

# Ivóvízhálózatok robusztusságnövelő tolózárkiosztás optimalizációja

## Isolation valve placement optimisation of water distribution networks

*HUZSVÁR Tamás<sup>1</sup>, WÉBER Richárd<sup>2</sup>, HÓS Csaba<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>doktorandusz, <sup>2</sup>doktorandusz, <sup>3</sup>egyetemi docens  
BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. www.hds.bme.hu

### Abstract

*Nowadays, as a result of the rapid population expansion, the water distribution networks are serving drinkable water to more people than ever before. This fast growth also increases the area where this consumption is distributed; thus, the water distribution networks are complex heterogeneous structures. As a result of this phenomenon, it is far from trivial to identify the optimal placement of the isolation valves. In order to solve this problem, multiple fitness functions have been compared, and after that, with the selected one, the valve placement of fifteen real-life water distribution networks have been optimised to minimise the effect of a random pipe-burst in the case of these networks.*

**Keywords:** Isolation valve placement, topology optimisation, vulnerability, pipe-burst, water distribution networks

### Kivonat

*Napjaink fejlett víziközmű hálózatai a népességgrobbanás következtében minden korábnál több embert látnak el a komfortos élet alapszükségletét jelentő iható vízzel. A népesség növekedése a kiszolgált terület növekedését is magával vonja, melynek köszönhetően napjaink ivóvízhálózatai heterogén, komplex struktúrák. Ebből fakadóan pedig közel sem triviális feladat annak eldöntése, hogy a csőtörések esetén elzárandó szakaszoló tolózárakat hová érdemes elhelyezni a hálózaton. Vizsgálataink során e kérdés megválaszolásához, több különböző célfüggvény került összehasonlításra, majd az optimalizációhoz legmegfelelőbbnek bizonyulóval tizenöt darab valódi ivóvízhálózat tolózár elhelyezése került optimalizációra annak érdekében, hogy egy véletlenül bekövetkező csőtörés hatása minimalizálhatóvá váljék e hálózatok esetében.*

