

Ivóvízhálózatok nyomásérzékenységen alapuló topológia optimalizációja

The sensitivity based topology optimisation of water distribution networks

DÉLLEI Ákos¹, HUZSVÁR Tamás²

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

Abstract

Nowadays, the water distribution networks are very heterogeneous and topologically complex structures, due to this, there are water distribution networks in almost every region, where frequent pressure fluctuations are causing a significant problem. The topic of the current study is the elimination of localised network capacity scarcities, which are originated from this complexity. In order to solve this problem, a topology optimisation technique, namely the genetic algorithm was used and a less known parameter – pressure sensitivity – as a fitness function. After the implementation of the method on the models of real-life water distribution networks, besides the pressure robustness incrementation, the results indicated that the firewater capacity also growth in the critical network sections.

Keywords: Water distribution network extension, topology optimisation, pressure sensitivity, robustness incrementation, firewater capacity,

Összefoglaló

Napjaink fejlett ivóvízhálózatai igen heterogének és összetettek, ezen komplexitásukból fakadóan pedig majdnem minden régióban előfordulnak olyan ivóvízhálózatok, ahol a gyakori nyomásingadozások jelentős problémát jelentenek. Vizsgálataink célját ezen komplexitásból fakadó részleges hálózati kapacitáshiányok kiküszöbölése jelenti, melyhez eszközként egy eddig kevésbé ismert paraméteren - nyomásérzékenységen - alapuló topológia optimalizáció kerül felhasználásra. Ezen módszer segítségével a hálózatok megerősítése mellett a módszer alkalmas az egyes hálózatokat kritikusan sújtó tűzvíz kapacitáshiány leküzdésére, ezáltal optimalizálva a hálózat üzemvitelét, valamint lehetőséget biztosít a folyamatosan növekvő fogyasztási igény megfelelő kiszolgálására.

