



HIDRAULINIO MODELIO TAIKYMAS VANDENS NUOSTOLIAMS MAŽINTI

Mindaugas RIMEIKA¹, Anželika JURKIENĖ²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva
El. paštas: ¹mindaugas.rimeika@vgtu.lt; ²anzelika.jurkiene@vgtu.lt

Santrauka. Hidraulinis modeliavimas yra šiuolaikiškas ir modernus būdas, taikomas pasaulinėje vandentvarkos inžinerijos praktikoje. Hidraulinis modelis yra puikus darbo įrankis atliekant vandens tiekimo sistemos analizę, optimizuojant jos darbą, siekiant įvertinti sistemos darbo efektyvumo didinimo galimybes, vandentiekio tinklo plėtrą, gaisrų gesinimo galimybes, elektros energijos taupymo galimybes, vandens nuostolių paiešką ir kt. Nepriklausomai nuo hidraulinio modeliavimo programos pasirinkimo, hidraulinis modelis turi būti sudarytas iš daugelio inžinerinių elementų ir įrenginių, esančių realioje vandens tiekimo sistemoje. Kokybiškam hidrauliniam modeliui sukurti būtina atlikti slėgio ir debito matavimus bei modelio kalibravimą. Straipsnyje pateikiami debito ir slėgio matavimo vietų parinkimo principai bei modelio kalibravimo pavyzdžiai. Aprašyti Šiaulių miesto vandens tiekimo sistemos hidraulinio modelio taikymo pavyzdžiai vandens nuostolių lygiui nustatyti ir jų susidarymo vietoms lokalizuoti. Nustatyta, kad hidraulinis vandens tiekimo sistemos modelis padeda itin sumažinti fizinį vandens nuostolių paieškos plotą, o tolimesnis nuostolių vietos nustatymo įrangos taikymas gali būti žymiai efektyvesnis, taupant darbo laiką ir išteklius.

Reikšminiai žodžiai: hidraulinis vandentiekio sistemos modeliavimas, matuojamoji zona, debito ir slėgio matavimai, modelio kalibravimas, vandens nuostoliai.

Įvadas

Hidraulinis modeliavimas ir vandentiekio tinklų hidraulinių modelių kūrimas tampa vis svarbesne, o daugelyje pasaulio šalių jau natūralia, vandentvarkos inžinerijos dalimi. Tinkamai sukurtas hidraulinis modelis, sudarytas remiantis pažangiomis technologijomis, tokiomis kaip: GIS (*geographical information system*), telemetrijos sistemos, gaisrų gesinimo debito skaičiavimai, vandens kokybės analizė ir vandens nuostolių vertinimas, yra nepakeičiamas darbo įrankis vandentvarkos inžinieriams (Farmani *et al.* 2007). Pagrindinis hidraulinio modelio taikymas yra vandentiekio tinklo analizė (Rao *et al.* 2007). Tačiau hidraulinis modelis gali būti taikomas ne tik kasdienėms vandens tiekimo sistemos eksploataavimo problemoms spręsti, bet ir darbiui optimizuoti bei efektyvumui didinti, elektros energijai taupyti, tinklui plėsti, gaisrų gesinimo galimybėms įvertinti bei vandens nuostolių paieškai atlikti (Xiao *et al.* 2014). Fizinį vandens nuostolių, kai vanduo yra prarandamas per vandentiekio tinklo nesandarumus, susidaro visose vandens tiekimo sistemose, nepriklausomai nuo jų technologinio pažangumo ar turimų vandens išteklių. Todėl vandens nuostolių paieška, taikant hidraulinį modelį, yra efektyvus pažangių technologijų pritaikymo vandentiekio pavyzdys (Wu, Sage 2006).

Lietuvoje hidraulinis modeliavimas dar tik pradamas taikyti kasdieninėje praktikoje. Hidrauliniai vandentiekio tinklo modeliai dar tik pradami diegti šalies vandens tiekimo įmonėse. Tačiau ateityje hidraulinis modeliavimas turėtų būti kiekvienos vandens tiekimo įmonės efektyvaus darbo dalimi. Daugelyje pasaulio šalių, pavyzdžiui, Jungtinėse Amerikos Valstijose, priimtose hidraulinio modeliavimo taisyklės (*Hydraulic Modeling Rule R309–511*), įpareigojančios, prieš prijungiant naujus tinklus ar pavienius tinklo elementus prie esamo tinklo, atlikti hidraulinį modeliavimą ir įvertinti, ar nauji pakeitimai nepadarys neigiamos įtakos esamam tinklui (Datwyler 2012). Pavyzdžiui, Prancūzijoje kas 10 metų turi būti atliekamas pakartotinis vandentiekio ir nuotakyno bendrasis planas, kurio metu privalomi matavimai tinkluose ir hidraulinio modelio parengimas.

