

IVÓVÍZHÁLÓZATOK NYOMÁSÉRZÉKENYSÉGEN ALAPULÓ TOPOLOGIA OPTIMALIZÁCIÓJA

DÉLLEI ÁKOS,

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR, HIDRODINAMIKAI RENDSZEREK TANSZÉK

DULOVICS JUNIOR SZIMPÓZIUM - FŐDÍJ / SZIMPÓZIUM LEGJOBB ELŐADÁSA

CÉLKITŰZÉS

Ivóvízhálózataink a világ első közüzemi szolgáltatásai között jöttek létre, ugyanis az élet legfontosabb alkotóelemét, a vizet szállítják a lakosság felé. A folyamatosan bővülő, egyre nagyobb városok általában kisebb városok, települések összekapcsolásával jönnek létre, melynek révén a kisebb ivóvízhálózatok egymásba integrálása következik be. A napjainkra jellemző, rendkívül gyors ütemű városiasodásnak köszönhetően szinte az összes ily módon kialakult hálózatnak vannak olyan régiói, ahol nyomásproblémák, kapacitáshiány jelentkezik. Legtöbb esetben ezen hibák mindaddig rejtve maradnak, míg a hálózatra új lakóépületeket, vagy esetleg egy nagyobb vízigényű technológiát alkalmazó üzemet nem csatlakoztatnak. Sok esetben a problémafeltárást egy-egy katasztrófahelyzet is előidézheti, tekintve például egy város közeli erdőtűzet, 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. Ennek okán pedig, az éppen szűk-ség helyzetben lévő tűzoltók nem férnek hozzá

az oltáshoz szükséges mennyiségű ivóvízhez a tűzcsapokon keresztül. Ugyanezen jelenség felelős az ipari fogyasztókat és lakosságot súlytó, csúcsfogyasztások időszakában jelentkező, termelést és komfortérzetet csökkentő "csöpögő csapok" jelenségeért. 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 kutatás elsődleges célkitűzése e hálózati nyomásingadozások elemzése és javaslat készítése olyan topológiai módosításokra, melyek meggátolják ezen káros üzemállapotok, azaz a lokálisan jelentkező kapacitáshiányok bekövetkezését. Erre a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék munkatársai által felismert célfüggvény transzformációs módszer és egy újszerű, saját implementációval megvalósított, bővített genetikus algoritmus párosításával keresek választ, azáltal, hogy célokom azon optimális, a rendszerbe csatlakoztatandó csőnyomvonal meghatározása, amely a lehető legnagyobb mértékben növeli a vizsgált tizenegy darab valódi ivóvízhálózat kapacitását. Ez egy

passzív, igen környezetkímélő megoldást jelent az ivóvízhálózatok jobbátételére, ugyanis csak egyszer kell a rendszerbe építeni az adott csőszakaszt, utána nincs vele több teendő. Míg, ha ugyanezen célt nyomásfokozó szivattyúkkal akarunk megvalósítani, az az évek során rengeteg költséget vonna maga után a karbantartás által, illetve jelentős mennyiségű környezetterhelést jelentene a szivattyú folyamatos áramigényén keresztül. Céloom tehát azon legkörnyezetbarátabb bővítési javaslat elkészítése egy ivóvízhálózat esetére, mely segítségével a hálózati kapacitás növelhetővé válik.

A HÁLÓZATI MODELLEZÉS MEGVALÓSÍTÁSA

A vizsgálatok megkezdése előtt szükség van ivóvízhálózati modellek felépítésére. Az ipari partnerek által számunkra biztosított térinformatikai rendszernek köszönhetően információt kapunk a hálózatban lévő csővezetékek pontos elhelyezkedéséről, átmérőjéről, hosszáról, csőúrlódási tényezőjéről, a medencék vízfedettségről, a szerelvények (például tolózárak) helyéről, illetve az imént említett ágelemek találkozási helyéről, melyet csomópontnak hívunk. Az éves számlázási adatok alapján minden csomópont esetén valós fogyasztási adatokat is modellezhetünk, melyek pontosan tükrözik a hálózatból kivett vízmennyiséget. A modellalkotást követően eszközölnünk kell a felépített hálózati modell matematikai leírását. Definiálhatunk csomóponti egyenleteket, illetve ágegyenleteket. Míg előbbiek lineáris alakot öltenek, addig az ágegyenletek között a térfogatáram és az abban megtalálható sebesség miatt megjelenik a nemlinearitás. A hálózatot jellemző teljes egyenletrendszer emiatt egy jól definiált, de nemlineáris algebrai egyenletrendszernek tekinthetjük. 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 BEVEZETÉSE ÉS EGYES FAJTÁINAK ISMERTETÉSE

