

ZBIGNIEW STEFANKO
Katedra Wodociągów i Kanalizacji

BADANIA WZROSTU CHROPOWATOŚCI WODOCIĄGOWYCH WIROWANYCH RUR ŻELBETOWYCH

Praca całego systemu wodociągowego zależy od warunków eksploatacyjnych poszczególnych jego elementów. Rurociągi magistralne są tym elementem, który rzutuje w znacznej mierze na pracę całego systemu wodociągowego i koszt jego eksploatacji. Dotyczy to w szczególności rurociągów o dużych średnicach, których koszt budowy jest wysoki, a których niewłaściwy dobór wpływa na warunki eksploatacji całego układu.

Obciążenia nie poparte badaniami, które uzasadniałyby przyjęte w projektach parametry wyjściowe mogą prowadzić do efektów znacznie odbiegających od spodziewanych, szczególnie po okresie kilkuletniej eksploatacji rurociągów magistralnych [1] [3]. Dotyczy to w szczególności rurociągów, co do których brak materiału doświadczalnego z uwagi na rodzaj użytego do produkcji rur materiału, technologii produkcji jak i rozmiary średnic.

Przeprowadzenie takich badań nie zawsze jest możliwe, niemniej jednak w przypadkach gdy warunki na to pozwalają należy je wykonać. Zalecane przy projektowaniu [4] oraz przewidziane przez normę PN-64/M 34034 wartości chropowatości "k" mogą prowadzić do dużych rozbieżności wyników w obliczeniu oporów przepływu. Z tego typu zagadnieniem spotykano się przy analizowaniu przewidywanych warunków pracy nowobudowanego na Śląsku wodociągu.

Wspomniany wodociąg przewidziany jest dla eksploatacji zasobów wód powierzchniowych. Do projektu wstępnego tego wodociągu opracowano prognozę jakości wody na ujęciu. W oparciu o przeprowadzone badania wody oraz prognozę przyjęto metodę uzdatniania wody, polegającą na zastosowaniu filtrów kontak-

towych, pracujących okresowo z dodatkiem koagulantów w postaci siarczanu glinu i wapna. Uzdatniona woda doprowadzona będzie do odbierców poprzez przepompownię.

Rurociąg tego wodociągu łączący stację uzdatniania z przepompownią o długości około 32,0 km będzie miał średnicę ϕ 1500 mm, a jego wydatek zgodnie z przewidywaniami projektów wyniesie 2.780 - 3.280 m³/s. Różnica rzędnych terenu między obu wymienionymi obiektami wyniesie 48,0 m. Dla zwiększenia wydatku powyżej 2,0 m³/s. należy wodę uzdatnioną dodatkowo przepompować na wysokość około 16,0 m. Do budowy rurociągu przewidziano zastosowanie rur żelbetowych ϕ 1500 mm. Trasa rurociągu posiada szereg załamań pod niewielkimi kątami wykonanych łagodnie za pomocą kształtek stalowych. Rury ϕ 1500 mm produkcji krajowej wykonano na ciśnienie robocze 25000 kg/m² i próbne 40000 kg/m². Rurociąg zaprojektowano bez zasuw, z odpowietrznikami w najwyższych punktach przyjmując, że ciśnienie dynamiczne nie przekroczy 25000 kg/m².

Proces technologiczny przewiduje użycie do produkcji rur kruszywa bazaltowego nie przemywanego. Uszczelnienie złącz przewidziano za pomocą gumowych pierścieni typu "Buma", wytłaczanych w całości, o przekroju 32 mm i twardości 46° - 48° Shore'a. Dopuszczalna tolerancja średnicy wewnętrznej rur wynosi \pm 6 - 10 mm, a głębokości całkowitej kielicha \pm 10 mm.

W obliczeniach projektu rurociągu przy doborze średnicy oparto się na wzorze White'a-Celebróoka zakładając chropowatość $k = 2,0$ mm. Do obliczonych na tej drodze jednostkowych spadków ciśnienia dodano 5% ich wielkości dla uwzględnienia oporów lokalnych występujących na niektórych złączach w wyniku nieodpowiedniego ich dopasowania.

Dla sprawdzenia, w jakim stopniu wyniki wykonanych obliczeń będą odpowiadały oporom przepływu w czasie eksploatacji wodociągu, przeprowadzono badania oporów przepływu w dwóch istniejących rurociągach żelbetowych podobnego typu, a mianowicie:

- na rurociągu ϕ 1480 mm [2], długości 15 km, eksploatowanym od 8 lat,
- na rurociągu ϕ 1500 mm, długości 0,5 km, nie dawano oddanym do użytku.

