

## VANDENTIEKIO TINKLO PLOVIMO TYRIMAI

Rytis Jocys<sup>1</sup>, Mindaugas Rimeika<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,  
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*

El. p. <sup>1</sup>rytis.jocys@stud.vilniustech.lt; <sup>2</sup>mindaugas.rimeika@vilniustech.lt;

**Anotacija.** Miestams sparčiai plečiantis reikalingas patiekti vandens kiekis didėja, taip pat įrengiama vis daugiau naujų tinklų, tačiau esamų tinklų nespėjama taip greitai renovuoti, todėl juose per daug metų susikaupusios nuosėdos kartais sukelia nepageidaujamų vandens pasikeitimų. Straipsnyje atliekama nuosėdų iš vandentiekio tinklo analizė. Nustačius nuosėdų charakteristikas, galima lengviau suprasti jų kaupimosi specifiką. Tyrimo metu buvo paimti vandens mėginiai iš Žemųjų Panerių, Naujosios Vilnios, Aukštągirio, Tupatiškių rajonų vandentiekio tinklų plovimų metu. Darbo tikslas yra išanalizuoti nuosėdas, pašalintas iš vandentiekio tinklo plovimo metu, nustatyti galimus nuosėdų kiekius vamzdyne. Nustatyta vandentiekio tinklo plovimo vandenyje esančių nuosėdų granulimetrinė sudėtis, tai pat nuosėdų tankis  $2150 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ . Atlikti skaičiavimai nuosėdų kritiniams stabilumo ir ardymo greičiams nustatyti. Išanalizuota, kad 1 mm dalelei išjudinti reikalingas minimalus 0,4 m/s greitis.

**Reikšminiai žodžiai:** vandentiekis, vandentiekio tinklo plovimas, nuosėdos, kritiniai greičiai, granulimetrinė sudėtis.

### Įvadas

Vilniaus mieste metalinių vamzdžių naudojimo pradžia sietina su dujų fabriko Vilniuje statyba, kai 1863 m. pirklys iš Peterburgo A. Lalansas iš miesto dūmos gavo monopoliją organizuoti Vilniaus miesto gatves apšviesti dujų žibintais. Fabrikas pradėjo veikti 1864 m., metaliniai vamzdžiai tiko ne tik dujoms, tačiau ir vandentiekiiui, taigi šią datą galima laikyti ir metalinių vamzdžių naudojimo pradžia.

Daugelį metų vandens tiekimo įmonės skyrė dėmesį vandens kokybei po vandens gerinimo įrenginių. Šiomis dienomis vis labiau atkreipiamas dėmesys ir į vandens kokybę vartotojų čiaupuose. Tokie rodikliai kaip geriamojo vandens spalva, skonis ir kvapas vandens vartotojų požiūriu yra svarbiausi. Dažniausias skundas, kurį gauna vandenį tiekiančios įmonės, yra vandens spalvos pasikeitimas, kuris nepriimtinas vartotojui, su šia problema susiduria visos pasaulio vandens tiekimo įmonės. Spalvos pasikeitimas neigiamo poveikio sveikatai neturi, tačiau jis gali turėti neigiamą įtaką santechnikos įrenginiams. Problemai spręsti vandens tiekimo įmonės įprastai pasirenka tinklo plovimą paprastu būdu, tai yra atidarant hidrantą (Dan Ellison, 2003).

Vandens spalvos pasikeitimus sukelia nuosėdos, norint išvengti šių pasikeitimų reikalinga pašalinti nuosėdas

iš vandentiekio tinklo. Įmanomos trys nuosėdų mažinimo galimybės. Pirmą – neleisti medžiagoms, sudarančioms nuosėdas, patekti į vamzdynus. Taip pat galima neleisti medžiagoms kauptis vandentiekio sistemoje, su projektuoti savaime išsiplaukančius vamzdynus, kuriuose greičių pokyčiai užtikrina, kad nuosėdos nesikaupytų. Jau įrengtuose tinkluose anksčiau minėtų būdų įgyventi praktiškai neįmanoma, todėl naudojamas trečiasis dažniausiai vandens tiekimo įmonių taikomas būdas – tinklų plovimas. Nuosėdų kaupimasis tinkle nėra vienodas, vienose tinklo atkarpose tai vyksta greičiau, kitose lėčiau (Blokker & Schaap, 2015).