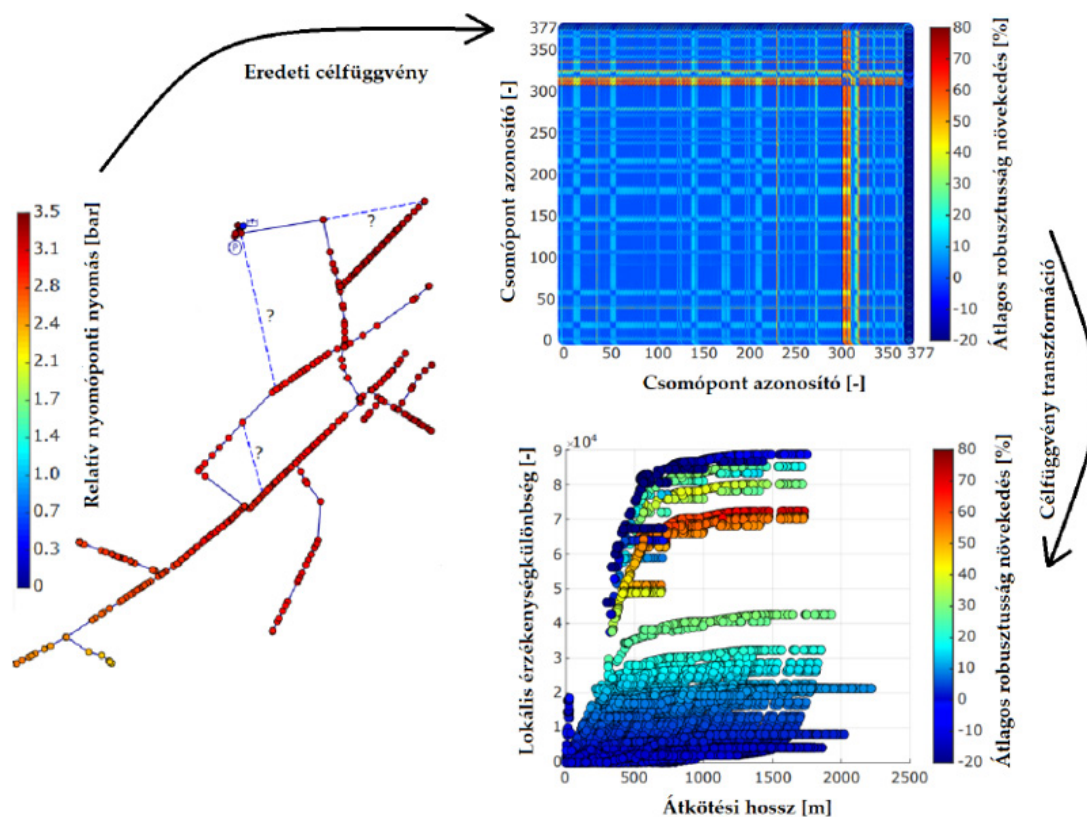
Az érzékenység fogalma azt fedi, hogy egy fizikai rendszer, jelen esetben egy hidraulikai hálózat jellemzői milyen mértékben változnak adott behatások, körülményváltozások eredményeként. Esetemben ezen hatás a hálózat csomóponti fogyasztásának vagy topológiájának megváltozása, míg ahol ezen hatás érvényesül az az ivóvízhálózat hidraulikai jellemzői. Hidraulikai jellemzők alatt a hálózatot leíró nemlineáris algebrai egyenletrendszer ismeretlen mennyiségeit értjük, értelemszerűen a csomóponti nyomásokat és ágelemi térfogatáramokat, valamint ezen mennyiségekhez kapcsolható, összefüggő mennyiségeket (pl. csomóponti kapacitás). Attól függően, hogy vizsgálatunk során mely paraméter megváltozását követjük nyomon, úgy beszélhetünk fogyasztásváltozás esetén nyomás illetve térfogatáram érzékenységről. Számomra a nyomásérzékenység lesz mérvadó a hálózati topológia optimalizáció megvalósításakor, révén a hálózat fogyasztói illetve a szolgáltatók számára a csomóponti nyomások jelentik a kézzelfoghatóbb mennyiségi értéket. Ha vesszük a hálózatokra felírható nemlineáris egyenletrendszert, és kiszámítjuk ennek a fogyasztás

szerinti megváltozását, akkor rendelkezésünkre fog állni az érzékenységi mátrix. Annak függvényében, hogy ezen mátrix sorait és oszlopait hogyan olvassuk ki, háromféle érzékenységi mennyiséget különböztethetünk meg. Lokális csomóponti érzékenységről akkor beszélhetünk, ha a mátrix egy adott sorában található elemeket összeadjuk. Ezen mennyiség megmutatja számunkra, hogy a hálózat összes csomópontjának fogyasztásváltozása hogyan befolyásolja egy adott csomópont nyomását. Csúcsérzékenység alatt a legnagyobb lokális érzékenységű csomópont érzékenységét értjük. Ezt a mátrix legnagyobb érzékenységű sorának összegzésével számíthatjuk ki. A hálózatok vizsgálata során egy szintén kiemelt mennyiség az átlagos érzékenység, mely a teljes hálózat érzékenységéről ad információt. Ennek kiszámításához a mátrix összes elemét átlagolnunk kell. Abból fakadóan, hogy egy hálózat topológia módosítása az ivóvízhálózat áramlási viszonyait is átalakítja, így az érzékenység értékeinek módosulását is maga után vonja, ezen mennyiség topológia specifikus. Azaz rendelkezésünkre áll egy olyan mennyiség, mely lehetővé teszi annak karakterizálását, hogy az ivóvízhálózat felépítésének megváltoztatása milyen irányba módosította annak robusztusságát. Így tehát ezen paraméter megváltozását kiterjeszthetjük két topológiai állapot összevetésére, azaz a csőátkötés behelyezése előtti és utáni állapotra. Az érzékenységi mennyiségek definiálását követően érdemes kitérni az optimalizáció célfüggvényére, illetve a szükséges célfüggvény transzformációra.