Hidraulinio modelio kūrimas

Egzistuoja daugybė hidraulinio modeliavimo programų. Viena pirmųjų sukurtų programų – *Epanet*, ji taikoma iki šiol, be to, ji taikoma 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 apdorojimas. Modeliuojant yra atliekamos realios situacijos matematinės simuliacijos taikant standartinius skaičiavimo algoritmus.

1 lentelė. Hidraulinio modeliavimo programų pavyzdžiai
Table 1. Examples of hydraulic modeling programs

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	http://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

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 pradinis duomenis (geometriją, pradines sąlygas ir t. t.) į rezultatus (debitą, slėgį, vandens kokybės rodiklius ir t. t.) tam, kad gauti rezultatai būtų panaudoti priimant inžinerinius sprendimus. 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.

Visa realiame vandentiekio tinkle naudojama armatūra ir inžineriniai įrenginiai yra naudojami ir hidrauliname modelyje, nepriklausomai nuo modeliavimo programos:

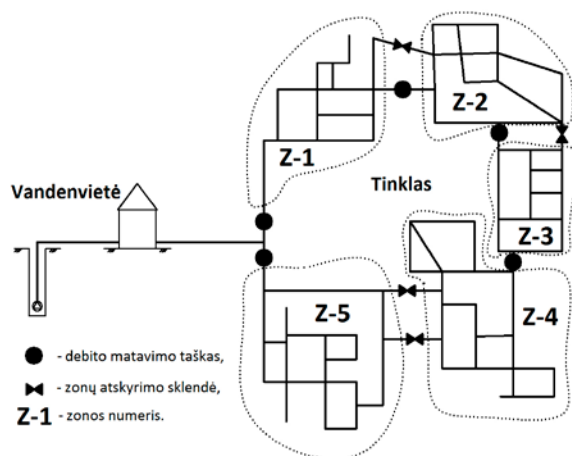
- vandentiekio vamzdžių (nurodomas ilgis, skersmuo, medžiaga);

- sklendžių ir kitos armatūros (nurodomas tipas, veikimo principas, skersmuo);
- vandens rezervuarų (nurodomas tūris, forma);
- siurblių (nurodoma darbo kreivė, darbo efektyvumas, tiekiamas debitas, palaikomas slėgis);
- vandens vartojimo taškų (nurodomas vandens suvartojimas ir jo pobūdis).

Hidrauliname modelyje būtina suvesti realias žemės paviršiaus ir vamzdžių altitudes. Todėl sudarant modelį yra svarbu turėti kokybišką vandentiekio tinklo brėžinį, kuriame būtų nurodyti visi įmanomi vamzdžių ir kitos armatūros atributai. Taip pat svarbu žinoti teisingus vandens suvartojimo duomenis, ypatingą dėmesį atkreipiant į sutelktinius ar pramoninius vandens vartotojus, kurių paros vandens suvartojimo pobūdis gali stipriai skirtis nuo buitinių vandens vartotojų.

Tinkamo hidraulinio modelio sudarymas paremtas ne tik kokybiškais pradiniais duomenimis, bet ir matavimų duomenimis. Rengiant hidraulinį modelį matavimai tinkle yra būtini (Xin *et al.* 2014). Vandentiekio tinklas yra labai sudėtingas ir kompleksiškas inžinerinis objektas, todėl matavimai turi būti kruopščiai suplanuoti. Pirmiausia turi būti išmatuotas bendras vandens kiekis, tiekiamas į tinklą, t. y. matavimai turi būti atliekami vandenvietėse. Jeigu yra sudaromas ne viso tinklo, o tik jo dalies hidraulinis modelis, turi būti matuojamas vandens kiekis, tiekiamas į visą modeliuojamą tinklo dalį. Svarbu pasirinkti ne pavienius matavimo taškus, kurie suteiks tik ribotą informaciją, bet suskirstyti tinklą į matuojamas zonas ir taip gauti visą informaciją apie tiriamą vandentiekio tinklą.