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

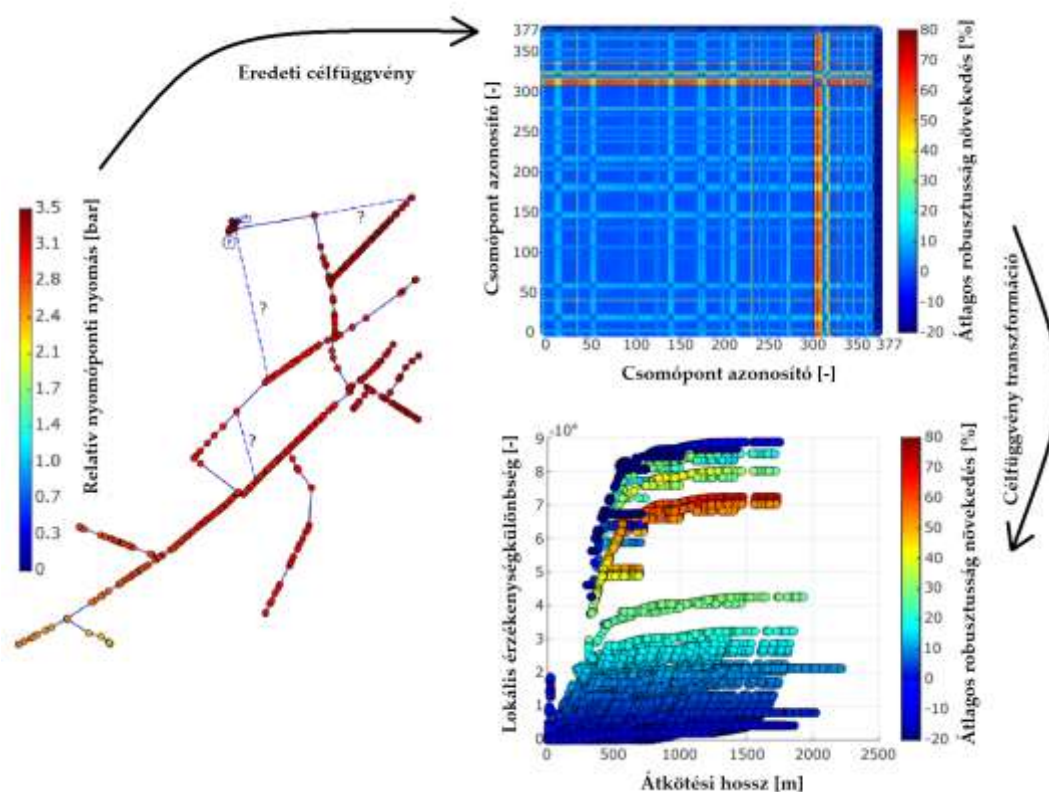
1. BEVEZETÉS

Ivóvízhálózataink a világ első közüzemi szolgáltatásai között jöttek létre, ugyanis az élet legfontosabb alkotóelemét, a vizet szállítják a lakosság felé. A napjainkra jellemző, rendkívül gyors ütemű városiasodásnak köszönhetően szinte az összes kialakult hálózatnak vannak olyan régiói, ahol nyomásproblémák, ennek okán pedig kapacitáshiány jelentkezik. Legtöbb esetben ezen hibák mindaddig rejtve maradnak, míg a hálózatra új lakóépületeket, vagy egyesetleg egy nagyobb vízigényű technológiát alkalmazó üzemet nem csatlakoztatnak. Sok esetben a problémafeltárást egy-egy katasztrófahelyzet is előidézheti, tekintve például egy város közeli erdőtüzet, vagy egy ház kigyulladását. Ilyenkor a tűzcsap jelentette nagyfokú vízkivétel és a lakossági fogyasztási trendek együttese bizonyos esetekben a hálózati nyomás drasztikus leeséséhez, lokális kapacitáshiányhoz vezethetnek. Ebből fakadóan pedig, az éppen szükséghelyzetben lévő tűzoltók nem férnek hozzá az oltáshoz szükséges mennyiségű ivóvízhez a tűzcsapokon keresztül. Ugyanezen jelenség felelős az ipari fogyasztókat és lakosságot súlytó, csúcspontok időszakában jelentkező, termelést és komfortérzetet

csökkentő "csöpögő csapok" jelenségéért. Azaz azért az állapotért, amikor jelentősebb hálózati károsodás nélkül, normális üzemvitel mellett lehetetlenül el a megfelelő vízkinyerés a hálózatokból. A korábban felsorolt jelentős okok nyomán, jelen munka elsődleges célkitűzése e hálózati nyomásingadozások elemzése és javaslat készítése olyan topológiai módosításokra, melyek meggátolhatják ezen káros üzemállapotok bekövetkezését. Erre a Hidrodinamikai Rendszerek tanszék munkatársai által felismert célfüggvény transzformációs módszer és egy újszerű, saját implementációval megvalósított, bővített genetikus algoritmus párosításával keresünk választ, azáltal, hogy célunk azon optimális csőnyomvonal meghatározása, amely a lehető legnagyobb mértékben növeli a vizsgált tizenegy darab valódi ivóvízhálózat kapacitását.

2. HIDRAULIKAI MODELLEZÉS, CÉLFÜGGVÉNY TRANSZFORMÁCIÓ, GENETIKUS ALGORITMUS

A hálózatok matematikai leírása jól definiált, de nemlineáris algebrai egyenletrendszer segítségével történik. Az egyenleteket vízügyi partnereink térinformatikai rendszerének köszönhetően írhatjuk fel az egyes hidraulikai elemekre (csőszakasz, tolózár, szivattyú), melynek köszönhetően létrehozuk a számunkra kiértékelni kívánt hidraulikai modellt. A legkisebb vízelosztó hálózat is már rengeteg egyenlettel rendelkezik, így muszáj ezen egyenletrendszereket számítógép segítségével kiértékelni, melyre a nemlineáris egyenletrendszerek megoldásának alapeszköze, a Newton-Raphson módszer használatos. A kiértékelést követően a csomóponti nyomások és ágelemi térfogatáramok mellett a számunkra későbbiekben fontos csomóponti nyomásérzékenységek is ismertté válnak. A hidraulikus kiértékelés a Staci nevű programmal történik, melyet a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék és a SYS-Team Zrt. közösen fejlesztett ki. A nyomásérzékenység, mint mennyiség a hálózat leíró egyenletrendszerének fogyasztás szerinti deriváltjaként értelmezhető. Három fajtáját különböztethetjük meg a nyomásérzékenységnek. A lokális csomóponti érzékenység azt mutatja meg, hogy a hálózat csomópontjainak fogyasztásváltozása hogyan befolyásolja egy adott csomópont nyomását. Ezen mennyiség összes csomópontra való kiszámítását összesen egy darab hidraulikai szimulációval megvalósíthatjuk. Csúcsérzékenység alatt a legnagyobb lokális érzékenységű csomópont érzékenységét értjük, míg az átlagos érzékenységgel a teljes hálózat felépítésének megváltozására, azaz átlagos robusztusságnövekedésére következtethetünk a módosítást követően. Ezen utóbbi mennyiség minden csomópontra új hidraulikai szimulációt igényel, így igen „drága”. Az eszköz, amely elősegíti az ivóvízhálózatok topológiai optimalizációját, abban rejlik, hogy a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékének munkatársai erős korrelációt fedeztek fel az optimálisan csatlakoztatott csőszakasz és a csomópontok lokális érzékenységkülönbsége között, mely lehetővé teszi egy célfüggvény transzformáció megvalósítását. Módszerük konklúziója, hogy azon két csomópont közé érdemes egy új csőszakaszt fektetni, ahol a legnagyobb lokális érzékenységkülönbséget találjuk egy adott maximális összekapcsolási hosszban belül, ugyanis így érhető el a kívánt leghatékonyabb robusztusság növekedés, mely arányos mennyiség a hálózat kapacitásával. Jogosan merül fel a kérdés, hogy az optimálisan csatlakoztandó csőszakasz helyét miért a csomópontok lokális érzékenységkülönbsége alapján keressük, miért nem fogjuk egyből a csomópontokat, mint keresési teret, és keressük az összekötésük hatására kialakuló átlagos érzékenységnövekményt. Erre válaszul az 1. ábra szolgál. Ha a keresési teret önmagukban a csomóponti azonosítók alkotnák, és az egy-egy csomópont összekötésével létrejövő átlagos érzékenységnövekedéssel arányos átlagos robusztusság növekedést vizsgálnánk, akkor egy teljesen sztochasztikus, Hölder-tábla szerű keresési teret kapnánk, mely az egyik legnehezebben optimalizálható célfüggvény struktúrát jelenti. Ezen tér esetén a legtöbb algoritmus egyáltalán nem, vagy csak az esetek kis hányadában konvergál, a többi esetben a keresés lokális optimumokba ragad bele. Ha azonban áttranszformáljuk a keresési teret oly módon, hogy a vízszintes szakaszon a csomópontok összekötéséhez szükséges átkötési hosszt, a függőleges tengelyen pedig az összekötött csomópontok lokális normált érzékenységkülönbségét ábrázoljuk, akkor az elérhető átlagos érzékenység növekedés már egy rendezett célfüggvény szerint fog eloszlani. Egy betápos hálózatok esetén a csőátkötés optimumok a transzformáció után kapott, 1. ábrán látható külső burkológörbén helyezkednek el[2], míg több betáplálással rendelkező hálózatoknál az optimumok a külső görbéről elmozdulnak. Feltárásukhoz, hogy ne kelljen minden csomópont esetén új hidraulikai szimulációval kiszámítanunk az átlagos robusztusság növekedést, optimumkereső algoritmus implementálására van szükség.

