

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

VANDENTIEKIO TINKLO HIDRAULINIO MODELIAVIMO INFORMACINĖS SISTEMOS ANALIZĖ

Gabija PAULAUSKAITĖ ^{*}, Marija BURINSKIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2022 m. birželio 15 d.; priimta 2022 m. liepos 4 d.

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami vandentiekio tinklų duomenų apdorojimo, kaupimo, analizės ir miestų vandentiekio sistemų darbo optimizavimo, pasitelkiant informacines sistemas, klausimai. Nagrinėjamas Aleksoto–Narsiečių–Mastaičių ir Garliavos su rajonais vandentiekio tinklas. Analizuojamoje teritorijoje, kaip ir visame pasaulyje, susiduriama su kokybiško geriamojo vandens tiekimo problemomis: vamzdynų nusidėvėjimas, vandens nuostoliai dėl tinklų nesandarumo, įvykstančios avarijos ir kt. Hidraulinio modeliavimo informacinės sistemos nebuvimas trukdo operatyviai spręsti kasdienes problemas, planuoti tinklų remontus, rekonstrukcijas ar analizuoti tolesnę plėtrą ir jos įtaką sistemai. Pirmą kartą Kauno miesto savivaldybės teritorijoje kuriamas hidraulinis sistemos modelis, kuriuo siekiama su minimaliomis paklaidomis atkartoti realų sistemos darbą, racionaliai sureguliuoti viso Aleksoto rajono vandentiekio sistemą, optimizuoti energijos sąnaudas ir ateityje tvariai bei darniai vystyti geriamojo vandentiekio tinklo plėtrą.

Reikšminiai žodžiai: duomenų bazės, hidraulinis modelis, informacinė sistema, skaitmeninė informacija, vandentiekio tinklas.

Įvadas

Miesto gyvavimo ir jo valdymo procese svarbų vaidmenį atlieka informacija. Iš esmės informacinių sistemų projektavimas yra pagrindinis ilgalaikis informacinių sistemų tvarumo principas (Sulianta et al., 2019). Vandentiekio sistema yra gyvybiškai svarbi miesto inžinerinės infrastruktūros dalis. Miesto vandens paskirstymo sistemos paskirtis yra užtikrinti kokybiško ir higienos normas atitinkančio vandens tiekimą vartotojams tenkinant jų poreikius. Tai sudėtinga sistema, integruojanti aibę erdvinių ypatumų (Surani et al., 2015). Kasmet visame pasaulyje daug lėšų skiriama geriamojo vandens įrenginių plėtrai, diegimui bei atnaujinimui. 80–85 % vandens tiekimo projektų sąnaudų naudojama vandens paskirstymo sistemai. Gyventojų skaičiaus augimas, urbanizacija, žemės ūkio plėtra ir industrializacija lemia aukštesnę žmonių veiklos lygį, o didėjant vandens poreikiui vandens prieinamumo klausimai tampa kritiškai (Surani et al., 2015).

Šio darbo tikslas – sukurti rekomendacijas miestų, mažų miestelių ar atskirų jų dalių vandentiekio tinklo hidrauliniais modeliams kurti Aleksoto rajono pavyzdžiu. Sukuriamas Aleksoto rajono teritorijos vandentiekio tinklo hidraulinis modelis, papildant sistemą patikslinta

naujausia erdvine informacija, suvartojimo duomenimis bei analizuojant vandentiekio tinklo darbą, jame kylančių problemų priežastis, pateikiant rekomendacijas tinklo darbo gerinimui ir tolesnei plėtrai.