Matuojamoji zona – tai vandentiekio tinklo dalis, atskirta nuo bendro vandentiekio tinklo sklendėmis (Morrison 2004). Labai svarbu užtikrinti matuojamosios zonos ribas. Prieš pradėdant matavimus, vandentiekio tinklas turi būti

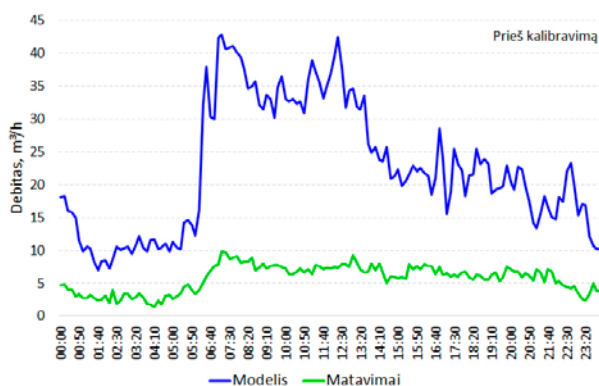


1 pav. Vandentiekio schema su matuojamosiomis zonomis
Fig. 1. Scheme of water supply system district metered areas

patikrintas, įsitikinant, kad visos zonos atskyrimo sklendės yra užsuktos ir vanduo į matuojamąją zoną teka tik tais vamzdžiais, kuriuose įrengta debito matavimo įranga. Arba jeigu zona yra pratekanti, reikia įsitikinti, kad vanduo zonoje cirkuliuoja tik tais vamzdžiais, kuriuose yra sumontuota debito matavimo įranga. 1 pav. pateikiama vandentiekio tinklo schema su suformuotomis matuojamomis zonomis.

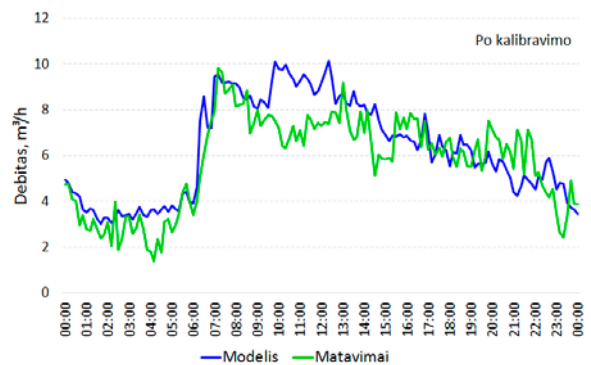
Tinklo zonavimas yra kompleksinė užduotis, todėl svarbu laikytis tam tikrų zonavimo principų. Pavyzdžiui, buitiniai vartotojai gali būti suskirstyti į atskiras individualių gyvenamųjų namų ir daugiabučių zonas, jeigu tai leidžia natūralus tinklo išsidėstymas. Pramonės objektai taip pat dažnai būna sukonzentruoti vienoje miesto dalyje, kur galima suformuoti atskirą matuojamąją zoną. Pavieniai tinkle esantys išskirtiniai vandens vartotojai, tokie kaip stambios pramonės įmonės, turi būti matuojami individualiai, siekiant nustatyti jų vandens suvartojimo pobūdį ir per parą suvartojamą vandens kiekį.

Matavimo duomenys gali būti kaupiami duomenų kaupikliuose ir apdorojus įkeliami į hidraulinį modelį kalibruoti. Modelio kalibravimas yra labai svarbus modelio kūrimo etapas. Kalibruojant modelį, pirminiai modeliavimo rezultatai yra sulyginami su realiais matavimo duomenimis. Modelis yra kalibruojamas pagal slėgio ir debito reikšmes. Jeigu pirminio modeliavimo duomenys skiriasi nuo matavimo duomenų, atsiradęs skirtumas pašalinamas siekiant hidraulinį modelį kiek įmanoma labiau priartinti prie realios situacijos. Pateikiamas pirminio modeliavimo ir matavimo duomenų palyginimo pavyzdys. 2 pav. sumodeliuotas vandens debitas yra žymiai didesnis už išmatuotą debitą, tai reiškia, kad sumodeliuotas tinklas nėra tikslus ir siekiant jį priartinti prie realybės reikia kalibruoti modelį. Modelis gali būti kalibruojamas keliais būdais. Modeliavimo programos



2 pav. Modeliavimo ir matavimo duomenys prieš hidraulinio modelio kalibravimą

Fig. 2. Modeling and measurement data before calibration of hydraulic model



3 pav. Modeliavimo ir matavimo duomenys po hidraulinio modelio kalibravimo

Fig. 3. Modeling and measurement data after calibration of hydraulic model

pateikia automatinio kalibravimo įrankius, keičiant vamzdžių šiurkštumą, skersmenį, medžiagą ar vandens vartojimą. Keičiant vamzdžių šiurkštumą, modeliavimo rezultatai priartėja prie matavimų vos per kelis procentus. Praktiškai efektyviausias modelio kalibravimo būdas yra analizuoti tinklą ir rankiniu būdu ieškoti neatitikimo priežasčių. Šių netikslumų atsiranda dėl labai paprastų priežasčių, nes nežinoma tiksli tinklo schema, tikslūs vamzdžių skersmenys, ypač nežinoma, kurios sklendės užsuktos ir kt. Tad siekiant išsiaiškinti šiuos netikslumus reikia skirti daug laiko tinklų analizei ir papildomos informacijos paieškai. 3 pav. pateikiamas sukalibruoto tinklo pavyzdys.

