

ÍVÓVÍZHÁLÓZATOK SEBEZHETŐSÉGE

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

Absztrakt: Még egy kiválóan karbantartott ivóvízhálózat esetén is előfordulnak véletlenszerű csőtörések különböző havária események következményeként. E problémák súlyos veszteséget jelentenek mind a fogyasztók igényeinek kiszolgálásában, mind pedig az üzemeltetők pénzügyi oldalán. Egy csővezeték, csőkapcsolat meghibásodása esetén a felelős szolgáltatónak szükséges az érintett területet mielőbb szakaszoló tolózárak segítségével a nyomástól leválasztani, ezzel megteremte a lehetőséget a javítási munkák elvégzésére. Jelen munka közlése során bemutatunk egy matematikai módszert, amely alkalmas nagyméretű ivóvízhálózatok esetén is számszerűleg megmutatni egy hálózat mely területei számítanak sebezhetőnek a csőtörésekkel szemben. A technika lehetővé teszi azt is, hogy a korábbi csőtörési statisztikákat hálózatspecifikus módon beágyazzuk a módszerbe, így biztosítva, hogy egyéni, korábbi tapasztalatok alapján hozzunk létre iránymutatás a várható csőtörések károkozásának mértékéről.

BEVEZETÉS

Az ivóvízellátó hálózatok minden település (a kis falvaktól a nagyvárosokig) stratégiaiilag 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 üzeme 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 bekövetkezésekor is támaszkodhatunk rájuk. Ilyenek lehetnek például véletlenszerű

csőtörések vagy hirtelen nagy mennyiségű vízkivételek, pl. tűzivíz kivétel. Egy jól felépített és karbantartott ivóvízhálózati modell segítségével lehetőségünk van akár megelőző lépéseket is tenni pl. váratlan csőtörésekkel szemben.

ÍVÓVÍZHÁLÓZATOK MODELLEZÉSE

Napjainkban az informatikai rendszerek széleskörű elterjedésének köszönhetően lehetőség van arra, hogy az ivóvízhálózatokban található minden egyes hidraulikai elemet (csőszakaszt, tolózárát, 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 érzékenységu) hálózati helyek azonosításáig.

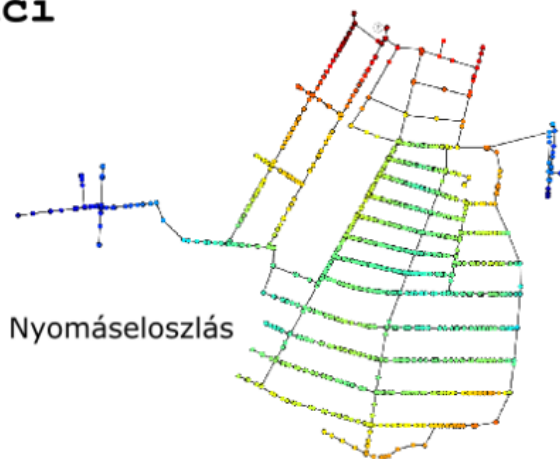
A matematikai modellről dióhéjban a következőket érdemes ismerni. Egydimenziós áramlást, összenyomhatatlan közeget feltételezünk. Továbbá időben szakaszosan állandósult állapotot

vizsgálunk, tehát különböző üzemállapotok sorozatait számoljuk, jellemzően néhány tízperces vagy órás időlépéssel. Ilyen feltételek mellett írjuk fel minden csomópontokra 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 egyenletrendszerre 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

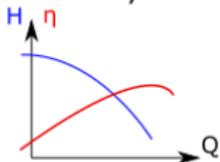
Csővezetékek

ID	X1	Y1	X2	Y2	Length	D	Material	Year
1316203	561715.7	196302.7	561683.9	196245.7	65.185	90	polyethylene	1995
1316202	561718	196307	561715.7	196302.7	4.879	90	polyethylene	1995
1322674	561715.7	196302.7	561723.7	196298.2	9.209	25	polyethylene	1990
1316205	561722.2	196317.4	561718	196307	11.934	90	polyethylene	1995
1322675	561718	196307	561728.3	196301.1	11.824	25	polyethylene	1990
1316204	561717.3	196320.1	561722.2	196317.4	5.61	90	polyethylene	1995
1322671	561722.2	196317.4	561732.7	196313.4	12.445	25	polyethylene	1990
1316195	561716.8	196320.3	561717.3	196320.1	0.591	90	polyethylene	1995
1322673	561713.2	196312.4	561717.3	196320.1	8.719	25	polyethylene	1990
1316197	561706.5	196325.8	561716.8	196320.3	11.574	90	polyethylene	1995

