

# A CSŐBE ZÁRT IVÓVÍZ... (VAGY MÉGSEM?)

Somos Éva

okl. építőmérnök, környezetvédelmi szakmérnök, ügyvezető,  
AquAcust Kft.  
aquacust@hu.inter.net

Ebben a cikkben a vízgazdálkodásnak egy parányi szeletével foglalkozunk. Közeledni látszik az idő, amikor minden csepp víz kincsét fog jelenteni számunkra.

*Az egészséges ivóvíz szerepe századunkban*

*Éltető kincs; víz nélkül nincs élet; az élet forrása...*  
– megannyi mondás, szókapcsolat fejezi ki a vízzel kapcsolatos érzéseinket, sejteinkben hordozott (a szó szoros értelmében is!) ösztöneinket, tudatunkat, tudásunkat, hogy életünk – a földi élet – alapja a víz, minden élő szervezet legfontosabb eleme.

Gyakran használjuk a legfontosabb élelmiszerünk kifejezést is, miközben tudjuk, hogy ennél sokkal összetettebb a szerepe: öntözünk vele, hűtésre, fűtésre használjuk, alapvető tisztítószerünk, ipari technológiák épülnek rá, és hosszan sorolhatnánk alkalmazásának nélkülözhetetlenségét.

A Föld édesvízkészletei azonban korlátozottak. A teljes készletnek csak 2,5%-a édesvíz, aminek 79%-a hó és jég, azaz felhasználói szempontból számunkra nem hozzáférhető.

Századunkra jelenlétének fontossága a korábbiakhoz képest is lényegesen megnőtt az életünk minden területét felölelő fejlődés miatt, ellenőrizetlen környezeti változásokat

elindítva (a Föld túlnépesedése, urbanizáció, globális felmelegedés, szélsőséges időjárási viszonyok, az egészséges vízkészletek elszennyződése és fogyása).

A területenként eltérő természeti körülmények és gazdasági lehetőségek következtében jelenleg a Föld népességének ötöde, 1,4 milliárd ember egy napi járóföldnyi távolságon belül nem talál egészséges ivóvizet. 2025-re várhatóan a lakosság egyharmadát fogja érinteni a vízhiány. Sok gyermek és felnőtt halálát okozza a fertőzött víz, és már az 1990-es években nemzetközi szakmai konferenciákon sokan jelezték érvekkel alátámasztott előadásukban, hogy a 21. század a víz évszázada, a vízért folyó háborúk korszaka lesz.

*A víz útja a fogyasztóig*

A közműves ivóvízellátásban (a „civilizált” világban) a víz hosszú utat tesz meg a kitermeléstől a fogyasztóig. Útja során számos költséges technológiai folyamaton megy át. A vizet különböző mélységű vízáadó rétegek kútjaiból, élővizeink parti szűrűsű kútjaiból vagy közvetlenül a felszíni élővizekből nyerik, ezután – minőségi paramétereitől függően – mechanikai, kémiai, biológiai tisztítási eljárásoknak vetik alá. A megtisztított, így már emberi fogyasztásra alkalmas ivóvizet ugyancsak

költséges szivattyúzással zárt csőhálózatokba juttatják. Ezek a vízelosztó rendszerek hivatottak a vizet a fogyasztóhoz az igényeknek megfelelő mennyiségben és nyomással eljuttatni. A fogyasztók eltérő magassági helyzete – domborzati viszonyok, toronyházak – miatt többszöri átemelésre (szivattyúzásra) is szükség lehet. Az elosztórendszer részeit képezik még az üzembiztonsági és gazdasági szempontból hasznos, de a működéshez nem feltétlenül szükséges magas- és mélytározók.

A fentiekben leírt rendszer megtervezése, kiépítése, zökkenőmentes üzemeltetése és karbantartása bonyolult műszaki feladat, amely tetemes beruházási és fenntartási költségeket emészt fel, a csőbe zárt ivóvíznek tehát minden cseppje érték.

*De eljut-e minden csepp a fogyasztóhoz?*  
Nézzük a magyarországi adatokat a víziközmű-szolgáltatást közel 100%-ban lefedő MAVÍZ 2009. évi statisztikája alapján:

- a vízellátásban részesülő lakosság száma: 8,902 millió fő,
- az ellátott terület összes lakossága: 9,457 millió fő,
- a vízhálózat hossza: 58 330 km,
- termelt ivóvíz: 553 272 m<sup>3</sup>/nap,
- értékesített ivóvíz: 441 720 m<sup>3</sup>/nap,
- nem értékesített ivóvíz (NRW): 111,552 millió m<sup>3</sup>/év.

A hálózatba juttatott ivóvíz több mint 20%-a, azaz évente 111,55 millió m<sup>3</sup> „útközben” elvész. Ennek értéke 300 Ft/m<sup>3</sup> átlagos vízzárral<sup>1</sup> számolva évente 33,465 milliárd Ft.

*A hálózati veszteség fogalma, nagyságrendje*

A vízellátó hálózatok veszteségén tágabb értelmezésben és a köznapi szóhasználatban a

hálózatokba betáplált és az értékesített vízmennyiségek különbségét értjük, de a veszteségek értelmezése szakmai körökben ennél összetettebb. A fentiekben definiált vízmennyiség ugyanis számos olyan összetevőt tartalmaz, amely nem tekinthető műszaki, gazdasági vagy környezetvédelmi szempontból veszteségnek: például a technológiai vízfelhasználások (medencemosás, hálózatöblítés stb.), a tűzoltásra használt vízmennyiségek, a vízlopások, a mérőpontatlanságból és mérőleolvasási hibákból eredő veszteségek, vagy a nem mért fogyasztások becslési hibái.

