

Mudel vee-ettevõttes

Sisujuht

Mudel vee-ettevõttes.....	1
Veevarustussüsteemide katsetamine	4
Sissejuhatus	4
Katsetamise alused.....	5
Rõhu mõõtmine.....	5
Vooluhulga mõõtmine.....	5
Hüdrandi vooluhulga katsetused	6
Võimalikud probleemid hüdrandi vooluhulga katsetustel	8
Survekao katsetused	9
Kahe manomeetri test.....	9
Paralleelsete torude meetod.....	10
Võimalikud probleemid survekao katsetuste läbiviimisel.....	10
Survekao katsetuste tulemuste kasutamine kalibreerimises.....	10
Pumba suutlikkuse katsetused.....	11
Võimalikud probleemid pumba suutlikkuse katsetustel	11
Kestvusperioodi simulatsiooni andmestik.....	12
Vee kvaliteedi testid	13
Mahutite ning reservuaaride proovivõtud	14
Kalibreerimisandmestiku kvaliteet.....	15
Kalibreerimisandmestiku veaallikad.....	16
Referentsid	17
Riskianalüüs	18
Sissejuhatus	18
Veevõrgusüsteemi haavatavus.....	19
Võimalikud veevarustussüsteemi riskid	20
Süsteemi nõrkuse hindamine	23
Simulatsioonimudelite rakendamine	24
Turvalisuse mõõdikud	25
Desinfektori taseme hoidmine	25
Turvapiirete kasutamine	25
Tagasivooluklappide kasutamine	25
Teavitussüsteem töötlemata vee omaduste halvenemise kohta	25
Pidev monitoring süsteemi olulistest punktides	25
Käitumisjuhiste väljatöötamine.....	25

Riskijuhtumite näiteid	26
Exeter (UK) – 05.02.2006 (pühapäev)	26
Nokia (Soome) – 28.-30.11.2007	26
Referentsid	28
SCADA ja hüdrauliline modelleerimine	29
Sissejuhatus	29
SCADA andmete liigid	30
Päringu intervallid ning spontaansed andmevood.....	31
SCADA andmete vorming	32
SCADA andmete haldus	33
SCADA andmestiku vead	34
Probleemid andmestiku kokkupakkimisega.....	34
Probleemid ajastusega	34
Puuduolev andmestik.....	35
Probleemid instrumentidega	35
Teadmata maapinna kõrgused.....	36
Teisi veaallikaid.....	36
Reageerimine andmestiku probleemidele	37
Andmestiku sobivuse kontroll.....	38
Näide/demo: SCADA rakendus <i>WaterCAD/WaterGEMS</i> tarkvaras	39
SCADA olemus/eesmärgid veevõrgusüsteemis.....	39
SCADA süsteemi komponendid	39
SCADA tarkvara ja modelleerimispaketi ühildamine.....	40
SCADA tarkvarast andmete import veevõrgumudelisse	41
Referentsid	43
GIS ja hüdrauliline modelleerimine.....	44
Sissejuhatus	44
GIS-ist üldiselt.....	46
GIS ja asukoht.....	46
Andmete haldus	48
Ettevõtte GIS-i areng ja hooldus.....	52
Kasutaja vajaduste määratlemine	53
Andmekanalite määratlemine.....	53
Süsteemi disaini määratlemine	53
Rakenduste disain	54
Andmebaasi disain	55
Andmete siire	56
Mudeli koostamine.....	58

Mudeli jätkusuutlikkus ning hooldus.....	58
GIS haldajate ning modelleerijate vaheline suhtlus	58
Olemasoleva GIS-i kasutamine modelleerimises	59
Veetarbimist kirjeldav andmestik.....	60
Maapinna kõrgusmärgid	61
Modelleeritud GIS ja ettevõtte GIS	62
Referentsid	65
Veevarustussüsteemide töö juhtimine	66
Sissejuhatus	66
Surve puudumine	67
Madala surve modelleerimine	67
Suletud klappide otsimine	68
Surve probleemi lahendused	70
Probleemid tulekustutusveega	72
Survetsoonide eraldamine	74
Mahuti eemaldamine	79
Süsteemi lõigu sulgemine.....	80
Elektrikatkestus	82
Energiatarbimine	83
Süsteemi läbipesu.....	85
Desinfitseerimine	87
Lekke mõiste.....	88
Lekete kontroll.....	88
Leket mõjutavad faktorid	92
Lekke tagajärjed	93
Lekete ilmumine	94
Lekete hinnang	94
Lekete määramine.....	97
Lekete indikaatorid.....	99
Lekke kontroll	99
Lekete eesmärgistamine	101
Referentsid	102

Veevarustussüsteemide katsetamine

Sissejuhatus

Kontrollimaks, et *WDS (water distribution system)* järgib mõõdetud andmeid, peab meil olema väga hea teadmine sellest, kuidas süsteem tervikuna töötab ja seda väga erinevatel opereerimistingimustel. Näiteks, kas mudel suudab taastada suve tipptarbimise olukorra või kas suudab simuleerida kloori hajuvust. Seetõttu on andmestiku kogumine väga olulise tähtsusega, mis annab aimu süsteemi tööst ning on tervikuna kalibreerimise loomulik osa. See moodul vaatleb lähemalt andmestiku kogumist (vooluhulk, rõhk) aga ka erinevaid probleeme, mis nende kogumisega võib ette tulla.

Katsetamise alused

Rõhu mõõtmine

Rõhku mõõdetakse üle terve võrgu. Seda teostatakse hüdrantidest või on rajatud spetsiaalsed mõõdusõlmed. Mõõdusõlmed võivad omakorda jaguneda nende paiknemise järgi: peatorustikul, majaühendustel, pumbajaamades (imi- kui ka survepool), mahutites, reservuaarides, väljalaske jm klappidel. Kui mõõtmised ei toimu peatorustikul, tuleb arvestada võimalike surve-kadudega süsteemis. Rõhku mõõdetakse manomeetriga. Mõõtmist loetakse täpseks, kui mõõtmine toimub manomeetri skaalal vahemikus 50-75%. Täpsuse huvides on soovitatav kasutada erineva skaalaga manomeetreid, kui mõõdetakse veevõrgus olevaid rõhkusid. Üldlevinud manomeetrite mõõtmisvahemikud on: (0 - 7 bar); ning (0 - 14 bar). Viimane siis ennekõike pumplate juures, sest seal on tüüpiliselt suuremad surved.

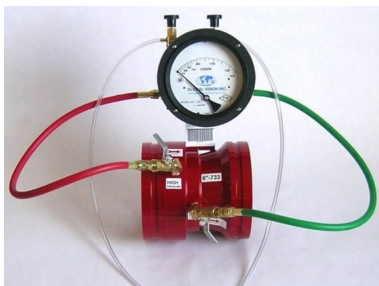


Allikas: Ref #01

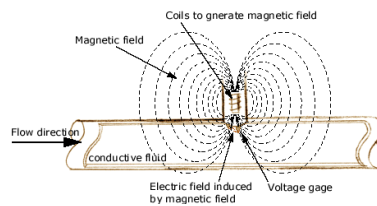
Pumba imitoru poolses otsas võidakse vajada manomeetreid, mis suudavad lugeda ka negatiivseid rõhkusid (vaakumi olemasolu).

Vooluhulga mõõtmine

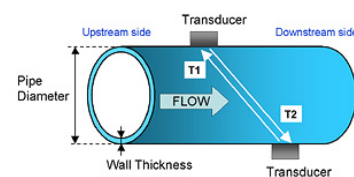
Vooluhulga mõõtmist teostatakse veevõrgu erinevates osades, et teada saada: vooluhulga käitumismustreid, süsteemi üldist käitumist, loomaks tarbimisgraafikuid; teada saada vooluhulkasid kalibreerimise tarvis. Vooluhulka saab mõõta näiteks: *Venturi toruga*, elektromagneetilise mõõturiga või ultraheli mõõturiga.



Allikas: Ref #02



Allikas: Ref #03



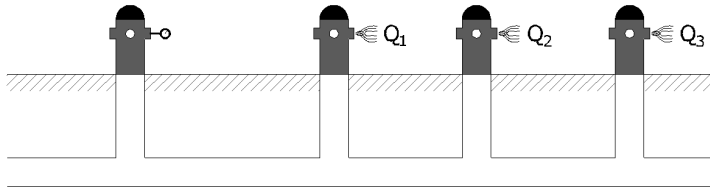
Allikas: Ref #04

Vooluhulka saab mõõta pidevalt (pumbajaam, survetsooni eraldav klapp, SCADA) või ajutiselt (kalibreerimisandmete saamiseks). Vooluhulga mõõtmispunkti valikul peab silmas pidama, et mõõdad vooluhulka nõ rahunenud voolus (väldi mõõtmispunktide paigutamist koheselt erinevate kohtsurvekadu tekitavate elementide järele). Üldine reegel paigutuskauguse leidmiseks: $L = 10 \times \text{toru läbimõõt}$. Mõõtmispunktide valikul ja/või mõõtmisseadmete paigaldamisel tuleb arvestada asjaoluga, et tarbijad võivad kogeda häireid veevõrgusüsteemis.

Hüdrandi vooluhulga katsetused

Hüdrandi katseid viiakse läbi väga erinevate andmestiku saamise eesmärgil. Olulisemad neist on: maksimaalse tulekustutusvooluhulga määra teada saamiseks veevõrgus ning rõhuandmete kogumiseks veevõrgust erinevatel tarbimisrežiimidel (mudeli kalibreerimise tarvis). Juhul kui rõhku mõõdetakse samuti hüdrandi peal, siis peab hüdrandi katsetuse läbi viima 2 või rohkema hüdrandiga.

Rõhu mõõtmine Avatud hüdrandid



Enne rõhu mõõtmist peab avatud hüdrandist väljuv vooluhulk olema stabiliseerunud. Mõõtmisseadmeteks on: (a) *pitot gage* või (b) *pitot diffuser*.



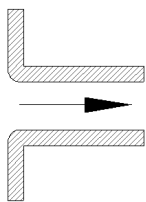
Pitot gage (allikas: Ref #05, Ref #06).



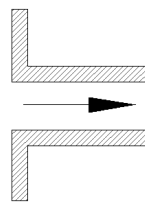
Pitot diffuser (allikas: Ref #07).

Rõhku saab arvutada järgmiselt:

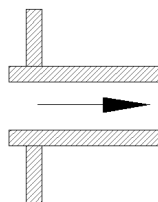
$$Q = 0.111 \cdot C_d \cdot D^2 \sqrt{P}$$



Ümar sisenemise
ava, $C_d = 0.9$



Nurgeline
sisenemise ava,
 $C_d = 0.8$



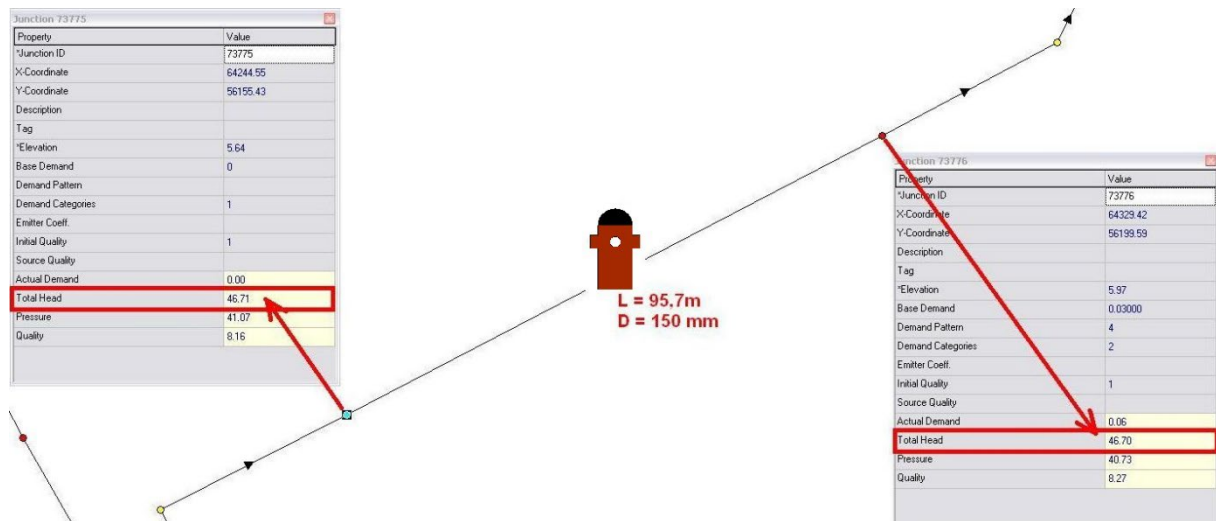
Sisemise
stantsiga ava,
 $C_d = 0.7$

Hüdrandikatse peab tekitama piisavalt suure rõhulangu, et saadavad andmed oleksid kvaliteetsed.

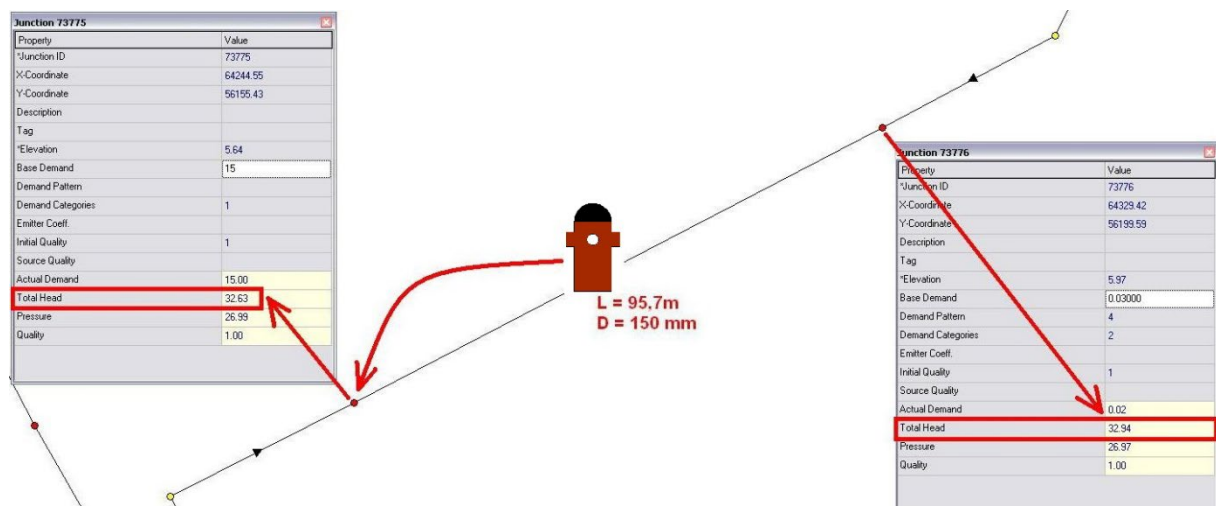
$$\Delta P = 0.7 \text{bar} (\sim 7 \text{mH}_2\text{O})$$

Näiteks 150-200 mm torustike puhul võiks piisata ühest hüdrandist, suuremate läbimõõtude korral on aga vaja juba rohkem hüdrante avada.

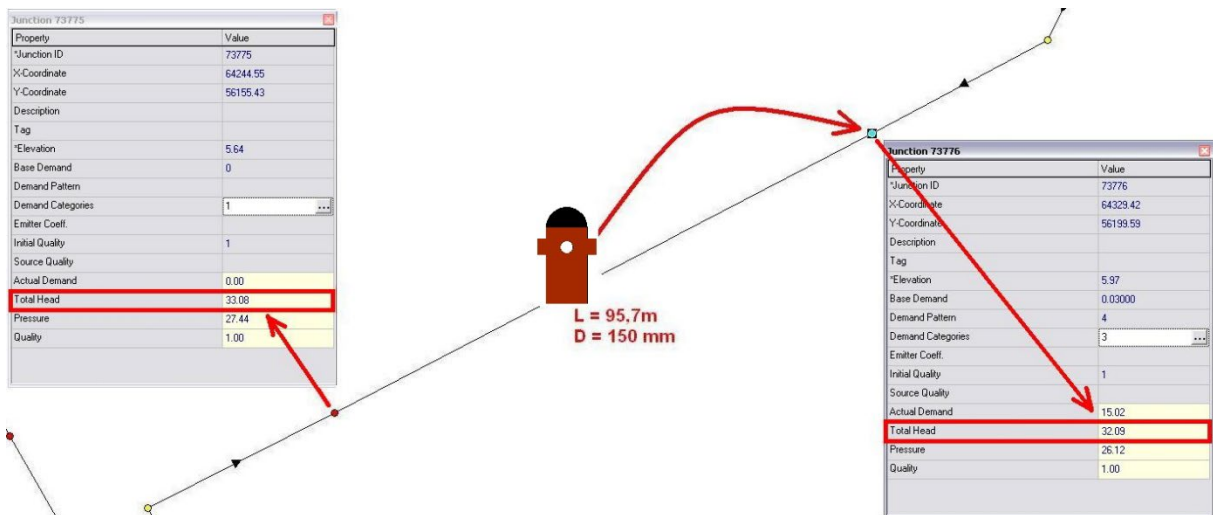
Hüdrantide kasutamisel kalibreerimisandmestiku kogumiseks tuleb eelnevalt üles märkida/mõõta ääritingimused: mahuti/reservuaari veetasapind, pumpade vooluhulgad ja seaded, klappide seaded, tarbimised testi tegemise hetkel. Need samad ääritingimused peavad eksisteerima ka mudelis. Mõned näited mudelist, kuidas muutuvad lähisõlmede surved hüdrantivooluhulga kaasamisel mudelis.



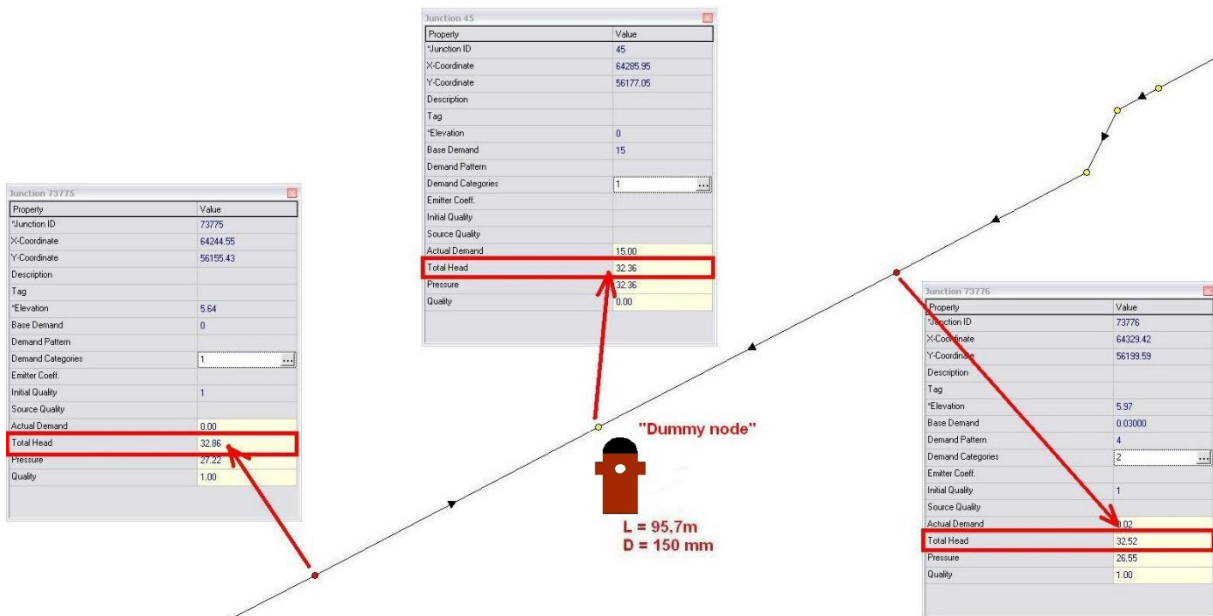
Hüdrandi vooluhulka pole lisatud. Surved on väga sarnased.



Hüdrandi vooluhulk on lisatud vasakule poole sõlme. Arvutusliku survete erinevus on ca 0.3 m.



Hüdrandi vooluhulk lisatud paremale. Survete erinevus ca 1 m. Erinevus eelmisega võib olla tingitud torude mahtuvusega ja vooluhulkade ümbermängimisega süsteemis.



Hüdrandi tegelikus asukohas tekitatakse lisasõlm ja hüdrant lisatakse sinna sõlme. See on soovituslik, kuna me tekitame nii väiksema vea kalibreerimisandmestikus. Saame võrrelda rõhkusid mudelis ja reaalses võrgus just täpselt samades kohtades.

Võimalikud probleemid hüdrandi vooluhulga katsetustel

Suhtu hüdrandi vooluhulga katsetuse pikkusesse kriitiliselt, sest liiga pika katsetusperioodi kasutamine võib lokaalselt tekitada üleujutusi. Võimalusel kasuta hüdrandi katsetustel vooluhulga hajutit, mis vähendab voolukiirust hüdrandist ning seetõttu aitab vältida hüdrandi kulumist ning ohtu ümbritsevale keskkonnale. Hüdrandikatsetused on soovitatav läbi viia soojade ilmadega (külumise ohtu vältimiseks). Teavita tarbijaid hüdrandikatsetuse toimumisest, sest suurem voolukiirus võib põhjustada veekvaliteedi halvenemist (setete liikumine). Hüdrandi avamist/sulgemist tuleb teostada järk-järgult, kuna kiired muutused voolus võivad põhjustada süsteemi tavaolukorrast suuremaid rõhulaineid (löök).

Survekao katsetused

Survekao katsetuse peamine eesmärk on teada saada toru karedustegur. Kaks peamist survekao katsetuse meetodit on: nn kahe manomeetri test ning paralleelsete torude meetod. Otsitav karedustegur leitakse kas *Darcy-Weisbach*'i või *Hazen Williams*'i valemitest:

$$C = \left(\frac{C_f L Q^{1.852}}{h_L D^{4.87}} \right)^{1/1.852} \quad f = h_L \frac{D 2g}{L v^2}$$

Voolukiiruse saab seejärel arvutada vooluhulga ja läbimõõdu kaudu:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

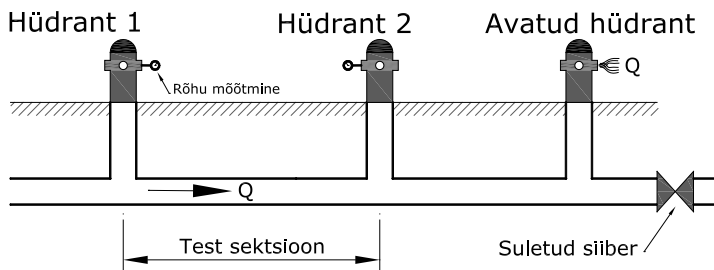
Karedusteguri kasutamiseks teistel torudel peame me f väärtuse konverteerima absoluutse kareduse teguriks (*Colebrook-White* valemi abil):

$$\frac{\varepsilon}{D} = 3.7 \left[\exp \left(\frac{1}{-0.86 \sqrt{f}} \right) - \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

Pane tähele, et siledate torude puhul võib eeltoodud valem anda ka negatiivseid väärtuseid, mis konverteeritakse kui 0 karedus (hüdrauliliselt sile toru).

Kahe manomeetri test

Kahe manomeetri testi juures peab silmas pidama, et tekkiv survekao väärtus peab ületama võimalikke mõõtmisvigu.



Selleks, et kõrgusmärkidest vabaneda, saame teha järgmise tuletuse:

$$h_L = HGL_U - HGL_D$$

$$h_L = C_f (P_U - P_D) + (Z_U - Z_D)$$

Kui $Q = 0$, siis $h_L = 0$

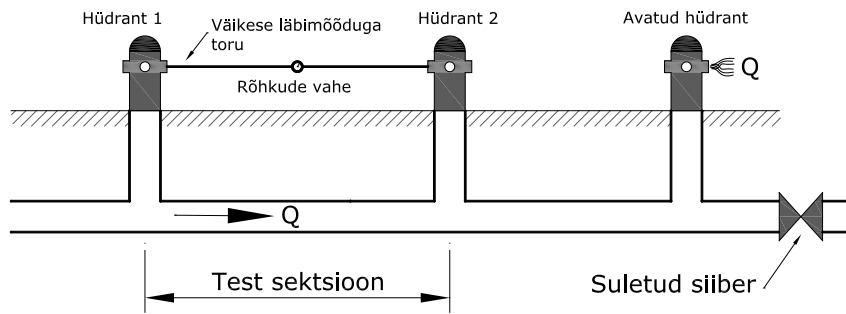
$$(Z_U - Z_D) = -C_f (P_{US} - P_{DS})$$

$$h_L = C_f [(P_{UT} - P_{DT}) - (P_{US} - P_{DS})]$$

P_{UT} – rõhk ülesvoolu, hüdrant avatud

P_{DT} – rõhk allavoolu, hüdrant avatud

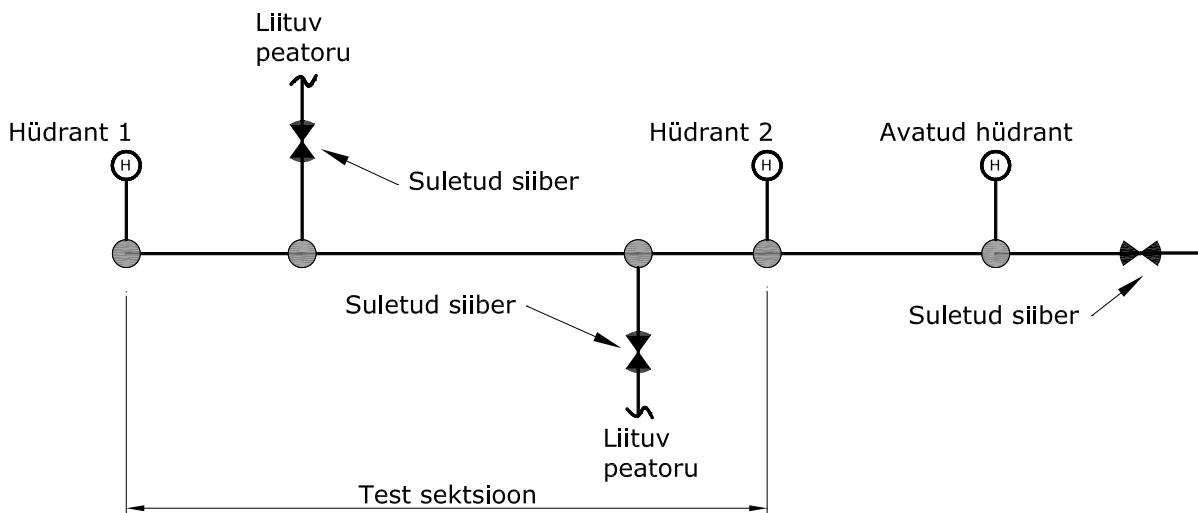
Paralleelsete torude meetod



$$h_L = C_f \times \Delta P$$

Võimalikud probleemid survekao katsetuste läbiviimisel

Katsetuse läbiviimiseks tuleb testitav lõik isoleerida, mis võib aga tarbijad jätta veeta (kontrolli süsteemi kaarte). Testseksioonis võib olla samuti tarbimisühendusi. Need tarbitavad vooluhulgad peavad olema toruvooluhulga suhtes väikese osakaaluga, vastasel juhul tuleb need katsetuse ajal arvesse võtta.



Survekao katsetuste tulemuste kasutamine kalibreerimises

Sõltuvalt eelarvest on võimalik läbi viia survekao katsetused erinevate läbimõõtudega torudel (kaasates ka materjali ja vanuse parameetri). Seejärel saab mõõdetud tulemusi kasutada teiste (mõõtmata) torude karedustegurite määramisel ekstrapoleerimise teel.

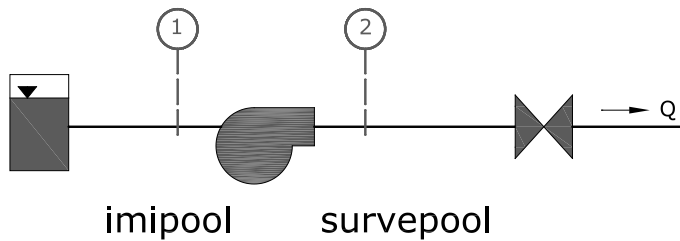
$$\varepsilon = \varepsilon_0 + at,$$

kus: ε_0 – toru karedus uuena ($t = 0$, mm); a – kareduse muutumise kiirus (mm/aasta); t – toru vanus (aasta).

Mistahes leitud kareduse sõltuvus toru vanusest ning materjalist on kehtiv vaid mõõdetud süsteemis ning see ei ole universaalne (s.t rakendatav teisele veevõrgu-süsteemile/survetsoonile).

Pumba suutlikkuse katsetused

Tõstekõrguse karakteristik kõver. Klapi erinevatel sulgemistel arvutatakse h_p .



$$h_{dis} + \frac{v_{dis}^2}{2g} = h_{suc} + h_p - h_L - h_m + \frac{v_{suc}^2}{2g}$$

$$h_p = \left(\frac{P_{dis}}{\gamma} - \frac{P_{suc}}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_{dis}^2}{2g} - \frac{v_{suc}^2}{2g} \right) + h_L + h_m$$

Enamasti küll piisab pumba tõstekõrguse karakteristikust kõverast. Pumba efektiivsuse kõverat vajatakse siis, kui soovitakse modelleerida energia tarbimist pumba poolt.

$$e_{\text{wire-to-water}} = e_p \times e_m = \left(\frac{\text{water power}_{\text{out}}}{\text{pump power}_{\text{in}}} \right) \times \left(\frac{\text{pump power}_{\text{in}}}{\text{electric power}_{\text{in}}} \right)$$

$$WP = C_f \times Q \times h_p \times \gamma$$

$$EP = V \times I \times \sqrt{N} \times (PF),$$

kus: N – faaside arv; PF – võimsuse tegur (sõltub mootori suuruselt ning rakendatavast koormusest).

Pane tähele, et mitte alati ei pruugi elektrivõimsuse mõõtmiseks olla andurit. Siis tuleb mõõta energia tarbimist ning jagada see ajaga, et saada võimsus. Kui mõõtjat loetakse otse, siis tuleb arvestada ka asjaoluga, et võimsust võivad tarbida ka teised tarbijad (pumbamaja valgustus, küte jne).

Võimalikud probleemid pumba suutlikkuse katsetustel

Olulisem asi, mida vajatakse, on leida pumba surve, kui vooluhulk on null. Selle saamiseks suletakse klapp pumba järel ja mõõdetakse võimalikult kiirelt tõstekõrgus (ülekuumenemise oht). Elektri tarbimise hind võib põhineda maksimaalsel tarbimishetkel oleva võimsusega. Seega tuleks teadvustada, et pumba suutlikkuse katsetustel tarbib pump oluliselt rohkem energiat ning seega võib juhtuda, et ekslikult võidakse energia tootja poolt määrata kallim tarbimise hind kogu järgnevaks perioodiks.

Kestvusperioodi simulatsiooni andmestik

Eelnevalt käsitletud katsetused andsid enamjaolt statsionaarset infot veevõrgu kohta – s.t mõõtmised teostatakse ühes punktis, ühel kindlal ajahetkel. *EPS* mudelid vajavad aga infot üle terve mitme päeva. Enamlevinud *EPS* andmestik on: (a) aegreal põhinevad (Q , P , mahuti veetasapind) ning (b) kontsentratsiooni tasemel põhinevad. Aegreal põhinev andmestik sõltub päevast, aastaajast, tunnist jne. Ülesvõtuks kasutatakse tihtipeale *SCADA* süsteeme. Aine levikut uuritakse veevõrgu süsteemi erinevates punktides läbi mõõdetud kontsentratsioonide – saadud andmeid kasutatakse veekvaliteedi mudeli kalibreerimiseks. Siin oluline läbida järgmised etapid: (a) aine valik; (b) mudeliga on soovitatav määrata mõõtmispunktid; (c) teostada mõõtmised veevõrgus; (d) esialgsed järeldused tehakse kaasaskantavate mõõteseadmetega (vajadusel pikendatakse mõõtmisperioodi), edasised (täpsemad) analüüsid tehakse veel ka pudelitesse kogutud vett analüüsides (pudeli testi kohta vt lähemalt põhiõpikust); ning (e) lisaks on vaja mõõta mahutite veetasapindade muutused, pumba sisse/välja lüülimised, vooluhulgad jne.

Vee kvaliteedi testid

Vee kvaliteedi testid jagunevad: laboratoorsed testid (reageerimise koefitsient), kohapeal teostatavad testid (toru läbimõõdu määramine), kloori hajumise uurimine toru seinal ning erinevad pikaajalised uuringud.

Laboratoorsete testide peamine eesmärk on uurida reageerimist aines ning toru seinaga. Vedeliku mahus reageerimise koefitsient määratakse üldjuhul pudeli prooviga. Kriitilise tähtsusega on pudeli proovi ajaline kestvus, ning mõõtmiste sagedus (ajaline kestvus peaks peegeldama vedeliku liikumise kiirust, veevanuse analüüsist tulenev). Jälgida tuleb, et pudel oleks testi alustamisel eelnevalt puhastatud (puuduksid kõikvõimalikud jäägid, mis võiksid võrgust võetavad vedeliku koostisainetega reageerida). Mõõtmiste vahel tuleb pudeleid hoida pimedas ning konstantsel temperatuuril (temperatuur mõjutab reageerimist aga ka valguse toime võib seda teha). Kahe allikaga süsteemides tuleb arvestada asjaoluga, et vedeliku mahus reageerimise koefitsient on sõltuvuses, millisest allikast vesi torusse/sõlme jõuab. See koefitsient on laiendatav seega ka vastavale mahutile (liikumisraja alusel). Ühe allikaga süsteemis on vastav reageerimise koefitsient otseses sõltuvuses torust läbimineva veega (või mahutis talletuva veega) – seega saab antud juhul kasutada globaalse reageerimise koefitsiendi ülesseadmist mudelis.