Staci



Szivattyúk

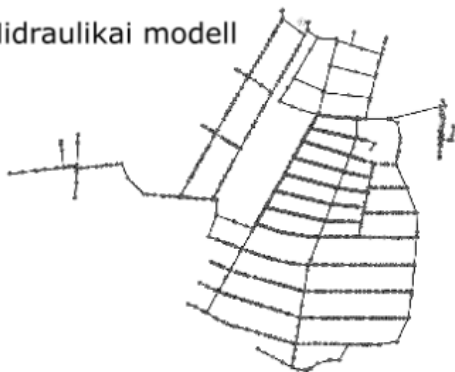


Tolózárok

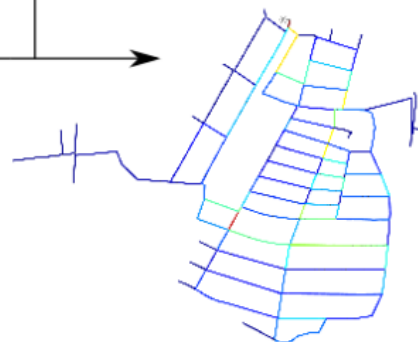
ID	X	Y	State
2874222	563520.4	193510.3	Open
2874221	563538.5	193474.9	Open
2874220	563520.7	193509.8	Open
2874219	563520.8	193510.1	Open
2874218	563538.4	193474.5	Closed
2874217	564695.1	195627.2	Open
2874216	564694.8	195627.5	Open

Fogyasztási adatok

Hidraulikai modell



Térfogatárameloszlás



1. ábra Hidraulikai modell építése a Staci segítségével.

hálózatot (topológiával, csomóponti és csőszakasz adatokkal, hálózati vízigénnyel stb.), majd a matematikai számítások után a kimeneten megkapjuk a hálózatban található csomópontok nyomását valamint az ágelemekén átfolyó térfogatáramot.

Modellezés szempontjából az eddig leírtak általánosan elterjedtek és általában alkalmasak a rendeletésszerű 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 havária esetek 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

Valódi ivóvízhálózatok

Napjainkban számos kutatás célja a hálózatelmélet 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 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 fogyasztás 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.

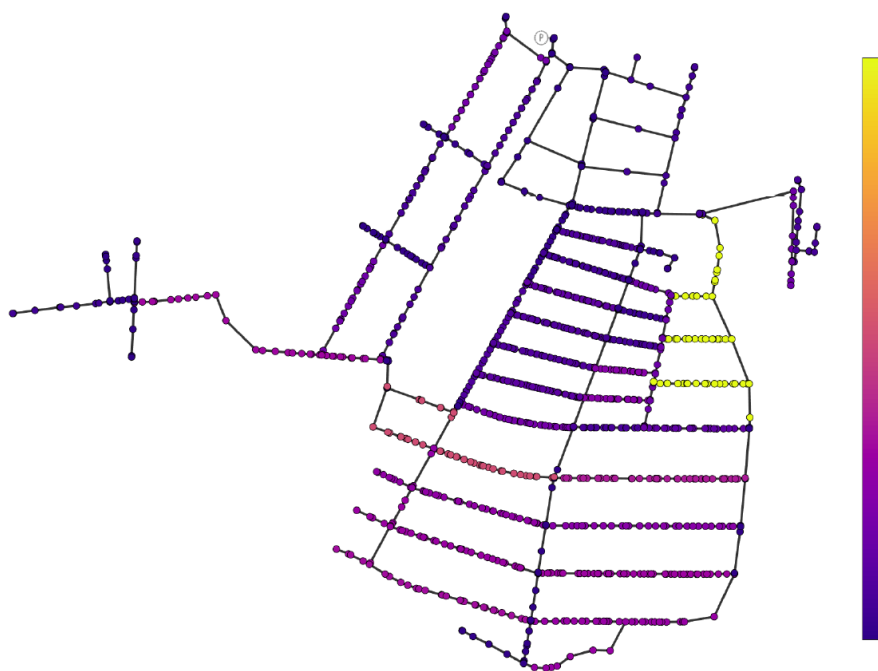
Anyag	Összhossz [hm]	Hibák száma [db]	Relatív hiba [db/100 km/év]
azbeszt cement	249,9	1068	15,29
öntött vas	17,2	168	34,95
KPE	377,8	735	6,95
PVC KM	42,7	1	0,08
ólom	0,1	2	67,42
PVC	4,9	24	17,41
acél	2,5	27	38,37
gömbgrafitos öntött vas	25,5	3	0,42
rozsdamentes acél	0,4	1	8,32