A szakirodalom tehát meghatároz értékesítési különbözetet (nemzetközileg elfogadott fogalma: NRW – Non-revenue Water – lásd az 1. táblázatot) és ezen belül *hálózati veszteséget* (Waterloss). Az NRW fentiekben sorolt összetevőinek többsége a szó műszaki értelmében nem vízvesztés, hiszen hasznosul, csak nem fizetnek érte.

A Nemzetközi Vízellátási Szövetség (International Water Association – IWA) Vízvesztés munkacsoportja 2000-ben az 1. táblázatban közölt módon foglalta össze a rendszerbe táplált vízmennyiség összetevőit.

A nem értékesített vízmennyiség összetevőinek megoszlása a magyarországi vízműveknél az elmúlt tizenöt évben végzett veszteségmérések adatai alapján:

- rejtett vízfolyások: 41%
- csőtörések: 7%
- jóváírások: 4%
- illegális fogyasztás: 7%
- mérési pontatlanságok: 16%
- saját felhasználás: 2%
- egyéb veszteségek: 21%.

A hálózati veszteség tehát 48%-a a teljes értékesítési különbözetnek (Somos, 2009).

*Az 1. táblázatban valós veszteségnek nevezett vízmennyiség részét képezik ugyan az*

<sup>1</sup> A lakossági vízdíj 249–274 Ft/m<sup>3</sup>, a közületi vízdíj 310–410 Ft/m<sup>3</sup> közötti összeg.

A rendszerbe betáplált vízmennyiség [m <sup>3</sup> /év]	Engedélyezett fogyasztás [m <sup>3</sup> /év]	Számlázott, engedélyezett fogyasztás [m <sup>3</sup> /év]	Számlázott, mért fogyasztás (beleértve a víz exportját) [m <sup>3</sup> /év]	Értékesített víz [m <sup>3</sup> /év]
		Számlázatlan, engedélyezett fogyasztás [m <sup>3</sup> /év]	Nem számlázott, mért fogyasztás (beleértve a víz átadását) [m <sup>3</sup> /év]	
	Vízvesztesség [m <sup>3</sup> /év]	Látszólagos veszteség [m <sup>3</sup> /év]	Engedélyezetlen fogyasztás [m <sup>3</sup> /év]	NRW – nem értékesített víz [m <sup>3</sup> /év]
			Mérési pontatlanságok [m <sup>3</sup> /év]	
		Valós veszteség [m <sup>3</sup> /év]	Hálózati szivárgások [m <sup>3</sup> /év]	
			Csőtörés okozta vízfolyások [m <sup>3</sup> /év]	
		Üzemeltetési hibákból adódó vízvesztések [m <sup>3</sup> /év]		

1. táblázat

üzemeltetési hibákból adódó vízfolyások (medencetúlfolyások, gondatlan vezetékzárások, -ürítések), de egy elvárható szinten üzemeltetett hálózat esetén ezek nem számottevők, illetve egyszerű adminisztratív intézkedésekkel teljesen kiküszöbölhetőek.

Jelen cikk a *hálózati veszteségek* témakörére fókuszál, a *rejtett szivárgások* és a *csőtörések* okozta vízfolyásokra, melyek valóban a vezetékhálózat – beleértve a csöveket, csőköteket, házi bekötővezetéseket, szerelvényeket (tűzcsapok, tolózárak, ürítők, légtelenítők stb.) – műszaki állapotát minősítik.

A hálózati veszteség két megjelenési formája a *csőtörés* és a *rejtett szivárgás*. Ezek kiváltó okai között az alábbi tényezők szerepelnek:

- csőanyag,
- a vezetékek életkora,
- a csőkötések fajtája,
- nyomásviszonyok,

- a csőanyag tárolásának és szállításának körülményei,
- a csőfektetés körülményei, szakszerűsége (homogén ágyazat a cső körül!),
- fektetési mélység,
- domborzati és talajviszonyok a cső környezetében,
- talajvíz rendszeres vagy időszakos jelenléte,
- üzemeltetési körülmények,
- forgalmi terhelés a vezetékek felett,
- károkozások egyéb közmű létesítése vagy más építkezés során,
- talajmozgások (barlangos, üreges területek jelenléte vagy földrengéses zónák).

A hálózati veszteség két megjelenési formája közül vízvesztései szempontból a rejtett szivárgások okozta kár a nagyobb. Csőtöréskor a cső hirtelen, robbanásszerű tönkremenetele következtében nagy mennyiségű, magas nyomású víz tör a földfelszínre. A csőtörések

gyakorisága alacsony, de intenzitásuk nagy, viszont rövid időtartamúak. A rejtett szivárgások gyakoriak, kis intenzitásúak, de tartósak. A szivárgások vízhozama ugyan két-három nagyságrenddel kisebb, mint a csőtöréseké, ám a vízkiáramlás tartóssága négy-öt nagyságrenddel nagyobb, így a veszteség döntő hányadát a rejtett szivárgások teszik ki (Becker – Somos, 1990).

A hálózati veszteség csökkentésére irányuló tevékenység az egész világon egyre nagyobb jelentőségű, amit jelez az e tárgyban megrendezett nemzetközi konferenciák sora is. Néhány adat Földünk vezetékes vízálózatának veszteségeiről (Liemberger, 2009):

- A városi vízálózatokon évente >32 milliárd m<sup>3</sup> kezelt víz szivárog el.
- A fejlődő országokban az NRW jóval 30% felett van, esetenként eléri a 80%-ot is!
- Az NRW értéke évente -15 milliárd USD.
- Az NRW 50%-os csökkentésével 130 millió embert juttathatnánk friss, tiszta vízhez.

A 2. táblázat jól szemlélteti a hálózati paraméterek és egyéb befolyásoló tényezők hatását a veszteségszámokra néhány kiragadott ország példáján.

