

Veevõrgu kalibreerimine (EPANET)

Antud tunnis vaadatakse põgusalt kalibreerimise aspekte veevõrgumudelid. Tähelepanu pööratakse mõõtmistulemuste kaasamisele *EPANET* tarkvarasse ning vaadatakse ka võimalikke standardtöövahendeid, kuidas ühte lihtsat kalibreerimist läbi viia.

Siiani oleme vaadanud mudelid, kus tegemist on uute torustikega, ning kõik parameetrid seega teada ning arvutustulemusi on suhteliselt lihtne läbi viia. Samas tuleb läbi viia ka torustike rekonstruktsiooni- projekte, mis kaasavad endas ka olemasolevaid torustikke.

Perfektsed andmed

Esimene näide (*anytown_perfektne_start*) vaatleb veevõrgumudelit, kus on sooritatud 4-s punktis mõõtmised (5 erineval ajahetkel) ning need on salvestatud faili. *EPANET* tarkvarasse on võimalik sisse lugeda mõõtmistulemusi, et neid võrrelda mudelist saadutega. See ongi kalibreerimise esimene etapp. Mõõtmistulemuste andmefail omab teatud kuju, mis on alljärgnev:

-----Fail *mootmised_perfektne_lekketa.dat* algus-----

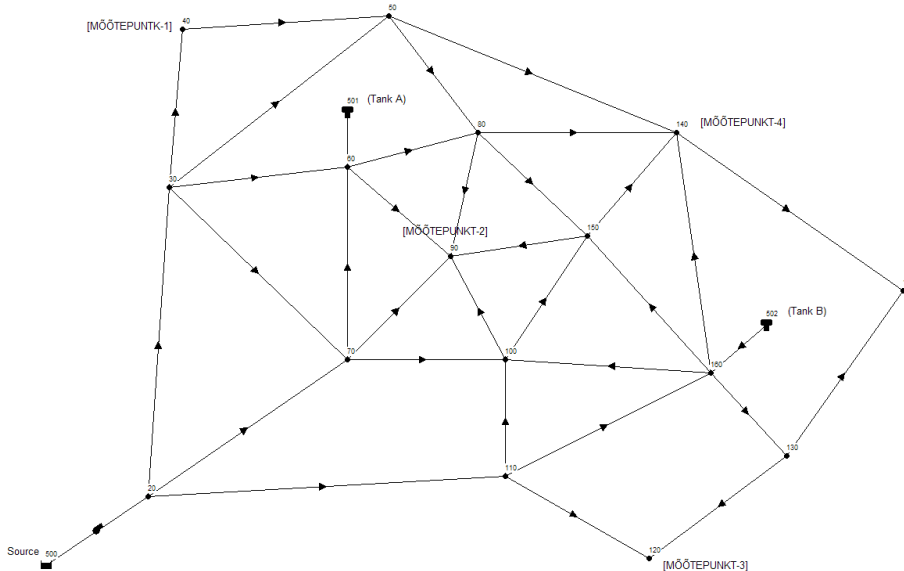
```
;Mõõtmised sõlmedes 40; 90; 120; 140
;Lekkeid võrgus ei esine
;
;
40      0      58.74
        1      32.57
        2      54.93
        3      58.19
        4      54.94
90      0      56.94
        1      53.87
        2      44.14
        3      56.31
        4      52.65
120     0      31.18
        1      30.11
        2      29.53
        3      3.48
        4      26.95
140     0      47.86
        1      43.95
        2      42.36
        3      46.98
        4      32.14
```

-----Fail *mootmised_perfektne_lekketa.dat* lõpp----

Fail sisaldab endas esimeses veerus elemendi ID-d, teises veerus on toodud ajahetke väärtused ning kolmandas mõõtmistulemused vastavates punktides. Analoogne failistruktuur on mistahes mõõtmisandmete sisselugemiseks *EPANET* tarkvarasse. Antud juhul on tegemist rõhu mõõtmistega vastavates punktides, mis on üks levinumaid mõõteandmete tüüpe (vooluhulkade kõrval), mida

kalibreerimise juures kasutatakse. Ehkki faili originaallaiend on *.dat lõpuga, võib faili salvestada ka *.txt laiendiga (lihtsalt hiljem faili määratlemisel tuleb võtta säte *All Files*).

Veevõrgumudel (esitatud alloleval pildil) sisaldab kolme pumpa (üksteise peale joonistatud, vaata *Browser* akent), kahte mahutit, 16 sõlme ning 34 toru.



Kuna mõõtmised on veevõrgus tehtud, ning salvestatud eraldi faili, siis laeme selle *EPANET* tarkvara sisse. Menüüst *Project > Calibration Data...* Dialoogis *Calibration Data* loeme varem salvestatud mõõtmistulemuste faili sisse reale *Pressure*, klikkides nupul *Browse* ning otsides vastava faili üles.