Korozija literatūroje įvardijama nuosėdų susidarymo priežastimi. Korozijos procesui poveikį turi šios sąlygos: vandens kokybė, tekėjimo sąlygos, pH, ištirpęs deguonis. Vandens kokybė kinta ir dėl bakterijų veiklos (McNeill & Edwards, 2002).

Viena iš priežasčių, kodėl vandens kokybė vandentiekio sistemoje blogėja, yra bakterijų augimas ant vamzdžių sienelių, tai yra bioplėvelės susidarymas. Nustatyta, jog kiekviena vandens tiekimo sistema linkusi į bioplėvelės susidarymą. Didesnė tikimybė susidaryti bioplėvelei tose vamzdžių atkarpose, kuriose vandens amžius didesnis negu įprastai ir mažas dezinfekuojančių medžiagų kiekis. Perteklinis bioplėvelės augimas gali sumažinti

vamzdyno pralaidumą, padidinti nuostolius vamzdžiuose (Council, 2007).

Bioplėvelė – viena su kita susijusių bakterijų darinys. Daugumos bioplėvelės sudedamųjų medžiagų yra 10 % sausos masės, o likusi 90 % sudaryta iš tarpląstelinės medžiagos (G. Liu et al., 2017).

Tinklo plovimo metu viršutinis sluoksnis lengvai atsiskiria nuo vamzdžio sienelės, o apatinis bazinis pasižymi atsparumu plovimui. Plovimo metu praktiškai neįmanoma atskirti visos bioplėvelės sluoksnio nuo vamzdžių (J. qing Liu et al., 2017).

Mokslininkai pripažįsta ryšį tarp geriamojo vandens temperatūros ir kokybės, tačiau šis ryšys nėra plačiai išnagrinėtas. Pasaulio sveikatos organizacijos gairėse rekomenduojama didžiausia šalto vandens temperatūra iš čiaupo 25 laipsniai (Agudelo-Vera et al., 2020).

Nustatyta, kad esant aukštesnei temperatūrai ant vamzdinių sienelių nusėda daugiau medžiagų ir jos gali būti mobilizuotos, jeigu atsirastų didesnis šlyties įtempis nei įprastai. Tyrimais įrodyta, kad temperatūra svarbus elementas reguliuojant vandens drumstumą tinkle ir prognozuojant spalvos pasikeitimo riziką (Sunny et al., 2018).

Atlikti mokslininkų tyrimai nagrinėjant ketinių ir polietileno vamzdžių plovimą rodo, kad ant ketinių vamzdžių sienelių susidaro didesnis sluoksnis nuosėdų ir tas sluoksnis jautresnis vandens srauto pokyčiams vamzdyje (Douterelo et al., 2014).

Tyrimais nustatyta, jog paviršiaus savybės, ypač plastikinų vamzdžių šiurkštumas, turi didelį poveikį mikrobu prikibimui prie sienelių ir vystymuisi (Cowle et al., 2019).

Greitis vandentiekio tinkle, kai dalelės gali sukibti viena su kita ir gali formuotis didesnių nuosėdų dariniai, yra mažesnis už 0,06 m/s (Husband & Boxall, 2016).

Tyrimo tikslas – nustatyti nuosėdų granulimetrinę sudėtį, nuosėdų kiekius vamzdyne, apskaičiuoti reikalingus greičius dalelėms transportuoti vamzdyne.

## Metodika

Plovimo debitui nustatyti mėginių ėmimo vietose buvo naudojamas elektromagnetinis debitomatis „Siemens F M MAG 6000 CT“.

Debitomatis jungiamas žarnomis prie plaunamo hidranto (1 pav.). Debitas fiksuojamas, kai plovimo hidranto uždoriai visiškai atidaromi ir srovė stabili.

