

TOLÓZÁRAK KRITIKUSSÁGA IVÓVÍZHÁLÓZATOKBAN

DULOVICS SZIMPÓZIUM LEGJOBB ELŐADÓI DÍJ

DR. WÉBER RICHÁRD, DÉLLEI ÁKOS, HUZSVÁR TAMÁS, DR. HÓS CSABA
BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Egy valódi ivóvízhálózatban a legkülönbébb okok válhatnak ki egy véletlenszerű csőtörést. Az ilyen havária esetek súlyos veszteséget okoznak a fogyasztói oldalon a kieső ivóvíz miatt, jelentős mennyiségű vízvész kárba, továbbá terhelik az üzemeltető pénzügyi oldalát. Bármely csőtörés, cső meghibásodás esetén a felelős üzemeltető cégnek első lépésben a megfelelő tolózárral kiszakaszolni szükséges a sérült szakaszt. Minél kisebb zónát van lehetőség kiszakaszolni, annál nagyobb része marad a hálózatnak üzemképes a javítási munkák során. Jelen cikkben a tolózárok fontosságát mutatjuk be számszerűleg, valódi ivóvízhálózatokon végzett hidraulikai számításokkal. Mivel a tolózárok kritikusságához számos egy dimenziós hidraulikai szimuláció szükséges, amelyet saját megoldónkkal a STACI programcsomaggal végzünk, egy alternatív, a hálózat gráján alapuló közelítő módszert is bemutatunk.

BEVEZETÉS

Az ivóvízellátó hálózatok minden település (a kis falvaktól a nagyvárosokig) stratégiaileg fontos infrastrukturális részei. A mai ivóvíz rendszerek több évtized (vagy akár egy évszázad) folyamatos fejlesztésének eredményeképpen jöttek létre újabb és újabb területek hozzákapcsolásával, ezért általában igen heterogén kialakítású, bonyolult hálózatok². Ezen rendszer rendeltetésszerű üze me kritikus az ipari hatékonyság és a lakosság életszínvonala szempontjából. Napjaink modern számítástechnikai eszközeit használva azonban előre jelezhetők nem csak a hálózat alapvető működési jellemzői, de egy havária esemény várható hatása is. Ilyen

események lehetnek például a véletlenszerű csőtörések vagy a hirtelen nagy mennyiségű vízkivételek, pl. tűzvíz kivétel. Amennyiben rendelkezésünkre áll egy jól felépített és karbantartott ivóvízhálózati modell, annak segítségével lehetőségünk van megelőző lépéseket tenni pl. váratlan csőtörésekkel szemben.

