

Ivóvízhálózatok topológia optimalizációja

The topology optimisation of water distribution networks

HUZSVÁR Tamás¹, Wéber Richárd², Dr. HŐS Csaba³

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

Összefoglaló

Napjaink vízművei igen sokrétű elvárásokkal szembesülnek, lakosság számára nélkülözhetetlen ivóvíz szolgáltatása mellett a tűz és katasztrófa-védelemben is igen jelentős szerep jut számukra a tűzcsapok üzemeltetése által, e kettős szerepből fakadóan az esetlegesen elégtelen vízhozammal és nyomással rendelkező tűzcsapok kapacitás-növelése jelentette komplex problémakör megoldásának minden (anyagi és időbeli) terhe is a szolgáltatókra hárul. Célunk e közleményben egy új matematikai módszer bemutatása, mely lehetővé teszi egy kiválasztott terület tűzi és ivóvíz kapacitásának növelését.

Kulcsszavak: ivóvízhálózat fejlesztés, topológia optimalizáció, nyomásérzékenység, robusztusság növelés, tűzvíz kapacitás

Abstract

Today's waterworks face a wide range of expectations, beside of the provision of the essentially needed drinking water for the consumers, they also play a significant role in fire and disaster treatment by operating the fire hydrants. Due to this dual role, all of the (financial and temporal) burden is on the service providers, if a hydrant cannot provide the needed amount of the firewater, due to lack of system capacity. The goal of our study is the introduction of a new mathematical method, which can determine the most cost efficient new pipeline, which is able to increase the fire and drinking water capacity of a selected critically sensitive area.

Keywords: water distribution system upgrade, topology optimisation, pressure sensitivity, robustness incrementation, firewater capacity,