Idealiai kreivės labai retai kada sutampa, nes modelis naudoja vidutinio (tipinio) vandens suvartojimo duomenis, o kiekvienos dienos debito matavimai šiek tiek skiriasi, priklausomai nuo vartotojų įpročių ir poreikių (3 pav.). Skirtumas tarp matavimo ir modeliavimo duomenų slėgiui turi būti ne daugiau kaip 0,2 bar, o debitui iki 15 proc.

Tyrimų metodika

Tyrimo metu vandens nuostoliams mažinti buvo taikomas vandentiekio tinklo hidraulinis modelis. Tyrimų tikslas įvertinti, kaip taikant hidraulinį modelį galima nustatyti fizinių vandens nuostolių lygį vandentiekio tinkle ir lokalizuoti nuostolių susidarymo vietas.

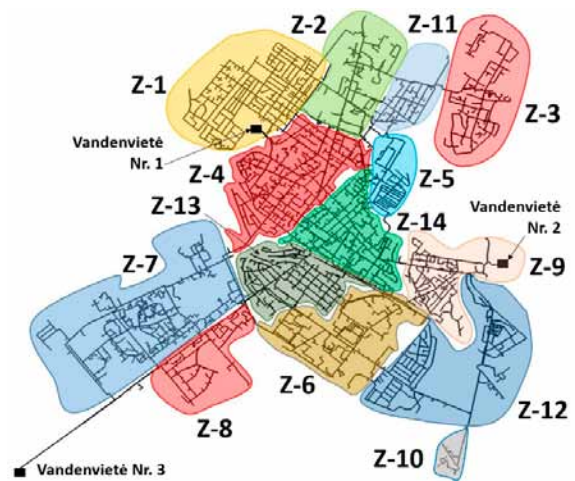
Tyrimams buvo sudarytas Šiaulių miesto vandentiekio tinklo hidraulinis modelis, kurį sudarė:

- trys vandenvietės su siurbliais ir švaraus vandens rezervuarais;
- 445 km ilgio vandentiekio tinklas;
- buitiniai ir pramoniniai vandens vartotojai, kurių suvartojamas debitas maksimalaus vartojimo vandaną yra apie 1000 m³/h;
- vandentiekio tinklo armatūra (sklendės ir kt.).

Miesto vandentiekio vamzdyno planas buvo sudarytas naudojant GIS informaciją apie vamzdžių skersmenį, ilgį ir medžiagą. Duomenys apie vandens vartotojus paimti iš Šiaulių miesto vandens tiekimo įmonės abonentų atskaitymo programos. Nustatant vidutinį buitinių vartotojų vandens vartojimo debitą, buvo atlikta trijų mėnesių vandens vartojimo analizė atsižvelgiant į sezoniskumą, kuris turi įtakos vandens vartojimui. Nustatytas vidutinis vieno mėnesio vandens suvartojimas buvo perskaičiuotas į valandinį ir suvestas į hidraulinį modelį, kiekvienam vartotojui priskyrus individualų adresą. Taip pat buvo sudarytas buitinių vandens vartotojų vandens suvartojimo grafikas. Tai leido modeliuoti 24 valandų vandens suvartojimo kitimą pagal realų gyventojų vandens poreikį. Pramoninių vandens vartotojų vandens suvartojimas į Šiaulių miesto hidraulinį vandentiekio tinklo modelį buvo suvestas atskirai, nustačius kiekvieno iš vartotojų vandens vartojimo ypatumus paros metu.

Kitas svarbus modeliavimo etapas – vandens debito, tiekiamo iš vandenviečių, modeliavimas. Vandens tiekimo įmonės atlieka į tinklą tiekiamo vandens apskaitą. Tyrimo metu Šiaulių miesto vandentiekio tinkle veikė trys vandenvietės. SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) sistemoje sukauptas duomenų archyvas leido pasirinkti tinkamiausius ir panaudoti debito duomenis hidrauliniam modeliui kurti. Modeliuojant siurblių darbą, taip pat buvo suvesti visi reikalingi techniniai siurblių parametrai: siurblių galingumas, jų darbo efektyvumas, tiekiamas debitas ir palaikomas slėgis.

