



Analiza porównawcza zjawiska uderzenia hydraulicznego przewodach wykonanych z różnych materiałów.

Apoloniusz Kodura

apoloniusz.kodura@pw.edu.pl

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek
z Tworzyw Sztucznych





Plan prezentacji

Przepływy nieustalone jako przykład stanu obciążenia wyjątkowego.

Zjawisko uderzenia hydraulicznego

Uderzenie hydrauliczne w przewodach wykonanych z różnych materiałów – przykładowe wartości

Wnioski





Rurociągi ciśnieniowe

Konstrukcje liniowe, zlokalizowane w miejscach trudno-dostępnych dla eksploatacji

Bardzo wymagające warunki pracy obiektów ze względu na obciążenia

Transportowane medium jest wymagające dla obiektów

Medium o specyficznych cechach charakterystycznych – ciągłość transportu, trudne do określenia warunku brzegowe

Zmienne warunki pracy – od minimalnych po maksymalne przepływy – obciążenia dynamiczne





Warunki technologiczno-hydrauliczne

Warunki brzegowe

Funkcjonalność

Stany pracy

Normalny

Remontowy

Wyjątkowy

Awaryjny





Obciążenia wyjątkowe

Konieczność przeciążenia systemu podczas prac remontowych urządzeń zewnętrznych

Krótkotrwała zmiana warunków brzegowych wynikająca z czynników zewnętrznych





Uderzenie hydrauliczne



Przyczyna – nagła zmiana prędkości przepływu, prowadząca do ujawnienia się energii sprężystej cieczy

Wyłączenie/załączenie pompy

Manewrowanie zamknięciami

Awarie zamknięć



Uderzenie hydrauliczne

Gwałtowne zmiany ciśnienia w przewodzie wywołane szybkimi zmianami prędkości

Zmiany ciśnienia rozprzestrzeniają się w postaci fali ciśnienia

Wymagane jest uwzględnienie sprężystości cieczy (ściśliwości) i ścian przewodu.

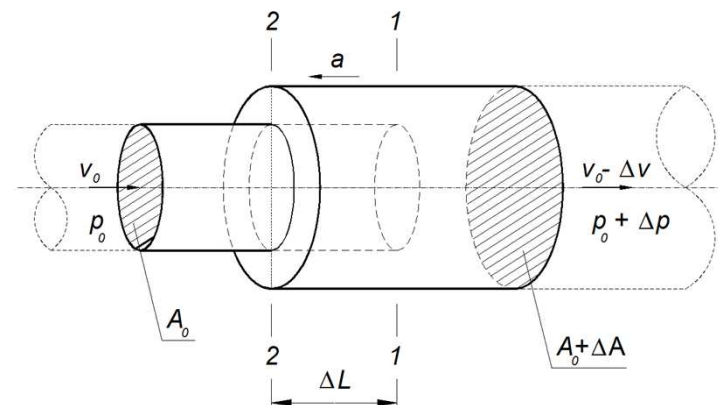
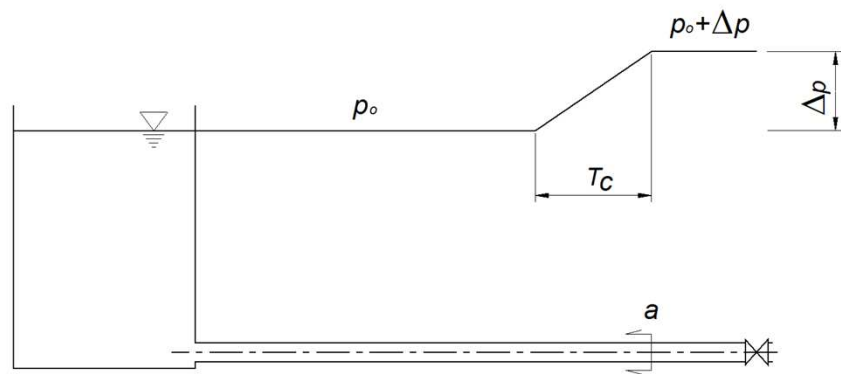
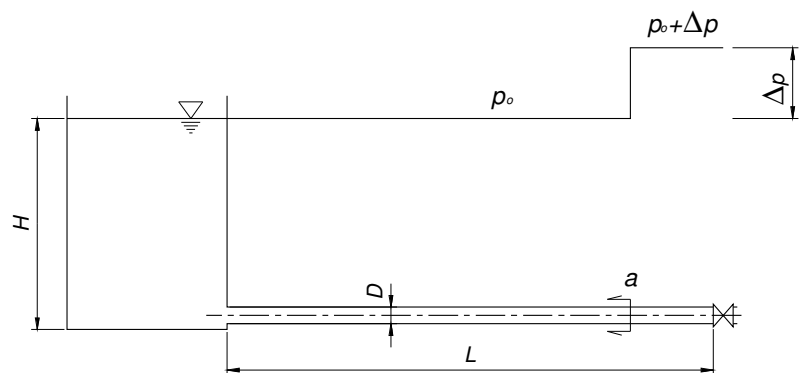
Przyczyna – nagła zmiana prędkości przepływu, prowadząca do ujawnienia się energii sprężystej cieczy (zjawisko przebiega zdecydowanie inaczej w cieczy niż w gazach)

Uderzenie dodatnie – przyrost ciśnienia w pierwszej fazie, wywołany zmniejszeniem prędkości (np. przemykanie zaworu)

Uderzenie ujemne – spadek ciśnienia w pierwszej fazie, wywołany wzrostem prędkości (np. otwarcie zaworu)



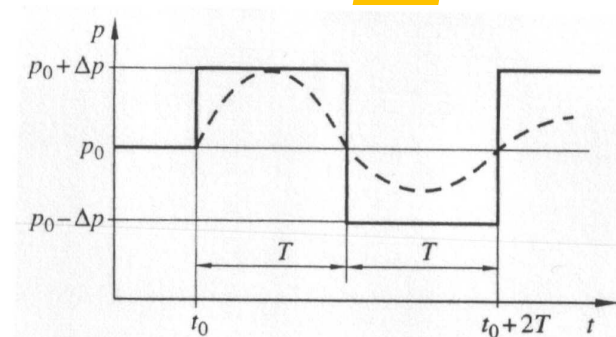
Uderzenie hydrauliczne



$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot \Delta v$$

$$a = 2 \cdot L / T_R$$

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{D}{e} \cdot \frac{K}{E}}}$$