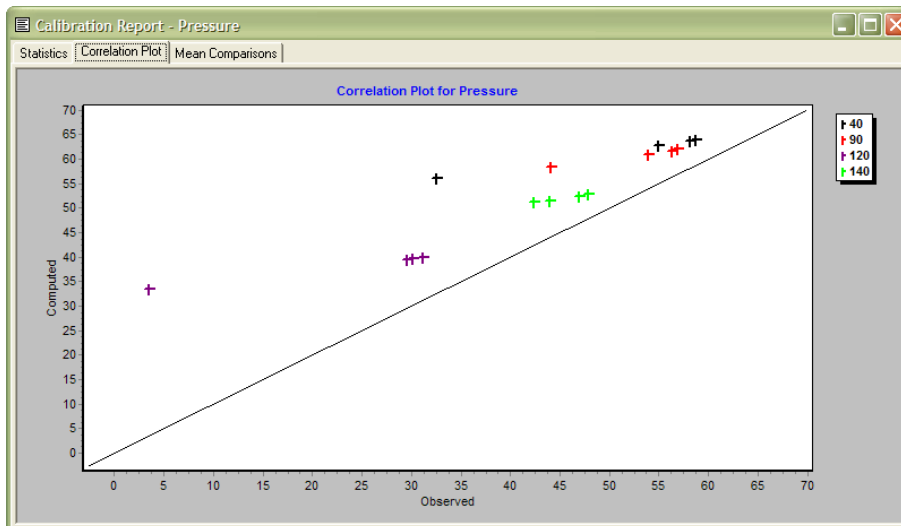
Järgmine etapp on mõõtmistulemuste kontroll mudelis arvatud väärtustega. Selleks kliki *Run*, veendu, et mudel töötab korrektselt ning vali menüüst *Report > Calibration*. Avanevas dialoogis on automaatselt valitud *Pressure* mõõtmistulemustena ning lisaks eelvalitud ka failist leitud sõlme ID-d. Jäägu kõik sõlmed valituks. Seejärel kliki *OK*.

Avaneb dialoog: *Calibration Report – Pressure*.

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	51.11	61.59	10.485	12.952
90	4	52.81	60.74	7.930	8.755
120	4	23.58	38.15	14.574	17.059
140	4	45.29	51.98	6.695	6.886
Network	16	43.20	53.12	9.921	12.071

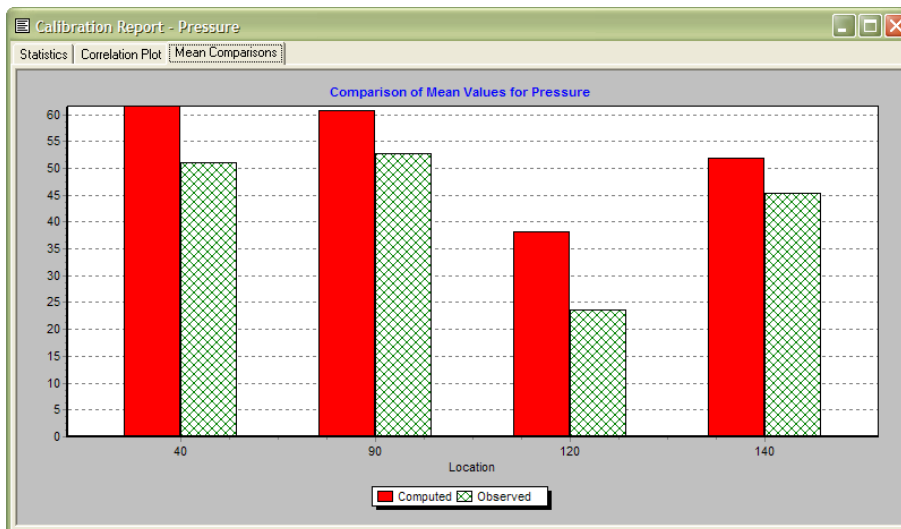
Correlation Between Means: 0.982

See dialoog sisaldab endas kolme paani. Need kõik on informatiivse sisuga. Esimene paan *Statistics* näitab arvuliselt mõõtetulemuste ning arvutustulemuste erinevusi. Teine paan *Correlation Plot* esitab graafiku (vaata allolevat pilti).



Graafikult on hea näha, kui suured erinevused on mõõtmistulemuste ja arvutustulemuste vahel. Ideaalolukord eeldab, et ristikesed asuksid 45 kraadi joonel. Meil antud juhul on kõik punktid sellest ülal pool.

Viimane paan *Mean Comparisons* esitab tulpdiaagrammina mõõtmis- ning arvutustulemuste vahelised erinevused.