**Kulcsszavak:** Tolózár elhelyezés, topológia optimalizáció, sebezhetőség, csőtörés, ivóvízhálózatok

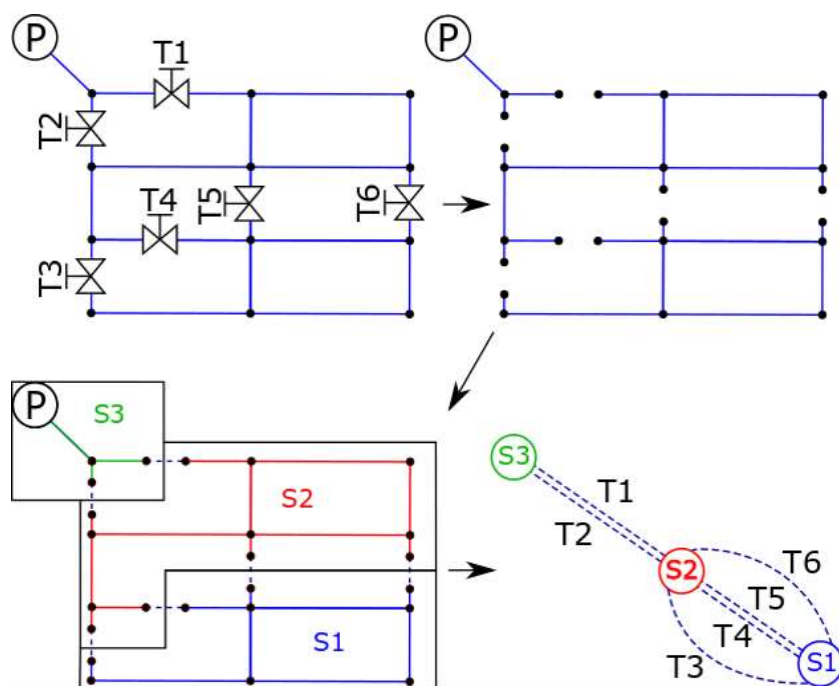
## 1. BEVEZETÉS

A világbank adatai alapján napjainkban közel 4,3 milliárd ember lakik városokban földünkön. Ez azt jelenti, hogy a városi populáció mértéke közel megnégyszereződött az elmúlt ötven év alatt, mely extrém mértékű hálózatbővülést okozott minden közmű tekintetében. A megengedett maximális tartózkodási idő, a geodéziai sajátosságok és a kitermelés lokalizáltsága okán az ivóvízhálózatok e folyamatnak különösen kitétek. E bővülés egyik fő következménye, hogy a szolgáltatók erőforrása és figyelme főként a hálózatok peremeire, azok bővítésére fordul, miközben a hálózatok belső, már korábban kiépült szakaszainak felügyelete némileg háttérbe szorul. Ennek okán pedig a hálózatokban, a csövek elöregedése, útburkolat túlterhelése vagy egyéb havária események véletlenszerűen bekövetkező csőtörésekhez vezethetnek. E csőtörések egyfelől közvetlenül ellehetetlenítik a környéken lakók ivóvízhez jutását, e mellett pedig infrastrukturális károsodást okozhat az alámosódás, illetve a javításhoz szükséges útburkolati bontás is jelentős költségvonzattal jár. Amennyiben egy csőtörés bekövetkezik, a szolgáltató által helyszínre küldött kármentést végző beavatkozó személyzet első lépésként a károsodás helyéhez legközelebbi, az adott szakaszt a hálózat fő testéről leválasztó szakaszoló tolózárakat lokalizálja, majd zárja el, annak érdekében, hogy a közvetlen vízvesztés ilyen módon mielőbb megszüntessék. Abban az esetben, ha ezen tolózárak jelentős távolságra helyezkednek el a károsodás helyétől a kármentés megkezdése jelentősen később tud elkezdődni, vagy abban az esetben, ha a tolózárak elzárása egy jelentős méretű lakóterület kiszakaszolását vonja maga után, úgy a szolgáltatók számára további intézkedések elvégzése szükséges (például lajtos kocsni biztosítása). Ezen okok nyomán célunk, a tolózárak optimális helyének meghatározása, hogy a rekonstrukció idejére a lehető legkevesebb fogyasztó

kerüljön a károsodott csőszakasszal egyszerre leválasztásra, illetve, hogy a hálózat a lehető legkevésbé váljék sebezhetővé ilyen véletlenszerű csőtörésekkel szemben.

## 2. CÉLFÜGGVÉNYEK MEGHATÁROZÁSA

Azon egységét az ivóvízhálózatoknak melyek egyazon tolózár csoporttal kiszakaszolhatóak szegmenseknek nevezzük a továbbiakban. Amennyiben a definíciót kiterjesszük a hálózat egészére, az a hálózatban található összes tolózárat zártnak feltételezzük, úgy hálózatunk kis szigetekre – szegmensekre – esik szét. E szegmenseket csomópontként értelmezve az ezeket egymáshoz kötő szakaszoló tolózárakat élekként leképezve a szegmensgráfhoz jutunk. Ennek algoritmizált folyamata látható az 1. ábrán. Először az erre alkalmazott kereső eljárás, mely a Staci programcsomagba került beépítésre eltávolítja az ivóvízhálózatból az abban található tolózárakat (1. ábra, bal és jobb felső panel), majd egy szélességi kereső eljárás feltérképezi, hogy mely csőszakaszok mely szegmensekhez tartoznak (1. ábra, bal alsó panel), végül pedig annak megállapítása következik, hogy mely szegmens melyikhez kapcsolódik tolózárak által, melyek az éleket jelentik a szegmensgráfon (1. ábra, jobb alsó panel).



