IVÓVÍZHÁLÓZATOK TOPOLÓGIA OPTIMALIZÁCIÓJA

HUZSVÁR TAMÁS, WÉBER RICHÁRD, DR. HŐS CSABA
BME GPK, HIDRODINAMIKAI RENDSZEREK TANSZÉK

Kivonat: *Napjaink fejlett hálózatai igen heterogének és komplexek. E heterogenitásból fakadóan szinte bármely régióban találhatóak olyan hálózatok, ahol napi vagy évszaki csúcsfogyasztás esetén jelentős nyomásingadozások jelentkeznek az ivóvízhálózatokban. Ezek kritikus esetekben mind a fogyasztók mind a szolgáltatók számára kedvezőtlen helyzet alakul ki, mely egyfelől nem teszi a fogyasztó számára lehetővé a kívánt mennyiségű ivóvíz hálózatból történő kinyerését, másfelől pedig a szolgáltató számára bevételkiesést és felhasználói panaszokat jelent. Jelen publikáció ezen kellemetlen helyzetek kezelésére mutat egy lehetséges utat a hálózatok optimális topológiai fejlesztési irányainak kijelölése által, egyfelől a hálózat mosatás és karbantartás, másfelől pedig a topológia bővítésen keresztül.*

BEVEZETÉS

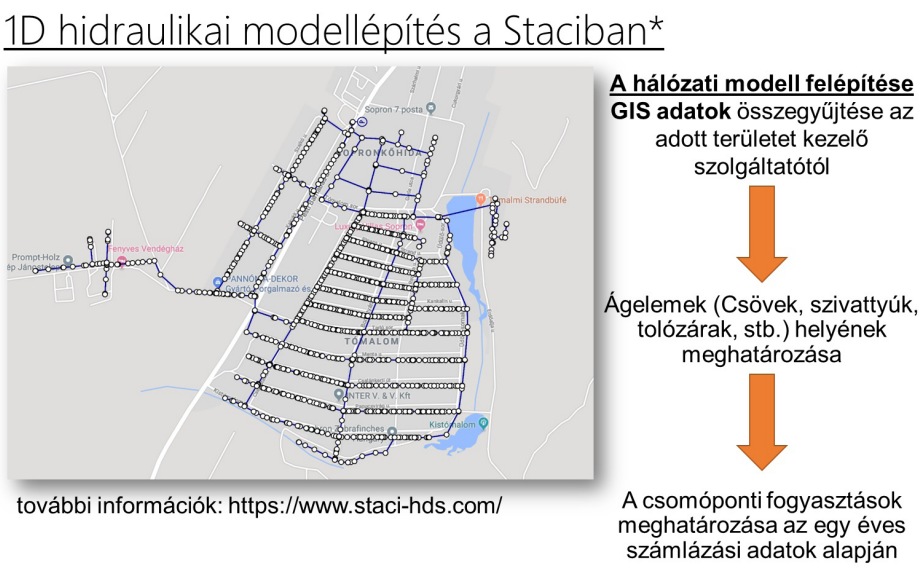
Annak okán, hogy hazánk fejlett ivóvízhálózatai az elmúlt több mint százhúsz esztendő alatt kerültek fokozatosan kiépítésre és az utóbbi ötven esztendő során minden korábbinál nagyobb tömegek költöztek városokba, e hálózatok gyakran kisebb, beolvadó részhálózatok összekapcsolásából álltak elő és nyerték el mai formájukat. E folyamat a mai napig zajlik és okoz folyamatos fejtörést a vízügyi ágazat dolgozóinak révén a városok növekedése az ivóvízellátási lánc egyre hosszabbra nyúlását, az az ivóvízhálózatok struktúrájának egyre fokozódó komplexitását eredményezi. E komplexitás mellett azonban a nem, vagy csak szélsőségesen nehezen észlelhető hálózati károsodások (pl. csőösszeroppanás, rejtett szivárgások) az ivóvízhálózatok kapacitás csökkenését eredményezik. E halmozott okozatból fakadóan szinte bármely régióban találhatóak olyan ivóvízhálózatok, ahol a jelentős napi vagy évszaki csúcsfogyasztások idején a hálózati nyomás drasztikusan lecsökken. E nyomás csökkenés, amennyiben a rendszer fogyasztói oldalát nézzük, elégtelen vízkivételt, fogyasztói komfortcsökkenést amennyiben pedig a szolgáltatói oldalt, úgy pedig bevétel kiesést és bírságot jelent, ha a tűzcsapok előirt kapacitása nem teljesül. Ezen nyomós okokból kifolyólag, célunk azon hálózati nyomvonalak kijelölése, ahol egy esetleges hálózati csőátmérő csökkenés, vagy akár teljes elzáródás

