

Basis Of Water Pipeline Cleaning Using Highpressure Water Jet

Przemysław Borkowski
Technical University of Koszalin
Poland

1. Introduction

The long-term operational use of pipelines causes that thick and nodular layers of hard sediment are being deposited inside. Effective cleaning of the water-pipe network with hard sediments deposited inside is a problem difficult to deal with. This sediment is distinguished by high hardness and adhesion to the substrate because of its major constituents, i.e. compounds of iron, manganese, calcium, aluminum and silicon. It accumulates on inner surfaces of the water-pipe network mostly in the form of scale.

This sediment, until recently, was removed by chemical or mechanical methods using different types of scrappers or spongy, i.e. flexible and porous, plugs forced through pipes. Work on cleaning the pipes making use of highpressure water jets was started in Ireland [12] and Great Britain [11] where nuclear systems were cleaned in this way. This useful method at the end of the 1980s was modernized and adapted [1] to the efficient cleaning of long water-pipe sections. A visible increase in effectiveness of cleaning such the pipelines [7] had been achieved when the conditions of using this method [3,4] were optimized [5] and its further development was stimulated [2,4]. Nowadays, similar techniques have also been used for the cleaning of sewage systems [8,10] and various pipelines [13,14]. Cleaning of pipes in petrochemical industry [14] demand usages of water jet with chemical additions [9] and electro-aerosol [15] making easy removing of deposits.

This work presents unaided accomplishments in the field of efficient water pipe cleaning using highpressure water jets.

2. Theoretical basis

The fundamentals of hydrodynamic pipeline cleaning technology were worked out on the basis of long practical experience and previous unaided analyses [4,5] of parameters of various materials cleaning. The most important practical quantity, i.e. a coaxial pull force of a cleaning nozzle was determined as a result of multi-aspect theoretical analysis [5] of a pipeline cleaning model and process kinetics, and hydrodynamics of elementary flows:

$$F_p = p \left(\sum_{i=1}^{i=n} A_i \eta_i \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sum_{j=1}^{j=m} A_j \eta_j \cos \gamma \cdot \cos \delta \right), \quad (1)$$

where:

p – working pressure of a water jet,

n, m , - number of water orifices in a nozzle directed backwards and forwards respectively,

A_1, A_2 – cross-section areas of respective water orifices,

α, γ – angles of water-orifice orientation in coaxial jet cross-section (Fig. 1),

β, δ – angles of water-orifice orientation in normal jet cross-section,

η_i, η_j – coefficients of water flow efficiency through the nozzle.

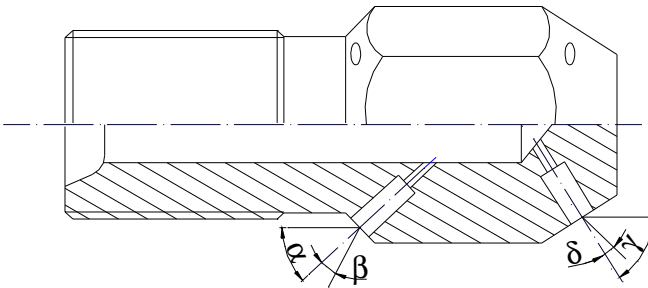


Fig. 1. Geometry of water orifices in a cleaning nozzle

Rys. 1. Geometryczne usytuowanie otworów wodnych w głowicy czyszczącej

Sample results of the pull force defined by formula (1) for a dozen nozzles selected are presented in Fig. 2. These graphs can be used to determine a hydrodynamic state under different conditions of pipeline cleaning. Thus it is possible to estimate the pull force and the rate of working system (cleaning nozzle - feeding hose) along a pipeline in the course of cleaning as well.