1. ábra. A szegmentálás folyamata

Az ivóvízhálózatok szegmensgráfjának elemzése számos, hagyományos reprezentációval elsikkadó részletet fed fel a hálózatok viselkedéséről (Wéber és társai, 2020) vagy azok felépítéséről (Huzsvár és társai, 2019). A szegmensgráf definíciója már önmagában hordozza annak lehetőségét, hogy megfogalmazzunk egy hálózati robusztussági mérőszámot, mely a hálózat szegmenseinek száma  $n_{szgs}$ . Viisszautlva azonban a kezdeti kérdésfelvetésre, önmagában az, hogy egy hálózat sok kisebb-nagyobb szigetre felbontható, még nem szavatolja, hogy egy véletlenszerű helyen bekövetkező csőtörés esetén pont van a közelben szakaszoló tolózár. Abból fakadóan, hogy a leghatékonyabb módszer új szegmensek létrehozására a hálózat szélső pontjain található csomópontok „levágása” egy-egy új tolózár behelyezése által. Ezen ellentmondás feloldására került bevezetésre a hálózat felépítésének jóságának jellemzésére a szegmensszám mellett egy homogenitási mérőszám a következő módon

$$\Lambda = n_{szgs} - \sum_{i=1}^{n_{szgs}} \frac{L_{szgs,i}}{L_{max}}, \quad (1)$$

ahol  $n_{szgs}$  a szegmensek száma,  $L_{szgs,i}$  az  $i$ . szegmensben található csővezetékek összegzett hossza. E két mérőszám tükrözi a hálózatok topológiai struktúrájának jellemzőit, azonban az is ismert (Walski, 1993) munkája nyomán, hogy a csőtörésekkel szembeni robusztusság feltérképezéséhez feltétlenül szükséges a hálózatok hidraulikai viszonyainak ismerete. Az ehhez szükséges nyomásfüggő fogyasztások figyelembevételére alkalmas megoldási technika a Staci programcsomagba került beépítésre. A fejlesztett megoldót kihasználva pedig a hálózatok csőtörésekkel szembeni sebezhetősége a következő módon adódik

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{n_{szgs}} \frac{\beta_i L_i}{\sum_{i=1}^{n_{szgs}} L_i}, \quad (2)$$

ahol  $\beta_i$  az  $i$ . szegmens esetén bekövetkező fogyasztói hányad kiesést reprezentálja a következő módon

$$\beta_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_{szgs}} d_i - \sum_{i=1}^{n_{szgs}} c_i}{\sum_{i=1}^{n_{szgs}} d_i}. \quad (3)$$

Az összefüggésben  $d_i$  az  $i$ . szegmens vízigényét, míg  $c_i$  az  $i$ . szegmensben valójában kinyerhető vízmennyiséget jelöli. Ez a mérőszám az előzőekhez hasonlóan egy topológia specifikus mennyiség, melyen keresztül kiszámítható, hogy várhatóan mekkora fogyasztói hányada szenved igénykielégítésbeli sérülést hosszú távon. Ezen mérőszámok alapján már lehetséges optimalizációs célfüggvények meghatározása a következő módon,

$$f(x) = \min\left(\frac{1}{n_s} + \Lambda\right), \quad (4)$$

illetve

$$f(x) = \min(\Gamma). \quad (5)$$

A korábban említett okokból az első két célfüggvény – a szegmensszám és homogenitás – összevonásra került, annak érdekében, hogy elkerüljünk egy olyan fals optimalizációt, ahol az optimumkereső algoritmus elkezdjen peremeken lévő tolózársakat levagdosni anélkül, hogy ezen új szegmensek rendelkezzenek valódi funkcióval. Az optimalizáció folyamatának végrehajtásához pedig a MatLab<sup>®</sup> optimalizációs eszköztárából egy elitista genetikus algoritmus került felhasználásra, változó mindig az aktuálisan vizsgált hálózathoz igazított populációs mérettel, a mutációs faktor minden esetben 1%-os értéken maradt, míg a populáció elit arány 5%-ra került beállításra.