Dalelių dydžiui nustatyti mėginiai imama iš Vilniaus miesto vandentiekio tinklo (Žemųjų Panerių, Naujosios Vilnios, Aukštągirio, Tupatiškių rajonų (3 pav.). Visose mėginių ėmimo vietose vamzdyno medžiaga – ketus, skersmuo 50, 100, 150, 300 mm. Dalelių dydis buvo nustatomas imant vandenį iš vandentiekio tinklo plovimo vietoje, kai tinklas plaunamas atlikus remonto darbus,



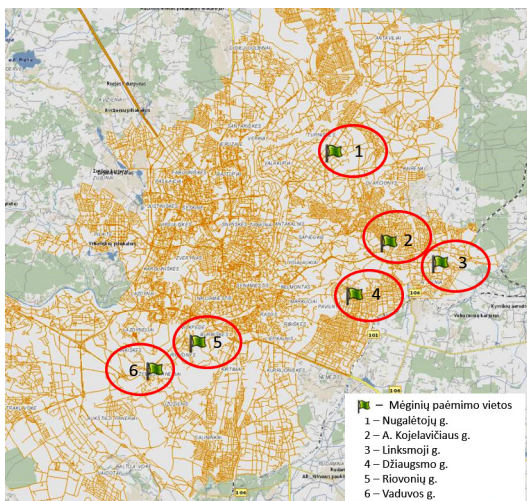
1 paveikslas. Debito matavimas tinklo plovimo metu



2 paveikslas. Nuosėdų granulimetrinė sudėtis

tokius kaip sklendės, hidranto keitimas. Tyrimams paimama 20 litrų pradžios plovimo vandens, kadangi jis labiausiai drumstas. Paimtas mėginys paliekamas laboratorijoje 24 h, jog būtų galima atskirti daleles ir sumažinti garinamo vandens tūrį. Vandens ir nuosėdų mišinys, kurio tūris apie 50 ml, džiovinamas VILNIUS TECH mokomosios laboratorijos krosnyje. Džiovinama 100 °C apie 8–12 h, kai mėginys visiškai išdžiūvęs, trinamas porcelianinėje lėkštelėje grūstuvėliu. Sutrintas mėginys sijojamas per 0,8 mm, 0,6 mm, 0,5 mm, 0,3 mm, 0,2 mm sietus pagal ISO/TS 17892-4:2004 standartą. Sijojamas atliekamas rankomis, kol dalelės nebyra į žemiau esantį sietą (2 paveikslas). Sulaikytos dalelės sietuose pasveriamos 0,0001 gramu tikslumu.

Dalelių tankiui nustatyti taikomas piknometrinis tankio nustatymo metodas LST EN 12697-5:2019, 9.2 p. Tankiui nustatyti naudojamas stiklinis 100 ml tūrio indas, laboratorinės svarstyklės. Būdas tinkamas nustatyti birių medžiagų tankį. Sverti naudojamos tikslios laboratorinės svarstyklės. Svarbu, kad pripildžius kolbą vandens, neliktų oro burbuliukų, kurie gali iškreipti medžiagos tūrio nustatymą. Oro burbuliukams iš kolbos pašalinti mėginys 10 min lėtai maišomas.



3 paveikslas. Vandens mėginių ėmimo vietas

Tankis apskaičiuojamas pagal tuščio ir pripildyto tūrio piknometro svorio skirtumą. Į piknometrą suberiamos pasvertos dalelės, likusi piknometro dalis iki žymos pripildoma vandens, kurio tankis pagal kambario temperatūrą žinomas. Tankio formulė:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

čia  $m$  – mėginio masė, kg;  $V$  – dalelių tūris,  $m^3$ ;  $\rho$  – dalelių tankis,  $kg/m^3$ ;

$$V = V_1 - \frac{m_2 - m_1}{\rho_v}, \quad (2)$$

čia  $V$  – dalelių tūris,  $m^3$ ;  $V_1$  – kolbos tūris,  $m^3$ ;  $\rho_v$  – vandens tankis priklausomai nuo temperatūros,  $kg/m^3$ ;  $m_1$  – mėginio ir kolbos masė, kg;  $m_2$  – mėginio, kolbos ir pripildyto vandens masė, kg.