1. Hidraulinio modelio sudarymas

Hidraulinis modeliavimas ir vandentiekio tinklų hidraulinio modelių kūrimas tampa vis svarbesne, o daugelyje pasaulio šalių jau įprasta vandentvarkos inžinerijos dalimi. Tinkamai sukurtas hidraulinis modelis, sudarytas remiantis pažangiomis technologijomis, tokiomis kaip: geografinės informacinės sistemos, telemetrijos sistemos, gaisrų gesinimo debito skaičiavimai, vandens kokybės analizė ar vandens nuostolių vertinimas, yra nepakeičiamas darbo įrankis vandentvarkos inžinieriams (Farmani et al., 2007). Pagrindinis hidraulinio modelio taikymas yra vandentiekio tinklo analizė (Rao et al., 2015). Hidraulinis modelis gali būti taikomas ne tik kasdienėms vandens tiekimo sistemos eksploatavimo problemoms spręsti, bet ir darbui optimizuoti bei jo efektyvumui didinti, elektros energijai taupyti, tinklui plėsti, gaisrų gesinimo galimybėms įvertinti bei vandens nuostolių paieškai atlikti (Xiao et al., 2014). Fizinių vandens nuostolių, kai vanduo yra prarandamas

*Autorius susirašinėti. El. paštas gabija.paulauskaite@stud.vilniustech.lt

per vandentiekio tinklo nesandarumus, susidaro visose vandens tiekimo sistemose, nepriklausomai nuo jų technologinio pažangumo ar turimų vandens išteklių, todėl vandens nuostolių paieška, taikant hidraulinių modeliavimą, yra efektyvus pažangių technologijų pritaikymo vandentvarkoje pavyzdys (Wu & Sage, 2006).

Lietuvoje hidraulinis modeliavimas dar tik pradeda mas taikyti kasdieninėje praktikoje, vandentiekio tinklo modeliai praddami diegti šalies vandens tiekimo įmonėse, tačiau ateityje hidraulinis modeliavimas turėtų tapti kiekvienos vandens tiekimo įmonės efektyvaus darbo dalimi. Daugelyje pasaulio šalių, pavyzdžiui, Jungtinėse Amerikos Valstijose, priimtos hidraulinio modeliavimo taisyklės (angl. *Hydraulic Modeling Rule R309-511*), įpareigojančios, prieš prijungiant naujus tinklus ar pavienius tinklo elementus prie esamo tinklo, atlikti hidraulinių modeliavimą ir įvertinti, ar nauji pakeitimai nepadarys neigiamos įtakos esamam tinklui (Datwyler, 2012). Prancūzijoje kas 10 metų turi būti rengiamas pakartotinis vandentiekio ir nuotakyno bendrasis planas, kurio rengimo metu privalomi matavimai tinkluose, hidraulinio modelio koregavimas bei atnaujinimas (Rimeika ir Jurkienė, 2016).

Geografinės informacinės sistemos teikia tikslią erdvinę informaciją, kuri reikalinga norint pradėti vandentiekio tinklo hidraulinių modeliavimą, taip pat palengvina erdvinę ir grafinę analizę gautiems hidraulinio modelio rezultatams įvertinti (įvairūs žemėlapiai didelių teritorijų duomenų analizei).

Egzistuoja daugybė hidraulinio modeliavimo programų. Viena pirmųjų tokių sukurtų – Epanet, kuri taikoma iki šiol, be to, ji naudojama kaip pagrindinis skaičiavimo algoritmas daugelyje kitų programų. Keletas modeliavimo programų pavyzdžių pateikiami 1 lentelėje. Visų hidraulinio modeliavimo programų principas yra panašus. Dalis programų yra nemokamos, pagrindinis skirtumas tarp programų yra informacijos pateikimas ir jos apdorojimas. Modeliuojant yra atliekamos realios situacijos matematinės simuliacijos, taikant standartinius skaičiavimo algoritmus (Rimeika ir Jurkienė, 2016).