### 3. EREDMÉNYEK

A vizsgálataink első szakasza arra irányult, hogy a megfogalmazott két célfüggvényt összevessük két szempont szerint, egyfelől aszerint, hogy melyik hatékonyabb a kiértékelési idő szempontjából, másfelől pedig a szempontból, hogy melyik módszer által meghatározott tolózársosztás növeli a hálózatok csőtörésekkel szembeni ellenálló képességét. Ahogyan az a bemutatott két célfüggvény esetén az első, egy közvetett megbízhatósági mérőszám, mely azt elemzi, hogy a hálózatok mennyire homogéne és milyen nagy mértékben szegmentáltak, míg ehhez képest a második mérőszám egy közvetlen sebezhetőségi mérőszámot jelent, azzal a hátránnyal, hogy ennek számításigénye jelentősen nagyobb – a hidraulikai szimuláció okán – az első célfüggvényénél. Vizsgálataink azonban azt mutatták, hogy a pusztán topológiai megfontolásokat követő megfontolások önmagukban nem jelentenek megfelelő közelítést, lévén ezek ebben a formában a fogyasztások eloszlását homogénnek feltételezik a hálózat egészének tekintetében. Ehhez képest azonban bebizonyosodott, hogy a második, a hálózatok közvetlen sebezhetőségét kiértékelő mérőszám számításigény növekedése nem lehetetleníti el még a legnagyobb hálózatok elemzését sem, így végül a több információt hordozó mérőszám került kiválasztásra a rendelkezésünkre álló tizenöt darab valódi ivóvízhálózat tolózársosztásának optimalizációjára. Ezen hálózatok mindegyike Nyugat-Magyarország területén helyezkedik el, közülük a legkisebb mindösszesen 27, míg a legnagyobb közel háromezer csomóponttal rendelkezik. Az összes vizsgált hálózat esetén legalább tíz százalékos, de bizonyos esetekben ötven százalék feletti sebezhetőség csökkenés is elérhetővé vált. Annak érdekében, hogy a tolózársosztás optimalizációjának hatása még jobban érzékelhetővé váljék bevezettük a lokális érzékenység fogalmát, mely a következő módon került meghatározásra

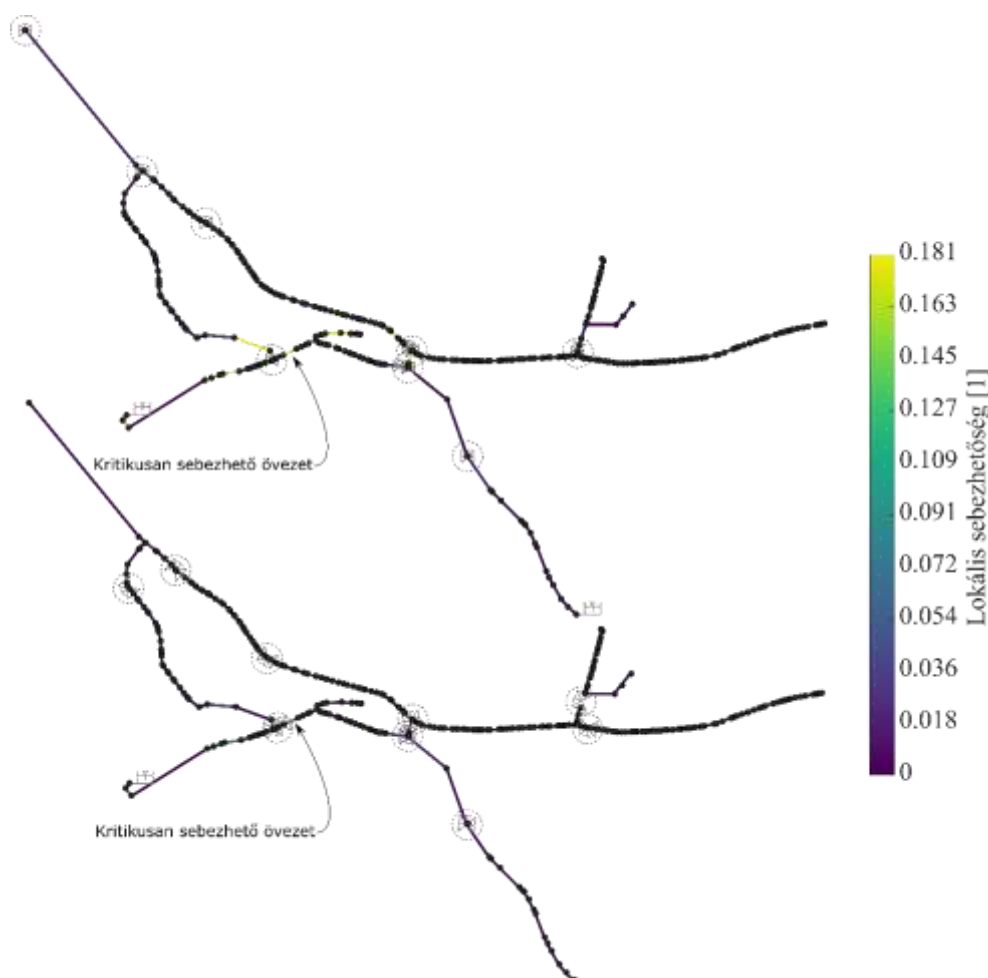
$$\gamma = \frac{\beta_i L_i}{\sum_{i=1}^{n_{szgs}} L_i}, \quad (6)$$