Kohapeal teostatavaks testiks on ennekõike toru läbimõõdu määramine. Hüdrauliliselt võib koostada lõputu arv f ja D paare, et saadakse sama rõhulang. Vee kvaliteedi seisukohast on aga õige toru valik märksa olulisem, sest voolamise kiirused peavad vastama tegelikule olukorrale. Läbimõõtu võib mõõta: (a) kindlas punktis; (b) mõõtes Q ja v ; või valida toru andmebaasidest, mis põhinevad süsteemist eemaldatud torude analüüsil (vanus, materjal, läbimõõt), misjärel seda laiendatakse ka teistele torudele.

Kloori hajumiseks toru seinal teada saamiseks kasutatakse analoogselt toru karedusteguri mõõtmisega: (a) valitakse toru segment (min ca 300 m); (b) isoleeritakse see süsteemist; (c) hüdrandi avamisel mõõdetakse mõõtmispunktides aine kontsentratsioonid (arvestada tuleb aine leviku ajaga). Kasutatav torudel, kus hajumine toru seinal on suurem (toru materjal soodustab), PVC torudel on see näiteks liialt väike ning väikestel toru lõikudel ei suudeta hajumist mõõta.

Pikaajalised uuringud on tüüpiliselt kulukad ettevõtmised (seadmed, tööjõu kulu, laboratoorsed analüüsid), mistõttu on siin olulisel kohal planeerimine (millal? mis on eesmärgid?). Tegevused jagatakse kolme etappi: (1) planeerimine (olulise tähtsusega); (2) läbiviimine ning (3) analüüsimine.

Planeerimise etapis tuleb arvestada mõõtmispunktide asukoha valikuga ning mõõtmisagedusega (automatiseerida, oluline on leida ajavahemik, mil näit muutub – 1h, 2h jne). Lisaks peab olema süsteemi käitumise hinnang, mis katse ajal võiks kehtida ning saadaval ka aine analüüs (mis ainet kasutada, kogus, sisestus, aine mõõtmine). Mõõtmispunktid tuleb eelnevalt ette valmistada ettevalmistus, juhinduma kogumise protseduuridest (nt hüdrandi vooluhulk, kui kaua peab see olema avatud enne esimese testi võtmist). Seejärel arvestama hilisemate analüütiliste protseduuridega (minimaalne kogus, mis on võimalik kätte saada) ja arvestama personali organisatoorsest poolt. Oluline on ka pöörata tähelepanu turvalisuse küsimustele (personali nähtavus objektile) ning andmestiku salvestusele (tabel, vorm). Kontrollida varustuse olemasolu (tellida ette) ning kalibreerida/kontrollida eelnevalt kasutatavad instrumendid. Planeerimise etappi kuulub ka personali väljaõpe ning varuplaani läbimõtlemine, kui miski läheb viltu. Kõige alus on seega pidev suhtlus.

Selle kõige eesmärk on kontrollida, kas hüdrauliliselt kalibreeritud mudelid on piisava täpsusega ka vee kvaliteedi modelleerimiseks.

Mahutite ning reservuaaride proovivõttud

Kolm enamlevinud proovivõtu ning seire programmi on: (a) veekvaliteedi hinnang esitab ajutise ning ajas muutuva veekvaliteedi parameetrid mahutis, sisse- ja väljavoolus; (b) aine reageerimise uuringud aitavad hinnata mahutis toimuvat segunemise protseduuri; (c) temperatuuri muutumise uuring mahuti erisügavustel.

Veekvaliteedi hinnangu tegemisel peame registreerima kõik sissevoolud ning väljavoolud (aitab paremini mõista miks veekvaliteet mahutis teatud ajaperioodil muutub). Soovitav on mõõtmised teha erinevatel sügavustel (koos temperatuuri näiduga).

Aine reageerimise uuringud täidavad sama eesmärgi, mis samalaadsed uuringud veevõrgu torudes/sõlmedes. Ehk siis uurida aine levikut (sisestuspunktist > väljavooluni), saamaks teada mahutis toimuvaid segunemisi. Aine leviku uuringu juures on olulise tähtsusega: aine valik; aine sisestamine (poleks liialt sissevooluava lähedal); aine kogus; proovivõtu kohad (sisend, väljund ning mahuti sees); regulatsioonid (nt teatud aine kontsentratsiooni ajutine suurendamine pole lubatud); vooluhulga mõõtmised (sisend, väljund).

Üldiselt võib temperatuuri kõikumine oluliselt mõjutada aine reageerimist, mis võib kõikuda nii horisontaali kui vertikaali sihis. Isegi kuni 1 kraadine temperatuuri muutus võib põhjustada erinevusi mahutite/reservuaaride voolusuundade muustrites (*flowpattern*), mis muuhulgas mõjutavad segunemisprotsesse (sisse- ja väljavool). Protsesside analüüsimiseks kasutatakse tihtipeale *Computational Fluid Dynamics (CFD)* arvutusmeetodeid (*Kawashima, 1999*). Veevõrgu süsteemide standardmudelites nii spetsiifilist analüüsi ei tehta.

Kalibreerimisandmestiku kvaliteet

Mudelite kalibreerimine on problemaatiline, kui voolukiirused on väikesed (s.t survekadu on minimaalne, survejoon konstantne). Huvipakkuvaks on siin asjaolu, millise täpsusega peavad olema tehtud rõhu mõõtmised, et need oleksid veel kasulikud mudeli kalibreerimiseks.

$$C = k \frac{(Q \pm \Delta Q)}{(h_L \pm \Delta h_L)^{0.54}}$$

Kui Q , H on väikesed, siis on vead samas suurusjärgus. Vooluhulga tõstmiseks kasutatakse hüdrandi teste, tõstmaks ajutiselt kiiruseid torudes ning tõstes ühtlasi mõõdetud tulemuste ja vigade vahelist vahekorda.



Allikas: Ref #08

Optimeerimise tarkvara eeldab, et kõik mõõtmised, mis on tehtud, on täpsed. Sellisel juhul suudavad need esitada ka väga hea lahendi. Teise eeldusena tuleb oluliselt tõsta survekao ja selle vea vahekorda:

$$h_L \gg \Delta h_L$$

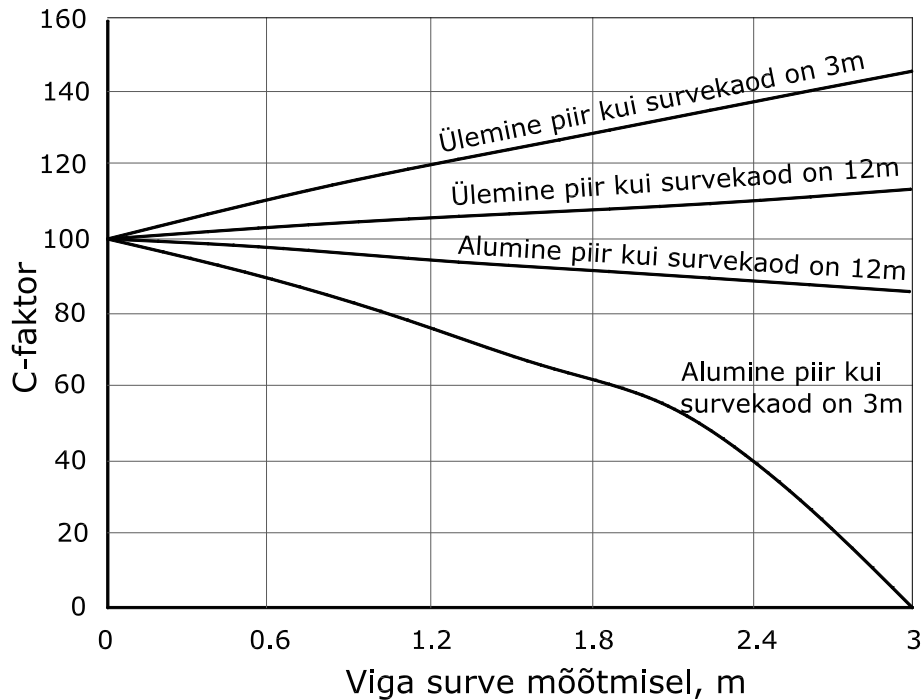
Vigaste andmete ja/või väikeste voolukiiruste korral on automaatsete optimeerimistarkvarade poolt leitud lahendid üsna sageli ebatäpsed ehkki programm väidab, et tegu on optimaalseima lahendiga. Kui tulla tagasi eelmise valemi juurde:

$$C = k \frac{(Q \pm \Delta Q)}{(h_L \pm \Delta h_L)^{0.54}}$$

Üldjuhul võib teha lihtsustuse, kuna mõõdetud Q on alati suurem kui selle viga, seega:

$$C = \frac{k}{(h_L \pm \Delta h_L)^{0.54}}$$

Mida suurem viga, seda ebakindlam toru karedus.



Joonis esitab toru, mille tegelik $C = 100$. Survekaod kahe piirsõlme vahel on nt 3 m. Juba väike määrtusviga põhjustab suure C faktori vahemiku.

Kalibreerimisandmestiku veaallikad

Rõhu mõõtmised peaksid olema täpsusega $< 0,07$ bar, soovitatavalt isegi täpsemad. Rõhuandureid tuleks sagedasti kalibreerida. Maapind (sagedane veaallika koht) tuleks mõõta üks kord täpselt ja see üldjuhul ei muutu ajas (arvestuslik viga $< 0,3$ m). SCADA andmestik vooluhulga mõõtmisel võib olla nihkes. Graafikul põhinevad lugemised on ebatäpsed, kuna reageerimisaeg pikk – kasuta kiirreageerivaid andureid; väldi mõõtmist voolamise hakkamisel/seiskumisel – oota voolu stabiliseerumist. Mahutite veetasapind – oluline on veetasapind kindlal ajahetkel ühes vastava täpsushinnanguga ning mitte lihtsalt veetasapinna ostsilleerimise järgimine. Kõik eelnev peab olema teostatud samaaegselt, ehk siis andmete kogumine peab käima sünkroonis ja kehtima ühele ja samale hetkele/periodile.

Referentsid

Pildimaterjal

- Ref #01 ladarozan, Manometr, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manometr.jpg>
- Ref #02 Global Vision flowmeter, <http://www.gviflow.com/files/fpweb.jpg>
- Ref #03 Magnetic flowmeter, http://www.efunda.com/designstandards/sensors/flowmeters/images/magnetic_insertion2.gif
- Ref #04 Ultrasonic flowmeter, <http://www.yokogawa.com/fld/img/US/fld-us300z-165-en.jpg>
- Ref #05 I314HC - HeadChecker™, http://www.eagleonegolf.com/store/catalog/400/PressureGauge_Pitot.jpg
- Ref #06 I314HC - HeadChecker™ in-use, http://www.eagleonegolf.com/store/catalog/400/Pitot_Gauge_InUse.jpg
- Ref #07 HydrantPro™ Aluminum Swivel Diffuser, http://www.pollardwater.com/images/HydrantPro_comp.gif
- Ref #08 Fire hydrant testing, <http://www.constaflow.com/images/photo-firehydrant.jpg>

Artiklid

Kawashima, Y., Murai, Kazuhiro, Hosokawa, T. (1999). "A study on flow patterns and fluid mixing for water purification in a rectangular water tank." 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia, 6-8 December 1999. http://www.cfd.com.au/cfd_conf99/papers/031KAWA.PDF (last accessed: 30.09.2016).

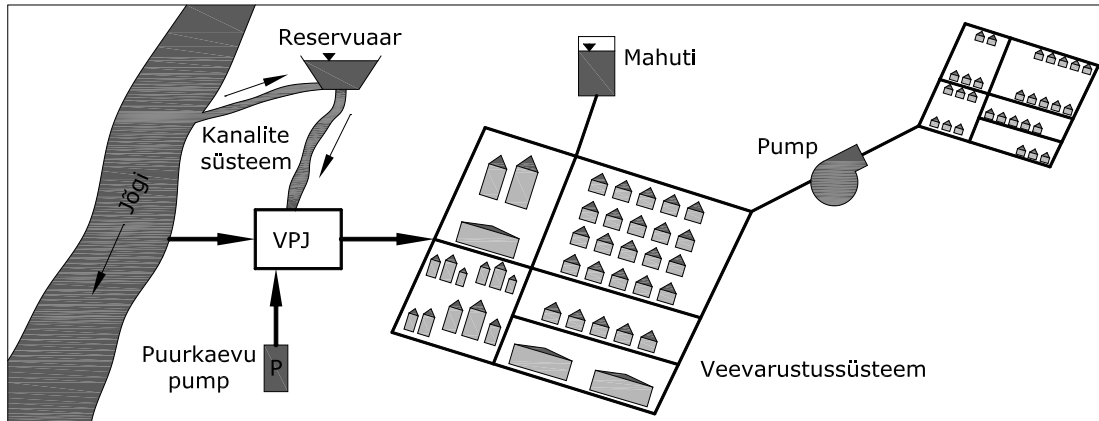
Riskianalüüs

Sissejuhatus

Veemajanduses on riskianalüüs saanud hoogu juurde just selle sajandi alguses. Riskianalüüsi eesmärk on määratleda võimalikud reostusohud, mis tekivad loomuliku, ettevaatamatu või sihipärase tegevuse käigus. Oma osa mängivad riskianalüüsi aktuaalsuses ka viimased terrorismi juhtumid.

Veevõrgusüsteemi haavatavus

Veevõrk on haavatav väga erinevatest punktidest: töötlemata vesi veeallikas (pinnavesi, põhjavesi), töötlemata vesi kanalites/torudes, töötlemata vesi mahutites, veepuhastusjaam (VPJ), ühendused veevõrku, pumbajaamad, klapid, veevõrgu mahutid/reservuaarid.



Veevõrgu operaatori väljakutsed jagunevad: füüsikaline katkestus (ebapiisav vooluhulk, rõhk); tarbijatele suunatava vee reostamine keemilise või bioloogilise ainega nii, et vesi pole kasutuskõlblik või pole tagatud piisav kvaliteet; klientide ebakindlus veetevõtte suutlikkuse osas tagada ohutut ning turvalist veevarustust.

Haavatavust põhjustavad sündmused jagunevad: loomulikud, sihipärased, kogemata.

Loomulikud sündmused on: üleujutused, maavärinad, tulekahju, äärmuslikud ilmastikuolud (põud, orkaan, tornaado jne), äravooluavad, loomulikud kontsentratsioonid pinna- ja põhjavees. Samas sihipärasteks loetakse terroristi / kurjategija poolt läbiviidav reostamine, vandalism ning purustamine. Kolmas klass, kogemata sündmused, on põhjustatud kontsentratsioonide sissevoolud, omavahel ristuvad vee- ning kanaliühendused, veeki poolt põhjustatud või torustiku õnnetused ning plahvatused.

Võimalikud veevarustussüsteemi riskid

Füüsikaline katkestus on veevarustusteenuse katkestus, mis ennekõike põhjustab kliendile ebamugavusi – otsene terviserisk puudub. Erandiks on näiteks: (a) tammi purunemisel tekkiv üleujutuslaine, mis võib viia ka elukaotusteni loodusnähtustest põhjustatud katkestused ja selle tagajärjel; ning (b) kloori gaaside järsk kontsentratsiooni tõus puhastusjaamas, mis võib viia kahjulike või surmavate pilvkatete tekkeni lähipiirkonna elurajoonides.

Võimalikeks tegevusteks, et neid ära hoida, on infrastruktuuri järjepidev kontroll, turvalisuse suurendamine ning kloori asemel vähemleenduvate (mürgiste) gaaside kasutamine.

Veekvaliteet sõltub selles olevatest ainetest (lisanditest). Ained võivad võrku sattuda väga erinevatest süsteemi osadest. Veepuhastusjaam on üldjuhul piiriks, kust sisestatud lisandid tarbijani jõuavad, kuid see ei pruugi teatud ainete kontsentratsioonide kontrolli all hoidmiseks olla ainus asukoht (sisendpunkt). Keemiliste ning bioloogiliste ainete kasutamine on võimalik terrorismi juhtum. Teatud liiki ainete kontsentratsioonide poolt põhjustatud nähud inimese tervisele väljenduvad alles nn tervisekontrollis (teatud liiki sümptomite järsk tõus).

Table 1. Summary of threat potential of replicating agents.

Agent/disease	Weaponized	Water threat	Infective dose ^a	Stable in water	Chlorine tolerance ^b
Anthrax	Yes	Yes	6,000 spores (inh)	2 years (spores)	Spores resistant
Brucellosis	Yes	Probable	10,000 organisms (uns)	20–72 days	Unknown
Cholera	Unknown	Yes	1,000 organisms (ing)	Survives well	Easily killed
<i>Clostridium perfringens</i>	Probable	Probable	10 ⁸ organisms (ing)	Common in sewage	Resistant
Glanders	Probable	Unlikely	3.2 × 10 ⁶ organisms (uns)	Up to 30 days	Unknown
Melioidosis	Possible	Unlikely	Unknown	Unknown	Unknown
Plague	Probable	Yes	500 organisms (inh)	16 days	Unknown
Psittacosis	Possible	Possible	Unknown	18–24 hr, seawater	Unknown
Q fever	Yes	Possible	25 organisms (uns)	Unknown	Unknown
<i>Salmonella</i>	Unknown	Yes	10 ⁴ organisms (ing)	8 days, fresh water	Inactivated
Shigellosis	Unknown	Yes	10 ⁴ organisms (ing)	2–3 days	Inactivated, 0.05 ppm, 10 min
Tularemia	Yes	Yes	10 ⁶ organisms (ing)	Up to 90 days	Inactivated, 1 ppm, 5 min
Typhus	Probable	Unlikely	10 organisms (uns)	Unknown	Unknown
Encephalomyelitis	Probable	Unlikely	25 particles (aer)	Unknown	Unknown
Enteric viruses	Unknown	Yes	6 particles (ing)	8–32 days	Readily inactivated (rotavirus)
Hemorrhagic fever	Probable	Unlikely	10 ⁶ particles (ing)	Unknown	Unknown
Smallpox	Possible	Possible	10 particles (uns)	Unknown	Unknown
Cryptosporidiosis	Unknown	Yes	132 oocysts (ing)	Stable days or more	Resistant

Abbreviations: aer, aerosol; ing, ingestion; inh, inhalation; uns, unspecified.

^aTotal infective dose used to calculate water values. ^bAmbient temperature, ≤ 1 ppm free available chlorine, 30 min or as indicated.

Table 2. Summary of threat potential of biotoxins.

Biotoxin	Weaponized	Water threat	NOAEL, 2 L/day ^a	Stable in water	Chlorine tolerance ^b
Aflatoxin	Yes	Yes	75 µg/L	Probably stable	Probably tolerant
Anatoxin A	Unknown	Probable	Unknown	Inactivated in days	Probably tolerant
Botulinum toxins	Yes	Yes	0.0004 µg/L	Stable	Inactivated, 6 ppm, 20 min
Microcystins	Possible	Yes	1.0 µg/L ^c	Probably stable	Resistant at 100 ppm
Ricin	Yes	Yes	15 µg/L	Stable	Resistant at 10 ppm
Saxitoxin	Possible	Yes	0.4 µg/L	Stable	Resistant at 10 ppm
Staphylococcal enterotoxins	Probable	Yes	0.1 µg/L	Probably stable	Unknown
T-2 mycotoxin	Probable	Yes	65 µg/L ^d	Stable	Resistant
Tetrodotoxin	Possible	Yes	1 µg/L	Probably stable	Inactivated, 50 ppm

NOAEL, no-observed-adverse-effect level.

^aEstimated as 7.5 times the NOAEL calculated for consumption of 15 L/day. ^bAmbient temperature, ≤ 1 ppm free available chlorine, 30 min or as indicated. ^cWorld Health Organization drinking water standard. ^dDerived from short-term U.S. Department of Defense Tri-Service standard (77).

Joonis. Võimalikud bioloogiliste relvade toimeained (allikas: Burrows and Renner, 1998).

Reostuse potentsiaalse ohu hindamise faktorid jagunevad:

- kättesaadavus – lihtne/keeruline kätte saada;
- monitooritavus – kas mõõtmisseadmetega on selle olemasolu määratav;
- füüsikalised omadused – lõhn?, värv?, maitse?;
- kahjulik kogus/doos – terviseriski seisukohast, mis on ohtlik kogus;
- keemiline ning füüsikaline stabiilsus vees – aine eluiga vees;

- vastupidavus kloorile – kas kloor või mõni teine desinfektor on piisavalt efektiivne aine elimineerimiseks?

Ainete mürgisust saab hinnata nende nn edetabeli kaudu:

$$R = \frac{\text{lahustuvus vees [mg/L]}}{1000 \cdot \text{surmav doos [mg/inim]}}$$

Aine	R
Botulinus toxin A	10'000
VX	300
Sarin	100
Nicotine	20
Colchicine	12
Cyanide	9
Amiton	5
Fluoroethanol, sodium, fluoroacetate	1
Selentic	1
Asenite, arsenate	1

Allika reostusust saab hinnata eelhoiatussüsteemiga (monitooritav), aine olemasolu tõenäosus, olemasolu kinnitus, edasise protsessi määramine/hindamine ning kestvus/mõju vastava allika kasutamisel. Seejärel tuleb võimalikud vastumeetmed/tegevused koordineerida, peab toimuma infovahetus erinevate osapoolte lõikes ning läbi viima tegevused, mis aitavad leevendada aine mõju veetarbijatele.

Eelhoiatussüsteemis saab kasutada sensoreid (kallimad, odavamad). Kättesaadavamad (odavamad) lähtuvad mingist muutunud füüsilisest parameetrist (*pH*, juhtivus, temperatuur, hägusus). Samas on nende kasutamisel kasulikku infot vähe. Ainete toime ja mõju eelnimetatud parameetritele puudulik/juhuslik. Kallimad seadmed (efektiivsemad) jagunevad: (a) kromatograafia – ainete eraldamine; (b) spektrograafia – spektrite analüüs; ning (c) biomonitorid – mõju elusorganismidele (kala, bakterid jpt).

Allikas reostusjuhtumi registreerimisel tuleb see sulgeda ning kasutada alternatiivseid veevõtukohtasid (efektiivne vaid siis, kui aine pole jõudnud veel siseneda allikasse, piiritletud ajaliselt). Lekkinud piirkonna isoleerimine/puhastamine (efektiivne vaid eemaldatavate ainete puhul, nt õlid, petrooleum). Laiendatud, ajutised puhastusmeetmed puhastusjaamas (puhastuskemikaalide kontsentratsioonide ajutine suurendamine). Reostusjuhtumist tuleb teavitada avalikkust.

Kui reostus ei lähtu allikast, siis ainus pidev kaitse on normaalse puhastusprotsessi jätkumine.

	Bakter	Viirus	Ainuraksed	Lenduv orgaaniline kemikaal	Tehis orgaaniline kemikaal	Orgaanilise süsiniku üldsisaldus	Maitse, lõhn
Õhutamine	0-20%	0-20%	0-20%	60-100%	0-60%	20-60%	20-100%
Koagulatsioon, settimine / filtreerimine	60-100%	60-100%	60-100%	60-100%	0-20%	0-90%	0-90%
Pehmendamise	60-100%	60-100%	60-100%	0-60%	0-60%	60-90%	0-60%
Ioovahetus	0-20%	0-20%	0-20%	0-20%	0-20%	60-100%	N/A
Pöördosmoos	90-100%	90-100%	90-100%	20-100%	20-100%	60-90%	N/A
Ultrafiltreerimine	90-100%	90-100%	90-100%	20-100%	20-100%	60-90%	N/A
Desinfektsioon	90-100%	90-100%	90-100%	0-90%	0-90%	60-100%	0-100%
Aktiivsüsi (graanul)	20-60%	20-60%	20-60%	20-100%	20-100%	20-60%	60-100%
Aktiivsüsi (pulber)	0-20%	0-20%	0-20%	0-90%	0-100%	20-100%	60-100%
UV kiiritus	90-100%	90-100%	90-100%	60-90%	60-90%	60-90%	60-90%

Joonis. Minimaalne eemaldatav kogus (protsendina) (allikas: AWWA, 1990).

Üldjuhul on veevõrgusüsteem reostuse suhtes turvalisem kui allika reostamine. Samas ei saa rakendada tõkestamist (vaid jääk desinfektor). Veevõrgusüsteemi monitooringuvõimalused on piiratud. Aine kohale jõudmine reostuspunktist > tarbimispunkti võib olla väga lühike. Kui ainet ei suudeta enne mahutisse jõudmist avastada, võib reostatud vesi jõuda paljude tarbijateni väga laias ajavahemikus.

Veetöötusjaamast (allika ja veevõrgu vahel) käib kogu vesi läbi, mistõttu peaks see olema erilise tähelepanu all. Pumbajaama (klapid) läbivad suured vooluhulgad ning reostuse tekitamine (või ohu eiramine) võib mõjutada suurt hulka tarbijaid. Mahutid ja reservuaarid - piisava reostuse korral võtab mahutis oleva reostuse elimineerimine aega mitu päeva (sisse- ja väljavool ning segunemisprotsessid). Hüdrantidest lähtuvaid reostusjuhtumeid ei ole teada, kuid oht on siiski olemas ja seda just paakautode täitmisel tekkiva tagasivoolu tõttu.

Süsteemi nõrkuse hindamine

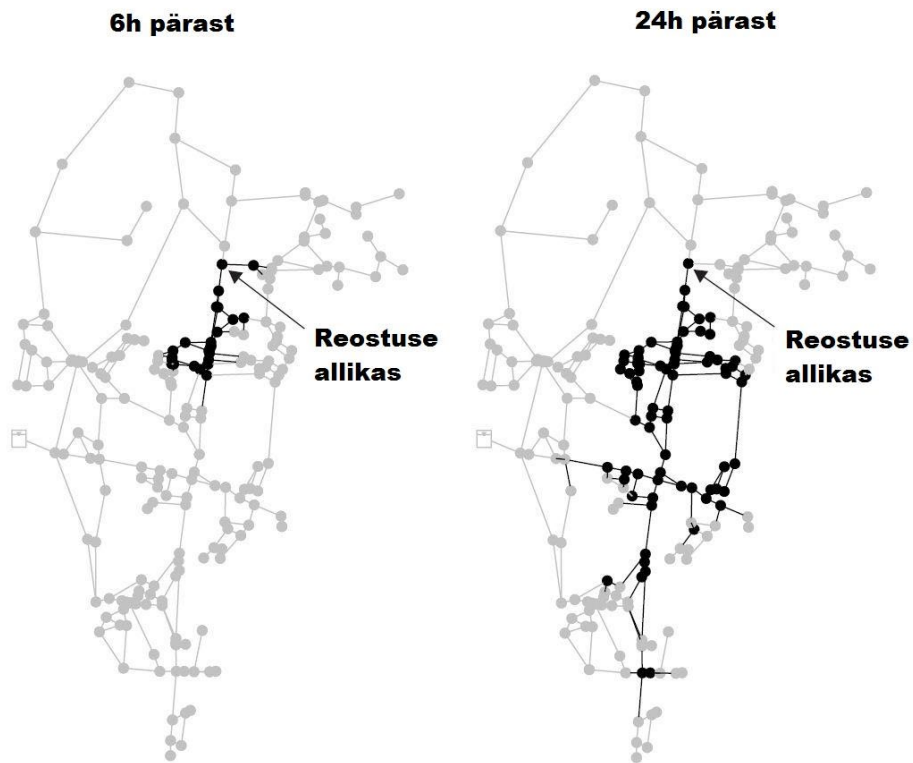
Süsteemi nõrkuse hindamine põhineb erinevatel analüüsivahenditel, teisisõnu teatud nimekirjade koostamisel, protokollide järgimisel ning protseduuride läbi viimisel. Riskianalüüs teadvustab, et kõiki riske ei ole võimalik elimineerida. Riskianalüüsi peamine eesmärk on hoida riske teatud vastuvõetaval tasemel. Riskianalüüsi oluline osa on oskus tõstatada küsimusi ning nendele küsimustele vastuste otsimist.

Vaata näiteks:

Sandia National Laboratories & EPA & AwwaRF, <http://energy.sandia.gov/climate-earth-systems/water-security-program/water-energy-and-natural-resource-systems/water-infrastructure-security/>

Simulatsioonimudelite rakendamine

Simulatsioonimudelite eesmärk on läbi mängida “*what if*” stsenaariume. Mudeleid kasutatakse: (a) planeerimiseks (mis võib juhtuda); (b) reaalaja töövahendina; ning (c) mineviku uurimine (miks juhtus).



Turvalisuse mõõdikud

Riski vähendamine sõltub selleks otstarbeks mõeldud turvalisuse mõõdikute rakendamisest.

Desinfektori taseme hoidmine

Näiteks kloor suudab välja lülitada väga mitmeid ohtlikke aineid, mistõttu selle kasutamine ning piisava, hädavajaliku kontsentratsiooni hoidmine on efektiivne meede). Vajalik pidev kontsentratsiooni monitooring; doseerimise suurendamine periooditi; kontsentratsioonide lisamise vahejaamad ning veevanuse vähendamine süsteemis.

Turvapiirete kasutamine

Sissetungi alarmi kasutamine.

Tagasivooluklappide kasutamine

Põhimõtteliselt on võimalik reostust tekitada mistahes süsteemi punktist, kui eksisteerib pump, mis suudab võrku piisavalt survet anda (ületab süsteemi rõhu). Seetõttu on oluline ka tagasivooluklappide kasutamine.

Teavitussüsteem töötlemata vee omaduste halvenemise kohta

Töötlemata vesi võib läbida veepuhastusjaama ning pääseda praktiliselt mistahes veevõrgu tarbijani, seetõttu on efektiivne häiresüsteem äärmiselt oluline.

Pidev monitooring süsteemi olulistes punktides

Kontsentratsioonide kindlaks määramiseks süsteemi olulistes punktides, et oleks võimalik muutustele kiirelt reageerida.

Käitumisjuhiste väljatöötamine

Ehkki kõik me loodame, et hädaolukorda ei teki, siis vastavate juhiste olemasolul, suudame me hädaolukorrale operatiivsemalt reageerida/tegutseda.

Riskijuhtumite näiteid

Exeter (UK) – 05.02.2006 (pühapäev)

Esimesed 20 kaebust saabusid kell 18:40. Põhjuseks toodi vee ebatavaline maitse ja lõhn. Veekvaliteedi spetsialist saadeti võtma proove. Leiti, et vees on 510 µg/l diisli (diisliõli). Ühest reservuaari kloori lisamise sõlmest leiti, et 10 l diisliõli on segatud 500 l veega, misjärel on see transporditud veevõrku. Reservuaari kaitsealast leiti 20 l tünn, mis oli poolenisti täis. Sisuks punane diisli õli. Eeldati, et selle sisu on osaliselt liidetud kloori lisamise sõlme. Sõlm ühendati süsteemist lahti.



Allikas: Ref #09

Diisliõli hoiti “mugavuse” mõttes tühjas kloori anumast. Kloori anumeid toodi pideva protsessina juurde ja tühjad viidi minema. Tagantjärei ei olnud võimalik kindlaks teha, kes nimetatud anumast “kloori” süsteemi lisan. Kokkuvõtvalt jõuti otsusele, et tegemist ei olnud tahtliku tegevusega. Samas tuleb rõhutada, et kloori tühjad anumad ei tohiks olla kasutuses mitte mingil muul otstarbel (teiste ainete/vedelike ladustamisel). Häire saadi läbi SCADA süsteemi 01.02.2006 ning see nulliti ära. Häire iseloom nõudis külastust selle tekke asukohta ning ülekontrollimist, kuid sellist tegevust polnud keegi registreerinud. Kõik kloori anumad peavad olema varustatud täitmiskuupäeva sildiga. Diisli sisaldav anum seda ei omanud. Seda poleks aga tohtinud kahe silma vahele jätta.

Nokia (Soome) – 28.-30.11.2007

Nokia linnas elab ca 30'000 elanikku. Riskijuhtumi põhjustas asjaolu, et kuulkraan jäi kogemata lahti, mis võimaldas töödeldud solgiveel (ca 450 m³) seguneda joogiveega. Mõjutas ca 10'000 elanikku (suur osa veevõrgust). Esimene kaebus tarbijalt 28.11.2006. Põhjuseks toodi imelik värvus, maitse, lõhn, vahutus. Eeldati, et probleem on põhjustatud voolusuundade muutustega süsteemis. Esimesed haigusjuhtumid registreeriti 30.11.2007. Süntomiteks iiveldus, oksendamine, kõhulahtisus - salmonelloosi tunnused. Teostati esimesed mõõtmised, mille käigus registreeriti roojabakteri tohutud kogused.



Allikas: Ref #10



Allikas: Ref #11

Esimene soovitus (avalik teavitus) oli, et kraanivett tuleb keeta (5 min). Kraanivee keetmise soovitus püsis ligi 3 kuud. Pudelivee toimetamine ligi 18 punkti (ajavahemik: detsember 2007 – märts 2008). Kokku tarniti 700'000 liitrit pudelivett. Riskijuhtumi tagajärjel eemaldati solgivee toru ja joogivee toru ühendus, kuulkraanid suleti. Teostati süsteemi läbipesu. Kloori kontsentratsiooni taset tõsteti 0.3 mg/l > 0.5 mg/l > 1.5 mg/l > ... 3 mg/l (*Giardia* parasiidi leidmisel). Lisaks toimus torude läbipesu nn põrsaga (78 km) ja rakendati šoki kloorimist (10 mg/l, 24h) ühendustorude puhastamiseks. Peale 2 päevast puhastusprotsessi, näitasid mõõtmised, et *E.coli* ning *enterococci* bakterit enam ei eksisteerinud. Riskijuhtumi kokkuvõttena registreeriti 8'451 salmonelloosi juhtumit, neist 200 said haiglaravi.

Referentsid

Pildimaterjal

Ref #09 Exeter linna asukohakaart, maps.google.com

Ref #10 Nokia linna asukohakaart, maps.google.com

Ref #11 <http://yle.fi/uutiset/3-8585873>;

http://www.onnettomuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/en/muutonnettomuudet/2007/b22007y_tutkintaselostus/b22007y_tutkintaselostus.pdf

Artiklid

American Water Works Association (AWWA). (1990). Water Quality & Treatment A Handbook of Community Water Supplies. 4th Edition, McGraw-Hill, New York, New York.