a legkritikusabb hatással van a hálózat üzemviteli stabilitására ebből fakadóan pedig, a csövek karbantartása során, mely csőnyomvonalak jelentik az üzemvitel gerincét. Ezen célok eléréhez már nem elegendő csupán a hagyományos modellezés eszközeivel vizsgálni az ivóvízhálózatokat, hanem fel kell használnunk az utóbbi években rohamos fejlődésen keresztüljutott hálózat elmélet [1] és érzékenység alapú hálózatvizsgálat [2] eszköztárát e hálózatok viselkedésének alaposabb megértéséhez. Jelen publikációban az alkalmazott matematikai eszközök mindegyike a Staci programcsomagba került beépítésre, mely egy egy-dimenziós ivóvízhálózati modellező és szakértői fejlesztőeszköz [3].

HÁLÓZATI MODELL A TÉRINFORMATIKAI RENDSZERBŐL

Az utóbbi három évtized először a nyomvonal és hálózattervező, valamint ügyfél-, állomány- és rendszerkezelő adatbázisok digitalizációját hozta el. E térinformatikai rendszereket érintő fejlesztés hozta el a lehetőséget a digitálisan modellezett és folyamatos felügyelet mellett üzemeltetett ivóvízhálózatok korát. Egy ilyen folyamat során az ivóvízhálózatok modellje úgy áll elő, legyen szó bármely fejlett modellező eszközről, hogy a térinformatikai rendszer alapján a hálózati ág elemek csőszakaszok, szivattyúk és szelepek, tolózárak kerülnek a modelltérbe felvitelre. Ezt követően meghatározásra kerülnek ezen elemek csatlakozási és önálló fogyasztási pontjai. Végezetül pedig a számlázási rendszer alapján meghatározásra kerülnek a hálózati csomópontok fogyasztási értékei. Az így felépített hálózati modell jelentette bemenet alapján esetünkben a Staci programcsomag kiszámítja a csomóponti nyomások és ágelemi térfogatáramok értékét a Newton-Rhapson iterációs technika segítségével.

Az ilyenformán meghatározott hálózati jellemzők, már modellkalibráció [4] után hűen tükrözik a vizsgálni kívánt hálózati viszonyait, ahhoz