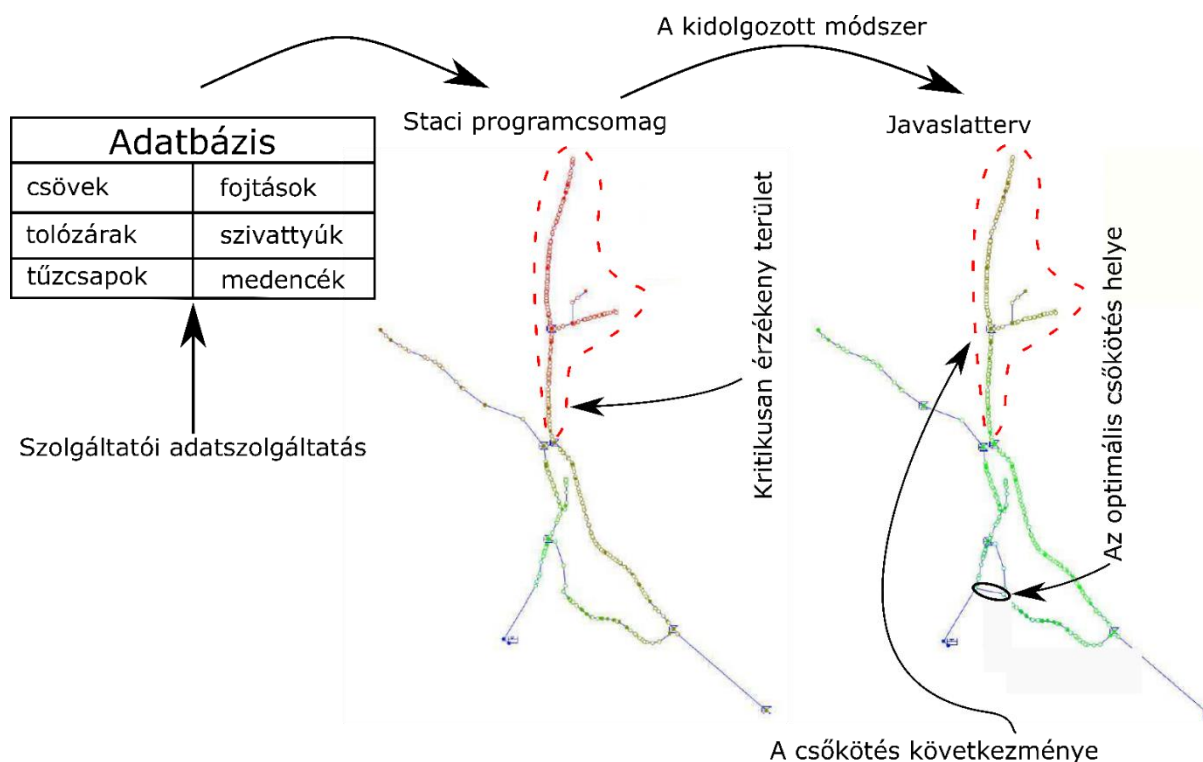
1. BEVEZETÉS

Az ivóvíz elérhetősége alapvető fontosságú minden ember számára, éljen akár egy kis-településen vagy a világ legnagyobb metropoliszainak egyikében. Annak következményeként, hogy városaink ivóvízhálózatai az elmúlt százhusz esztendő folyamán, az emberi viselkedés – városiasodás, gazdasági átalakulás – szinte megjósolhatatlan és folyamatosan alakuló célfüggvényét követve alakultak ki, igen heterogének és komplexek. E tulajdonságukból kifolyólag pedig szinte minden térség rendelkezik olyan ivóvízhálózatokkal, ahol a víznyomás – különös tekintettel a fogyasztási csúcsok idejére – ingadozó, változásra nagymértékben hajlamos. Ezen jelenség helyeztük vizsgálataink fókuszába és célunk egy olyan módszer kialakítására irányult, mely alkalmas az ivóvízhálózatok nyomásváltozásokkal szembeni robusztusságnövelésére. E cél elérésének eszköze azon hálózati bővítés – cső nyomvonal – meghatározása, melyen keresztül a lehető legnagyobb mértékben növelhető a hálózat robusztussága, a mellett, hogy annak üzemeltetési költségén lehetőség szerint a legkisebb mértékben változtatunk. Ezen csőátkötés meghatározásához, az általunk kidolgozott matematikai módszer segítségével a hálózat csomópontjainak nyomásérzékenységét határozzuk meg és vesszük alapul, mely mennyiség leírja, hogy egy adott csomópontban a fogyasztás növelése, a környék rendszernyomását milyen mértékben befolyásolja. Ezirányú törekvéseink egy olyan összefüggés feltárásához vezettek a hálózatok szerkezete és a fogyasztásváltozás hatására bekövetkező nyomásingadozások között, mely lehetőséget biztosít a nyomásérzékenység irányított csökkentésére a megadott üzemeltetői preferenciák alapján (maximális

beépíthető csőhossz, anyagi ráfordítás) akár nagyobb – néhány ezer lélekszámú – települések esetén is, mindösszesen néhány darab hidraulikai szimuláció végrehajtása által.

2. HIDRAULIKAI HÁLÓZATOK MODELLEZÉSE

Napjainkban az informatikai rendszerek széleskörű elterjedésének köszönhetően lehetőség van arra, hogy az ivóvízhálózatokban található minden egyes hidraulikai elemet (csőszakaszt, tolózárát, szivattyút) virtuálisan tároljunk és kezeljünk. A hálózatok e módú leképezése lehetővé teszi olyan hidraulikai modell építését, melynek köszönhetően a modellezett hálózat viselkedése feltérképezhető a valóságot közelítő módon. Egy ilyen hidraulikai modell számtalan lehetőséget rejt magában: a beszakadt tolózárak detektálásától kezdődően; az esetleges hálózatbővítések hidraulikára gyakorolt hatásának koncepcióterv szintű vizsgálatain keresztül; a kis fogyasztásváltozásra nagy nyomásingadozásokkal reagáló (magas nyomásérzékenységű) hálózati helyek azonosításáig.