A hálózati veszteség értékét – a szakma kifejezett törekvései ellenére – a mai napig rendszerint az éves betáplálás %-ában adják meg. A százalékos érték azonban – tekintettel

a hálózatok időben és térben eltérő fogyasztási viszonyaira – nem alkalmas viszonyítási alap sem a vízművek egymás közötti, sem egy adott vízmű adatainak évenkénti összehasonlítására. Azonos veszteségnagyság (m<sup>3</sup>/év) mellett a %-os értéket erősen torzíthatja például az időjárás: száraz, meleg vegetációs idő a sok locsolás miatt kedvező, míg esős tavasz–nyár kedvezőtlen irányba befolyásolhatja a veszteségszázalékot. Ugyanígy lényeges eltérést okoz az értékben a megnövekedett vízárak miatti fogyasztáscsökkenés vagy a nagyfogyasztók be- vagy kilépése.

A DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) már évtizedekkel ezelőtt szorgalmazta a fajlagos veszteségindexek bevezetését. A legkézenfekvőbb és a legszemléletesebb a hálózathosszra vetített mutató:

$$q_v = \frac{Q_v}{8760 \times L} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h} \times \text{km}} \right]$$

ahol  $q_v$  a vízveszteségindex,  $Q_v$  az éves vízveszteség (m<sup>3</sup>),  $L$  a csőhálózat hossza (km), 8760 pedig egy év óraszám (365×24).

Létjogosultsága lenne számos egyéb mutatószám bevezetésének is, hiszen ezek évenkénti összehasonlítása hű képet adna a vízmű állapotáról, a változások trendjéről és a fejlesztési intézkedések eredményességéről. Francia vízműveknél számos hálózati teljesítmény-

Ország	NRW	A hálózat jellemzői
Japán	11,9%	Fiatal, jól karbantartott hálózat, 52,2% gömbgrafitos öntöttvas, 31,4% műanyag vezetékekkel
Svájc	12,0%	Jó állapotú hálózat, 40% gömbgrafitos öntöttvas, 40% öntöttvas vezetékekkel
Dél-Korea	28,2%	Nagyon olcsó víz, kis ráfordítási költség
Németország	8,0%	Jól karbantartott hálózat, szigorú veszteségszabályozás, folyamatos veszteségcsökkentési tevékenység

2. táblázat

mutatószám alkalmazása kötelező, ilyenek a bekötések számát is figyelembe vevő vonalmenti veszteség- és fogyasztásmutatók, a hálózat belső felületére vonatkoztatott veszteség-index, a vonalmenti javítás- és a demográfiai fogyasztásmutató (Rendement... , 1990). Hazánkban néhány vízműtől eltekintve a szakemberek körében már a vonalmenti – hálózat-hosszra vetített – index elfogadtatása és bevezetése is jelentős előrelépés lenne, természetesen fajlagos értékesítési különbözet és fajlagos hálózati veszteség megkülönböztetéssel.

#### *A rejtett szivárgások kifürkészhetetlen útjai*

A hálózaton folyamatosan képződnek apró sérülések: korróziós lyukadások, toklazulások, szerelvényhibák, bekötés-sérülések, melyek a környező talajviszonyok függvényében rövidebb-hosszabb ideig (akár évekig) rejtve maradhatnak. Az apró sérüléseken magas nyomás mellett kiáramló víz rezgésbe hozza a csőfalat és a környezetét (talajszemcsék, közeli objektumok, üregek, aknák, kábelek, egyéb közművezetékek). Ez egy láthatatlan folyamatot indít el, amelynek jellemzői:

- önmagát erősíti, hiszen egy apró sérülés a víz kitaró, folyamatos munkája következtében egyre nagyobbá válik (időtartamban és morfológiában csőanyagfüggő, de megállíthatatlan folyamat),
  - a nyomás alatt kilépő víz megbontja az ágyazatot,
  - kiszámíthatatlan folyamat, amelynek csak a víz a tudója (jobban ismeri a hidraulikát, sőt a hidrológiát is nálunk),
  - a kiszámíthatatlanságban az egyetlen kiszámítható út a legkisebb ellenállás útja.
- A legkisebb ellenállást választó vízfolyás útjára a következő teóriáink lehetnek:
- a csőfal mentén indul el – az esetek többségében ugyanis itt lazább az ágyazat, hiszen

a cső a benne áramló víz dinamikus hatására kis mozgásokkal tágítja maga körül az ágyazatot;

- hat a gravitáció is, hiszen a nyomás a kiléptéstől távolodva folyamatosan csökken, ami különösen érdekes lehet hegyvidékes környezetben, ahol a vezeték maga sem vízszintes vonalvezetésű, s így a két hatás összegződhet.

Idővel a talajban haladó víztömeg elérheti a 10 vagy akár az 1000 m<sup>3</sup>-t, és megállíthatatlannul nő a mennyisége. Erre vonatkozó tapasztalataink szerint:

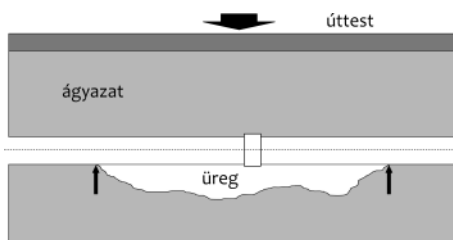
- a laza feltalaj vagy burkolathibák miatt a víz megjelenik a felszínen (nyomás-, talaj-, burkolat- és domborzati viszonyoktól függően a sérüléstől különböző távolságokban),
- pincevizeket okoz,
- épületsüllyedések, falpedések jelennek meg,
- talajvízszint-emelkedést eredményez,
- utat talál a gyakran sérült csatornahálózatokba,
- aláüregeli az útburkolatokat – süllyedéseket és beomlásokat okozva,
- aknákat, közmű- és kábelalagutakat önt el,
- extrém (de megtörtént) esetben hegyvidéki forrásként jelenik meg.