Burrows, W. D., Renner, S. E. (1998). Biological Warfare Agents as Threats to Potable Water. Environmental Health Perspectives, 107(12), 975.

SCADA ja hüdrauliline modelleerimine

Sissejuhatus

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) võimaldab reaalajas järgida süsteemi parameetreid (nt rõhk, vooluhulk, mahuti veetasapind) ning juhtida seeläbi üle võrgu nende tööd (pumpade käivitus, klappide sulgemine/avamine). *SCADA* võib olla seotud veahaldussüsteemiga (järgitava elemendil tekib tõrge või selle parameeter väljub teatud piiridest). *SCADA* kaudu talletatakse süsteemi kohta ajaloolist infot. Töötades *SCADA* andmestikuga, on modelleerijale üldjuhul kättesaadav rohkem andmeid, kui ta mingi operatsiooni läbiviimiseks vajab, seega tuleb leida andmevoost kõige kvaliteetsemad andmed ning ka ajavahemik, mil kõik signaalid on korrektsed. Kui signaalides on puudujääke, tuleb need taastada (interpoleerimine).

SCADA andmete liigid

SCADA andmete kolm põhiliki (kategooriat): (a) analoog andmestik (arvväärtused - saab koostada graafikuid, luua veateate, kui arvvärtus ületab teatud piiri); (b) digitaalne andmestik (oleku kirjeldamiseks: pump - sees/väljas; klapp – avatud/suletud); (c) loendatav andmestik (mõõtmistulemuste arvu esitatav andmestik – summeeruv, kasvav). Analooandmestikku toetab ka lisaparameter (märgis), millega vajadusel märgistatakse tulem, kas väär või kaheldav. SCADA andmestik on kasulik EPS analüüside tegemiseks (rõhu/vooluhulga muutumine ajas) aga ka statsionaarse oleku ääritingimuste välja selgitamiseks.

Päringu intervallid ning spontaansed andmevood

SCADA andmestiku salvestamine võib toimuda üle erinevate raadioside- ja mobiilsidevõrkude – säästmaks sidekanali ribalaiust, võidakse andmeid saata keskarvutisse keskmestatult. Andmeid võidakse saada kahel põhilisel moel: (a) keskarvuti saadab teatud aja tagant päringu andurile, mis seejärel saadab andmed vastu (kui tegemist on seisundit kirjeldavad andmevooga, siis saadakse uued andmed vaid juhul, kui seisund on viimasest päringuhetkest muutunud või saadetakse tagasi info kirjega „viimane seisund pole muutunud“); (b) andurid võivad saata spontaanselt keskarvutile andmeid, misjärel neid töödeldakse. Variant (a) juures tuleb tähele panna, et tekib teatud järjekord päringute saatmise ning vastuste saamise lõikes.

Eksisteerib ka kolmas, hübriid andmete päringu-/edastusviis. Hübriid edastusviisi (päring + spontaanne edastus) kasutatakse selleks, et kontrollida anduri korrasolekut teatud perioodil. Spontaansed andmevood edastatakse keskarvutisse kui andur on registreerinud veateate.

SCADA andmete vorming

SCADA süsteemid üldjuhul võimaldavad salvestada andmeid mõnda välisesse formaati. Näiteks üsna sageli on toetatud *ASCII* teksti vorming, levinud on ka tabelvorming või siis juba spetsiifilise tarkvara andmepaketina.

Aeg	Vooluhulk (ML/päev)	Klapi asend (avatuse %)
8/22/01 21:56	8.52	10.00
8/22/01 21:57	8.70	10.00
8/22/01 21:59	8.70	10.00
8/22/01 22:00	8.76	10.00
8/22/01 22:01	8.76	10.00
8/22/01 22:02	8.52	10.00
8/22/01 22:14	8.52	18.40
8/22/01 22:15	10.26	19.24

Vooluhulga mõõturi ning klapi asendi andmestik võib olla lingitud *MS Excel* tarkvarasse läbi *ODBC* (*Open Database Connectivity*) liidese.

SCADA andmete haldus

Esmalt tuleb teostada SCADA andmete eelvaade, aegade sünkroniseerimine, perioodi välja selgitamine, tühimike märkimine ning võimalusel nende täitmine. Nüüd võib andmestiku jagada kahte gruppi: (1) keskmestatud andmestik (nt pumba andmed); (2) kindlat ajahetke iseloomustav andmestik (nt mahuti veetasapinna kõrgus kell 10:41:21). Kolmandaks ja viimaseks etapiks on: (3) andmestiku grupeerimine tsoonide kaupa (nt SCADA andmestiku sorteerimine survetsoonide põhiselt). Pane tähele, et osad SCADA andurid võivad kuuluda mitmesse gruppi korraga. Kui ühe survetsooni juures tähistab SCADA vooluhulga andur väljavoolu tsoonist, siis teise survetsooni tarvis tähistab see sama andur hoopis sissevoolu tsooni.

SCADA andmestiku vead

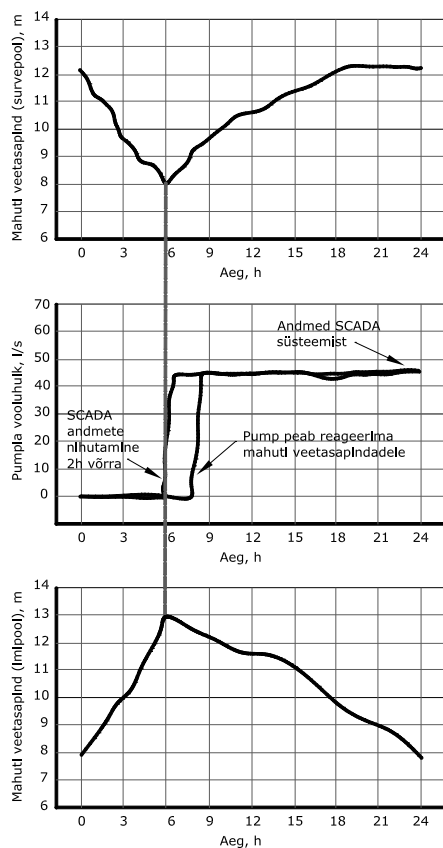
Vead SCADA andmestikus on põhjustatud süsteemi üldise häire, või planeeritud elektrikatkestuse tõttu. Need väljenduvad tühimikena jooksvates andmevoogudes või on jäänud registreerimata teatud liiki sündmus/alarm. Järgnevalt vaatleme põhilisi probleemide valdkonda: (a) probleemid andmestiku kokkupakkimisega; (b) probleemid ajastusega; (c) puuduolev andmestik; (d) probleemid instrumentidega; (e) teadmata maapinna kõrgused.

Probleemid andmestiku kokkupakkimisega

Kokkupakkimist kasutatakse andmete lihtsama liigutamise eesmärgil. Kokkupakkimine võib olla teostatud väga erinevatel viisidel. Näiteks võidakse andmeid kokku pakkida selle järgi kui kiiresti muutub mõõdetav väärtus (tuletis) aga ka selle järgi, kas seisund on muutunud. Seetõttu saadakse väga erinevalt kokku surutud andmemassiivid, mille lahti pakkimisel peame me veenduma, et taastame info õigetel aegväärtustel.

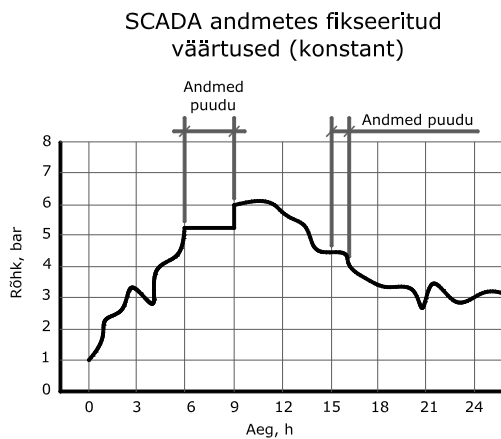
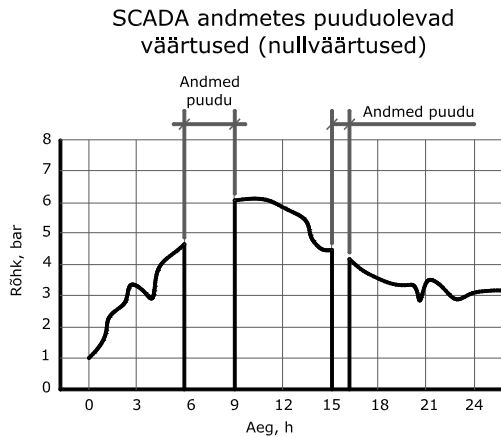
Probleemid ajastusega

Andmestiku hoitakse anduri mälus ning saadetakse sealt edasi keskarvutisse. See võib aga põhjustada nihkeid SCADA graafikutes ning graafiku andmeid võidakse andmete kättesaamisel uuendada. Vead ajahetke määratlemisel. SCADA andmeid võidakse märkida ajahetkega, mil need saabusid keskarvutisse (väär) või andmeväärtuse ilmnemise ajahetkega (õige). Ühelt ajasüsteemilt on siiski võimalik üle minna teisele ajasüsteemile, kui teada vastavat ajanihet (süsteemi häälestus). Puudujääke andmetes saab kontrollida graafikute põhjal. Ajalist nihet erinevate andurite juures saab aga kontrollida samaliigiliste andmete võrdlemisel (nt kui mahuti veetasapind hakkab tõusma enne, kui seda näitab pumba sisselülitamise ajahetk, siis on selge, et tegemist on ajalise nihkega kahe andmemassiivi vahel).



Puuduolev andmestik

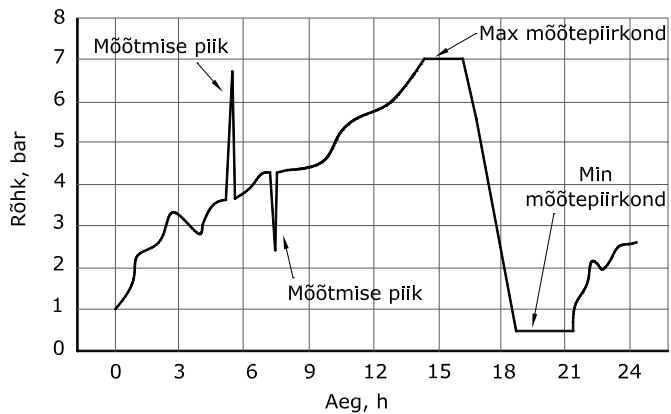
Puuduoleva andmestiku põhjus võib olla erinevat laadi. Näiteks elektrikatkestus, probleem sidekanalis, SCADA tarkvara interpreteering. Sõltumata põhjusest, peab olema võimalus valesti interpreteeritud andmeid või tühimikke esmalt märgistada, et juhtida tähelepanu võimalikele vigadele.



Probleemid instrumentidega

Probleemid instrumentidega põhjustavad ebatäpseid andmeid, suuri kõikumisi mõõtmisandmetes (ekstreemsed maksimumid/miinumid), ebapiisavat mõõtmisvahemikku. Põhjuseks on kalibreerimata seadmed, signaalide kombineerumine (häire, müra), SCADA tarkvara vale interpreteering. SCADA andmetest on instrumendi vigasust hiljem teadvustada keerukas, sest andur võib asuda isoleeritud piirkonnas ning selles alas pole ühtegi teist andurit, millega võrrelda. Alustada tuleks kahtlustatava anduri uuesti kalibreerimisega. Samas võivad ekstreemsed maksimumid/miinumid olla põhjustatud hüdraulilise löögi poolt (pumba käivitumine), aga ka elektrikõikumiste ning signaalide kombineerumisest. Mõnel juhul on ekstreemse väärtusega esitatud need kohad, mis on mõõtmise seisukohast küsitavad. Üldjuhul pole sellised kõikumised süsteemi töö koha pealt seotud tegeliku olukorraga ning need võib siluda või filtreerida andmejadast välja.

Probleemid anduritega



Joonis. Minimaalsed/maksimaalsed mõõdetavad väärtused (flat-line).

Teadmata maapinna kõrgused

Ehkki sensorid SCADA süsteemis võivad olla väga täpsed, võib sensori kõrgusmärk olla teadmata (või ligikaudne). Selleks, et andmed oleksid nimetatud sensorist väärtuslikud, peab täpne kõrgusmärk olema määratud. Näiteks 0-nivoo lugem mahuti veetasapinna andurilt võib tähendada anduri kohas olevat 0-veetasapinda ning mitte vee tegelikku tasapinda mahutis.

Teisi vaeallikaid

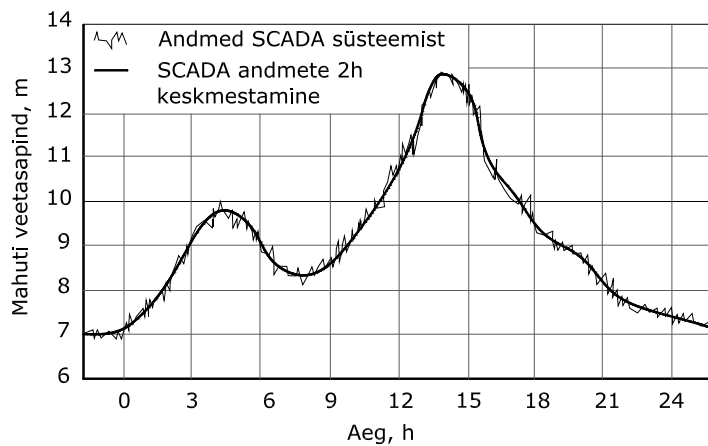
Vaeallikaid võib aga olla teisigi. Näiteks suhtluskanali häire. Üldjuhul on sellised häired märgistatud SCADA tarkvaralahenduse poolt. Või jällegi on viga põhjustatud müra suhtluskanalis. Kontrollitav läbi pikaajaliste näitude võrdlemise nendelt anduritelt, mis on kasutuses otse seadmel/torul/sõlmes. Võimalik on kasutada ka keerukamat statistilist analüüsi, et müra eemaldada.

Reageerimine andmestiku probleemidele

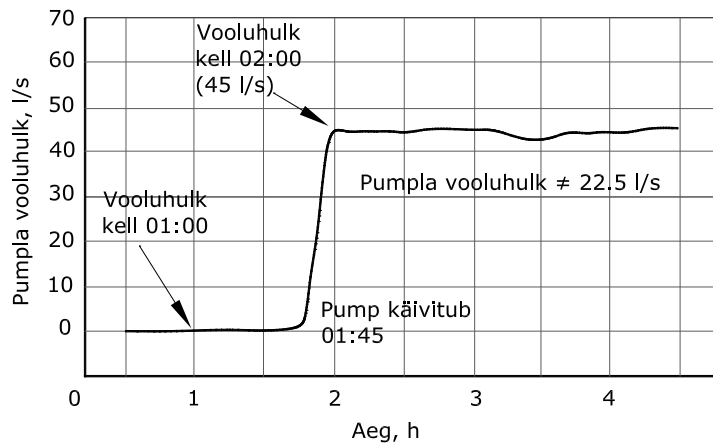
Probleemsetele ajavahemikele tuleb esmalt proovida leida samaväärne ajaperiood, millega võrrelda, et seeläbi täita nii-öelda tühjad kohad. Mitte alati ei pruugi olla aga võimalik korrata protseduuri või järgida sarnast olukorda. Sellisel juhul tuleks kasutada eelnevate probleemide lahenduskeeme. SCADA andmete kasutamine EPS mudelites eeldab nende jagamist EPS mudeli ajasammu põhisedelt. Üldiselt tuleb kasutada keskmestamist, sest:

Mudeli ajasamm \geq SCADA ajasamm

Vajadusel kasutada interpoleerimist, kui SCADA ajasamm ei lange kokku mudeli ajasammuga. Valesti hindamise oht (vt. mudeli hüdraulilisest ajasammust üldiselt). Andmestiku saab ka eelnevalt siluda/filtreerida.



Samas võib ka filtreerimisel tekkida probleeme.



Andmestiku sobivuse kontroll

SCADA süsteemid üldjuhul sisaldavad teatud töövahendeid, mis kontrollivad automaatselt andmete sobivust läbi kriitilisuse analüüsi. Paljud automaatsed kontrollitöövahendid on omakorda treenitavad, mis tähendab, et teatud mõõtmisperioodi jooksul õpetatakse neid vahet tegema valel ja õigel signaalil (nt *Neural Network Analysis*). Regulaarne andurite kontroll ja mõõtmisvahemike hinnang on efektiivse SCADA süsteemi töötamise võti. Vajadusel kasutatakse suurema mõõtmisagedusega andureid lokaalselt, sest SCADA süsteemis kasutatavad andurid ei suuda üldjuhul reageerida kiiretele muutustele süsteemis (nt rõhu kiire kasv hüdraulilise löögi korral). Läbi lokaalsete andurite saab seeläbi kontrollida ka SCADA andurite tööd ning näitude usaldatavust.

Näide/demo: SCADA rakendus WaterCAD/WaterGEMS tarkvaras

Mudeli/süsteemi seadistus (Joshi, 2007):

- SCADA tarkvara: *Emerson Process Management OpenEnterprise*
- Modelleerimistarkvara: *Bentley WaterCAD/WaterGEMS*
- Laienduspakett *WaterObjects – WaterCAD / WaterGEMS* funktsionaalsuse tõstmiseks – link *OpenEnterprise* ning *WaterCAD* tarkvara vahel.
- Reaalne võrk: *Bethlehem (Pennsylvania, USA)*

Eesmärgiks on võimaldada hüdraulilise veevõrgu kalibreerimist SCADA andmestikuga, aga pakkuda ka võimalust kontrollida veevõrku ning ennustada selles toimuvaid käitumisi tulevikus.

SCADA olemus/eesmärgid veevõrgusüsteemis

SCADA kasutamise eesmärk on veevõrguelementide monitooring aga ka tarbimiste ning kvaliteedi kontroll. Sellega saab kontrollida süsteemi kui terviku lõikes ning kindlustada, et soovitud toimimine on alati tagatud veevõrgu halduses, läbilaskevõimes ning kvaliteedi tähenduses. See annab võimaluse kiirendada opereerimise protseduure ning üldist efektiivsust läbi automatiseeritud protseduuride. Lisaks saab ülevaate süsteemist kui tervikust läbi keskse arvutissüsteemi. Andmestikku saab talletada ning taasprodutseerida raportite näol (kontrolli teostatavatele asutustele). SCADA aitab vähendada rutiinseid kohalesõite veevõrgu tähtsamatesse sõlmpunktidesse ning seeläbi optimeerida ka pumpade tööd energeetikast lähtuvalt. Lisaks saab kontrollida ning hallata eemal asuvad seadmeid ning pakkuda veaennetussüsteemi, - esmalt hinnata probleemi olemus ja alles seejärel saata välja kvalifitseeritud kontrollmeeskond objektile.

SCADA süsteemi komponendid

RTU (Remote Termination Units) – mobiilsed seadmed (nt rõhu, vooluhulga, veetasapinna andurid, pumbad) koguvad andmeid ning saadavad need edasi lokaalsesse *RTU* vastuvõtjasse. *RTU* on võimeline ise reguleerima vastavaid andureid (nt avama/sulgema klappi või selle positsiooni; käivitama/peatama pumpa või reguleerima selle pöörete arvu).

Tüüpilises SCADA süsteemis paiknevad *RTU* seadmed hüdraulilise võrgu kriitilistes sõlmpunktides (nt survetsoonide eralduspunktid, mahutid, pumplad ning vooluhulga mõõtepunktid) – eesmärk on läbi andurite paigutuse saada infot terve linna kohta.

CFE (Communication Front End) – üle võrgu laiali olevad *RTU* seadmed edastavad andmed üle sidevõrgu SCADA keskserversisse, mis võib endas sisaldada erinevat liiki suhtlustasandeid. *CFE* haldab suhtlust *RTU* ning SCADA keskserveri vahel läbi turvatud sideprotokolli. *CFE* kindlustab, et igat *RTU* seadet nõ küsitletakse teatud ajaperioodi tagant. Targemad *RTU* seadmed on võimelised esmase andmestiku analüüsi tegema juba lokaalselt (mõõtepunkti vahetus läheduses) ning töödeldu tulemus võib väljenduda ka veateate edastamises koos ajamärgisega keskseadmele. *CFE* vastutab ka võrguliikluse ees, mis toimub SCADA keskserveri ning *RTU* vahel. *CFE* võib olla ka andmestiku vaheladu, kust käsklused saadetakse edasi *RTU* seadmele ning kogutud andmed kesksesse andmebaasi.

SCADA Server – Haldab ning talletab jooksvat ning ajaloolist infot. Samuti vastutab erinevat liiki käskluste/veateadete genereerimise, haldamise ning väljasaatmise eest. Operaatorid näevad andmestiku läbi vastava kasutajaliidese programmi (*Human Interface Machine Interface (HMI)*). *HMI* esitab saadud andmed graafilisel kujul. Server võimaldab ligipääsu ka kolmandatel tarkvaradel, et need saaksid analüüsida jooksvat ning ajaloolist infot.

Just siit algabki integratsioon modelleerimispaketiga.

SCADA Server – Kasutatakse Emerson SCADA tarkvara *OpenEnterprise*, mis võimaldab teistel tarkvaradel esitada andmebaasi päringuid läbi *Polyhedra* draiveri (<http://www.polyhedra.com>).

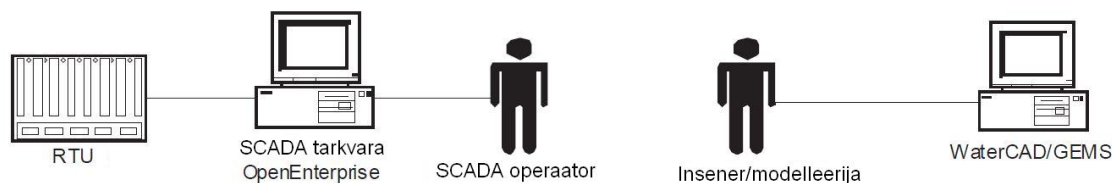
Polyhedra on Windows süsteemi põhine draiver, mis on võimeline aru saama SQL (*Structured Query Language*) keele päringutest (neid on võimeline genereerima *SCADACONNECT*), tõlkima neid *OpenEnterprise* tarkvarakeskkonna tarvis ning omakorda teha väljavõtteid *OpenEnterprise* andmebaasist.

Mistahes tarkvara, mis on võimeline end ühendama läbi ODBC (*Open Data Base Connectivity*) protokolliga, saab ühendada end ka *OpenEnterprise* jooksva- ning ajaloolise infobaasiga läbi *Polyhedra* draiveri, mis omakorda on installeeritud *OpenEnterprise* siseselt.

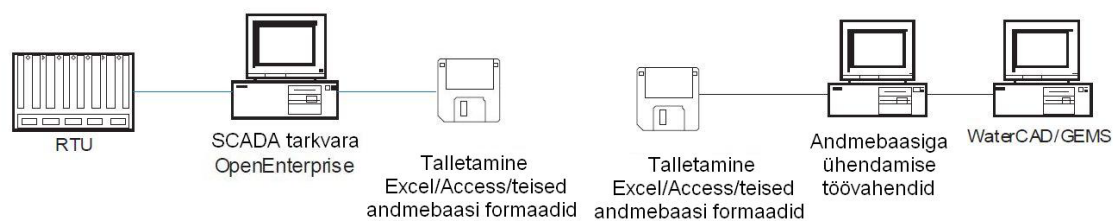
Selleks, et oleks võimalik andmeid vahetada *WaterCAD* tarkvara baasil, peab *Polyhedra* olema installeeritud ka masinasse lokaalselt juhul, kui pole tegemist ka *OpenEnterprise* tarkvara omava arvutiga.

SCADA tarkvara ja modelleerimispaketi ühildamine

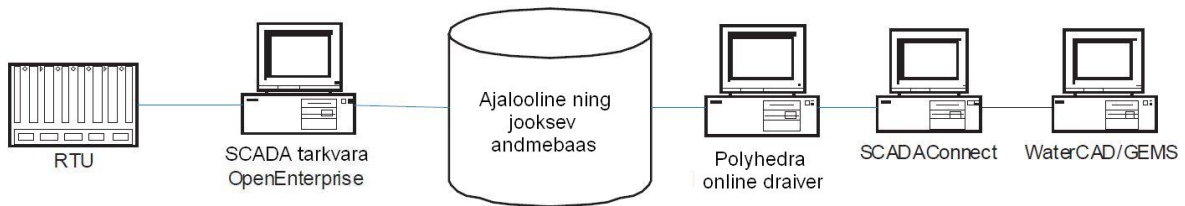
Üldjuhul pole SCADA serverit sisaldav arvuti lokaalsesse arvutivõrku ühendatud turvalisuse kaalutluse tõttu. See tähendab, et modelleerija ning SCADA serveri operaator peavad niioelda käsitsi jagama infot ühest arvutist teise. See omakorda võib põhjustada suurt hulga inimlikke vigu.



WaterCAD/WaterGEMS laiendatud töövahendite abil on võimalik suhteliselt lihtsalt luua andmelink SCADA andmestiku ning mudeli vahel andmete importimiseks. See protseduur nõuab aga esmalt andmestiku väljavõtet HMI-st ning paigutada see mõnda üldlevinud andmebaasi faili. Seejärel saab modelleerija juba importida andmestikku mudelisse.



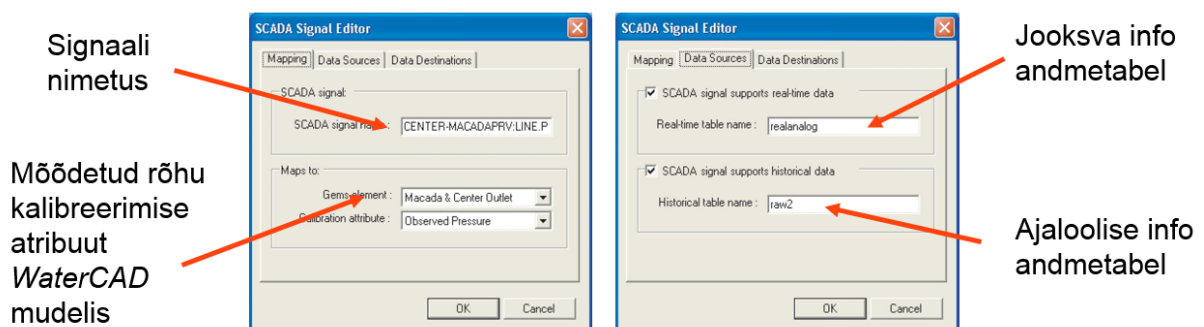
Avatud andmebaasi struktuuri kasutades on võimalik luua andmebaasi/SQL link ning saada andmeid päringute teel. Päringute koostamine nõuab samas kasutajatelt eriõiguseid (ligipääs andmebaasi masinasse ning andmebaasi) ning samas ka veendumata, et päringuga saadakse õigeid andmeid. Selline tegevus on aeganõudev ning jooksvaid andmeid pole sellisel viisil praktiline teostada. Käsitavas näites ühendati läbi *SCADACONNECT* tarkvara *WaterCAD* ning *SCADA* süsteem ühte võrgustikku, mis välistab vahepealse inimfaktori ning seega elimineerib ühe veallika. *SCADACONNECT* töötab läbi ODBC ühendusskeemi *OpenEnterprise* andmehaldusega.



OpenEnterprise talletab kahte tüüpi tabelleid: (a) jooksev andmestik (kõige värskem info RTU seadmetelt); (b) ajalooline andmestik (luuakse jooksva andmestiku põhjal teatud aja tagant või kui on aset leidnud mingi sündmus/muutus). Ajaloolist andmestikku hoitakse üldjuhul kokkupakitud kujul. Kuna SCADA süsteemi ei seatud üles mudelit silmas pidades, siis SCADA signaalide asukohad ning mudeli elemendid omavad erinevaid nimetusi.

Näiteks signaali nimetus "*Macada&Thomaston@presdn.up.di*" rõhu mõõtmise asukoht või vastata *WaterCAD* mudeli sõlme *J-3406* asukohale. Seega tuleb teostada signaali ning *WaterCAD* mudeli elementide sidumised. See viiakse samuti läbi *SCADAConnect* töövahendit kasutades. Tegemist on ühekordse tegevusega.

Antud näites vastutab *Polyhedra* draiver jooksvate ühendusskeemide eest. *SCADAConnect* tarkvara kasutatakse aga ajalooliste ning jooksva infotabelite linkimiseks *WaterCAD* elementidele ning kalibreerimisel saadud mõõtmis-andmete tabeli gruppidesse.



SCADA tarkvarast andmete import veevõrgumudelisse

Bethlehem linna puhul seoti omavahel 50 signaali *WaterCAD* mudeli elementidega. Rõhumõõtmisi sõlmedes kasutatakse enamjaolt kalibreerimiseks. Mahutite veetasapindade infot (algne ning ääretingimused) – kasutatakse *WaterCAD Darwin Calibrator* mooduliga (automaatne kalibreerimise algoritm). Pumba staatuse põhist infot kasutati kui lähtetingimusi mudeli jooksutamiseks. Rõhualandusklaappidelt saadavad infot kasutatakse *PRV* klappide seadete kontrolliks ning torudes olevaid vooluhulkasid kasutatakse samuti kalibreerimisel.

Bethlehem linna puhul seoti omavahel 50 signaali *WaterCAD* mudeli elementidega. Läbi *SCADAConnect* mooduli saab ajaloolist ning jooksvat infot mudelisse tuua selleks, et analüüsida võrgu tööd või seda kalibreerida antud hetkele ning ajas tagasi. Mudeli ja SCADA RTU info põhjal saab teha järeldusi, mis toimub võrgu nendes osades, kus andureid installeeritud pole. Mudel võimaldab teha otsuseid eriolukordade tarvis. Näiteks, millisest sõlmest on tulekahju korral antud hetkel kõige rohkem võimalik vett kätte saada, hinnates samas, mis mõju omab see teistele võrgu punktidele. *SCADAConnect* abil saab kontrollida ning uuendada olemasolevat tarbimisinfot mudelis.

Usaldusväärselt kalibreeritud mudeli (*SCADA* info abil) kasutusvaldkond on väga lai. Energeetiliselt efektiivsema opereerimise planeerimise seisukohast saab vähendada päevasel ajal pumpamist aga ka hinnata klappide sobivust hetke asukohtades, mahutite veetasapindu. Optimeerimaks kemikaalide

kasutamist saab püstitada nn õige doosi optimeerimis-ülesande – rohkema kemikaali kasutamine, kui vaja, annab küll soovitud tulemuse, kuid seda kõrgema kulumääraga. Õnnetusest väljatuleku stsenaarium võimaldab ellu viia otsuseid võimalikult kiirelt ning optimaalselt, et isoleerida teatud osa veevõrgust. Näiteks: Ava “*Klapp A*”, sulge “*Pump B*”, käivita “*PUMP C*”, leia mõjupiirkond, teavita tarbijaid.

Mudel võib arvesse võtta ka ilmastikuolusid, sündmuseid, puhkuseid, ajahetke, et vajadusel anda võrku lisajõudlust. Veevõrgusüsteemi planeerimise seisukohast saab kalibreeritud mudeli abil hinnata olemasolevate tsoonide otstarbekust ning vajadusel teha muudatusi ühes torude hülgamisega.

SCADA süsteemi linkimine hüdraulilise ja veekvaliteedi mudeliga võib olulisel määral lihtsustada andmete ülekannet ning avada uusi võimalusi modelleerimispaketi kasutuses süsteemi üldises opereerimises. Töötavat SCADA süsteemi linki veevõrgumudelis on raske millegi efektiivsemaga asendada – see võimaldab reaajas mudeli kalibreerimist ning tuleviku seisukohalt pakub lahendusi planeerimise ning disainiküsimustes.

Referentsid

Artiklid

Joshi, P., Walski, T., Gandhi, S., Andrews, J.A., Newswanger, C.F. Case Study: Linking Emerson Process Management's SCADA Systems to WaterCAD, a Water Distribution Modeling Tool. Application Data Document, August 2, 2007.

http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/application_notes-tech_briefs/d301335x012.pdf (last accessed: 30.09.2016)

GIS ja hüdrauliline modelleerimine

Sissejuhatus

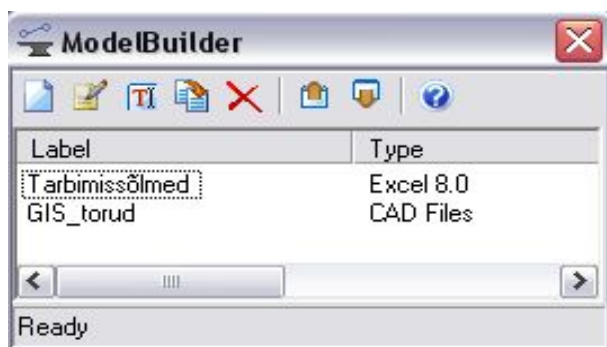
GIS (*geographic information system*) on viis ühildada omavahel arvuti riist- ning tarkvara, et kokku koguda, salvestada, hallata, analüüsida ning siduda ruumiliselt seotud andmeid. See sisaldab andmebaaside funktsionaalsusi nagu andmete hoidmist, päringuid, statistilist analüüsi ühes visuaalse ning geograafilise funktsionaalsusega ruumandmestiku poolt. GIS-i võib nimetada seetõttu üheks oluliseks projekti osaks, mis vajab digitaalsete andmete haldust ning teatud spetsiifiliste analüütiliste töövahendite kasutamist. GIS-ist on saanud ka veevõrkude modelleerimisel üsna väärtuslik töövahend selleks, et andmestikku modelleerida või kasutada seda otsuste tegemise abitöövahendina. Kui paljud kasutavad GIS-i? Seda on mõistagi väga raske öelda. Aastal 2001 võis välja tuua arvud 15 % (kes kasutavad) – 80 % (kes sooviks kasutada). Aastal 2007 olid need numbrid maailma lõikes 80-90%, kes teataval määral GIS-i vee-ettevõttes rakendavad (*Ginther, 2007*). Loomulikult need keskmised numbrid erinevad riigiti/piirkonniti.