Uderzenie hydrauliczne – skutki

Obciążenia dynamiczne

Zmęczenie materiału

Krótkotrwałe przeciążenia

Zagrożenie kawitacją nieustalona

Uszkodzenia rurociągów – rozszczelnienie
i niekontrolowane wycieki

Uszkodzenia elementów armatury

Uszkodzenia i awarie pomp

Uszkodzenia połączeń materiałowych w rurociągach – ważny
prawidłowy dobór materiałów

*Przeciwdziałanie – metody dostosowane do konkretnych
rozwiązań materiałowych*



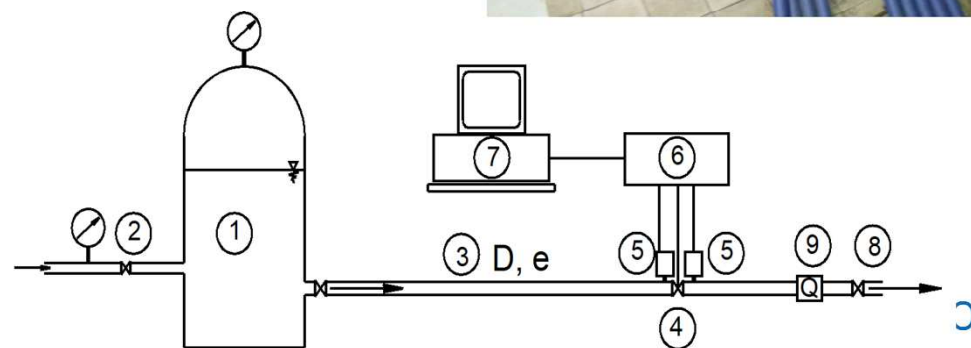


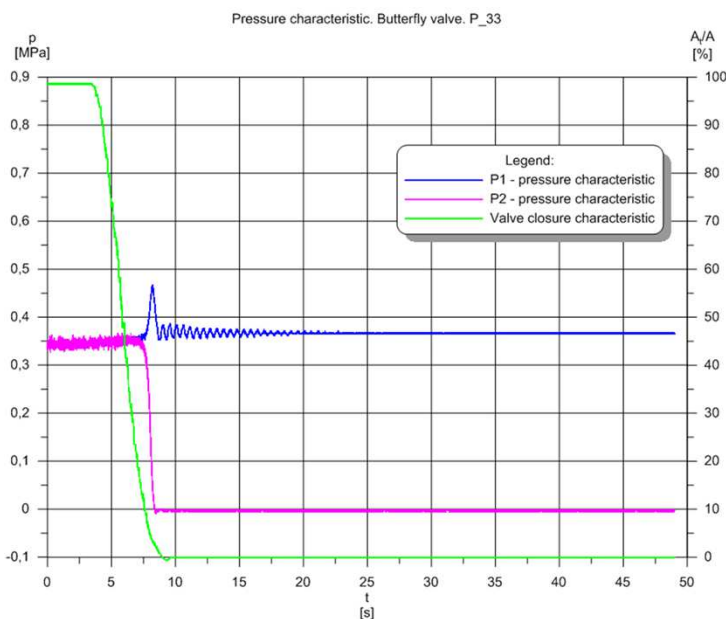
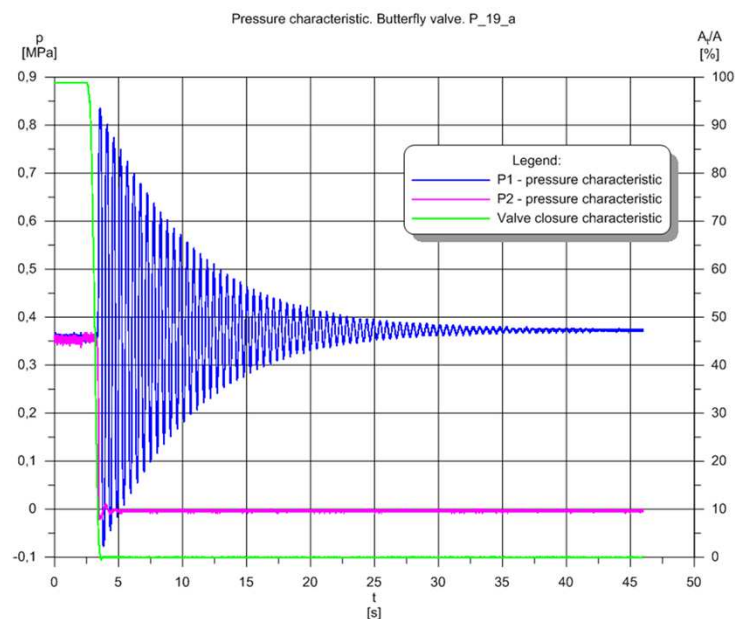
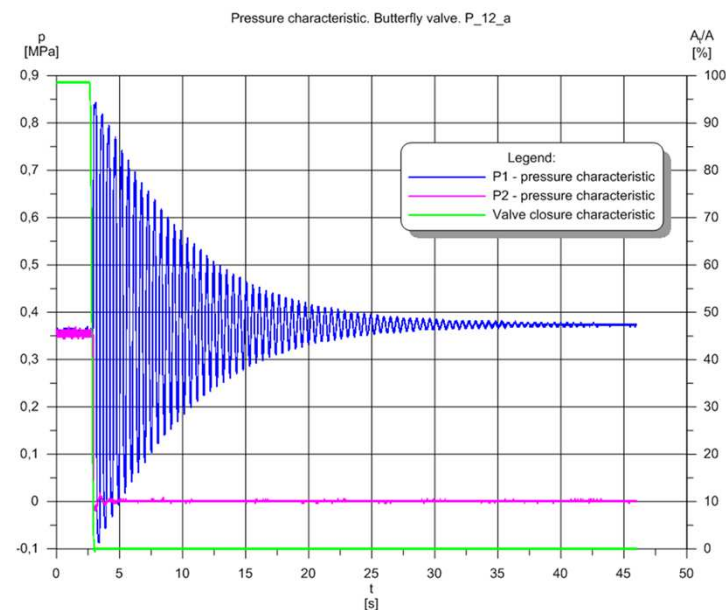
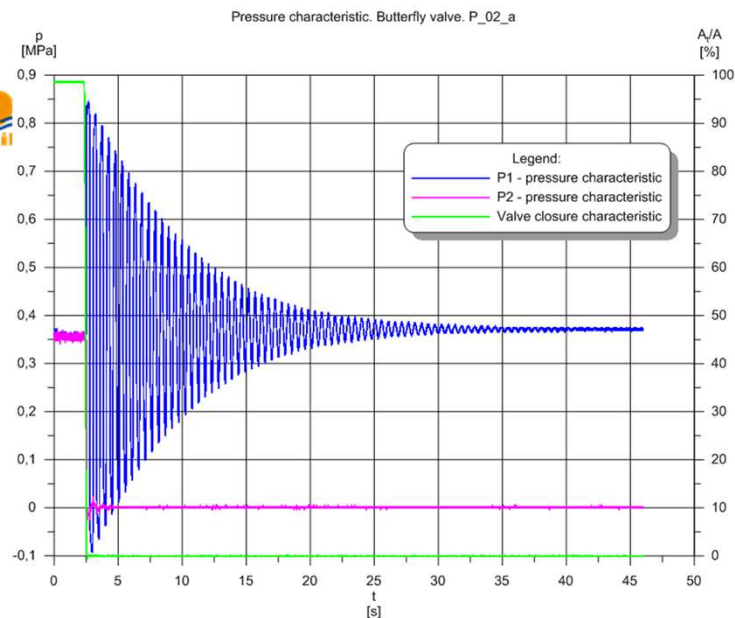
Uderzenie hydrauliczne – eksperymenty