*A rejtett sérülések tehát csőtöréseket okozhatnak!*

Földalatti útjuk során ugyanis – a talajviszonyoktól függően – kiüregelhetnek egyéb, akár távoli és nagy átmérőjű vezetékeket is.

Kialakul a *kéttámaszú tartó*, amely a terhelések – elsősorban a külső terhelések – hatását mintegy felerősíti (*1. ábra*).

Következésképpen csőtörés keletkezik. Még egyébként megfelelő szilárdságú csővezeték esetében is gyakran előfordul ilyen típusú meghibásodás.



1. ábra

A csőtörés valódi okára általában nem derül fény, mert a csőtörés következtében előálló intenzív vízkitörés az eredendő okot, a szivárgás okozta üregelődést „eltünteti” (Somos – Tolnay, 2009).

A vízvesztések csökkentésének leghatékonyabb, de a legnagyobb műszaki felkészültséget igénylő módszere tehát a rejtett szivárgások felkutatása és megszüntetése.

### Szivárgáskutatás

A hálózati hibák felderítésének története a vízellátással rendelkező ókori kultúrákig nyúlik vissza. Az ókori Róma vízvezetékeinek felügyelője, Sextus Julius Frontinus hétszáz főnyi személyzettel végeztette a vízellátó rendszer fenntartását. A hálózati hibák felderítési módszere a ma alkalmazott leghatékonyabb akusztikai eljárások alapelveire épült. Felismerték, hogy a hibahelyeken kiáramló víz a hiba azonosítására alkalmas zajt okoz. A „hálózatkerülők” a vezetékhez érintett vagy a vezeték feletti talajba nyomott keményfa-pálcák hangvezető, rezgésátadó képességét kihasználva észlelték a sérüléseken kiáramló víz keltette zörejeket, azaz a hiba jelenlétét.

A hibahelyeken nyomás alatt kiáramló víz ugyanis energiát szabadít fel, a csőben áramló víz nyomásingadozását és a csőfal radiális vibrációját okozva. Ez a vibráció az a hangrezgés, amelynek érzékelésén az akusztikus módszerek alapulnak (Heim, 1979).

A rómaiak által alkalmazott hibakeresési módszer kétezer esztendőn át alig változott: a 19. század közepéig csak a fapálcát váltotta fel a fémrúd, és kiegészült a Thomas Alva Edison által akkor feltalált mikrofonnal.

A tudományos kutatások és az elektronikai ipar ugrásszerű fejlődése azonban megnyitották az utat a hibakutatás fejlődéséhez is. A zajkutatás és a számítástechnika eredményei elősegítették a magas műszaki színvonalú elektroakusztikus műszerek kifejlesztését.

*Szivárgások elektroakusztikus kutatása, a szivárgási zaj keletkezése és tulajdonságai.* • A szivárgás okozta zaj lefutási görbéje szabálytalan, pillanatonként változó akusztikai jel, tekintettel a kilépő víz, a sérült csőfal és a környező talajszemcsék együttrezgésének esetlegességére és folyamatos mozgására. (A később ismertetendő korrelációs eljárás éppen e véletlenszerűen változó jelek hasonlóságát – korrelációját – vizsgálja az ismeretlen hibahelytől különböző távolságra lévő mérési pontokon.) A szivárgási zaj kialakulását és időbeli változását több tényező alakítja, elsősorban geológiai és strukturális tényezők, de függ az uralkodó üzemi nyomástól, a cső anyagától, a fektetési mélységtől stb. Külön jelentőséggel bír maga a hiba fajtája – a sérülés mérete és alakja – is. Egy nagyobb és sima felületű törés általában alacsony frekvenciájú, alig észlelhető zajt okoz egy nagyobb átmérőjű csőben, míg egy parányi hiba, kis átmérőjű csőben egyszerű eszközökkel is észlelhető, nagy intenzitású, magas frekvenciájú hangot ad (Iann, 1971).

A Hannoveri Műszaki Egyetem kísérleti mérései alapján a közlekedési zajok többsége a 400 Hz frekvencia alá esik, így ezek kiszűrésével a forgalom zavaró hatása a méréseknel kiküszöbölhető.

600 és 1000 Hz közötti frekvenciatartományba esik az a vibráció, amelyet a szűkület-



ben nyomás alatt kiáramló víz okoz a csőfalban, illetve a csőben áramló vízben. Ebben a tartományban működnek az előzetes hibabehatárolásra készülő és a csőfal anyagával való közvetlen kontaktus révén a szerelvényeken használható kontaktmikrofonok.

400–600 Hz frekvenciatartományú a víznek a talajba történő kilépésével létrejövő alapzaj, amely kúpszerűen terjed a hiba környezetében. Ilyen frekvenciájú zajok felvétele talajmikrofonokkal történik.

A talajban nagyobb ellenállással találkozó, vagy a csőfal mellett kialakult üregben örvénylő víz okozta zörejek kisebb, 20–250 Hz frekvenciájúak, és nehezen mérhetőek.

*A zaj terjedése* • A hangrezgés a vízben, a csőfalban és a talajban továbbterjed. A terjedési sebesség függ:

- vízben: a hőmérséklettől, csőanyagtól, csőátmérőtől, a cső életkorától, azaz a csőfal tulajdonságaitól (lerakódások, beárteredések stb.);
- csőfalban: a cső anyagától, átmérőjétől és a környező talajviszonyoktól;
- talajban: a talaj fajtájától, tömörségétől, homogenitásától, a kiüregelődésektől és a talajvíztől.

A hangrezgés terjedési sebességét leginkább a csőanyag befolyásolja. A különböző csőanyagoknál mért átlagos sebességek: fémanyagú vezetékeknel 1300 m/s, azbesztcement csöveknél 800 m/s, műanyag vezetékeknel 400 m/s (Hammerer, 1983).