CÉLFÜGGVÉNYTRANSZFORMÁCIÓ MEGVALÓSÍTÁSA

Ahhoz, hogy egy csőátkötés rendszerbe helyezése által módosított hálózat megerősödését jellemezni tudjuk, szükségünk van az imént ismertetett

átlagos érzékenység megváltozásának kiszámítására, ugyanis csak ennek segítségével tudunk következtetéseket levonni a teljes hálózatra nézve, mivel a lokális érzékenység csak adott csomópontokra jellemző mennyiség. Itt fontos kihangsúlyozni, hogy míg a lokális érzékenységváltozást minden csomópont esetére egyetlen hidraulikai szimulációval kiszámíthatjuk, addig az átlagos érzékenységváltozást sajnos minden megvalósítható átkötés esetére ki kell külön értékelni, mely már egy kis hálózat esetén is rengeteg hidraulikai szimulációt, és futtatási időt von maga után. Mivel a beépítendő csőszakasz a két végén két csomópontot köt össze, ésszerű lenne a csomóponti azonosítók alapján keresni a számunkra szükséges átkötést, melynek topológia módosító hatását az átlagos érzékenység megváltozásával, más szóval az átlagos robusztusság növekedéssel támaszthatnánk alá, ahogy az az 1. ábrán is látszik. Ha így építjük fel a célfüggvényt, akkor az ábrán is jól látható módon egy rendkívül bonyolult keresési teret kapnánk, melyen a legtöbb algoritmus elveszíti konvergenciáját. Szükség van tehát egy célfüggvény transzformáció alkalmazására. A Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék munkatársai erős korrelációt fedeztek fel az optimálisan csatlakoztatott csőszakasz és a csomópontok lokális érzékenységkülönbsége között, azaz 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. Így tehát, ha 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.



1. ábra. A célfüggvény transzformáció megvalósítása

A Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék munkatársai által kifejlesztett, imént ismertetett módszer jelenleg csak egybetápos ivóvízhálózatok esetére működik kiválóan, ugyanis ekkor az optimális megoldások a beépítendő csőhossz - lokális érzékenységekülönbség diagram külső burkológörbéjén helyezkednek el. Bár az optimális megoldások mindig egy görbét rajzolnak ki, több betápos ivóvízhálózatok esetén az optimális megoldásokat tartalmazó burkológörbe „lejjebb mozdul” a grafikonon. Ennek a jelenségnek az az oka, hogy több betáplálás esetén a legnagyobb lokális érzékenységekülönbségű csomópontok összekötése hidraulikai rövidzárhoz vezethet, mellyel nem robusztusság növekedést, hanem a hálózat funkcióvesztését érnének el. Emiatt az optimális csőátkötés pontos elhelyezkedésének feltérképezése végett szükség van egy optimumkereső

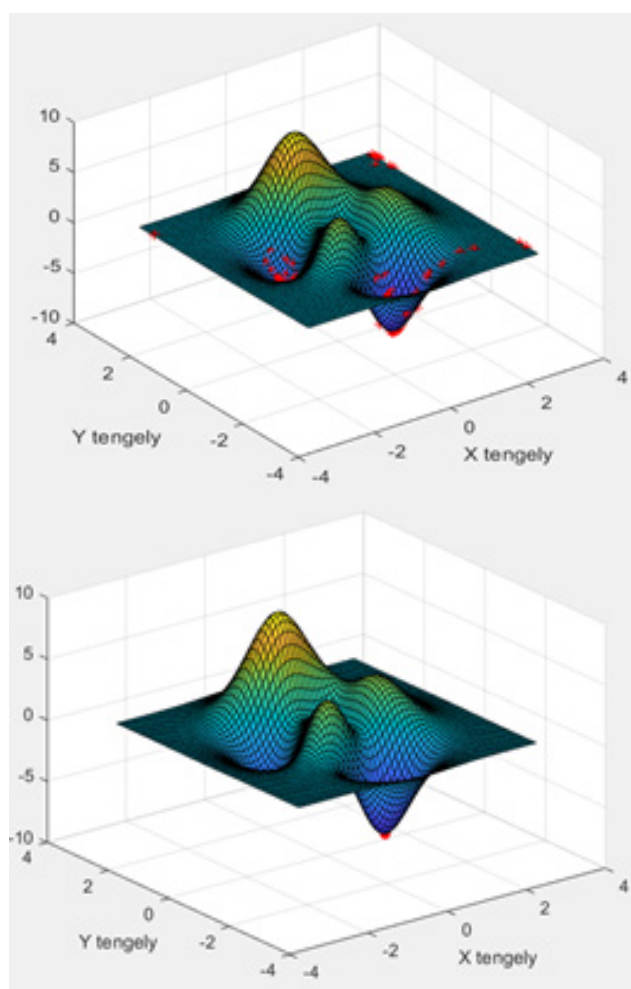
algoritmus implementálására. Számos, globális optimumkeresésre képes sztochasztikus algoritmus létezik, viszont a csőoptimalizálás terén alkalmazandó célfüggvényt valamennyiük képtelen lenne kezelni. Ugyanis ilyen esetben, nem csupán egy nagyméretű, diszkrét keresési térrel kell megbirkóznia az algoritmusnak, hanem a keresendő csőátkötést meghatározó, mindössze két csomóponti azonosító lévén egy szűkparaméteres optimumkeresésen is felül kell kerekednie. Mindezek mellett, a gazdasági szempontokat figyelembe véve a keresés során elő kell írni egy maximális csőhosszt is, mely lineáris kényszerként tovább nehezíti az algoritmus feladatát. Kisebb, község méretű ivóvízhálózatok esetén a teljes hidraulikai kiértékelés (átkötésenként az átlagos érzékenységváltozás kiszámítása), mely az algoritmus célfüggvényét jelenti, még elvégezhető. Nagyobb hálózatokat

