

Henryk Pelka

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNYCH WODY NA OPORNOŚĆ HYDRAULICZNĄ PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH

Liczne badania i obserwacje [1—6] wykazały, że w czasie przepływu wody przez eksploatowane przewody wodociągowe, zachodzą w ich wnętrzu procesy fizyczno-chemiczne, a niekiedy i biologiczne powodując, bądź wytrącanie się z wody i osadzanie na wewnętrznej powierzchni rurociągów związków chemicznych, lub rozwijających się w wodzie mikroorganizmów, bądź też korozję wewnętrznej powierzchni rur. Wszystkie te zjawiska prowadzą do ciągłego wzrostu chropowatości rurociągów i zmniejszania się powierzchni czynnej rurociągu, tj. do zmniejszania się jego średnicy wewnętrznej. Powoduje to w miarę upływu czasu wzrost liniowych oporów tarcia w rurociągach, a tym samym maleje ich przepływność. To z kolei prowadzi albo do zwiększania wysokości podnoszenia wody przez pompownie, gdy odbiorcy wody mają ją otrzymać pod wymaganym ciśnieniem albo do spadku ciśnienia u odbiorców i zmniejszenia tym samym wydajności ich armatury czerpalnej, a w skrajnych przypadkach do braku dopływu wody do wyżej położonych punktów czerpalnych. W każdym z tych przypadków dochodzi do obniżenia wartości techniczno-ekonomicznego wskaźnika systemu zaopatrzenia w wodę [2]. Wzrost oporności hydraulicznej przewodów wymaga bowiem albo wymiany pomp i wzrostu zużycia energii elektrycznej, albo budowy dodatkowych przewodów wodociągowych lub wreszcie poddania przewodów oczyszczaniu i renowacji, przywracającej im wysoką sprawność. Zjawisko zmniejszania się sprawności hydraulicznej przewodów wodociągowych w czasie eksploatacji jest wciąż jeszcze niedoceniane i wskutek tego w niewłaściwy sposób uwzględniane zarówno w projektowaniu budowy i rozbudowy wodociągów jak i w planowaniu remontów i czyszczeniu sieci wodociągowych. Przyjęte powszechnie zasady projektowania sieci wodociągowych nie uwzględniają wpływu składu fizyczno-chemicznego wody uzdatnionej i wieku przewodów, na sprawność hydrauliczną przewodów. Tymczasem w praktyce projektowej występuje najczęściej rozbudowa i modernizacja istniejącej sieci w odniesieniu do przyszłego stanu zagospodarowania przestrzennego miasta tj. po 15÷30 latach. Trwałość sieci wodociągowej często przekracza 50÷70 lat i więcej. Powoduje to konieczność uwzględniania w projektach, zarów-

no obecnego stanu czynnej już sieci jak i prognozy jego zmian po dalszym użytkowaniu rurociągów, a także prognozy zmian sprawności hydraulicznej nowo projektowanych sieci z uwzględnieniem zarówno etapowania budowy jak i okresowego czyszczenia i renowacji rurociągów. Ponadto zachodzi konieczność takiego oczyszczania wody aby intensywność procesu zarastania rurociągów była jak najmniejsza i ekonomicznie uzasadniona. Dopiero prawidłowe rozwiązanie tego zagadnienia umożliwi racjonalne projektowanie rozbudowy wodociągów.

Przyczyny wzrostu oporności hydraulicznej eksploatowanych przewodów wodociągowych

Do najistotniejszych czynników wpływających na wzrost oporności hydraulicznej przewodów wodociągowych zalicza się:

- a) fizyczno-chemiczne właściwości wody
- b) materiał z którego wykonany jest rurociąg
- c) czas eksploatacji
- d) technologia oczyszczania wody i eksploatacja zakładu uzdatniania wody
- e) umiejscowienie przewodu w sieci [3], średnica rurociągu [1, 3], sposób eksploatacji sieci i inne [7].