Tänapäeval on mudelite võime end siduda andmebaasidega oluliselt kasvatanud ka GIS tehnoloogia võimalusi ning kasutamise lihtsust. GIS-i ja hüdraulilise mudeli integreeritavust võib vaadata kolmel tasandil:

1. Andmete vahetatavus: Andmeid vahetatakse mingi vahepealse failivormingu abil, milleks võib muuhulgas olla ASCII teksti fail, tabel (*Excel, Access*). Andmed salvestatakse sellesse vahepealsesse faili, kust see vormindatakse vajadusel mudeli tarvis ning seejärel loetakse mudelisse. Mudel ning GIS töötavad üksteisest sõltumatult.
2. Kasutajaliides: Mudeli ja GIS-i vahel eksisteerivad lingid. Neid linke kasutatakse mudeli ning GIS vaheliseks sünkroniseerimiseks. Andmestikust eksisteerib dublikaat mõlemas lingi otsas ning GIS ja mudel töötavad üksteisest sõltumata. Üks võimalusi on kasutada *shapefile*, mis jagavad andmeid mudeli ning GIS vahel ja lisaks uuendavad mõlemat vastavalt uuenenud infole kahepoolsetl.
3. Integratsioon: Vaid ühte andmestikku kasutatakse. Mudelit saab käivitada GIS-i kaudu ning vastupidi.



Joonis. Vahepealse andmestiku formaadid.



Joonis. Bentley WaterGEMS - GIS informatsiooni sidumise liides.

Integratsioon hüdraulilise mudeli ja GIS-i vahel väljendub järgmistes eelistes:

- Mudelite loomisele kulub vähem aega.
- Võimalus integreerida maa kasutust, demograafilist ning mõõdetavaid andmeid *GIS* analüüsitöövahendeid kasutades, et paremini ennustada tuleviku tarbimisi.
- Visuaalne, kaardil põhinev mudeli sisendite kvaliteedi kontroll.
- Kaardil põhinev kuva ning analüüsi töövahendid mudeli väljunditele ühes *GIS*-i kihtidega.

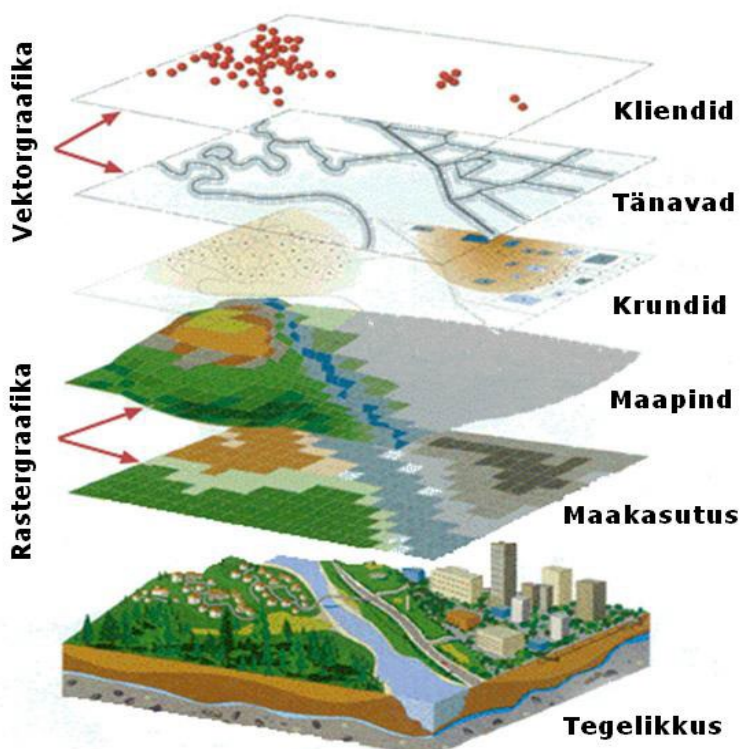
Üks võimsamaid *GIS*-i rakendusi planeerijate vaatenurgast on tõenäoliselt võimalus *GIS*-i integreerida läbi selle ruumilise andmestiku, andmebaaside, mida oleks väljaspool *GIS*-i keskkonda väga keeruline teha. Näiteks saab *GIS*-i abil pinnase koostist, torustike rekonstrueerimist, hüdraulilise mudeli väljundeid automaatselt siduda torudele teatud tingimuste seadmiseks.

GIS-ist üldiselt

Kõige lihtsam on GIS-i ette kujutada kui gruppi kilesid, mis on üksteise peale asetatud nii, et iga punkt ühel kindlal kihil asub täpselt samas kohas mistahes teisel kihil. Tegelikult GIS graafilises rakenduses asuvad need kihid üksteise peal ning kasutaja saab redigeerida nende järjekorda, milles neid kuvatakse.

GIS-i sees pole elemendid (objektid kaardil) lihtsalt punktid ja jooned; nendega on seotud atribuudid (omadused, mis kirjeldavad seda elementi). Veevõrgusüsteemides on elementidel nagu torud, mahutid, pumbad teatud atribuudid või omadused. Näiteks esitatakse GIS-is toru kui elementi, ent selle diameetrit kui elemendi omadust.

Iga kaart võib sisaldada mitut erinevat elemendi tüüpi, ning iga neist võib olla omakorda GIS-is erineval kihil. Valides, millised kihid kuvatakse, millises järjekorras ning mis sümbolikat kasutatakse (suurus, kuju, värvitoon), saabki kasutaja kujundada või muuta lõpp-tulemusel saadava kaardi kuju.

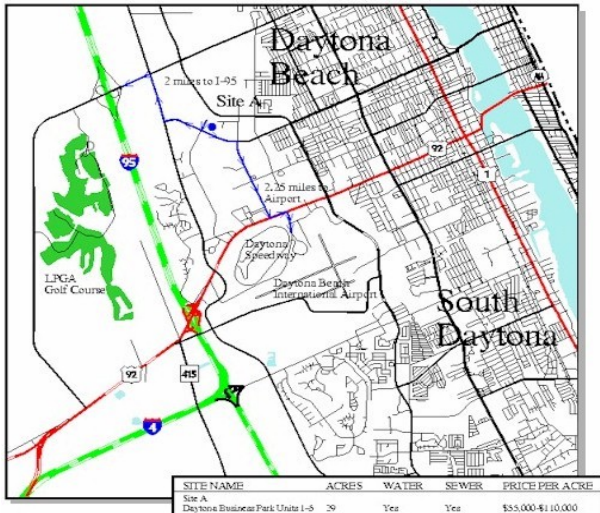


Allikas: Ref #12

Lisaks kaardi genereerimisele saab GIS-i kasutada ka süsteemi kohta käivate analüüside läbi viimiseks. Näiteks, asukoha või tingimust teada saamiseks aga ka ajutiste ning ruumiliste hoiakute teadvustamine, trendid. Oluline osa on “aga-mis-siis-kui” tüüpi stsenaariumite modelleerimisel, mis samuti GIS-iga seotud.

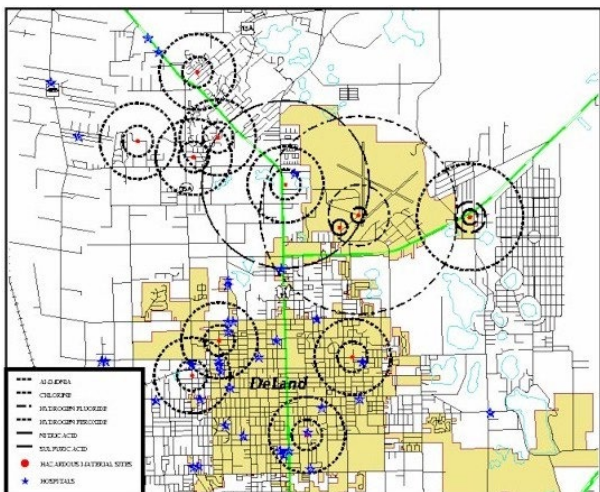
GIS ja asukoht

Kasutatakse elementide asukohtade analüüsiks, mõõtes nende vahelist kaugust (*proximity analysis*). Kaugus punkti A ja B vahel võib mõõta sirgjooneliselt või järgides võrgu rajajoont, näiteks tänavavõrgustik. Näiteks soovib klient ehitada tööstushoone *Daytona Beach* alale ning olulised kriteeriumid on kasvõi näiteks kaugus lennujaamast. GIS-i kasutaja saab lihtsalt klikkida punktide asukohas, et leida vahekaugused. Kui vahemaad on teada, saab läbi viia teisi asjasse puutuvat info uurimist nagu vee- ning kanalivõrgu kättesaadavus, maksumus.



Allikas: Ref #13

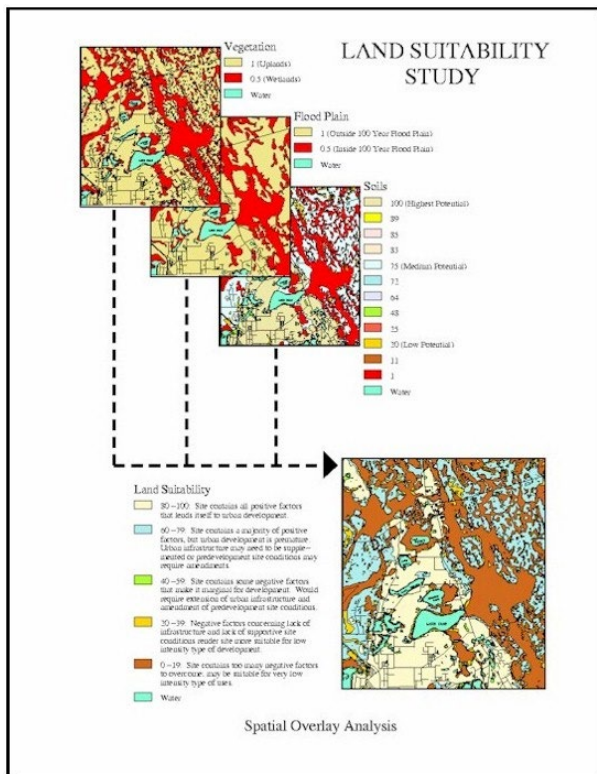
Kasutatakse ka mingi ala määratlemiseks, mis ümbritseb teatud geograafilist elementi (*buffer analysis*). Seetõttu luuaksegi mingi puhver ümber teatud geograafilise elemendi ning seejärel määratledes või valides elemente vastavalt selle järgi, kas see langeb puhvri ala sisse või mitte.



Allikas: Ref #14

Näiteks kasutatakse GIS'i määratlemaks ohtlike keemiliste ainete ladustamise alaid sanatooriumide suhtes. Selle analüüsi eesmärk on välja töötada evakuatsiooni plaan sanatooriumitele, kui ohtlike materjalide leke või maha puistumine peaks aset leidma. Protsess nägi ette, et iga ohtlike jäätmete ladustamispaika tähistatakse punktina kaardil ning igale punktile anti omadused nagu kemikaali tüüp, levukiiirused väikse ning suure tuule korral. Seejärel, maha puistumise tõttu saab iga sanatooriumi evakuatsiooniplaani ellu viia vastavalt asukoha ning kemikaali leviku suhtele.

Asukoha alla käib ka ruumilise info ülekate (*overlay analysis*). See on ühe ja sama ala kohta käivate andmestiku koosvaatamine ning nende põhjal järelduste tegemine. Näiteks mingi piirkonna arengupotentsiaali uurimiseks: arvestatakse pinnase struktuuri, üleujutuse riski ning taimestiku levikut. Saadakse kolme kihi omavahelisel kombineerimisel üks kiht, kus keskmiste arvude liitmisel (nt skaalal 1-5) saadakse kaart, mis esitab sobilike ning ebasobilike maatükkide piirjooni, karakteristikuid.



Allikas: Ref #15

Andmete haldus

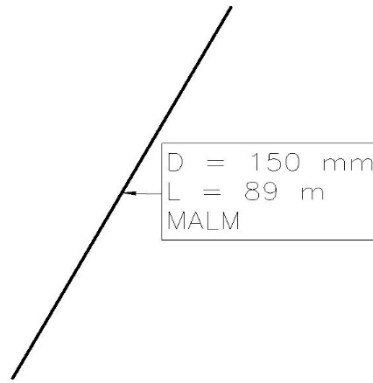
Kaks põhimõtteliselt vastanduvat, kui enam kasutust leidvat andmehaldusviisi, mis tänapäeval kasutusel: (a) serveri põhine andmete haldus ning (b) lokaalne andmete haldus. Näiteks nn arvutivõrgud on kui serveripõhine andmete vahetus ning PC on lokaalne andmete haldus.

Serveri põhine haldus – kogu tarkvara ning andmestik asub keskses serveris. Andmete haldus on väga praktiline ent riist- ning tarkvara on väga kallid (arenduskulud) ning neid hooldada samuti kallis.

Lokaalne haldus – eritarkvara ning andmebaasid on odavamad, kuid andmestik ning rakendused võivad asuda erinevates võrguarvutites. Lokaalne haldussüsteem on seega küll praktiline selle odavuse tõttu, kuid viib teatud “andmestiku saarekeste” tekkeni.

Andmete saarestikud

Info nendel saarekestel luuakse ning hallatakse üksteisest sõltumatult. Näiteks diameeter (150 mm), pikkus (76 m) ning materjal (plast) saab toru kohta sisestada hüdraulilise modelleerimise tarkvaras, tehnilise hoolduse andmebaasis või aktiiva andmebaasis ning toru võib joonestada kaardile ning selle annoteerida. Peaandmebaasi linke tavaliselt ei kavatsetagi luua või seoseid teiste andmesaarestikega. Näide: GIS + ACCESS + EPANET + WaterGEMS .



Joonis. Andmed GIS süsteemis.

Joonis. Andmed CAD süsteemis.

Joonis. Andmed mudelis.

MSLINK	M_MSLINK1	M_MSLINK2	NETWORK	MATERIAL	DIAMETER	YEAR	COORD1_X	COORD1_Y	COORD2_X	COORD2_Y	INLET	O
15657	20835	20836	Vesi	Määramata	50	0	65761.814	54999.766	65759.2105	55004.6801	0	
18481	52745	24605	Vesi	Malm	200	1968	64998.061	54942.424	65033.531	54955.931	0	
18483	24348	24349	Vesi	Malm	100	1934	65092.071	54972.649	65090.066	54977.255	0	
18484	24349	24347	Vesi	Malm	200	1968	65090.066	54977.255	65093.462	54978.58	0	
18486	24347	24351	Vesi	Malm	150	1977	65093.462	54978.58	65093.884	54977.559	0	
18487	24351	24611	Vesi	Malm	250	1977	65093.884	54977.559	65128.965	54893.7	0	

Joonis. Andmed tabelisena

Tulemuseks on see, et ettevõtte pole võimeline järgima teadmiste kulgemise efektiivsust, mida saaks läbi keskse andmebaasi. Kahjuks on väga paljude vee-ettevõtte andmehaldus olukorras, kus andmesaartest puudust ei tule.

IT (information technology) sektor on meieni toonud SQL ning ODBC süsteemid, et paremini hallata neid "saari". Kuid kuna need disainiti ning arendati välja üksteisest sõltumata, pole võimalik nende puhul määratleda mingeid juht ID väärtusi, et andmeid omavahel ühildada.

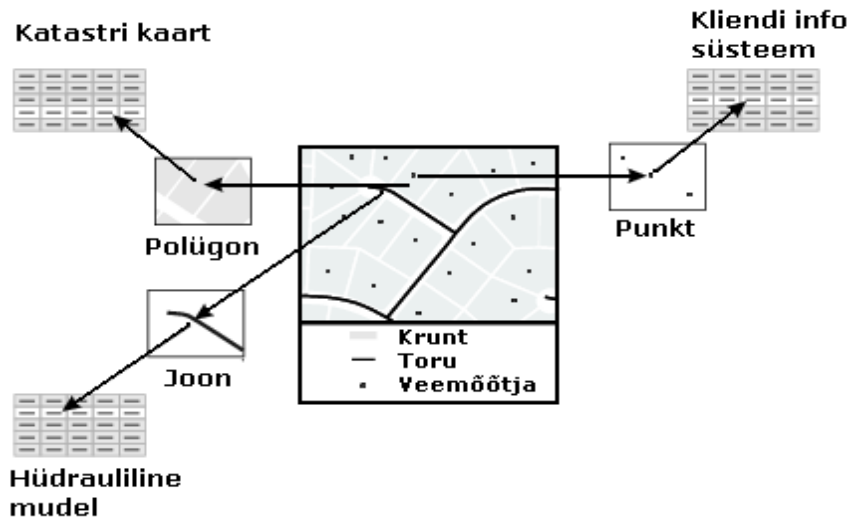
Näiteks arveväljastusprogramm kasutab arve numbrit, kui peamist ID numbrit ning hüdrauliline tarkvara kasutab toru ning sõlme numbreid kui pea ID väärtusi. Seega on raske ühildada arveinfot hüdraulilisse mudelisse, et seda saaks kasutada kliendi teenindamiseks ning süsteemi paremaks planeerimiseks.

Aga mida ühist üldse on arve-, tarbijate teenuste-, bilansi haldus-, tööhaldus-, uuringu / loa-, veekvaliteedi testide-, seadmete haldus-, hüdraulilise modelleerimise ning dokumendihalduse süsteemidel ning andmebaasidel? Vastus on: geograafia.

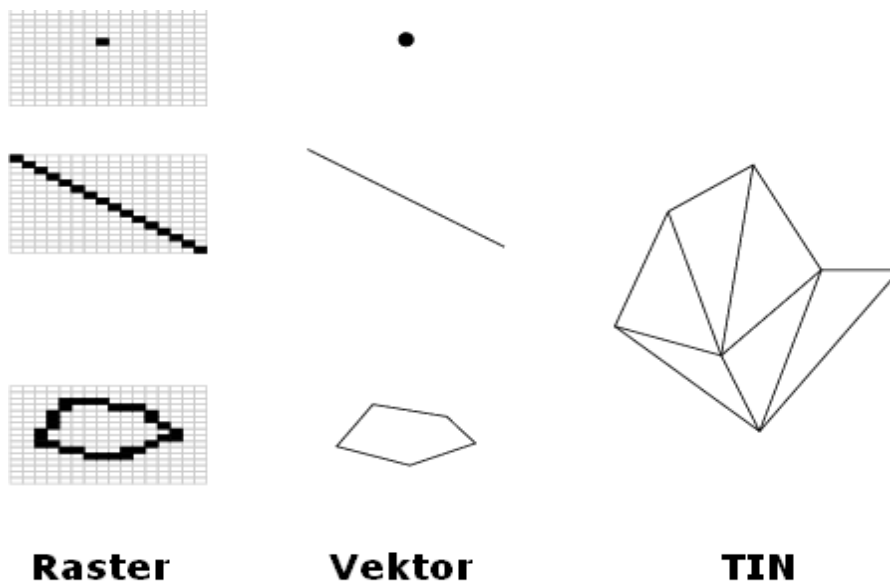
Kõik need süsteemid omavad infot mingi detailide/kaubaartiklite lõikes (näiteks load, tellimused, testi raportid), mida saab siduda geograafilise asukohaga nagu krundi number, aadress või rajatise number. Geograafia on GIS tsentraalse andmehalduse põhialus, teatud kompromiss keskse ning lokaalse andmehalduse vahel, omadused, mida pole võimalik otse läbi andmebaasi linkida (tabel-tabel põhiselt), saab siduda geograafiliselt proximity abil (ühendatavus, kaugus, lähedus) üksteise suhtes. See aspekt GIS-i juures loob sellest unikaalse tehnoloogia ning ühtlustab informatsiooni allikad organisatsioonisiselt.

Mitte kogu infot ei pea keskses andmebaasis hoidma; vaid GIS-i kihid peavad olema keskses kohas. Seega peavad omama erisüsteemid teatud usaldatavaid geograafilise süsteemi koordinaate nagu

rajatise ID, krundi number või tänava aadress. Põhimõtteliselt saab GIS kihiga linkida mistahes süsteemi või andmebaasi tüüpi, eeldusel et geograafiline siduvus ning ühtlus ja andmete kvaliteet on olemas mõlemas süsteemis. Tavaliselt ongi GIS süsteemi tarkvara laiendamine kui andmestiku laiendamine ning kvaliteedi kontrolli ülesanne.



Enamust geograafilisest infost saab esitada kolmel erineval esitusel: (a) raster; (b) vektor; ning (c) TIN (Triangulated irregular networks).



Raster esitus hoiab infot punktvõrgustikus, kus iga atribuudi väärtus on seotud võrgustiku lahtriga. Lahter omab nii atribuudi väärtust kui asukoha koordinaati. Kuna infot hoitakse maatriksina, siis pole vaja koordinaate eraldiseisvalt märkida. Koordinaate saab määrata võrgustiku kaudu, kuna rastri lähtepunkt, lahtri suurus ning pöördenurk on teada.

Vektor esitus talletab diskreetset infot nagu punktid, jooned või polügonid. Iga omadus omab atribuudi väärtusi ning vastavaid x , y koordinaate (vajadusel ka z koordinaat). Sellisel juhul vektorinfo erineb rasterinfost, mille juures koordinaadid on seotud lahtritega.

TIN jagab ruumi külgnevateks (aga mitte omavahel kattuvateks) kolmnurkseteks tahkudeks. Kolmnurksed tahud saadakse ebakorrapäraselt paigutatud näidispunktidest, murdejoontest ning polügonide osadest ning iga näidispunkt omab koordinaati (x , y) ja atribuuti (z koordinaati või mõni

muu atribuut, mida modelleeritakse) sellega seotuna. Atribuudi väärtused teistes kohtades (piki murdejooni ning polügone või hoopis tahu peal) arvutatakse interpoleerimise teel *TIN*-i mahus. *TIN*-i võib mõnel juhul vaadata ka kui vektormudeli erijuhtu, samas nii mõnelgi pool eristatakse seda veel eritüüpi andmestiku mudelina.

Enamik andmestik hüdraulilise mudelis on vektorpõhine. Näiteks, sõlmed on punktandmestik, torud on jooned ning sõlme teeninduspiirkonnad on polügonid. Ehkki enamik modelleerimise andmestikust on loodud vektori põhiselt, kasutavad modelleerijad ka raster ning *TIN* andmestikku selliste tööde tarvis nagu maapinna andmete lugemiseks või aerofoto kasutamiseks mudeli taustal.

Ettevõtte GIS-i areng ja hooldus

GIS võetakse üldjuhul kasutusele ühel järgneval tasemel: (a) projekti tasemel; (b) osakonna-; (c) ettevõtte; või (d) organisatsioonide vaheliseks.



Projekti korral täidab see ühe konkreetse projekti eesmärgi. Osakonna tasandil täidab see ühe osakonna vajadusi. Ettevõtte kaasab kõik osakonnad andmete jagamise protseduuridesse, kusjuures nii, et iga üksiku osakonna vajadused oleksid rahuldatud. Organisatsioonide vaheline tähendab rakenduste olemasolu ning andmestiku vahetust ettevõtete, kohalike omavalitsuste või riigi tasemel.

Projekti põhine GIS-i rakendus on väga harv, kuna GIS tervikuna aitab eemaldada liigset andmehaldusega seotud tegevust, tõstab töökiirust läbi GIS-i funktsioonide, parandab andmete kättesaadavust ning võimaldab kasutada ruumilist analüüsi probleemide lahendamiseks.

Teatud vee-ettevõtte osakond, kes pühendub GIS-i arendamisele, peab silmas pidama järgmisi faktoreid:

- GIS, mis on võimeline toetama hüdraulilist mudelit, vajab ka kõrget andmekvaliteeti, täpsust ning detailsust.
- GIS-i loomine eeldab olemasoleva riist- ning tarkvara ülevaatus ning see ei tähenda, et olemasolevatest süsteemidest loobutakse. Süsteemid nagu klienditeenindus ning SCADA on juba eksisteerivad ning fikseeritud geograafiliselt.
- Ettevõtte GIS-i arendamine eeldab ka osakondadevahelist koostööd. Kõik osakonnad, kes GIS-i arengusse on kaasatud, peavad omama sama visiooni süsteemist. Sestap võib osutada just inimfaktor GIS-i loomise juures oluliseks väljakutseks kui tehnoloogilised küsimused.
- Ettevõtte GIS-i arendamine eeldab GIS sektsiooni juhti – keegi kes kontrollib ning ühtlustab infovahetust erinevate osakondade vahel.
- Üks kulukamaid osasid GIS-i juures on andmete väljatöötus, mis tihtipeale eeldab paberilehtedelt lugemist. Juhul kui asutus ei määratle väga täpselt andmebaaside sisu ning ülesehitust, võib GIS süsteem, kas: (a) olla ebapiisav tuleviku seiskohalt; või (b) eeldab olulist andmestiku uuendamist tulevikus.

Näiteks, peab GIS olema võimeline taastama kaardi alusinfo, mida selle loomise juures kasutati või kõik see, mis on juba saavutatud, tuleb luua täiesti uus ning liigne andmestik.

Kriitilise tähtsusega GIS rakendamise juures on väga selgepiiriline arusaam äriolulistest protseduuridest, opereerimise ning haldamise vajadustest organisatsioonis. Tuleb teha ka üksikisiku tasandil GIS funktsioonide vajaduse analüüs. Seda kõike saabki määratleda GIS vajaduste määratlemisega.

Kasutaja vajaduste määratlemine

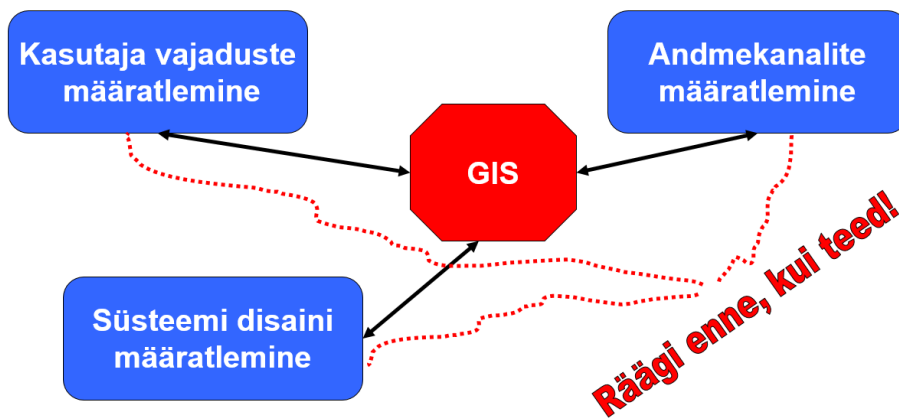
Kes hakkavad süsteemi kasutama. Milliseid rolle nad selle juures täidavad ning milliseid ülesandeid või funktsioone on neile GIS-is vaja. Millised on kasutajate oskused ja kus nad kus nad realselt asuvad / töötavad. Kui tihti nad GIS rakendust kasutaksid.

Andmekanalite määratlemine

Millised andmekanalid on kättesaadavad (nende formaadid, nt elektroonne, paber), mis on selle geograafiline ulatus. Kui suur on ruumi (x, y, z) ning atribuutide täpsus. Kui tihti tuleb andmeid uuendada ning kust leiab infot, millal viimane uuendus aset leidis.

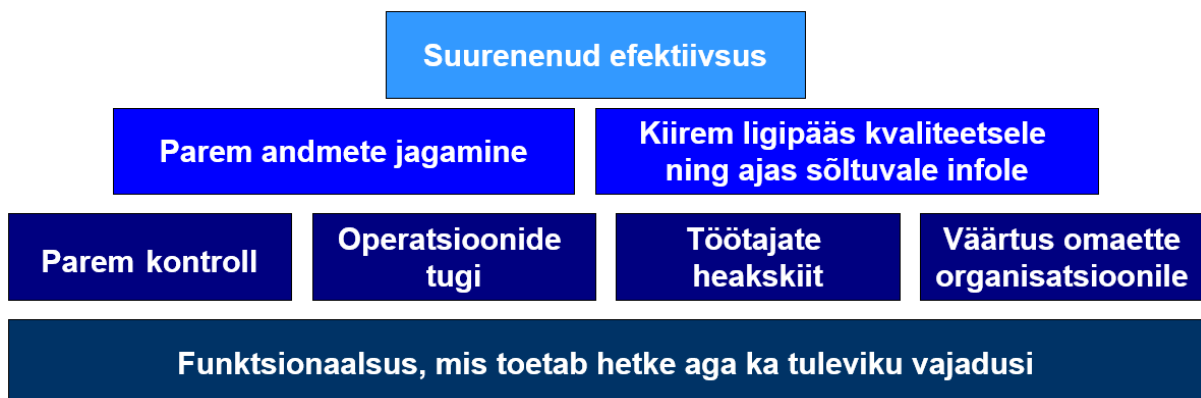
Süsteemi disaini määratlemine

Siin on märksõnadeks olemasolevate serveritüüpide, asukohtade ning karakteristikute määratlemine, üksikute tööjaamade ning arvutivõrgu parameetrite hindamine, operatsioonisüsteemide analüüs ning hetke rakendused, mida kasutatakse. Milliseid on hetke kasutamisevõimalused.



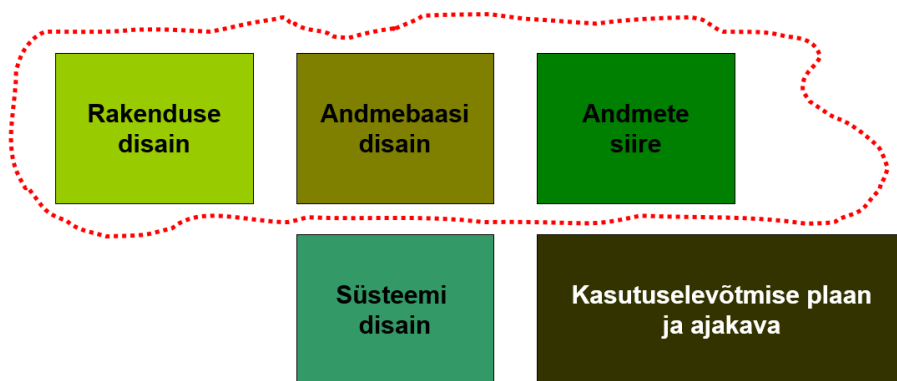
Seega kokkuvõttes on vajalik GIS kasutajatega vestlemist (ka hüdraulika insenerid), küsitluste läbiviimist.

Õige vajaduste hinnang kulmineerub hästi integreeritud GIS-ina järgmiste eelistena: suurenenud opereerimise ning halduse efektiivsus ning töötajate produktiivsus; parem andmete jagamine; kiirem ligipääs kvaliteetsele ning ajas sõltuvale infole; täielik kontroll süsteemi võimaluste üle; organisatsiooni tasandil olevate operatsioonide tugi, mis peegeldab endas eesmärke ning missiooni; töötajate heakskiit ning sagedasem kasutamine; kohene väärtus organisatsioonile kui tervikule; funktsionaalsus, mis toetab hetke aga ka tuleviku vajadusi.



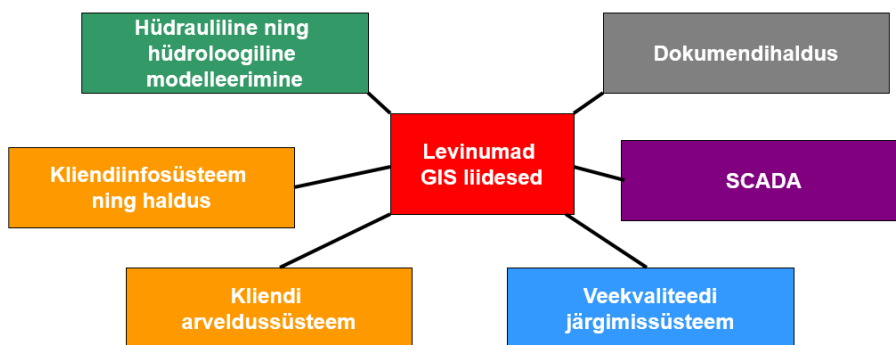
GIS-i arendamise teine faas on süsteemi disain, mis tõenäoliselt vaatleb järgmisi küsimusi:

1. Rakenduse disain – kirjeldab kommertstarkvara, mida rakendatakse ning kasutajapõhiseid tarkvarasid, mida kombineeritakse rakenduste loomiseks vastavalt vajadustele ning kasutaja nõudmistele.
2. Andmebaasi disain – kirjeldab kihtide vormingut, üksikuid omadusi ning nende atribuute, mis uue GIS andmebaasi loovad.
3. Andmete siire – Kirjeldab tehnikaid, meetodeid ning protseduure, mida kasutatakse andmeallikate konverteerimiseks vajalikku GIS andmebaasi.
4. Süsteemi disain – kirjeldab riist- ning tarkvara, mida peab installeerima serveritesse, tööjaamadesse ning arvutikomponendid aga ka olemasolevate riistvarade ning tarkvara komponentide ümberorganiseerimine ning installeerimine (selles osas ei vaata).
5. Kasutusele võtmise plaan ning ajakava – kirjeldab ülesandeid, mis esitab GIS-i arendamise ajakava (selles osas ei vaata).



Rakenduste disain

Eesmärk on luua andmestik vaid üks kord ning seda seejärel kasutada uuesti ja uuesti. Andmete taaskasutus. See võimaldab töötada oluliselt suuremate andmemassiividega, kui seda ollakse võimelised tegema käsitsi. GIS võib seejärel hallata väga erinevaid valdkondi – hüdrauliline modelleerimine ühiskonnas või vee-ettevõtte tasandil.