Przewód stalowy i HDPE

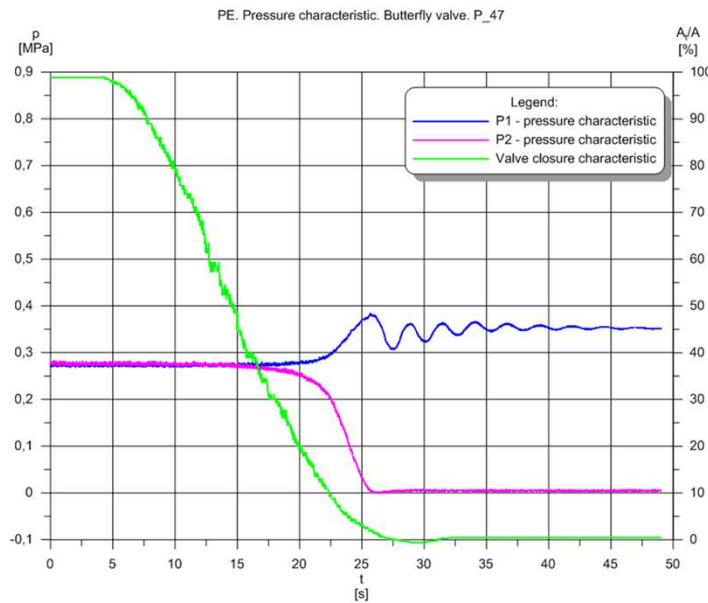
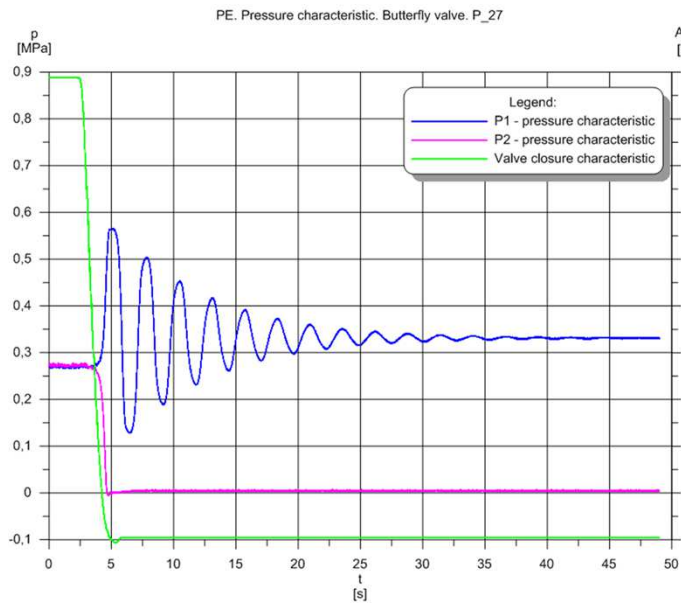
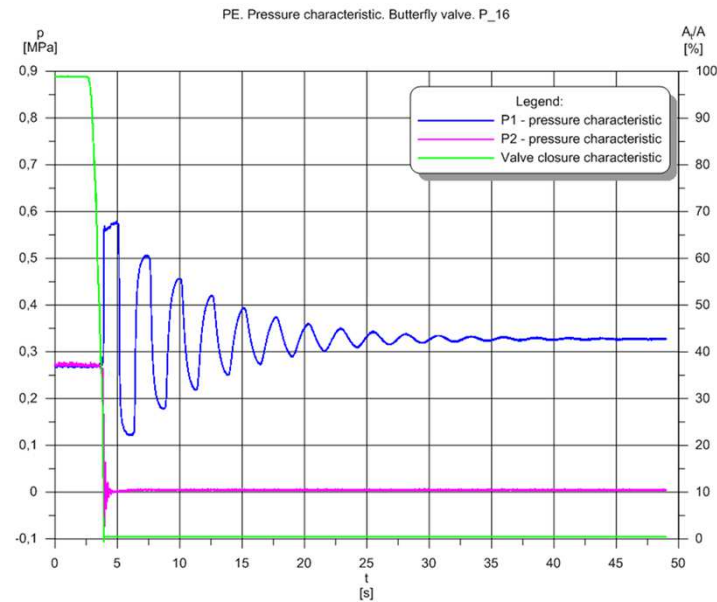
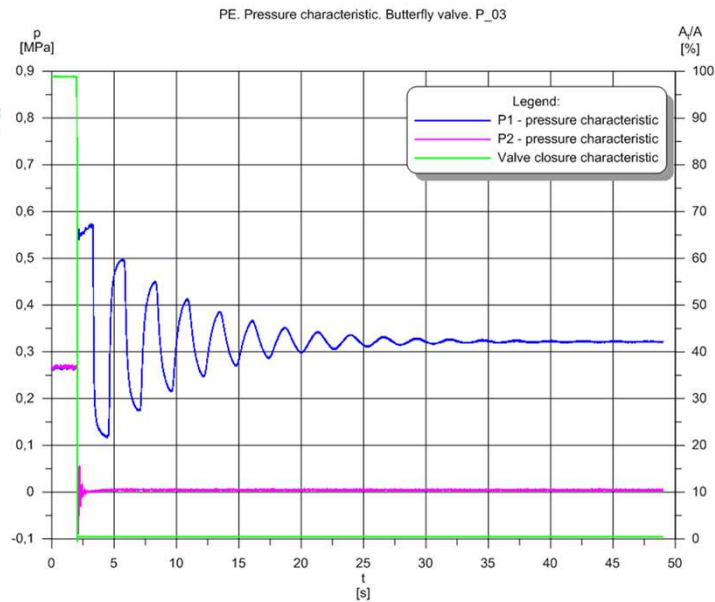
(177 m i 240 m, średnica 32 i 35 mm)