vizsgálva, a teljes kiértékelés a lehetőségek exponenciális növekedése, azaz a kombinatorikai robbanás miatt jelen számítógépes technikával nem, vagy a kisebb városokat is tekintve egy átlagos irodai számítógépen, csak évek alatt tudna megvalósulni. Ezen tényből adódóan, a kutatás következő fázisát a hidraulikai szimulátor célfüggvényként történő algoritmusba kötése jelentette, melynek segítségével teljes kiértékelés nélkül vizsgálhattam nagyobb-nál nagyobb, pontosan 11 darab, Magyarország területén található ivóvízhálózatot.

AZ OPTIMALIZÁCIÓT MEGVALÓSÍTÓ GENETIKUS ALGORITMUS

Ahhoz, hogy megtaláljam az optimalizáció megvalósítása szempontjából legkiválóbb algoritmust, három genetikus algoritmus variáns került megvizsgálásra. Az első módszer a MatLab beépített optimumkereső eszköztára. A második ugyanezen algoritmus, némileg kiegészített, saját implementálású verziója. Végül pedig egy újdonságot jelentő, lokális keresővel és szándékosan kényszerített keresési térre kifejlesztett eszköztárral rendelkező módszer került megvizsgálásra, mely a leghatékonyabbnak bizonyult az optimumkeresés során. Mindhárom algoritmus vizsgálata szintetikus tesztfüggvényeken keresztül történt, révén ezen függvények pontos megoldása ismert, illetve azon lokális optimumok helye is, melyek egy algoritmus számára akadályt jelenthetnek. Előbbi kettő algoritmus konvergenciája a 2. ábra bal oldali részén látható. Elvesztek a keresési téren, számos lokális optimumról szolgáltatott információt, miközben a számunkra szükséges globális optimum megtalálásában nem jártak sikerrel, ugyanis nem tudták megfelelően kezelni a csőoptimalizálás során alkalmazott bonyolult célfüggvényt. Ha

azonban tekintjük a SonDuyDao és társai által kifejlesztett, általam implementált harmadik algoritmust, akkor kiválóan láthatjuk a konvergencia megfelelő alakulását, azaz a globális optimum pillanatok alatt történő megtalálását, melyet a 2. ábra jobb oldali része is alátámaszt.



2. ábra. Az algoritmusok konvergencia vizsgálata

Ezen algoritmus lényegében két dologban tér el a hagyományos genetikus algoritmusoktól. Rendelkezik egy lokális keresővel, mely során az algoritmus egy megadott „X” sugáron belül elkezd teljesen kiértékelni a célfüggvényt, ezáltal megnézi, hogy talál-e jobb irányt a megoldáskeresés során. Valamint automatikus újraindításának köszönhetően az algoritmus újraindítja

keresési ciklusát, ha beszorul egy lokális optimumba, ezáltal pedig képes önmaga figyelni a konvergenciájának alakulását.

AZ OPTIMALIZÁCIÓ MEGVALÓSÍTÁSA, EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

A továbbfejlesztett genetikus algoritmussal a tesztelési fázist követően 11 db, valódi, Magyarországon található ivóvízhálózatot vizsgáltam meg. Az eltérést az jelentette a tesztelési fázistól, hogy az algoritmus célfüggvényét összekötöttem a Staci nevű hidraulikai megoldóval, így szükségstenné vált az egyes hálózatok esetén a teljes hidraulikai kiértékelés elkészítése, mely nagyobb hálózatok esetén, egy átlagos személyi számítógéppel akár évekig

is eltartana. A hálózatok adatait a Vízművek rendelkezésünkre bocsátották, melynek köszönhetően a módszert a szintetikus hálózatoktól eltérve valódiakon tesztelhettem. A vizsgált ivóvízelosztó rendszerek adatai az alábbi táblázatban látható.