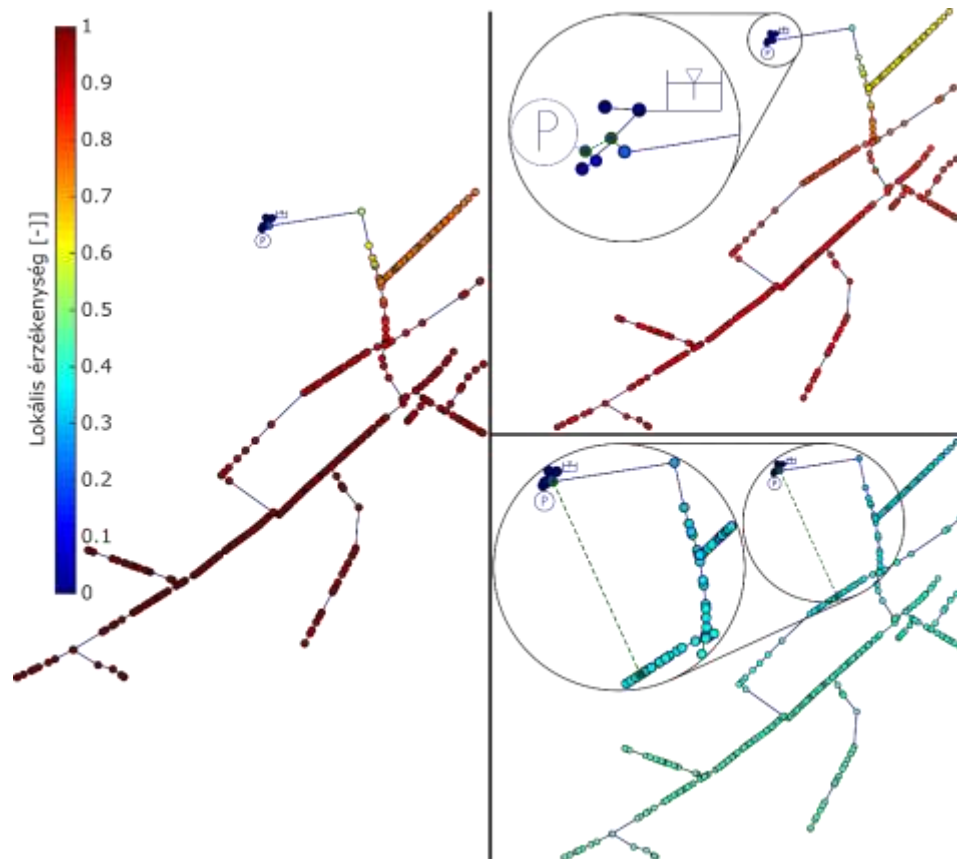


1. ábra A módszer alapját jelentő célfüggvény transzformáció.