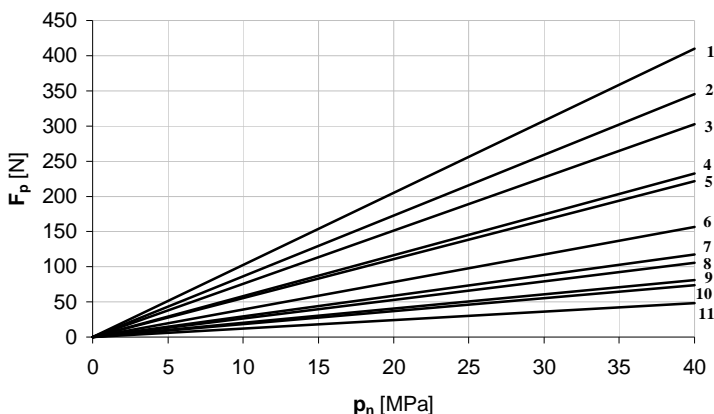


Fig. 2. Theoretical interdependence between pull forces and water pressure for different nozzles: **1** - 4x ϕ 2.0mm; **2** - 6x ϕ 1.5mm; **3** - 6x ϕ 1.4mm; **4** - 4x ϕ 1.5mm; **5** - 6x ϕ 1.2mm; **6** - 6x ϕ 1.0mm; **7** - 4x ϕ 1.2mm + forwards ϕ 1.0mm; **8** - 4x ϕ 1.0mm; **9** - 3x ϕ 1.2mm + forwards ϕ 1.0mm; **10** - 4x ϕ 1.0mm + forwards ϕ 1.0mm; **11** - 3x ϕ 1.0mm + forwards ϕ 1.0mm

Rys. 2. Teoretyczne zależności pomiędzy siłą uciągu a nominalnym ciśnieniem wody dla różnych typów głowic roboczych: **1** - 4x ϕ 2,0mm; **2** - 6x ϕ 1,5mm; **3** - 6x ϕ 1,4mm; **4** - 4x ϕ 1,5mm; **5** - 6x ϕ 1,2mm; **6** - 6x ϕ 1,0mm; **7** - 4x ϕ 1,2mm + przeciw ϕ 1,0mm; **8** - 4x ϕ 1,0mm; **9** - 3x ϕ 1,2mm + przeciw ϕ 1,0mm; **10** - 4x ϕ 1,0mm + przeciw ϕ 1,0mm; **11** - 3x ϕ 1,0mm + przeciw ϕ 1,0mm

3. Experimental

Theoretical analyses let to design a few types of nozzles (Fig. 3). They underwent versatile trials on test stands fed with water at very high pressure (up to 75 MPa). They were [5] used to carry out complex investigations on losses of pressure, water flow rates, and shapes of water jets, thrust, recoil and pull forces along with unit pressure, energy and water jet power for several dozen combinations of technological equipment. Results of these investigations confirmed validity of theoretical assessments to the full extent. For example, influence of water pressure and hose diameter on the water working pressure flowing out of the nozzle is presented in Fig. 4. Whereas, the loss of working pressure in the function of hose length and water orifice diameter of six-orifice nozzle, is presented in Fig. 5.



Fig. 3. View of sample cleaning nozzles

Rys. 3. Przykłady różnych typów głowic czyszczących

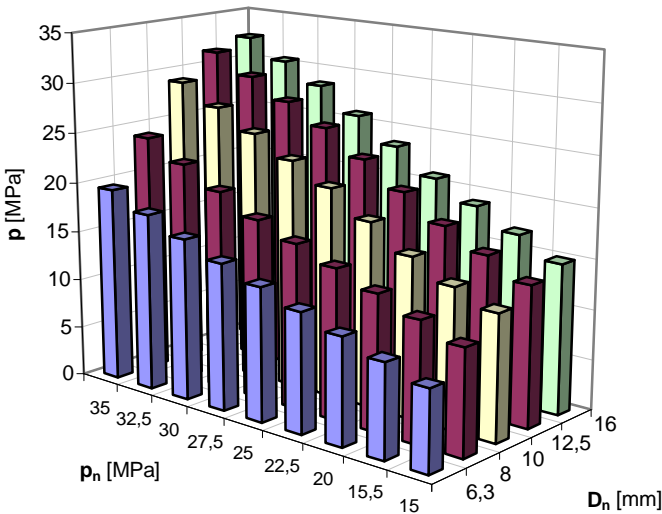


Fig. 4. The influence of water pressure (p_n) and highpressure hose diameter (length 50m) on the water working pressure (p) flowing out of the six-orifice cleaning nozzle (6 orifices $\phi 1.0\text{mm}$)