A futtatások megkezdése előtt fontos volt meghatározni, hogy az egyes hálózatokat mennyi ideig vizsgáljam a sztochasztikus optimumkeresővel, révén ezen optimumkeresők esetén nem tudhatjuk, mikor találják meg a globális optimumot. Mérlegelve azon tényállást, hogy az iparban egy beruházás, vagy megrendelés esetén általában gyorsan kell döntést hoznunk, Sándor-hegy ivóvízhálózatával bezárólag a futási időt 1 npra választottam meg, míg

<i>Hálózat neve</i>	<i>Csomópontok [db]</i>	<i>Teljes csőhossz [m]</i>	<i>Lehetséges csőátkötések [db]</i>
<i>Csapod</i>	<i>377</i>	<i>6390,06</i>	<i>142 506</i>
<i>Tómalom</i>	<i>1293</i>	<i>17623</i>	<i>1 673 142</i>
<i>Bécsi-domb</i>	<i>1589</i>	<i>22674,7</i>	<i>2 526 510</i>
<i>Váris</i>	<i>1735</i>	<i>27117,8</i>	<i>3 011 960</i>
<i>Vashegy</i>	<i>1990</i>	<i>31916,7</i>	<i>3 962 090</i>
<i>Nagycentk</i>	<i>2057</i>	<i>33156,9</i>	<i>4 233 306</i>
<i>Lövő</i>	<i>2458</i>	<i>45223,1</i>	<i>6 044 222</i>
<i>Bük</i>	<i>2911</i>	<i>49946,4</i>	<i>8 476 832</i>
<i>Sándor-hegy</i>	<i>2940</i>	<i>36240,3</i>	<i>8 646 540</i>
<i>Fertőmenti</i>	<i>6907</i>	<i>111952</i>	<i>47 713 556</i>
<i>Villa-sor</i>	<i>7186</i>	<i>97285</i>	<i>51 645 782</i>

1. táblázat. A vizsgált, valós hálózatok adatai

a két nagyobb hálózat, Fertőmenti és a Villator esetén 2 nap mellett döntöttem. Jól láthatóan, a nagyobb hálózatok irányába haladva négyzetesen nő a keresési terünk. Egy maximális csőátkötés hossz definiálásával ugyanakkor az egyes futtatások esetén ezen keresési terek nagyságát egy bizonyos mértékig lecsökkenthetjük. Kényszerként tehát minden hálózat esetén előírtam 3-3 maximálisan figyelembe vett csőátkötés hosszt, melyeket a hálózatok teljes csőhosszainak meghatározott százalékos értékével definiáltam. Példaként tekintsük Csapod hálózatát, melynek teljes csőhossza 6390 méter. Itt az első kényszerhatárt a teljes csőhossz 1%-ával írtam elő, azaz az elsőként figyelembe vett maximális csőátkötés hossz az optimumkeresés során 63,9 méter volt.

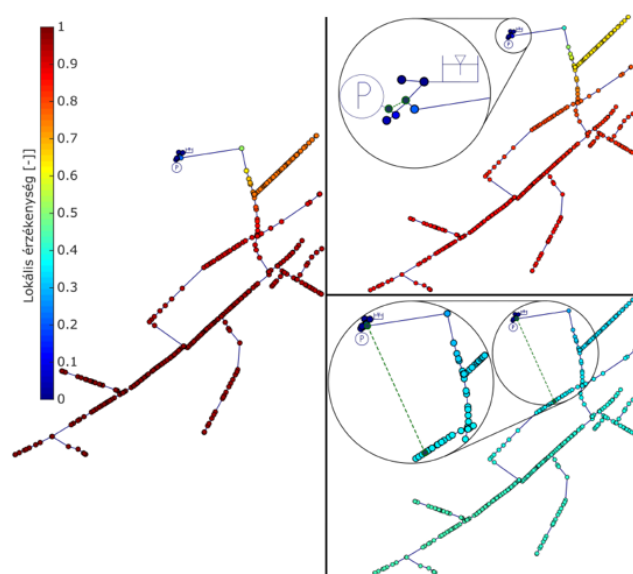
Vizsgálataim célját jelentő nyomásérzékenységen alapuló topológia optimalizáció tehát azt jelenti, hogy ivóvízhálózati rendszereinket egyetlen, optimális csőátkötés hálózatba építésével kívánom megerősíteni, azaz robusztusságukat ezáltal szeretném megnövelni a lehető legkörnyezetbarátabb módon a fogyasztásváltozásokkal szemben. Ezen robusztusságnövelés, vagy más szempont szerint érzékenységsökkenés egybecseng a hálózatok kapacitás növelésével mégpedig oly módon, hogy a tapasztalataink egyértelműen azt mutatják, hogy az esetben, ha stabilizáljuk a hálózatot nyomásérzékenység szempontjából, úgy jelentős kapacitásnövekedést is lehetőségünk van elérni. Ez abból fakad, hogy a nyomásérzékenység csökkenése magával vonja azt, hogy egy fogyasztó vízkivétele esetén a rendszer nyomása kisebb