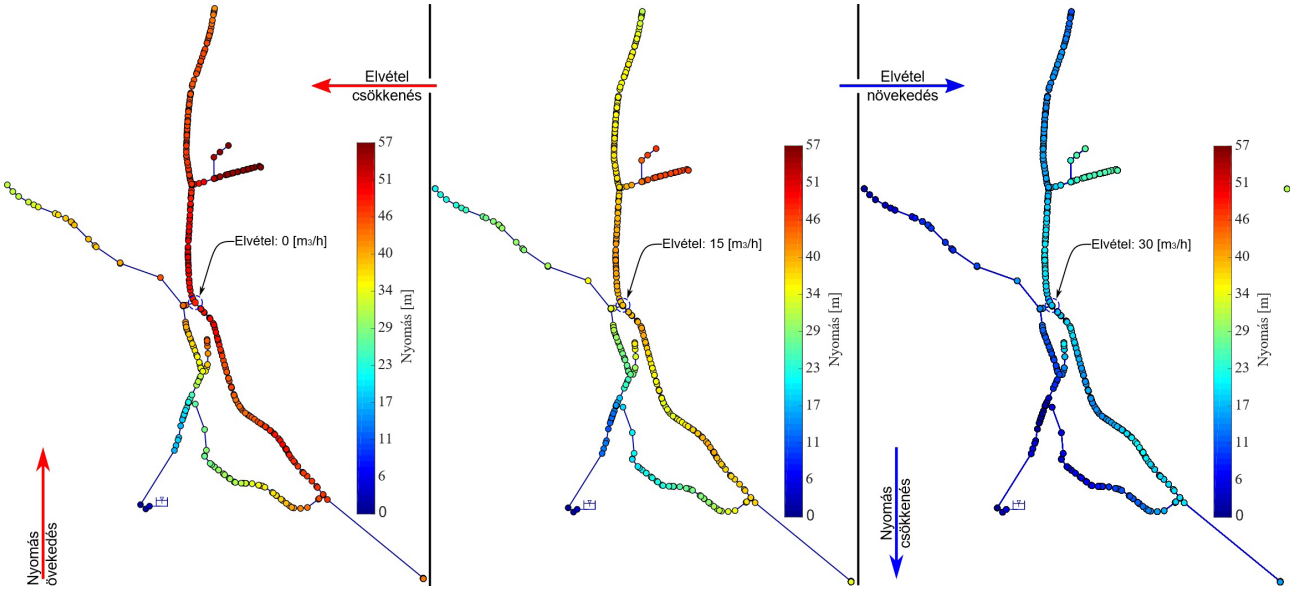


1.ábra *Hidraulikai modell építése a Staci segítségével*

azonban, hogy a hálózat üzemvitelét érintő összetettebb folyamatokat vizsgálni tudjuk a hálózatok részletesebb és átfogóbb elemzésére van szükség, melyhez az egyik eszközt, a hálózati érzékenységvizsgálat jelenti.

AZ IVÓVÍZHÁLÓZATOK ÉRZÉKENYSÉG ALAPÚ ELEMZÉSE

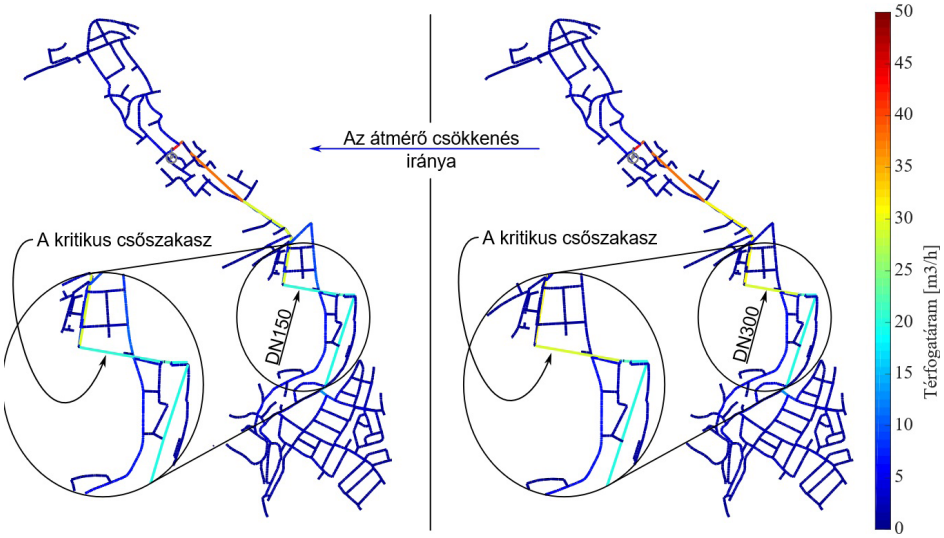
Ahhoz, hogy valamilyen módon karakterizálhatóvá váljék a hálózati nyomás stabilitása a hálózatok csomóponti nyomásérzékenységének és ágelemi tömegáram-érzékenységének bevezetésére van szükség. A nyomásérzékenység fogalmát a legegyszerűbben a 2. ábra alapján értelmezhető. Az ábrán egy kistelepülés hálózati nyomáseloszlása látható. A hálózat ezer lakost lát el ivóvízzel és négyszáz csomóponttal rendelkezik. Válasszunk ki ezen hálózaton egy tetszőleges csomópontot (kék szaggatottal kiemelt). E pontban vegyünk fel három különböző fogyasztás értéket. Ahogyan az a középső ábrán látható, az alap 15 m3/h fogyasztás beállítása esetén, a hálózat a színskála szerint átlagosan 40 vízoszlopméternyi víznyomással rendelkezik. Kapcsoljuk le ezt a fogyasztást teljesen (bal oldali ábra), a rendszernyomás jól láthatóan megnövekedett, elérte egészen az 57 méteres víznyomás értéket. Végül pedig vegyük fel ugyanezen pontban az eredeti fogyasztás dupláját, jobb oldali ábra. Jól láthatóan ennek hatására a rendszer nyomása drasztikus visszaesést mutat, már a 20 méteres minimális szolgáltatási nyomás sem teljesül sok helyen. A példán jól érzékelhető, hogy ha az ivóvízhálózatunk egy tetszőleges pontjában változtatunk a fogyasztáson az nem csupán abban, de az összes többi csomópontban is hatással van a csomóponti nyomás értékére.