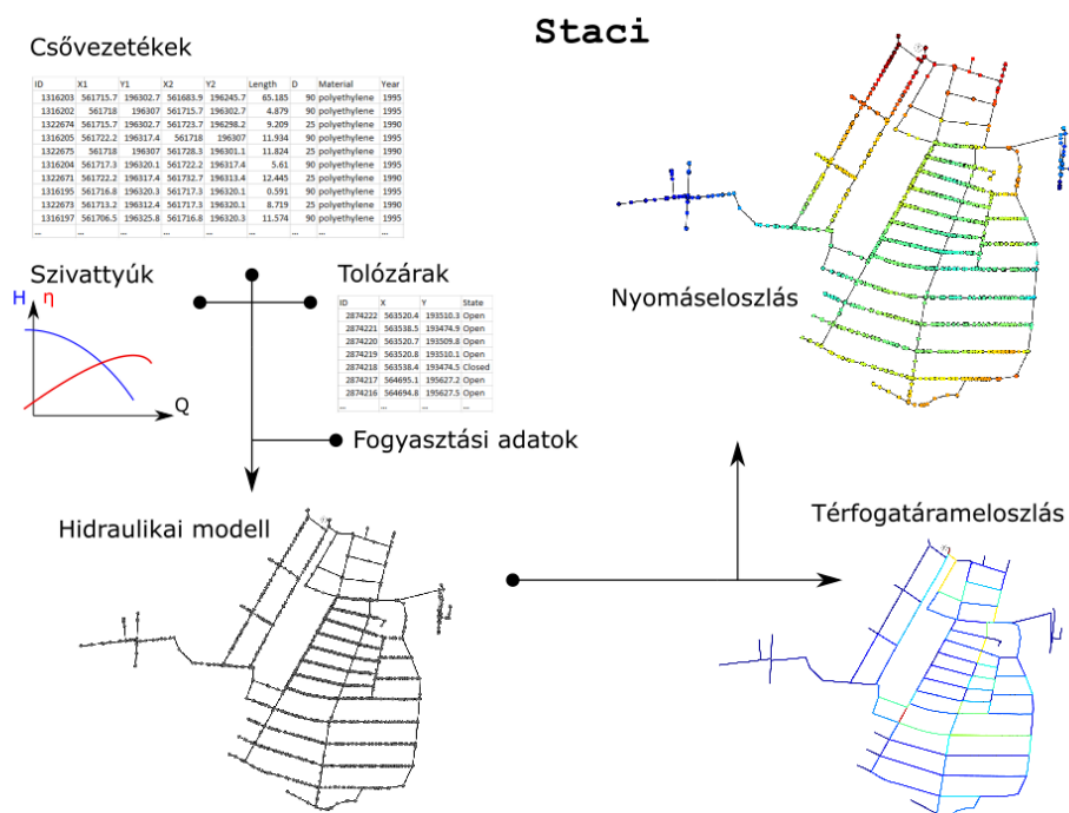
IVÓVÍZHÁLÓZATOK MODELLEZÉSE

Napjainkban az informatikai rendszerek széleskörű elterjedésének köszönhetően lehetőség van arra, hogy az ivóvízhálózatokban található minden

egy hidraulikai elemet (csőszakaszt, tolózárat, szivattyút) virtuálisan tároljunk, modellezzünk és akár működtessünk. A hálózatok e módú leképezése lehetővé teszi olyan hidraulikai modell építését, melynek köszönhetően a modellezett hálózat viselkedése feltérképezhető a valóságot közelítő módon¹. Egy ilyen hidraulikai modell számtalan lehetőséget rejt magában: a beszakadt tolózárok detektálásától kezdődően; az esetleges hálózatbővítések hidraulikára gyakorolt hatásának koncepcióterv szintű vizsgálatain keresztül, a kis vízigényváltozásra nagy nyomásváltozásokkal reagáló (magas nyomásváltozás érzékenységgű) hálózati helyek azonosításáig.

A matematikai modellről dióhéjban a következőket érdemes ismerni. Egydimenziós áramlást, összszenyomhatatlan közeget feltételezünk. Továbbá időben szakaszosan állandósult állapotot vizsgálunk,

tehát különböző üzemállapotok sorozatait számoljuk, jellemzően néhány tízperces vagy órás időlépéssel. Ilyen feltételek mellett írjuk fel minden csomópontra az anyagmegmaradás, illetve minden ágelemre (pl. csőszakasz, szivattyú, szelep) az energiamegmaradás egyenletét³. Ezen egyenletek egy nagyméretű, egyértelműen megoldható (vagyis az ismeretlenek száma megegyezik a független egyenletek számával), algebrai, nemlineáris egyenletrendszert alkotnak. Ezt a Newton-Raphson-módszerre épülő megoldóval oldjuk meg, a BME, GPK, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszéken fejlesztett Staci programcsomag segítségével⁴. Ez a hidraulikai megoldó bemenetén kap egy hálózatot (topológiával, csomóponti és csőszakasz adatokkal, hálózati vízigénnyel stb.), majd a matematikai számítások után a kimeneten megkapjuk a hálózatban található csomópontok nyomását, valamint az ágelemeken átfolyó térfogatáramot.



1. ábra. Hidraulikai modell építése a Staci segítségével

Modellezés szempontjából az eddig leírtak általánosan elterjedtek és általában alkalmasak a rendeltetésszerű működésüket leírni az ivóvízhálózatoknak, azonban a szélsőséges esetek számításához szükséges van kiegészítésre. Csőtörés vagy hirtelen nagy mennyiségű víz kivétele esetén előfordulhat, hogy a hálózati nyomás oly nagymértékben lecsökken, hogy az már nem képes kielégíteni a fogyasztói igényeket. Ennek modellezésére természetesen lehetőség van az úgynevezett nyomásfüggő fogyasztási modell alkalmazásával. E modell alkalmas arra, hogy ha a nyomás egy adott küszöb alá esik, csak részlegesen szolgálja ki a definiált névleges vízigényt, így biztosítva lehetőséget az egyes háztartások közvetlen fogyasztói következmények feltérképezésére. A következőkben bemutatott vizsgálatainkhoz ezzel a modellel egészítettük ki a Staci programcsomagunkat.

Hidraulikai modell építését és használatát mutatja be vázlatosan az 1. ábra. Hasonló célokra alkalmas eszközök napjainkban számos kereskedelmi forgalomban kapható szoftverben elérhetőek. A továbbiakban azon módszereket mutatjuk be, melyeket csak a Staci-ban állnak rendelkezésre.

