

Áreiðanleikagreining vatnsdreifikerfa

Ólafur Pétur Pálsson, Verkfræðideild HÍ

Ólafur Pétur Pálsson, Verkfræðideild, Háskóla Íslands
Guðmundur R. Jónsson, Verkfræðideild, Háskóla Íslands
Valdimar K. Jónsson, Verkfræðideild, Háskóla Íslands

Inngangur

Hlutverk vatnsdreifikerfa, hvort heldur sem er vatnsveitna eða hitaveitna, er að sjá til þess að viðskiptavinir þeirra hafi aðgang að nægjanlegu vatnsmagni við réttan þrýsting þegar þeir þurfa á því að halda og við rétt hitastig. Þessu markmiði getur verið erfitt að ná vegna óhjákvæmilegra bilana í dreifikerfunum. Því er áhugavert fyrir vatnsveitur og hitaveitur að meta hverjar líkurnar eru á því að vatnið sem þær dreifa komist til notenda. Þetta er einkum áhugavert ef bera á saman mismunandi valkosti á breytingum og úrbótum á dreifikerfinu. Lýst verður rannsóknnum á áreiðanleika dreifikerfi vatnsveitu en þær voru unnar að frumkvæði Vatnsveitu Reykjavíkur, sem nú hefur sameinast Orkuveitu Reykjavíkur. Áreiðanleiki dreifikerfisins er metinn og hann borinn saman við áreiðanleikann eftir hugsanlegar breytingar á því.

Við mat á áreiðanleika eru bornar saman tvær lausnaraðferðir. Annars vegar sundurgreining (*e. analytical method*) sem felst í að leiða út jöfnur fyrir áreiðanleika kerfisins. Með þeirri aðferð fæst mat á vatnsleysislíkum kerfisins beint. Hins vegar var notuð hermun (*e. simulation method*), en þar er líkt eftir hegðun kerfisins yfir langan tíma. Með hermuninni fæst öryggisbil fyrir líkurnar ásamt mati á því hversu lengi í einu og hve oft verður vatnslaut í kerfinu.

Athugun á dreifikerfum vatnsveitna hafa verið gerðar víða og niðurstöður þeirra birtar bæði í tímaritum og bókum, sjá til dæmis [5], [2] og [4]. Áreiðanleiki vatnsveitna hérlendis hefur ekki verið metinn á kerfisbundinn hátt áður svo vitað sé.

Notuð eru eftirfarandi hugtök í þessari grein: Áreiðanleiki (líkurnar að kerfið sé starfhæft í tiltekinn tíma), viðhaldanleiki (líkurnar á því að hægt sé að koma kerfinu í starfhæft ástand innan tiltekins tíma, þegar viðhald er framkvæmt eftir fyrirfram ákveðnum aðferðum), bilanatíðni (hversu oft bilar á tímaeiningu) og aðgengileiki, sem mest er notað hér. Aðgengileikinn er sá hlutfallslegi tími sem kerfið er í lagi. Ef eitthvert kerfi er t.d. óvirkt í samtals eitt ár af tíu er aðgengileikinn 90%. Sjá nákvæmari skilgreiningar í [1].

Grein þessi sem fylgir veggspjaldi sem sett er upp á þessu Orkuþingi 2001, er þannig uppbyggð að fyrst er fjallað lauslega um þá ihluti dreifikerfisins sem skoðaðir eru sérstaklega og greint frá mati á áreiðanleika þeirra, því næst eru lausnaraðferðirnar skýrðar út, en þær eru tvær eins og komið hefur fram. Að lokum eru helstu niðurstöður teknar saman. Áhugasömum lesendum er bent á ítarlegri umfjöllun í [1] eða [5].

Íhlutir dreifikerfisins og mat á bilanalíkum

Við greiningu sem þessa þarf fyrst að meta hvaða íhluti kerfisins er nauðsynlegt að taka með og hverja ekki. Síðan þarf að meta bilanalíkur fyrir hina einstöku íhluti sem teknir eru með.

Þeir íhlutir sem teknir eru sérstaklega með eru pípur og lokar. Pípunar eru gerðar úr mismunandi efnum, sem hafa mismunandi áreiðanleika, sem var metinn í samvinnu við starfsmenn Vatnsveitunnar. Eingöngu eru skoðaðar aðalæðar og stofnæðar. Efnisgerðirnar eru eftirfarandi: Pottur (notað mikið áður fyrr og líklegt til þess að bila), seigjárn (algengast), stál, steypur pípur (premó) og plast.

