniami plastycznymi.

Tabela 5.3. Zależność ciśnienia rozrywającego od czasu oraz charakteru pęknięcia

Nr próbki	Długość pęknięcia	Max szerokość pęknięcia	Ciśnienie rozrywające	Czas zniszczenia	Charakter pęknięcia
[-]	[mm]	[mm]	[bar]	[s]	[-]
A01	8,5	6,5	67,26	163,4	Plastyczne podwójne
A02	17	2	66,64	160,85	Plastyczne
A11	18,5	1,5	66,64	159,47	Plastyczne podwójne
A12	20	0,5	66,38	153,75	Plastyczne-kruche
B01	21	1	67,39	164,35	Plastyczne-kruche
B02	22	2	67,26	161,25	Plastyczne
B11	17	2	65,04	153,91	Plastyczne

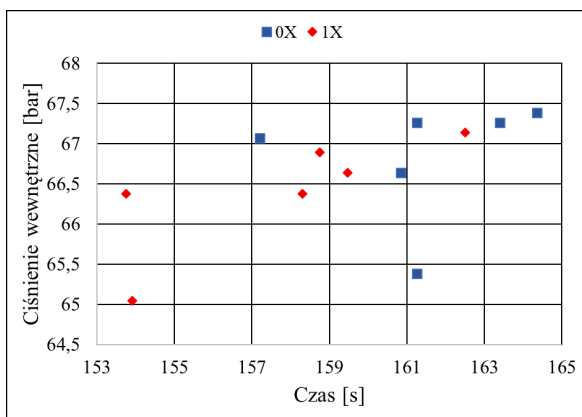
B12	14	2	66,38	158,3	Plastyczne
C01	16,5	3	65,38	161,25	Plastyczne
C02	13	2	67,07	157,2	Plastyczne
C11	14	1	66,89	158,75	Plastyczne- -kruche
C12	16,5	4	67,14	162,5	Plastyczne

Źródło: materiały własne.

Tabela 5.4. Mediany i odchylenia standardowe ciśnień rozrywających i czasu zniszczenia

Typ próbek	Mediana ciśnienia niszczącego	Odchylenie standardowe ciśnienia niszczącego	Mediana czasu rozerwania	Odchylenie standardowe czasu rozerwania
	[bar]	[bar]	[s]	[s]
Poddane pełzaniu X0Y	67,17	0,7589	161,25	2,4774
Odniesienia (nie poddane pełzaniu)	66,51	0,7342	158,53	3,3930

Źródło: materiały własne.



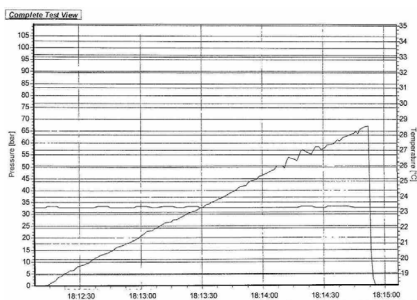
Rys. 5.10. Zależność ciśnienia zniszczenia od czasu jego wystąpienia

Źródło: materiały własne.

a)



c)



b)



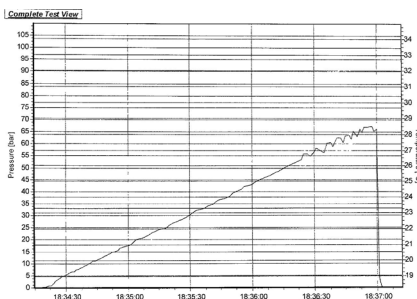
Rys. 5.11. Wygląd zniszczenia i przebieg zmian ciśnienia podczas badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbki A01

Źródło: opracowanie własne.

a)



b)



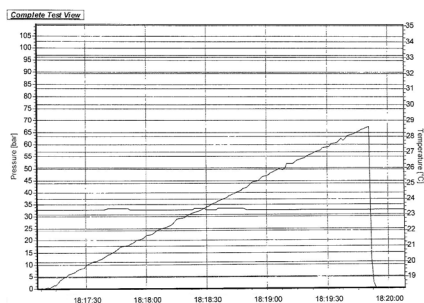
Rys. 5.12. Wygląd zniszczenia i przebieg zmian ciśnienia podczas badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbki B02

Źródło: opracowanie własne.

a)



b)



Rys. 5.13. Wygląd zniszczenia i przebieg zmian ciśnienia podczas badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbki B01

Źródło: opracowanie własne.

5.5. Podsumowanie

Wydłużenie stałe (plastyczne) po przeprowadzonych badaniach osiągnęło wartość $0,85 \div 1,0$ mm. Wydłużeniu osiowemu towarzyszyło zmniejszenie średnicy zewnętrznej o około 0,2 mm. Nie zaobserwowano wpływu pełzania na strukturę wewnętrzną wywołującą zjawisko anizotropii. Przyczyną mogą być: zbyt niskie naprężenie rozciągające, zbyt niska temperatura badania, zbyt mała populacja próbek. Interesujące byłoby porównania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne rur rozciąganych, jak w opisywanym badaniu, i poddanych ciśnieniu wewnętrznemu (naprężenia obwodowe są głównymi). Mogłoby to dać większe różnice w deformacjach struktury wewnętrznej wywołanych naprężeniami. Należy podtrzymać zakaz przekraczania wartości ciśnienia próby szczelności instalacji. Zmiany wymiarowe wywołane pełzaniem mogą stanowić utrudnienia montażowe przy pracach remontowych i przebudowach istniejących instalacji – problem może dotyczyć szczególnie połączeń mechanicznych.

Bibliografia

- [1] PN-EN 10224:2006. Rury i złączki ze stali niestopowej do transportu wody i innych płynów wodnych. Warunki techniczne dostawy.
- [2] Materiały firmy Targor.
- [3] ISO 10508:2006. Plastics piping systems for hot and cold water installations. Guidance for classification and design.
- [4] PN-EN ISO 15874-1:2013-06. Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody ciepłej i zimnej. Polipropylen (PP). Część 1: Postanowienia ogólne.
- [5] Materiały firmy Basell.
- [6] PN-EN ISO 9080:2013-04. Systemy przewodów rurowych i rur osłonowych z tworzyw sztucznych. Oznaczanie przez ekstrapolację długotrwałej wytrzymałości hydrostatycznej materiałów termoplastycznych w postaci rur.
- [7] PN-EN ISO 15874-2:2013-06. Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody ciepłej i zimnej. Polipropylen (PP). Część 2: Rury.
- [8] Andersson U., *Which factors control the lifetime of plastic pipes and how the lifetime can be extrapolated*, Proceedings of Plastics Pipes XI, IOM Communications, London–Munich 2001, s. 3-6.
- [9] PN-EN ISO 899-1:2017-12. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie charakterystyki pełzania. Część 1: Pełzanie przy rozciąganiu.
- [10] Adamiak T., Grzywacz M., Jerominko T., *Wpływ obciążeń cieplno-mechanicznych na wytrzymałość rur z polipropylenu statystycznego PP-R.*, „Instal” 2010, nr 12, s. 37–40.
- [11] Domininghaus H., *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*, Verlag Springer, Berlin–Heidelberg 1998.
- [12] PN-EN-ISO 1167-2: 2007. Rury, kształtki i zestawy z termoplastycznych tworzyw sztucznych do przesyłania płynów. Oznaczanie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne. Część 2: Przygotowanie próbek do badań w postaci rur.
- [13] PN-EN-ISO 1167-1:2007. Rury, kształtki i zestawy z termoplastycznych tworzyw sztucznych do przesyłania płynów. Oznaczanie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne. Część 1: Metoda ogólna.