Z właściwości wody najistotniejsze są: stabilność, zawartość chlorków, siarczanów, żelaza i agresywnego dwutlenku węgla. Wybór odpowiedniej technologii oczyszczania wody i poprawność eksploatacji zakładu uzdatniania wody mają zatem bardzo duży wpływ na intensywność wzrostu oporności sieci wodociągowej. W przypadku wody surowej istotną rolę odgrywa również zawartość części zawieszonych oraz obecność bakterii żelazistych. Badania Lamonta [4] wykazały, że powstające w rurociągach wody surowej osady o konsystencji szlamu mogą po 10÷20 latach zmniejszyć przepływność rurociągu o 25—30%.

Rury żeliwne i stalowe charakteryzuje największa, a zarazem i podobna intensywność wzrostu oporności hydraulicznej. Badania Lamonta [4] i autora [7] wykazały, że oporność rurociągów azbestowo-cementowych wzrasta o 10—20% i to w pierwszych latach eksploatacji. Gładkie rurociągi ołowiane, miedziane, polietylenowe i z PCV posiadają prawie niezmienną oporność hydrauliczną, jeśli płynie nim

Dr inż. H. Pelka, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

woda uzdatniona. Poprawnie wykonana izolacja bitumiczna żeliwnych i stalowych przewodów wodnych chroni rury przed korozją jedynie przez pewien czas. Natomiast rury betonowe i azbestowo-cementowe z izolacjami bitumicznymi praktycznie nie podlegają inkrustacji. Wykładziny cementowo-piaskowe i z żywic epoksydowych są najmniej podatne na inkrustację. Z tego względu są one najczęściej stosowane do wykładania nowych rur i renowacji czynnych przewodów wodnych.

W pewnych warunkach intensywność procesu inkrustacji zależy od odległości rurociągu od zakładu uzdatniania wody. Dotyczy to szczególnie przykładów, gdy proces uzdatniania jest niewłaściwy lub niewłaściwie prowadzony albo gdy następowały w czasie eksploatacji sieci zmiany technologii oczyszczania wody. W tych warunkach może dochodzić do wzmożonego odkładania w rurach związków chemicznych lub rozpuszczania osadów w rurociągach położonych w pobliżu zakładu i ich odkładania w rurociągach bardziej oddalonych.

Ilościowa ocena wzrostu oporności hydraulicznej przewodów wodociągowych

Opory przepływu w rurociągu eksploatowanym t lat określa się ze wzoru Darcy:

$$\Delta h = \lambda_t \frac{1}{d_t} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

lub jego uproszczonej i przekształconej postaci:

$$\Delta h = C_t \cdot l \cdot Q^2, \quad (2)$$

gdzie:

- λ_t — współczynnik oporów liniowych
- l — długość rurociągu, m
- d_t — średnica wewnętrzna rurociągu eksploatowanego, m
- v — prędkość średnia, m/s
- g — przyspieszenie ziemskie m/s²
- Q — natężenie przepływu, m³/s
- C_t — oporność właściwa rurociągu eksploatowanego, s²/m⁶.

$$C_t = \frac{8}{\pi^2 g} \cdot \frac{\lambda_t}{d_t^5} \quad (3)$$

Ilościowy wzrost oporności hydraulicznej rurociągu można scharakteryzować za pomocą współczynnika wzrostu oporności δ_t [7, 8] gdzie:

$$\delta_t = \frac{C_t}{C_o} = \frac{\lambda_t}{\lambda_o} \cdot \left(\frac{d_o}{d_t} \right)^5 \quad (4)$$

przy czym oznaczenia z indeksem „o” odnoszą się do rurociągu nowego ($t=0$ lat), a z indeksem „t” do rurociągu eksploatowanego przez „t” lat.