Rys. 4. Wpływ nominalnego ciśnienia wody (p_n) i średnicy wysokociśnieniowego węża (o długości 50m) na robocze ciśnienie (p) strugi wody wypływającej z sześciootworowej głowicy czyszczącej (6 dysz $\phi 1,0\text{mm}$)

Taking into account a limited length of the paper, only a sample dependence of the pull force for a few different nozzles on the water pressure are presented here. For example, in Fig. 6, there are presented diagrams of pull forces for several nozzle types equipped in water orifices directed only backwards. All those diagrams are described by the following empirical equations:

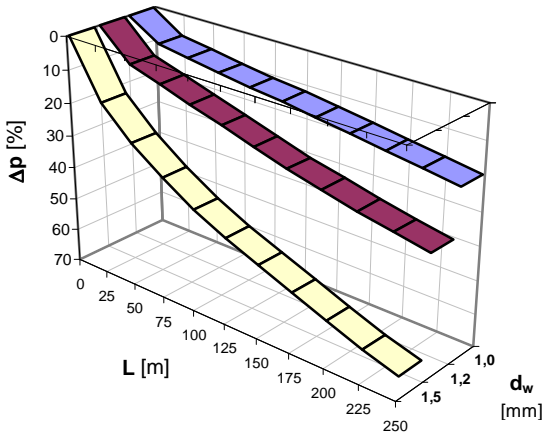


Fig. 5. The influence of hose length and water orifice diameter of six-orifice cleaning nozzle on the loss of working pressure for hose diameter of 12.5 mm

Rys. 5. Wpływ długości węża (o średnicy $D_n=12,5$ mm) i średnicy otworów wodnych w sześciotworowych głowicach czyszczących na straty ciśnienia strugi wodnej

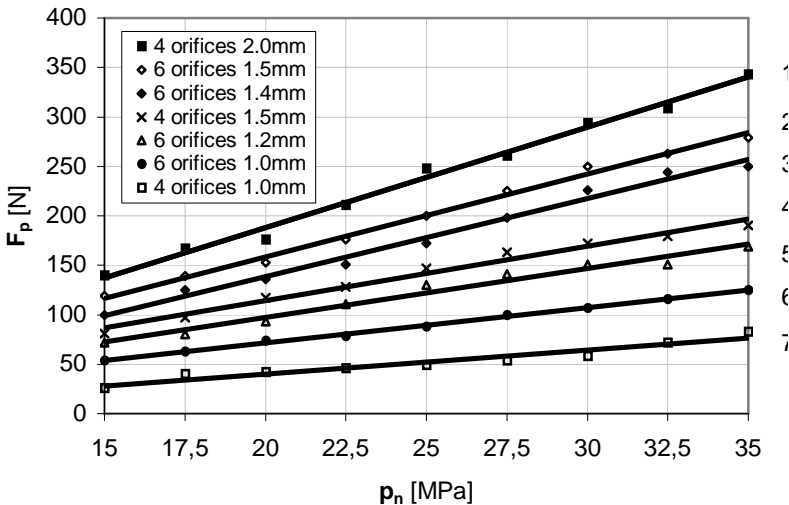


Fig. 6. Real values of pull forces for different nozzles as a function of water pressure (feeding hose: $D_n=12.5$ mm, $L=100$ m)

Rys. 6. Rzeczywiste wartości sił uciągu dla różnych typów głowicz czyszczących w funkcji nominalnego ciśnienia wody (wąż zasilający: $D_n=12,5$ mm, $L=100$ m)