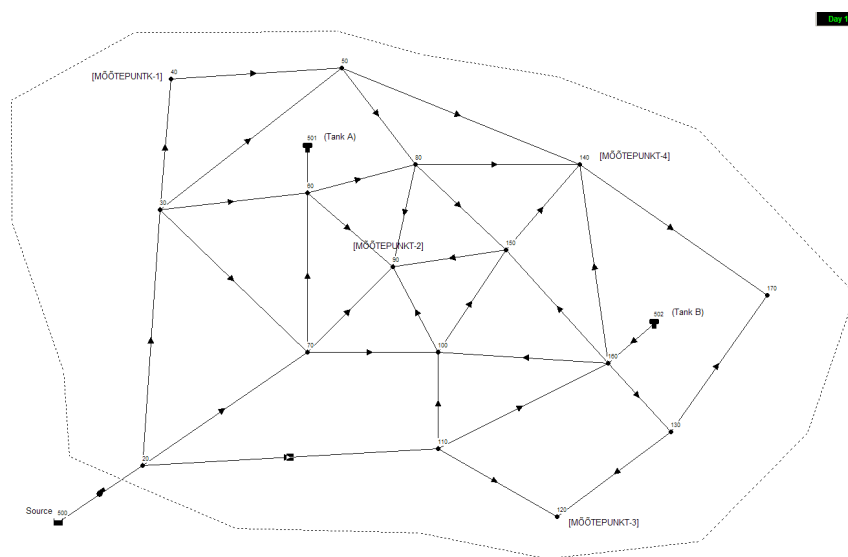
Vaatame uuesti graafikut. Ehkki meil on vaid neli mõõtmispunkti, esitakse graafikul iga mõõte/arvutus tulem iga ajahetke kohta. Seega on meil kokku [4 punkti] x [5 ajahetke] = 20 punkti.

EPANET tarkvara ei sisalda endas kalibreerimismoodulit, mis võimaldaks meil automaatselt mudelit kalibreerida. Eelpooltoodud töövahendid on vaid protsessi kirjeldamiseks. Seega tuleb meil kalibreerida mudel nõ käsitsi. Milles väljendub kalibreerimine? Enamjaolt on selleks torud/sõlmede karakteristikute muutmine nii, et mõõtmistulemused klapiksid arvutuslike tulemustega. Samas võib kohe öelda, et tõeseid tulemeid võib olla mitmeid ja mitmed. Seda just seetõttu, et tavaliselt on meil mõõtmispunkte oluliselt vähem kui veevõrgu sõlmi. See tingib ka asjaolu, kus iga mõõtmispunkt tuleks hoolikalt enne paika panna. Mõõtmispunkti valikust sõltub see, kui palju kasulikku infot mudeli jaoks on meil võimalik saada.

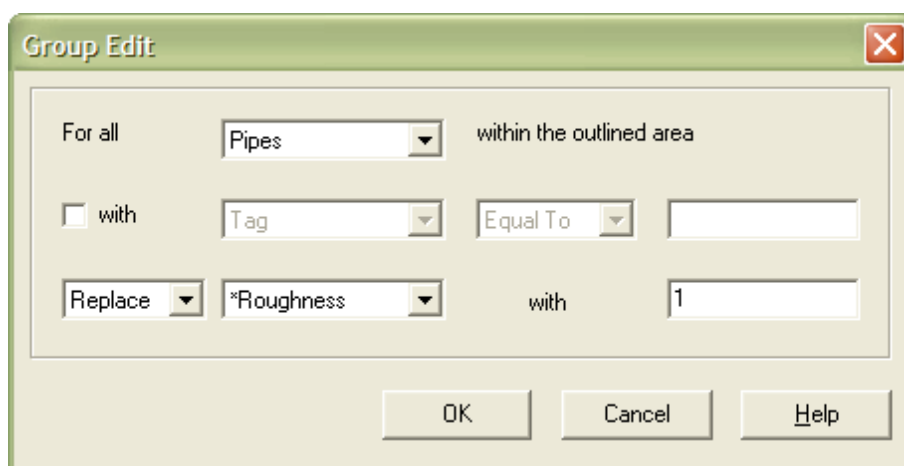
EPANET tarkvara töövahendeid kasutades kalibreerime oma mudeli. Graafikut vaadates paistab meile esimese asjana silma, et kõik punktid asuvad ülal pool 45 kraadi joont. Arvutuslikud rõhud mudelis on märksa suuremad kui mõõdetud. See tähendab loomulikult seda, et me peame kuidagiviisi rõhukadusid suurendama, mis on ka vanemate veetorustike iseloomulikemaid jooni. Rõhukadu saame suurendada muutes torustike karedust. Hetkel on kõikide torude karedused võrdsed väärtusega 0.1 mm (*Darcy-Weisbach*).