A hangterjedés sebességét befolyásoló másik lényeges tényező a csőátmérő. Az átmérőváltozás hatása sokkal szembeutóbb a csőfalban terjedő hangrezgések érzékelésénél (Berge – Laske, 1982).

*Rezgéscsillapítás* • A csekély csillapítás miatt a fémes vezetékek jól vezetnek a hangot, a hiba jelenléte könnyen felismerhető, de a pontos

helybehatarolás bizonytalanabb. A rossz hangvezető azbesztcement és műanyag vezetékeknel a helyzet fordított, itt erős a csillapítás. A hangtovábbítást a csőben lévő lerakódások, a korrózió és a gumigyűrűs kötések is erősen lerontják. A hangintenzitás a talajban megtett távolsággal is erősen csökken, és a nagyobb frekvenciák csillapodása gyorsabb. A különböző talajfajták eltérően vezetnek a hangot: jó hangvezető a homok és a kavics, rossz hangvezető az agyag, az iszap és a termőföld.

A rezgések érzékelését még nehezíti a talajvíz, a talajban lévő üregek és a csőtakarás megváltozása. A burkolat fajtája szintén befolyásolja a hangtovábbítást. Az akusztikus lehallgatás kedvező eredményeket ad aszfalt és makadám burkolatoknál. A monolit burkolat (például beton) nagy felületen azonos zajszinteket produkál, ami a helykijelölést bizonytalanná teszi (Echeverri, 1983).

A zajhullámok terjedés közben átalakulnak, aminek okai

- a diszperzió, mert a különböző frekvenciák terjedési sebessége nem azonos;
- a reflexió, mert a csőfalról, légbuborékokról visszaverődő rezgések egymásra halmozódnak;
- a csillapítás, amely különböző mértékű azon rétegekben, melyeken áthalad.

A magas műszaki színvonalú, érzékeny elektroakusztikus műszerek alábbi tulajdonságai megkönnyítik a szivárgás pontos feldeírését:

- az erősítés több lépcsőben milliószorosra növelhető;
- szétválasztott erősítővel működnek a fülhallgató és a kijelző számára;
- lehetővé vált a frekvenciaanalízis;
- különböző frekvenciaszűrők szolgálnak a zavaró egyéb zajok leválasztására;

- a mérési adatok tárolása, feldolgozása, továbbítása automatikus.

Az akusztikus szivárgáskutatás az elmúlt évtizedekben két úton fejlődött: a zajintenzitás mérésén alapuló *lehallgatás* és a zaj terjedési sebességének mérése alapján történő *korreláció* irányában.

Az *elektroakusztikus lehallgatás* (ami a már említett ókori módszerek elvére épül) műszerei a zajszint mérésének közege szerint három fő csoportba sorolhatók:

- *kontaktmikrofonok*, melyek a csőfalban történő hangterjedés alapján, a hibahelyek előzetes behatárolására szolgálnak;
- *talajmikrofonok* (geofonok) a talajban terjedő szivárgási zajok észlelésével, a vezeték nyomvonalán haladva, a földfelszínen teszik lehetővé a hibahelyek pontos behatárolását;
- *hidrofonok*, melyek a vízben történő rezgések mérése alapján működnek.

Ám az elektroakusztikus lehallgató műszerek sok előnyük mellett nem alkalmasak a hibák teljeskörű feltárására, mert részben a környezeti zajok, részben a lehallgatást végző személy idővel csökkenő összpontosító képessége zavarhatja, gyakran lehetetlenné teszi a mérést.

Az *akusztikus korreláció* a hang terjedési sebességének ismeretében időmérésre alapoz-

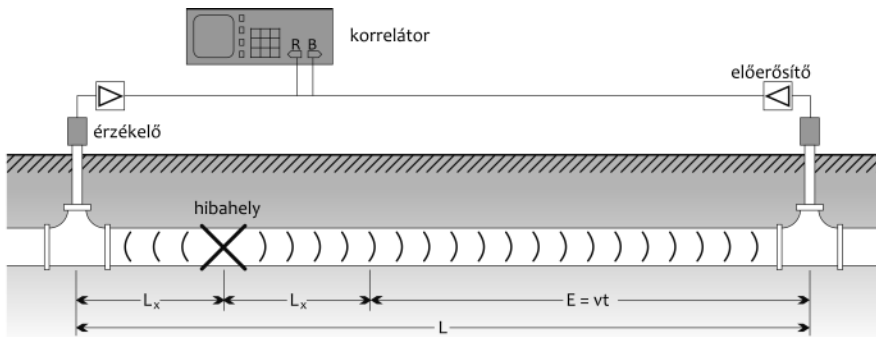
va teszi lehetővé a hiba helyének meghatározását. A feltételezett hibahelytől a cső mentén két irányban elhelyezett szenzorok rögzítik és továbbítják a kiáramló víz keltette rezgéseket. A zajlefutási görbék vezetékes vagy URH-kapcsolattal a korrelátor központi egységébe kerülnek, ahol a beérkező jelek összehasonlítása, elemzése történik (2. ábra). Ha a szenzorok hibahelytől való távolsága különböző, akkor egy adott pillanatban keletkezett rezgést a távolabbi érzékelő  $\Delta t$  idővel később érzékeli ( $\Delta t$  időre van szüksége a hangrezgésnek, hogy az érzékelők távolságkülönbségének megfelelő utat megtegye). A korrelációs függvény maximális értéke így ennél a késleltetési időnél jelentkezik (Ironmonger, 1985).

Az érzékelők közti távolságnak és a zajhullámok terjedési sebességének ismeretében így a zaj keletkezési helye (a hibahely) érzékelőktől való távolsága számítható:

$$L_x = (L - v \cdot t) / 2,$$

ahol  $L$  az érzékelők közti távolság,  $v$  a hang terjedési sebessége az adott csőanyagban,  $t$  pedig a késleltetési idő.