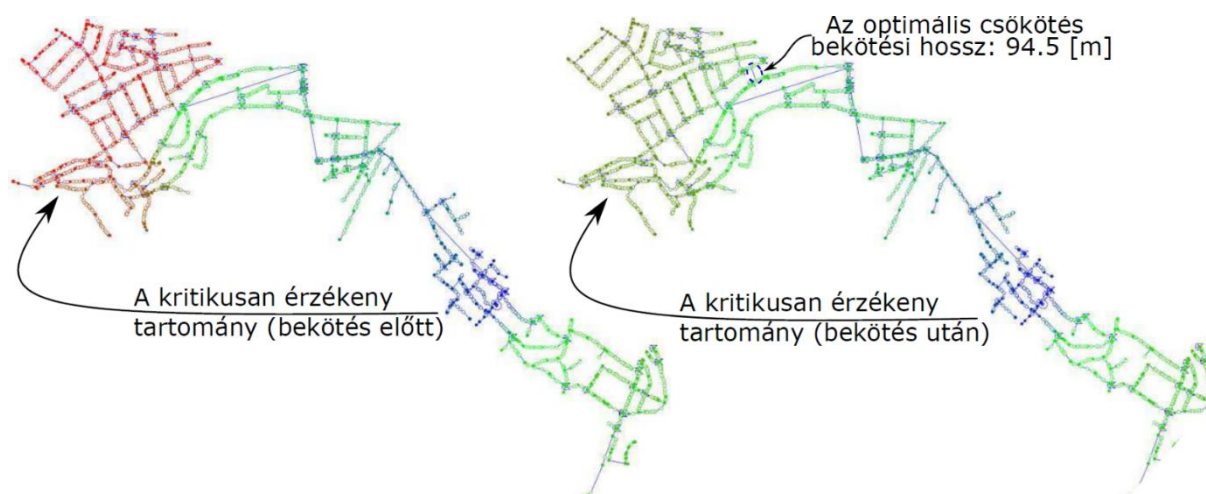
1. ábra A módszer működése

A matematikai modelltől dióhéjban a következőket érdemes ismerni. Egydimenziós áramlást, összenyomhatatlan közeget feltételezünk, továbbá időben állandósul állapotot vizsgálunk. Ilyen feltételek mellett írjuk fel minden csomópontra az anyagmegmaradás, illetve minden ágelemre (pl. csőszakasz, szivattyú) az energiamegmaradás egyenletét. Ezen egyenletek egy nagyméretű, egyértelműen megoldható, algebrai, nemlineáris egyenletrendszer alkotnak. Ezt a Newton-Raphson-módszerre épülő megoldóval oldjuk meg, a Dr. Hős Csaba által fejlesztett Staci programcsomag segítségével (http://www.hds.bme.hu/staci_web/). Ez a hidraulikai megoldó bemenetén kap egy hálózatot (topológiával, csomóponti és csőszakasz adatokkal, fogyasztásokkal stb.), majd a matematikai számítások után a kimeneten megkapjuk a hálózatban található csomópontok nyomását valamint az ágelemeken átfolyó térfogatáramot. A továbbiakhoz szükséges még definiálnunk egy fontos hidraulikai mennyiséget, a nyomásérzékenység fogalmát. Nyomásérzékenység alatt az értendő, hogy adott területen a felhasználói kivétel fokozása vagy éppen csökkentése milyen mértékben változtatja meg a hálózat csomóponti nyomásainak értékét. E mennyiség a hálózat leíró egyenletrendszerének fogyasztás szerinti deriváltjaként értelmezhető, mely lehetővé teszi e mennyiség összes csomópontra való kiszámítását összesen egy darab hidraulikai szimuláció által. Révén e vizsgálat fókuszában a hálózat topológiájának és nyomásérzékenysége közötti összefüggés feltárása áll, így még e lokális érzékenység mellett bevezetjük az átlagos és csúcserzékenység fogalmát. E két mennyiség közül az „átlagos” érzékenység a

hálózat összes csomópontjára értelmezett lokális érzékenységek átlagát, míg a „csúcs” a legnagyobb lokális érzékenységu csomópont lokális érzékenységét jelöli. Abból fakadóan, hogy mindkét újonnan bevezetett mennyiség a hálózat valamely specifikus tulajdonságát tükrözi jól érezhető, hogy e mennyiségek topológia specifikusak és így lehetővé teszik a hálózat topológiaváltozásainak hatásvizsgálatát.