Hidraulinis modelis yra įrankis, skirtas projektuojamų sprendimų įtakai prognozuoti, pasiūlant techniškai ir ekonomiškai optimalų inžinerinės problemos sprendimą (Novak et al., 2010). Modelis yra sistema, kuri konvertuoja pradinius duomenis (geometriją, pradines sąlygas ir t. t.) į rezultatus (debitą, slėgį, vandens kokybės rodiklius ir kt.) tam, kad gauti rezultatai būtų panaudoti priimant inžinerinius sprendimus. Hidraulinio modelio taikymas itin paspartina skaičiavimus ir palengvina analizę. Modeliavimo programos suteikia galimybę atlikti trumpalaikį modeliavimą, kai fiksuojama situacija vandentiekio tinkle konkrečiu paros laiku, pavyzdžiui, maksimalią arba minimalią vandens suvartojimo valandą. Arba ilgalaikį, kai modeliuojamas situacijos kitimas, pavyzdžiui, visos paros metu, toks modeliavimas yra naudingas vandens nuostolių paieškai (Rimeika ir Jurkienė, 2016).

1 lentelė. Hidraulinio modeliavimo programų pavyzdžiai (Rimeika ir Jurkienė, 2016)

Table 1. Examples of hydraulic modelling software (Rimeika & Jurkienė, 2016)

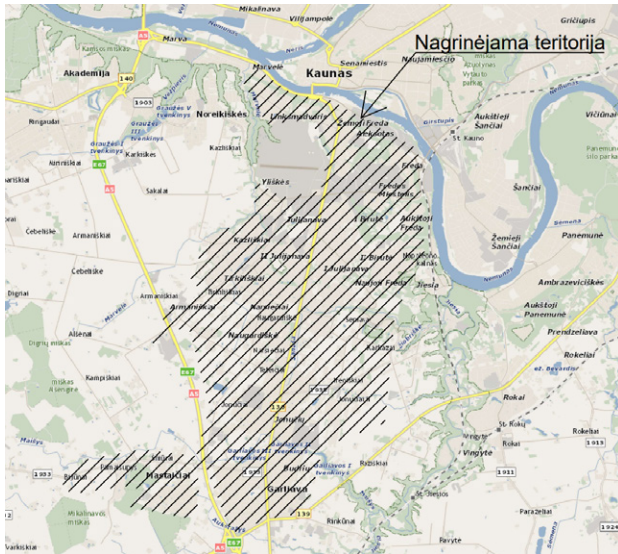
Modeliavimo programos pavadinimas	Prieiga per internetą
AquaNet	www.finite-tech.com
AQUIS	www.7t.dk/aquis
Archimede	www.proteo.it
BRANCH/LOOP	www.emcentre.com
Cross (WaterPac)	www.rehm.de
EPANET	www.epa.gov/ord/nrmrl/wswrd/epanet.html
Eraclito	www.proteo.it
Helix delta-Q	www.helixtech.com.au
InfoWater H2Onet	www.mwhsoft.com
InfoWorks WS	www.wallingfordsoftware.com
MikeNet	www.dhisoftware.com/mikenet
Netis	www.sbu.ac.uk/wdru
OptiDesigner	www.optiwater.com
PANORAMA	www.pinnacleknowledge.com
Pipe2000	www.kypipe.com
PipelineNet	www.tswg.gov/tswg/ip/pipelinenetb.htm
SynerGEE Water	www.advantica.biz
STANET	www.stanet.net
Wadiso SA	www.wadiso.com
WaterCad/WaterGEMS	www.bentley.com

2. Hidraulinio modelio kūrimas – WATERGEMS

Šiame straipsnyje analizuojama teritorija: dalis Kauno miesto (Aleksotas), Tirkiliškių, Narsiečių, Naugardiskės, Teleičių, Seniavos, Ireniškių, Karkazų, Jonučių, Jonučių II, Ražiškių, Kampiškių kaimai, Garliavos miestas, Bijūnų, Pamaišupio, Šniūrų ir Mastaičių kaimai. Į analizuojamą teritoriją vanduo tiekiamas iš Vičiūnų vandenvietės. Teritorijoje yra keturios vandens siurblynės: Veiverių vandens siurblynė, Aleksoto vandens siurblynė, turinti du švaraus vandens rezervuarus, Garliavos vandens siurblynė, taip pat turinti du švaraus vandens rezervuarus, bei Kalkinės siurblynė. Modeliuojamo vandentiekio tinklo lokacija pateikta 1 paveiksle.