Kitas hidraulinio modelio kūrimo etapas – matavimo vietų parinkimas ir matavimų atlikimas. Pageidautina, kad matavimai visuose suplanuotuose taškuose būtų atliekami vienu metu. Tačiau reikalingas didelis matavimo prietaisų skaičius, o tai stipriai padidina tyrimo sąnaudas. Minimalus matavimo prietaisų skaičius turi būti 4–8 vnt., priklausomai nuo miesto dydžio. Šiame projekte vienu metu buvo naudojami 9 prietaisai. Jeigu matavimo vietų yra daugiau negu matavimo prietaisų, labai svarbu matavimus visose vietose atlikti esant toms pačioms vandentiekio tinklo darbo sąlygoms. Vandentiekio tinklas yra sudėtinga sistema ir situacija čia nuolat kinta. Modeliuojant yra atliekama vienos tipinės tinklo darbo dienos imitacija. Todėl atliekant matavimus, labai svarbu išlaikyti tas pačias tinklo darbo sąlygas tam, kad matavimo duomenis perkėlus į hidraulinį modelį nenukentėtų modeliavimo tikslumas ir kokybė. Prieš atliekant matavimus, Šiaulių miesto vandentiekio tinklas buvo suskirstytas į matuojamąsias zonas. 4 pav. pateikiama Šiaulių miesto vandentiekio schema su suformuotomis matuojamosiomis zonomis, kurios schemoje sunumeruotos nuo Z-1 iki Z-14. Įrengiant zonas, reikėjo užsukti nuo 1 iki 6 sklendžių vienai zonai. Formuojant matavimo zonas, buvo



4 pav. Tiriamojo vandentiekio tinklo schema su matuojamosiomis zonomis

Fig. 4. Scheme of water supply network with district metered areas

uždarytos 27 sklendės miesto vandentiekio tinkle. Zonomis formuoti reikėjo pakeisti daugiau kaip 20 sklendžių.

Pasirinktas tinklo zonavimas nėra atsitiktinis. Šiaulių miesto vandentiekio tinklas buvo zonuojamas pagal vartotojų pobūdį bei tinklo ypatybes. Zonos buvo formuojamos taip, kad būtų uždaryta kuo mažiau magistralinių linijų, nes pasikeitus vandens srautų kryptčiai gali susidrumsti vanduo ir pablogėti vandens kokybė. Atsižvelgiama į vandenviečių vietas, vamzdynų hidraulinį pralaidumą, normalaus slėgio palaikymą buitinio vartojimo reikmėms ir gaisrams gesinti. Didžioji dalis matuojamųjų zonų buvo pratekančios, tai reiškia, kad buvo matuojamas į zoną įtekantis ir iš zonos ištekantis vandens kiekis. Žinant šiuos vandens debitus, apskaičiuojamas zonoje suvartojamo vandens kiekis. Jei vanduo į zonas buvo tiekiamas daugiau nei vienu vamzdžiu, tai bendram zonos suvartojimui sužinoti taip pat buvo atliekami skaičiavimai.

Tinklas gali būti zonuojamas ir pagal vandentiekio tinkle palaikomą slėgį. Dažnai, kai vandentiekio tinklas išsidėsto skirtingo aukštingumo reljefe, suformuojamos slėgio zonos, užtikrinančios leidžiamo slėgio palaikymą ir gerą vandens tiekimą. Tokiam tinklo zonavimui yra reikalinga speciali armatūra – slėgio reduktoriai. Tačiau reljefo atžvilgiu Šiaulių miesto vandentiekio tinklo aukščių skirtumas nėra didelis, todėl vandentiekio tinklas nebuvo zonuojamas pagal slėgį. Žemiausia vandentiekio tinklo vieta yra ties Z-1, Z-2, Z-3, Z-9 ir Z-10 zonomis, čia vamzdžių viršaus altitudės svyruoja nuo 100 iki 115 m virš jūros lygio. Tinklas pradeda kilti ties Z-4, Z-6, Z-7, Z-8 zonomis, čia vamzdžių viršaus altitudės svyruoja nuo 115 iki 130 m. Aukščiausia tinklo vieta yra ties Z-5 zona, čia vamzdžių viršaus altitudės pakyla iki 140 m.