IVÓVÍZHÁLÓZATOK SEBEZHETŐSÉGE

Napjainkban számos kutatás célja a hálózati területén, hogy számszerűleg definiálják egy rendszernek az ellenállóképességét különböző meghibásodásokkal szemben⁶. Ebben a vizsgálatban mi azzal foglalkoztunk, hogyan adható meg egy jól meghatározott számmal, hogy egy adott hálózat a különböző

Anyag	Összhossz [km]	Hibák száma [db]	Relatív hiba [db/100km/év]
azbeszt cement	249.4	1068	15.29
öntött vas	17.2	168	34.95
KPE	377.8	735	6.95
PVC KM	42.7	1	0.08
ólom	0.1	2	67.42
PVC	4.9	24	17.41
acél	2.5	27	38.37
gömbgrafitos öntött vas	25.5	3	0.42
rozsdamentes acél	0.4	1	8.32

1. táblázat Csőtörési valószínűségek különböző anyagok esetére

szegmenseken keresztül mennyire sebezhető, ahol szegmensnek nevezzük a hálózat azon legkisebb egységét, mely önállóan kizárható a hálózat többi részéből a szakaszoló tolózárak segítségével. A célunk meghatározni a rendszer azon részeit, melyekben egy csőtörés a lehető legnagyobb kiesést képes okozni a hálózatban, mindamellett, hogy jelentős esély is van a csőtörés bekövetkezésére. Mindezt mi a fogyasztók szempontjából közelítettük meg, a korábban már említett nyomásfüggő fogyasztási modell segítségével.

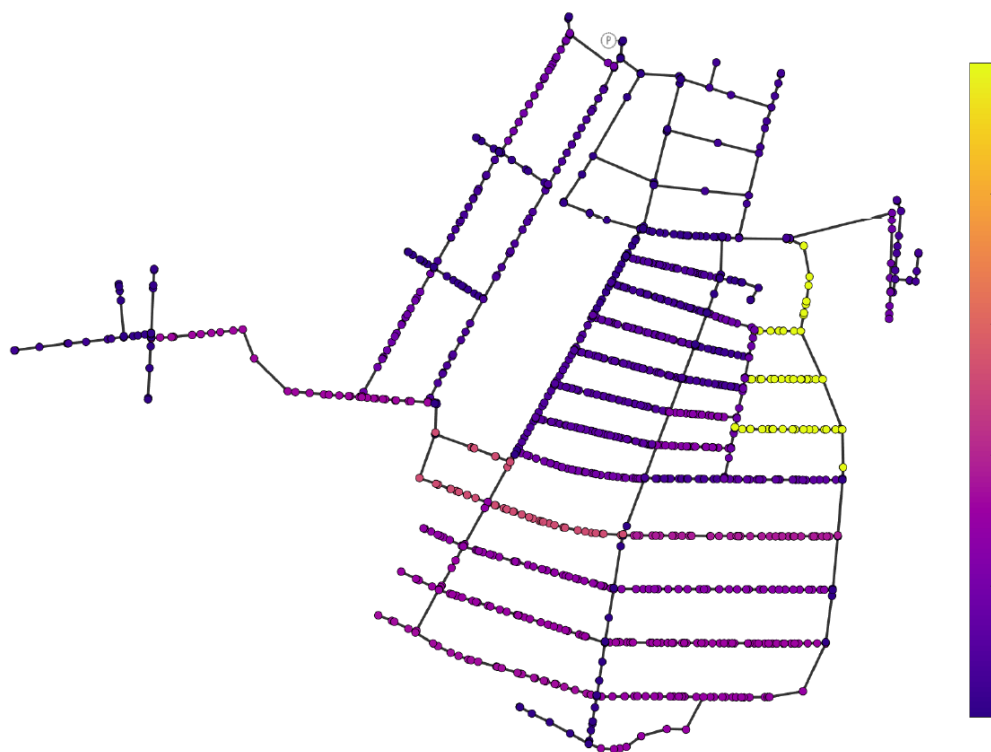
Röviden ennek a mennyiségnek, úgynevezett sebezhetőségnek, a definíciója a következő. Egyfelől megszámoljuk, hogy egy adott szegmensben az összes folyóméter cső hányada található meg. Korábbi vizsgálatoknál azt feltételeztünk, hogy minden folyóméter csőnek ugyanakkora esélye van egy törésre, mely természetesen egy durva közelítés, de elsőként a trendekre voltunk kíváncsiak. A mostani vizsgálatot kiegészítettük, a térinformatikai adatbázis alapján azonosítottuk a csővezetékek anyagát, továbbá az elmúlt 28 év statisztikája alapján hozzárendeltünk egy 100km-re és egy évre átlagosan előforduló csőtörést. Ez összességében megadja, hogy egy adott folyóméter csőnek mekkora a várható esélye egy véletlenszerűen bekövetkező csőtörésre. Természetesen amennyiben további adatok is rendelkezésre állnak, melynek jelentős befolyása lehet egy csőtörésre, pl. talaj pH érték vagy fektetési év, ezeket az adatokat szintén számításba tudjuk venni.