1. $F_p = 10.16 p_n - 15.222$ $R^2 = 0.9914$ (2)
2. $F_p = 8.3667 p_n - 8.7222$ $R^2 = 0.9943$ (3)
3. $F_p = 7.8933 p_n - 19.333$ $R^2 = 0.9873$ (4)
4. $F_p = 5.5133 p_n + 3.7222$ $R^2 = 0.9823$ (5)
5. $F_p = 4.98 p_n - 2.5$ $R^2 = 0.9747$ (6)
6. $F_p = 3.54 p_n + 0.9444$ $R^2 = 0.9964$ (7)
7. $F_p = 2.4267 p_n - 8.4444$ $R^2 = 0.9335$ (8)

In turn, in the Fig. 7, there are presented pull forces for a few work sets equipped with small nozzles with water orifices directed backwards and one forward, what was described on the diagrams with the word „forward”. Individual values of those forces are described by the following empirical equations:

1. $F_p = 4.52 p_n - 24.027$ $R^2 = 0.9932$ (9)
2. $F_p = 3.3127 p_n - 13.918$ $R^2 = 0.9915$ (10)
3. $F_p = 3.0582 p_n - 17.645$ $R^2 = 0.9792$ (11)
4. $F_p = 2.5891 p_n - 22.836$ $R^2 = 0.9961$ (12)
5. $F_p = 1.6982 p_n - 15.882$ $R^2 = 0.9749$ (13)

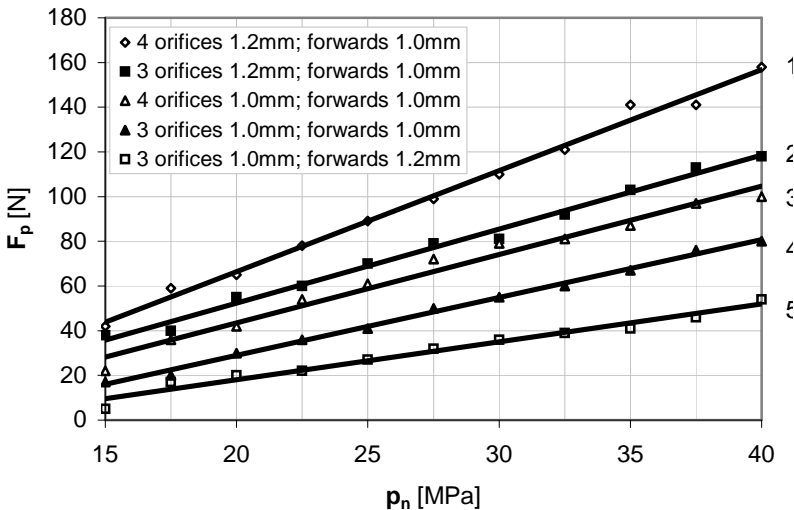


Fig. 7. Real values of pull forces for different nozzles as a function of water pressure (feeding hose: $D_n=8$ mm, $L=50$ m)

Rys. 7. Rzeczywiste wartości sił uciążu dla różnych typów głowic roboczych w funkcji nominalnego ciśnienia wody (wąż zasilający: $D_n=8$ mm, $L=50$ m)

The comparison of these graphs with theoretical analyses (Fig. 2) points a close analogy between them.

Analyses of these investigations made it possible to form many detailed conclusions concerning the physical phenomena and allowed to determine the following technological fundamentals of the process:

- Mean rate of nozzle travel while removing the very hard solid sediments from pipelines should amount to $v_p=1.5 - 3$ m/min.
- The number of water orifices arranged in the nozzle depends on a pipeline diameter and a thickness of sediment.
- Minimal value of the relative water requirement index amounts to $w=0.5$ l/dm².
- Unit thrust and pull forces are a derivative of a recoil force of a single water jet, whereas their vector sum gives a pull force of a cleaning nozzle.

4. Outline of hydrodynamic cleaning technology

In order to realize the hydrodynamic cleaning of pipelines [2,6] it is necessary to carry out excavation and cut out an opening in a pipe allowing a nozzle with a water feeding hose to introduce inside. The nozzle has suitable water orifices that discharge at a rate of 200 – 400 m/s coherent water jets with high concentration of unit power. Hydrodynamic interaction of such high-pressure water jets causes all the sediment to loosen and disintegrate and then remove it outside the pipeline. If process parameters were selected properly, it would be possible to clean a 400 – 500 m pipeline from one opening. When cleaning of the pipeline section is completed it is necessary to reassemble the opening fixing it with watertight joints. Selection of proper design for a nozzle and optimal cleaning process parameters is carried out each time depending on a quantity and hardness of sediment, a type, a diameter and an operational period of a pipeline. It enables us to obtain a satisfactory value of coaxial pull force (Fig. 6 and Fig. 7) of a self-driven cleaning nozzle and proper trajectories of respective cavitations stream.