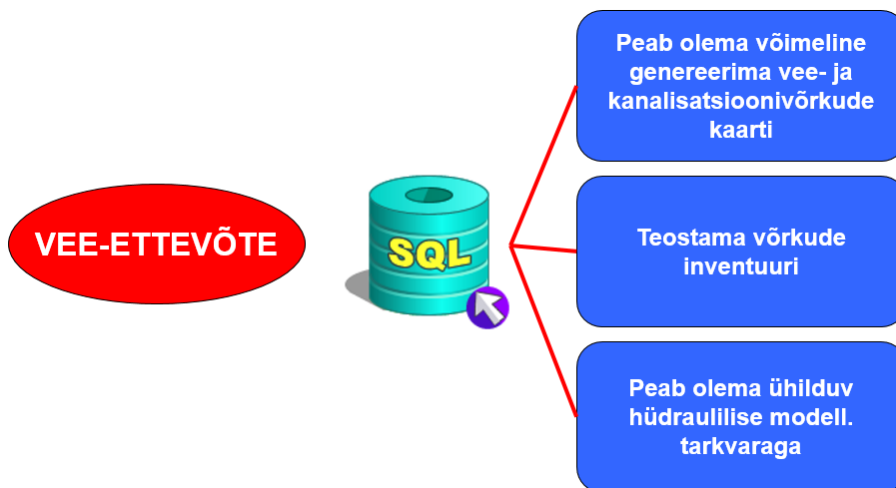


GIS-il põhinevaid rakendusi on omajagu.

Rajatiste kaardistamine	Uusehituste jälgimine/ uute liitujate käsitlemine	Vajaliku veekoguse leidmine rahv.andm. järgi
Hooldusvajaduste jälgimine	Teenusnumbrile tuleva hoiatusele reageerimine	Veesulgemiste kavandamine, klientide informeerimine
Varahaldus	Puurkaevude jälgimine veeressursi analüüs	Ühendus teostusjoonistega
Transpordivahendite marsruudi jälgimine	Mõõtandaemete kogumine uurimine	Lekete otsimine (tsooni Q & Σ individ. Q)

Andmebaasi disain

Vee-ettevõtte tarbeks kavandatava GIS-i andmebaas peab rahuldama kolme põhilist tingimust tagamaks geoinfosüsteemi muutumise ettevõtte jaoks strateegiliseks väärtuseks.



Allikas: Ref #16

Eeldades, et hüdrauliline modelleerimine on üks tegevusi, mida GIS toetab, peab GIS-i analüüsija määratlema kogu hüdraulilise tarkvarade assamblee, mida saaks ja võiks kasutada. Analüsaator peab määratlema, mis andmestiku tüüpe need tarkvarad "söövad" (SCADA, joonised), ning kuidas saab erinevaid andmestikke omavahel ühildada.



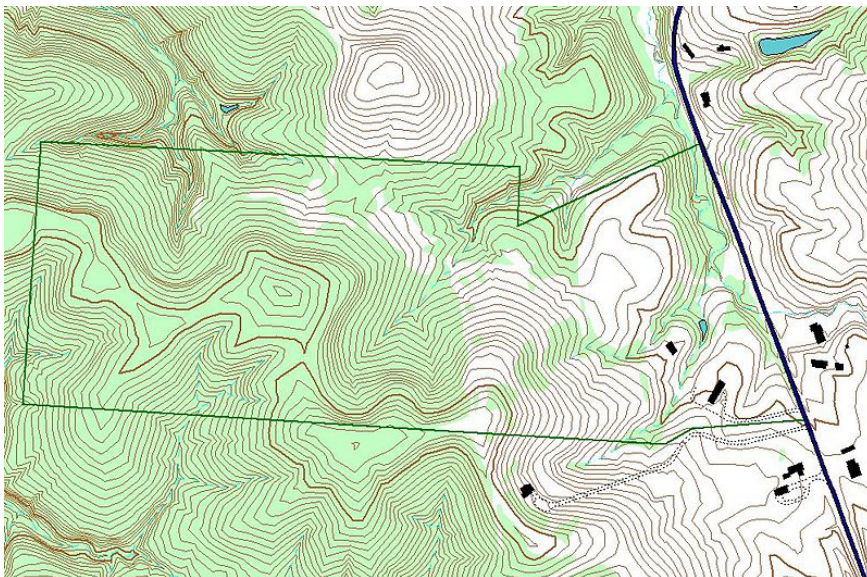
Oluline on andmebaasi disaini juures info kompileerimine andmestiku kohta, mida nimetatakse ka metaandmestikuks. Metaandmestik pakub kasutajale: andmete allikat; andmestiku usaldatavust, kvaliteeti ning usaldatavuse piire; meetodeid, mida andmestiku kogumise ning sidumise juures saab kasutada; kvaliteedi kindlustamist ning kontroll ja kinnitamise protseduure.

Metaandmed muutuvad järjest olulisemaks, kui andmestikku soovitakse jagada erinevate organisatsioonide vahel üle interneti. Levinud on XML formaadi kasutamine (*eXtensible Markup Language*) – programmeerimiskeel struktureeritud info hoidmiseks. Oluline on meeles pidada, et GIS on enamasti üks osa laiemast infohaldamise programmist, mis võib sisaldada erinevaid hooldusprogramme, SCADA-t, seadmestiku automatiseerimist, CAD ning vooluhulga monitooringu andmebaase, veekogu jälgimine, kaartide ning jooniste jpt elementide jälgimist. Andmebaasi loomine, mis toetab erinevaid vajadusi organisatsioonis, on keerukas saavutada, kuid lõpptulemus on seda väärt.

Andmete siire

Nagu eelpool mainitud, võib andmete sisestamine olla kõige olulisem ning kallim osa GIS-i arengust. Järgnevalt mõned põhikomponendid andmestiku arenguplaanis.

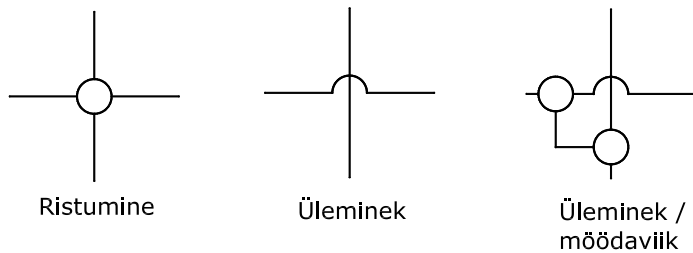
Baaskaardi valik: kaardi täpsus (GPS, toru võib olla valel krundipoolel või valel tee poolel), skaala, projektsioon (koordinaadid), vertikaali olemasolu, millistel meetoditel see kaart koostati, uuendamise aeg, andmestiku kohasus.



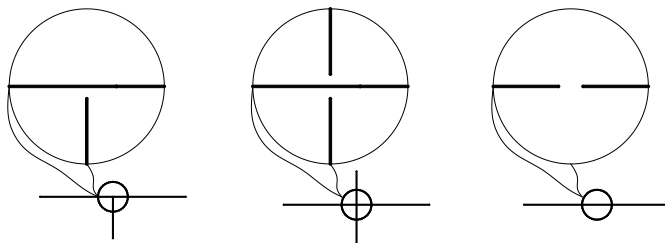
Joonis. Baaskaardi valik (allikas: Ref #17).

Oletame, et tulevikus saadakse uus, täpsem mõõdistus toru keskjoone asukoha kohta ning leitakse, et see on 1m tänava keskjoonest paremal, siis tuleb ka kõikide teiste teenuste/seadmistike nihutamine teostada – väga kallid lõbu!

Olemasolevate andmete ülekandmine: läbi andmete ülekandmise, andmestik sobitakse ühtsesse formaati, mis toetab kõiki funktsionaalsuse nõudeid. Vajadusel redigeeritakse GIS andmebaasi nii, et efektiivsemalt integreerida hüdraulilist modelleerimise tarkvara, infosüsteeme, jooniseid ning GPS ja CAD andmestikku.



Rastergaafika teisendamine vektorpõhiseks (punktid, jooned, polügonid). Seda tehnoloogiat kasutatakse vaid juhul, kui lähteandmestik on selleks kõlbulik. Mõningad probleemid, mis konverteerimisel võivad esineda: (a) üks joon *CAD* failis võib tegelikult esitada mitut erinevat toru segmenti *GIS*-is; (b) kaardi murdejoon võib põhjustada toru katkestuse, mida tegelikult ei eksisteeri; ning (c) kas täpp on sõlm või mustus?



Peale disaini peaks läbi viidama kindlasti pilootprojekt:

- Näidisandmebaas
- Tarkvara treening
- Täida puudused andmebaasides

Seejärel järgneb tootmistsükkel:

- Uue tarkvara ning riistvara soetamine
- Tarkvara lõpetamine
- Dokumentatsiooni loomine
- Kasutajate treening

Kolmandana järgneb levitamine:

- Lõpptarkvara installeerimine
- Kasutajate väljaõpe
- Sobivuse test, kas klient on süsteemiga päri
- Uue tarkvara kasutusevõtt (vahetus)

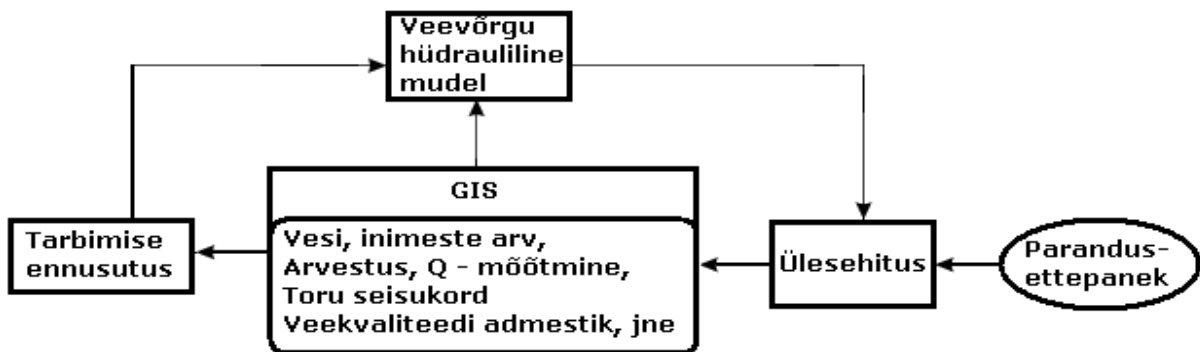
Mudeli koostamine

Ehkki hüdraulilise modelleerimise tarkvara on teinud viimasel aastakümnel suure hüppe, on mudelite uuendamine vee-ettevõttele üsna suur peavalu ning hallata suudetakse vaid väga kõrgelt skeletoniseeritud mudeleid. Kiirelt arenevates ettevõtetes luuakse mudeleid tihti peale uuesti nullist. GIS aitab mudelit efektiivsemalt üles ehitada:

- Kiirem ning efektiivsem mudeli ülesehitus
- GIS kaasab endas väga suurt andmemahtu ning mudeleid saab seetõttu täpsemini luua
- Nii GIS kui modelleerimise tarkvara omavad keerukaid töövahendeid, ning tuleb otsustada, kummas on seda parem läbi viia (näiteks koordinaatide selekteerimine)
- GIS-ist saab lugeda vajalikke mõõtmisandmeid
- Kuniks GIS-i uuendatakse, saab ka mudelit uuendada regulaarselt
- GIS-is olevat DEM (*digital elevation model*) infot saab kasutada mudeli kõrgusmärkide defineerimiseks
- Geograafiliselt jaotatud arvepidamist saab ära jagada tarbimiste jaotamiseks mudelis
- Kui mudeli tulemid GIS-i anda, annab see lisavõimaluse teistele kasutajatele GIS-i andmestikku täpsustada

Mudeli jätkusuutlikkus ning hooldus

Juhul kui GIS-i uuendatakse regulaarselt, saab ka veevõrgumudelit, mis sellel põhineb, lihtsalt ning kiirelt uuendada. Kui GIS-is kaasatakse mingit filtrit – näiteks skeletoniseeritud mudeli loomiseks, peab modelleerija otsustama, kas midagi olulist pole jäänud välja (näiteks torud kuni 200 mm, või 100 mm ringistustorud on jäänud välja).



GIS haldajate ning modelleerijate vaheline suhtlus

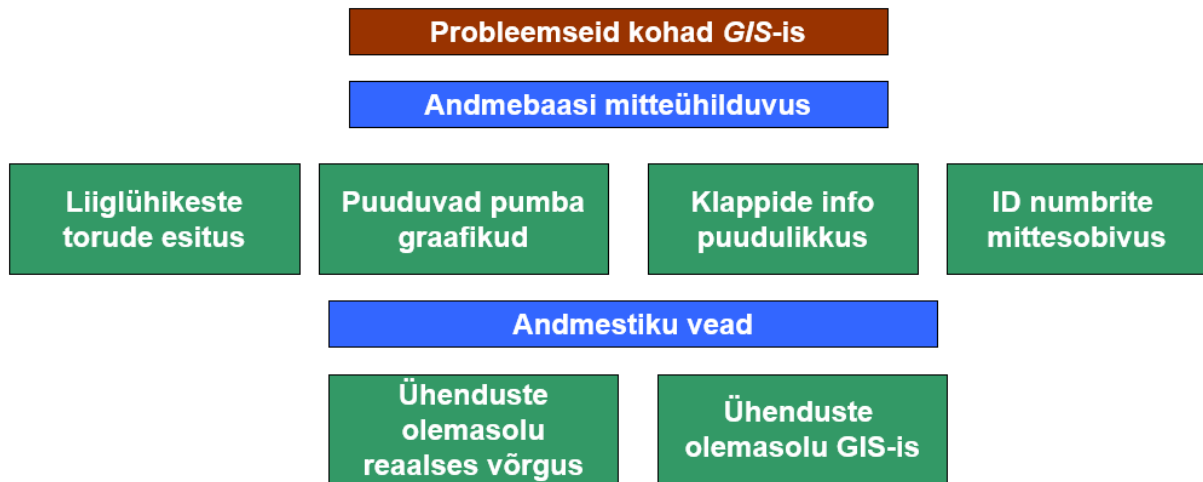
Mõnel juhul on tegu ühe ja sama inimesega, samas tavaliselt on siiski kaks eraldi üksust. Vastastikune süsteemide selgitamine – mida on võimalik, ning mida mitte. Oluline on lahti rääkida modelleerimise baastadmised, modelleerimise terminoloogia ning mõõtmisühikute standard.

Näiteks

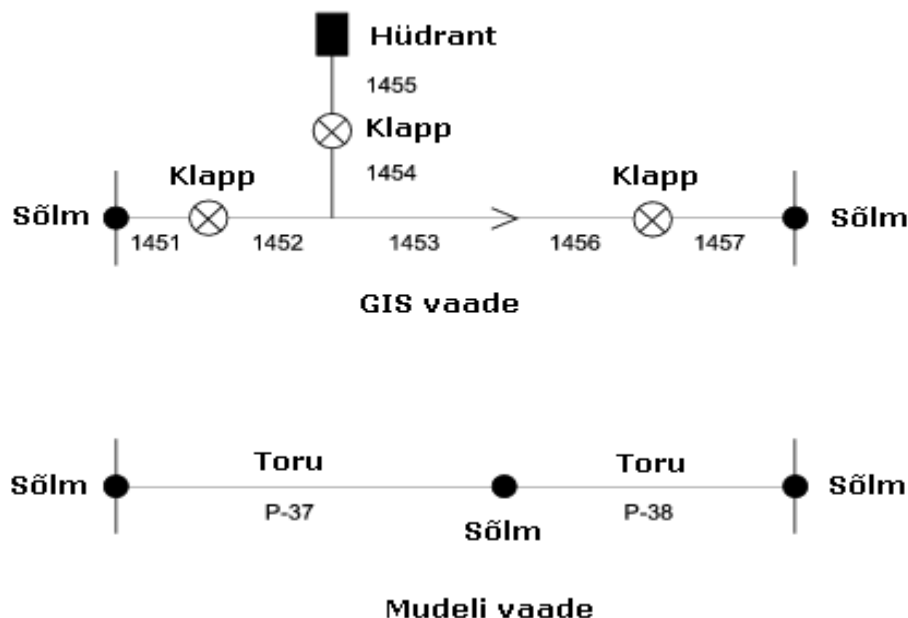
- *Demand* (GIS - üksikisiku arvestuslik number; mudelis – summaarne väärtus sõlmes)
- *Junction* (GIS – mistahes sõlm; mudelis – kahe või enama toru kokkupuutepunkt)
- Kui modelleerija vajab keskmist tarbimist *LPM*, aga arvestussüsteemis on *LPday*, siis tuleb ühikud teisendada, soovitatavalt mudelis, kuid GIS ametnik peab teadma, kuidas andmeid saata.

Olemasoleva GIS-i kasutamine modelleerimises

Kiputakse üle kandma liiga lühikesi torusid, et esitada täielik topoloogia, kuid mudelis sellist keerukust pole vaja. Probleeme valmistab ka ühenduste olemasolu, mida GIS ei näita (komponendid pole üles märgitud) või ühendused, mida reaalses võrgus pole (näiteks torude üleminekud, kuid ei lõiku).



Juhul kui GIS-i ei loodud nii, et see üks-üheselt toetab mudelit, on selles liiga palju detailsust (näiteks iga toru ning hüdrandi haru). Üleliigne info mõistagi kasvatab mudeli arvutuskeerukust. Lisaks võib GIS sisaldada peale iga elementi uut toru – mis mudeli seisukohalt pole oluline. GIS-i infot saab puhastada importimise käigus ning skeletoniseerimisel (elementide eemaldamisel peab siiski arvestama, kas sellel elemendil on oluline rõhukadu süsteemi kui terviku jaoks või mitte – tavaliselt mitte). Mudelisse võib panna toru, mis sisaldab kohtsurvekaadusid või lisada vastavad elemendid ning neile lisada kohtsurvekaad. Kohtab ka selliseid arvamusi, kus öeldakse, et tänapäevase arvutusvõimsuse juures võib kasutada kogu võrgu mudelit, ilma igasuguste lihtsustamisteta. Samas sõltub see kõik mudeli otstarbest.

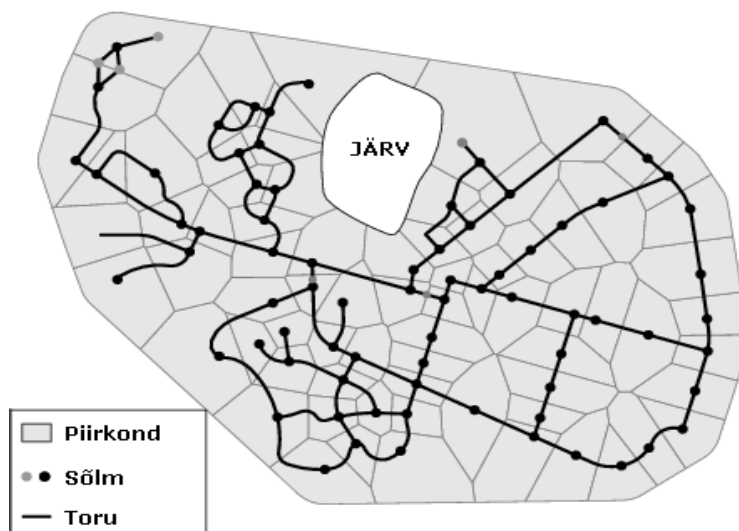


Veetarbimist kirjeldav andmestik

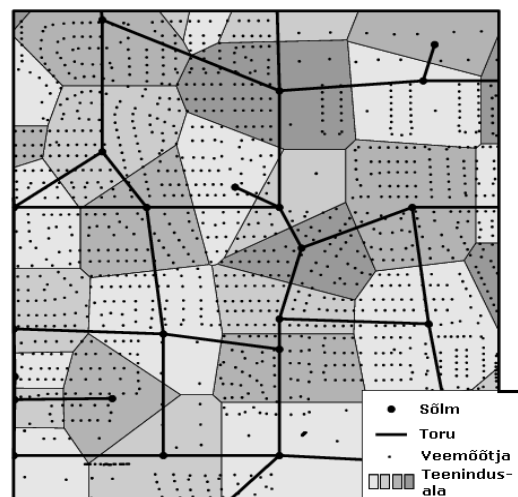
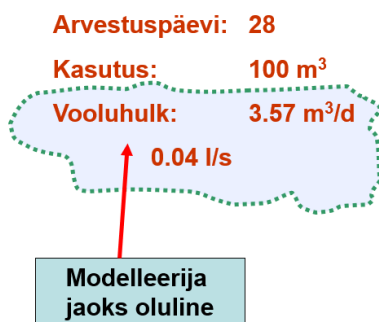
GIS-i ei kasutata üldiselt veetarbimise kirjeldamiseks hüdraulilise mudeli tarvis. Kolm võimalust kogumaks veetarbimise andmeid: (a) kliendi mõõtmine; (b) survetsooni mõõtmine; (c) maakasutuse ning inimeste arvu järgi "mõõtmine".

Kliendi mõõtmine

GIS-is ühildatakse teeniduspiirkonna keskpunkt kõige lähemal oleva mõõtpunktiga – *geocoding*. Kui GIS sisaldab seda punkti, siis saab ka tarbimist mudeli tarvis seal talletada. Tavaliselt on väikesed erinevused marginaalsed. GIS-is märgitud tarbimisena just veehulk, kui palju eest on tasutud. Mudelisse on vaja aga hoopis teistsuguseid andmeid. See üleminek tuleb teha GIS-is või vahepealses lisatarkvaras.

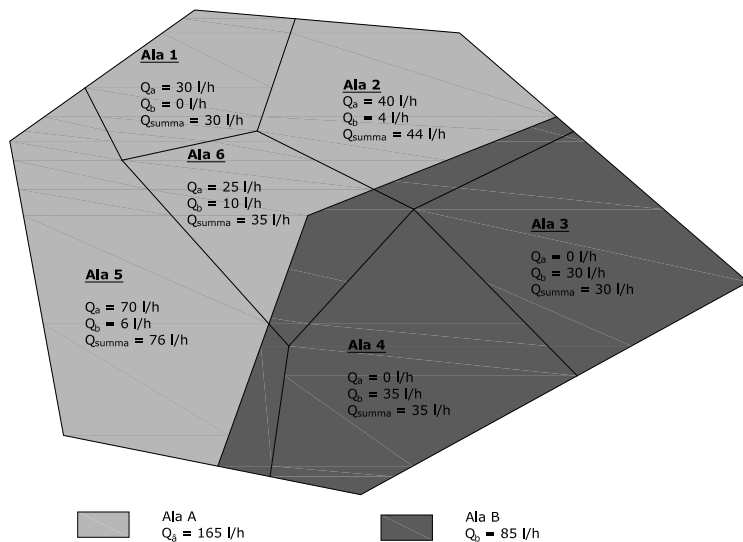


Oluline on meeles pidada, et andmeid ei mõõdetata ühel ajal nagu ka kliendid ei maksa ühel ajal. Lisaks ei sisalda selline info veekadusid ning need tuleb modelleerijal ise ära jaotada (näiteks ühtlaselt).



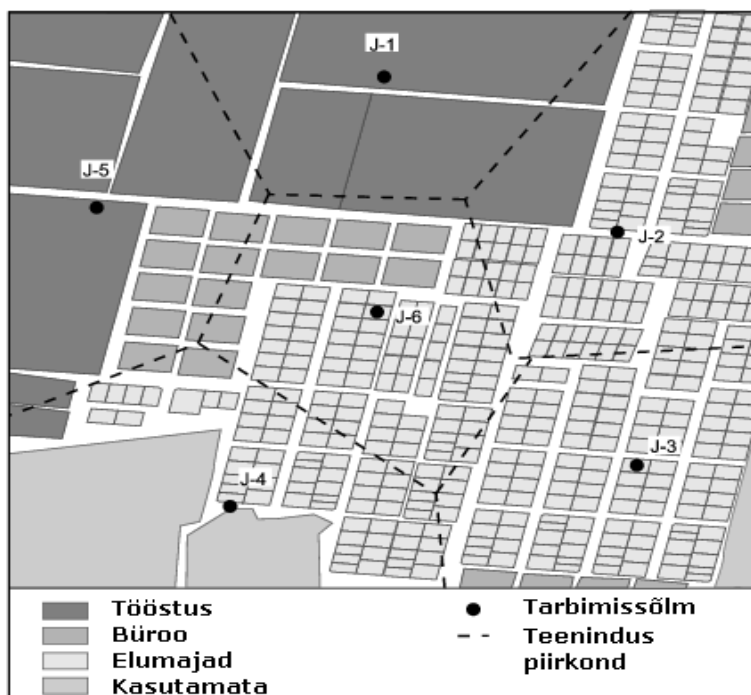
Ala mõõtmine

Proportsionaalne mõõtmine vastavalt ala hõivatusele survetsoonist. Polügoni tasemele saab selle lisada GIS-is.



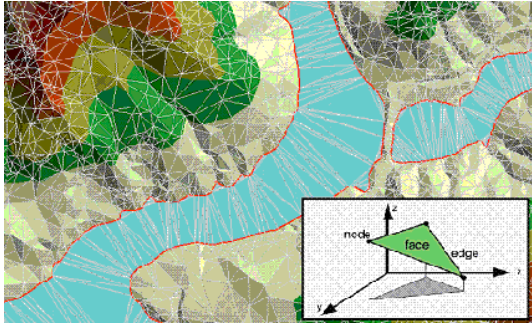
Maakasutus

Oluline roll tarbimisgraafikutel, kui mitu erinevat tarbimist summeeritakse ühte punkti. Võimalik GIS-i rakendus, kus tuleviku veekasutust arvestatakse rahvastiku kasvu järgi, polügoni tasemel seotakse tarbimissõlmega.



Maapinna kõrgusmärgid

GIS-is kasutatakse, kas TIN või DEM põhist kõrgusmärgi esitust. Saab teha päringu x,y koordinaadi kohta ning küsida selle punkti kõrgusmärki. DEM on laialdasemalt kasutusel USA-s.



TIN (triangulated irregular network)
(allikas: Ref #18).



DEM (digital elevation model)
(allikas: Ref #19).

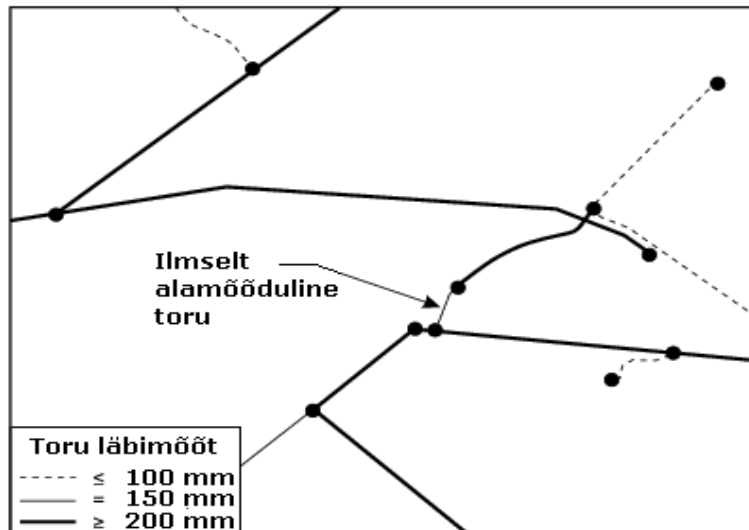
Modelleeritud GIS ja ettevõtte GIS

Siin on põhiküsimus, kas mudeli tulemusi peaks saatma tagasi ettevõtte üldisesse GIS-i? Juhul kui seda teha, on sellel mitmeid eeliseid, näiteks rõhukaartide/alade tekitamine (olulised teistelegi üksustele). Aga ka veetoru rekonstrueerimise plaanid (võrreldes teiste GIS kihtidega: pinnas ning paranduse andmestik). Lihtsam ka reostusjuhtumitest tingitud isoleerimisotsuste tegemisel ning ühendusloa läbivaatamisel.

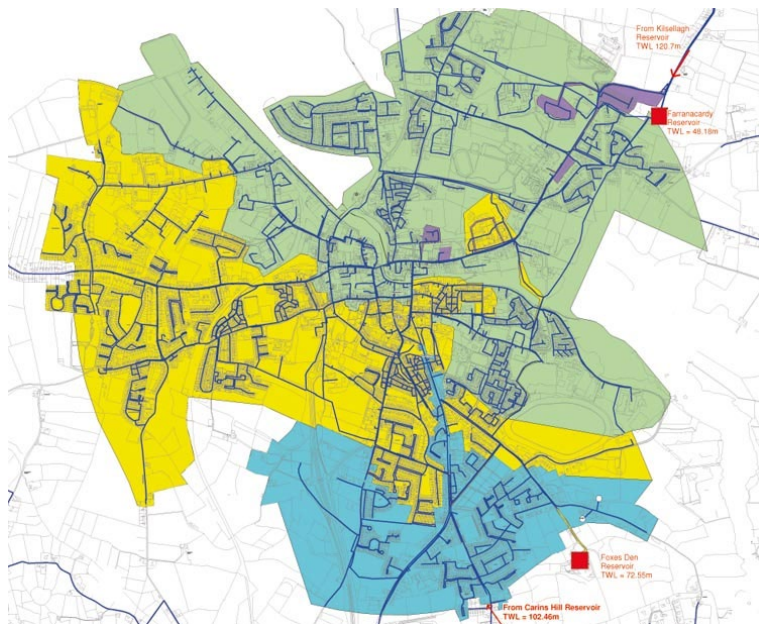
Oluline on kasutada automaatseid töövahendeid, mis võimaldavad infot kätte saada ning vahetada (erinevad serverid). GIS-i saab nii koostada, et see sisaldab stsenaariumeid – *what-if-condition* – andes torudele lisakarakteristiku: (a) alternatiivne toru; (b) plaanitav toru; (c) disainimisfaasis olev toru, ehitusjärgus; (d) installeeritud kui testimata toru; (e) töös olev toru.

Ehkki ka modelleerimise tarkvara suudab teemakaarte luua, on see GIS tarkvara juures tavaliselt kõrgemal tasemel välja töötatud. Näiteks, millises piirkonnas pole kliendid tasunud teenuste eest. Atribuudid ning teemakaartide loomine:

- Värvitud rõhupiirkonna kaardid, millised arendamata alad kuuluvad mingisse tsooni;
- Tuletõrjervee defitsiit;
- Kontsentratsioonide esitus, et omavahel siduda haigusjuhtumid veekvaliteediga;
- Kolmemõõtmeline HGL joon.



Ruumilise kokkulangevuse kasutamine aitab siduda survetsooniga piirkonna nimetust – tsooni kood – tsoonipõhiste mudelite koostamiseks. Lisaks saab uurida maakasutuste ning sõlme hallatavust.

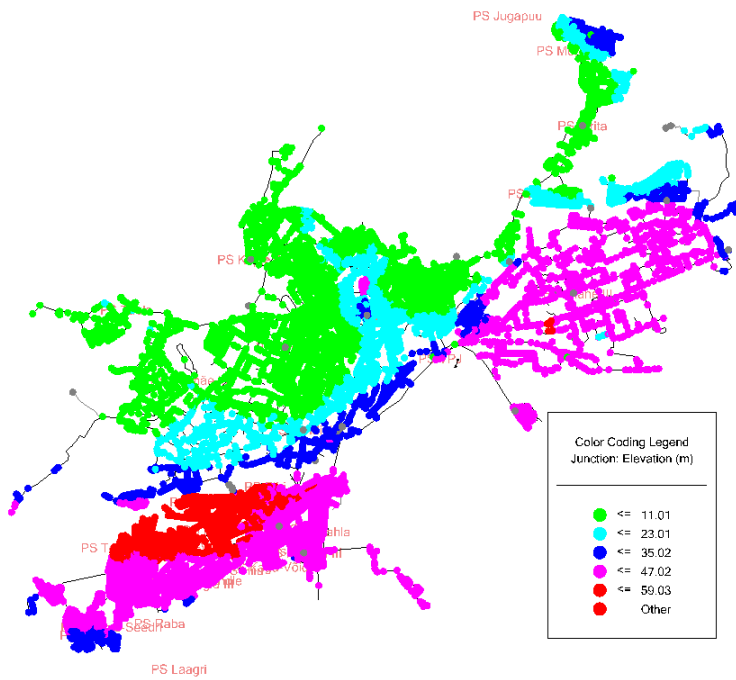


Allikas: Ref #20

Ruumilise seose kasutamine aitab teatud regiooni kruntide valimist, mis mingist torust asuvad näiteks 100 m kaugusel, et saata välja hoiatus, et tööd toimuvad oktoobrist – novembrini.

Seoste kasutamine võrgu jälgimiseks - toru purunemise esitamine ning millised klapid tuleb sulgeda, et purunemine isoleerida. Millised krundid jäävad mõjupiirkonda (külgnevad valitud toruga). Samuti saab luua lühima tee punktist A punkti B.

Keerukamate analüüside läbiviimiseks - teoreetilise staatilise rõhu esitamine piirkondades (maapinna kõrgusmärgi kokku surumine tasapinnale).



Erinevate kriteeriumite põhiselt saab värvikoodiga esitada, kuhu ehitada (uus mahuti) – järjestades krundid omavahel (maasuurus, omandus, kaugus peatorust, maapinna kõrgusmärk). Saab kasutada ka mõõtpunktide valikuks, kus info pole konstantne (surve/vooluhulk varieerub näiteks ööpäeva lõikes olulisel määral - peatorud). Modelleerimine on siin abiks, mis annab infot kiirelt muutuvate punktide kohta. Peamine rõhk on keerukamate analüüside juures mitme kihi korruga kasutamisel ja/või neist teatud keskmiste väärtuste võtmisel.

Referentsid

Pildimaterjal

- Ref #12 http://biblio.laurentian.ca/subjectguides/sites/default/files/pictures/GIS_picture.JPG
- Ref #13 <http://volusia.org/gis/images/arfig6.jpg>
- Ref #14 <http://volusia.org/gis/images/arfig7.jpg>
- Ref #15 <http://volusia.org/gis/images/arfig3.jpg>
- Ref #16 Ignacio javier igjav, Sql database shortcut icon,
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sql_database_shortcut_icon_.png
- Ref #17 John Knouse, Gislayers, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gislayers.jpg>
- Ref #18 http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/published_images/Tin%20Surface.GIF
- Ref #19 User:W!B:, Maps-for-free Sierra Nevada, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Maps-for-free_Sierra_Nevada.png
- Ref #20 Sligo City Existing Water Supply Zones, <http://www.sligococo.ie/media/SligoSupplyZones.jpg>

Artiklid

Ginther, P. (2007). Use of GIS growing in the municipal water, wastewater business. WaterWorld, Volume 23(4), <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-23/issue-4.html>.