1. táblázat Csőtörési valószínűségek különböző anyagok esetére.

Másik oldalról pedig, a hidraulikai modell alapján kiszámítható, hogy amennyiben egy szegmenst tolózárrakkal kiszakasozunk, 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 veszélyes 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.

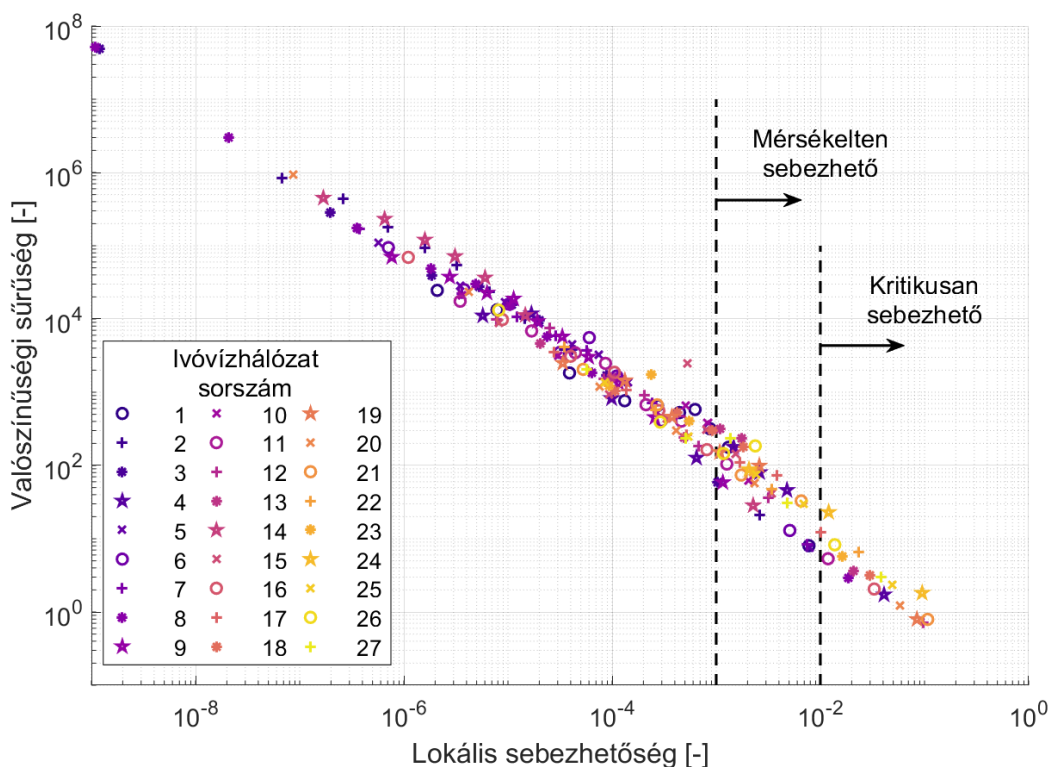


2. ábra Egy valódi ivóvízhálózat sebezhetőségi térképe.