Meil on tegemist suhtelise lihtsa näitega, ning eeldame, et kõik torud omavad ühte ja sama karedust. EPANET tarkvaras saab väga lihtsalt teatud grupi elementide parameetreid korruga vahetada alljärgneval viisil:

- 1) Valime töövahendi *Select Region*.
- 2) Tirime ümber oma mudeli valikuakna (vasaku hiire nupuga klikkides). Seejärel parem klikk valikuakna sulgemiseks.

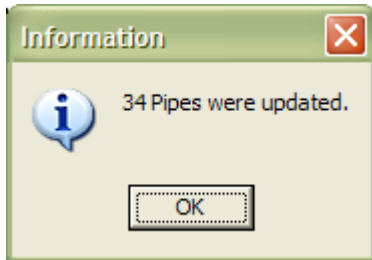


- 3) Seejärel valime menüüst *Edit > Group Edit...* Avaneb dialoog *Group Edit*, kus teeme vastavad muudatused:



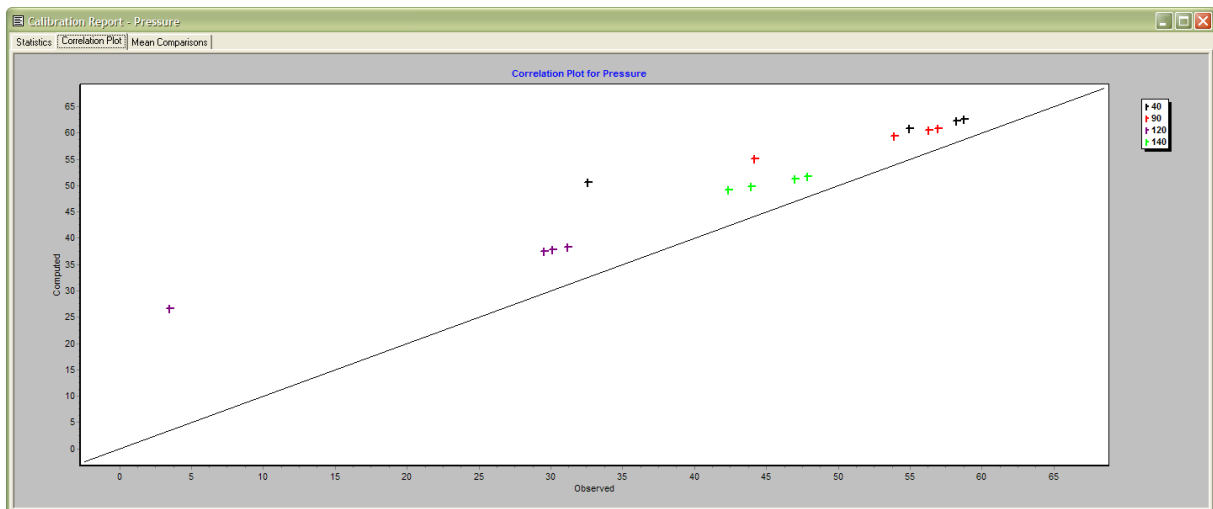
- Real *For all* valime *Pipes*.
- Alumise rea vasakust hüpikmenüüst valime operatsiooni, mida soovime teha: *Replace* (soovime asendada hetke toru kareduse uuega).

- Parameetriks on **Roughness*.
- Real *with* sisestame väärtuseks 1 (toru karedus seega 1 mm).
- Kliki OK.
- Kuvatakse dialoog, mitme elemendi parameeter õnnestus muuta.



- Kliki OK.

Kõikide torude kareduse parameeter on nüüd muudetud. Käivitame mudeli uuesti ja kontrollime nüüd kalibreerimise graafikut (mõõtmistulemuste faili ei pea uuesti valima, see on meil endine).



Graafik on märksa parem. Ehkki on seda suhteliselt raske analüüsida, kui eelnevat ees pole. Samas kui vaadata paani *Statistics*, siis sealt leiame, et üle üldine korrelatsioon on suurenenud $0.982 > 0.990$. Samas on aga arvutuslike ning mõõdetud rõhkude vahe endiselt samas suurusjärgus. Täpsemalt öeldes rõhkude erinevus on isegi üle 10m. See tähendab, et me oleme küll õigel teel, ent antud karedus on endiselt liiga väike esitamaks tegelikku olukorda. Kordame protseduuri (1) – (3) ning anname nüüd kõikide torude kareduseks väärtuse 5 mm.

Vaadates kokkuvõtet kalibreerimise raportist, näeme, et korrelatsioon on veelgi kasvanud ning nüüd omab väärtust 0.998. Samas rõhkude vahe on endiselt kohati isegi 5m. Kordame protseduuri (1) – (3) ning anname nüüd kõikide torude kareduseks 9mm.