Wyniki pomiarów w obu rurociągach pozwalają również na określenie stopnia wzrostu chropowatości rur tego typu w miarę upływu okresu eksploatacji.

Rurociąg ϕ 1480 mm wykonany jest z rur żelbetowych wirowanych o długości 3,75 m kielichowych uszczelnionych pierścieniem gumowym. Rurociągiem tym prowadzona jest woda uzdatniona ze stacji uzdatniania do przepompowni. Pomiaru oporów przepływu przeprowadzono na poszczególnych jego odcinkach o zmiennej długości, przy różnych wydatkach rurociągu po okresie 2 letniej, a następnie 8 letniej eksploatacji.

Pomiary na rurociągu ϕ 1500 mm przeprowadzono w nieco zmienionych warunkach eksploatacji, gdyż zasila on zakład przemysłowy w wodę do chłodzenia, pobieraną z rzeki.

Rurociąg ten, zbudowany z rur produkowanych metodą wirowania (analogicznych do przewidzianych w omawianym projekcie), połączony jest z pompownią i miejscem zużycia wody stalowymi odcinkami, a długość jego trasy wynosi 534,40 m. Nie posiada on żadnych odgałęzień. Sposób łączenia rur i obróbkę styków przyjęto wg schematu podanego przez producenta. Woda doprowadzana do w/w rurociągu oczyszczana jest wstępnie na kratkach i ruchomych sitach.

O ile warunki pracy rurociągu ϕ 1480 mm nie odbiegają od warunków pracy wodociągu projektowanego to w przypadku istniejącego rurociągu ϕ 1500 mm woda jest zanieczyszczona gdyż poza opisanymi innymi urządzeniami uzdatniającymi nie przewidziano. Przeprowadzone na obu rurociągach ϕ 1480 mm i 1500 mm pomiary obejmowały ustalenie wydatku rurociągu w oparciu o pomiar prędkości przepływu oraz spadku ciśnienia między poszczególnymi punktami pomiarowymi. Pomiaru prędkości przepływu w obu wypadkach dokonano przy zastosowaniu metody chemicznej [2], [3] dozując do rurociągu chlor w postaci roztworu wapna chlorowanego. Obecność chloru w przekroju pomiarowym wykrywano przy użyciu orthotolidyny, ciśnienie zaś mierzono manometrami z dokładnością do 0,1 m H₂O. W przypadku rurociągu ϕ 1500 mm założono dwa przekroje obserwacyjne na króćcach stalowych za pompownią oraz przed miejscem zużycia wody, na rurociągu zaś

Ø 1480 mm w studzienkach odpowietrznikowych. Punkty obserwacyjne wyposażono w spusty umożliwiające pobór prób wody oraz w manometry. Trasę rurociągu zaniwelowano w punktach pomiarowych. Na rurociągu wodociągowym Ø 1480 mm zasowy na odgałęzieniach zamknięto, aby przez ubytek wody z rurociągu nie zniekształcić wyników pomiarów.

W obu przypadkach próby pobierano w 5 sekundowych odstępach czasu stosując do pomiaru dwa chronometry. Stąd błąd w ustaleniu prędkości przepływu wynikły z niedokładności odczytu czasu na poszczególnych odcinkach, nie przekraczał 2,17-2,7%. Opory przepływu w rurociągach Ø 1480 mm i 1500 mm w zależności od wydatku kształtowały się następująco (tabl. 1).

Tablica 1

Rurociąg Ø 1480 mm (po 2 letniej eksploatacji)

Lp.	Natężenie przepływu	Jednostkowa strata oisn.
	m ³ /s	kg/m ²
1	1,195	0,322
2	1,210	0,324
3	1,550	0,538
4	1,583	0,553
5	1,639	0,564

Tablica 2

Rurociąg Ø 1480 mm po 8 letniej eksploatacji

Lp.	Natężenie przepływu	Jednostkowa strata oisn.
	m ³ /s.	kg/m ²
1	1,628	0,575
2	1,638	0,605
3	1,646	0,615
4	2,080	1,090
5	2,105	1,130

Tablica 3

Rurociąg ϕ 1500 mm

Lp.	Natężenie przepływu	Jenostkowa straty ciśn.
	$m^3/s.$	kg/m^2
1	2070	0,868
2	2619	1,430