Veevarustussüsteemide töö juhtimine

Sissejuhatus

WDS (water distribution system) mudelid kasutati esmalt vaid disainiküsimuste lahendamiseks. Kardeti keerukaid arvutiprogramme ning eelistati tavapärasest rõhkude/vooluhulkade mõõtmist. Tänapäevased töövahendid on seda arusaama aga muutnud. Mudeli abil saab simuleerida sündmusi mistahes võrgu punktis ja seda väga erinevatel tingimustel. Andmestiku kogumine reaalsel võrgul oleks kulukas. Mudeliga saab analüüsida olukordi, mida reaalses võrgus pole võimalik läbi viia (sisendpunkti eemaldamine 1 tunniks, 1 päevaks).

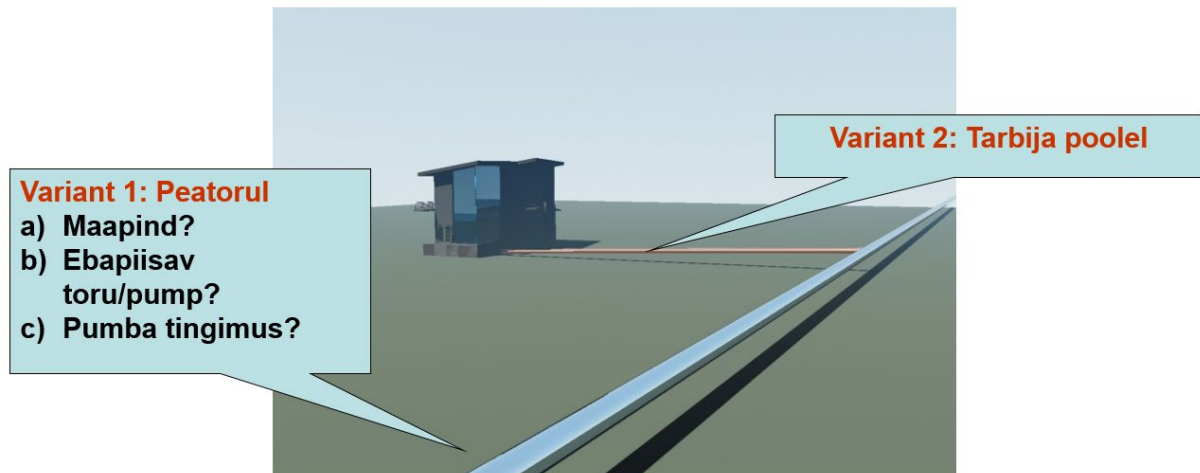
Reaalse võrguga ei ole võimalik eksperimenteerida, kuna kindlas asukohas mingi parameetri (nt vooluhulga) mõõtmine eeldab kaevamist (tihtipeale kulukas ettevõtmine). Veelgi enam, pole võimalik "mängida" teatud parameetritega, et kontrollida, kuidas avaldab see mõju süsteemi tööle (nt survetsooni ääretingimused). Tarbijatele peab olema tagatud tervishoiu ning turvalisust käsitlevad nõuded. Mudeliga testsituatsioonide läbi mängimine ei tunne piire ning andmeid saab kontrollida nt olemasolevast SCADA süsteemist tulenevatega.

Eeldades, et süsteem on hästi kalibreeritud saame mudeliga esitada süsteemi probleemsete olukordide ning andma juhiseid, kuidas probleemseid kohti lahendada. Näiteks probleemid, mis tavaliselt mõõtamisega võrdlemisel ilmsiks tulevad: suletud klapid, hüdrauliline löök, mittekorrektset töötavad pumbad. Keerukamate probleemide lahendamiseni võib jõuda ka välistamise teel. Näiteks, kui mudel ei ole üles ehitatud hüdraulilise löögi avastamisele, siis välistades teised probleemsete olukordid, võime siiski jõuda selleni kui põhjusesse.

Mudeleid kasutatakse kui töövahendit proovimaks erinevaid piirsituatsioone (analoogiks on näiteks kasvõi lennusiimulaator). Piirsituatsioonides saadav info sisaldab näiteks rõhkusid, vooluhulkasid, tarbijate kaebusi, mahutite veetasapindu, operaatori avaldusi jne. See tuleb kohe talletada, enne kui ununeb. Mudelis on oluliselt odavam teha kogemata vigu mudelis, kui reaalse võrgu peal. Mudeliga saame leida lahenduse ränkadele probleemidele, kus mõni peatoru puruneb enne selle reaalsel toimumist. Saame läbi mängida olukordi, mida reaalsel võrgu peal ei taheta või ei viitsita.

Surve puudumine

Surve puudumine on kõige levinum võrgu opereerimisel esinev probleem. Lihtne fakti kui sellist konstateerida, kuid põhjust üsna keerukas leida (nt tarbija kõne veevõrgu operaatorile). Surve probleemi saab kontrollida rõhu mõõtmisega hüdrandidil või nn sadulaga peatorul.

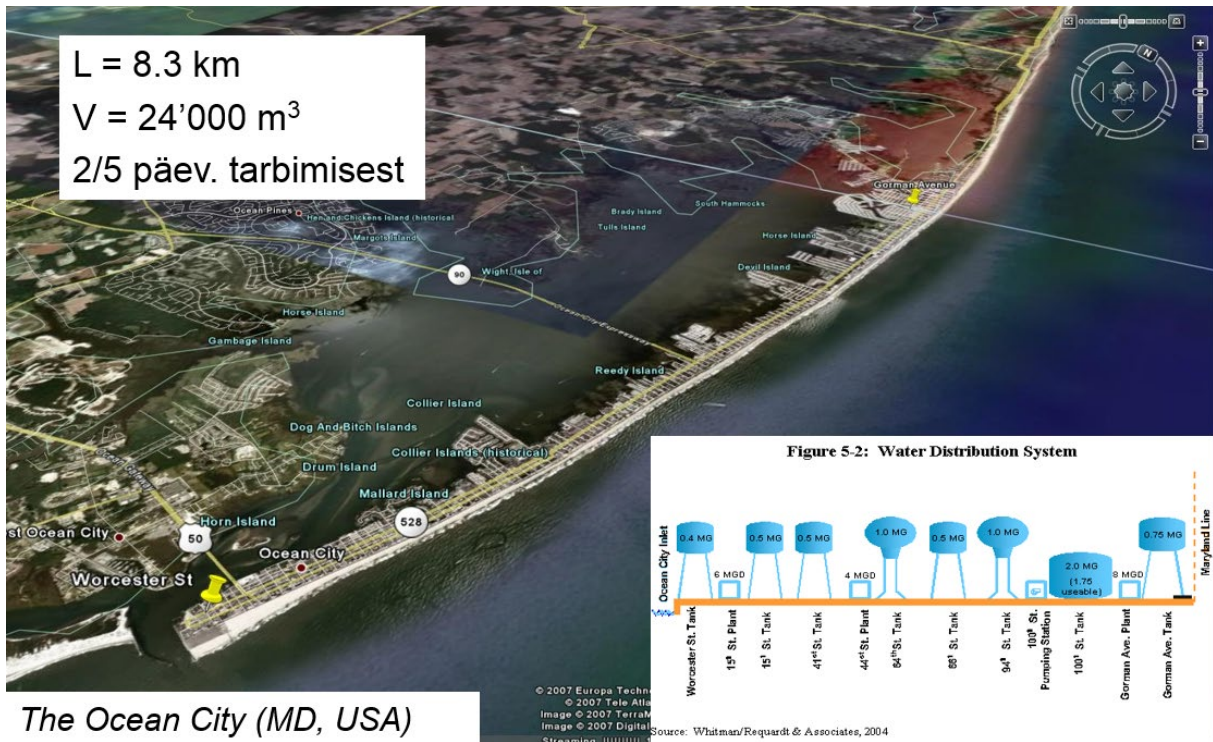


Kui *variant 1* (peatorul mõõtmine) on probleemne, siis oleks järgmine samm leida probleemi põhjus! Näiteks kui rõhk on konstantselt madal, siis võib see olla tingitud asjaolust, et maapind on seal oluliselt kõrgem. Rõhu langud vaid tipp tundidel, siis on see tavaliselt tingitud ebapiisavast pumba/toru mahutavusest või suletud torust. Kui probleem ilmneb madal-tarbimisperiodil, siis võivad näiteks pumbad end välja lülitada, kui mahutid on end täitnud, vähendades rõhku survepoolel.

Madala surve modelleerimine

Andmestiku olemasolul saame taasluua probleemse situatsiooni. Hetke rõhuväärtustega saame analüüsida statsionaarseid režiime, samas oluliselt rohkem infot saab, kui kasutada *EPS (extended period simulation)* mudeleid. Mõned probleemid survega (maapind, mahutavus) saab avastada paljalt mõõdetud andmeid võrreldes, samas mudelit on vaja selleks, et probleemi tekitaja kindlaks määrata.

Näiteks torude mahtuvusest tulenevat probleemi saame testida paralleeltorustike lisamisega, diameetri või kareduse muutmisega. Pumba graafikust tuleneva vea avastamiseks sisestame uued andmed. Maapinnast tuleneva ebakooskõla lahendamiseks saame lisada näiteks rõhutõste pumba või redigeerida survetsooni sisendparameetreid. Kui surve probleem esineb vaid kindlas eraldatud tsoonis tipp tunnil, siis võib olla mahuti lisamine parimaks lahenduseks. Linnaruumis on mahutid enamjaolt mõeldud tuletõrjevee tagamiseks ning maakohtades tipp tunni nõude täitmiseks.



The Ocean City (MD, USA)

Allikas: Ref #21, Ref #22



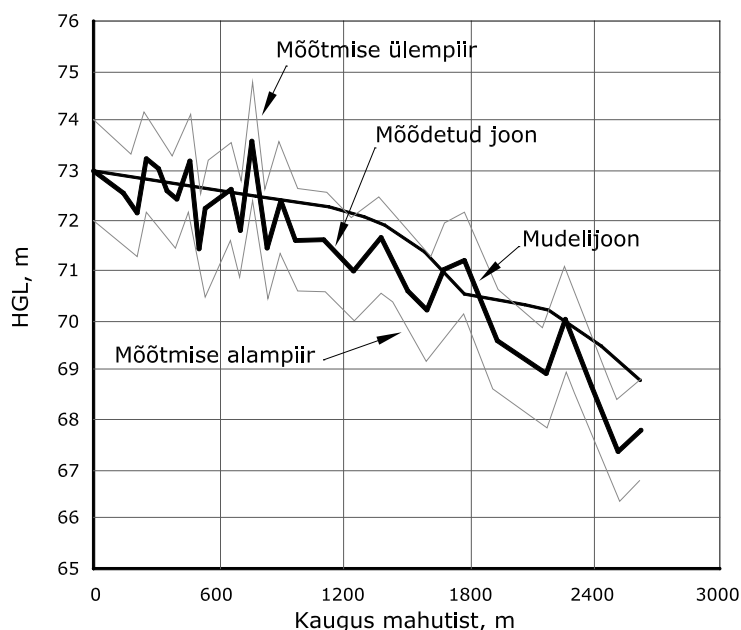
Joonisel. Veetorn, ca 7'500 m³ (allikas: Ref #23).

Suletud klappide otsimine

Võrdle mõõdetud *HGL* ning arvutatud *HGL* väärtusi (kus on oluliselt madalam, seal võibki olla probleem). Tavaliselt maapinna vale mõõtmine põhjustab suurema vea kui rõhu mõõtmine (kui just ei kasutata GPS seadmeid). Tuleks võrrelda mudeli/arvutatud *HGL* erinevusi sisendis ja probleemses

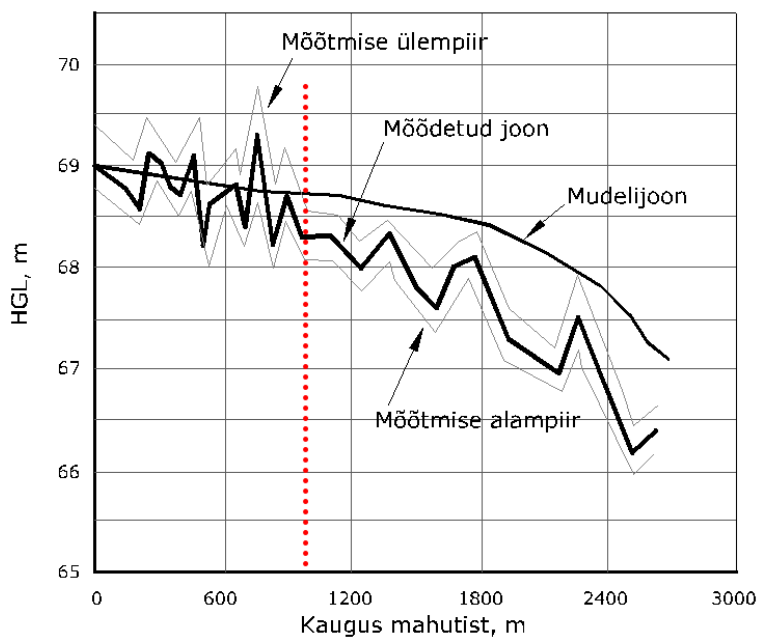
kohas. Järsk muutus viitab probleemile. Väikestel vooluhulkadel on rõhulangud väikesed (1-2 m / 1000 m kohta). Maapinna vale mõõtmine võib peita sellised vead – 1.5m täpsusega. Järeldusi pole seetõttu võimalik teha.

Mudel võib esitada oluliselt väiksemat rõhulangu kui mõõdetud. Seda põhjustab tavaliselt suletud või pool-suletud klapp, sest piiratud läbivool põhjustab suuremat rõhulangu, kui võrrelda mudeliga, kus seda piirajat peal pole. Seda konkreetset probleemi saab avastada *HGL* mõõtmisega ning otsides järskede muutuste, mida ei saa siduda survetsoonide eraldusega. Kohas, kus *HGL* on oluliselt madalam kui mõõdetud, siis on üsna tõenäoline, et suletud klapp asub just seal. $HGL = Pressure + Head$ ning läbi selle on leida suletud klappe oluliselt lihtsam kui rõhkude mõõtmisega. Ehkki rõhu gradientide täpsus mõjutab arvutatud *HGL* väärtusi, siis maapinna vale märk esitab tavaliselt suurema vea, kuna seda on raskem mõõta. Näiteks: topograafilised jooned on liiga suure sammuga, kust pole võimalik lugeda täpsemat kõrgusmärki. Kõrgusmärke saab täpsemini leida kanalisatsiooni süsteemi kaevude kõrgusmärkidest, kõrgusmõõtjatest või GPS seadmeid kasutades. Andmestiku kontrollimiseks on hea mõte võrrelda mõõdetud ja arvutatud *HGL* väärtusi sisendi juures (pumpala ning mahuti) ning rõhu probleemsetes piirkondades. Nagu varasemalt mainitud, järsk erinevus mõõdetud *HGL* väärtustes viitab tõenäoliselt suletud klapile.



Joonisel. Väikesed voolukiirused – veapiirid “summutavad” mudeli joone.

Kuna rõhukaod on väiksemad väikestel vooluhulkadel, siis järsk *HGL* muutus ei pruugi tekkida tavatarbimise režiimides (1-2 m 1000 meetri kohta) ning probleemi on üsna raske kindlaks teha. *HGL* viga põhjustab sellised erinevused, näiteks maapinna vale mõõdistamine võib juba tingida rohkem kui 1.5 m viga, kui mõõtmine ei toimu just GPS kasutades. Seega võivad vead mõõtmistes olla suuremad kui täpsus, mida vajatakse, et häid järeldusi teha.



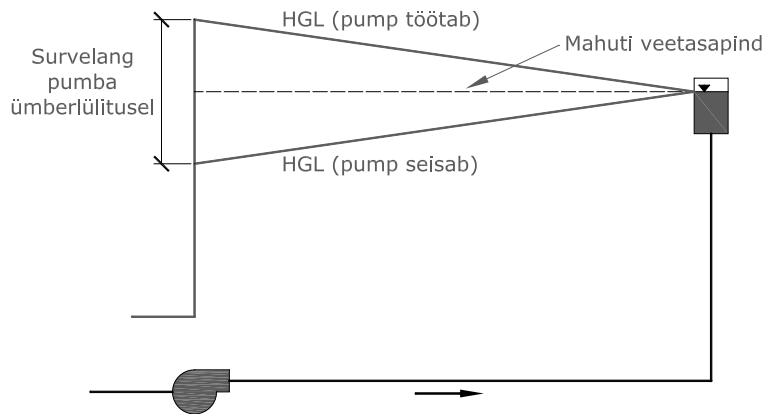
Joonisel. Suured voolukiirused – võimalik veallikas kohas, kus mudeli ja arvutatud joon omavahel lahknevad.

Sellest ülesaamiseks peab tõstma voolukiiruseid torudes, et põhjustada piisavalt suur rõhukadu. Seega avades hüdrandi või välja-laske-klapi, rõhukadu suureneb ning *HGL* lang on märksa suurem kui mõõteviga (vaata pilti). Isegi ebatäpse andmestiku korral, mudeli ja mõõdetud andmed lahknevad umbes 975 m peal mahutist. Ülejäänud osas on *HGL* sama nii mudeli kui mõõdetud andmestiku lõikes. Seega eksisteerib 975 m ümbruses mingi piirang või mudelil on teatud viga selles kohas. Kuna hüdrandikatsed või klapi avamine pika perioodi vältel on keeruline, sest rõhulained liiguvad kohast kohta, oleks mõistlik kasutada mitu erinevat hüdrandi katset, kus rõhkusid mõõdetakse teiste hüdrantide pealt. Sellisel juhul saame rohkem infot olukorra kohta. Hüdrant ise peaks välja laskma ühte ja sama vooluhulka, kuid rõhke mõõdetakse mitmel teisel hüdrandil.

Surve probleemi lahendused

Peale probleemide teadvustamist ning kinnitamist on võimalikud tegevused üsna ilmselged. Näitaks, avada klappe, muuta pumba/rõhu alandusklapi seadeid, lekete leidmine ning parandamine, survetsooni piiride redigeerimine, torude rekonstrueerimine, torude survepesu, uute pumpade lisamine, uued survetsoonid või mahuti lisamine.

Probleemid kerkivad esile siis, kui tarbija nõudmisi ei täideta. Eriti siis, kui on tegemist erinevat liiki rõhu vajadustega. Näiteks tööstus, mille sprinklersüsteem nõuab 4.1 bar ning nad on sõna-sõnalt vihased, kui süsteem annab välja vaid 3.1 bar, isegi siis, kui see täidab normtingimused. Samas võib olla nii, et operaatori järgi peaks olema rõhk 4.1 bar, kuid tegelikult on tarbijal vaid 1 bar, mis võib olla tingitud tagasivoolu klapist, vooluhulga mõõturist, mis põhjustab liiga suurt rõhukadu.



Joonisel. Pumba sisse ja välja-lülitamisest tingitud rõhu erinevus pumbajaama läheduses olevatele tarbijatele.

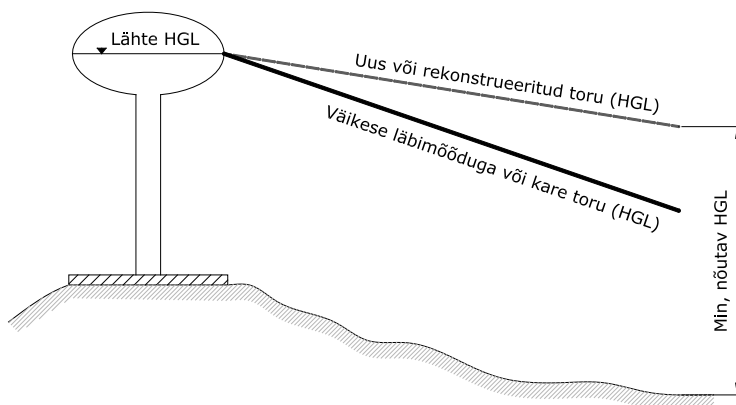
Kolmanda näitena võib tuua tarbijad, kes on vahetult pumbajaama järel. Nende puhul saab oluliseks pumba sisse ja väljalülitamised, sest selle aja jooksul muutub rõhk süsteemis märgatavalt. Samas võivad olla mõõdetud/arvutatud tulemuste erinevused väiksemad siis, kui pump ei tööta. See viitab pumba seadetele ning valedele pumba graafikutele. Erinevad sätted rõhualandusklappides ehk et tuleks kontrollida, et andmetes ei esineks viidet.

Probleemid tulekustutusveega

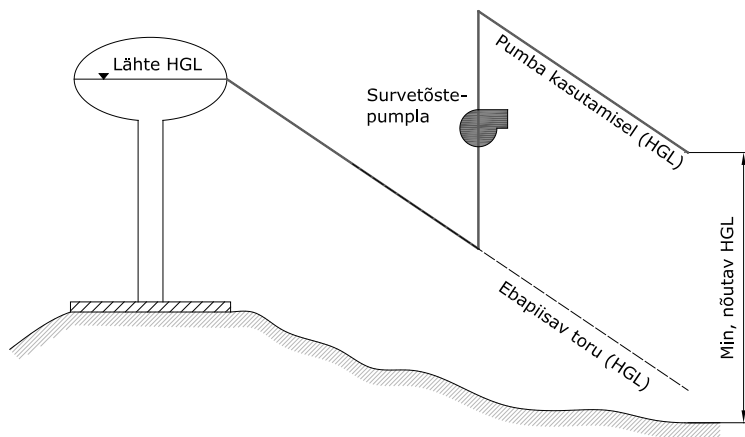
Erinev probleemi püstitus uutele, disainitavatele torudele ning olemasolevale süsteemile, kuna operaator ei saa parandusi sisse nõuda uuel tarbijalt – ta peab leidma nõrga lüli süsteemist ning selle kõrvaldama. Võimalikud põhjused olemasolevale süsteemile: väikeseläbimõõduga torud, pikema aja vältel toimunud mahukaod (ummistus, karedus), tarbijad lähtepunktist kaugel, ebapiisavad pumbad, suletud või osaliselt suletud klapid (meenuta eelmist peatükki), kombinatsioon ülalootetust.

Esmalt kasutatakse hüdrandi katseid selleks, et mudel kalibreerituna oleks võimalikult täpne, seejärel analüüsitakse võimalikke kitsaskohti tulekustutusvee vajadusest lähtuvalt. Kui eeldatud rõhud on suuremad kui mõõdetud, siis on üsna suure tõenäosusega tegu suletud klapiga (või ei tööta rõhualandusklapp korrektselt). Kuvades tegeliku ning modelleeritud *HGL* joone tipptarbimisel võimaldab leida ning määrata probleeme tulekustutusveega. Juhul kui mudelit saab kalibreerida ning suletud klappe ei leita, siis on põhjuseks ilmselt toru mahutavus ning kaugus lähtepunktist. Mudeli kaudu saab näiteks vaadata torus olevaid kiiruseid. Kui kiirused on suuremad 2.4 m/s pikkades torudes, siis on küsimus väikestes torudes. Kui mudelisse on vaja panna karedustegur, mis eeldab väga ummistunud toru (*H-W* koefitsient väiksem kui 60) ning see väärtus on kinnitatud visuaalselt või läbi testimise, siis vooluhulga kadu on tingitud toru ummistusest. Toru läbimõõt ning karedus mõjutavad *HGL* nurka, aga toru pikkus mõjutab rõhulangu suurusjärku. Näiteks on võimalik saada suurem vooluhulk 30.5 m-st torust ($D = 150\text{mm}$) kui 3'050 m torust nii, et rõhk oluliselt ei erine. Skeletoniseeritud mudelites võib juhtuda, et torud, mis on eemaldatud, tuleb osaliselt mudelisse tagasi panna, et saada täpsem pilt hüdrandi vooluhulkadest.

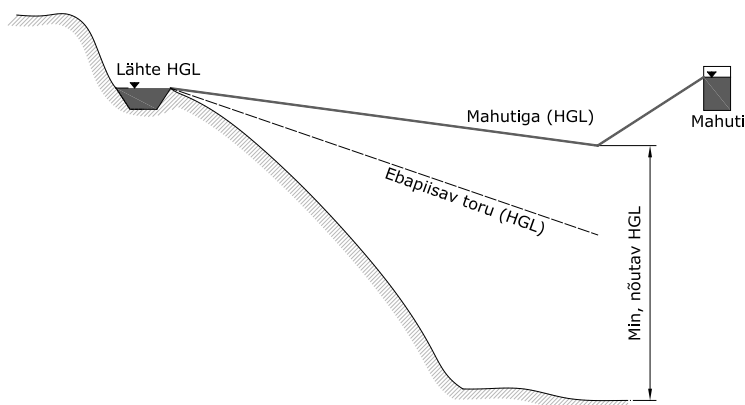
Parimad lahendused tagamaks nõuded tulekustutus-veele sõltuvad probleemidest, mis leiti mudeli ja mõõdetud andmete võrdlemisel. Need võivad olla kombineeritud: uute torude lisamine, rekonstrueerimine, rõhu tõstmine, lisamahutid probleemsetes piirkondades. Iga neist mõjutab süsteemi omal moel ning omavad ka erinevaid eeliseid. Seega tuleks läbi viia alternatiivsete lahenduste võrdlus, mis põhinevad tulemuslikkusel ning maksumusel ja mitte ainult maksumuse minimeerimisel. Tavaliselt piisab statsionaarse režiimi läbi arvutamisest. Vaid siis kui mahuti täituvus on küsimuse all, tuleks kasutada *EPS* mudeleid.



Uute torude lisamine/renoveerimine teeb rõhulangu väiksemaks. Mudeli abil saab määrata asendatavad / rekonstrueeritavad torud.



Rõhutõste pumbad suurendavad *HGL*-i pumba asukohas, kuid ei vähenda rõhulangu. Lihtsaim viis probleemsetele piirkondadele. Ei vaata tulevikku, kuna mahutavus ei parane. Tõstab opereerimise kulutusi. Tuleks kasutada siiski vaid transportimiseks üles mägedesse. Lisaks võib ülerõhk tekitada probleemseid situatsioone ning esile kutsuda ka hüdraulilise löögi, eriti siis, kui pole lisatud mahutit pumba järel või rõhu väljalaskeklappi.

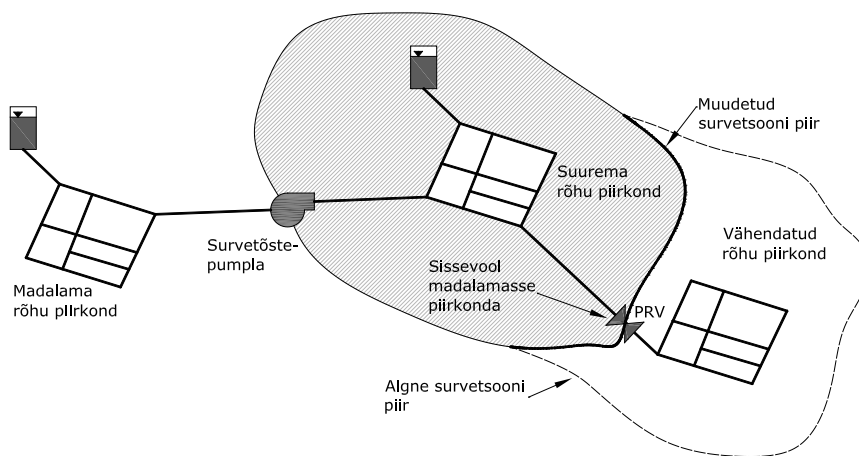


Mahuti lisamine tõstab süsteemi töökindlust. Kulukas, kuid annab suurima kasuteguri. Suurendab vooluhulkasid ning rõhkusid, sest vesi jõuab sihtpunkti kahest eri kohast (algsest ning uuest). Samas selline jagamine vähendab ka voolukiiruseid peatorudes. Kuna rõhukadu on võrdeline kiiruse ruuduga, siis vähendades kiiruseid kaks korda, väheneb rõhukadu 75%. Lisamahuti tõstab süsteemi töökindlust toru purunemise korral või elektrikatkestusel ning aitab summutada hüdraulilist lööki.

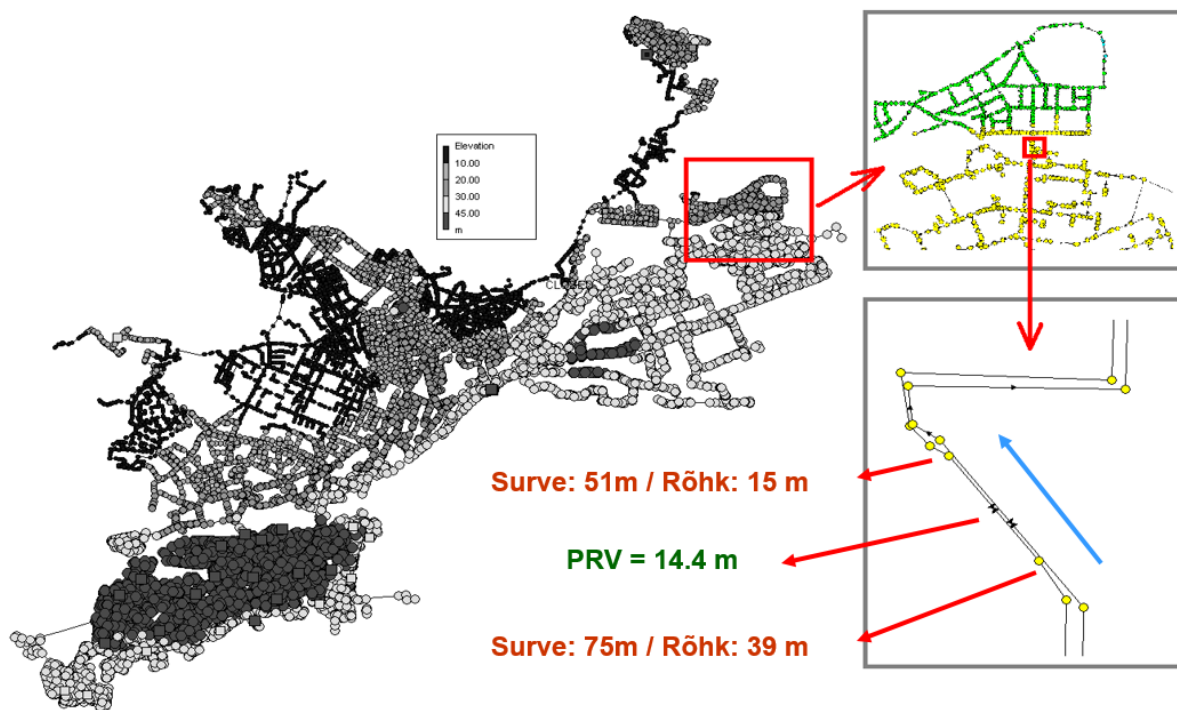
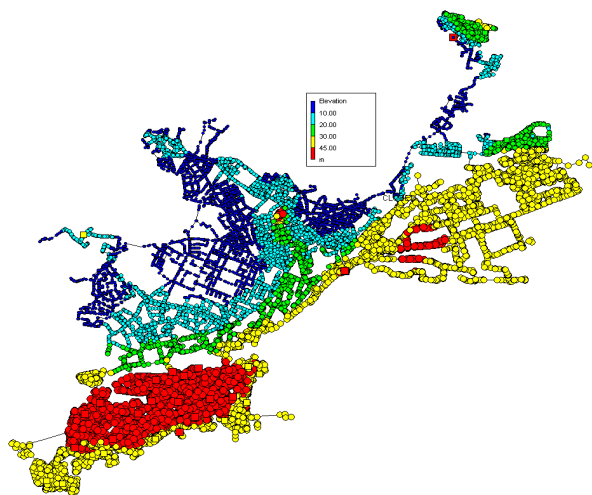
Survetsoonide eraldamine

Kõrgete ning madalate rõhkude vahelduv esinemine süsteemis ning nendele lahenduse otsimine on teatav väljakutse operaatorile. Väikesed rõhud saab teada tarbijate kaebuste põhjal. Samas liigset rõhku tavaliselt ei märgata. Suurte rõhkude piiramiseks kasutatakse survetsoonide eraldamist ühes *PRV* (*pressure reducing valve*) klapi abil. Oluline on viia eelnevalt läbi modelleerimine, kuidas *PRV* lisamine mõjutab tarbijate ning tulekustutusvee vooluhulkasid. Survetsoonide tekitamine aitab kokku hoida energiat (pumbajaamas), vähendab lekkeid ning suurendab ühenduskohtade vastupidavust.

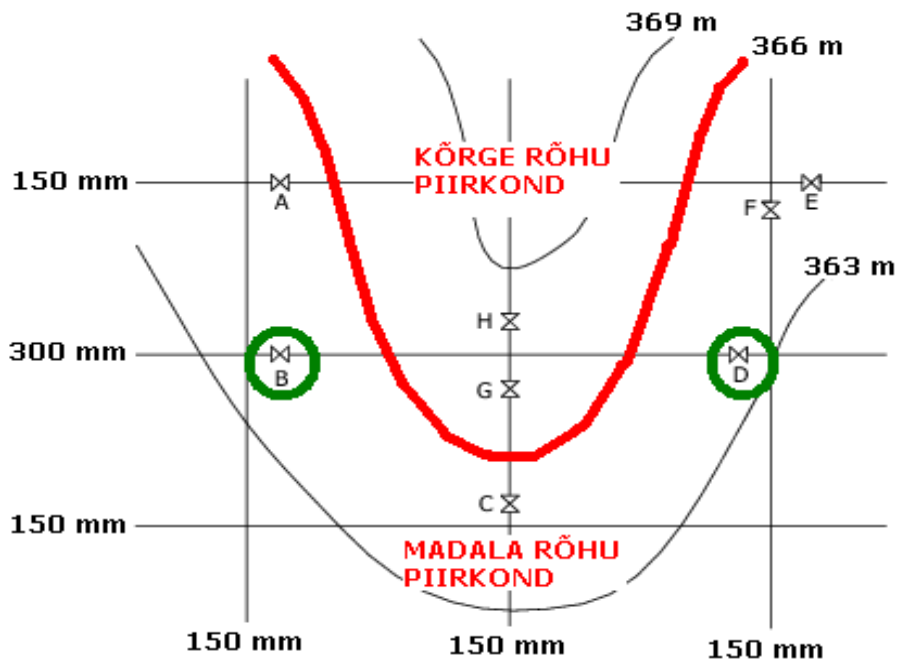
Tihti peale vaevavad operaatorid pead teatud kõrgete või madalate rõhupiirkondadega (teistest eraldunud). Madalatest rõhkudest saadakse tavaliselt jagu tarbijate kaebusi analüüsid. Kõrgeid rõhke on aga tavaliselt keerukam analüüsida, sest tarbijad tavaliselt ei saa aru, et nendeni jõuab ilmselgelt liiga suure rõhuga vesi. Kui leitakse, et rõhud on mingis piirkonnas liiga suured, siis on mõttekas nihutada survetsoonide piiri nii, et tarbijatele jõuab vesi mõistliku rõhu juures madalamast rõhupiirkonnast. Selleks võib kasutada rõhualandusklappi. Rõhu alandamine vähendab ka lekkeid ning parandab ühenduskohtade vastupidavust. Oluline on teadvustada, et *PRV* käitumist tuleb esmalt modelleerida, määrata tarbijate vooluhulgad ning tulekustutusveed. Ja seda kindlasti enne installeerimist. Lisaks võimaldab survetsoonide jagamine ökonoomsemalt toimida süsteemis tervikuna, sest hoitakse kokku energia pealt, mida on vaja ülearuse rõhu viimiseks süsteemi (pump). Selliste otsuste läbiviimiseks on mõttekas kontrollida maapinna kõrgusmärke kaartidelt, et otsustada, kust peaksid liikuma survetsoonide piirid ning sulgeda vastava piiri peal klapiid.