Minden korrelációs mérés pontossága a betáplált adatok pontosságától függ, szükséges tehát a hibás vezeték nyomvonalának és anyagának (anyagainak) ismerete ahhoz, hogy a műszer központi egysége meghatározza a



2. ábra • Korrelációs hibahely-kijelölés



maximális korrelációhoz tartozó késleltetési időt és a hiba pontos helyét.

### *Egyéb hibakereső módszerek*

Egyszerűségük és hatékonyságuk miatt a fenti akusztikus eljárások uralják a rejtett csőtörés kutatását. Ám emellett más módszerek irányában is történtek fejlesztések, melyek – korlátozottabb alkalmazhatóságuk mellett – ugyancsak figyelmet érdemelnek.

*Infravörös mérési eljárás* • A módszer a hibahely környezetében átnedvesedett talaj hőmérséklet-változásának észlelésén alapul. Az érzékeny termokamerákkal történő vizsgálat homogén, burkolatlan földfelszíneken alkalmazható, elsősorban távvezetékek és kútgyűjtő vezetékek esetében, beépített, települési környezetben azonban nem. Gyakran vizenyős terep vagy nehéz megközelíthetőség teszi indokolttá alkalmazását, amelyet többnyire kis magasságban (10–20 méterrel a terep fölött) repülő helikopterről hajtanak végre.

*Légnyomásos módszer* • Alapelvét tekintve az akusztikus módszerek rokona, ritka alkalmazása miatt az egyéb kategóriába soroljuk. A sérüléseknél nyomás alatt kiáramló levegő a víznél jellegzetesebb, erősebb hangot ad, ezért alkalmanként használják a vezeték leürítését és sűrített levegővel történő feltöltését az akusztikus lehallgatás előtt. Esetenként előfordul a kombinált alkalmazás is, a vízzel feltöltött vezetékbe nyomás alatt történő levegőbevitel, de az esetleges hidraulikai problémák miatt nem gyakori módszer.

*Nyomjelző gáz alkalmazása* • A hibahely behatárolása gázérzékeléssel történik, a hibás vezeték szakasz leürítése, gázzal való feltöltése és nyomás alá helyezése után. Ivóvízvezetékéről lévén szó, az alkalmazandó gáznak íz-, szag- és egyéb egészségügyi követelmények tekintetében kifogástalannak kell lennie. Nyomjelző

(tracer) gázként többnyire hélium-levegő, vagy metán-argon keveréket alkalmaznak. Az eljárás igen költséges a leürítés, kiszáritás és nagyobb csőátmérők esetén a gázköltség miatt.

*Izotópos módszer* • Hazánkban nem engedélyezett módszer, amelynek lényege, hogy a vizsgálandó vezeték szakaszba radioaktív izotópot juttatnak, mely a hibahelyen kilépő vízben megjelenve detektálható.

*Talajradar* • Elsődleges alkalmazási területe a vezetékek nyomvonal-meghatározásában van, hibahelykeresésre csak kiterjedt kiüregelődés esetén használható. Nagy szakértelmet igénylő, drága módszer.

*Préslég-dugattyús módszer* • A hibás szakasz két végének megbontásával felfújható dugattyúkat helyeznek el a vezetéken, melyek között préslég-bevezetéssel nyomáspróbát tartanak. A dugattyúk fokozatos előretolásával és ismételt nyomáspróbákkal közelítik meg a szükséges hibajavítás helyét. Időigényes, költséges és bonyolult eljárás, szükséges a vezeték üzemén kívül helyezése, eredményességet pedig ronthatja a dugattyúk elégtelen tömítő hatása, amit a cső belső felületén lévő lerakódások okozhatnak.

### *A hálózati veszteség csökkentése*

Az előzőekben leírt módszerek a rejtett sérülések helyének meghatározását szolgálják, de nem adnak információt a hibahelyeken elszivárgó vízmennyiségekre. A rejtett sérülések gyakran a hibahelytől távol „mutatják meg magukat” pincevíz, épületsüllyedés, útburkolat-beszakadás vagy csőtörés formájában. Ilyen esetekben a károkozások környezetében keresni a hibát nem mindig célravezető. A hibahelyek behatárolását a teljes hálózat átvizsgálásával végezni szintén gazdaságtalan megoldás, hiszen így elkerülhetetlen a hibátlan szakaszok időt rabló, költséges mérése.

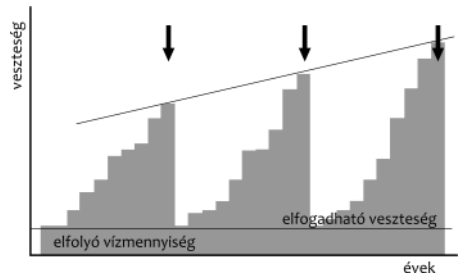
A hálózati veszteség csökkentése a jó tervezéssel, kivitelezéssel (a célnak legalkalmasabb csőanyagok, szerelvények kiválasztásával és szakszerű beépítésével) kezdődik, rendszeres karbantartással, hozzáértő üzemeltetéssel folytatódik, és folyamatos hálózatdiagnosztikai vizsgálatok alapján történő, megfelelő ütemű rekonstrukciós tevékenységgel zárul.

A veszteségcsökkentésre irányuló diagnosztikai vizsgálatok akkor lehetnek hatékonyak, ha pontos veszteségmérésen alapulnak, vezeték szakaszokra lebontva megjeleníthetők az elszivárgó vízmennyiségek, és a hibakeresés csak a gazdaságilag indokolt, magas veszteségtértékű szakaszokra korlátozódik.

A veszteségmérés leghatékonyabb módszere az ún. „nulla-fogyasztás” mérésen alapuló vízvesztés-elemzési eljárás, mely nagy pontosságú nyomás- és átfolyásmérők adatainak folyamatos regisztrálásával és feldolgozásával történik. A mérésre a kis fogyasztású éjszakai órákban kerül sor, a vizsgálandó hálózat rész kiszakasztásával és a mérőkön (vagy mérőkocsin) keresztül történő vízellátással. Így a vizsgálat a fogyasztók megzavarása nélkül hajtható végre.