2. ábra *A fogyasztásváltozás hatásának bemutatása egy nyugat-magyarországi kistelepülés hálózatán.*

Összességében érzékenység alatt azt értjük, hogy a modell egy hidraulikai kimenete (pl. nyomás, térfogatáram) mekkora mértékben változik egy paraméter változtatására (pl. fogyasztás, átmérő, csőérdesség). Ezen mennyiséget a modellezés során a hálózat leíró egyenletrendszerének fogyasztás szerinti deriváltja alapján kerül meghatározásra. Amennyiben ez egyetlen csomópontra értelmezzük ezen mennyiséget, úgy egy alacsony számításigényű paramétert kapunk, mely alkalmas a nyomáslengéseknek kitett hálózati szakaszok azonosítására, amennyiben pedig az összes csomópont lokális nyomásérzékenységét meghatározzuk, úgy egy topológia specifikus mérőszámot, mely lehetővé teszi a robusztusságot a lehető legnagyobb mértékben fokozó új csőátkötés meghatározását [5]. Melyről szóló korábbi vizsgálataink már rámutattak arra, hogy ha egy hálózat kapacitáshiánnyal küszködik, egy pusztán nyomásérzékenység különbségen alapuló módszer alkalmas azon csőnyomvonalak meghatározására, mely által a kritikus régió ivóvízkapacitása a lehető legnagyobb mértékben növelhető, ezen módszer már - a nyomásérzékenység alapú topológia optimalizáció lehetősége - beépítésre került a Staci programcsomagba, melyről beszámoló a *2019. évi 2. Hírcsatorna lapszámban* található.

E mennyiséggel rokon az ivóvízhálózatok csőszakaszainak tömegáram-érzékenysége, mely legújabb vizsgálataink tárgyát képezi. Ezen vizsgálati forma esetén ugyanezen módon a csövek átmérője és a csövekben jelentkező tömegáram között teremt kapcsolatot a leíró egyenletrendszer átmérő szerinti deriváltja. Az így nyert mennyiség segítségével azonosíthatóvá válnak azon kritikus hálózati pontok, ahol egy esetleges átmérő csökkenés a lehető legnagyobb hálózati vízkivételi visszaesést eredményezi. E mennyiség megértését segíti a 3. ábra, ahol egy kritikus csőszakasz átmérője kerül változtatásra.



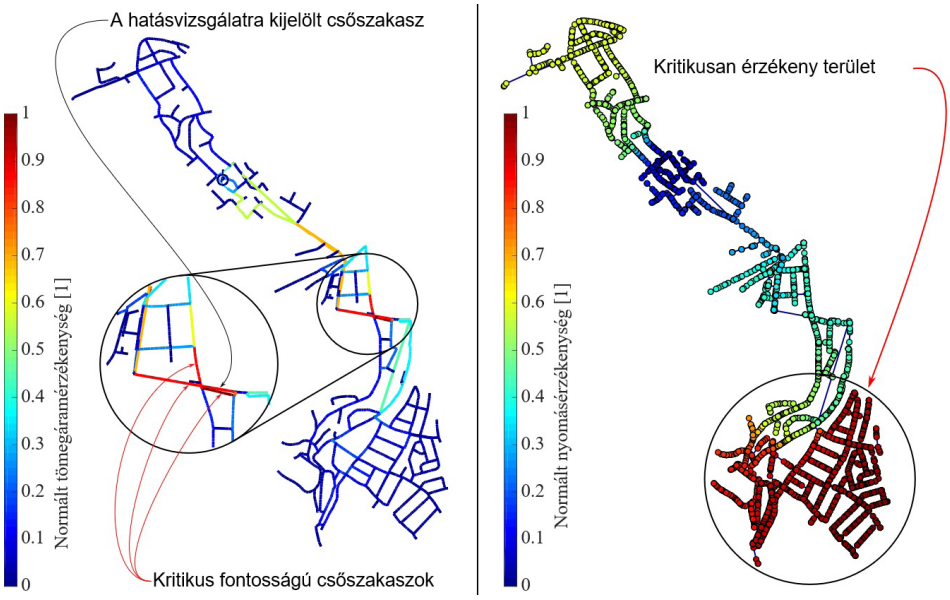
3. ábra *A térfogatáram változtatásának hatása egy nyugat-magyarországi kisváros hálózatán.*