Jak wynika z przytoczonych danych opory przepływu wzrosły w rurociągu ϕ 1480 mm po 6 letniej eksploatacji o ok. 7% - co wynika z porównania poz. 5 tabl. 1 oraz 2 i 3 tabl. 2. Dla porównania wyników pomiarów z wynikami uzyskanymi na drodze obliczeniowej opracowano wykresy zależności oporów od natężenia przepływu stosując wzór Darcy-Weisbacha, w którym λ obliczono wg formuły Manniga:

$$K = \frac{1}{n} \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{1}{6}}$$

przyjmując

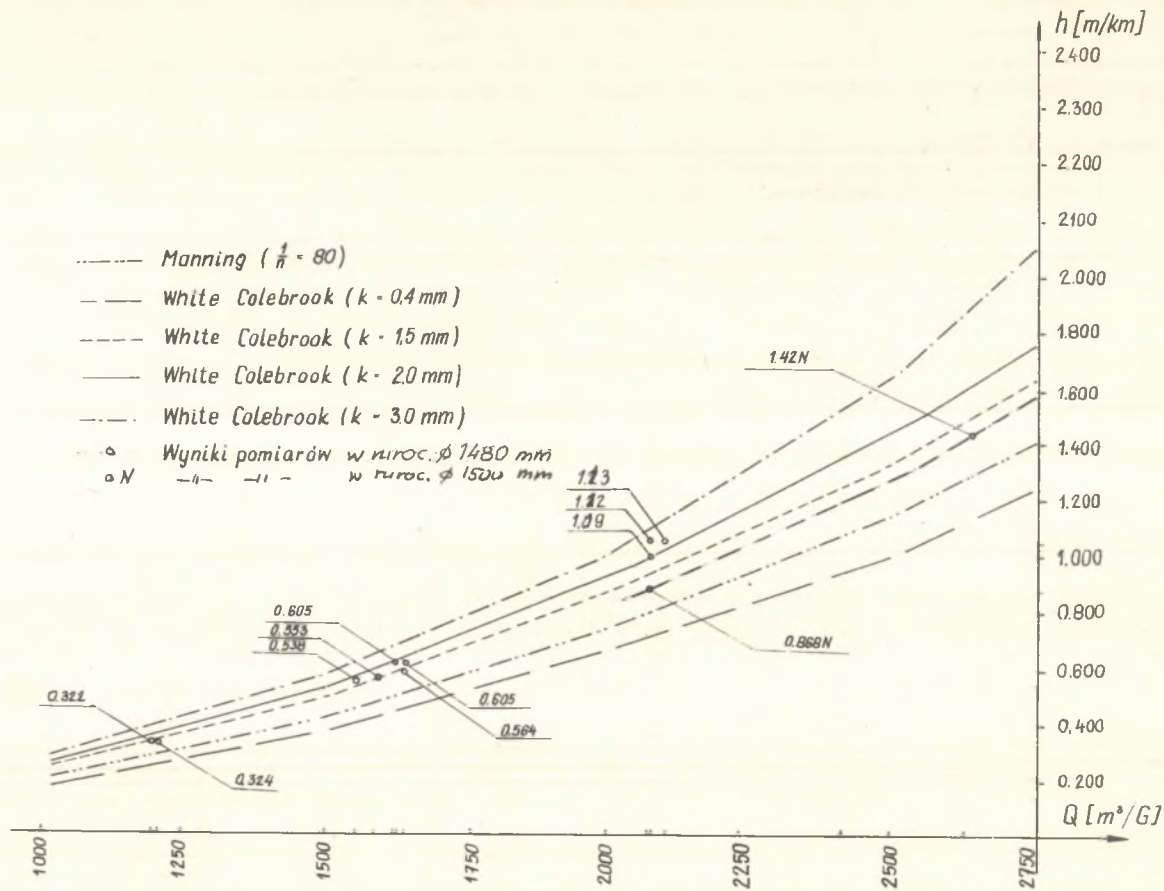
$$\frac{1}{n} = 80$$

oraz White'a-Colebrooka:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3,71 d} \right]$$

dla $K = 0,4$ mm, 1,5 mm, 2,0 mm i 3,0 mm.

Można stwierdzić, że wyniki uzyskane na rurociągu ϕ 1480 mm nie odbiegają znacznie od wyników pomiarów przeprowadzonych na rurociągu ϕ 1500 mm. Istniejące rozbieżności (poz. 4 tabl. 2 i poz. 1 tabl. 3) można uzasadnić faktem, że pomiary na rurociągu ϕ 1480 mm przeprowadzono po kilkuletnim okresie jego pracy, podczas gdy rurociąg ϕ 1500 mm był rurociągiem nowo zbudowanym i nieco większym przekroju (6,7%).