A mérés során – célszerűen választott körzet nagyság esetén – rövid mérési időszak alatt elérhető a folyamatosan változó vízfogyasztás többszöri nulla vagy következetesen azonos minimumértékének regisztrálása. Előbbi a hibátlan, utóbbi a sérült vezeték szakaszt determinálja, a következetesen azonos minimumérték pedig a szakaszon lévő állandó fogyasztást, azaz a szakasz veszteségtértékét jelzi. (Folyamatos fogyasztó jelenléte az üzemeltetővel történő előzetes egyeztetéssel, vagy a méréskor végzett helyszíni ellenőrzéssel kizárható.)

Az ilyen mérések lehetnek a mobil mérőkkel vagy mérőkocsikkal történő *periodikus* vagy hálózatba beépített műszerekkel történő

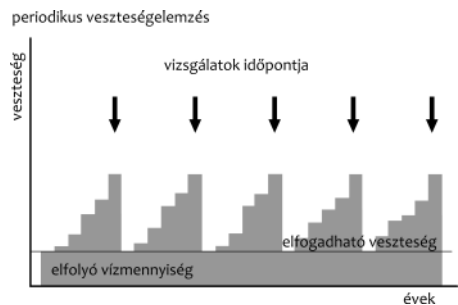


3. ábra • Veszteséggörbe hosszú periódusidő esetén

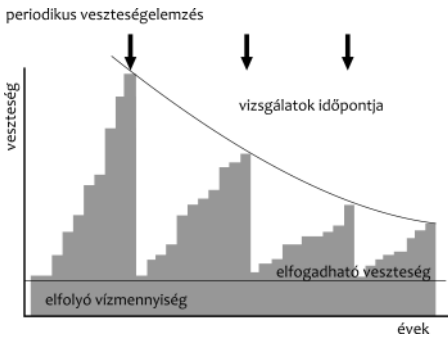
*folyamatos* mérések. *Periodikus méréseknél* a vizsgálatok közötti időszakban keletkező szivárgások a következő mérésig fokozatosan növelik a veszteséget.

A mérések közötti periódusidő kellő megválasztásával és/vagy a hálózat rekonstrukciós ütem növelésével elérhető a veszteségtértek csökkenése. A periodikus veszteségmérés hatékony, egyszerű módszer, amelynek alapján elkülöníthetők a hibátlan és sérült vezeték szakaszok, és pontos információt kapunk a hibás szakaszok veszteségtértékére. Ez lehetővé teszi, hogy a sérülések pontos lokalizálására a korábban említett eljárásokkal csak a veszteséges vezeték szakaszokon kerüljön sor.

A 3–5. ábrákon látható, hogy két vizsgálat között eltelt időben keletkező szivárgások a következő vizsgálatig fokozatosan emelik a



4. ábra • A veszteségek alakulása rövidebb periódusidő esetén



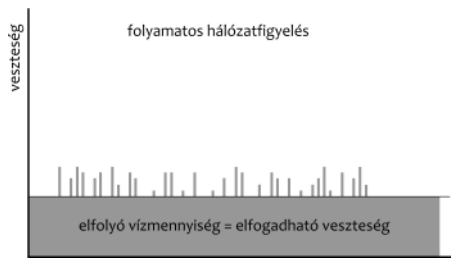
5. ábra • A veszteségek alakulása jól megválasztott periódusidő esetén

veszteséget, míg a *folyamatos hálózatfigyelés* lehetővé teszi a szivárgások azonnali felismerését, és azok gyors elhárítása esetén állandó, alacsony szinten tartható a veszteség (Somos, 1999) (6. ábra).

Folyamatos hálózatfigyelésnél a szivárgások észlelése a hálózat megfelelően kiválasztott pontjain mérhető áramlási sajátosságok megváltozása alapján történik. A felderítendő szivárgások kezdetben rendszerint csekély vízhozama miatt a megfigyelt körzetnek (zónának) elegendően kis mértékű fogyasztása szükséges ahhoz, hogy a szivárgás okozta változás felismerhető legyen.

#### Eredmények, tapasztalatok

Sajnos Magyarországon (és a világ számos helyén még inkább) a ma üzemeltetett háló-



6. ábra • A veszteségek alakulása folyamatos hálózatfigyelés esetén

zatok többsége nagyon rossz állapotú, és anyagi források hiányában a rekonstrukció üteme nem megfelelő.

Németországban, ahol az európai átlaghoz képest lényegesen kedvezőbbek a hálózati állapotok, ennek ellenére (vagy éppen ezért) komoly gondot fordítanak a veszteségcsökkentési tevékenységre. A DVGW szabályozta, majd újabb átdolgozásában tovább szigorította az ajánlásait, melyek az elfogadható fajlagos veszteségmutatókra és a magasabb mutatószámok esetén teendő intézkedésekre vonatkoznak (3. táblázat).