Hidrauliniam modeliui kurti buvo gauti reikalingi modeliuojamos teritorijos GIS, SCADA ir XLS formatu pateikti duomenys. Pradiniame modelio rengimo etape buvo atlikta turimų GIS duomenų peržiūra, analizė, tikslinimas ir pildymas, topologijos parengimas ir derinimas.

Atlikus turimų duomenų peržiūrą buvo aptiktas vandentiekio tinklų (linijinio sluoksnio) duomenų trūkumas, dėl to buvo atliekama papildoma paieška, tikslinimas, suvedami vamzdžių skersmenys ir konkrečios tinklo atkarpos, jų sujungimai, įvadai, sužiedinamas tinklas.

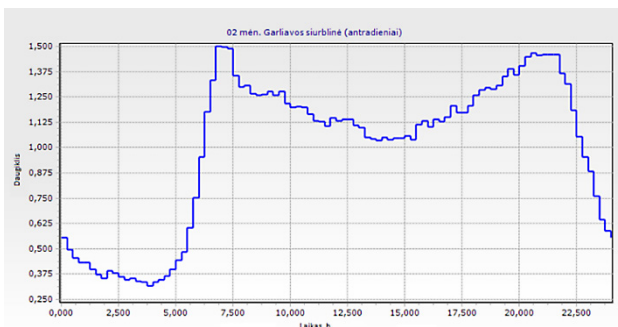


1 paveikslas. Tiriamosios teritorijos lokacija
Figure 1. Location of the study area

Kai kuriose teritorijos vietose, kuriose buvo pastebėtas vandens suvartojimas, tinklas buvo papildytas vamzdynais be jokių realių duomenų (darant prielaidą, kad tinklai pakloti gatvės raudonųjų linijų ribose).

Modeliuojamoje teritorijoje gyventojų suvartojamas vandens kiekis susietas su abonentais 2020 m. 02 mėn. buvo 4702,1 m³/d, 08 mėn. – 4805,8 m³/d. Vandens suvartojimas buvo padidinamas pagal SCADA duomenų ir sušietų suvartojimų santykį, o neatitikimas vertinamas kaip netektys. Šis į apskaitą neįraukiamo vandens kiekis buvo išdalintas visiems vartotojams tolygiai, tačiau tai nebūtinai atspindi realią situaciją, kadangi vienoje tinklo vietoje šie nuostoliai gali būti žymiai didesni nei kitoje. Vandens suvartojimo šablonas buvo kuriamas pagal Garliavos siurblynės darbo grafiką. Modelio abonentams priskirtas valandinis hidraulinis suvartojimo šablonas pateiktas 2 paveiksle.

Modeliuojamos teritorijos žemės paviršius buvo kuriamas naudojant žemės paviršiaus lazerinio skenavimo duomenis. Erdviniai LIDAR duomenys buvo parsisiųsti, vėliau apdoroti ir pertvarkomi naudojantis programine įranga SAGA GIS.



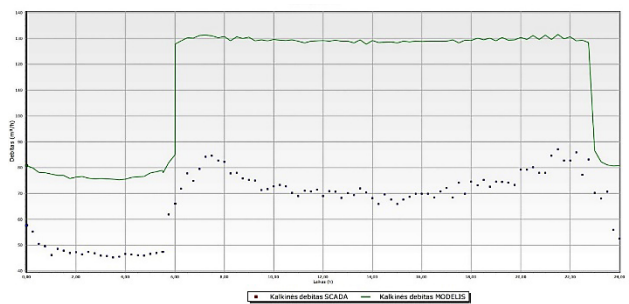
2 paveikslas. Garliavos siurblynės darbo grafikas
Figure 2. Garliava pumping station work schedule

Dėl duomenų trūkumo bei siurblinių darbo neatitikimo lyginant SCADA duomenis ir modelio rezultatus, buvo nuspręsta sumodeliuoti du vandentiekio tinklo variantus:

1. Sumodeliuoti situaciją, kokia turėtų būti, kai į modelį suvesta visa turima informacija bei uždarytos tik žinomos sklendės.
2. Pamėginti atkurti tokį tinkle esančių sklendžių uždarymo variantą, kuris modelyje geriausiai atkartotų dviejų siurblinių, tiekiančių vandenį į nagrinėjamą teritoriją, balansą, taip siekiant kiek įmanoma tiksliau atkartoti realią, tinkle esančią situaciją.