Dalelių kritinis stabilumo greitis, kai dalelė išlieka stabili, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_s = \lg \frac{8,8h}{d_5} \sqrt{\frac{2g(\rho_n - \rho)d}{3,5\rho}}, \quad (3)$$

čia  $v_s$  – kritinis stabilumo greitis, m/s;  $h$  – pusė vamzdžio skersmuo, m;  $\rho_n$  – sėdancios dalelės tankis  $kg/m^3$ ;  $\rho$  – skysčio (vandens) tankis,  $kg/m^3$ ;  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis  $m/s^2$ ;  $d$  – nešmenų dalelės stambumas, m.

Dalelių ardymo greitis, kai dalelė atplėšiama nuo paviršiaus, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_a = \lg \frac{8,8h}{d_5} \sqrt{\frac{2g(\rho_n - \rho)d}{1,75\rho}}. \quad (4)$$

Atlikus skaičiavimus nustatoma greičio vertė, kuriai esant prasideda ardymo procesai ir dalelė atplėšiama nuo vamzdžio paviršiaus ir transportuojama vamzdžiu.

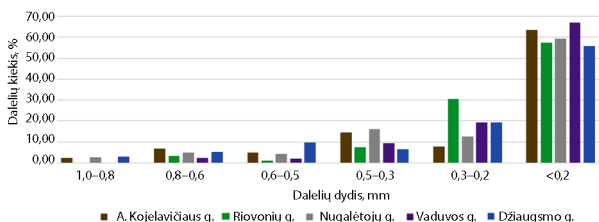
## Rezultatai ir jų analizė

### Vandentiekio tinkle esančių nuosėdų granulimetrinė sudėtis

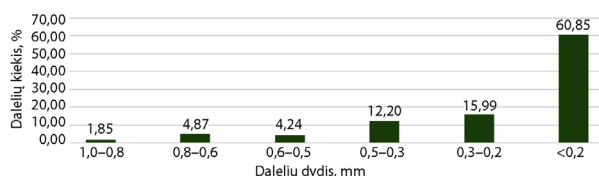
Nustatytas proporcinis dalelių kiekis ir pasiskirstymas frakcijomis skirtinguose plovimo vandens mėginiuose. Analizuojant atskirų mėginių (4 pav.) A. Kojelavičiaus g., Riovonių g., Aukštągario g., Vaduvos g., Džiaugsmo g. dalelių granulimetrinę sudėtį matoma, kad dalelės, kurių dydis nuo 1,0 iki 0,8 mm, visuose mėginiuose sudaro iki 3 %. Kai nuosėdų skersmuo 0,8–0,6 mm ir 0,6–0,5 mm, šiuose intervaluose nei viename mėginyje dalelių kiekis neviršijo 10 procentų viso mėginio masės.

Visų paimtų mėginių dalelių granulimetrinės sudėties stambumo pasiskirstymas pateiktas 5 pav., pastebimas dalelių kiekio augimas mažėjant jų dydžiui. Mažiausių dalelių, tai yra mažesnių už 0,2 mm, bendras kiekis viršija 60 %, tai yra 3,5 karto daugiau nei 0,3–0,2 mm dydžio. Dalelių, kurių dydis nuo 0,5 iki 0,3 mm, buvo nustatyta, kad yra 12,20 %, o nuo 0,8–0,6 mm ir 0,6–0,5 mm buvo gauta daugiau kaip 4 % procentų. Didžiausių dalelių, kurių skersmuo 1,0–0,8 mm, kiekis sudarė tik 1,85 % viso kiekio. Mažiausių ir didžiausių dalelių kiekis mėginyje skiriasi daugiau nei 32 kartus.