<i>Hálózat neve</i>	<i>Kapacitás 1 [%]</i>	<i>Kapacitás 2 [%]</i>	<i>Kapacitás 3 [%]</i>
<i>Csapod</i>	<i>11.4144</i>	<i>11.4144</i>	<i>33.3826</i>
<i>Tómalom</i>	<i>0.2715</i>	<i>2.9996</i>	<i>6.2270</i>
<i>Bécsi-domb</i>	<i>0.9403</i>	<i>0.9403</i>	<i>2.0306</i>
<i>Váris</i>	<i>1.8746</i>	<i>2.0784</i>	<i>1.6192</i>
<i>Vashegy</i>	<i>0.0776</i>	<i>0.4385</i>	<i>1.2716</i>
<i>Nagycekn</i>	<i>6.7387</i>	<i>6.7387</i>	<i>6.7387</i>
<i>Lövő</i>	<i>0.5869</i>	<i>6.8428</i>	<i>6.5759</i>
<i>Bük</i>	<i>0.2226</i>	<i>9.5986</i>	<i>13.5201</i>
<i>Sánc-hegy</i>	<i>0.4942</i>	<i>4.1497</i>	<i>4.0662</i>
<i>Fertőmenti</i>	-	-	<i>1.5291</i>
<i>Villa-sor</i>	-	-	<i>0.6757</i>

2. táblázat. A vizsgált hálózatokon elért kapacitás növekedés, az egyes oszlopok értékei az adott maximális csőátkötési hosszal megvalósított optimalizációhoz tartozó kapacitásnövekmény értékeket jelentik, a két legnagyobb hálózatnál pedig csak a legnagyobb robusztusságnövekedés esetét vizsgáltam meg

mértékben változik meg, esik vissza. Tehát ugyanazon fogyasztási állapot mellett a rendszerkapacitás növekszik, révén az alapnyomás kevésbé csökken le. A robusztusság értékek tehát átültethetők műszakilag értelmezhető megfogalmazásba, melyet a hálózat kapacitás növekedési értékével jellemezhetünk. Ezzel pedig elérhetem módszerem fő célját, a lokális hálózati kapacitáshiányok feloldását. A Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék munkatársai megvizsgálták, hogy az optimumkereséssel elérhető robusztusság növekedés arányos, trendszerint megegyező az elérhető kapacitásnövekedéssel. Maga a kapacitásnövekedés arról szolgáltat információt, hogy a hálózat megerősítését követően mennyivel több vizet tudunk kivenni a rendszerből ugyanazon fogyasztási állapot mellett. Az egyetlen módszer, mellyel a kapacitásvizsgálatot elvégezhetjük nem más, mint a passzív tűzcsap modell. Maga a passzív tűzcsap egy légkörre nyitott csomópont, melyet egy nagyon rövid, DN100-as csőszakasszal rákötünk egy-egy hálózati csomópontra. Ezen szimuláció megvalósításával a hálózati csomópont és a legkör nyomáskülönbségéből adódóan víz fog kilépni a passzív tűzcsapon keresztül. Az egyes csomópontokra tehát egymás után egy nagy fogyasztású, légköri nyomásra nyitott tűzcsapot helyezünk, és a módosítás előtti, illetve utáni állapotokban vizsgáljuk a kivehető vízmennyiséget minden esetben egy szeparált, új hidraulikai szimuláció által, ebből fakadóan ezen vizsgálati forma igen számításigényes – még a legkisebb hálózat esetén is több mint hétszáz hidraulikai szimuláció elvégzését igényli, míg a legnagyobbnál több mint tizennégyezret – viszont lehetővé teszi a hálózat tűzvíz kapacitásnövekményének feltérképezését. A tűzcsap-moddellel megvizsgált kapacitásnövekmények az 2. táblázatban követhetők nyomon.

Jól látható, hogy módszerem minden hálózat esetén jelentős százalékos kapacitás növekedést ért el ugyanazon betáplálási pontok és hálózati üzemviteli jellemzők mellett. Azaz az optimálisan csatlakoztatott csőátkötéssel úgy érhetünk el nagyobb áramlást, hogy nem cserélünk a rendszerben szivattyút. Annak érdekében, hogy szemléletesebbé tegyem a vizsgálataim eredményeit, két hálózat esetén részletes esettanulmány kerül bemutatásra. Látható, hogy az optimalizáció következtében miként is változott a nyomásstabilitásuk, nőtt meg a robusztusságuk, illetve ezzel egy trendet követve a kapacitásuk. Csapod és Nagycenk hálózatának részletes elemzése következik a továbbiakban.