W pracy [9] przeprowadzono analizę wpływu zmian chropowatości k_t i średnicy d_t na oporność właściwą przewodów na podstawie wzoru Colebrooka-White'a:

$$-\frac{1}{\sqrt{\lambda_t}} = -2 \lg \left[\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda_t}} + \frac{k_t}{3,71 d_t} \right] \quad (5)$$

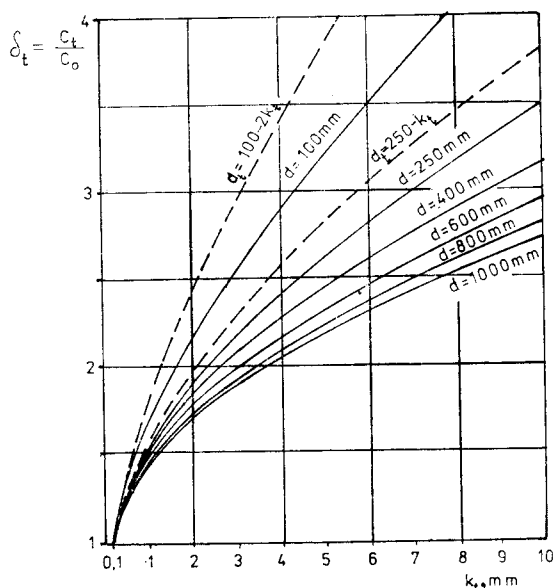
w którym:

Re — liczba Reynoldsa

k_t — zastępcza chropowatość płaskowa rurociągu eksploatowanego, mm.

Analiza powyższa wykazała, że najbardziej istotne znaczenie ma w tym względzie chropowatość k_t rurociągu; zmniejszenie średnicy d_t ma istotny wpływ na wzrost oporności rur o małych średnicach $d_t \leq 250$ mm.

Zagadnienie to ilustruje rys. 1, przedstawiający krzywe zależności współczynnika wzrostu oporności δ_t od chropowatości rurociągów k_t i ich średnicy, sporządzony na podstawie wzoru Colebrooka-White'a.



Rys. 1 Wykresy współczynnika wzrostu oporności właściwej przewodu δ_t w zależności od chropowatości k_t

Wpływ właściwości chemicznych wody na intensywność wzrostu oporności hydraulicznej przewodów wodociągowych

Badania uwzględniające wyłącznie wpływ czasu eksploatacji pominięto w tej pracy, jako trudne do uogólnienia. Zostały one szczegółowo omówione w pracy [7]. Z badań uwzględniających czas eksploatacji rurociągu i właściwości chemiczne wody omówione zostaną prace Altšula i Kamerštejna [1, 3], Mostkova [5] i Lamonta [4] oraz autora [7].

A. D. Altšul i A. G. Kamerštejn wykazali, że oporność zależy głównie od czasu eksploatacji i od wskaźnika stabilności wody I, którego wartość określa się ze wzoru:

$$I = \text{pH} + \lg(\text{Ca}) + \lg(\text{zasadowość}) - f(T, p) \quad (6)$$

gdzie:

pH — odczyn wody

$f(T, p)$ — wartość zależna głównie od temperatury T i suchej pozostałości p , odczytywana z tabeli lub nomogramu w pracy [3].

Wspomniani autorzy wykorzystali w swoich pracach [1, 3] wyniki badań rurociągów w ZSRR oraz wyniki badań 6 przewodów w USA, zestawione przez Kilmana. Altšul i Kamerštejn zaproponowali podział wód na 5 grup jakości:

grupa I: wody słabo zmineralizowane, niekorozyjne ze wskaźnikiem stabilności od $-0,2$ do $+0,2$; wody z nieznaczną zawartością związków organicznych i rozpuszczonego żelaza;

grupa III: wody silnie korozyjne ze wskaźnikiem stabilności od $-1,0$ do $-2,5$ ale z małą zawartością siarczanów ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- \leq 100-150 \text{ mg/dm}^3$); wody z zawartością żelaza ponad 3 mg/dm^3 ,

grupa IV: wody korozyjne z ujemnym wskaźnikiem stabilności ale z dużą zawartością chlorków ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- 500-700 \text{ mg/dm}^3$); wody ze wskaźnikiem stabilności większym od $+0,8$; nieuzdatnione wody z dużą zawartością związków organicznych,

grupa V: wody charakteryzujące się dużą twardością węglanową ($20-25^\circ \text{tw}$) ze wskaźnikiem stabilności większym od $+0,8$, silnie zmineralizowane i korozyjne wody z suchą pozostałością ponad 2000 mg/dm^3 .