Másik oldalról pedig, a hidraulikai modell alapján kiszámítható, hogy amennyiben egy szegmenst tolózárakkal kiszakaszolunk, a hálózat a teljes vízigény mekkora részét nem tudja kiszolgálni. Tehát utóbbi változó számszerűleg megadja

minden egyes szigetre, hogy azok kiesése esetén a teljes vízigény hányadát nem lesz képes várhatólag teljesíteni az ivóvízhálózat egy az azokban bekövetkezett csőtörés esetén. Ezen két mennyiség szorzatát (csőhossz hányad és vízkiesés hányad) nevezzük sebezhetőségnek. Összességében így egy olyan változót kaptunk, mely akkor vesz fel magas értéket egy szegmens esetén, ha abban jelentős mennyiségű folyóméter cső található és komoly kiesést okoz az abban bekövetkezett csőtörés a vízigények kiszolgálásában.

A sebezhetőség ábrázolása a hálózat térképén egy komoly fegyvertény a közmű cégek számára a veszélyeztetett területek feltárásában. Ezen területek sebezhetőségének csökkentése érdekében lehetőség van akár új tolózár, új csővezetékek beépítésére vagy egyéb vízkormányzási módszerek alkalmazására. Másfelől új hálózatok tervezésénél is segítséget nyújthat egy ilyen matematikai eszköz. Az 5. ábra mutat be egy példát egy már korábban is demonstrációra használt ivóvízhálózat esetére. Ahogy ott látható, van egy kiemelten sebezhető területe a rendszernek, továbbá néhány közepesen veszélyes szegmens.

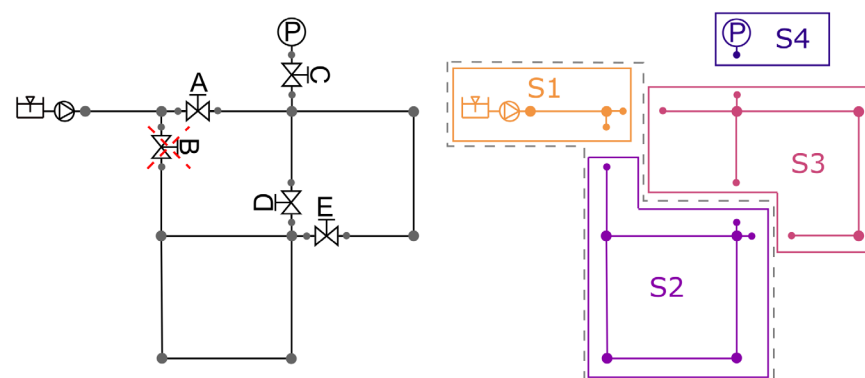
A lokális sebezhetőség mellett, a teljes rendszer jellemzésére bevezetjük a hálózati sebezhetőséget, mely definíció szerint egy véletlenszerű csőtörés esetén bekövetkező átlagos vízkiesés relatív mennyisége. Vagyis megadja, hogy a szolgáltatás hányad része nem lesz elérhető egy véletlen csőtörés során. Matematikailag bizonyítható, hogy ez a mennyiség a lokális sebezhetőségek összege lesz.



2. ábra. Egy valódi ivóvízhálózat sebezhetőségi térképe.

TOLÓZÁRAK KRITIKUSSÁGA

Az eddigiekben azzal a feltételezéssel éltünk, hogy minden tolózár, ami az adatbázisban szerepel, a valóságban is pontosan ugyanott található és tökéletesen funkcionál, tehát elzárásra alkalmas. Valóságban azonban számos esetben előfordulhat, hogy egy tolózár nem lehetséges elzárni. Ennek oka lehet a beépítés teljes hiánya, vagy a nem megfelelő karbantartás okozta mechanikai sérülés. Tehát egy tolózár kritikusságát az alapján határozzuk meg, hogy a tolózár hiánya, vagy elzárásképtelensége mekkora többletvesztést okoz a fogyasztóknak.