3. Vandentiekio tinklo modeliavimas esant normaliam tinklo veikimo būviui

Pirmuoju atveju, sudarant modelį tik pagal turimą informaciją, jame buvo uždarytos dvi žinomos sklendės: Vyčio Kryžiaus g. ir Narsiečių g. / Beržyno g. (Ireniškių k., nuo tinklo atskirtos Vičiūnų siurblynės aptarnaujamos teritorijos. Siurblių darbas modelyje nustatomas ir reguliuojamas pagal pateiktas siurblių charakteristikas (sudaromos siurblių darbo kreivės, suvedami siurblių palaikomų slėgių pasikeitimai). Suvedus visus turimus duomenis, pagal SCADA rezervuarų vandens lygius buvo sureguliuoti Garliavos siurblynėje esantys švaraus vandens rezervuarai. Atlikus skaičiavimus gauta, jog modelyje iš siurblinių tiekiami vandens debitai nesutampa su SCADA duomenimis. Pirmojo modeliavimo varianto Kalkinės siurblynės debito palyginimas su SCADA duomenimis pateiktas 3 paveiksle, modelio ir SCADA debitai vandens siurblynėse pateikiami 2 lentelėje.



3 paveikslas. Kalkinės siurblynės debito palyginimas su SCADA duomenimis (1 variantas)
Figure 3. Comparison of Kalkinė pumping station flow rate with SCADA data (Option 1)

2 lentelė. Vandens siurblinių debitų palyginimas modelyje ir SCADA sistemoje (1 variantas)
Table 2. Comparison of water pumping flows in the model and SCADA system (Option 1)

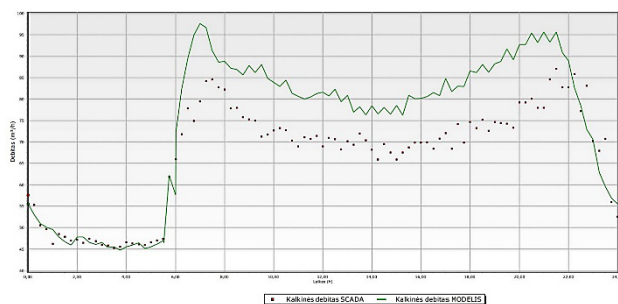
Vandens siurblynė	Debitas modelyje, m ³ /d	SCADA debitas, m ³ /d
Aleksoto siurblynė	3374	4133
Garliavos siurblynė	2170	1945
Kalkinės siurblynė	2787	1645

Surinkus ir susisteminius reikalingus duomenis apie vamzdinius, vandens suvartojimą, uždarytas sklendes ir sumodeliavus tinklo veikimą, paaiškėjo, jog modelis neatkartoja realaus tinklo darbo. Pastebėtas didelis siurblių debitų nukrypimas nuo realios situacijos. Hidrauliniam modelyje Aleksoto siurblinė į modeliuojamą teritoriją tiekia per mažai vandens, Kalkinės siurblinės debitas tiek nakties, tiek dienos metu yra per didelis, o dėl nesuderinto tinklo darbo Kalkinės siurblinės pagrindinis siurblys Calpeda 8SDS 70/4 negali palaikyti nustatyto 7,8 bar slėgio rytinėmis valandomis (6 val. 15 min.). Todėl buvo padaryta prielaida, jog Kalkinės siurblinė realybėje aptarnauja mažesnę plotą nei modelyje – to priežastis galimai uždarytos sklendės tinkle.