Zawór kulowy, przepustnica, zasuwa płaska



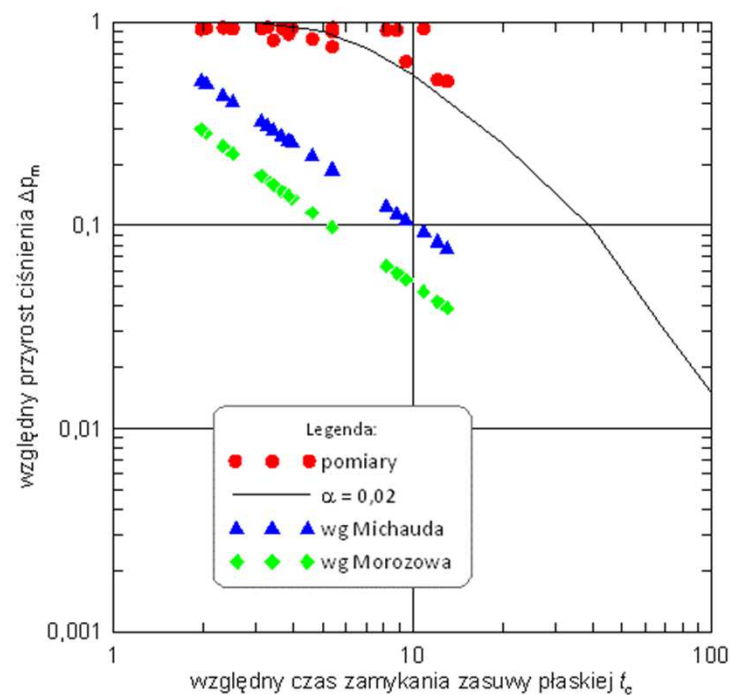
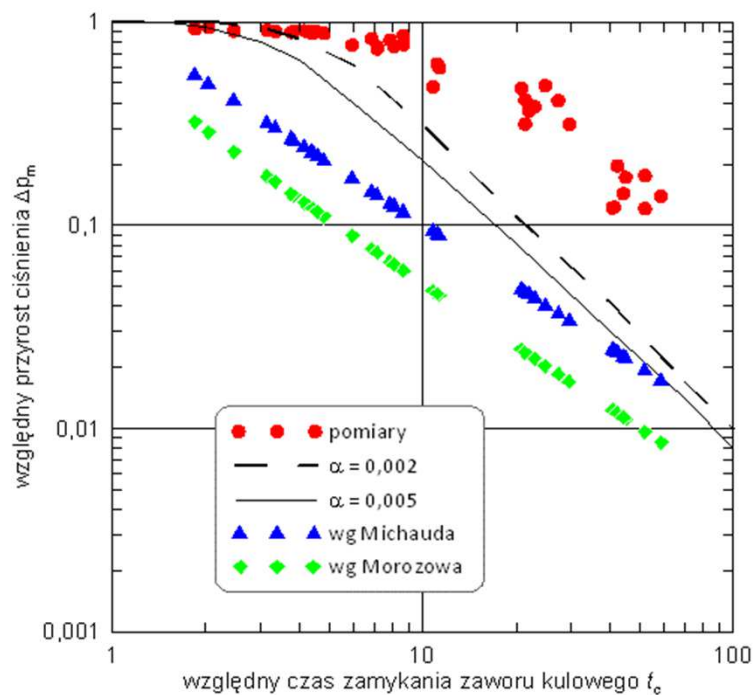


Przewód stalowy,
 czas powrotu fali odbitej
 $T_R = 0.26$ s; przepustnica
 a) czas zamykania
 $T_C = 0.21$ s < T_{Ri}
 b) $T_C = 0.37$ s > T_{Ri}
 c) $T_C = 1.1$ s > T_{Ri}
 d) $T_C = 5.7$ s > T_{Ri} .



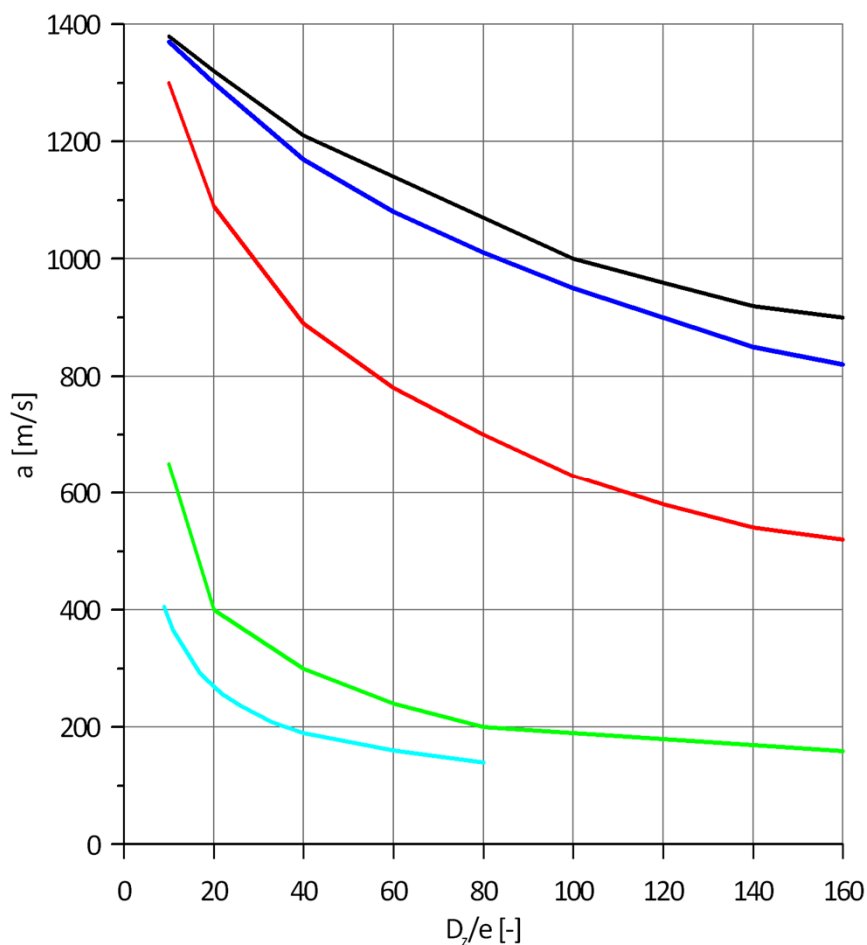
- Rurociąg HDPE,
 czas powrotu fali odbitej $T_R = 1.30$ s; przepustnica
- czas zamykania
 $T_C = 0.095$ s $< T_{Ri}$
 - $T_C = 1.35$ s $> T_{Ri}$
 - $T_C = 2.67$ s $> T_{Ri}$
 - $T_C = 23.7$ s $> T_{Ri}$