ahol a paraméterek megfelelnek a hálózati sebezhetőségnél bevezetett jelöléseknek. Ezen mérőszám egy szegmens specifikus jellemző, ezen mennyiség szerint került a 2. ábra színskálája meghatározásra egy közelítőleg ezer lakosú és 378 csomóponttal rendelkező kisebb település esetére. A változás különösen szembetűnő a hálózat központi korábban kritikusan sebezhető szakaszában.

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink során célunk egy optimumkeresési eljárás megvalósítása volt, annak érdekében, hogy egy véletlenszerűen bekövetkező csőtörés káros következményei a lehető legnagyobb mértékben

minimalizálhatóvá váljanak. Ennek céljából kettő célfüggvény került összevetésre, melyek közül a (Wéber és társai, 2020) által meghatározott hálózatsebezhetőségi mérőszám bizonyult megfelelőnek. Az így létrejött optimumkeresési módszer segítségével tizenöt darab valódi ivóvízhálózat tolózárkiosztásának optimalizációja valósult meg és minden hálózat esetén legalább tíz százalékos, de néhol akár ötven százalékos csökkenést is sikerült elérni a csőtörések esetén kieső fogyasztói hányad tekintetében.



2. ábra. Az egyik vizsgált hálózat optimalizált és eredeti tolózárkiosztása a lokális sebezhetőség mellett

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnénk mondani a Gépészmérnök Képzésért alapítványnak a támogatásért, amely lehetővé tette az eredményeink közreadását, illetve a Soproni Vízmű Zrt.-nek, hogy a rendelkezésünkre bocsájtották a hálózatok adatait kutatási célokra.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Wéber, R., Huzsvár T., Hős Cs. (2020). Vulnerability analysis of water distribution networks to accidental pipe burst. *Water Research*, 184, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116178>
- [2] Huzsvár T., Wéber R., Hős Cs. (2019) Analysis of the Segment Graph of Water Distribution Networks, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 63(4), pp. 295-300. <https://doi.org/10.3311/PPme.13739>.
- [3] Jun H., Loganathan G. V. (2007). Valve-Controlled Segments in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(2), 145–155. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2007\)133:2\(145\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:2(145))
- [4] Alvisi S., Creaco E., Franchini M. (2011). Segment identification in water distribution systems. *Urban Water Journal*, 8(4), 203–217. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.595803>
- [5] Walski T. M. Water distribution valve topology for reliability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 42(1), pp. 21–27. 1993. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(93\)90051-Y](https://doi.org/10.1016/0951-8320(93)90051-Y)
- [6] Kegong Diao, Global resilience analysis of water distribution systems, *Water Research*, vol. 106, 383-393, 2016.
- [7] World Bank, World population prospects <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- [8] A Staci programcsomag elérhető: [http://www.hds.bme.hu/staci\\_web/](http://www.hds.bme.hu/staci_web/)