A keresés során használt, Son Duy Dao és kollégái által kifejlesztett genetikus algoritmust összekötöttük a hidraulikai szimulációt megvalósító, „C++” nyelven megírt Stacival, melynek köszönhetően nagyobb-nál nagyobb hálózatokat vizsgálhattunk meg.

3. ESETTANULMÁNY

Vizsgálataink első tárgyát egy Nyugat-magyarországi 377 csomóponttal és durván 500 fős lakossággal rendelkező kistelepülés jelentette. Az optimalizáció során a hálózat teljes csőhosszának adott százalékos értékeivel írtuk elő a még figyelembevehető, maximális keresett csőhosszt, melyeknek értéke rendre 69, 346 és 639 méter volt. A 2. ábra jobb felső részén egy 15.7 méteres csőszakasz beépítésével, míg a jobb alsó részén egy 550 méteres csőszakasz implementálásával megvalósított topológia módosítás hatását láthatjuk. Az elért robusztusság növekedés rendre 29.19% az első és második keresési határon belül, míg 36.25 % a harmadik keresési határ esetében. Utóbbin tisztán látható, hogy az egész rendszer nyomásérzékenysége szinte teljesen lecsökkent, így egy rendkívül robusztus hálózatot nyernénk csupán ezen csőátkötés beépítésével. A nyomásérzékenység lecsökkentésének hatására nagy mértékű kapacitás növekedést tudunk a hálózaton elérni. A nyomásérzékenység lecsökkenése magával vonja azt, hogy egy fogyasztó vízkivétele esetén a rendszer nyomása kisebb mértékben változik meg, esik vissza. Ennek köszönhetően ugyanazon fogyasztási állapot mellett az alacsonyabb nyomás kevésbé csökken le, ami a rendszerkapacitás növekedésével jár. Ha megvizsgáljuk a kapacitásértékeket, a robusztussággal arányos, trend és nagyságrend szerint megegyező értéket kapunk.



2. ábra A vizsgált hálózatot optimális átkötései a hidraulikai megoldóval összekötött optimumkeresővel meghatározva, ahol a jobb felső ábrán az 1. és 2. csőhossz kritériumon belül meghatározott optimum, jobb alul a 3. csőhossz kritérium által kijelölt optimum, míg bal oldalon az eredeti állapot látható.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Projektünk célját több betáplálással rendelkező ivóvízhálózatok nyomásérzékenységen alapuló topológia, azaz egyetlen csőátkötéssel megvalósított optimalizációja jelentette, mellyel elsődleges célunk a napjaink ivóvízhálózatait jellemző kapacitáshiány leküzdése volt. Az ivóvízhálózatok csőátkötés szerinti topológia optimalizációja komoly nehézségeket szült az algoritmusok célfüggvényére vonatkozóan. A kutatási eredmények azt mutatták az irodalom jelenlegi állásával együtt, hogy a módszer keresését célszerű a genetikai algoritmusok irányába eszközölni. A Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék munkatársainak eredményeit, illetve Son Duy Dao és kollégái módszerét ötvözve egy olyan új, optimumkereső eljárás implementálására nyílt lehetőség, mely képes felülkerekedni a célfüggvényt nehezítő problémákon több betáppal rendelkező ivóvízhálózatok esetén. Ahhoz, hogy a kisebb községek hálózatánál nagyobb ivóvízhálózatokat is megvizsgálhassunk, szükség volt az implementált algoritmus célfüggvényét a Staci nevű hidraulikai megoldó rendszerbeépítése által meghatározni. Az így nyert, továbbfejlesztett genetikai algoritmus segítségével 11 darab valódi, Magyarországon található ivóvízhálózatot vizsgáltunk meg, melyek többsége esetén látványos eredmény született mind a robusztusság, mind az elért kapacitásnövekményeket tekintve.

Irodalomjegyzék

- [1] Son Duy Dao, Kazem Abhary, and Romeo Marian. An improved structure of genetic algorithms for global optimisation. *Progress in Artificial Intelligence*, 5(3):155–163, 2016.
- [2] T. Huzsvár, R. Weber, and C. J. Hos. Fire and drinking water capacity enhancement in water distribution networks. *Water Supply*, pages 1–8, 2020.
- [3] Dr. Csizmadia Péter. <http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGBG13/> atrjegyzet:2020.
- [4] Eric O. Scott and Kenneth A. De Jong. Understanding simple asynchronous evolutionary algorithms.