Na podstawie wyników badań i przyjętego podziału wód opracowali oni formułę do określania natężenia przepływu Q_t w przewodach wodociągowych w zależności od czasu eksploatacji, jakości wody i średnicy rurociągu:

$$Q_t = Q_o \cdot (1 - 0,01 \text{ at}^m) \quad (7)$$

gdzie:

Q_o — obliczeniowe natężenie przepływu w rurociągu nowym obliczone ze wzoru Pawłowskiego, dla $n=0,012$,

a, m — współczynniki zależne od fizyczno-chemicznych właściwości wody przyjmowane z tabeli 1.

Tabela 1
WARTOŚĆ PARAMETRÓW a i m DO WZORU (7)
KAMERŠTEJNA

Grupa wody	Średnica przewodu mm	Wartości współczynników	
		a	m
I	150—300	4,4	0,5
	400—600	2,3	0,5
II	150—300	6,4	0,5
	400—600	4,4	0,5
III	150—300	11,6	0,4
	400—600	6,4	0,5
IV	150—300	18,0	0,35
	400—600	11,6	0,4
V	150—300	32,0	0,35
	400—600	18,0	0,35

Na podstawie analizy wyników pomiarów, wykorzystywanych w pracy [1] Mostkov [5] doszedł do wniosku, że zastępcza chropowatość piaskowa k rur żeliwnych wzrasta wprost proporcjonalnie do czasu eksploatacji według zależności:

$$k_t = k_o + a \cdot t, \text{ mm} \quad (8)$$

gdzie:

k_o — zastępcza chropowatość piaskowa rurociągu nowego, mm

a — roczny przyrost chropowatości w mm/rok, zależy od właściwości fizyczno-chemicznych wody (tab. 2)

t — czas eksploatacji w latach.

Tabela 2
WARTOŚĆ ROCZNEGO PRZYROSTU CHROPOWATOŚCI a
DO WZORU (8) MOSTKOVA

Grupa wody	Roczny przyrost chropowatości, mm/rok		
	minimalny	średni	maksymalny
I	0,005	0,025	0,055
II	0,055	0,07	0,18
III	0,18	0,2	0,4
IV	0,4	0,51	0,6
V	0,6	—	do więcej niż 1,0

Lamont [4] na podstawie raportów IWSA (1951 i 1955 r.), dotyczących pracy 60 rurociągów żeliwnych opracował formułę do określania wartości rocznego przyrostu zastępczej chropowatości powierzchni rury:

$$\log a = -1,595 - \frac{I_L}{2,6} \quad (9)$$

gdzie:

a — roczny przyrost zastępczej chropowatości w mm/rok,

I_L — indeks nasycenia Langeliera.

Wartość indeksu I_L oblicza się ze wzoru:

$$I_L = \text{pH} + \log(\text{Ca}) + \log(\text{zasadowość}) - K - 9,3$$

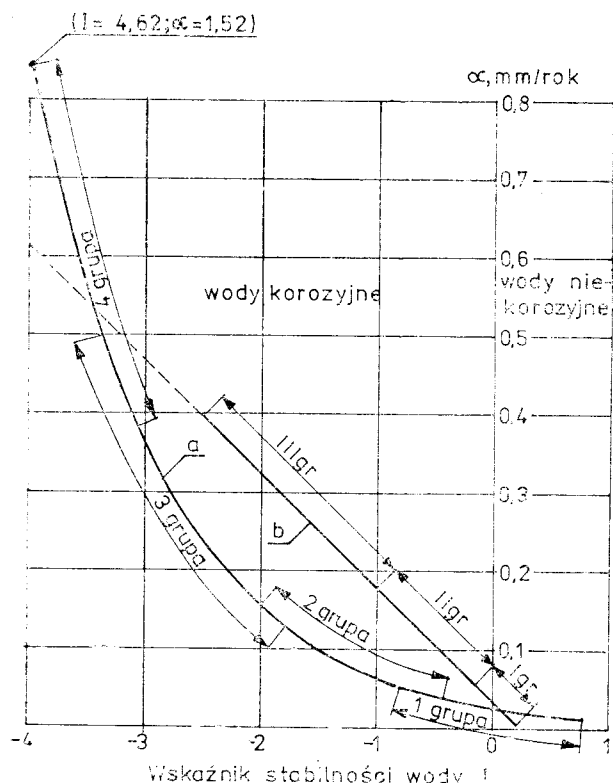
przy czym zawartość wapnia i zasadowość wyraża się w g/m^3 a K jest współczynnikiem zmieniającym się od 1,86 do 2,93, zależnie od temperatury i od całkowitej zawartości związków stałych.

Wzór pow. ma strukturę identyczną jak wzór (6). Lamont [4] wyróżnia cztery grupy jakości wody w zależności od wartości I_L i stosownie do tego określa wartości liczbowe rocznego przyrostu zastępczej chropowatości ścian rurociągu wodnego. Wartości te zestawiono w tabeli 3. W celu łatwiejszego porównania wyników badań Lamonta [4] z wynikami badań Altšula i Kamerštejna i opracowanymi przez Mostkova [5] wykonano wykres (rys. 2) przedstawiający zależność rocznego przyrostu chropowatości a od wskaźnika stabilności wody.

Tabela 3
PRZYROST CHROPOWATOŚCI k RUR ŻELIWNICH
ASFALTOWANYCH [4]

Grupa jakości wody	Roczny przyrost chropowatości	Średnia wartość I_L	Stopień korozyjności wody	Zastępcza chropowatość piaskowa k_t		
				po 30 latach	po 60 latach	po 100 latach
—	mm/rok	—	—	mm	mm	mm
I	0,0254	0	nieznaczny	0,89	1,65	2,67
II	0,0762	-1,3	umiarkowany	2,41	4,64	7,75
III	0,2540	-2,6	wyraźny	7,75	15,37	25,53
IV	0,7620	-3,9	znaczny	22,99	45,85	76,33

$$k_o = 0,005 \text{ cała} = 0,127 \text{ mm}$$



Rys. 2 Wpływ wskaźnika stabilności wody na roczny przyrost chropowatości α : a) według wzoru (9) Lamonta, b) według Mostkova (tab. 2)

Na rysunku 2 widać duże rozbieżności między wartościami według Lamonta i Mostkova dla wód o tym samym wskaźniku stabilności I , jedynie dla wskaźnika stabilności $I=0$ wartości są prawie takie same. Należy przypuszczać, że rozbieżności te są spowodowane różną jakością żeliwa i powłok asfaltowych badanych rurociągów, a także wpływem innych czynników (skład fizyczno-chemiczny, sposób eksploatacji sieci i stacji uzdatniania wody, umiejscowienie przewodu w sieci). Ponadto Altsul i Kamerštejn nie uwzględnili jasno wpływu wskaźnika stabilności o wartościach mniejszych od $-2,5$ na roczny przyrost chropowatości, prawdopodobnie ze względu na ograniczony materiał badawczy. W odniesieniu do rurociągów żeliwnych bądź stalowych, prowadzących dobrze uzdatnioną wodę zaliczaną do I lub II grupy wg Kamerštejna, najdogodniejsze do określenia ilościowego wzrostu oporności rurociągu, wydaje się posługiwanie się wzrostem chropowatości k rurociągu. Natomiast w odniesieniu do rur prowadzących wodę zaliczaną do grup od III do V, stosowniejsze wydaje się operowanie wzrostem współczynnika oporności właściwej C lub współczynnikiem δ_t wzrostu oporności ze względu na możliwość występowania w tych warunkach, znacznych deformacji czynnego przekroju rury.