Í kerfinu eru mjög margir lokar sem eru bæði notaðir til að stöðva rennsli og til að stjórna því (stopplokar og stýrilokar). Helsta hættu á að bilun í loka valdi vatnsleysi er vegna mannlegra mistaka við stjórnun þeirra. Yfirleitt eru tveir lokar á hverri leið, einn í hvorum enda, og er gert ráð fyrir að svo sé í eftirfarandi útreikningum. Við mat á aðgengileika þeirra er miðað við að u.þ.b. einu sinni á ári komi upp bilun í loka í kerfinu og það taki um 1 klst. að koma lokanum í lag aftur. Leiðirnar sem teknar eru með í kerfinu eru u.þ.b. 30 sem þýðir að lokarnir verða um 60. Ef einn bilar á ári líða að meðaltali 60 ár á milli bilana í hverjum loka.

Aðrir íhlutir sem koma til álita, en eru ekki teknir með hér, eru vatnsból, dælur og þrýstiminnkarar. Vatnsbólín gætu skaddast vegna jarðskjálfta og einnig gætu þau orðið óstarfhæf vegna gerlamengunar, en líkur á því eru mestar í hlákum. Þar sem tengsl þeirra eru svo mikil sem raun ber vitni er ekki tekið tillit til áreiðanleika þeirra sérstaklega. Þar sem líkur á að dælur eða þrýstiminnkarar valdi vatnsleysi eru mjög litlar er ekki tekið frekar tillit til þeirra hér. Yfirleitt eru þrjár dælur í hverri dælustöð, en eingöngu ein notuð að jafnaði í einu, auk þess er varaafli fyrir hendi í flestum dæluhúsum. Þrýstiminnkarar geta valdið vatnsleysi með því að lokast, en yfirleitt tekur skamman tíma að gera við þá.

Eins og lýst er hér að framan eru þeir þættir sem teknir eru með hér aðallega pípunar og lokarnir. Við mat á bilanalíkum pípnna er að hluta til stuðst við bilanasögu vatnsveitunnar, en ekki er mjög langt síðan farið var að skrá bilanir í dreifikerfinu á kerfisbundinn hátt. Við endanlegt bilanamat var því bæði stuðst við þessa stuttu sögu og mat yfirmanna vatnsveitunnar sjálfra. Lengd hvers pípuafnis í aðal- og stofnæðum vatnsveitunnar er skipt upp í bilanatíðni á dag til að fá fjölda bilana á hvern kílómetra á dag. Með þessu fæst samanburðarhæfur mælikvarði á bilanatíðni milli efnistegunda.

Kerfið er samsett úr mörgum leiðum og byrjað er á að finna aðgengileikann á hverri leið. Hver leið samanstendur af pípu og tveimur lokum. Pípunar eru úr mismunandi efnistegundum og getur hver pípa verið samsett úr fleiri en einni efnistegund. Gert er ráð fyrir að hægt sé að nálga áreiðanleika pípnanna með veldisdreifingu og þar með er bilanatíðni samsettrar pípu einfaldlega fengin með því að leggja saman bilanatíðni hvers pípubúts.

Til þess að finna bilanatíðni hvers pípubúts er lengd hans mæld og hún margfölduð með tilsvarandi bilanatíðni. Að því loknu eru bilanatíðnir allra pípubúta lagðar saman til að fá bilanatíðni pípnunnar. Einnig er gert ráð fyrir að hægt sé að nálga viðgerðartíðni með

veldisdreifingu. Þá er hægt að reikna viðgerðartíma pípu með því að finna viðgerðartíðni hvers pípubúts og reikna síðan vegið meðaltal þeirra.

Fyrir lokana er gert ráð fyrir að í kerfinu bili að meðaltali einn loki á ári í um eina klst. í einu. Hægt er að líta svo á að hver leið sé raðtengt kerfi með lokunum tveimur ásamt pípunni.

Lausnaraðferðir

Markmiðið var að reikna aðgengileika fyrir vatn á tvo staði, annars vegar í Kópavog og hins vegar út á Granda (nokkurs konar endapunktur kerfisins, þ.e. lengst frá vatnsbólunum tveimur, og ætti því að gefa góðar vísbendingar um aðgengileika kerfisins í heild). Skoðaðar voru tvær lausnaraðferðir.

Sundurgreining

Með sundurgreiningu er hægt að reikna nákvæmlega út aðgengileika kerfis ef allar forsendur til þess eru fyrir hendi. Gallinn er að fyrir flókin kerfi verða útreikningarnir mjög erfðir. Einnig eru þær aðferðir sem þekktar eru við lausn þessa vandamáls mjög ófullkomnar og krefjast þess að sérhvert kerfi sé reiknað frá grunni. Því eru engar almennar aðferðir þekktar sem hægt er að nota á öll kerfi.