Az ábrán jól látható, hogy a kiválasztott csőszakaszban az átmérő lefelezése a térfogatáram lecsökkenésével jár, mely egybevág a súrlódási modellek tanulságával, révén ilyenkor a sebesség megnő és csövek nyomásvesztesége növekszik. Érdekes tanulság azonban, hogy a környező csőszakaszok nem veszik át az átmérőjét vesztő csőszakasz helyét – azok térfogatárama is csökken láthatóan –, így a kialakuló szűkület az egész ábra alján látható kertvárosias övezet kapacitását, így a fogyasztói komfortot csökkenti és a hálózati üzemvitelt nehezíti a szolgáltató számára. Az ilyen kritikus hálózati elemek csőszakaszok, vagy kritikusan fogyasztásérzékeny területek azonosítása lehetővé teszi azon karbantartási irányok kijelölése, melyek mentén az elemek folyamatos megfelelő kondícióban tartása által a hálózat üzemvitele hosszú távon optimális állapotban tartható.
A két kritikus vizsgálati mennyiség – a nyomás és tömegáram érzékenység – és az ezekből létrehozott karbantartás optimalizációs technika bemutatását egy nyugat-magyarországi kis város hálózata esetén mutatjuk be, mely 2700 csomóponttal rendelkezik és 3500 lakost lát el ivóvízzel.

IVÓVÍZHÁLÓZATOK ÉRZÉKENYSÉGALAPÚ TOPOLÓGIA ELEMZÉSE

A kiválasztott hálózat vizsgálatához először annak érzékenységi térképeit kell elkészítenünk, ezek láthatóak az 4. ábrán. E térképek alapján a hálózat legkritikusabb szakasza egyértelműen azonosíthatóvá válik. A nyomásérzékenységi térkép – 4. ábra, jobb oldali – látható, hogy a hálózat alsó része kritikusan érzékeny a fogyasztásváltozásokra, nyomásérzékenysége jelentős. Ez azt sugallja, hogy jelen hálózati szakasz esetében a hálózat kapacitás tekintetében teljesítőképessége határán jár. Ehhez a területhez kapcsolódóan a másik fontos információt a tömegáramérzékenységi térkép – 4. ábra, bal oldali alábrája – tartalmazza. Jól láthatóan a nyomásérzékenység és ezáltal kapacitás hiány szempontjából kritikus övezet a tömegáramérzékenységi térkép alapján kijelölt mindösszesen három fő csőszakaszon keresztül kapcsolódik a hálózat ábra szerinti felső részén található betáplálási ponthoz. Az így létrejövő szűkület pedig kritikusan sebezhetővé válik az átmérőcsökkenéssel vagy a csövek károsodásával szemben.