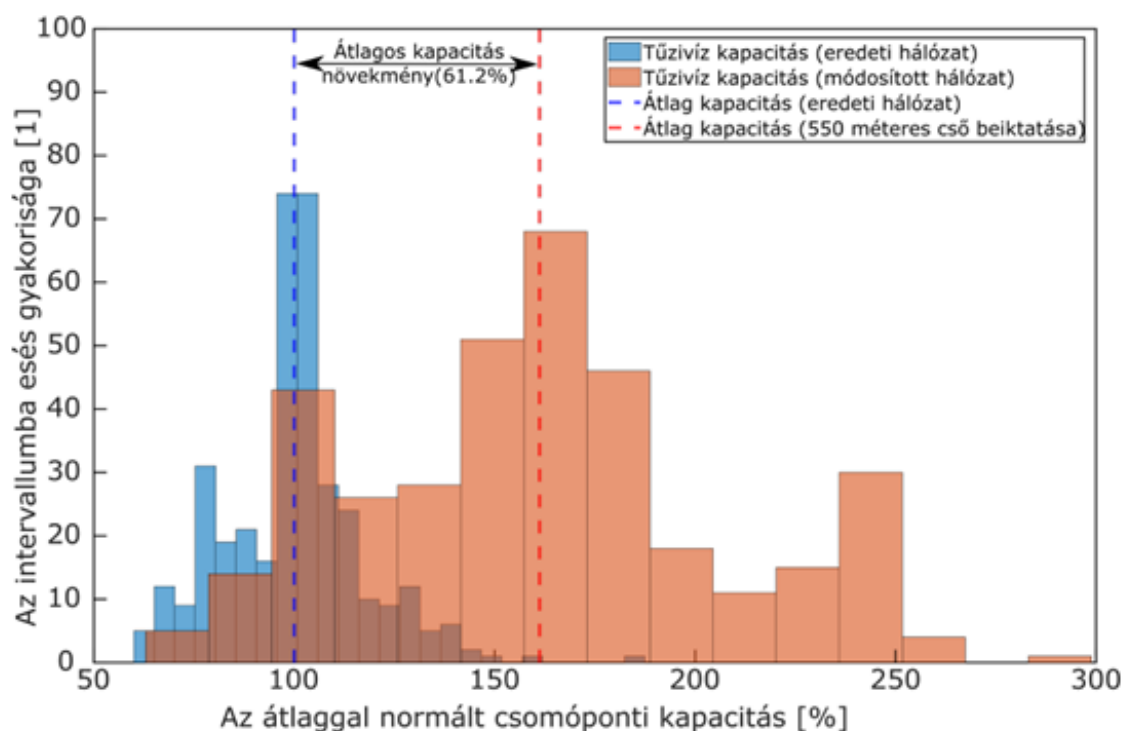
3. ábra Csapod hálózatának optimális átkötései a hidraulikai megoldóval összekötött optimumkeresővel meghatározva.

A 3. 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, rendre 11,41 és 33,38%-ot. Ahogyan az említésre került, 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 alapnyomás kevésbé csökken le, ami a rendszerkapacitás növekedésével jár. Ha megvizsgáljuk a kapacitásértékeket, a robusztussággal arányos, trend és nagyságrend szerint megegyező értéket kapunk.

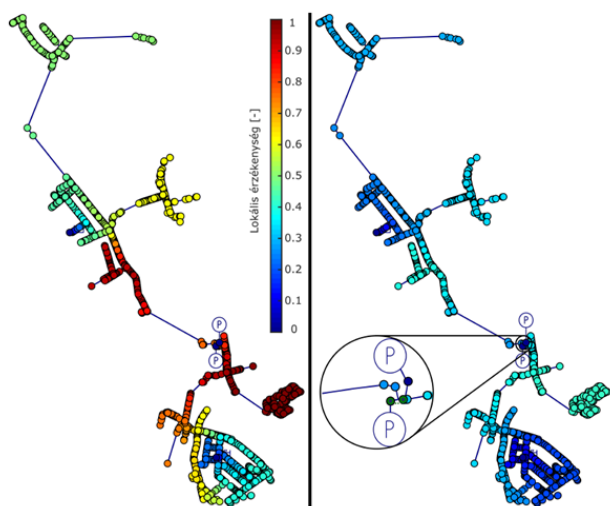
Az elért kapacitásnövekedés megfelelő kiértékelhetősége érdekében 17 db, a betáphoz közel

lévő csomópontot eltávolítottam, mivel kapacitásértékük 16-18-szor nagyobb, mint a hálózati kapacitás átlag, annak okán, hogy a betáplálási pont érzékenysége zérus, tehát kapacitása elméletileg végtelen, így értelmezhetetlenül eltorzították a hisztogramot. Ha vesszük a csomóponti kapacitások átlaggal normált értékét, azt láthatjuk, hogy a hálózati átlagkapacitás mintegy 61,2 %-kal megnőtt, illetve rengeteg új, az eredeti hálózathoz képest extrém nagy kapacitással rendelkező csomópont jelent meg a hálózatban. Természetesen a nagy kapacitással rendelkező csomópontok kizárásával az elért valós 33,3 %-os kapacitásértéket torzítom, ugyanakkor a csomópontok többségére elért kapacitásnövekményt hűen ábrázoltam. Ebből fakadóan, az adatok feldolgozása során a leválogatás nélküli hisztogram alapján számított kapacitás növekedés került feltüntetésre, ezen leválogatás csupán az eloszlás ábrázolhatósága végett történt.