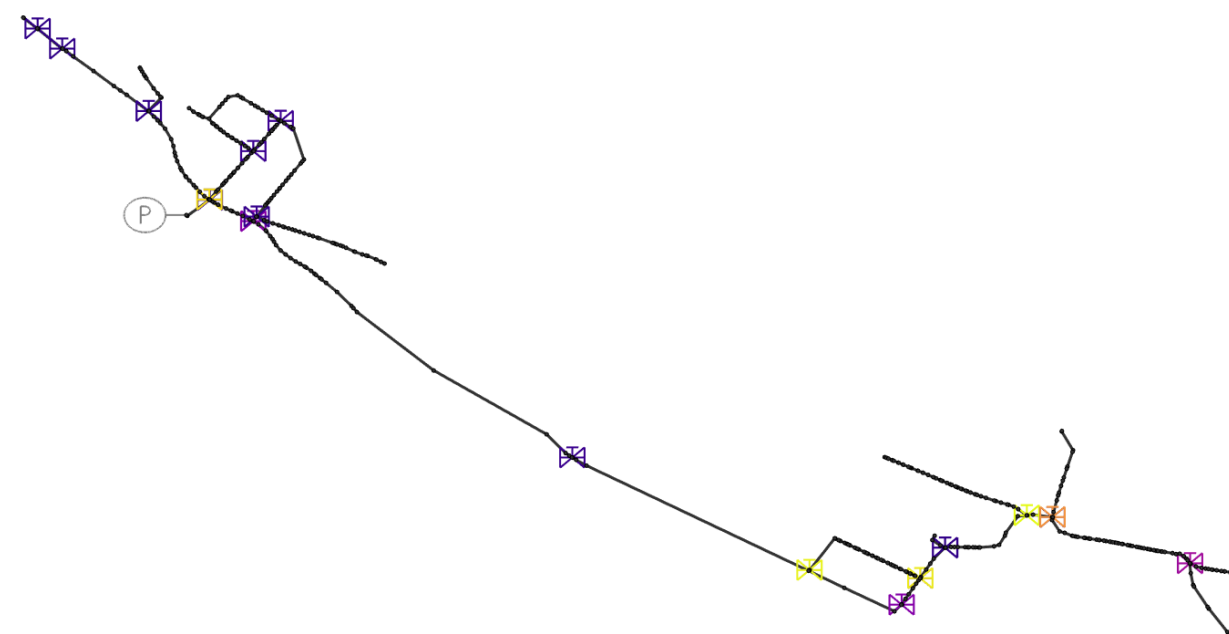


3. ábra. Tolózármeghibásodás hatása egy egyszerűsített példahálózaton.

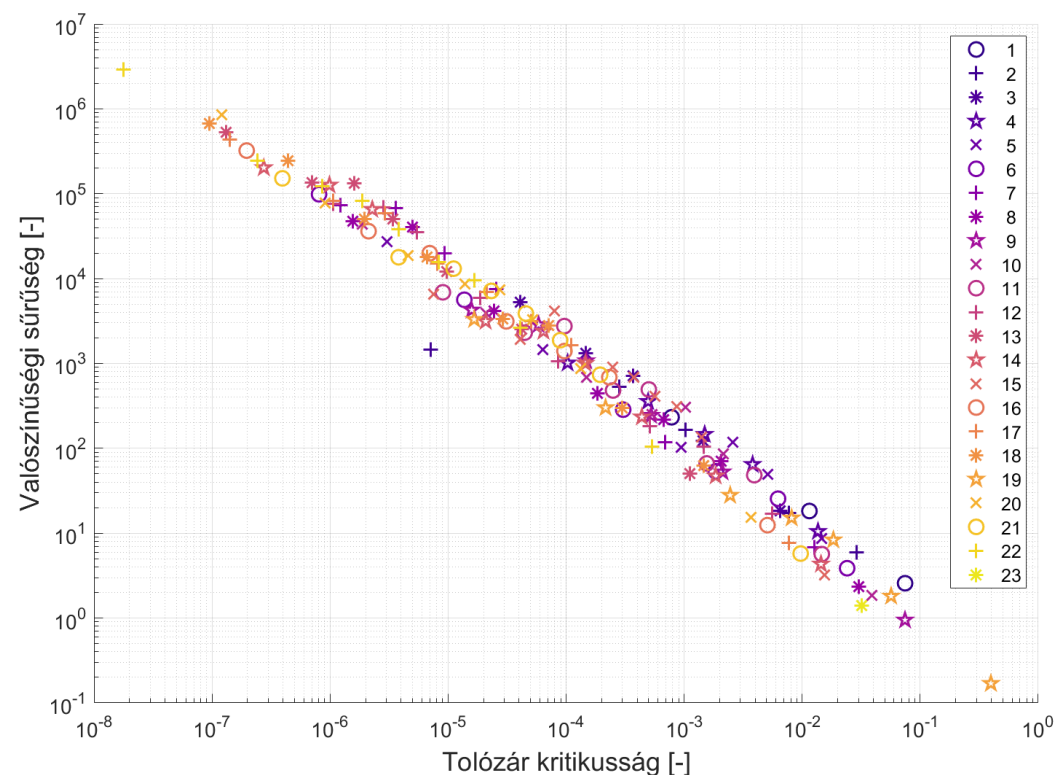
A 3. ábrán látható egy egyszerű példa a tolózár hibájának hatására. Tegyük fel, hogy a B jelű tolózárat képtelen a víziközmű cég elzárni. Ezesetben akár az S1, akár az S2 szegmensben fordul elő egy cső meghibásodása, mind a két szegmens szükséges kiszakaszolni a javítás idejére a megfelelő hidraulikai leválasztás érdekében.