Hermun

Með því að nota hermun er oft hægt að leysa vandamál á tiltölulega einfaldan hátt sem mjög erfitt er að leysa með beinum aðferðum. Með hermun er auk þess hægt að fá betri mynd af hegðun kerfisins. Þegar aðgengileikinn er reiknaður beint fæst aðeins einn mælikvarði, t.d. meðaltími vatnsleysis á ári. Ef meðaltíminn væri 60 sek/ári þá gæti hvort tveggja átt við að á 10 ára fresti væri vatnslaust í 10 mín. eða á 720 ára fresti væri vatnslaust í 12 klst, en þessi tvö tilfelli eru gerólík. Það er því mikilvægt að geta áttað sig á hve lengi í einu hvert vatnsleysisstílfelli stendur og það er vissulega hægt með hermun á kerfinu. Helsta markmiðið með hermuninni er að fá upplýsingar um hve oft og hve lengi í einu vatnsleysisstílfellin vara.

Til þess að reikna stærðirnar sem eru áhugaverðar í kerfinu er kerfið hermt í mörg ár og til að fá betri tölfræðilegar niðurstöður eru gerðar nokkrar endurtekningar, með mismunandi slambistærðum sem innmerki, af hverri hermun. Þegar keyrt er í mörg ár er hugmyndin ekki sú að sjá hvernig kerfið verður eftir mörg ár heldur er kerfið eins og það er í dag alltaf keyrt óbreytt. Því er ekki tekið tillit til þess að skipta þarf út og endurnýja pípur. Í hverri ítrun er safnað saman tölfræði um kerfið. Áhugaverðar kennistærðir sem hægt er að reikna út fyrir hverja keyrslu eru til dæmis: Fjöldi vatnsleysisstíffella, heildartími sem kerfið er í lagi, hermunartími, heildarlengd vatnsleysis, aðgengileiki kerfisins og meðallengd vatnsleysisstíffella. Einnig er hægt að reikna út meðaltöl og vikmörk á kennistærðunum.

Niðurstöður

Sundurgreining

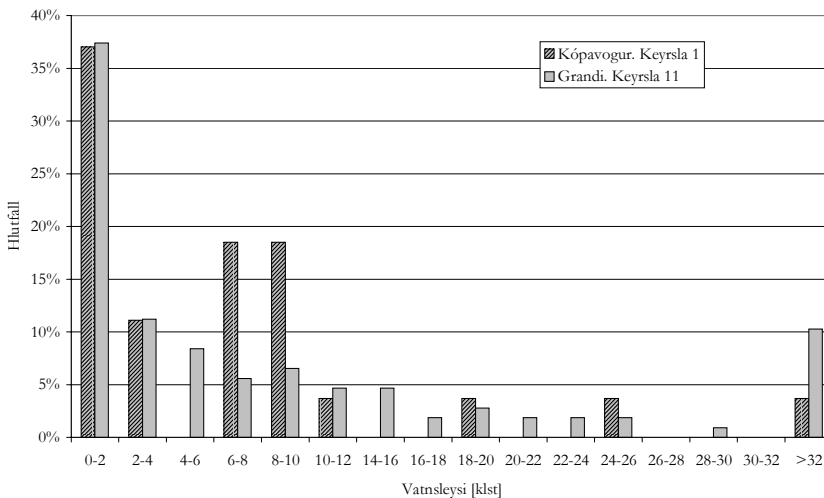
Þar kom í ljós að meðaltími vatnsleysis í Kópavogi er 4-5 sekúndur á ári og í Granda rúmlega 9 sekúndur á ári. Þetta er vissulega mjög stuttur tími en engar upplýsingar eru um hversu oft eða hve lengi í einu vatnsleysisstílfellin vara. Þess ber að geta að útreikningarnir

byggjast á þeim forsendum sem lagðar eru til grundvallar, svo sem mati á bilanatiðni og viðgerðatímum pípuafna og loka.

Hermun

Miðað við gefnar forsendur gerast ófyrirsjáanleg vatnsleysistilfelli á margra ára fresti og standa yfir í nokkrar klukkustundir í einu. Að óbreyttum forsendum líða um 9000 ár milli vatnsleysistilfella í Kópavogi og um 5500 ár úti á Granda. Þetta þýðir að líkur á að vatnslaust verði í Kópavog á næsta ári eru um $1/9000=0,011\%$ og $1/5500=0,018\%$ fyrir Granda. Meðallengd hvers vatnsleysistilfellis er sú sama bæði fyrir Granda og Kópavog og er um 10,5 klst í hvert sinn. Í [1] eru niðurstöðunum gerð ítarlegri skil.