Ha visszatekintünk a bemutatott 3. ábrára, egyértelműen látható, hogy a tömegáramérzékenységi és térfogatáram érzékenységi térkép a hálózat esetében mutat némi korrelációt, az érzékenységi térkép alapján azonban az is világossá válik, hogy vannak olyan csőszakaszok, melyek jelentősége nem látható a térfogatáram diagramon. Így bár a hálózati csövek karbantartási jelentőségének becslésére a térfogatáramok egy jó kiindulási becslést adnak, de a pontos – karbantartás szempontjából kiugró jelentőségű csőszakaszok meghatározása, túlmutat ezen vizsgálati mód lehetőségein.
Ahhoz, hogy megértsük és elemezhetővé tegyük a módszer által kijelölt csőszakaszok jelentőségét, kapacitásvizsgálatot hajtottunk végre a nyomásérzékenységi térkép alapján lehatárolt és a 4. ábra jobb oldali alábráján

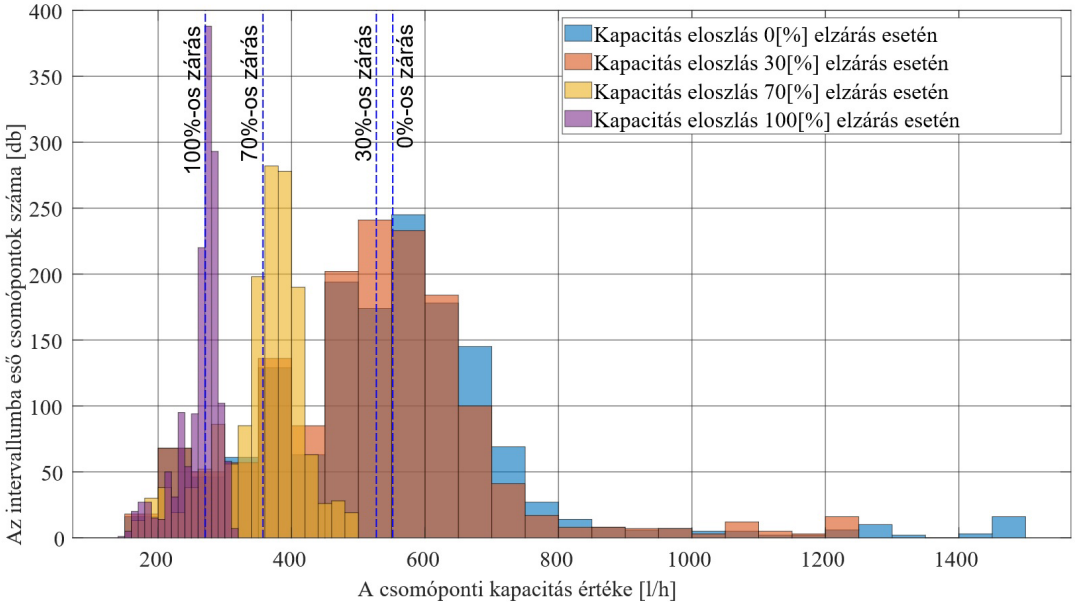


4. ábra *A kiválasztott hálózat nyomás és tömegáram érzékenységi térképe.*

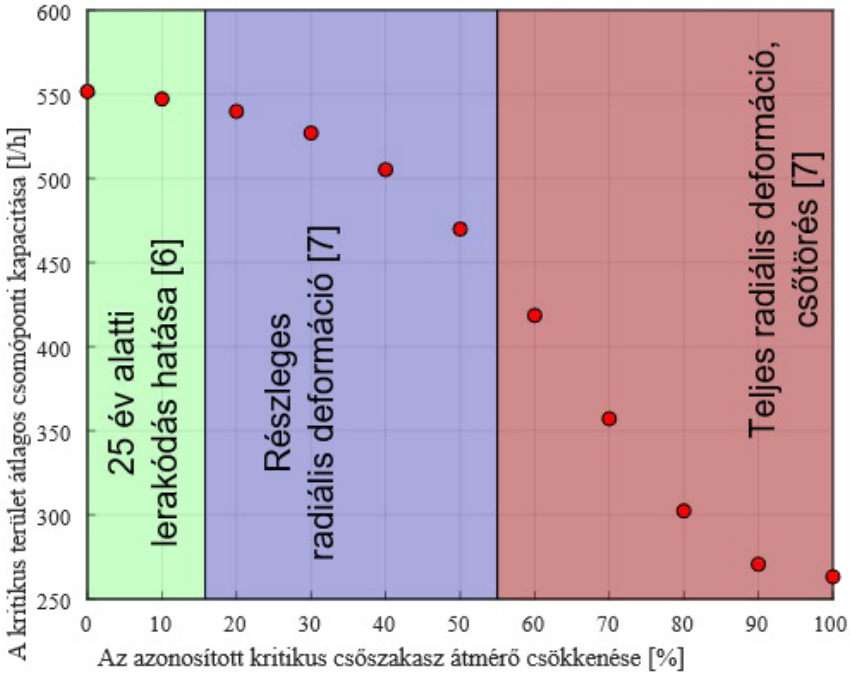
bejelölt kritikusan nyomásérzékeny hálózati szakaszon. Ehhez egy szintetikus egyik végén légkörre nyitott csőszakasz bekötését modelleztük minden csomópont esetére. A rendszerben egyszerre mindig csak egy kivételi pont volt légkörre nyitva, így lehetőségünk nyílt az adott hálózat fogyasztói kapacitásának vizsgálatára.