Uderzenie hydrauliczne – eksperymenty





Parametry materiałowe



Rodzaj materiału	E_0 [Pa]	ν [-]	α [m/s]
Polietylen PE80	$1 \cdot 10^9$	0,40	191 ÷ 372
Polietylen PE100	$1,2 \cdot 10^9$	0,40	209 ÷ 405
GRP	$10 - 15 \cdot 10^9$	0,3	550 - 1300
Stal	$2 \cdot 10^{11} - 2,15 \cdot 10^{11}$	0,28	1260
Żeliwo	$9 \cdot 10^{10} - 1,60 \cdot 10^{11}$	0,25	1185



Szacunkowe wartości

Przykładowe przyrosty ciśnienia podczas prostego uderzenia hydraulicznego – woda

l.p.	materiał	Q		v	Dz	e	a	Δp
		[m ³ /min]	[m ³ /s]	[m/s]	[mm]	[mm]	[m/s]	[MPa]
1	stal	15	0,25	1,34	508	10	1170	1,563
2	żeliwo	15	0,25	1,21	532	9,3	1093	1,320
3	GRP	15	0,25	1,26	530	14	753	0,952
4	PCV	15	0,25	1,50	500	19,3	391	0,585
5	HDPE	15	0,25	1,64	500	29,7	262	0,430

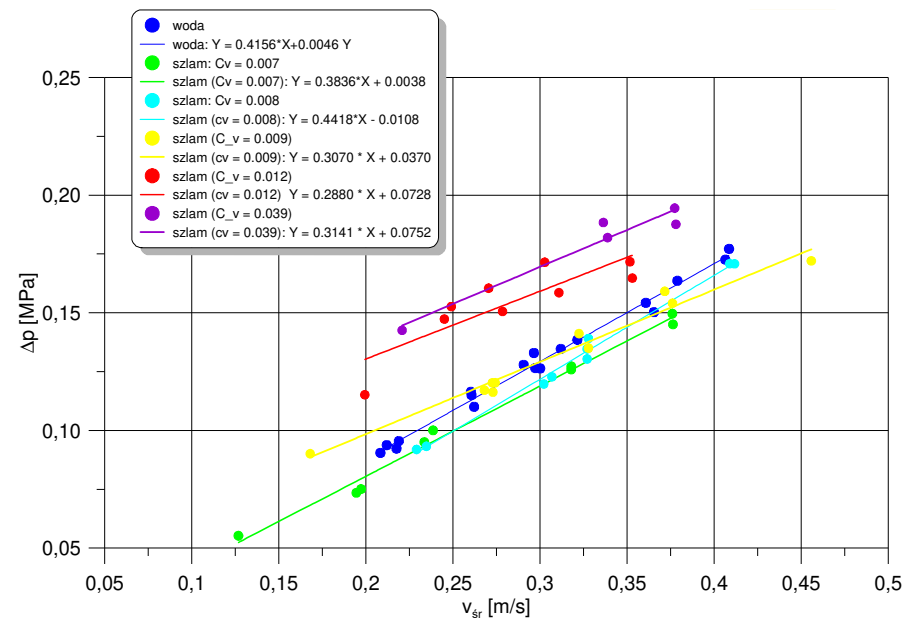
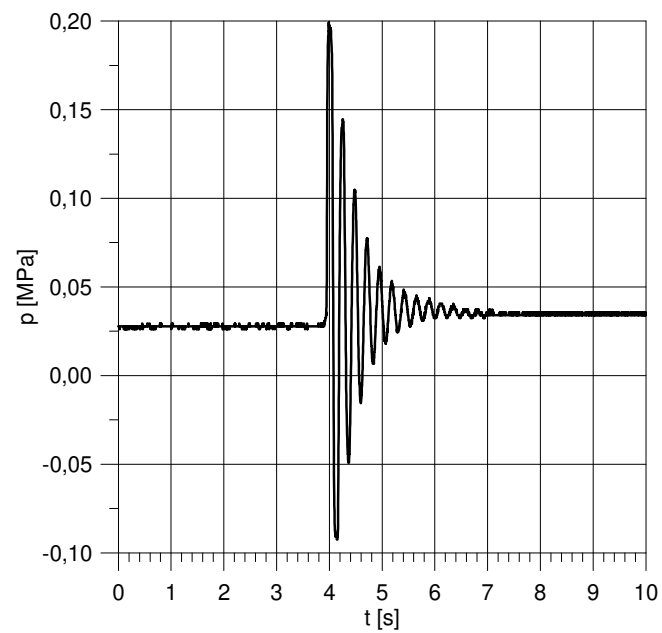
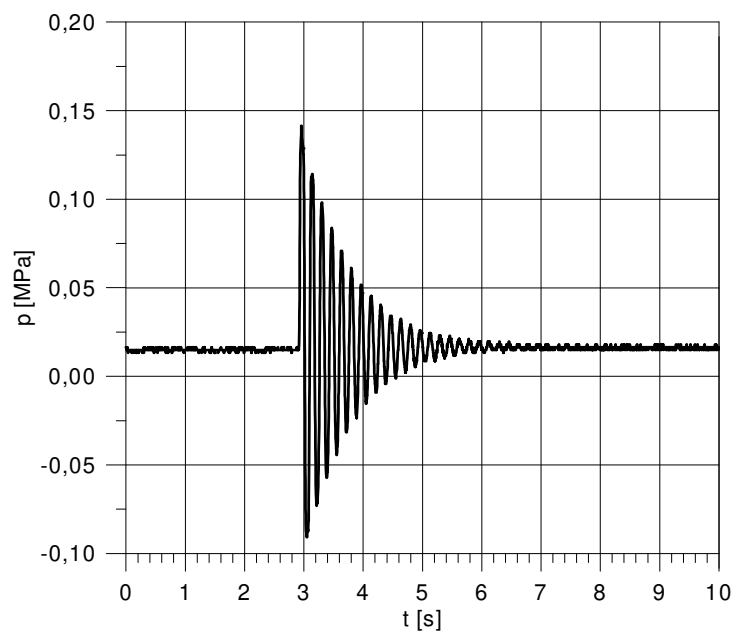
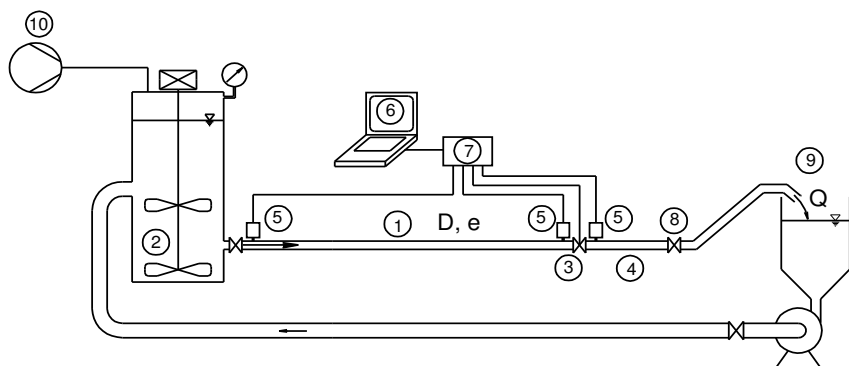