A hidraulikai modell alapján kiszámítható, hogy az eredeti esetben, vagyis amikor minden tolózár megfelelően operál, mekkora a hálózati sebezhetőség. Ezután minden egyes tolózár esetén szükség van egy új szimulációra, ahol feltételezzük, hogy az adott tolózárt nem lehet elzárni, ezáltal kapunk egy megnövekedett hálózati sebezhetőséget. A két érték különbsége fogja meghatározni a tolózár kritikusságát. Tehát ez a szám megmutatja, hogy a tolózár meghibásodása mekkora többlet vízkiesést jelent a fogyasztók felé. Számos valódi ivóvízhálózaton számoltuk ezeket a mennyiségeket, ezekből egy példa látható a 4. ábrán.

A 4. ábrán kevésbé feltűnő, de megvizsgálva az összes rendelkezésünkre álló valódi ivóvízhálózat kritikusságait, kiderül, hogy azok eloszlása – hasonlóan a lokális sebezhetőséghez – hatványfüggvény eloszlást mutat. Ez látható az 5. ábrán. Matematikai szépsége mellett ennek lényeges praktikus jelentősége is van. Ez azt jelenti, hogy minden tolózár lényegesen fontosabb a nálánál eggyel kevésbé kritikusnál, vagyis minden hálózatban található olyan tolózárak, amik kiemelkedően nélkülözhetetlenek. Azok karbantartása a legfontosabb, ugyanis azok hiányában egy esetlegesen bekövetkező csőtörés esetén lényegesen nagyobb területet kell kiszakaszolnunk és jelentősen megnőhet a szükségtelenül kieső fogyasztók száma. A kritikuság vizsgálat tehát, egy fontos alapkőve lehet, hogy osszuk el a rendelkezésre álló forrásokat a karbantartás szempontjából.



4. ábra. Tolózár kritikussági térkép egy valódi vízhálózatban.



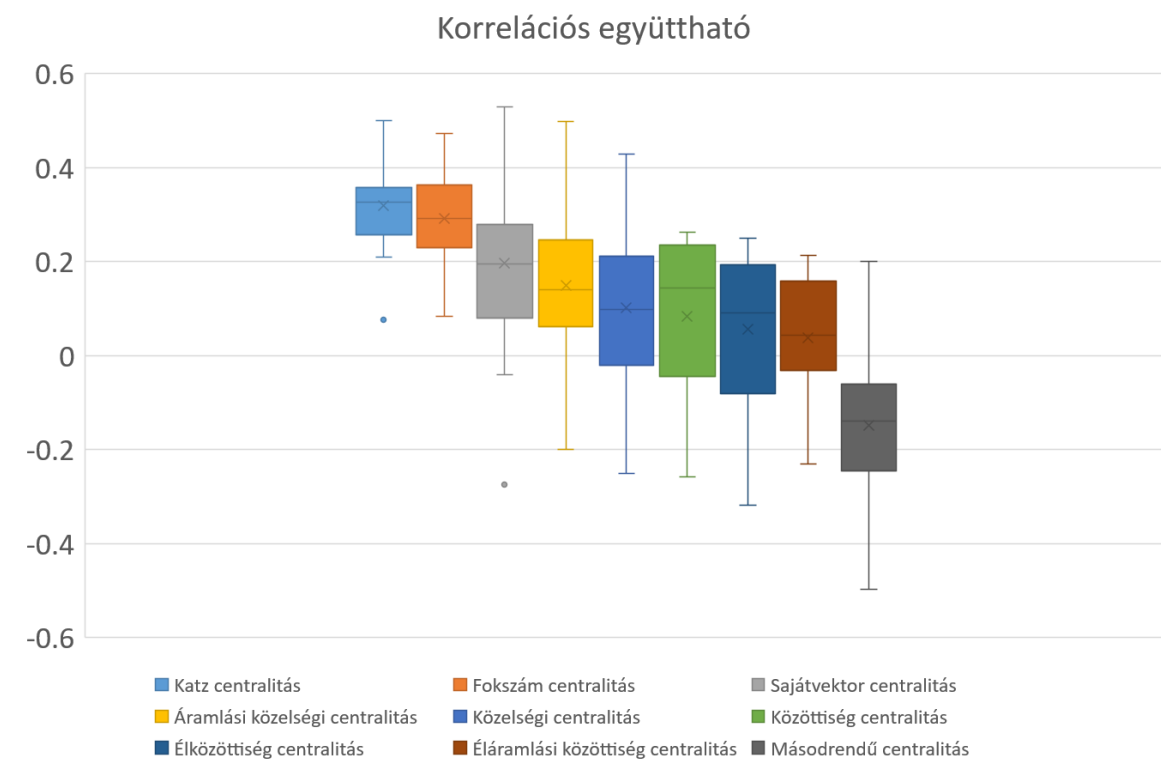
5. ábra. Tolózár kritikusági térkép egy valódi vízhálózatban.