Šiaulių miesto vandentiekio tinklo matuojamąsias zonas galima suskirstyti į:

- individualių namų buitinių vartotojų zonas (Z-1, Z-3);
- daugiabučių namų buitinių vartotojų zonas (Z-7, Z-8);
- mišrias, individualių ir daugiabučių namų buitinių vartotojų ir pramoninių vandens vartotojų zonas (Z-2, Z-4, Z-5, Z-6, Z-9, Z-10).

Atliekant matavimus buvo įrengti 35 matavimo taškai.

Matavimai buvo atliekami invaziniais, elektromagnetiniais debitomačiais. Matavimo duomenys buvo kaupiami duomenų kaupikliuose su integruotais slėgio davikliais, todėl visuose matavimo taškuose buvo matuojami du parametrai: debitas ir slėgis. Suformuotos matuojamosios zonos ir įrengti matavimo taškai leido sužinoti vandens debitą, tiekiamą į zonas, ir pateikė daug vertingos informacijos apie vandens srautų pasiskirstymą atskirose tinklo dalyse. Realybė tokia, kad išmatuoti vandens debitai ir tekėjimo kryptys retai sutapo su prognozuojamais popieriniame plane.

Rezultatų apibendrinimas

Šiaulių miesto vandentiekio tinkle susidaranti vandens nuostolių lygiui nustatyti buvo atliktas 24 valandų hidraulinis modeliavimas. Zonose susidarantys fiziniai vandens nuostoliai buvo nustatomi lyginant matavimo duomenis ir modeliavimo rezultatus. Kai vandens suvartojimas suformuotose zonose (modeliavimo duomenys) buvo mažesnis už į zoną tiekiamą debitą (matavimo duomenys), gautas skirtumas buvo prilyginamas vandens nuostoliams.

Z-3 yra paprastojo zonavimo pavyzdys. Šiai zonai suformuoti reikėjo uždaryti vieną iš dviejų magistralinių linijų, o kitoje sumontuoti debitomatį. Pateikiama Z-3 matuojamosios zonos schema su nurodytomis matavimo ir vandens nuostolių modeliavimo vietomis (5 pav.).

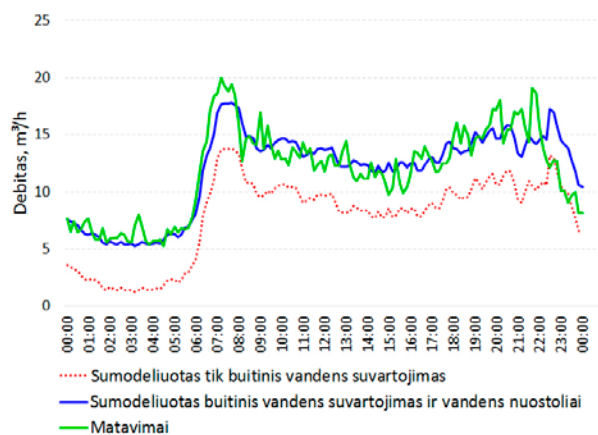
Atlikus matavimus ir palyginus juos su modeliavimo duomenimis pastebėta, kad vandens vartojimo pobūdis sutampa, tačiau išmatuotas vandens debitas, tiekiamas į zoną, yra apie 4 m³/h didesnis už sumodeliuotą vandens suvartojimą. Kadangi modeliuojant Z-3 zonos vandens suvartojimą buvo remiamasi abonentų atsiskaitymo programos duomenimis ir nebuvo įvertinti tinkle susidarantys vandens nuostoliai, atsiradęs skirtumas iš karto išryškino teorinio modelio ir matavimo duomenų skirtumus.

Siekiant sukalibruoti Z-3 zonos vandens suvartojimą, viename iš zonos taškų buvo sumodeliuota vandens nuostolių susidarymo vieta, kur visos paros metu prarandamas vandens kiekis sudarė 4 m³/h. Šiuo atveju vandens nuostolių modeliavimo vieta buvo pasirinkta atsitiktinai. Siekiant



5 pav. Z-3 matuojamosios zonos schema su pažymėtais debito matavimo ir vandens nuostolių modeliavimo taškais

Fig. 5. Scheme of Z-3 district metered area with marked flow measurement and water loss modeling points