Meginmarkmiðið með hermuninni var meðal annars að meta lengd vatnsleysistilfella. Fyrir allar endurtekningar í hverri keyrslu var lengd hvers vatnsleysistilfellis skráð og er tíðnirit vatnsleysistilfella í einni keyrslunni teiknað á mynd 1. Þar sést að flest vatnsleysistilfelli, eða rúmlega 35%, standa yfir í 0-2 klst. Meirihlutinn af þessum tilfellum er líklega vegna bilana í lokum. Í Kópavogi koma síðan toppar í 6-8 og 8-10 klst., en dreifingin er jafnari fyrir Granda og minnkar tíðni vatnsleysistilfella smám saman eftir því sem lengd þeirra eykst. Ástæðan fyrir muninum á Kópavogi og Granda er líklega sú að kerfið fyrir Granda er flóknara og því verður sennilega meiri dreifing í lengd vatnsleysistilfellanna. Það sést líka að hlutfall tilfella sem standa yfir lengur en í 32 klst. er umtalsvert og er það líklega vegna þess að gert er ráð fyrir að viðgerðartími sé veldisdreifður og í veldisdreifingu geta komið tilfelli sem eru mun hærri en meðaltalið.



Mynd 1 Hlutfallsleg tíðni á lengd vatnsleysistilfella í Kópavogi og úti á Granda. Að baki tölunum liggja hermanir á 200 þús. árum í Kópavogi og 27 vatnsleysistilfelli, en hermanir 500 þús. ára og 97 vatnsleysistilfelli fyrir Granda.

Lokaorð

Í þessari grein er kynnt greining á aðgengileika dreifikerfis aðal- og stofnæða Vatnsveitu Reykjavíkur. Skoðaðir voru sérstaklega tveir staðir í dreifikerfinu, þ.e. Kópavogur og Grandi. Í fyrsta lagi var aðgengileiki þeirra metinn beint með því að greina kerfið niður í mörg undirkerfi og reikna aðgengileikann og í öðru lagi var notuð hermun. Í báðum aðferðum voru notuð sömu kerfi og metinn var aðgengileiki ýmissa hluta í þeim. Sérstíða þurfti sundurgreininguna að dreifikerfi VR, en engar almennar aðferðir eru til þess. Þar sem gögnin sem notuð voru byggðust að miklu leyti á mati starfsmanna vatnsveitunnar og nokkuð stuttri bilanasögu, var gerð næmnigreining á öllum forsendum sem notaðar voru við lausn verkefnisins og áhrif þeirra því metin, sjá [5].

Þó svo þessi grein lýsi athugun á áreiðanleika vatnsveitukerfis, ber þess að geta að tilsvareandi aðferðir er hægt að nota við áreiðanleikamat annarra dreifikerfa svo sem hitaveitna. Aðferðafræðin sem sett er fram á alltaf við en ávallt þarf að taka sundurgreininguna sérstaklega fyrir hvert kerfi. Hermunin er mun almennari og þróað hefur verið hermunarforrit sem hægt er að útfæra á flest kerfi með litlum breytingum. Að lokum má geta þess að með þessu frumkvæði Vatnsveitu Reykjavíkur hefur skapast grunnur fyrir hliðstæða greiningu fyrir önnur veitufyrirtæki hér á landi.

Heimildaskrá

- [1] Atlason, J. (1998): *Áreiðanleikagreining á dreifikerfi Vatnsveitu Reykjavíkur*. Lokaverkefni við véla- og iðnaðarverkfræðiskor, Háskóla Íslands.
- [2] Jacobs, P. og Goulter, I. (1991). Estimation of Maximum Cut-Set Size for Water Network Failure. *Journal of Water Resources Planning and Management*. vol. 117, no. 5. pp.588-605.
- [3] Law, A.M. og Kelton, W.D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York.
- [4] Mays, L.M. (ritstj.), (1988). *Reliability Analysis of Water Distribution Systems*. American Society of Civil Engineers.
- [5] Pálsson, Ó. P., J. Atlason, G. R. Jónsson og V. K. Jónsson (1998). *Mat á áreiðanleika dreifikerfis Vatnsveitu Reykjavíkur*. Árbók VFÍ/TFÍ 1997/98, pp. 280-292.