A field investigation is the final test verifying the developed profile of pipeline cleaning technology. Technological car systems (Fig. 8) were build in the Center of Pro-Ecological Technologies to allow such water pipe-line cleaning process. Effectiveness of hydrodynamic cleaning is illustrated by samples of water pipes in Fig. 9. Such cleaning does not result in any strain or other damage to the pipeline and therefore it may be applied to all types of pipelines ranging from 25 mm to 1000 mm in diameter.



Fig. 8. General view of two mobile test stands based on a hydro monitor with a highpressure pump

Rys. 8. Samochodowe hydromonitory wysokociśnieniowe



Fig. 9. Example of effective cleaning of a water pipeline after 50 years of use

Rys. 9. Efektywność czyszczenia rurociągu wodociągowego po 50 latach eksploatacji

5. Summary

On the basis of the whole work it should be mentioned here that this method of water pipe cleaning ensures high effectiveness of the process, since solid sediment is removed from 93 – 96% of total inside area of a pipe. A significant rate of pipeline cleaning (of the order of 100 – 120 m/h) at low consumption of process water (less than 6 m³/h) ensures low cost and short processing time. Moreover this cleaning method is environmentally friendly because a working medium is clear water.

References

1. **Borkowski J.:** Nowe techniki regeneracji sieci kanalizacyjnej oraz instalacji hydrotechnicznych. Międzynarodowa Konferencja N-T: ROTHENBERGER A.G.- Nowatorskie Rozwiązania w Zakresie Czyszczenia i Napraw Bezwykopowych Sieci Kanalizacyjnej. Poznań, 1994, s. 1-14.
2. **Borkowski J., Borkowski P.:** Podstawy stosowania wysokociśnieniowej strugi wody do czyszczenia trudnodostępnych rurociągów. VII Posiedzenie Komitetu Budowy Maszyn PAN. Koszalin, 2002.
3. **Borkowski P.:** Fundamentals for application of highpressure water jets to inaccessible pipeline cleaning. Int. Conf. on Water Jet Machining WJM'2001. Cracow, 2001, pp. 141-148.
4. **Borkowski P.:** Hydrodynamiczny sposób czyszczenia rurociągów metodą wysokociśnieniowej strugi wodnej. XVI Międzynarodowe Seminarium Naukowe SiMPN. Mat. Konf. Budownictwo i Inżynieria Sanitarna. Zielona Góra, 1994. s. 103-106.
5. **Borkowski P.:** Opracowanie hydrodynamicznego sposobu czyszczenia rurociągów metodą wysokociśnieniowej strugi wodnej. Praca magisterska. Koszalin, 1993.
6. **Borkowski P., Borkowska K.:** Sposób czyszczenia rurociągów z osadów trwałych. Patent nr 173734, 1994.
7. Folder ofertowy Centrum Technik Proekologicznych. Koszalin, 1993.
8. **Horger K., Lutze H.:** The use of the water-jet technology for cleaning, cutting, wearing, and renovation of non-accessible pipes and sewers. 15th Int. Conf. On Jetting Technology. Ronneby, 2000, pp. 419-434.
9. **Li G., Ma J., Shen X., Chen H.:** A study on descaling of water injection tubing by water jet. 9th American Waterjet Conference. Dearborn, 1997, pp. 603 – 611.
10. **Lutze H., Horger K.:** The use of the waterjet technology for cleaning, cutting, wearing, and renovation of in-accessible pipes and sewers. 14th Int. Conf. On Jetting Technology. Brugge, 1998, pp.545-561.
11. **Sonders M.J., Bond R.D.:** The use of high pressure water jetting to remove the corrosion deposit from samples of the WSGHWR primary circuit pipework. 7th Int. Symp. On Jet Cutting Technology. Ottawa, 1984, pp. 99-118.
12. **Torpey P.:** Some experiences in the manufacture and application of high pressure water cleaning equipment. 1st. Int. Symp. On Jet Cutting Technology. Coventry, 1972, pp. D1.1-D1.11.
13. **Yanli Z., Xianwu O., Wenzhu L., Guangheng L., Guoqiang N.:** The study on the cleaning processing for under ground laid pipeline with large diameter using highpressure waterjet. 10th American Waterjet Conference. Houston, 1999, pp. 579 – 584.
14. **Zhang L., Jiao Y., Zhang Q.:** Cleaning the oil-gas lines on catalytic cracker until in oil refinery using high-pressure water jet technique. 10th American Waterjet Conference. Houston, 1999, pp. 585 – 593.
15. **Zhengfang L., Shijin Z., Xiaogang D., Fenghua Z., Chuanlin T.:** The electro-aerosol jet cleaning the grease and impurity on the metal surface. 2001 WJTA American Waterjet Conf. Minneapolis, 2001. Paper No. 51.