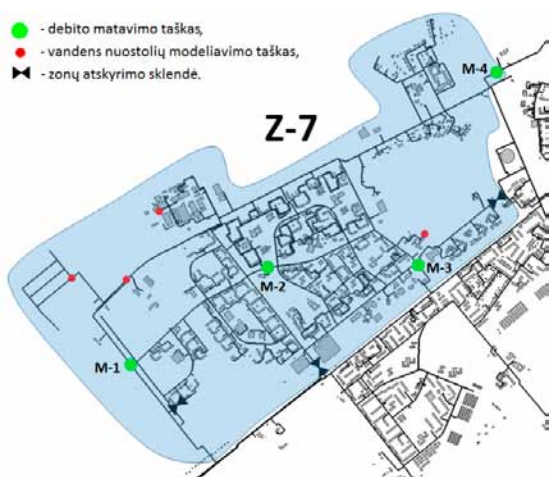
6 pav. Debito, tiekiamo į Z-3 zoną, matavimo duomenys bei sumodeliuoto vandens suvartojimo ir vandens nuostolių duomenys

Fig. 6. Measurement data of flow supplied to Z-3 zone and modeling data of water consumption and water loss

tiksliau nustatyti numanomą vandens nuostolių susidarymo vietą reikia atlikti daugiau matavimų zonos viduje arba atlikti naktinius sklendžių uždarymus. Pridėjus papildomą debitą ir palyginus modeliavimo ir matavimo duomenis nustatyta, kad kreivės sutapo. Tai reiškia, kad Z-3 zonoje susidarantys fiziniai vandens nuostoliai sudaro 4 m³/h (6 pav.). Tokioje nesudėtingoje zonoje galima atlikti ir raktinius naktinio vandens debito suvartojimo skaičiavimus

ir be hidraulinio modelio. Tačiau kiekvieną kartą pakeitus matuojamos zonos ribas, reikėtų viską perskaičiuoti rankiniu būdu iš naujo. Hidraulinio modelio taikymas itin paspartina skaičiavimus ir palengvina analizę.

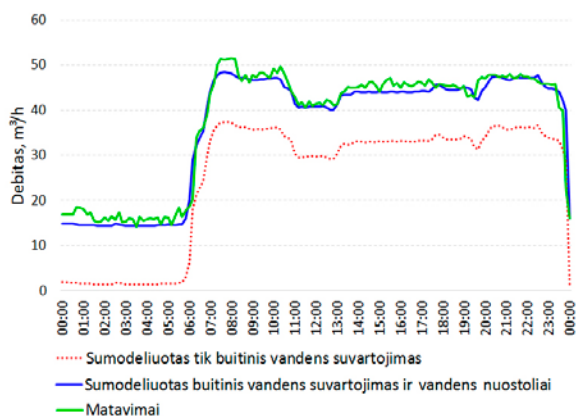
Kur kas sudėtingesnis vandens nuostolių modeliavimas buvo atliktas Z-7 zonoje. Šioje zonoje vyrauja daugiabučiai gyvenamieji namai. 7 pav. pateikiama Z-7 zonos schema su pažymėtomis zonos atskyrimo sklendėmis bei matavimo taškais. Schemoje taip pat yra pažymėti sumodeliuotų vandens nuostolių taškai.



7 pav. Z-7 matuojamosios zonos schema su pažymėtais debito matavimo ir vandens nuostolių modeliavimo taškais

Fig. 7. Scheme of Z-7 district metered area with marked flow measurement and water loss modeling points

Kalibruojant šią zoną buvo pastebėta, kad sumodeliuotas vandens suvartojimas yra daug mažesnis už matavimo taškuose išmatuotą vandens debitą. Todėl teko sumodeliuoti net 4 vandens nuostolių taškus, kuriuose vandens nuostoliai bendrai sudarė 60 m³/h. Pateikiamas grafikas su debito matavimo duomenimis, išmatuotais M-1 matavimo taške (8 pav.).



8 pav. M-1 matavimo taške išmatuotas debitas bei vandens suvartojimo ir vandens nuostolių modeliavimo duomenys

Fig. 8. Measurement data observed in M-1 measurement point and modeling data of water consumption and water loss

Iš grafiko matyti, kad sumodeliuotas buitinis vandens suvartojimas yra gerokai mažesnis už išmatuotą. Nakties metu nuo 00:00 iki 05:00 valandos sumodeliuotas vandens debitas rodo minimalų naktinį vandens tiekimą. Sumodeliuota, kai naktinis debitas M-1 taške yra apie 2 m³/h. Tačiau atlikus matavimus nustatyta, kad naktinis debitas šiame taške yra aštuonis kartus didesnis ir siekia 16 m³/h. Panašūs rezultatai buvo gauti ir kituose Z-7 zonos matavimo taškuose: M-2, M-3 ir M-4. Siekiant sukalibruoti Z-7 matuojamąją zoną, vien nuostolių taškų modeliavimo neužteko. Norint gauti gerą rezultatą teko keisti kai kurių vamzdžių skersmenis bei koreguoti vandens tekėjimą, iš dalies pridarant kai kurias zonos sklendes.