Nustatyta, kad tinkle esančių nuosėdų dalelių kiekį sudaro daugiau nei pusė dalelių, kurios yra mažesnės už 0,2 mm.



4 paveikslas. Dalelių dydžio pasiskirstymas skirtinguose mėginiuose

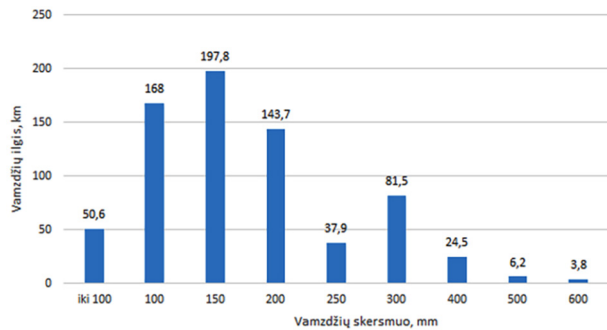


5 paveikslas. Visų mėginių granulimetrinė sudėtis

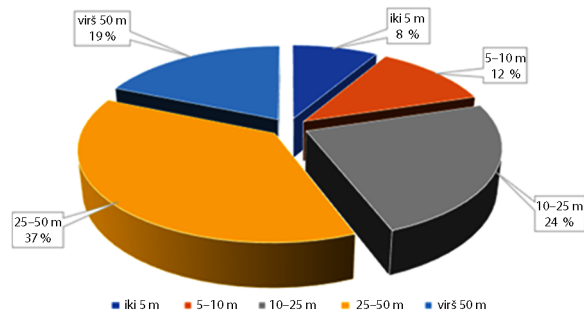
### Nuosėdų kiekis vandentiekio tinkle

Vilniaus mieste paklota apie 1624 km vandentiekio tinklą, iš jų 44 procentus sudaro ketus. Taigi 713,95 km Vilniaus mieste esančių vandentiekio tinklų sudaro ketiniai vamzdžiai (6 pav.). Eksploatuojamų vandentiekio tinklų amžius nuo įrengimo (7 pav.) pateiktas intervalais

0–5 m., 5–10 m., 10–25 m., 25–50 m., daugiau kaip 50 m. Vamzdynai, kurių amžius siekia daugiau kaip 25 metų ir daugiau, sudaro 56 procentus visų Vilniaus miesto tinklų. Tiriamų vamzdžių amžius siekia nuo 56 m. iki 38 m. senumo.

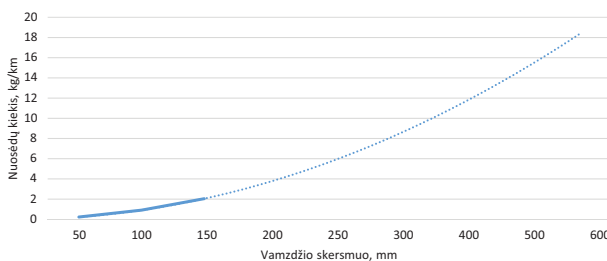


6 paveikslas. Ketinių vamzdžių ilgiai („Vilniaus vandenys“)



7 paveikslas. Vandentiekio tinklų amžius („Vilniaus vandenys“)

DN 150 ketinių vamzdžių eksploatuojama daugiausiai 197,8 kilometrai, o mažiausiai DN 600 tik 3,8 kilometro. Ištyrus plovimo vandens mėginius, paimtus iš vandentiekio tinklo, žinoma, kiek nuosėdų yra išplaunama 20 litrų mėginyje, atlikus skaičiavimus gauti duomenys pateikiami 8 pav.