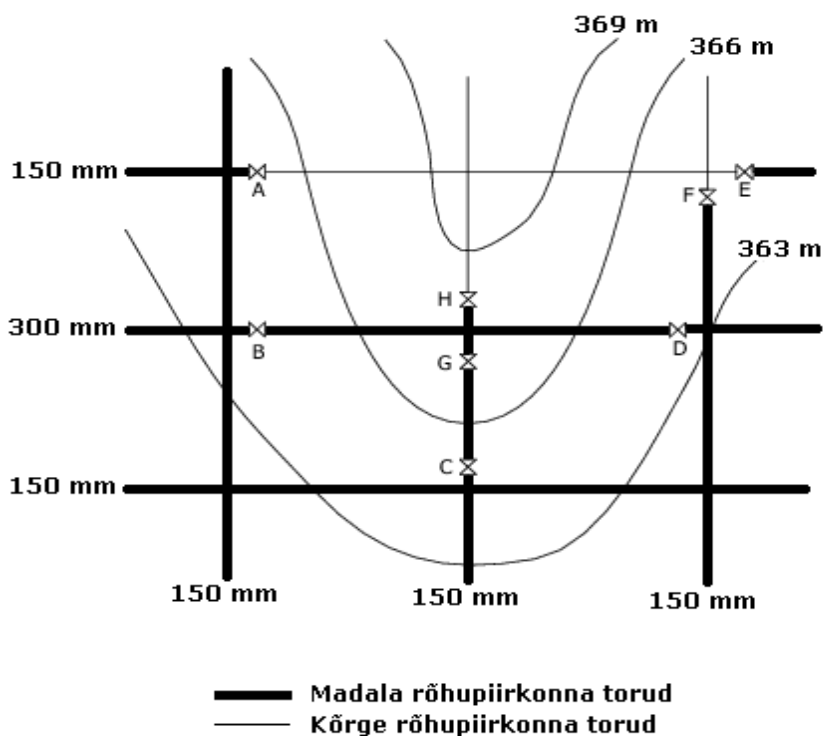
Tallinna linna veevõrgu näide.



Survetsoonide kindlaks tegemiseks oleks esmalt mõistlik vaadata kaartidel olevaid samakõrgusjooni ning seda kõrgusjoont võtta kui survetsoonide eraldust ning sulgeda (installeerida) vastavad klapid.

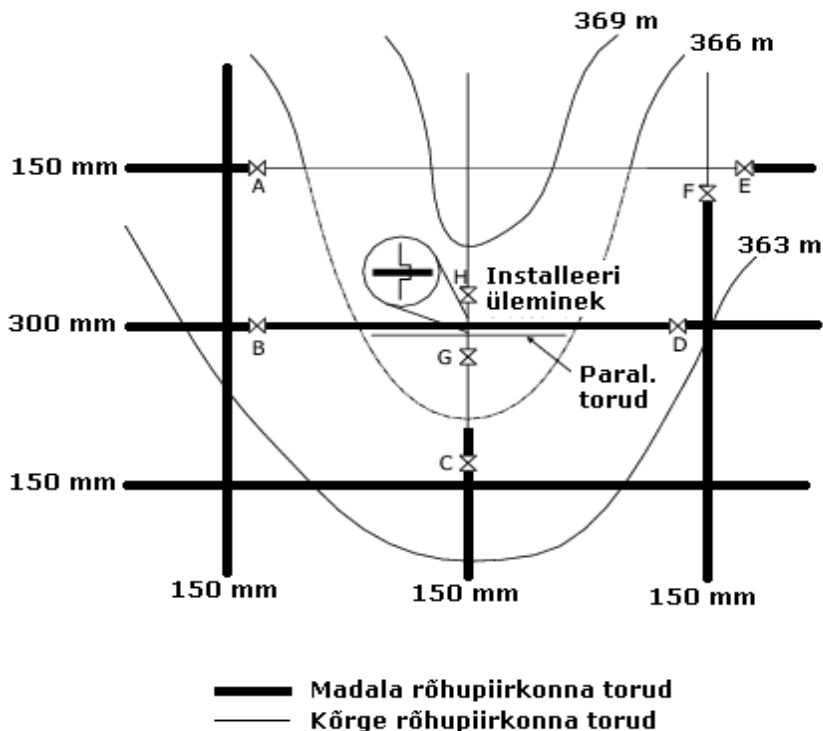


Näiteks: 366 m – kõrgusjoon on valitud kui kahe survetsooni eralduseks, mis omavad rõhkusid vastavalt 396 m ja 430 m. Kasutades mudelit, saame eelnevalt läbi mängida probleemseid situatsioone. Mõned tarbijad punktide B ja D vahel peavad saama vee suuremast rõhu piirkonnast. Samas võib see toru (300 mm) olla ka oluline võrgu töös tervikuna, et viia vett madalamasse rõhu piirkonda. Kui nüüd klapid B ja D sulgeda, siis toru sisuliselt eemaldatakse. Seega peab kaaluma ka alternatiivseid lahendusi.



Kui G kõrgusmärk on vaid veidi kõrgem kui 366 m, siis võib osutada võimalikuks survetsooni

nihutamine punkti H ning toru BD jääb siis avatuks. Samas kui punktis G on tarbijad, kes kannatavad seetõttu madala rõhu käes, tuleks G ja H punktist teha üleviik.



Kui punktis G on tarbijad, kes kannatavad madala rõhu käes, tuleb teha punktist G kuni H üleviik. Lisada paralleeltoru, et toita kõrgemal olevaid tarbijaid. Pane tähele, et ehkki rõhk on madalam, tuleb kõik hüdrandid punkti G läheduses ümber tõsta 300 mm torule (suurem läbilaskevõime).

Lihtne näide demonstreeris, kui keerukas võib survetsoonide piiride defineerimine olla. Seetõttu ongi mudel suurepärase töövahend testimaks alternatiivseid viise klappide tingimuste muutmiseks. Juhul kui mudel enne skeletoniseeriti, tuleb uuritavat ala uuesti täpsustada, et me ei kaotaks selliste ülesannetes detailsust. Näiteks punktide E ja F juures olev sõlm asub kõrgemas rõhu piirkonnas ning just klappid on need elemendid, mis tekitavad eralduse (lõpu-sõlmed neile kahele torule) survetsoonides. Kui statsionaarses režiimis on mudel läbi arvatud ning leitud, et rõhud on vajalikus vahemikus tavalisel päeval, tuleks viia läbi ka hüdrantide vooluhulkade testid just piiride läheduses ning võrrelda tegelike hüdrantide testtulemitega. See toob välja võimalikud tuletõrjevee vajaduste kriitilised momendid, mis on tingitud piiride muutmisest ning võimaldab vähem vett viia teatud piirkonda. Mõnel juhul peab lisama torusid ning sulgema ringistusi. Lisaks võib osutada vajalikuks PRV või kontrollklappide installeerimine tsoonide vahele, et anda lisatoidet madalama rõhu piirkonnale kvaliteedi parandamiseks. Survetsoonide piiride muutmine võib endaga kaasa tuua toru-tupikute tekkimise, kus on väga väike vooluhulk. Neid tupikuid tuleb vältida, sest sellel on otsene mõju veekvaliteedile. Tühjendusklappide paigaldamine sellistele lõikudele võib osutada otstarbekaks.

Mahuti eemaldamine

Vahel võib juhtuda, et mahutid tuleb süsteemist eemaldada nende kontrolliks, puhastamiseks, parandamiseks või üle värvimiseks. Isegi väiksem kontroll võib viia mahuti sulgemiseni mitmeks päevaks, kuna aega-nõudvad tööd nõuavad oma: tühjaks laskmine, setete eemaldamine, uurimine, desinfitseerimine ning taastäitmine lõpetatakse. Kuna mahutid on süsteemi tööle väga olulised, siis mõjutab juba ühe süsteemist eemaldamine veevõrgu süsteemi näitajaid. Näiteks võib süsteemi võimekus oluliselt langeda ning miinimumtundidel võib süsteem sattuda ülerõhu alla (kui tarbimine on oluliselt väiksem pumba tootlikkusest).

Kuna mahutite oluline ülesanne on ühtlustada vooluhulkasid, siis on nende peamine eesmärk anda lisavooluhulka tipp-tunnil ning tulekustutuseks. Mahuti eemaldamine, elimineerib olulise allika hädajuhtumisteks. Taas tuleks kontrollida mudeli abil erinevates kohtades tulekahjuolukordi, kui mahuti on välja võetud – tuleb leida, kui palju saadakse lisa teistest allikatest (nt pumplad või rõhuklapid). Mudeli abil tuleks kontrollida lisaabinõude kasutegurit, sest tagavaraühenduse või pumba lisamine võib tuua vaid imeväikese kasvu vooluhulgas, kuna pudelikaelad eksisteerivad võrgu teistes osades. Lahendused peavad olema kättesaadavad ka tuletõrjebrigaadidele.

Pumbagraafikust sõltub, kuidas rõhk muutub vooluhulga vähenemisel/kasvades. Osa pumba graafikud on väga järsu langusega, mis tähendab, et väikegi muudatus vooluhulgas võib põhjustada olulise muudatuse rõhus (nt sügavatest suurkaevudest pumpamine).

Minimaalsel tarbimisel on pumba (konstantse pöörete arvuga) rõhk suurem. Rõhu kasv võib põhjustada torude purunemist (nt, kui ühes mahutiga oli max rõhk 59 m, siis mahutita on max rõhk: 69 m; lisa 10 m võib saada saatuslikuks mõnele torule, mis ennem vastu pidas). EPS mudeliga saab simuleerida ööpäeva lõikes liiga kõrgeid rõhkusid väikestel tarbimistel ning liiga madalaid rõhkusid tipp-tarbimistel.

PRV kaasamine pumba survepoolel, rõhualandusklapp, mis tagastab vee pumba imipoolele. *PRV* saab modelleerida kui rõhku hoidva klappina, mis avab end siis, kui rõhk ületab teatud piiri. Kui rõhud on liiga madalad tipp-tunnil, siis tuleks kasutada lisapumpa või seadistada pumba seadeid.

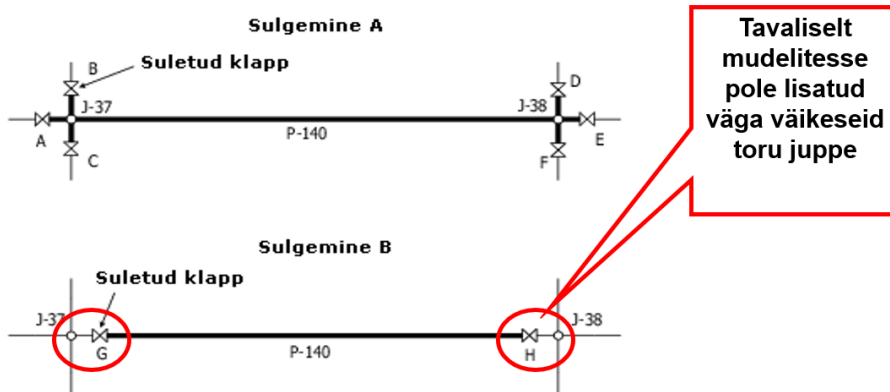
Süsteemi lõigu sulgemine

Torud eraldatakse aeg-ajalt süsteemist, et installeerida selle asemel uus toru, parandada olemasolevat või renoveerida kindlat lõiku. Mudelita peaks insener tegema, kas lihtsalt üliintelligentse oletuse süsteemi võime kohta või läbi viima proovi sulgemise nägemaks, mis juhtub. Simulatsioonid on seetõttu suurepärased alternatiivid või täiendused sellistele puhkudele. Oluline analüüsida sulgemise mõju, millised torud ning sõlmed on tööst väljas.

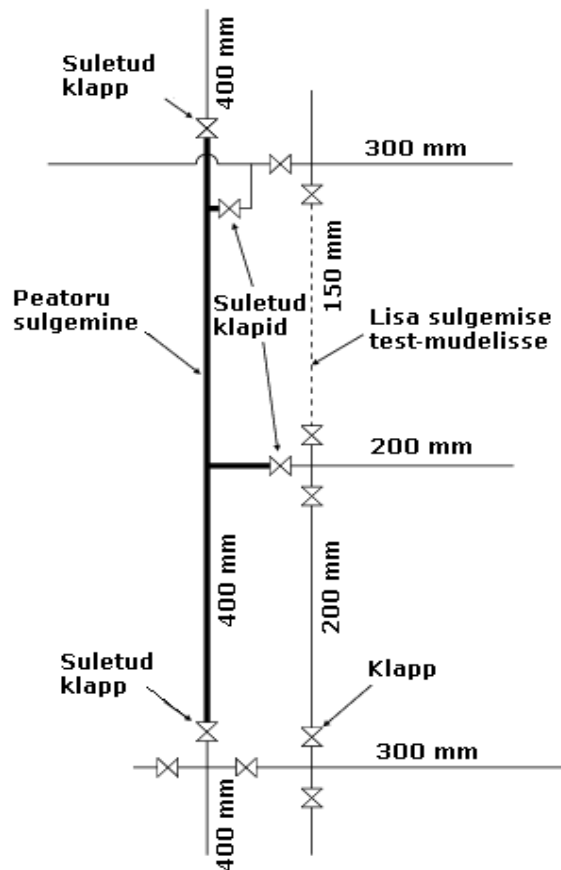


Allikas: Ref #24

Oluline on analüüsida sulgemise mõju; millised torud ning sõlmed on tööst väljas. Paljudes tarkvarades on võimalik võtta vaatluse alla toru kui objekt, mis võib olla, kas kinni või avatud.



Peatoru sulgemine on oluliselt keerukam. Skeletoniseerimise käigus eemaldatud torud tuleks taastada enne simulatsiooni.



Sulgemise simuleerimine tähendab seega ühelt poolt mudeli täiendamist ja seejärel, kas statsionaarse või *EPS* mudeli arvutust. Statsionaarse režiimi analüüs – kontrollida, kas mudelil on probleeme lähtuvalt *disconnected node*, mis viitab negatiivsele rõhule sõlmes. Tegelikult neid mõistagi ei esine ning mudelis tähendab see üldjuhul, et vajalikku vooluhulka ei suudeta anda. Tarbijad on ilma veeta. *EPS* analüüs - (mahutite veetasapindade järgimine, kas mahutitest tulev vesi tagab probleemsete piirkondade vajadusi). Tavaliselt, lühikese perioodi vältel mahutid suudavad tagada vooluhulga, mudelit saab kasutada selleks, et kontrollida, kui kaua selleks kulub, et mahuti tühjeneb või ei suuda täita enam nõuet – seejärel saab operaator võtta kasutusele täiendavad meetodid. Seega tuleb analüüsi käigus hinnata süsteemi vastupidavust ning alternatiivsete vahendite vajadust, nagu lisapumbad, lisaühendused naabertsoonidest või võtta kasutusele ajutine möödaviik (toru tõstmine maapinnale – *highlining*).

Elektrikatkestus

Elektrihäire võib mõjutada vaid pumbajaama või tervet süsteemi. Ükski elektrisüsteem pole 100% kindlusega. Sestap kasutatakse tavaliselt mingit alternatiivset või kombineeritud lähenemist elektrihäirete vastu: veetornid ja/või kõrgendatud mahutid, generaatorid. Viimased võivad paikneda pumbajaamas, või olla ajutiselt hoiul eemal ning probleemi korral transporditakse kohale. Generaatorid, mis asuvad pumbajaamas, võidakse tööle rakendada automaatselt, koheselt peale elektrihäiret või käivitada käsitsi. Elektrihäiret saab modelleerida mudelites lihtsalt pumpade töö seiskamisega (pöörete arv 0), juhul kui kogu süsteem töötab pumpadel, siis mõistagi mudeli käivitamisel antakse veateated. Mõningatel juhtudel on aga katkestus vaid kindlates survetsoonides ning neid võib ajutiselt toita fiktiivse reservuaariga (koos kontrollklapiga, mis annab madalat rõhku) ning seejärel vaadata, kus on rõhud negatiivsed, seal pole võimalik vett tarbijateni viia.

Esmalt viiakse läbi taas analüüs statsionaarsel režiimil ning leitakse, kus on sõlmed, mis koheselt süsteemist välja lülitatakse. Seejärel teostatakse EPS mudeli analüüs ning kontrollitakse mahutite kestvust. Kui süsteemides pole mahuteid, siis tuleks iga tsoon varustada reservuaariga, millel on väga väike surve ning ühendatud süsteemi väikse läbimõõduga toru abil nii, et sõlmi ei ühendata süsteemist lahti. Tarbijad, kes asuvad kõrguslikult madalamates kohtades, tajuvad teenuse halvenemist alles siis, kui mahutid on täielikult tühjenedud.

Tavaliselt elektrihäire järgselt vähenevad tarbimised, sest paljud tööstused ja asutused sulgevad vee puuduse tõttu töö. Samuti ei tööta ka nõudepesumasinaid ning pesumasinaid. Seega peaks modelleerija neid aspekte samuti kaasama ning leidma vähendatud tarbimised süsteemis tervikuna. Piirkondades, kus kasutatakse kaasaskantavaid elektrigeneraatoreid, töötab süsteem täielikult mahutite põhiselt kuniks generaatorid on kohale toodud, paika seatud ning tööle rakendatud. Pumba seadete abil saab mudelites selliseid olukordi luua. Arvestades näiteks generaatorite tööle rakendumisajaga (üles seadmine jne) saab pumpadele lisada mõne tunnise viite.

EPS mudelit tuleb testida ka peale häire lõppemist, sest probleemid võivad tekkida alles peale elektri taastumist, kuna sellele järgnevalt hakatakse taastama mahutite normaalset veetaset ning nende täitmine võib võtta tunde ja isegi päevi. Sestap tuleb vaadelda piisavalt pikka ajavahemikku. Lisaks tuleb arvestada asjaoludega, et kui mahuti on tühjenedud alla tema tavapärasest tasest, siis pump töötab suurema jõudlusega, sest süsteemis esineb väiksem vastusurve, see aga võib põhjustada pumba ülekuumenemist.

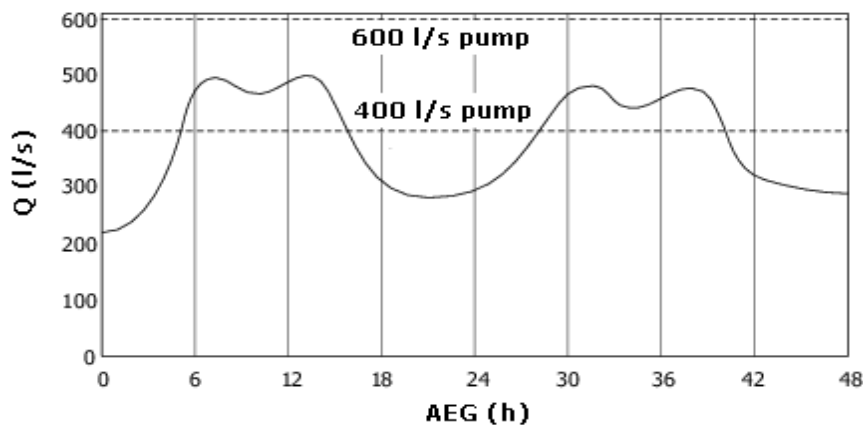
Energiatarbimine

Üks suuremaid opereerimise kulusid veeoperaatorile on energia peale kulutatav summa, et käigus hoida pumbasid. Kahjuks ei taju mitmed firmad endiselt seda, et väike investeering pumba modifikatsioonides või opereerimise tingimustes võib tuua olulise energiasäästu. Kuna energiakulu on pumpade juures väga suur, siis juba 1-2 % säästu võib anda mitu sada eurot kokkuhoidu aastas. Nii mõnedki pumbajaamad töötavad 20-30 % allpool pumba optimaalsest efektiivsusest. Tavalised opereerimise probleemid, mis tõstavad energiatarbimist:

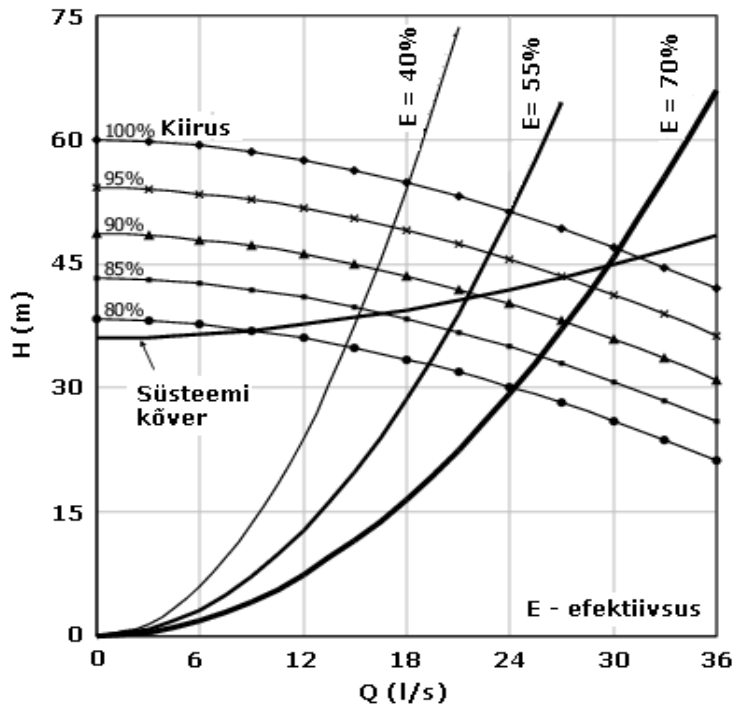
- Pumbad, mis ei pumpa enam rõhu vastu, milleks need disainiti
- Pumbad, mis valiti teatud perioodi analüüsidest ning kasutatakse siia maani
- Pöörete arvu reguleerimisvõimalusega pumbad, mis töötavad kiirustel, millele vastab ebaefektiivne opereerimise punkt

Pumba tööd analüüsidest võime kasutada üpris kõrge skeletoniseerimisastmega mudelit, kuna vaid peatorud on pumba energeetilise võimsuse arvutamiseks olulised. Detailsuste lisamine ei anna tihti peale kuigi suurt lisaefekti.

Lihtsaim on võtta pumba ööpäevane graafik ning võrrelda erinevatel ajahetkedel pumba tootlikkust efektiivse tootlikkusega – see töötab nii sirgjooneliselt vaid siis, kui mahuteid pole kasutusel. Pöörete arvu reguleerimisega pumpadel on lugu keerulisem, sest need pumbad ei tööta efektiivselt väga paljude vooluhulkade juures.



Pöörete arvu reguleerimisega pumpadel on lugu keerulisem, sest need pumbad ei tööta efektiivselt väga paljude vooluhulkade juures.



Mõned ebaefektiivsuse vähendamise võimalused: arvuta energiakulu (sõltub: Q – vooluhulk; H – tõstekõrgus; E – efektiivsus; ϵ - hind; T – aeg, mille vältel pump töötab.), hoida süsteemis vajavat rõhku stabiilsena, kontrolli pumba töögraafikuid regulaarselt, analüüsi võimsustarvet ööpäeva lõikes (tariifide struktuur), optimeeri pumpade koostööd ööpäeva lõikes (max E , min H , min ϵ). Optimeerimine avaldab suuremat mõju mahutitega süsteemides.

Pane tähele, et kui pump töötab erinevatel tööpunktidel, tuleb need arvutada eraldi. Arvutuste tegemisel arvesta ajasammu (kui tihti tööpunkt muutub). Võimalusel koosta $E = f(Q)$, mis lihtsustab arvutamist. $E = f(Q)$ lubab lihtsamini kasutada tabelarvutusprogramme, sest ei pea kogu aeg lugema Q väärtust pumba andmetest igal erineval ajahetkel.

Pumba töögraafiku optimeerimine (enamus samme on üsna üheselt teostatavad, tarbimiste hindamine sisaldab teatavat ebamäärasust):

1. Loo kalibreeritud EPS mudel
2. Sisesta elektritariifid, efektiivsuskõverad
3. Koosta ääritingimused mahutitele ning süsteemi rõhkudele
4. Hinda tegelikku tarbimist vaadeldaval päeval
5. Käivita optimeerimisalgoritm
6. Kontrolli tulemuste loogilisust
7. Edasta tulemused operaatorile

Süsteemi läbipesu

Oluline viis kontrollida operaatoril veekvaliteeti. Läbipesu liigutab ning eemaldab setteid ning eemaldab kehva kvaliteediga vee – asendades selle uue värske veega. Viiakse läbi hüdrantide avamise teel lähtepunktist (pumbajaam, mahuti) lõpp-punkti suunas (kaugeim võrgupunkt). Mudelitega on võimalik analüüsida, mismoodi läbipesu tuleks rakendada. Enamjaolt on vajalik täpset mudelit, et hinnata kiirusi torudes ning kui on tegemist mitut sisendit omava süsteemiga, siis on üsna raske kindlaks määrata, mis suunas vesi voolab. Mudeli kasutamine aitab seda situatsiooni lahendada. Hüdrandi vooluhulka saab hinnata lihtsa valemiga:

$$Q = K\sqrt{P},$$

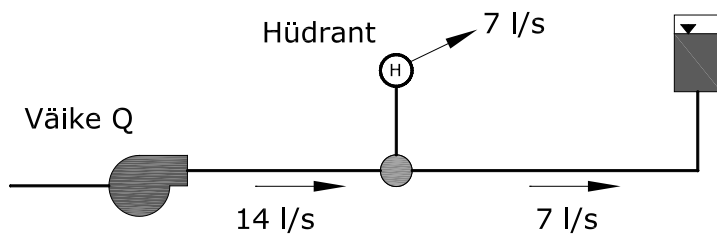
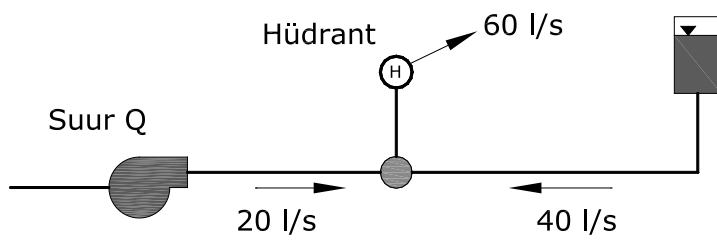
kus: K – kogu ava koefitsient ($l/s/m^{0.5}$); P – rõhulang üle hüdrandi (m).

Võib vaadata kahte pidi:

- K – sisaldab survekadu läbi hüdrandi + kiiruskõrguse teisendus survekõrguseks (saab leida *Bernoulli* seosest)
- k – survekao koefitsient läbi hüdrandi (teada väärtus) (määrataud max väärtused)

Hüdrandi modelleerimist mudelis (paigutus) saab vaadelda sõlme omadusena, *flow emitter* – mudeli sõlme omadus, mis seob sõlme vooluhulga sõlme rõhuga.

Mahutite olemasolul tuleb arvestada sellega, et üles tõstetud setet ei viida mahutisse.



Mudeliga saab kindlaks teha, kas läbipesu teha suuremal vooluhulgal või tuleb sulgeda klappe voolusuuna kontrollimiseks.

Eduka läbipesu parimaks indikaatoriks on voolukiirus (suhtarvuna või absoluudina):

- Suhtarvuna – kui mitu korda tõusid vooluhulk läbipesu käigus konkreetses torus.
- Absoluut – 0.6 -1.5 m/s on hea tulemus.

Läbipesu peab kestma teatud aja, et häiritud vesi jõuaks süsteemist väljuda. Kontsentratsiooni parameetrit kasutades saab simuleerida optimaalset aega läbipesuks. Eesmärk on maksimeerida puhastatud alasid ning minimeerida häiritud, kuid puhastamata alasid.

Desinfitseerimine

Peamine desinfektor lisatakse veepuhastusjaamast, et oksüdeerida anorgaanilist ainet, kontrollida maitset ning lõhna ning täita desinfitseerimise nõudeid. Teist järku desinfektorit lisatakse selle kestvuseks süsteemis takistamaks/aeglustamaks bakterite kasvu. Lubatud kontsentratsioonid on rangelt paika pandud. Desinfektorite tasemeid kontrollitakse mõõtmiste teel. Need muutuvad ööpäeva lõikes ning sestap ei pruugi mõõtmised üheselt anda vastust kontsentratsioonide kohta. Desinfektorit võidakse lisada ka mobiilsetes asukohtades – sisendpunktidest kaugel, asjaolul, et kontsentratsiooni tõstmine sisendis ei pruugi olla võimalik. Samas on nende näol tegu lisa opereerimist vajava valdkonnaga ning kujutab ka turvariski. Lisaks on eraldi vaja uurida, kus on kõige optimaalsemad asukohad nende paigutamiseks.

Lekke mõiste

Lekke all mõistame veekadu veevõrgust, mis pole kontrollitav. Leke on üks komponent kõikidest veekadudest võrgus, kaasates nii veekadusid torus, ühenduspunktides/liitmikes ning reservuaaridest. Lekked eksisteerivad mistahes veevõrgusüsteemis ning see on probleemiks mistahes maailmanurgas. Lekked erinevad riigi, regiooni ning süsteemi (survetsooni) põhiselt.

Lekete kontroll

Meetodid jagunevad: lekete hindamine; lekete lokaliseerimine ning lekete haldamine.

Süsteemi Q	Autoriseeritud tarbimine	Arvete baasil	Arvete põhine mõõdetud tarbimine	Tulu toov vesi
			Arvete põhine mõõtmata tarbimine	
		Arveta	Arveta mõõdetud tarbimine	Tulu mitte toov vesi
			Arveta mõõtmata tarbimine	
	Veekaod	Näivad kaod	Autoriseerimata tarbimine	Tulu mitte toov vesi
			Mõõtjate ebatäpsused	
		Tegelikud kaod	Leke pea- ja jaotustorustikes	
			Leke ning ülevool operaatori mahutitest	
			Leke ühendustorustikes, tarbija veemõõtjani	

Joonisel. Lekete hindamine. Tavaliselt teostatakse bilansi arvutus. Mudelit üldjuhul ei vajata.

Lekete lokaliseerimiseks kasutatakse sihifunktsiooni:

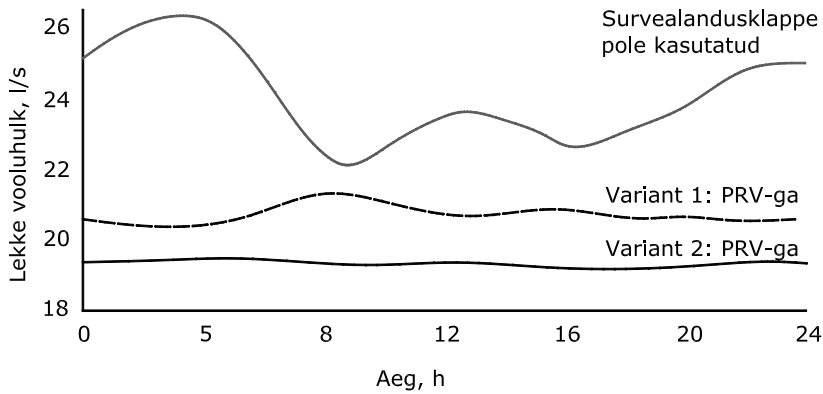
$$E = \sum_{i=1}^M (h_i^m - h_i)^2,$$

kus: E – summaarne ruutviga mõõdetud ja modelleeritud survete vahel; h – mõõdetud või modelleeritud surve.

Lekete haldamise tüüpiline näide on pumplas rõhu alandamine, kui seda võrgus ei vajata (näiteks rõhualandusklaaside kaasamine võrgu eri piirkondades). See vähendab otseselt ka lekkeid, sest lekked sõltuvad rõhust:

$$q = k \cdot H^\beta,$$

kus: q – lekke vooluhulk (nt l/s); k – lekke ava koefitsient (nt EPANET tarkvaras 'Emitter Coefficient' sõlme parameeter); H – vabasurve lekke punktis (nt mH2O); β - lekke eksponent (nt EPANET tarkvaras 'Emitter Exponent', globaalne väärtus, mis iseloomustab lekke tüüpi, kas tegemist korrapärase ava või praoga).