Sedakorda on tegemist juba hea tulemusega. Korrelatsioon on 1.000 ning vahe mõõdetud ning arvutatud rõhkude vahel alla 1m. Samas paneme tähele, et endiselt oleks justkui ruumi karedust suurendada. Teeme seda. Sedakorda anname toru kareduseks 11mm. Paanil *Statistics* justkui midagi ei muutukski. Seda seetõttu, et *Mean Error* on võetud absoluutväärtusest. Samas kui vaadata paani *Correlation Plot*, siis näeme, et meie punktid asuvad nüüd kõik allpool 45 kraadi joont. Seega võib teha järelduse, et pingutasime veidi üle. Teeme veel ühe muudatuse, sedakorda anname torude kareduseks 10 mm.

Vaadates kalibreerimise raporti paani *Statistics* ei oskaks paremat tulemust lausa lootagi. Viga on vaid loetud millimeetrid. Graafik oleks samuti perfektne ning loomulikult esitab paan *Mean Comparisons* ka väga hea tulemi. Oleme jõudnud punkti, kust enam paremaks minna ei saa.

Kuna tegemist oli tehislikult loodud näitega, kus mõõtmistulemused olidki võetud *EPANET* mudeli olukorras, kus torude karedused on 10 mm, siis oli tegelikult lõpptulem ette teada. Samas tegelikkuses pole aga nii ideaalseid olukordi olemas.

Järgmises osas vaatame märksa realistlikumat olukorda, kus mõõtmisandmetel on teatud viga juurde liidetud.

Näite lõpp.

Mõõtmisveega andmed

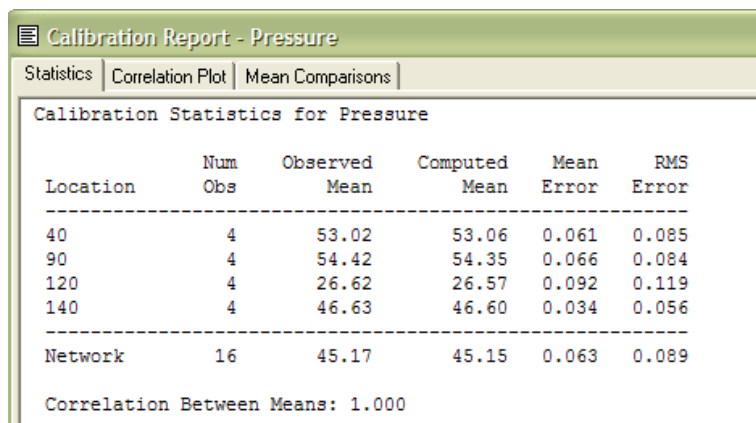
Mõõtmised veevõrgus tehakse teatud täpsusega ning alati esinevad teatud süstemaatilised vead. Samas võivad mõõtmisvead esineda väga erinevates võrguosades. Näiteks üks sagedasemaid on sõlmpunktide kõrgusmärkide vale sisestamine, mis võib muuta drastiliselt mudeli ning mõõtmistulemite vahelisi erinevusi. Meie eesmärk pole antud ülesandes hinnata viga, vaid kasutada teadlikult veidi muudetuid andmeid nägemaks, kuidas see meie kalibreerimise protseduuri muudab.

Ava fail: *anytown_vead_start.net*.

Lae rõhumõõtmiste fail *mootmised_vead_noise_lekketa.dat*. Käivita mudel ning analüüsi tulemit menüüvaliku *Report > Calibration* kaudu. Esimeselt paanilt *Statistics* näeme, et korrelatsioon on 0.987 ning erinevus mõõdetu ning arvatatu vahel kõigub 5 ja 11.5 meetri vahel. Tegemist on jällegi üsna suurte erinevustega, sest meie mudel sisaldab algselt nn uusi torusid, kus karedus on viidud minimaalseks (0.1 mm). Graafikult *Correlation Plot* näeme, et jällegi on kõik arvutuslikud väärtused suuremad mõõdetud väärtustest, mis tähendab loomulikult seda, et karedusi tuleb suurendada. Eeldades, et kõikides torudes on üks ja seesama karedus, anna uueks kareduseks esmalt 5 mm.

Analüüsid lõpptulemust näeme, et korrelatsioon on 1.000 ning mõõdetud ning arvutuslike rõhkude vahe on oluliselt vähenenud. Suurendame karedust veelgi. Nüüd kõikidele torudele 7 mm.

Vaadates lõpptulemust näeme, et nüüdne viga on kõige suurem sõlmes 120, mis on ligikaudu 10 cm. Antud tulemit võib pidada üsna heaks.



Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	53.02	53.06	0.061	0.085
90	4	54.42	54.35	0.066	0.084
120	4	26.62	26.57	0.092	0.119
140	4	46.63	46.60	0.034	0.056
Network	16	45.17	45.15	0.063	0.089

Correlation Between Means: 1.000

Siiski võime proovida suurendada karedust näiteks 8 mm. Vaatame mis juhtub. Analüüsides tulemit, näeme, et olukord on eelnevast kehvem. Seda võis aimata ka eelnenud tulemist, kus toru karedused olid 7 mm. Nimelt veeru *Computed Mean* summaarne väärtus oli juba siis väiksem kui veeru *Observed Mean* summaarne väärtus. Loomulikult suurendab kareduse tõstmine nende vahet samas suunas veelgi. Kui aga kontrollida näiteks karedust 6 mm. Siis on tegemist vastupidise olukorraga ning eeldades, et karedustäpsus on 1 mm, annab parima tulemi meile just 7 mm.

Pane tähele, et eelmises näite lõpptulemuse juures olid märksa väiksemad vead arvutusliku ning mõõdetud tulemi vahel. Seda tingis asjaolu, et siis olid kasutusel perfektsed andmed. Antud juhul kasutasime mõõtmistulemuste juures juhusliku viga standardhälbega 0.1 m.

Kalibreerimine leketega

Ideaalolukorda, kus veevõrku on vaja kalibreerida vaid füüsikaliste parameetrite vastu (nagu näiteks toru karedus) esineb väga harva. Peamiselt vaid uute torustike juures. Alati on veevõrgus olemas ka mingid kaod ning need on teadmata asukohtades. See tähendab, et meie kalibreerimise probleem laieneb ühe muutuva võrra. Me peame kao paigutama selle tegelikku punkti ning kalibreerima seejärel võrgumudeli uuesti. Loomulikult peab meil olema sellistel puhkudel rohkem infot veevõrgumudeli kohta.

Esmalt on üldjuhul teada veevõrgus torude karakteristikud, mis aitavad meil määrata paremini kareduse lähtepunkti või vahemiku. Siiani alustasime uute torude karedusest ning samm-samm haaval lisasime karedust. Nüüd peame me samal ajal kindlustama ka, et kaod oleks veevõrku lisatud.

Näide *anytown_lekkes_start.net* sisaldab ühte lekete. Selle asukoht pole teada. Samas on meil olemas mõõtmisandmed meile juba tuttavatest punktides. Eesmärk on kalibreerida võrk nii, et lekete asukoht ning suurus tuleks sellega võimalikult täpselt välja.

Kui eelnevates ülesannetes oli protseduuri suhteliselt lihtne läbi viia, ning põhimõtteliselt võiks seda teha ka käsitsi (siiski vaid lihtsate võrkude korral), siis siinses ülesandes on seda märksa raskem teha. Seetõttu on välja töötatud erinevaid algoritme, mis automaatselt analüüsivad võrku teatud meetodiga nii, et lõpptulemusena oleks rõhkude vahe (mõõdetud ning arvutusliku tulemi) minimaalne. Olgu veelkord öeldud, et selliseid sobivaid lõpplahendeid võib olla mitmeid ja mitmeid. Algoritmidest levinumad, mida veevõrgukalibreerimise juures kasutatakse on *Genetic Algorithm* ning *Levenberg-Marquardt*. Hiljuti on lisandunud ka *SCEM-UA (Shuffled Complex Evolution Metropolis)* algoritm.

Meile on oluline esmalt teadvustada probleemi olemust. Ning lahendame ülesande teatud juhtnööre kasutades. Mõõtmistulemuste juures kasutame seekord jällegi perfektseid andmeid.

Ava mudel, käivita ning vaata kalibreerimise andmeid (kalibreerimise fail sedakorda *mootmised_lekkega.dat*).

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	59.85	4.407	5.569
90	4	57.24	60.19	2.952	3.413
120	4	23.17	35.52	12.350	13.011
140	4	47.92	51.53	3.607	3.740
Network	16	45.94	51.77	5.829	7.516

Correlation Between Means: 0.995

Graafikult on näha, et kõik arvutuslikud tulemid on suuremad ning seetõttu tuleb rõhukadusid suurendada (NB! ka lekked suurendavad rõhukadusid). Esmalt proovime parandada tulemit toru kareduste muutmise teel. Me eeldame, et kõikide torude karedused on ühed ja samad ning paneme uueks toru kareduseks 3 mm.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	57.61	2.160	2.613
90	4	57.24	58.80	1.564	1.750
120	4	23.17	32.11	8.943	9.141
140	4	47.92	50.38	2.459	2.541
Network	16	45.94	49.73	3.782	4.998

Correlation Between Means: 0.999

Näeme, et vahe mõõdetud ning arvatatud rõhu vahel kahaneb märgatavalt. Lisame kareduseks nüüd 5 mm.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	56.04	0.592	0.618
90	4	57.24	57.79	0.558	0.573
120	4	23.17	29.60	6.437	6.449
140	4	47.92	49.55	1.624	1.673
Network	16	45.94	48.25	2.303	3.358