8 paveikslas. Nuosėdų kiekiai

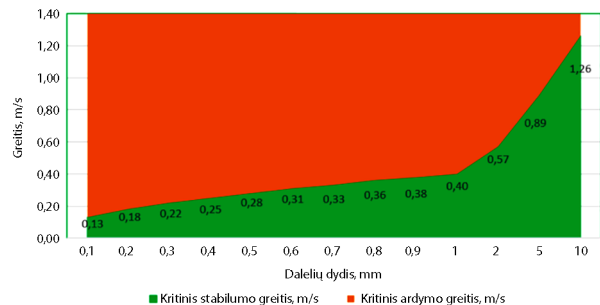
Gauti duomenys leido atlikti analizę įvertinant išplaunamų nuosėdų kiekius iš vieno kilometro vandentiekio tinklo atkarpos. Iš vieno kilometro atkarpos DN 100 galima išplauti nuosėdų, kurių svoris lygus 0,9 kg, DN 150 skersmens galimas išplauti nuosėdų kiekis siekia 2 kg, DN 300 – apie 8,2 kg. Nubrėžta tendencijos linija

pagal gautus rezultatus, tuomet žinomas teorinis nuosėdų kiekis visų skersmenų vamzdynuose. Iš didžiausio eksploatuojamo vandentiekio tinklo ketinio vamzdyno DN 600 galima tikėtis, jog bus išplauta apie 18,5 kilogramo nuosėdų.

Apskaičiuota, kad išplovus visus Vilniaus mieste eksploatuojamus ketinius vandentiekio tinklus, atsižvelgiant į skirtingus mėginius ir jų rezultatus, bendras galimų išplauti nuosėdų kiekis iš vamzdynų svyruoja nuo 1500 kg iki 3700 kg, o vidurkis 2600 kilogramai.

### Kritiniai nuosėdų stabilumo ir ardymo greičiai

Atlikus nuosėdų dalelio tankio nustatymą gauta, kad nuosėdų tankis  $2150 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ . Remiantis kritinių greičių formulėmis (3 ir 4) apskaičiuotas kritinis ardymo greitis ir kritinis stabilumo greitis. Gautos greičių reikšmės nuo dalelių skersmens (9 pav.).



9 paveikslas. Kritinių greičių priklausomybė nuo dalelės dydžio

Iš pateikto grafiko matyti, kad kritinis ardymo greitis ir kritinis stabilumo greitis yra tiesiogiai priklausomi, tai yra didėjant dalelių skersmeniui didėja ir greičiai, reikalingi joms išjudinti. Išanalizuota, kad 1 mm dalelei atplėšti reikalingas 0,4 m/s greitis, lyginant su 0,1 mm dalelės išjudinimo greičiu, jis yra apie 3 kartus didesnis. Nuosėdoms, kurių dydis 10 mm, mažiausias greitis reikalingas transportuoti 1,26 m/s, lyginant su 100 kartų mažesnėmis dalelėmis 0,1 mm, joms reikalingas beveik 10 kartų mažesnis išjudinimo greitis 0,13 m/s.

### Išvados

1. Išanalizuota išplaunamų nuosėdų iš vandentiekio tinklo granulimetrinė sudėtis, daugiau nei 60 procentų plovimo vandenyje esančių dalelių mažesnės už 0,2 mm.
2. Nustatytas išplaunamų nuosėdų iš vandentiekio tinklo dalelių tankis  $2150 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ .
3. Nustatyta teorinė nuosėdų masė išplovus visus ketinius Vilniaus miesto vamzdynus, ji svyruoja nuo 1500 kg iki 3700 kg.

4. Apskaičiuotas vidutiniškas galimas išplauti nuosėdų kiekis iš 1 kilometro ketinio vamzdyno atkarpos. Gauta, kad iš kilometro DN 100 vamzdyno plovimo metu gali būti pašalinta apie 1 kg nuosėdų.
5. Apskaičiuota, kad 1 mm skersmens nuosėdų dalelei išjudinti reikalingas mažiausiai 0,4 m/s greitis.