Számos hálózaton vizsgáltuk ezt a típusú térképet és azt figyeltük meg, hogy szinte minden hálózatra ez a trend jellemző. Vagyis minden esetben előfordul néhány különösen sebezhető szigete a hálózatnak, míg a hálózat nagy része elhanyagolható ebből a szempontból. Az alaposabb vizsgálathoz elkészítettük a sebezhetőségek sűrűségfüggvényét. Egy ilyen ábra megmutatja, hogy egy adott értéknek mi az előfordulási valószínűsége. Például a legerterjedtebb normáeloszlás esetén ez a jól ismert haranggörbe. Az eredmények 27 különböző, valódi, Sopron város, vagy annak környékéről származó hálózat sebezhetőségi eloszlását mutatják. Fontos rögtön észrevenni, hogy mind a függőleges, mint a vízszintes tengely skálázása logaritmikus, mivel a minimum és maximum sebezhetőség között több nagyságrend eltérés is megfigyelhető, akár

ugyanazon hálózaton belül. Másfelől, amint az ábra jól mutatja az sűrűségfüggvény pontjai egy egyenes mentén helyezkednek el, vagyis hatványeloszlást követnek.

Praktikus szempontból ez azt jelenti, hogy egy valódi ivóvízhálózat esetén a sebezhetőség az átlagosnál több nagyságrenddel is kiugró értéket mutathat, ami igen kedvezőtlen üzemeltetői szempontból. Bizonyos esetekben ugyanis nagyon nagy eséllyel fordul elő olyan csőtörés, melynek a hatása elhanyagolható, azonban bizonyos esetekben drasztikus következményekkel, a hálózat nagyrészen szolgáltatás kimaradást okozó csőtörésekkel is számolnunk kell. Ezen tapasztalataink teljes mértékben megegyeztek az előzetes vizsgálatok során levontakkal, mely esetén még az anyagtulajdonságok nélkül, egységes csőtörési valószínűséget vettünk fel.

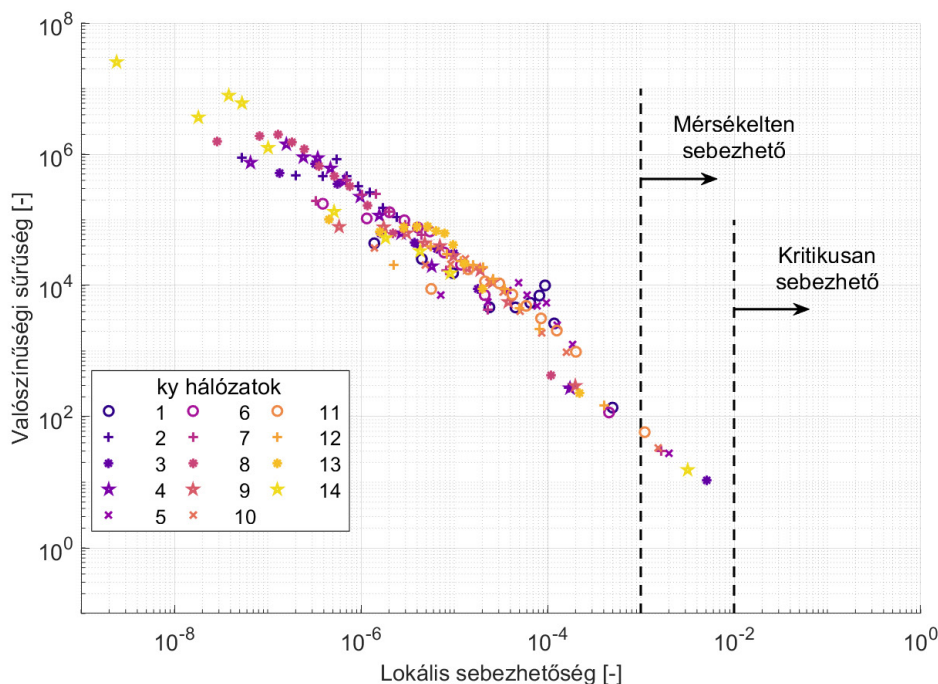


3. ábra Sebezhetőség eloszlása 27 valódi hálózat esetén. A mérsékeltlen és kritikusán sebezhető tartományok is külön feltüntetésre kerültek.