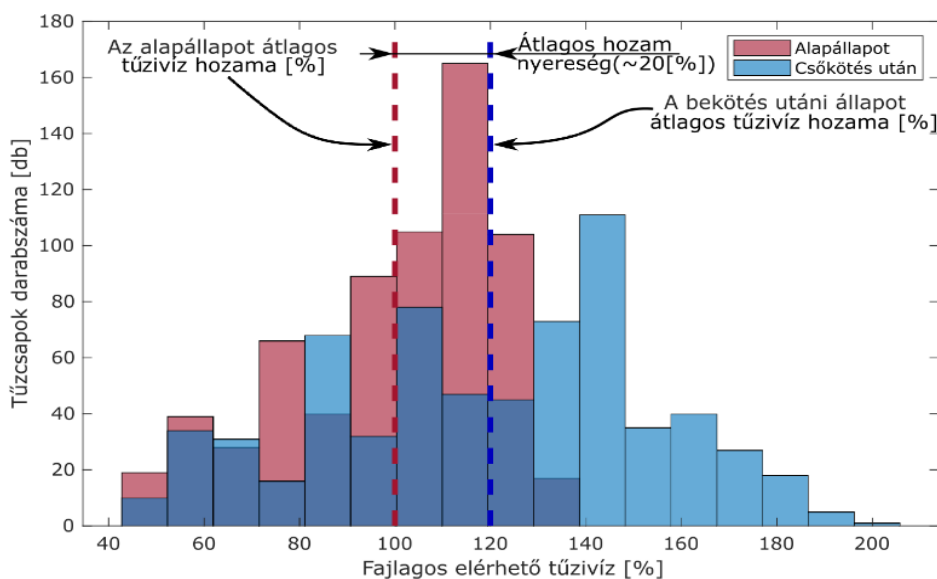
3. ESETTANULMÁNY

Az előzőekben bemutatott matematikai módszerünket a következőkben Sopron város egyik külső övezetének hidraulikai modelljén demonstráljuk. A hálózat 2700 csomóponttal rendelkezik, napi fogyasztási értéke megközelítőleg 1200 m³/nap. A 2. ábrán látható két érzékenységi térkép ugyanazon színskála mellett: bal oldalon az eredeti hálózat látható, jobb oldalon pedig a módszer által javasolt csökkentés utáni állapot. Az ábrán a pirossal jelzett csomópontok a magas, zölddel a közepesen, illetve késsel színezettek az alacsony érzékenységuék. Egyértelműen megfigyelhető, hogy a javasolt cső átkötésnek szignifikáns hatása volt a hálózat erősen érzékeny (piros) területeire. Számszerűleg elmondható, hogy több mint 17%-al csökkent az átlagos érzékenység a hálózat ezen kritikus szakaszán, még a legmagasabb érzékenységu csomópont, az az csúcserzékenység mértéke 28 %-al csökkent. Ezt a jelentős változást csupán egyetlen (maximum 100 méteres) csőszakasz beépítésével érhetjük el a számítások alapján. De milyen módon köthető ezen absztrakt mennyiség a fogyasztói komforthoz? Erre szolgál a hálózat tűzi és ivóvíz kapacitásának vizsgálata. Fizikai intuición alapján érezhető az, hogy ha egy adott terület kivételét fokozzuk annak nyomása leesik, ha viszont van lehetőségünk e csökkenés mértékét redukálni, az az egy nagy kivétel hatására a rendszer nyomás kisebb mértékben esik vissza, mint annak előtte, akkor az is érezhető, hogy ezáltal nagyobb mennyiségű ivóvíz kivételére nyílik lehetőség. Hogy képet kapjunk e jelenségről, a hálózat adott szakaszának rendelkezésre álló tűzi víz kapacitását mennyivel változtatta meg, az optimálisnak talált módosítás, a tűzcsapok kinyitását a kritikus tartományban egyenként szimuláltuk, több mint 700 csomópontban. Itt csak önműködő tűzcsapokat vettünk figyelembe, a szivattyúzható tűzcsapok viselkedését nem vizsgáltuk. Az elvégzett több mint 1400 darab hidraulikai szimuláció során legyűjtésre került, hogy a légkörre nyitott tűzcsapon mekkora kiáramló térfogatáram érhető el az eredeti és a módosítás utáni állapotban. Az eredményeket a 3. ábra közli hisztogram formájában: vízszintesen az átlagos térfogatárammal elosztott, vagyis fajlagosan elérhető tűzvíz mennyisége, míg függőlegesen az adott fajlagos térfogatáramot szolgáltatni tudó tűzcsapok száma látható. Piros jelzi az eredeti, kék a módosított változatot. Leolvasható, hogy a szimulált csőátkötés hatására lényegesen megnőtt az elérhető tűzvíz mennyisége: az elért átlagos tűzvíz hozam növekmény több mint 20%. Emellett látható, hogy ebben az esetben a hisztogram ki is szélesedik. Ez azt jelenti, hogy jócskán megnő az átlagosnál jóval magasabb hozamot biztosító tűzcsapok száma is. Bár a jelen vizsgálat tárgyát a tűzcsapok kapacitásfeltérképezése jelentette, annak köszönhetően, hogy