KRITIKUSSÁG BECSLÉSE

Egy teljes kritikuság vizsgálat egy valódi, üzemelő hálózat esetén nagy mennyiségű hidraulikai szimulációt igényel, ez a szám pedig megadható a tolózárak számának és a szegmensek számának szorzatával. Tehát a hálózatok méretének növekedésével a számítási idő négyzetesen eszkalálódik. Másfelől egy jól karbantartott, kalibrált modellt igényel, mely nem minden víziközmű cég számára elérhető minden esetben, minden hálózathoz. Felmerül tehát az igény, hogy lehet-e kevesebb adatból és nagy mennyiségű számítások nélkül is becsülni a tolózárak kritikuságát.

Manapság a tudományos életben nagy népszerűségnek örvend a hálózat kutatás, ahol kutatók óriási méretű hálózatok viselkedését próbálják leírni egyszerűen számolható gráfjellemzőkkel.

Az ötletünk, hogy a hálózat kutatás területén már definiált és bejáratott mennyiségekkel próbáljuk meg közelíteni a tolózárak kritikuságát. A közelítés jóságára a Spearmann korrelációs együtthatót használjuk, mely matematikailag megadja, hogy a két mennyiség mennyire változik együtt, vagyis amennyiben az egyik nő, akkor nő-e a másik is. Ez egy -1 és 1 közötti érték, ha tökéletesen együtt és egy irányba változnak 1-el egyenlő, viszont ha tökéletesen ellentétesen változnak – tehát egyik nő, akkor a másik csökken – akkor -1-el egyenlő. Kiszámoltuk ezt a mennyiséget az összes elérhető hálózatunkra 9 különböző centralitás mennyiséget használva, majd ezeket boxplot segítségével ábrázoltuk, ez látható a 6. ábrán. Mindegyik boxplot önállóan takarja a 23 vizsgált, valódi ivóvízhálózatot.



6. ábra. Korrelációs értékek a topológiai becslés és a kritikuság között.

KRITIKUSSÁG BECSLÉSE

Az ábra azt mutatja számunkra, hogy a legtöbb mennyiség nem képes jól közelíteni a tolózárak kritikuságát, ugyanis a korrelációs értékek nemigen haladják meg a 0,3-at sem. Hálózat kutatásban leggyakrabban használt mutatók, mint pl. a közelségi (kék) vagy a közöttiségi (zöld) centralitás lényegében 0,2 alatt maradnak. Ezt azt jelenti, hogy a legtöbb hálózat esetén nem alkalmazhatók a kritikuság becslésére. Találtunk azonban az irodalomban két nemrégiben felkapott mennyiséget, név szerint a Katz (világos kék) és a fokszám (narancs) centralitás, melyek elfogadható szintű korrelációt mutatnak. Ez nem természetesen nem jelenti azt, hogy ezek egy az egyben használhatók lennének becslésre, inkább csak iránymutatásként használhatók, olyan esetben, amikor nem áll rendelkezésre hidraulikai modell.