Allikas: Ref #25

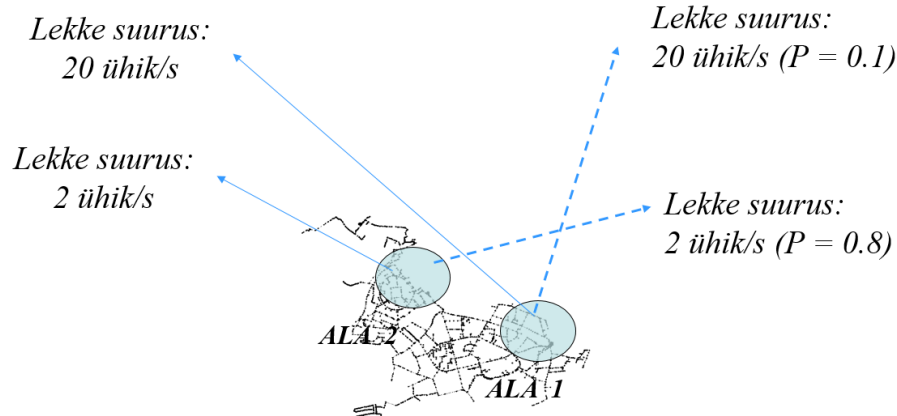
Mudelil põhinevad lekete avastamise meetodid jagunevad: (a) deterministlik käsitus ning (b) stohhastiline käsitus.

Enamik saadaolevatest meetoditest kuuluvad deterministliku käsitluse alla, kus esitatakse üks väärtus lekke asukohale ning suurusele. Stohhastilist käsitlust on vähem uuritud. Selle puhul seotakse lekke väärtus selle tõenäosusega (suurus, asukoht).

Deterministlik

vs.

Stohhastiline



Kui tagasi tulla optimeerimise juurde (kalibreerimine on optimeerimise üks alaliike), siis mittelineaarsetes ülesannetes seisneb põhiküsimus tihtipeale teatud ekstreemumite leidmises, mis annavad ülesandele lahendi.

Ekstreemumi ülesannet võib vaadelda ka järgnevate piltide jadana, kus peategelaseks on kanguru. Üks stohhastiliste meetodite olulisemaid eeliseid on see, et põhimõtteliselt võib lekkeid hakata otsima ka olukorras, kus on mõõtmisi teostatud vaid mõnes üksikus punktis. Hiljem on võimalik tulemusi uuendada lisamõõtmiste teel.



Võtame känguru, kes soovib ronida mäe otsa, kuid ta ei näe selle reljeefi paksu udu tõttu. Ta võib kasutada erinevaid strateegiaid, ettevaatlikult uurides oma ümbrust ning otsides kõige järsemat nurka ülasingu, mis peaks ta lõpuks tippu viima.



Ettevaatlikult ümbrusega tutvudes ja liikudes alati ülespoole, võib känguru jõuda ka tippu. See töötab justkui pildil toodud juhul. Aga, kas see ikka on kõrgeim tipp?



Samas ei pruugi olla see ainus ekstreemum antud piirkonnas. Ta jääb püsima esimese, lokaalse tipu juurde, mille ta leiab. See on aga lokaalne optimum ning mitte globaalne optimum.



Asja teeks veelgi keerulisemaks olukord, kus känguru lõpetab otsimise liiga vara. Näiteks kui reljeef sisaldab mitut tippu, siis on üsna tõenäoline, et känguru jääb püsima mõnda lokaalsesse optimumi.

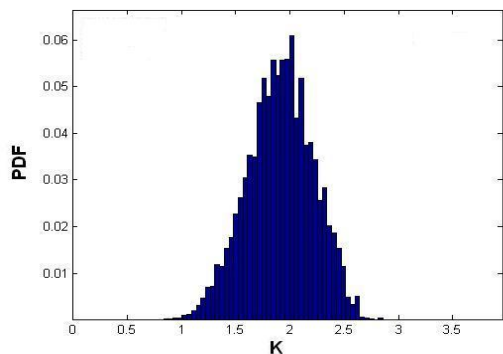


Asja ei parandaks ka see, kui tegemist oleks ainukesel tipuga tasandikul, sest sellisel juhul känguru lõpetab otsimise, kuna tema lähiümbrus ei muutu.



Tänapäeva meetodid võimaldavad ekstreemumeid otsida globaalselt. Teisisõnu, otsingutes osaleb mitu kängurut, kes on võimelised omavahel infot vahetama ning koonduma teatud piirkonnas, mis ongi lõplik ekstreemum.

Stohhastilise meetodina on kasutatud *SCEM-UA* algoritmi lekete kontrolliks. Kasutaja peab määrama: kui mitut “känguru” kasutatakse ning kuidas neid grupeeritakse; vajalik defineerida, mida nad otsivad? Lekkeid? Kuidas lekkeid defineeritakse ning modelleeritakse?; mis eeldused võime enne arvutust teha (kui palju lekkeid kokku) (*prior estimates*).



Kalibreerimisprobleem võidakse defineerida kahte moodi: (a) kalibreeritakse ühes toru karedustega iteratiivselt; või (b) kalibreeritakse vaid lekete lõikes (toru karedused on varasemalt kalibreeritud). Sõltuvalt süsteemist on teatud üldine kaoprotsent, mida pole otstarbekas enam vähendada, sest kulutused on suuremad kui sellest saadav kasu. Seega alla 10% kadu on juba väga hea. Samas on piirkondi, kus lekkes on 40-50% ja teiselt poolt ka 5% ringis (Holland).

Leket mõjutavad faktorid

Lekke suurust süsteemis mõjutab ennekõike rõhk. Lekke suurus kasvab kui süsteemis olev rõhk kasvab, mis on omakorda mõjutatud: (a) hüdraulilisest seosest; (b) lekke avaus suureneb (praod, ühendused, liitmikud); (c) purunemiste kasv. Lisaks võib ka rõhust tingitud hüdrauliline löök põhjustada toru purunemist. Rõhu jätkuv ostsilleerimine võib viia aga materjali väsimusest tingitud probleemideni.

Ka pinnase liikumine põhjustab torude purunemist ning liitmike ümberpaiknemist. See on tingitud pinnase koostise muutumisest, ennekõike savipinnastes – kokkuvarisemine aga ka temperatuuri muutustest, jäätumisest või mõnest kõrvalnähtusest (nt kaevandamine, maavärin).



Allikas: Ref #26

Pinnas oma omadustega võib olla nii-öelda süüdi lekke tekkimisel aga ka selle peitmisel. Agressiivsed pinnased võivad põhjustada toru välimist korrosiooni. Mõnedes pinnastes (nt savi) võib lekke ilmuda pinnale suhteliselt ruttu, samas kui liivapinnastes ei pruugi see pinnale üldse jõudagi.



Allikas: Ref #27



Allikas: Ref #28

Vee teatud karakteristikud võivad samuti viia toru sisemise korrosioonini. Lisaks võib probleeme tekitada materjali kvaliteet, liitmikud ning ehituskvaliteet. Teatud piirkondades peab arvestama aga liikluskoormus, millest võivad tekkida ülisuured pinged. Infrastruktuur aja jooksul halveneb/vananeb, ja seetõttu kasvab ajas ka lekete ilmnemine. Lekke meetodeid võib jagada ka lihtsalt kahte suure gruppi: (a) aktiivne ning (b) passiivne.

Lekke tagajärjed

Lekke tagajärjel võib saada kannata infrastruktuuri teised osad või kahjukannataks võivad olla hoopis kolmandad osapooled. Kindlasti põhjustavad lekked tarbijale ebamugavusi (sh ebapiisav surve). Vee-ettevõttele on see aga finantsiline kadu, kuna lekke olemasolu on otsene energia kadu. Lekke tagajärjel võib torudesse tõmmata ka kahjulikke aineid, mistõttu võivad tekkida vee tarbimise tagajärjel ka terviseprobleemid.



Allikas: Ref #29



Allikas: Ref #30

Lekete ilmnemine

Toru lekked tekivad enamjaolt peatorudel (suuremad surved), aga vähemtähtsam ei ole ka jaotustorustiku või liitumistorustiku leke, sest need on väiksemad ja raskem avastada. Juhul kui süsteemis on ka mahutid/reservuaarid, siis võivad ka neis esineda lekked ja/või ülevoolud.



Lekete hinnang

Lekete hinnangu eesmärk on määrata üldine lekete tase (sõltumata nende asukohast). Eksisteerib väga erinevaid meetodeid – üldjuhul räägime vee bilansil põhinevatest meetoditest. Näiteks allolevalt on toodud UK bilansi meetod:

Süsteemi Q	Võrku antav vesi	Arvetel põhinev tarbimine	Mõõdetud, arvepõhine tarbimine
			Mõõtmata, arvepõhine tarbimine
			Torustikega seotud veekaod
	Arveta vee tarbimine (illegaalne)		
	Veevõrgu opereerimisega seotud (legaalsed)		
Torustikus olevad kaod			Leke pea- ja jaotustorustikes
			Leke ning ülevool operaatori mahutitest
			Leke ühendustorustikes

Lekete vastutusala piirid

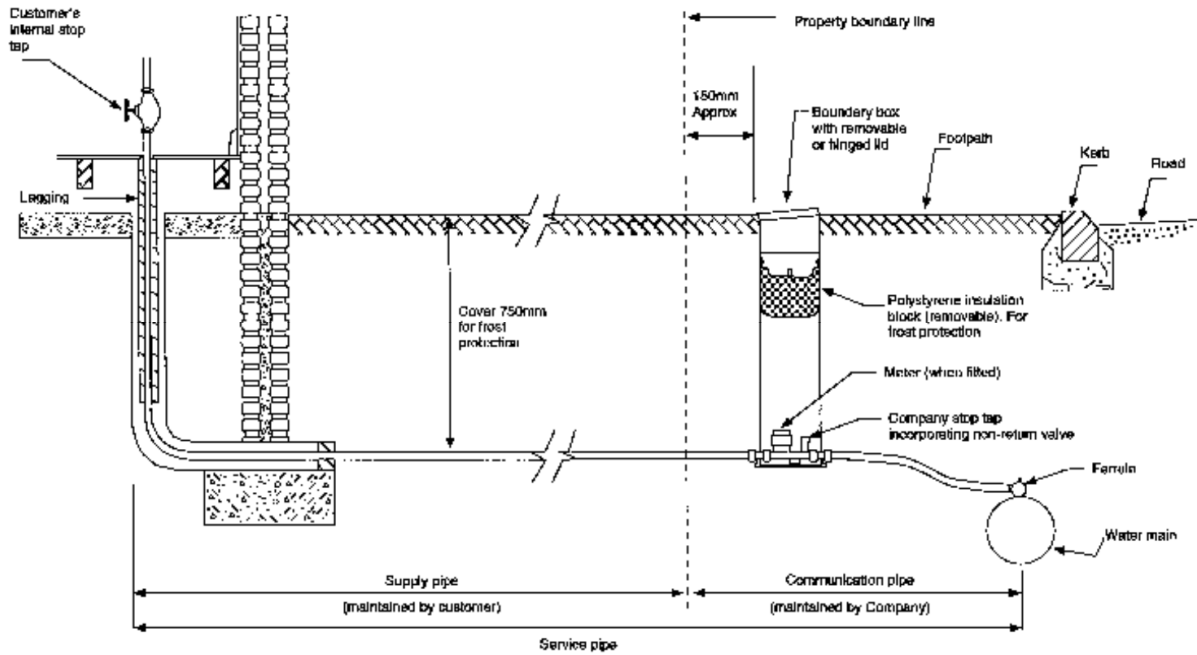


Figure 3.2 from the UKWIR/WRC's Managing Leakage Report A

Allikas: Ref #34

IWA (Internatioanl Water Association) veebilansil põhinev meetod.

Süsteemi Q	Autoriseeritud tarbimine	Arvete baasil	Arvete põhine mõõdetud tarbimine	Tulu toov vesi
			Arvete põhine mõõtmata tarbimine	
		Arveta	Arveta mõõdetud tarbimine	Tulu mitte toov vesi
			Arveta mõõtmata tarbimine	
	Veekaod	Näivad kaod	Autoriseerimata tarbimine	
			Mõõtmata ebatäpsused	
		Tegelikud kaod	Leke pea- ja jaotustorustikes	
			Leke ning ülevool operaatori mahutitest	
Leke ühendustorustikes, tarbija veemõõtjani				

Lekkeid saab hinnata ülevalt-alla (*top-down*) või alt-üles (*bottom-up; Minimum Night Flow*). Lisaks on võimalik teostada ka komponentidel põhinevat hindamist (*Bursts And Background Estimates, BABE*).

Ülevalt-alla hindamise meetod annab hinnangu põhilistele veebilansi puudutavatele komponentidele veevõrgu operaatori või regionaalsel tasemel. Igat komponenti hinnatakse ruumiliselt (kaardipõhised) jaotatud andmete põhjal.

Arvestatud mõõtmata tarbimine (*Billed unmetered consumption*) = tarbimine inimese kohta *
kruntide arv * inimeste arv

Vea hinnang on analüüsi üks olulisemaid osasid. Üldjuhul alahinnatakse lekke suurust kuna komponente ei osata täpselt määratleda.

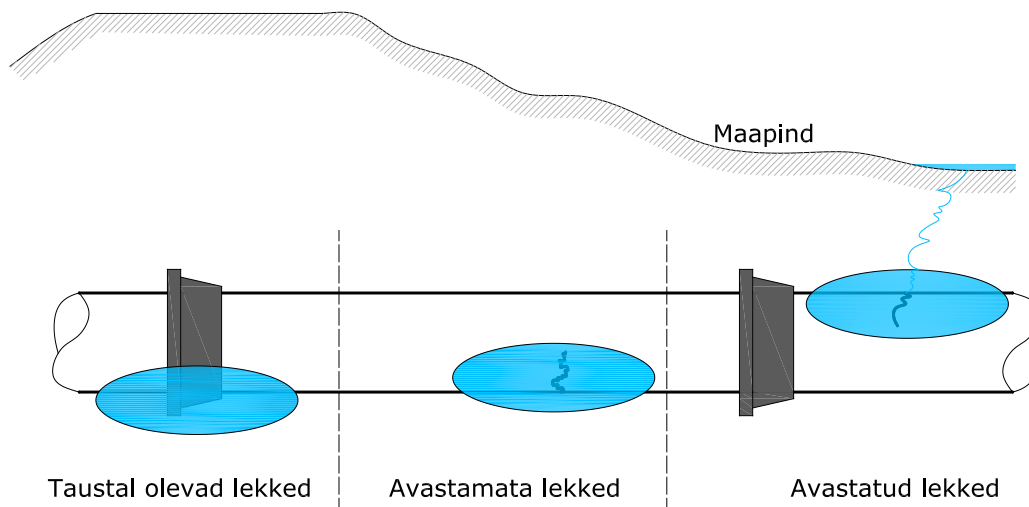
Alt-üles hindamise meetod lähtub ühest survetsoonist, hinnang põhineb *Minimum Night Flow (MNF)* analüüsil (analüüsil kui tarbimine on minimaalne). Seejärel rakendatakse tulemused tsooni, regiooni või operaatori tasemel. Annab nii mõõdetud väärtuse kui ka üksikute veebilansi komponentide väärtused. Täpsem kui "*ülevalt-alla*" meetod, kuid selle läbiviimiseks kulub ka rohkem aega. Oluline teostada vea analüüs.

Minimum Night Flow analüüsis vaadeldakse süsteemi sisenevat vooluhulka tarbimise minimaalsel hetkel (tunnil). Arvestatakse kõikide sisenevate/väljuvate vooluhulkadega vaadeldavas süsteemis. Arvestatakse vaadeldaval perioodil tarbitavat veekogust. Veekaod arvestatakse seejärel kahe eelnevate väärtuste vahest.

BABE (Bursts And Background Estimates) mudeli võttis kasutusel *A.Lambert (1994)*, mida on uuendatakse pidevalt. Publitseeritud *UKWIR Managing Leakage Report E* artiklina. Üldjuhul kasutatakse survetsooni tasemel, kusjuures kaasatakse ka *MNF (Minimum Night Flow)* analüüsi. Põhineb lekke komponentide analüüsil.

Avastatud lekkesed ning purunemised on tüüpiliselt suuremad kui 500 l/h, 50 m vabasurve korral. Põhjustaks äkiline toru purunemine. Iseloomulik on suured vooluhulgad ning nende lühike kestvus, sest leke tüüpiliselt avastatakse visuaalsel teel.

Avastamata lekkeid ning purunemisi on aga raske määrata, kuna need toimuvad keskpärastel lekkevooluhulkadel. Kestvus määratakse aktiivse lekke haldamise meetodiga. Taustal olevad lekked eksisteerivad kehvad ühenduste tõttu. Ehkki on lekkevooluhulgad väikesed, siis nende pikk kestvus (kuudes, aastates) võib anda suure lekke mõõdu summa-summaarum välja.



BABE mudel hindab kolme lekke komponenti, kaasates lihtsaid eelduseid keskmise lekke vooluhulga, sageduse ning kestvuse kohta. Kaasatud IWA lekke meetodikasse. Algselt ei arvestanud rõhust tingitud muutuseid – nüüd on see komponent kaasatud (FAVAD meetod).

FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharge Paths*) mudeli võttis kasutusele May (1994). Varasemalt on eeldatud, et:

$$Q_{leke} = C_d A (2gP)^{0.5}$$

Autor leidis, et lekke ala (pindala, $C_d A$) võib samuti rõhust tingituna muutuda (astendaja pole seega 0.5 vaid vahemikus 0.5–2.5). See teadmine oli oluline nüanss rõhu ja lekke omavahelise seose kirjeldamiseks.

Lekete määramine

Lekke teadvustamine/lokaliseerimise meetodid on näiteks: vooluhulgamõõturid, logerid, reaalse veevõrgu mudelid, mõõtmisüsteemid, hüdraulilise löögi pöördülesanne, närvivõrgud jpt. Lekke asukoha määramiseks kasutatakse aga näiteks: *step-testing* meetodit, akustilisi logereid, infrapuna kaameraid jpm. Lekke täpne asukoha määramine toimub aga heli kaudu, korrelatsioonil põhineva meetodi teel, või toru sisemise pinna uuringutena jpt.

Step-testing

See on tsoonide kaupa testimine. Süstemaatiline lekke uuringu ala vähendamine klappide sulgemise läbi, mõõtes samal ajal vooluhulka süsteemis. Vooluhulga järsk kahanemine/kukkumine viitab konkreetse, vaadeldava sektsioonis olevale lekkele. Varasem meetod põhjustas suure hulga tarbijate häirimist. Uuem meetod käsitleb torude sulgemist väga lühikese aja perioodi jooksul (andmete salvestamine ning ülekandmine sidevõrkude kaudu, seega väheneb häirituse aega). Probleemiks on aga suur aja- ning inimressurssi kulu (ületunnitööd) + tarbijate teavitamine (kulukas, aega nõudev).

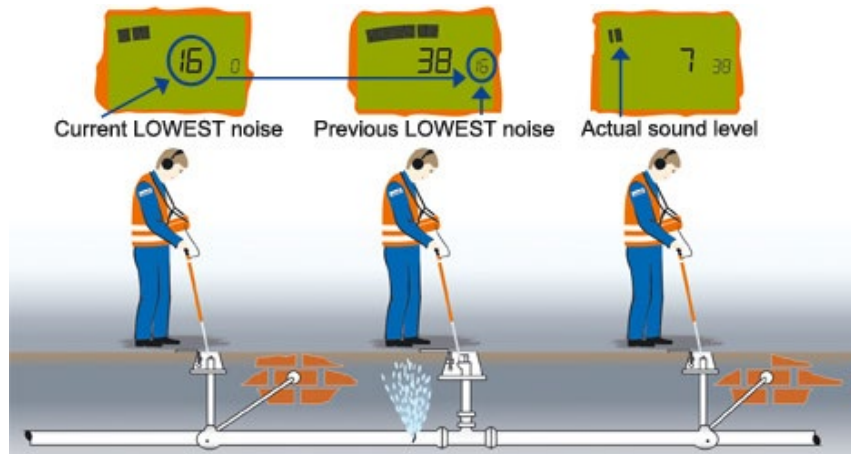
Akustilised meetodid

Akustilised meetodid eeldavad lekke poolt põhjustatud helisignaali analüüsi, mis lähtuvad: klappidest; hüdrantidest või maapinnal kuulates. Analüüsi saab läbi viia kui järel-analüüsi (olles eelnevalt leidnud kinnitust lekke olemasolu kohta antud piirkonnas) või kui põhjaliku ning tervikliku survetsooni analüüsina.

Lihtsamad akustilised meetodid sõltuvad lekke poolt põhjustatud helitaseme tugevusest. Selle meetodi näiteks võib tuua lihtsa lekke kuulamise meetodi (mikrofon).

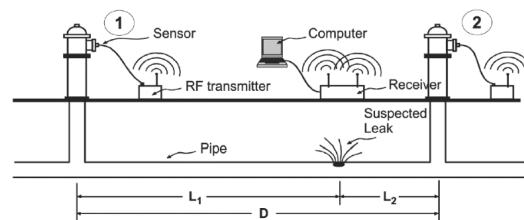
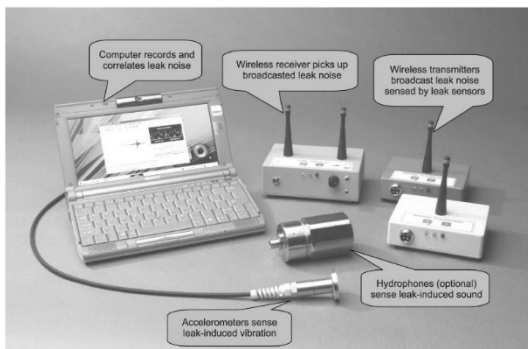


Allikas: Ref #35



Allikas: Ref #36

Keerukamad akustilised meetodid kaasavad lekke heli korrelatsiooni. Põhineb lekke poolt põhjustatud helilaine kiirusest kui see liigub piki toru seina ning mõlema mikrofoni suunas. Lekke asukoht määratakse ajalisest nihkest, mis saadakse kahe mikrofoni poolt tehtud lindistustest. Värskemaid meetodeid võimaldavad lekkeid määrata väga täpselt (1 m täpsusega) mistahes toru läbimõõtu korral. Tehnoloogia on üldjuhul kaasaskantav.



Allikas: Ref #37

Lekke heli mõjutavad mitmed faktorid. Parem heli kvaliteet saadakse suurematel veevõrgu survetel, vähekaredatel torudel, metalltorudel ning väiksema läbimõõduga torudel.

Mitte-helilised meetodid

Akustiliste meetodite suurimaks probleemiks on asjaolu, et need ei tööta plasttorude korral. Alternatiivsed meetodid on gaasi sisestamisel põhinevad, infrapuna-, maapinna radarid jt.

Gaasil põhinevad meetodid

Gaas (nt vesinik, lämmastik) lastakse teatud isoleeritud süsteemi (veetoru). Gaas väljub lekke avast ning levib maapinnale. Gaasi kogust uuritakse maapinnal väga tundlikku gaasi indikaatorsüsteemiga.

Infrapuna süsteemid

Vee leke mõjutab pinnase soojuslike karakteristikuid, - lekke asukohas toimub soojuse parem jaotumine kui pinnases, kus lekkeid pole (kuiv pinnas). Probleemsed seksioonid leitakse kas käsikaameraid või autos olevaid seadmeid kasutades (uuritakse pinnast vahetult toru peal).

Lekete indikaatorid

Leket võib esitada erinevalt. Näiteks absoluutarvuna (ML/päevas või ML/aastas), lekke protsendina (mahuprotsendina ehk % süsteemi sisse antavast kogusest või rahalise kaona ehk % süsteemi jooksvatest kuludest), ühiklekkena (l / krunt / h; l / liitumispunkt / päevas; l / km / h; või ka m³ / km / päevas), lekkeindeksina (ILI). Eksisteerib ka palju teisi, alternatiivseid indikaatoreid.

Lekkeindeks

ILI (Infrastructure Leakage Index) lekkeindeksi saab leida kui:

$$ILI = CARL / UARL,$$

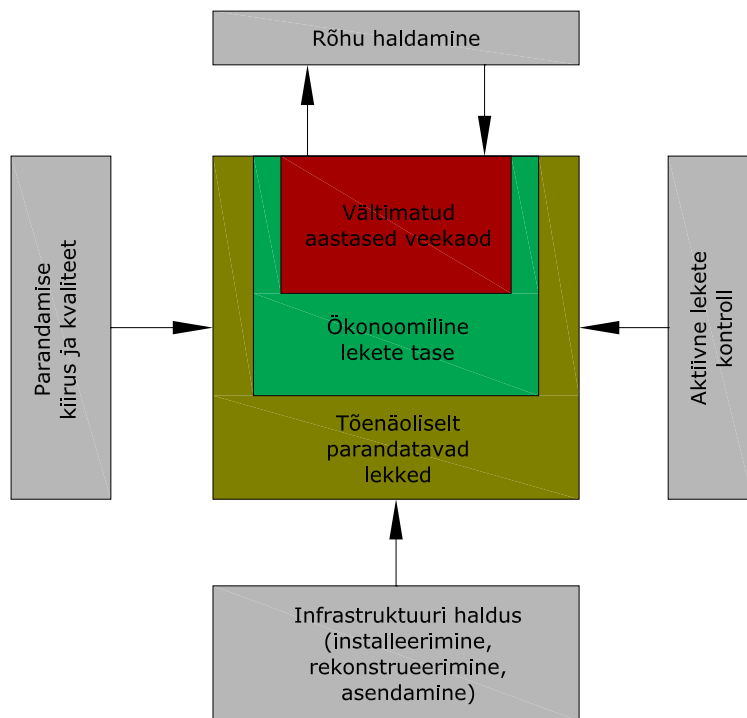
kus: *CARL: Current Annual Real Losses; UARL: Unavoidable Annual Real Losses*

ILI näitab kui hästi on lekke haldamine süsteemis kontrolli all, kaasates: (a) lekke parandamise kiirust ning parandamise kvaliteeti; (b) aktiivset lekke kontrollimeetodikat; ning (c) toru materjalide haldamist. *ILI* indeks, mis jääb 1.0 lähedale on perfektne lekke haldamise indikaator vaadeldaval rõhul.

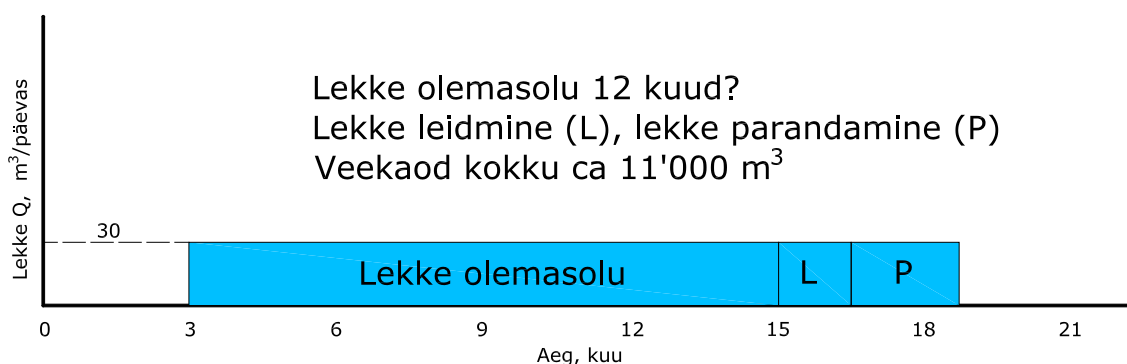
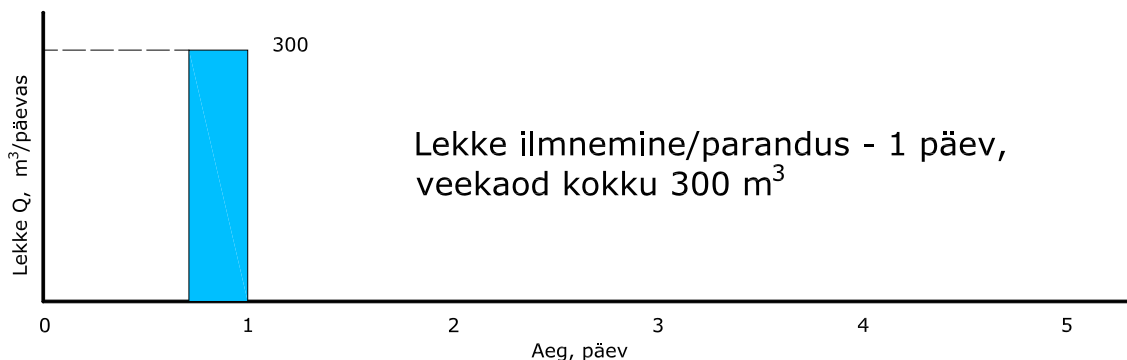
UARL arvutus põhineb: torustiku pikkusel, tarbimispunktide arvust, tarbijate veemõõtjate asukohast, keskmisest süsteemi rõhust. Arvutusmeetod põhineb *BABE* kontseptsioonil.

Lekke kontroll

Lekke kontrolli saab läbi viia järgmistel tasanditel: rõhu haldamine, aktiivne lekke kontroll, lekke parandamise kiirus ning kvaliteet, infrastruktuuri haldamine. Eelnimetatud tasandite oskuslik kombineerimine on eduka lekke kontrolli alus.



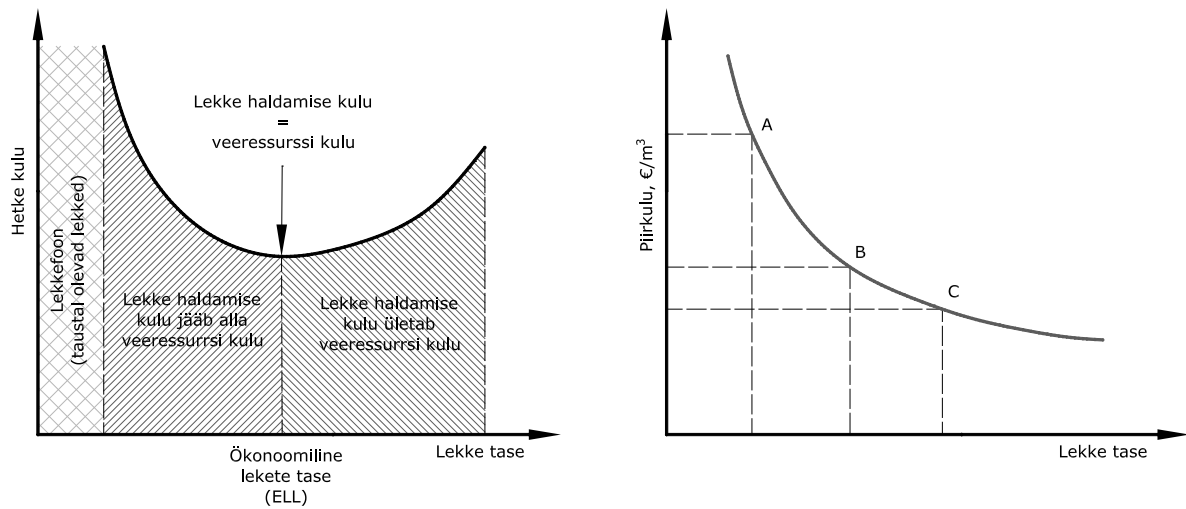
Rõhu haldamise korral on tüüpiliseks tegevuseks rõhu alandamine läbi survealandusklaaside kasutamise / installeerimise. Paranduste kvaliteet ning leidmise kiirus.



Aktiivse lekete kontrolli juures kasutatakse õist vooluhulga mõõtmist ning lekke akustilisi avastamise meetodeid. Infrastruktuuri haldamise juures tegeletakse tegelike kadude haldamisega ühendustorustikes. Siin tekib vastutussala / omandi küsimus. Võivad eksisteerida pika-ajalised lekkes mitte mõõdetavates sektiioonides. Mõned riigid kasutavad aktiivseid meetodeid, et aidata tarbijal leida üles lekkesid märksa kiiremini.

Lekete eesmärgistamine

Lekke ökonomiline tase määratleb piiri, kust pole otstarbekas enam lekkeid süsteemis vähendada (*Economic Level of Leakage = ELL*).



Lekete analüüs on keerukam kui seda esialgu võiks arvata. Lekete analüüsiks on vaja eriteadmisi. Lekete meetodite parendamine on jätkuvalt aktuaalne üle maailma.

Referentsid

Pildimaterjal

- Ref #21 Ocean city (Maryland, USA), Google Earth, 38° 22' 39" N, 75° 04' 31.45" W, elevation = 0 m
- Ref #22 Ocean city veemahutid, artiklist:
http://www.mdp.state.md.us/PDF/OurWork/CompPlans/Worcester/OceanCity/09_WRE_OceanCity.pdf
- Ref #23 <http://www.sctcc.net/images/chimney1.jpeg>
- Ref #24 <http://www.dep.state.fl.us/central/home/drinkingwater/Reporting/IncidentReporting/watermainbreak.jpg>
- Ref #25 Pilt põhineb: Vairavamoorthy, K. and Lumbers, J., 1998. Leakage reduction in water distribution systems: optimal valve control. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124 (1), 1146–1154.
- Ref #26 http://www.usu.edu/ust/img/large/Water-Main-Break_ust.jpg*
- Ref #27 http://www.raccoonpoint.net/uploads/leak_3.jpg*
- Ref #28 Puddle or a leak, http://aquacue.files.wordpress.com/2012/04/img_3622.jpg*
- Ref #29 Corey Collins, http://www2.wbtw.com/mgmedia/image/0/0/398360/surfside-water-break/*
- Ref #30 Dennis Robitaille, http://www.ablehomeinspection.com/inspection-photos/tubwater.jpg*
- Ref #31 http://www.raccoonpoint.net/uploads/leak_2.jpg*
- Ref #32 http://www.raccoonpoint.net/uploads/leak_6.jpg*
- Ref #33 http://www.raccoonpoint.net/uploads/leak_5.jpg*
- Ref #34 Pilt raportist: UKWIR/WRC's Managing Leakage Report A (Figure 3.2), <http://www.ukwir.org/web/ukwirlibrary/94199>
- Ref #35 Aquaphon, <http://www.sewerin.co.za/images/aquaphon-100-1.jpg>
- Ref #36 Aquaphon, <http://www.sewerin.co.za/images/aquaphon-100-10.jpg>
- Ref #37 Artiklist: Hunaidi, O., Wang, A. A new system for locating leaks in urban water distribution pipes, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 2006, Vol. 7, Issue 4, pp. 450 - 466.

Artiklid

May, J. (1994). Pressure Dependent Leakage. *World Water and Environmental Engineering*, October 1994, p. 10.