W celu szerszego wyjaśnienia wpływu wskaźnika stabilności wody i czasu eksploatacji na wzrost chropowatości przeprowadzono w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej badania czynnych przewodów wodociągowych, wykonanych z rur żeliw-

nych i stalowych. Badania obejmowały 44 rurociągi żeliwne i 3 stalowe o średnicach od 100 mm do 400 mm, eksploatowane od 1 roku do 99 lat w ośmiu miastach południowo-zachodniej Polski. Woda płynąca tymi rurociągami posiadała wskaźnik stabilności od $+0,25$ do $-0,8$. W dwóch rurociągach pomiary powtórzone po 4 latach, a w sześciu rurociągach pomiary powtórzone po 4 latach, a następnie po 5 latach.

Każde miasto zaopatrywane było w wodę tylko z jednego źródła (terenu wodonośnego) przez cały czas eksploatacji wodociągu. Dzięki temu jakość wody i wskaźnik stabilności nie ulegały istotnym zmianom w tym okresie.

Badania obejmowały pomiary terenowe wielkości niezbędnych do określenia wartości współczynnika oporów liniowych λ_t , a mianowicie:

- długości l i średnicy wewnętrznej rurociągu d_t
- średniej prędkości przepływu wody v
- wysokości oporu przepływu na długości odcinka pomiarowego Δh
- temperatury wody i powietrza.

Ocenę korozyjności wód płynących badanymi rurociągami przeprowadzono na podstawie średnich wartości wskaźnika stabilności wody z wielolecia [7], zamieszczonych w tabeli 4.

Tabela 4

ŚREDNIE WARTOŚCI WSKAŹNIKA STABILNOŚCI WODY

Miasto	I_{st}	Rok pomiarów
Strzelin	0,25	1969
Strzelce Opolskie	0,06	1974
Milicz	0,08	1974
Zawadzkie	-0,16	1970
Wrocław	-0,27; -0,38	1968; 1977
Świdnica	-0,33; -0,33	1972; 1976
Racibórz	-0,33	1970
Brzeg	-0,80	1974
Kłodzko	-0,76	1971

Wskaźnik stabilności obliczono ze wzoru Stroheckera:

$$I = pH - pH_s = pH - (11,39 - 2 \log M) \quad (10)$$

w którym:

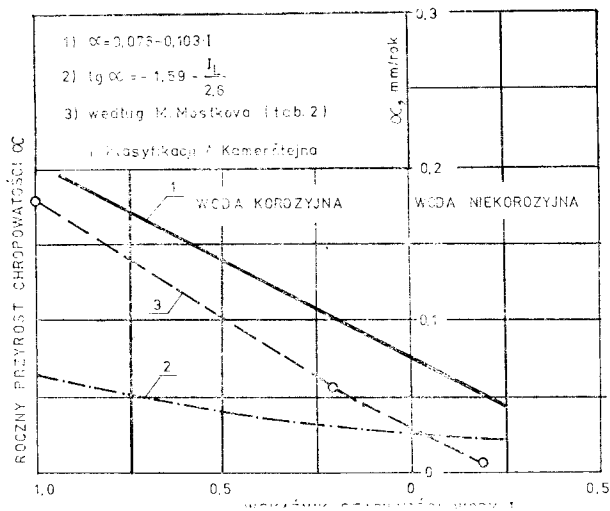
- I — wskaźnik stabilności nasycenia węglanem wapnia,
- pH — odczyn badanej wody (rzeczywisty)
- pH_s — odczyn badanej wody znajdującej się w stanie równowagi ze stałym węglanem wapniowym
- M — zasadowość ogólna wyrażona w g/m^3 CO_2 związanego.