Szacunkowe wartości

Przykładowe przyrosty ciśnienia podczas prostego uderzenia hydraulicznego – ścieki

l.p.	materiał	Q		v	Dz	e	a	Δp
		[m ³ /min]	[m ³ /s]	[m/s]	[mm]	[mm]	[m/s]	[MPa]
1	stal	15	0,25	1,34	508	10	1091	1,677
2	żeliwo	15	0,25	1,21	532	9,3	1020	1,416
3	GRP	15	0,25	1,26	530	14	703	1,020
4	PCV	15	0,25	1,50	500	19,3	365	0,628
5	HDPE	15	0,25	1,64	500	29,7	245	0,461

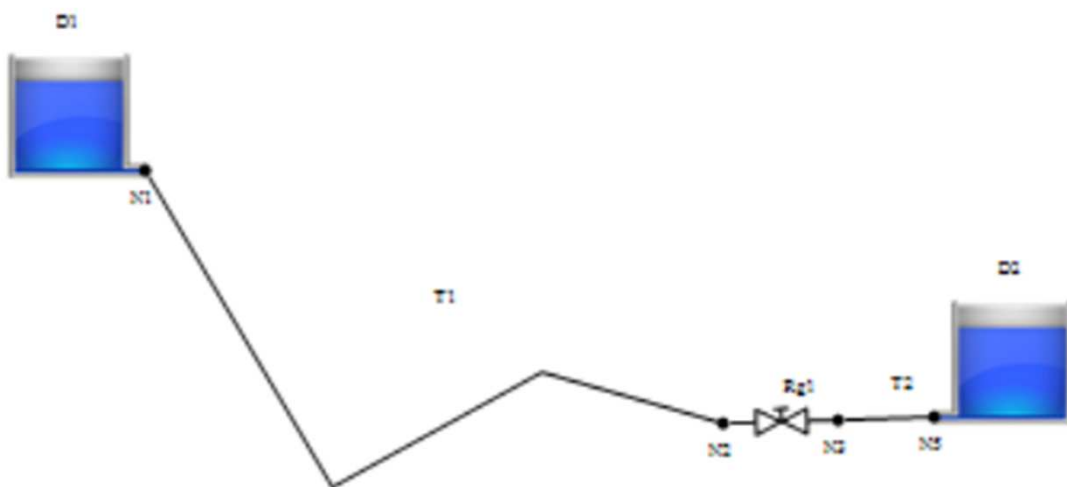
Przepływy dwufazowy





Przykład obliczeniowy

DN500, L = 2,5 km, woda



Instant (s)	Opening (%)
0	100
5	100
10	0
20	0
120	0

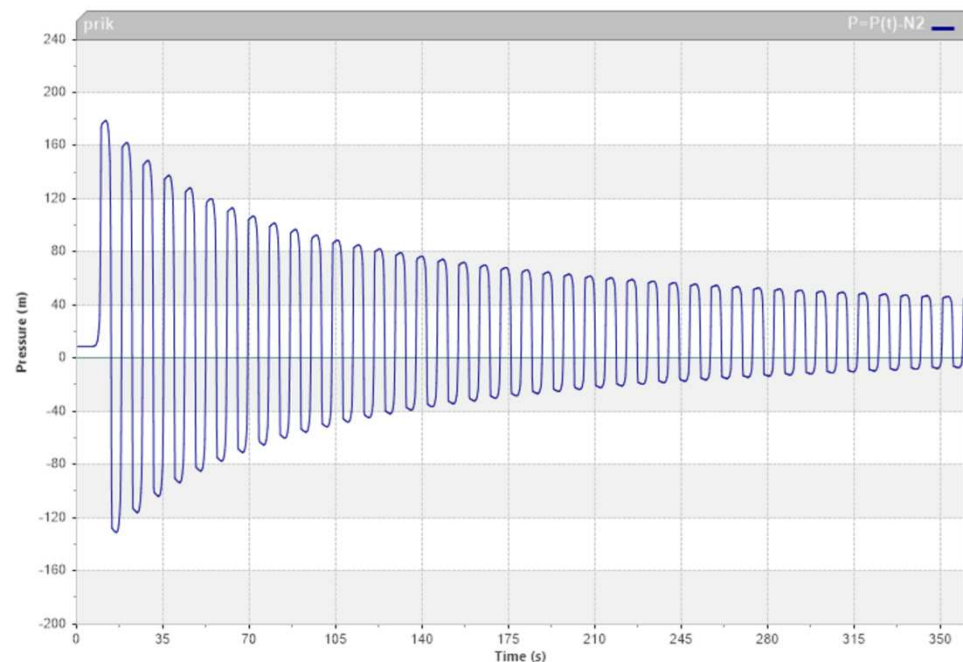


	Name	Q(l/s)	V(m/s)	F. Fric.	Per. Fric. (m)
1	T1	317.13	1.62	0.01566	10.41
2	T2	317.13	1.62	0.01566	0.08