Az így létrejövő eloszlás, révén itt még a hatásvizsgálatra kijelölt csőszakasz átmérője nem került változtatásra a 0%-os zárási hisztogramként került bemutatásra az 5. ábrán. Az így nyert hisztogramok meghatározásához minden esetben 1500 darab hidraulikai 1D szimuláció elvégzésére volt szükséges, melyet a Staci programcsomaggal, automatizált módon valósítottunk meg. A hatásvizsgálat során a 4. ábrán kritikus csőszakasz átmérőjét 10%-os lépésközzel fokozatosan változtattuk és minden egyes átmérő lépcső esetére új teljes kiértékelést futtatunk a kritikus hálózati szakaszról, így nyerve kapacitás eloszlást a csökkenő átmérősor mentén minden átmérő lépcső esetére.

Az 5. ábrán feltüntetésre került négy hisztogram alapján egyértelműen látható, hogy a csőátmérő szűkítése milyen jelentős hatással van a kritikus terület átlagos ivóvízkapacitási értékeire. Érdekes jelenség, hogy az átmérő csökkentése először az eloszlás félérték szélességét csökkenti és kisebb mértékben mozdítja lefelé az átlagos kapacitási értéket. Ezen alapulva kijelenthető, hogy először a „szerencsés" nagy kapacitással rendelkező, vagy ipari fogyasztók tapasztalják a csőszakasz károsodását vagy a csőszakaszban képzett túlzott lerakódás jelenlétét, lásd 30%-os zárás esete. Ezt követően az egyre drasztikusabb csőszakasz kiesés már egyre nagyobb mértékben



5. ábra *A hálózat kapacitás eloszlása a kritikus régióban.*



6. ábra *A kritikus terület átlagkapacitásának alakulása a zárás függvényében.*

mozdítja lefelé a terület átlagos kapacitás értékét, így elvezetve a teljes zárás esetén jelentkező, az eredeti kapacitás felével sem rendelkező szinte teljesen funkcióvesztett állapotig, lásd 5. ábra 100%-os zárás esete. E jelenség alaposabb szemléltetésére a 6. ábra az átlagos kapacitás zárási hányad alapján történő eloszlását ábrázolja. A feltüntetett átmérő csökkenési határok, az az, hogy mely százalékos zárás minek feleltethető meg a valóságban, magas széntartalmú húzott acél csövekre vonatkoznak a jelölt szakirodalom alapján. Jól látható, hogy a csőszakaszok átmérő csökkenése akár a 15%-os értéket is elérhető pusztán a lerakódások következtében. E mellett pedig akár az útburkolati túlterhelés akár kevéssé szerencsés építési károsítások az átmérőt tovább csökkenthetik, melynek detektálása – révén a húzott acél csőszakaszok igen ellenállóak és még nagy akár 80%-os deformáció esetén sem hasadnak fel – igen nehézkes. Ebből fakadóan pedig ahogyan az a hatásvizsgálat alapján is kitűnik, igen nagy problémát jelenthetnek az üzemeltetők számára.