Wartości wskaźnika stabilności I obliczone ze wzoru (10) są identyczne (lub bardzo zbliżone) wartościom otrzymanym ze wzoru (5) lub ze wzoru (9) jeśli woda ma temperaturę około $283^\circ K$ i suchą pozostałość poniżej $700 g/m^3$.

Na podstawie wyników pomiarów oporności hydraulicznej i danych o jakości wody uzdatnionej opracowano [7] formułę:

$$\alpha = 0,076 - 0,103 I, \text{ mm/rok} \quad (11)$$

do obliczania wartości średniego rocznego przyrostu chropowatości rurociągu eksploatowanego, którym płynie woda o wskaźniku stabilności w przedziale od $-0,8$ do $+0,25$. Na rys. 3 porównano otrzymaną formułę (11) z formułą (9) Lamonta i zaleceniami Mostkova [5], zamieszczonymi w tabeli 2. Wartości obliczone z wyznaczonej formuły (11) są większe od zalecanych przez Mostkova o $0,025$ do $0,05$ mm/rok, natomiast dwa do trzykrotnie większe od obliczonych z formuły (9) Lamonta.



Rys. 3 Wpływ wskaźnika stabilności wody na roczny przyrost chropowatości α : 1) według formuły (15), 2) według wzoru (9), P. Lamonta [4], 3) według M. Mostkova [5] i tab. 2

Na takie różnice może mieć wpływ różna jakość materiału rur i izolacji bitumicznych, sposób eksploatacji sieci przewodów wodociagowych (np. płukanie rurociągów lub jego brak), sposób eksploatacji stacji uzdatniania wody, a także nieco odmienny skład fizyczno-chemiczny wody w krajach, gdzie prowadzono badania. Kamerštejn [1, 3] i Lamont [4] mierzyli opory w przewodach wodociagowych tranzytowych o mało zmiennych warunkach przepływu, dość znacznych prędkościach, natomiast pomiary autora obejmowały przede wszystkim rurociągi sieci rozpraszających wodę, w których płukanie przewodów należało do rzadkości, a ponadto występowały małe i zmieniające się w czasie prędkości, a nawet zmiany kierunku przepływu wody.

Grubość osadów w rurociągach

Z badań zamieszczonych w pracy [7] wynika, że grubość osadów wodociagowych zależy przede wszystkim od czasu eksploatacji i rośnie proporcjonalnie do niego według zależności:

$$s = 0,118 t, \text{ mm} \quad (12)$$

gdzie: s — grubość warstwy osadów (inkrustacji) w mm. Zależność ta jest istotna na pozio-

mie $0,001$. Wpływ wskaźnika stabilności wody na roczny przyrost warstwy osadów jest nieznaczny i nieistotny [7]. Rzeczywistą średnicę rurociągu eksploatowanego można z pewnym przybliżeniem obliczyć ze wzoru:

$$d_t = d_o - 0,236 t, \text{ mm} \quad (13)$$

Chropowatość rurociągów nowych

Wyniki dotychczasowych badań chropowatości k_o nowych rurociągów dość znacznie różnią się między sobą. Chropowatość nowych rurociągów żeliwnych określana jest w granicach od $0,1$ mm do $1,08$ mm.

Według badań Lamonta [4] $k_o = 0,127$ mm, Ševeleva [6] $k_o = 0,59$ mm, a według Sapożnikowa [6] $k_o = 0,6 \div 0,7$ mm.

Badania oporności hydraulicznej nowych rurociągów przeprowadzone przez autora [7] wykazały, że chropowatość nowych rurociągów wynosi:

$$k_o = 0,6 \pm 0,2 \text{ mm} \quad (p = 99,9\%) \quad (14)$$

Szeroki przedział ufności dla średniej wartości k_o świadczy o wpływie innych czynników na wartość chropowatości rurociągu nowego takich jak: warunki i czas składowania rur, zachowanie prostościowości rurociągu, rodzaj i dokładność połączeń i inne.