Minden ivóvízhálózat szenved véletlenszerű csőtörésektől, melyeket a felelős víziközmű cégnek kizakaszolás után szükséges javítania. Minél kisebb zónát sikerül lehatárolni tolózárak segítségével, a hálózat annál nagyobb része képes üzemelni a munkálatok során. Ebben a cikkben azt vizsgáltuk, hogy amennyiben egy tolózár nem lehetséges elzárni (legyen az ok akár mechanikai hiba, vagy hiányzó tolózár), mekkora többlet vízvesztést okoz ez a fogyasztók számára. Kiderült, hogy minden vizsgálat valódi ivóvízhálózat esetén, azonosíthatók olyan tolózárak, melyek kitüntetett figyelmet igényelnek és karbantartás során elsődleges prioritásban érdemes részesíteni őket. Továbbá bemutattunk egy hálózat alapú módszert, hogyan becsülhető a tolózárak kritikusága, amennyiben nem áll rendelkezésünkre hidraulikai modell, pusztán a hálózat topológia.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnénk mondani a Soproni Vízmű Zrt-nek, hogy a rendelkezésünkre bocsájtották a hálózatok adatait kutatási célokra. A cikkben bemutatott munka az NKFI OTKA K-135436 "Biztonságos ivóvízellátó rendszerek" kutatási projekt keretében valósult meg.

► IRODALOMJEGYZÉK

SZERZŐ:



Wéber Richárd: 1992-ben született Pécsen. 2015-ben szerezte BSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Karán, míg ugyanitt 2017-ben az MSc-t. Ezután kezdte kutatását a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszéken PhD hallgatóként, disszertációjának címe „Sebezhetőség és szenzorhelyezés ivóvízhálózatokban”, témavezetője Dr. Hős Csaba, egyetemi docens. Az értekezését 2021 áprilisában nyújtotta be, a hivatalos védelem várhatóan 2021 nyarán lesz. A tanszéken már évtizedes múltra tekint vissza a különböző csőhálózatok vizsgálata, elsősorban ivóvízhálózatok állnak a fókuszban. A vizsgálatok során a cél az utóbbi évtizedek komplex hálózati elméleti eszközök alkalmazása ivóvízhálózatok esetén. Eddig 5 nemzetközi folyóirat cikket (köztük 3 impakt faktorral rendelkezőt) és 7 nemzetközi konferenciakiadványt jegyezhet magáénak.

SÓMENTESÍTÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉRTÉKELÉSE ÉLETCIKLUS ELEMZÉSEL: FORDÍTOTT OZMÓZIS ÉS TERMIKUS ELJÁRÁSOK

DULOVICS SZIMPÓZIUM -INNOVÁCIÓS DÍJ

DO THI HUYEN TRANG, TÓTH ANDRÁS JÓZSEF

BME-VBK KÉMIAI ÉS KÖRNYEZETI FOLYAMATMÉRNÖKI TANSZÉK, KÖRNYEZETI ÉS FOLYAMATMÉRNÖKI KUTATÓCSOPORT

Kulcsszavak:

Sómentesítés, Fordított ozmózis (RO), Többfokozatú gyors desztilláció (MSF), Többszörös hatású desztilláció (MED)

Napjainkban az ivóvízhiány egyre nagyobb méreteket ölt, elsősorban a gyors népességnövekedés, az éghajlatváltozás, a pazarló túlhasználat és a szennyezés miatt. A jelenlegi körülmények között a világ lakosságának egynegyede nem jut jó minőségű ivóvízhez. Sőt, 2050-re a világ népességének fele, akár 5 milliárd ember is érintett lehet. Ezért más megoldást kell alkalmazni azokon a területeken, ahol nincs elegendő édesvíz. Az egyik lehetséges irány a tengervíz sóatlanítása, amely az egyik legpraktikusabb megoldás az ivóvízhiány problémájának megoldására a csekély édesvízkészlettel rendelkező olajkitermelő, gazdag országok esetében.

A három leggyakrabban alkalmazott sómentesítési technológia a fordított ozmózis (RO), a többfokozatú gyors desztilláció (MSF) és a többszörös hatású desztilláció (MED). Két módszer alapján vizsgáltuk a tengervíz sóatlanítását: életcikluselemzést (LCA) végeztünk a SimaPro Life Cycle Analysis szoftver 9.1-es verziójával, illetve karbonlábnyom (carbon footprint) elemzést készítettünk. A három sómentesítési technológia esetében elemeztük a fosszilis és megújuló energiaforrásokkal előállított ivóvíz üvegházhatásúgáz-kibocsátását (ÜHG). Ennek eredményeként megállapítottuk, hogy az RO-technológia CO₂-kibocsátása jelentősen alacsonyabb, mint a termikus technológiáké (MSF és MED). Az RO kombinálása megújuló energiával minősült a leginkább környezetbarátnak; kiemelkedő előnyöket biztosít az emberi egészség és az ökoszisztéma minősége szempontjából. Ez a technológia a jövőben még fejlődhet a hosszabb élettartamú, olcsóbb membránok előállításával, továbbá a folyamat energiaigénye a modern energia-visszanyerő rendszerek alkalmazásával még alacsonyabb lehet.