AZ ÉRZÉKENYSÉG ALAPÚ JAVASLATTERV LEHETŐSÉGEI

E publikációban bemutattuk, hogy a hálózatok tömegáramérzékenység és összevont érzékenység alapú vizsgálata nem csupán a hálózati sebezhetőségek feltárására alkalmazható. Ugyan olyan jól felhasználható ezen módszer a hálózat karbantartási pontjainak kijelölésére, azáltal, hogy a csőszakaszok jelentőségének elemzését és súlyozását lehetővé teszi. E módszer segítségével azonosítva tehát a mintahálózat karbantartás szempontjából legkritikusabb pontja a hálózat közepén található négy darab 4. ábrán jelölt csőszakasz. Amennyiben a szolgáltató felmérést végez, e négy szakasz állapotmegőrzése az elsődleges, révén ezek átmérő csökkenése a hálózat összekapacitását nagy mértékben befolyásolja. Ezt követik, de már jelentősen kisebb kritikussággal a betáplálási pont környéki csőszakaszok, végül pedig a hálózat peremén található csövek. Révén a hálózatban található csövek érzékenységi indexe igen alacsony értéket mutat, így e csőszakaszok esetén az átmérő csökkentése, vagy a karbantartási sorban hátrébb sorolása nagyon kis mértékben befolyásolja a hálózat összteljesítményét.

Szakirodalmi források alapján ismert, hogy az elmúlt néhány évtizedben a lakossági fogyasztás visszaesést mutat sok városban. Ennek kapcsán a jelenleg üzemelő ivóvízhálózatok igen kis áramlási sebességgel rendelkeznek és túlméretezettnek tekinthetőek. Így a szolgáltatók számára abszolút reális lehetőséget jelent a rekonstrukciók során a hálózatok nagy átmérőjű költséges csöveinek átmérő csökkentése, akár bélelés akár egészen új kisebb átmérőjű csőszakaszok beépítése által. E módszer segítségével meghatározhatóvá válnak azon csőszakaszok, ahol az átmérőváltozás a lehető legkisebb kapacitásváltozást eredményezi, így amennyiben a tranziens nyomáslengés ellenőrzés is lehetővé teszi, jelentős rekonstrukciós költséget takarít meg a szolgáltató számára.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen publikációban bemutatásra került, hogy az érzékenység alapú hálózatvizsgálat számos új aspektusát mutatja meg az ivóvíz hálózatok viselkedésének. Egy felől alkalmas a hálózat kritikusan átmérő érzékeny csőszakaszainak meghatározására, így kijelölve azon elementárisan fontos hálózati helyeket, melyek jó állapotban tartása – folyamatos mosatása – elengedhetetlenül fontos a hálózat üzemvitele szempontjából. E mellett pedig, rámutattunk arra egy hatástanulmányon keresztül, hogy egy ilyen csőszakasz átmérőjének csökkenése (pl. lerakódások, csőösszeroppanások által) kezdetben kisebb mértékű kapacitás spektrum összehúzódást, majd egy ponton túl ugrásszerű kapacitásvesztést eredményez. Ezen eredmények alapján pedig kiderült, hogy az e módszerrel nyert információ nem csupán a karbantartási helyek kijelölésében, de a hálózati hibafeltárás és hálózatfejlesztés szakaszában is kiaknázható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnénk mondani a Soproni Vízmű Zrt-nek, hogy a rendelkezésünkre bocsájtották a hálózatok adatait kutatási célokra.

IRODALOMJEGYZÉK

SZERZŐ:

Huzsvár Tamás, PhD hallgató vagyok a BME GPK Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékén. Az ivóvízhálózatok robusztusság és kapacitásnövelésével egy TDK dolgozat keretében kezdtem el foglalkozni. Miután dolgozatommal az intézményi TDK konferencián első az országos konferencián pedig harmadik díjat értem el, meghívást kaptam a tanszéken Dr. Hős Csaba által vezetett hidraulikai kutatócsoportba. Jelenleg a kutatócsoportban futó aktív kutatási projektek felölelik az ivóvízhálózatok energiahatékonyság és kapacitás növelés, valamint hálózati modellkalibráció és hálózatelmélet téma területeit, melyek közül az energiahatékonyságnövelés képezi doktori témám fő fókuszát. A Maszesz JURTA tagjaként már az előző két évben is részt vettem a Dulovics Szimpóziumon, az ott kapott visszajelzések nagyban segítették a jelen publikációnkban bemutatott módszerünk fejlesztését.