Po uwzględnieniu we wzorze (8) formuły (11) i wyznaczonej wartości $k_o = 0,6$ mm otrzymano formułę (15)

$$k_t = 0,6 + (0,076 - 0,103 I) \cdot t, \text{ mm} \quad (15)$$

do określania wartości zastępczej chropowatości piaskowej rurociągu eksploatowanego, którym płynie woda o wskaźniku stabilności w przedziale od $-0,8$ do $+0,25$.

Wnioski

1. Na wzrost oporności hydraulicznej eksploatowanych przewodów wodociagowych składa się proces wzrostu chropowatości powierzchni wewnętrznej rur oraz proces zmniejszania się ich średnic czynnych w miarę upływu czasu eksploatacji.

2. Chropowatość wewnętrznej powierzchni rurociągów wodociagowych, prowadzących wodę uzdatnioną do celów bytowo-gospodarczych, o nieznacznie zmieniającym się składzie fizyczno-chemicznym rośnie proporcjonalnie do czasu eksploatacji i zależy głównie od wskaźnika stabilności wody.

3. Grubość warstwy inkrustacji w przewodach sieci wodociagowej zależy przede wszystkim od czasu eksploatacji i rośnie proporcjonalnie do niego, w miarę wzrostu korozyjności wody przyrost roczny warstwy inkrustacji nieznacznie maleje.

4. Wyniki badań nadają się tylko wtedy do uogólnienia, gdy w czasie eksploatacji sieci

skład fizyczno-chemiczny wody, a także jej pochodzenie nie ulegało istotnym zmianom.

5. Woda uzdatniona powinna mieć wskaźnik stabilności bliski zeru, aby roczny przyrost chropowatości był jak najmniejszy.

LITERATURA

1. A. D. ALTSUL, A. G. KAMERŠTEJN: Uvelichenie soprotivlenia turboprovodov v processe ich eksploatacii. Gidrotechničeskoe stroitelstvo 1949, nr 7.
2. K. A. ARUTJUNIAN, J. G. JANOWSKIJ: Vosstanovlenie i sochranenie propusknoj sposobnosti metalicheskikh truboprovodov wodosnabženia. Intensyfikacija i optymalizacija gorodskich i promyšlennych vodovodov. Moskwa 1973, Mosk. Dom Naučn. Techn. Prop. im. F. E. Dzierżinskovo.
3. A. G. KAMERŠTEJN: Meroprijatia po sochraneniiu propusknoj sposobnosti vodoprovodnykh trub. Moskva — Leningrad 1950. Strojizdat.
4. P. A. LAMONT: The choice flow laws for practical use. Water and Water Engineering 1969, February, s. 55—63.
5. M. A. MOSTKOV: Gidravličeskij spravočnik. Moskva 1954. Gosstroizdat.
6. M. M. SAPOŽNIKOV: Gidravličeskie zakonomernosti turbulentnogo dviženia v trubach iz različnykh materialov, Moskva, 1964, Strojizdat.
7. H. PEŁKA: Wzrost oporności hydraulicznej przewodów wodociagowych. Praca doktorska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, 1977.
8. E. W. MIELCARZEWICZ: Obliczenia systemów zaopatrzenia w wodę, Arkady, 1977.
9. E. W. MIELCARZEWICZ, H. PEŁKA: Analiza wpływu zmian średnicy i chropowatości ścian rurociągu na współczynnik oporności i przepływności właściwej przewodu, obliczonego na podstawie wzoru Colebrooka-White'a. Prace Instytutu Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Wrocławskiej nr 9, Wrocław 1970.

H. Pełka

On the effect of some chemical properties of water on the hydraulic resistance of pipes

The results obtained by the author from his study of pipe resistance are compared to the data reported by

Kamerstein and Mostkov (Soviet Union), and Lamont (Great Britain). The following factors are found to be the main contributors to the increasing pipe resistance: physicochemical properties of water, the material of which the pipe is made, and the length of pipe line operation. The roughness of fresh pipes was measured and the influence of operation and physicochemical properties of water on incrustation growth in the pipeline was examined.