Correlation Between Means: 1.000

Tulemus on paranenud veelgi. Lisame kareduseks nüüd 6 mm.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	55.36	0.444	0.577
90	4	57.24	57.35	0.211	0.214
120	4	23.17	28.50	5.330	5.343
140	4	47.92	49.18	1.252	1.294
Network	16	45.94	47.59	1.809	2.766

Correlation Between Means: 1.000

Ehkki tulem veelgi paranenud, peaks meid tegema veidi ettevaatlikumaks asjaolu, et punktide 40 ning 90 juures on arvatud rõhk juba väiksem (ennist oli kogu aeg suurem) mõõdetud rõhust (jah punkti 90 juures on tegemist peaaegu sama väärtusega). Samas, kui punktide 120 ning 140 juures on vahed endiselt märksa suuremad. Ühe punkti juures koguni veel 5 m. Siinkohal peakski esialgu piirduma torukareduste muutmisega (jääb 6 mm peale) ning asume lekke otsimisele (sest toru kareduste suurendamine vähendab küll punktide 120 ning 140 vahesid, kuid samas suurenevad punktide 40 ning 90 vahed teisele poole).

Lekkeid veevõrgus võib modelleerida väga erinevate valemite abil. Meie siinkohal ei hakka vaatlema erinevaid lekke mudeleid, vaid kasutame kõige levinumat mudelit, mis on kasutusel ka EPANET tarkvaras. Teooriatundidest peaks olema tuttav, et lekkes on seda suuremad, mida suurem on tööpunkti rõhk. Lekke sõltuvus rõhust on üleskirjutatav alljärgneval viisil:

$$Q_{LEKE} = K \cdot H^{\alpha} \quad (1)$$

Valemis (1) tähistavad = lekke vooluhulk (l/s); K = teatud koondparameeter, mis kaasab endas lekke ava ning suuruse parameetrit (üldjuhul kalibreeritaksegi seda suurust veevõrgus, seda muidugi juhul kui lekke valemiga kasutatakse valem (1)); H = rõhk lekke punktis; α = lekke eksponent.

EPANET tarkvaras on vastavatele suurustele järgmised parameetrid:

- α *Emitter Exponent* (menüüst *Project > Defaults... : Hydraulics*). Vaikimisi väärtusel 0.5 kõikide lekkepunktide kohta. Tegemist on globaalse väärtusega.
- K *Emitter Coefficient* (sõlmpunkti parameeter, võib olla iga sõlme/lekke kirjeldamiseks olla erinev).
- H *Pressure* (sõlme arvutuslik parameeter).
Actual Demand (sõlme arvutuslik parameeter, mis sisaldab nii lekke vooluhulka kui ka tarbimise vooluhulka antud ajahetkel).

Meie ülesanne on muuta väärtust *Emitter Coefficient*.

Vaatame uuesti viimast kalibreerimise tulemit esitavat tabelit. Me näeme, et sõlmede 120 ning 140 juures rõhkude vahed vägagi erinevad sellest, mis võrgu ülemistes mõõtepunktides. Sellest võiks järeldada (kuna tegemist on suhteliselt lihtsa võrguga, ning meil on teada ka, et võrgus esineb vaid ühes punktis leke), et leke esineb punktide 120 ning 140 läheduses.

Lekke juures on teada asjaolu, et see mõjutab veevõrgu rõhkusid vaid selle lähiümbruses. Just seetõttu, ei erine võrgu ülemises osas ka rõhud nii palju kui alumises osas, kust eeldatavasti leket otsime. Esmapilgul võiks arvata, et leke on sõlmes 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 või 170.

Kuidas teame, mis suurusega leke võrgus eksisteerib? Eeldades, et meie süsteemis on vaid lekke, siis saame ligikaudse lekke suuruse teada, kui arvestame veevõrku sissepumbatavat veehulka ning veevõrgus tarbitavat veehulka. Nende vahe peaks olema pluss märgiga, sest pumpla peab kompenseerima ka lekke veevõrgus. Samas raskendab seda asjaolu, et meie veevõrgumudelid kompenseerivad mahutid osaliselt lisavooluhulkasid ning see ei pruugi nii selgepiirilisel viisil tulla.

Tagasi lekke punkti määramise juurde. Me võime välistada eelpooltoodud punktidest lekke asukohana 100, 140, 150. Kuna need asuvad liiga lähedale mõõtepunktidele 90 ning 140 ning erinevus mõõdetava ning arvutusliku rõhu vahel peaks sellisel juhul ka neis kõige rohkem kajastuma. Meil kajastub see aga punktis 120 kõige rohkem.