Akivaizdu, kad hidraulinis modelis turi būti atliekamas kartu su vandentiekio tinklo zonavimu ir debito (slėgio) matavimais. Matavimo zonų įrengimas gali būti laikinas ir pastovus. Pirmuoju atveju reikia mažiau matavimo prietaisų, tačiau juos reikia periodiškai perkelti iš vienos zonos į kitą. Įrengus nuolatinės debito matavimo zonas vandentiekio tinkle, galima operatyviai reaguoti į padidėjusį vandens tiekimą konkrečioje zonoje.

Atlikus vandens tekėjimo tinkle analizę, fizinių vandens nuostolių paieškos plotas stipriai sumažėja ir tolesni paieškos darbai gali būti planuojami kur kas efektyviau. Užtuot vandens nuostolių ieškojus visame vandentiekio tinkle, jau yra žinomos preliminarios jų susidarymo zonos. Tolesnei skylių paieškai rekomenduojama taikyti akustinę vandens nuostolių paieškos įrangą – triukšmomačius, koreliatorius, žemės mikrofonus ir skenuoti apibrėžtą tinklą, ieškant trūkusių vamzdžių ar nesandarios armatūros. Taigi, taikant hidraulinį modeliavimą, yra optimizuojamas vandens tiekimo sistemos eksploatavimas, taupomas darbo laikas bei ištekliai.

Išvados

1. Nustatant vandens debito pasiskirstymą vandentiekio tinkle būtina atlikti vandentiekio tinklo zonavimą ir debito matavimą zonoje.
2. Hidrauliniam modeliui priartinti prie realios vandens tiekimo sistemos yra būtinas modelio kalibravimas lyginat modeliavimo ir matavimo duomenis.
3. Vandens nuostolių lygiui matuojamojoje zonoje nustatyti reikia atlikti sumodeliuoto vandens suvartojimo zonoje ir išmatuoto vandens kiekio palyginimą.
4. Hidraulinis modelis yra tinkamas įvertinti fizinių vandens nuostolių lygį vandentiekio tinkle bei lokalizuoti vandens nuostolių susidarymo vietas.
5. Taikant hidraulinį modelį yra optimizuojamas vandens tiekimo sistemos eksploatavimas, didinamas darbo efektyvumas, taupomi žmogiškieji, finansiniai bei gamtiniai ištekliai.

Literatūra

- Datwyler, T. T. 2012. *Hydraulic modeling: pipe network analysis*. All Graduate Plan B and other Reports. Paper 228. Utah State University.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1680/wama.2007.160.2.103>
- Morrison, J. 2004. Managing leakage by district metered areas: a practical approach, *Water* 21: 44–46. IWA Task Force.
- Novak, P.; Guinot, V.; Jeffrey, A.; Reeve, D. E. 2010. *Hydraulic modelling – an introduction. Principles, methods and applications*. London, New York: Spon Press. 600 p.
- Rao, Z.; Wicks, J. M.; West, S. A. 2007. Optimising water supply and distribution operations, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management* 160(2): 95–101.
<http://dx.doi.org/10.1680/wama.2007.160.2.95>
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.203>
- Xin, K.; Tao, T.; Lu, Y.; Xiong, X.; Li, F. 2014. Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution system, *Water Resources Management* 28(3): 683–696.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0508-8>
- 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*, 27–30 August 2006, Cincinnati, Ohio, 1–11.

USE OF HYDRAULIC MODEL FOR WATER LOSS REDUCTION

M. Rimeika, A. Jurkienė

Abstract

Hydraulic modeling is the modern way to apply world water engineering experience in every day practice. Hydraulic model is an effective tool in order to perform analysis of water supply system, optimization of its operation, assessment of system efficiency potential, evaluation of water network development, fire flow capabilities, energy saving opportunities and water loss reduction and ect. Hydraulic model shall include all possible engineering elements and devices allocated in a real water supply system regardless to hydraulic modeling program selection. In order to create high quality hydraulic model it is necessary to carry out measurement in water supply system and perform model calibration. The article presents principles and examples of formation of district metered areas and examples of model calibration. The article also presents case study of Šiauliai water supply system model application for water loss evaluation and localization. Determined that hydraulic model of water supply system helps to significantly reduce search areas of physical water loss formation and improves efficiency of further detection of water loss formation points by saving time and resources.

Keywords: hydraulic modeling of water supply system, district metered area, flow and pressure measurement, model calibration, water loss.