MESTERSÉGES IVÓVÍZHÁLÓZATOK

Felmerült, hogy a fentebb látott meglepően kedvezőtlen jelenség lehet-e egy helyi ivóvízhálózatokkal kapcsolatos tulajdonság. Ennek ellenőrzésére, azoktól teljesen független modellekhez kellett nyúlnunk. A szakirodalomban pár éve megjelentek ugyan mesterséges, de nagyon „valóságos” modellek, melyek alkalmasak lehetnek az elemélet ellenőrzésére. Ezeket a szakirodalomban *ky* hálózatoknak nevezik és a mi vizsgálatainknál az 1-től 14-ig sorszámozottakat elemeztük. Két problémát kellett első lépésben orvosolnunk: a *ky* hálózatok ugyan rendkívül valóságközeliek, nem rendelkeznek az anyagtulajdonságról információval, így jobb híján egységes csőtörési valószínűséget vettünk fel, az az úgy kezeltük a hálózatot, mintha egy teljesen homogén összetételű földterületen, egyszerre lefektetett és azonos anyagú csövekből állna. Továbbá tolózárakkal sem szerepelnek a modellben, ezért a szakirodalomban elterjedt módszer

szerint, az úgynevezett N-1 szabály szerint helyeztük el őket. Ez azt jelenti, hogy minden elágazásba, ahol legalább három csővezeték találkozik, a csőszakaszok számánál eggyel kevesebb, azaz jelen esetben kettő darab tolózárát helyezünk el. Ezáltal minden egyenes csővezeték az elágazások között önállóan szegmentálhatóvá válik. A sebezhetőségek eloszlásai a 4. ábrán láthatók. Ahogy mutatja, a tapasztalatok teljesen megegyeznek a korábbiakkal. Mindamellett, hogy ugyanazon egyenes mentén oszlanak el a pontok, egy különbség figyelhető meg, miszerint a mérsékelten sebezhető és kritikus sebezhető zónák lényegesen kevesebb pontot tartalmaznak. Vagyis ezen hálózatok sebezhetőség szempontjából kedvezőbbek, mint Nyugat-magyarországi társaik. Ez egyszerűen azzal magyarázható, hogy a tolózárak elhelyezésénél alkalmazott N-1 szabály a praktikus ajánlásoknál jóval sűrűbben helyez el a tolózárakat, melyeket a valóságban a víziközmű cégek finansziális megfontolásokból nem tudnak szorosan követni.



4. ábra A szakirodalomban található *ky* hálózatok sebezhetőségeinek eloszlása

ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a szakmai cikk bemutatott egy új megközelítést, hogy napjainkban mire lehet még használni, a szokásos áramlástan jellemzők (pl. nyomás, térfogatáram) számítása mellett, egy jól felépített hidraulikai modellel ivóvízhálózatok esetén. A bemutatott matematikai módszer alkalmas feltárni egy valódi ivóvízhálózatban, melyek azok a részek, ahol egy csőtörés magas kockázattal következhet be, továbbá jelentős kiesést okozhat az ivóvíz szolgáltatásban. A számítások pontosításához felhasználhatók kiegészítő információk, melyek befolyásolhatják a csőtörés bekövetkezésének valószínűségét, úgy mint fektetési év vagy talaj pH érték. Jelen vizsgálat során csővezetékek anyagát és elmúlt évek csőtörési statisztikáit használtuk fel. A vizsgálat végén megállapítható volt, hogy nem csak a valódi, de a szakirodalomban található mesterséges ivóvízhálózati modellek is rendelkeznek egy igen kedvezőtlen sebezhetőségi

eloszlással. Eszerint egy hálózatban jellemzően kis vízkieséssel járó csőtörések fordulnak elő, azonban néhány kirívó esetben a vízszolgáltatás drasztikus károkat szenvedhet. De ezen újszerű módszer felhasználásával, illetve ebbe a múltbéli tapasztalatok – csőtörési statisztikák – beépítése által lehetőségünk nyílik azonosítani és előre felkészíteni az általunk üzemeltetett ivóvízhálózat azon szegmenseit, ahol ezen csőtörések a lehető legnagyobb bajt okozhatják.

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 védés 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 hálózatalmélet eszközök alkalmazása ivóvízhálózatok esetén. Eddig 5 nemzetközi folyóirat cikket (köztük 3 impakt faktorral rendelkezőt) és 7 nemzetközi konferenciakiadványt jegyezhet magáénak.