Meil on nüüd järgi veel punktid 110, 120, 130, 160, 170. Punktid 110 ning 120 võib välja jätta asjaoludel, et need on liiga kaugel mõõtepunktist 140 ning leke ei suudaks nii suurt mõju avaldada nimetatud punktile. Jäevad järgi kolm punkti 130, 160, 170.

Valime koefitsiendiks 5 ning vaatame, mis tulemi saame, kui lisame selle üksikult igasse sõlme. Teeme arvutuse.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	55.07	0.379	0.686
90	4	57.24	57.06	0.181	0.288
120	4	23.17	22.04	1.125	1.148
140	4	47.92	48.48	0.556	0.590
Network	16	45.94	45.66	0.560	0.745

Correlation Between Means: 0.999

Sõlm 130. $K = 5$.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	55.28	0.396	0.588
90	4	57.24	57.24	0.160	0.189
120	4	23.17	28.32	5.153	5.169
140	4	47.92	49.05	1.125	1.174
Network	16	45.94	47.47	1.708	2.668

Correlation Between Means: 1.000

Sõlm 160. $K = 5$.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	54.95	0.500	0.772
90	4	57.24	56.95	0.281	0.378
120	4	23.17	24.36	1.197	1.379
140	4	47.92	48.11	0.188	0.210
Network	16	45.94	46.09	0.542	0.819

Correlation Between Means: 1.000

Sõlm 170. $K = 5$.

Näeme, et parima tulemuse saame siis, kui loeme lekkesõlmeks sõlme 170. Suurendame lekke väärtust. Olgu $K = 10$.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	54.74	0.704	0.929
90	4	57.24	56.77	0.469	0.548
120	4	23.17	21.95	1.218	1.390
140	4	47.92	47.51	0.413	0.433
Network	16	45.94	45.24	0.701	0.906

Correlation Between Means: 1.000

Sõlm 170. $K = 10$.

Tulemus on märksa parem. Seega suurendame lekke suurust veelgi. Nüüd väärtusele 11.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	54.72	0.728	0.949
90	4	57.24	56.74	0.491	0.569
120	4	23.17	21.65	1.518	1.654
140	4	47.92	47.44	0.486	0.507
Network	16	45.94	45.14	0.806	1.027

Correlation Between Means: 1.000

Sõlm 170. $K = 11$.

Näeme, et tulemus läheb kehvemaks. Seega ei tohiks lekke suurust enam suurendada. Taastame eelmise väärtuse ning vähendame lisaks toru karedust väärtusele 5 mm.

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
40	4	55.45	55.44	0.003	0.003
90	4	57.24	57.24	0.003	0.003
120	4	23.17	23.17	0.002	0.002
140	4	47.92	47.93	0.002	0.002
Network	16	45.94	45.94	0.002	0.003

Correlation Between Means: 1.000

Sõlm 170. $K = 10$. Toru karedused = 5 mm.

Näeme, et tegemist on suurepärase täpsusega. Oleme mudeli kalibreerinud ning lekke asukoha ka kindlaks teinud. Lekke suuruse saame teada arvuliselt kui võtame sõlmpunkti väljal *Actual Demand* maha hetke tarbimise.

NB! Tegemist oli siiski lihtsa ülesandega. Tähele tasub pöörata ka sellele kus me tegime lõpliku valiku punktide 130, 160 ning 170 vahel. Nimelt oli ka punkt 130 piisavalt väikeste vahedega (üsna sarnane punktile 170). Meie valisime punkti 170 seetõttu, et punktide 120 ning 170 summaarne väärtus veerus *Mean Error* oli oluliselt väiksem kui punkti 130 korral. Aga me oleksime jõudnud nii et naa punktini 170, sest lekke suurendamine punktis 130 oleks vahed viinud märksa suuremateks ning me oleks aru saanud, et tegemist pole õige lekke asukohaga.

Mõned märkused, miks tegelikkuses kalibreerimine nii lihtne pole:

- Iga toru võib omada oma enda karedust. Mitte ei muudeta neid kõiki korraga. Üsna sagedasti grupeeritakse torud teatud omaduste järgi (paigaldusaasta, purunemiste arv, läbimõõt jne) nii, et selle grupi piires muudetakse toru karedust ühtlaselt. See lihtsustab mõnevõrra kalibreerimist.
- Lekked võivad asuda korraga väga mitmes punktis. Tegemist võib olla väga erinevate lekete suurustega.
- Reaalses võrgus esinevad alati mõõtmisvead ja/või on elementidele sisestatud valed andmed. Seda asjaolu tuleks samuti arvestada.
- Veevõrgus ei esine mitte ainult lekked aga ka arvestamata tarbimised, mis käituvad ööpäeva lõikes samamoodi kui arvestatud tarbimised – teatud graafiku alusel.