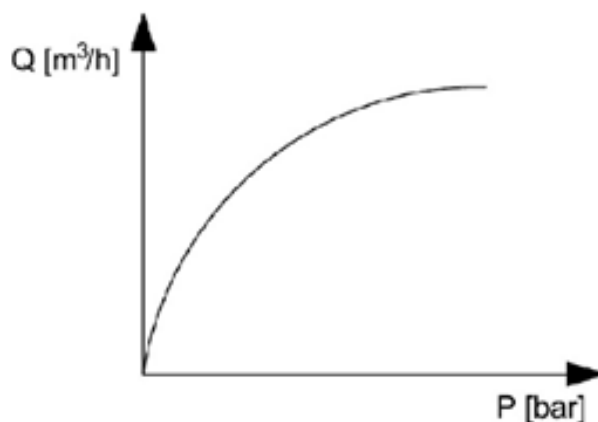
4. ábra Csapod hálózatának optimalizálásával elért kapacitásnövekedés

Nagycenk esetén a 3 optimalizációs futtatás során ugyanazon eredményt kaptam. Hiába növeltem a figyelembe vehető csőátkötés hosszokat, az optimumkereső egy 22,39 méteres csőszakaszt talált optimálisnak, mellyel 54,48 %-os robusztusság növekedést érhetünk el. Az érzékenységi térkép magáért beszél. Csakúgy, mint Csapodnál, a teljes rendszer nyomásingadozását szinte teljes mértékben lecsökkenthetjük egy igen rövid csőszakasz hálózatba építésével.



5. ábra Nagycenk hálózatának optimális átkötései a hidraulikai megoldóval összekötött optimumkeresővel meghatározva

A kapacitásnövekedés bár egy trendet mutat Nagycenk esetén is a robusztusságnövekedéssel, mértékük jelen esetben nem kapcsolódik egyértelműen össze. Az optimalizációval 6,7 %-os kapacitásnövekedést értem el, míg a robusztusság növekedés 54,48 %-ra adódott. Ezen eredmény magyarázatául a passzív tűzcsap modell módszerének fő korlátja szolgál. Amennyiben egy hálózat alapvetően rendelkezik megfelelő kapacitással a tűzcsapok megfelelő üzemeltetéséhez, azaz a tűzcsap jelleggörbe nem kezdeti, hanem már vízszintes közeli szakaszán járunk, úgy csupán a növekmény trendjéről kapunk információt.



6. ábra Egy tűzcsap karakterisztika görbéje

A görbén azt láthatjuk, hogy a nyomás növelésével, egy bizonyos szint felett már nem tudunk több vizet átengedni a tűzcsapon, mely a hálózat minden csomópontja esetén DN100 méretben került modellezésre. Ilyen hálózatok esetén akkor kapnánk megfelelőképet a kapacitásnövekedés mértékéről, ha a hálózatra egy nagyfogyasztót kötnénk, melynek térfogatáram-nyomás karakterisztikája már alkalmas lenne ezen cél indikálására. Ez már azonban túlmutat jelen kutatás keretein, révén ehhez egy hálózatbővítési vizsgálat elvégzése szükséges. A passzív tűzcsap modell arra viszont tökéletesen alkalmas, hogy szemléltesse a tényt, hogy a talált átkötésekkel minden esetben javítok a rendszeren, illetve számszerűsíteni tudom azon minimális kapacitásnövekmény értékeket, melyeket biztosan elérünk az optimalizáció megvalósításával, jelen helyzetben Nagycenk esetén is.

ÖSSZEFOGLALÁS

Projektem célját több betáplálással rendelkező ivóvízhálózatok nyomásérzékenységen alapuló topológia, azaz egyetlen csőátkötéssel megvalósított optimalizációja jelentette, mellyel elsődleges célom 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 közösségek hálózatánál nagyobb ivóvízhálózatokat is megvizsgálhassak, 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 vizsgáltam meg, melyek többsége esetén látványos eredmény született mind a robusztusság, mind az elért kapacitásnövekményeket tekintve.

► IRODALOMJEGYZÉK

SZERZŐ:



Délei Ákos: Délei Ákosnak hívnak, jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnök mesterképzésén tanuló Áramlástechnika szakirányon. A Bsc diplomámat szintén ugyanezen egyetemen teljesítettem Gépészmérnök alapképzésen. Már az alapképzés ideje alatt szerettem volna elméleti tudásomat az iparban is kamatoztatni, így az egyetem mellett gyakornokként több helyen is dolgoztam. Első munkahelyem a Zultzer Pumpen Kft.-nél volt, ahol feladataim között szerepelt áramlástanai keverők, szivattyúk kiválasztása különböző rendszerekhez, illetve ezek mellett helyszíni felmérésekkel, árajánlatkészítéssel, és áramlástanai vizsgálatok elemzésével is foglalkoztam. 2020. júliusától a Ganz Engineering Kft.-nél dolgoztam tervezőmérnökként, ahol az ipari szivattyúk hidraulikájának tervezése mellett tesztmérnökként labormérési feladatokat is végre kellett hajtanom. Az egyetemen ugyanakkor nagyon érdekesnek találtam az ivóvízhálózatok vizsgálatait, mely kutatásokba lehetőségem nyílt bekerülni a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszéken. Jelenleg is az ivóvízhálózatok jobbátételének témakörében végzem projektfeladataimat, illetve diplomatervemet és a következő TDK-mat is ezen témában fogom elkészíteni.