4. Vandentiekio tinklo modeliavimas galimai uždarytų sklendžių būviu

Antrajame modeliavimo variante, be anksčiau minėtų žinomų užsuktų dviejų sklendžių Vyčio Kryžiaus g. ir Naršičių g. / Beržyno g. (Ireniškių k.), eksperimentiniu būdu modelyje buvo užsukta dar vienuolika sklendžių, taip iš dalies atskiriant Kalkinės siurblinę, t. y. sumažinant jos aptarnaujamą teritoriją ir tiekiamą vandens debitą. Antro modeliavimo varianto Kalkinės siurblinės debito palyginimas su SCADA duomenimis pateiktas 4 paveiksle, modelio ir SCADA debitai vandens siurblinėse pateikiami 3 lentelėje.

Aprašytu būdu bandant atkartoti esamą realią situaciją, modelyje padidėjo Aleksoto siurblinės tiekiamas debitas, Kalkinės siurblys Calpeda 8SDS 70/4 gali palaikyti reikiamą 7,8 bar slėgį. Modelio tinklo veikimas panašesnis lyginant su SCADA duomenimis, tačiau dėl duomenų apie tinklus trūkumo Kalkinės siurblinės debitas dienos metu išlieka per didelis. Eksperimentiniu būdu parengtas ir sukalibruotas hidraulinis sistemos modelis, kuris gali būti naudojamas įvairių vandentiekio tinklo darbo scenarijų modeliavimui, analizei, tolesniam duomenų apie tinklus kaupimui ir pildymui.



4 paveikslas. Kalkinės siurblinės debito palyginimas su SCADA duomenimis (2 variantas)

Figure 4. Comparison of Kalkinės pumping station flow with SCADA data (Option 2)

3 lentelė. Vandens siurblių debitų palyginimas modelyje ir SCADA sistemoje (2 variantas)
Table 3. Comparison of water pumping flows in the model and SCADA system (Option 2)

Vandens siurblinė	Debitas modelyje, m ³ /d	SCADA debitas, m ³ /d
Aleksoto siurblinė	4318	4133
Garliavos siurblinė	2146	1945
Kalkinės siurblinė	1818	1645

Išvados

1. Kalibravimo metu pasiektas modelio tikslumas (slėgių ir debitų skirtumai tarp modelio ir realios situacijos pagal SCADA duomenis yra mažesni nei 10 %) yra pakankamas ir sudaro geras prielaidas tolesniam modelio tikslinimui / pildymui ir įvairių scenarijų modeliavimui.
2. Siekiant maksimaliai išnaudoti hidraulinio modelio galimybes būtų tikslinga suderinti parengto hidraulinio modelio abonentų ir turimoje GIS sistemoje esančių abonentų numeraciją tarpusavyje, įtraukiant unikalios kodus (vienodus abiejose sistemose tam pačiam abonentui), pagal kuriuos galima būtų priskirti vandens suvartojimus konkrečioms abonentams. Tai sumažintų laiko sąnaudas ateityje toliau vystant bei tikslinant modelį, leistų nuolat keisti ir pildyti duomenis tiek modeliuojamoje teritorijoje, tiek kituose miesto rajonuose ar visame Kaune.
3. Siekiant įdiegti šiuolaikiniais IT sprendimais pagrįstą miesto vandentiekio sistemos operatyvinę valdymą ir perspektyvinę planavimą, vandens tiekimo įmonėms būtų tikslinga: įsigyti hidraulinio modeliavimo programinę įrangą, išplėsti perduodamą parengtą (pietinės miesto dalies) hidraulinį modelį iki galutinio (visos aptarnaujamos teritorijos) sistemos hidraulinio modelio, paskirti specialią hidraulinio modelio priežiūrą, pildymui, vystymui ir operatyvinių ar perspektyvinių scenarijų generavimui.
4. Sudarant vandentiekio tinklo hidraulinę schemą, buvo identifiкуotos tinklo vietos, kuriose trūksta arba visiškai nėra GIS duomenų apie esamus tinklus, tai reikalauja papildomų hidrauliniam modeliui rengti reikalingų duomenų paieškos, tikslinimo bei nepakankamo tikslumo informacijos įtraukimo į kuriamą hidraulinį modelį.
5. Aleksoto rajono hidraulinis modelis gali būti praktiškai taikomas gerinant geriamojo vandens tiekimą: sprendžiant vandentiekio tinklo problemas, optimizuojant siurblių darbą, identifiкуojant ir mažinant vandens nuostolius tinkle bei vertinant naujų gyvenamųjų kvartalų prisijungimo galimybes prie vandentiekio tinklo, nuolat pildant ir atnaujinant duomenis, įtraukiant naujus prisijungusius vartotojus ir nutiestus vamzdinius į hidraulinio modelio sistemą. Įvertinus visus šios sistemos teikiamus privalumus ir efektyvumą, aprašyta hidraulinio modelio kūrimo metodika gali būti taikoma viso Kauno miesto hidraulinio modelio informacinei sistemai kurti bei kitų miestų ar mažesnių miestelių vandens tiekimo problemoms, sistemos darbo optimizavimui ir plėtros klausimams spręsti.