Rys. 1. Wykresy zależności oporów od natężenia przepływu

Można również zauważyć, że wyniki pomiarów są zbliżone do wyników uzyskanych na drodze obliczeniowej stosując do formuły White'a-Colebrooka chropowatość $k = 2,0$ mm. Wynika to z przebiegu krzywej zależności oporów przepływu od natężenia przepływu (rys. 1) dla $k = 2,0$ mm, przy której grupują się punkty obrazujące wyniki pomiarów zarówno dla rurociągu $\varnothing 1480$ mm jak i 1500 mm.

Przyjęcie do obliczeń w projekcie chropowatości $k = 2,0$ mm dla tego typu rur daje gwarancję poprawnej pracy rurociągu, zgodnie z założeniami.

Artykuł wpłynął do Redakcji: 5.XI.1967 r.

Streszczenie

Obliczenia hydrauliczne rurociągów magistralnych, dla których przewidziano wieloletni okres eksploatacji winny być w miarę możliwości oparte na danych doświadczalnych. Dotyczy to w szczególności rurociągów, których koszt budowy i eksploatacji jest duży.

Badania, jakie przeprowadzono w Katedrze Wodociągów i Kanalizacji przy analizowaniu projektu nowego wodociągu miały na celu określenie chropowatości nowych rur żelbetowych $\varnothing 1500$ mm oraz stopnia wzrostu ich chropowatości po 2 i 8-letnim okresie ich pracy.

Badania takie przeprowadzono na istniejących rurociągach $\varnothing 1480$ mm o długości ok. 15 km i 1500 mm o długości ok. 0,5 km. Wyniki uzyskane w trakcie badań pozwoliły stwierdzić, że po okresie 6-letniej ich eksploatacji opory przepływu wzrosły o 7%. Przyjęcie do obliczeń chropowatości $k = 2,0$ mm dla tego typu rur daje gwarancję poprawnej pracy rurociągu, zgodnie z założeniami.

LITERATURA

- [1] ALTSZUL A.D., KAMIERSZTEJN A.G.: Uwieliczienie soprotywlenija turboprowodow w processje ich eksploatacji. - Hidro-techniczeskoje Stroitelstwo 7/1949.
- [2] CHRAMIEC W., STEFANKO Zb.: Pomlary oporów przepływu wody w rurociągach o dużych średnicach z różnych materiałów. Materiały na Konferencję Naukowo Techniczną: "Postęp techniczny w dziedzinie wodociągów" PZITS Katowice 1961 r.
- [3] MIECARZEWICZ E.: Obliczenia hydrauliczne układów wodociągowych Arkady. Warszawa 1965 r.
- [4] GABRYSZEWSKI T.: "Wodociągi" Wrocław 1967 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ

Резюме

Расчёты магистральных гидравлических трубопроводов, для которых предусматривается многолетний период эксплуатации, должны по мере возможности опираться на экспериментальные данные. Это касается в частности трубопроводов, стоимость строительства и эксплуатации которых большие.

Исследования, проведённые на кафедре водопроводов и канализации при анализировании проекта нового водопровода, имели целью определить шероховатость новых железобетонных труб \varnothing 1500 мм, а также степень возрастания шероховатости после 2-8 летнего периода их работы.

Эти исследования проведены на существующих трубопроводах \varnothing 1480 мм длиной около 15 км и 1500 мм длиной около 0,5 км. Результаты, полученные во время испытаний, позволили определить, что после 6-летней - эксплуатации сопротивление течения возросло на 7%.

Беря для расчётов шероховатость $k=2,0$ мм для этого типа труб получаем гарантию правильной работы трубопроводов, согласно исходным данным.

**INVESTIGATIONS CONCERNING ROUGHNESS OF THE
IRON-CONCRETE PIPE-LINES**

S u m m a r y

Hydraulic computations of civic water pipe-lines with a long anticipated exploitation period should be based on experimental data. It concerns in particular those water pipe-lines, which are very expensive both in construction and exploitation.

Investigations which have been conducted in the Department of Water Pipe-lines and Wastes at the occasion of analysis of the new water pipe-line aimed at the determination of the roughness of the new \varnothing 1500 mm iron-concrete pipes as well as the degree of their roughness increase after 2 and 8 years of their work.

These investigations were conducted with the existing \varnothing 1480 mm water pipe-lines and with the \varnothing 1500, about 0,5 km long pipe-line. The results obtained during the investigations gave an opportunity to state that after a period of 6 years exploitation the flow resistance increased by 7%. Taking to the roughness computation $k = 2.0\text{mm}$ for this type of pipes, gives a guarantee of the correct water pipe-line work, in accordance with the assumption.