Podstawy czyszczenia sieci wodociągowej przy użyciu wysokociśnieniowej strugi wodnej

Streszczenie

W wyniku kilkudziesięcioletniej eksploatacji na wewnętrznych ściankach rurociągów wodnych osadzają się grube guzowate warstwy zanieczyszczeń utrudniające przepływ wody. Osady takie odznaczają się dużą twardością i przyczepnością do podłoża, bowiem ich głównymi składnikami są związki żelaza, manganu, wapnia i krzemu. Skuteczne czyszczenie rur wodociągowych stanowi więc istotny problem.

Na podstawie wieloletnich analiz teoretycznych i doświadczeń praktycznych zdobytych w Centrum Technik Proekologicznych podczas poligonowych prób, wielokrotnie przeprowadzanych na rzeczywistych sieciach wodociągowych różnych miast, opracowano efektywną technologię hydrodynamicznego czyszczenia rurociągów. Na tej podstawie stwierdzono, że takie czyszczenie nie powoduje żadnych odkształceń lub innych uszkodzeń rur wodociągowych, dlatego może być stosowane do wszystkich rodzajów rurociągów o średnicach od 25mm do 1000mm.

Taki hydrodynamiczny sposób czyszczenia rurociągów wymaga wykonania odkrywkowego wykopu i wycięcia fragmentu rury dla wprowadzenia głowicy roboczej wraz z węzłem doprowadzającym wodę pod wysokim ciśnieniem. Dobór odpowiedniej konstrukcji głowic roboczych i parametrów procesu czyszczenia przeprowadza się w zależności od ilości i twardości osadów oraz rodzaju, średnicy i eksploatacji rurociągu. Głowica robocza zaopatrzona jest w odpowiednie dysze wodne, przez które wypływają z prędkością 200÷400 m/s koherentne strumienie wody o dużej koncentracji mocy jednostkowej. Hydrodynamiczne oddziaływanie takich wysokociśnieniowych strumieni wodnych powoduje odspajanie i rozdrabnianie osadów oraz ich usuwanie na zewnątrz rurociągu. Ponadto zapewnia to korzystne trajektorie poszczególnych strug kawitacyjnych oraz zadowalającą wartość poosiowej siły ucięcia samonapędowej głowicy czyszczącej.

Omawiany sposób czyszczenia rurociągów wodnych zapewnia wysoką efektywność procesu, bowiem osady usuwane są z 93÷96% powierzchni wewnętrznej rury. Poprawny dobór parametrów procesu pozwala na oczyszczenie 400÷500 m rurociągu z jednego wykopu. Znaczna prędkość czyszczenia wodociągu (rzędu 100÷120 m/h) przy niewielkim zużyciu wody technologicznej (niespełna 6 m³/h) zapewniają niskie koszty operacji oraz krótki czas (rzędu kilku godzin) wyłączenia sieci z eksploatacji.