## Literatūra

- Agudelo-Vera, C., Avvedimento, S., Boxall, J., Creaco, E., de Kater, H., Nardo, A. Di, Djukic, A., Douterelo, I., Fish, K. E., Rey, P. L. G., Jacimovic, N., Jacobs, H. E., Kapelan, Z., Solano, J. M., Pachongo, C. M., Piller, O., Quintiliani, C., Ručka, J., Tuhovčák, L., & Blokker, M. (2020). Drinking water temperature around the globe: Understanding, policies, challenges and opportunities. *Water*, 12(4).  
<https://doi.org/10.3390/W12041049>
- Blokker, E. J. M., & Schaap, P. G. (2015). Particle accumulation rate of drinking water distribution systems determined by incoming turbidity. *Procedia Engineering*, 119(1), 290–298.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.08.888>
- Council, N. R. (2007). *Drinking water distribution systems: Assessing and reducing risks*. National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/11728>
- Cowle, M. W., Webster, G., Babatunde, A. O., Bockelmann-Evans, B. N., & Weightman, A. J. (2019). Impact of flow hydrodynamics and pipe material properties on biofilm development within drinking water systems. *Environmental Technology*, 41(28), 3732–3744.  
<https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1619844>
- Dan Ellison. (2003). *Investigation of Pipe Cleaning Methods*. Awwa Research Foundation and American Water Works Association. [https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=CAGE11DiFMoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=cleaning+water+pipe+flushing&ots=Q0ZLNZEisM6&sig=SbT0tUSi-3DiGskB0XvwaXZZKpB8&redir\\_esc=y#v=onepage&q=cleaning water pipe flushing&f=false](https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=CAGE11DiFMoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=cleaning+water+pipe+flushing&ots=Q0ZLNZEisM6&sig=SbT0tUSi-3DiGskB0XvwaXZZKpB8&redir_esc=y#v=onepage&q=cleaning water pipe flushing&f=false)
- Husband, S., & Boxall, J. (2016). Understanding and managing discolouration risk in trunk mains. *Water Research*, 107, 127–140. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2016.10.049>
- Liu, G., Zhang, Y., Knibbe, W. J., Feng, C., Liu, W., Medema, G., & van der Meer, W. (2017). Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. *Water Research*, 116, 135–148. Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.031>
- Liu, J. qing, Luo, Z. feng, Liu, K., Zhang, Y. fu, Peng, H. xi, Hu, B. lan, Ren, H. xing, Zhou, X. yan, Qiu, S. de, He, X. fang, Ye, P., Bastani, H., & Lou, L. ping. (2017). Effect of flushing on the detachment of biofilms attached to the walls of metal pipes in water distribution systems. *Journal of Zhejiang University: Science A*, 18(4), 313–328.  
<https://doi.org/10.1631/jzus.A1600316>
- McNeill, L. S., & Edwards, M. (2002). The importance of temperature in assessing iron pipe corrosion in water distribution systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77(3), 229–242.  
<https://doi.org/10.1023/A:1016021815596>
- Sunny, I., Husband, S. P., & Boxall, J. B. (2018). Seasonal Temperature and Turbidity Behaviour in Trunk Mains. In *WDSA / CCWI Joint Conference Proceedings*. <https://ojs.library.queensu.ca/index.php/wdsa-ccw/article/view/11970>

## WATER SUPPLY NETWORK FLUSHING RESEARCH

R. Jocys, M. Rimeika

### Summary

As cities expand rapidly, the amount of water they need to supply is increasing, and more and more new networks are being installed, but existing networks are not being renovated so quickly, and sediments that have accumulated over many years sometimes cause unwanted water changes. The article analyzes sediment removed from the water supply network. Determining the characteristics of sediments makes it easier to understand the specifics of their accumulation. During the research, water samples were taken from the water supply networks of Žemiejų Paneriai, Naujoji Vilnia, Aukštągiris and Tupatiškės districts. The aim of the work is to analyze sediment removed from the water supply network during flushing, to determine the possible amounts of sediment in the pipeline. The granulometric composition of the sediments in the water of the water supply network flushing was determined, as well as the sediment density of  $2150 \pm 150 \text{ kg / m}^3$ . Calculations were performed to determine the critical rates of sediment stability and disintegration. It has been analyzed that a minimum velocity of  $0.4 \text{ m / s}$  is required to dislodge a 1 mm particle.

**Keywords:** water supply, water network flushing, sediment, critical speeds, granulometric composition.