Literatūra

- Datwyler, T. T. (2012). *Hydraulic modeling: Pipe network analysis* (All Graduate Plan B and other Reports). <https://doi.org/10.26076/82fd-bc53>
- Farmani, R., Ingeduld, P., Savic, D., Walters, G., Svitak, Z., & Berka, J. (2007). Real-time modelling of a major water supply system. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 160(2), 103–108. <https://doi.org/10.1680/wama.2007.160.2.103>
- Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., & Reeve, D. E. (2010). *Hydraulic modelling – an introduction: Principles, methods and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315272498>
- Rao, Z. F., Wicks, J., & West, S. (2015). Optimising water supply and distribution operations. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 160(2), 95–101. <https://doi.org/10.1680/WAMA.2007.160.2.95>
- Rimeika, M. ir Jurkienė, A. (2016). Hidraulinio modelio taikymas vandens nuostoliams mažinti [Use of hydraulic model for water loss reduction]. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 8(4), 461–467. <https://doi.org/10.3846/mla.2016.958>
- Sulianta, F., Rosita, A., Zulpratita, U. S., Heryono, H., Laksona, E. A., & Yuliani, S., (2019). Different kinds of modern technique to develop various information systems. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(3A), 20–31. <https://doi.org/10.13189/ujeee.2019.061403>
- Surani, M. D. J., Dihora, P. G. V., & Scholar, M. E. (2015). Review on application of GIS in water distribution system planning and designing. *International Journal for Scientific Research & Development*, 3(1), 186–188.
- Wu, Z. Y., & Sage, P. (2006). Water loss detection via genetic algorithm optimization-based model calibration. In *ASCE 8th Annual International Symposium on Water Distribution System Analysis* (pp. 1–11), Cincinnati, Ohio.
- Xiao, C., Li, B., He, G., Sun, J., Ping, J., & Wang, R. (2014). Fire flow capacity analysis based on hydraulic network model. *Procedia Engineering*, 89, 386–394. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.203>

ANALYSIS OF WATER SUPPLY NETWORK HYDRAULIC MODELLING INFORMATION SYSTEM

G. Paulauskaitė, M. Burinskienė

Abstract

This article deals with the issues of data processing, storage, analysis and optimisation of urban water supply networks using information systems. The water supply network of Aleksotas–Narsiečiai–Mastaičiai–Garliava and surrounding areas is analysed. The absence of hydraulic modelling information system hampers the ability to deal promptly with day-to-day problems, plan repairs and reconstructions of water supply networks, or to analyse further developments and their impact on the system. For the first time, the hydraulic model of the system is being developed for the territory of Kaunas City Municipality in order to simulate the real operation of the system with minimal deviations. Based on the results of the hydraulic model analysis, recommendations are provided on how to rationally adjust the operation of the analysed water supply system and how to develop the drinking water network in a sustainable and coherent way in the future.

Keywords: databases, hydraulic model, information system, digital information, water supply network.