Przykład obliczeniowy

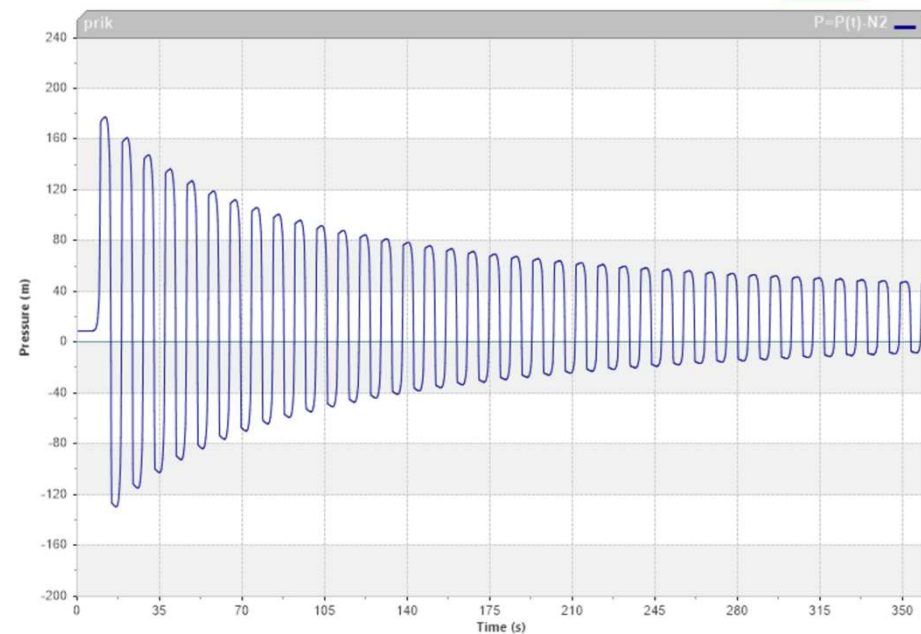
Stal, DN500, L = 2,5 km, woda





Przykład obliczeniowy

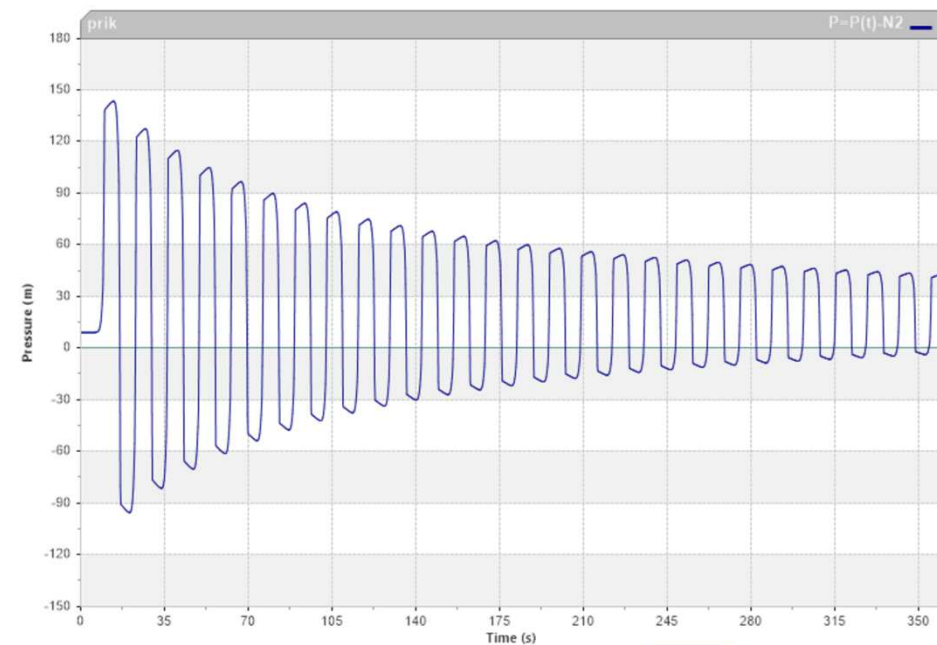
Żeliwo, DN500, L = 2,5 km, woda





Przykład obliczeniowy

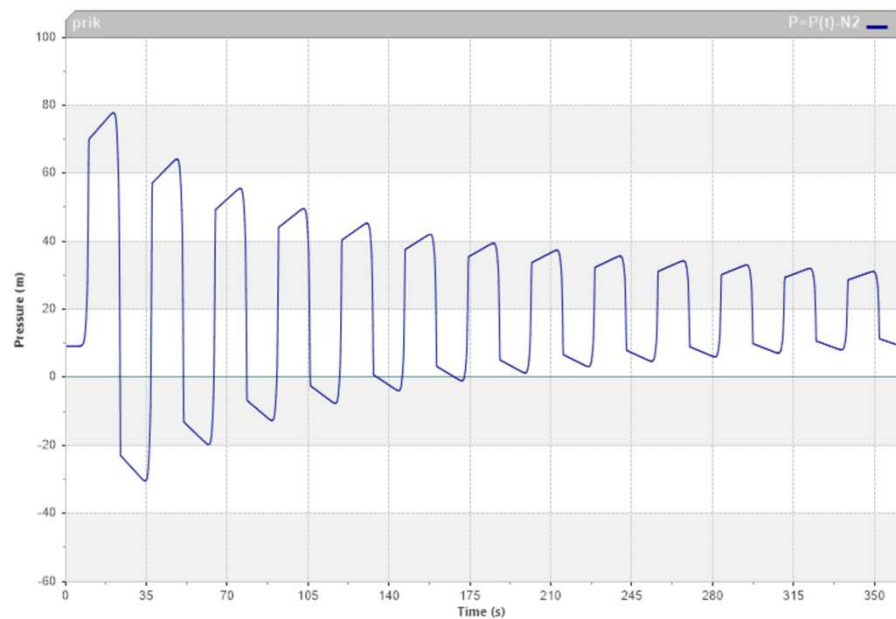
GRP, DN500, L = 2,5 km, woda





Przykład obliczeniowy

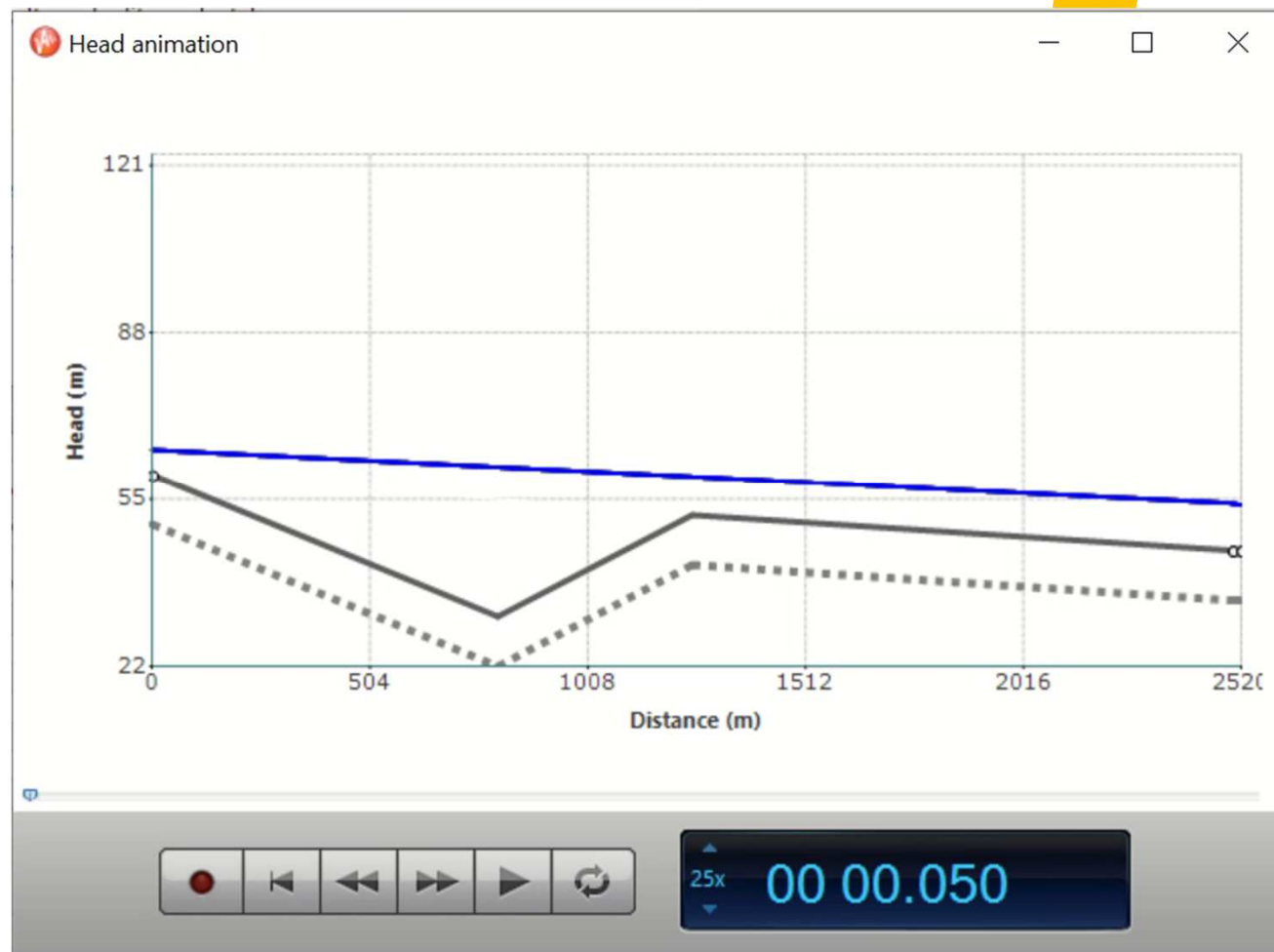
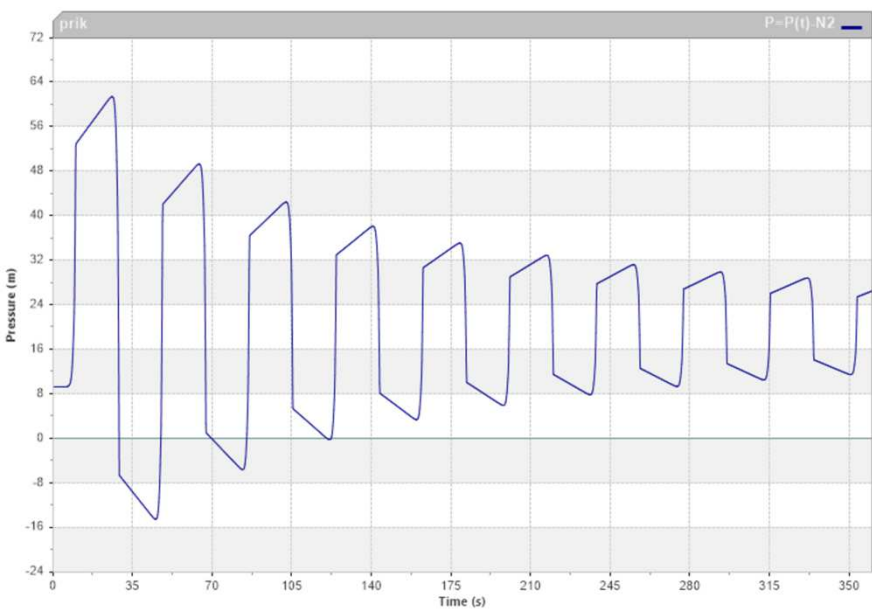
PCV, DN500, L = 2,5 km, woda





Przykład obliczeniowy

HDPE, DN500, L = 2,5 km, woda





Wnioski

Stany wyjątkowe mogą decydować o trwałości instalacji – podczas projektowania niezbędne jest określenie najniekorzystniejszych warunków pracy.

Uderzenie hydrauliczne jest zjawiskiem niekorzystnym, obserwuje się wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia ruchu nieustalonego wraz z rozbudową sieci ciśnieniowych

Materiał ścianki przewodu wpływa na: przebieg zjawiska uderzenia hydraulicznego, przyrosty ciśnienia, częstotliwość, okres fali (obciążenia dynamiczne).

Największe przyrosty ciśnienia obserwowane są w przewodach stalowych i żeliwnych, nieco mniejsze w GRP, znacząco mniejsze w PCV, a najmniejsze w HDPE – wynika to z cech materiałowych oraz grubości ścianki przewodu i powinno być każdorazowo obliczane.

Indywidualna analiza przebiegu uderzenia hydraulicznego dla instalacji niezbędna do prawidłowej oceny obciążeń wyjątkowych.

Wymagania stawiane rozwiązaniom w PFU powinny uwzględniać specyfikę zjawiska ruchu nieustalonego, w tym różnice w wartościach przyrostów ciśnienia.



Dziękuję!

Zapraszam do odwiedzenia www.prik.pl

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek
z Tworzyw Sztucznych