2. ábra Módszer által javasolt csökkentés helye és az érzékenységi térképen történő várható javulás a Sánc-hegyi övezetben, Sopron városában

a két vizsgált állapot esetében a hálózati elemek teljes egészében egymással homológ tulajdonságúak, e kapacitásnövekedés mértéke várhatóan a lakossági fogyasztók irányába is manifesztálódik, mely jelentős komfortérzet növekedés eredményezhet a hálózat egy kiemelten magas érzékenységgű szakaszában.



3. ábra A hálózat tűzvíz kapacitása az optimális csökkentés bekötése előtt és utána

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Projektünk célja egy olyan módszer elkészítése volt, mely segítségével a víziközmű szolgáltatók számára a lehető legrövidebb idő alatt áll módunkban hálózatfejlesztési javaslatot készíteni egy adott hálózati szakasz tűzvíz kapacitásának növelésére a lehető legkisebb anyagi ráfordítás szem előtt tartásával. Új módszerünkkel egyetlen, érzékenység-számítást magában foglaló hidraulikai szimuláció alapján – melyet a STACI programcsomaggal végeztünk el – konstrukciós javaslatot tudunk tenni arra vonatkozóan, hova érdemes új csőszakaszt beépíteni a hálózatba. Valódi városi hálózaton végzett esettanulmányban megmutattuk, hogy egy ilyen módosítás a hálózat kritikusan nyomásérzékeny tartományában akár több mint 20 %-kal megnövelheti a rendelkezésre álló átlagos tűzvíz kapacitás értékét.

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.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kegong Diao et al., Global resilience analysis of water distribution systems, *Water Research*, vol. 106, pgs. 383-393, 2016.
- [2] Somos Éva, A csöbe zárt ivóvíz... (vagy mégsem?), *Magyar Tudomány*, vol. 34., 2011.
- [3] István Selek, József Gergely Bene, Csaba Hős, Optimal (short-term) pump schedule detection for water distribution systems by neutral evolutionary search, *Applied Soft Computing*, vol 12, pgs. 2336-2351., 2012.
- [4] Kálmán Klapcsik, Roxána Varga, Csaba Hős, Optimal pressure measurement layout desing in water distribution network system, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol 62., pgs. 51-64., 2018.
- [5] Huzsvár, T., Wéber, R. and Hős, C. (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>.
- [6] Wéber Richárd, Hős Csaba, Efficient Technique for Pipe Roughness Calibration and Sensor Placement for Water Distribution Systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 146, doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001150