Angliában egy hatóság (OFWAT – Office of Water Services) ellenőrzi a huszonhárom legnagyobb víziközmű-szolgáltatót. Az évek során a Londont is ellátó Thames Water fajlagosveszteség-mutatója a többszöröse volt a többi vízműének (hálózat-kilométerenként

vízvesztési kategóriák	nagyváros	község	vidéki terület	átvizsgálási időszak
	m <sup>3</sup> /h/km			
alacsony (<8%)	< 0,13	< 0,07	< 0,05	elhagyható
közepes (8–15%)	0,13–0,25	0,07–0,15	0,05–0,1	3 évente
magas (>15%)	> 0,25	>0,15	> 0,1	évente

3. táblázat • Az ajánlott átvizsgálási időszak a fajlagos veszteség alapján

település	mért hossz (km)	fajlagos hibaszám (db/km)	Fajlagos veszteség (m <sup>3</sup> /h/km)
Alsószolca	47	0,30	0,33
Budapest	4 650	0,40	0,43
Debrecen	110	1,15	1,09
Diósd	52	0,50	0,19
Dombóvár	68	0,73	0,48
Dunakeszi	183	0,60	0,42
Eger	137	1,25	0,97
Érd	42	0,69	0,13
Felsőtárkány	45	0,46	0,14
Győr	15	1,47	1,67
Kecskemét	23	0,30	0,13
Makó	156	0,57	0,28
Miskolc	39	0,55	0,35
Nagykanizsa	136	0,88	0,69
Nógrád	40	0,32	0,14
Pásztó	22	0,74	0,44
Pécs	298	0,64	0,55
Pomáz	22	1,10	1,14
Rétság	41	1,00	0,28
Solymár	98	0,64	0,30
Sopron	353	0,48	0,48
Székesfehérvár	689	0,69	0,63
Szentendre	374	0,61	0,57
Szolnok	70	0,43	0,57
Szombathely	294	0,94	0,76
Üröm	74	0,56	0,58
<i>Marosvásárhely</i>	<i>20</i>	<i>1,52</i>	<i>2,45</i>
<i>Székeljudvarhely</i>	<i>68</i>	<i>1,82</i>	<i>3,63</i>
<b>Átlag</b>		<b>0,76</b>	<b>0,71</b>

4. táblázat

28–30 m<sup>3</sup>/nap), ezért a hatóság 2007-ben komoly bírságot rótt ki a veszteségcsökkentés elmaradása miatt. Hazánkban nincs hatósági szabályozás, ajánlás vagy ellenőrzés a veszteség elfogadható értékére, ezért a veszteség mérése és csökkentése a tulajdonosok és üzemeltetők műszaki-lelkiismereti kérdése.

A 4. táblázat az AquAcust Kft. tizenöt éve történő mérései alapján készült, összesítve az általuk vizsgált települések fajlagos hibaszámait és fajlagos veszteségeit.

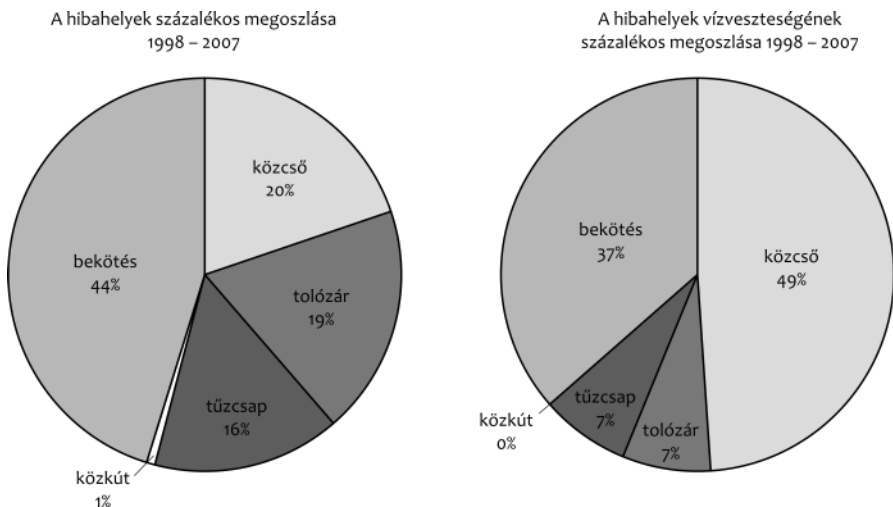
A táblázatból kitérünk, hogy a mért adatok mindenütt meghaladják a német DVGW elfogadható veszteségértékeit, de a Magyarországon mért veszteségadatok még így is lényegesen alacsonyabbak a két erdélyi városban tapasztalt értékeknél.

A vízvesztéssel járó leggyakoribb hibafajták a házi bekötés-sérülések, a közcsőhálózati hibák és szerelvények (tolózárak és tűzcsapok) meghibásodásai. A veszteségek és hibaszámok százalékos megoszlását mutatja hibafajtanként a 7. ábra.

### Hogyan tovább?

Természetesen felmerül a diagnosztika gazdaságosságának kérdése is: a vizsgálatok költség-hason elemzése. Az előzőekben már többször szerepelt az elfogadható (még eltűrhető) veszteségérték, aminek további csökkentése már gazdaságilag indokolatlan. A vízvesztések megítélésénél gazdasági, műszaki, politikai, közegészségügyi és környezetvédelmi szempontok egyaránt szerepet játszanak.

A rejtett szivárgások okozta gazdasági kár alapja elsősorban az elvesztett ivóvíz kitermelésének, tisztításának, hálózatba juttatásának (szivattyúzás, tárolási kapacitás, hálózati kapacitás) költsége. Nem elhanyagolhatóak a járulékos károk sem, melyeknél a szivárgás eredete gyakran rejtve marad. Ilyenek az útburkolat-süllyedések, -beszakadások, pincevizek, épületkárok, csőtörések. Műszaki kárként jelentkezik a csövek, szerelvények tönkremenetele, a javítási vagy rekonstrukciós költségek, a hálózatüzemeltetési problémák (hid-



7. ábra • A hibaszám és vízvesztés százalékos megoszlása hibafajtanként (1998–2007 között, az AquAcust Kft. mérései alapján)

raulikai változások, üzemkiesés a javítás idejére stb.).

Ezek a gazdasági és műszaki károk értelem szerűen az üzemeltető vízmű iránti fogyasztói megítélés romlását okozzák, hiszen a feleslegesen megtermelt víz árát, a javítási és egyéb költségeket a fogyasztó fizeti meg (beleépítve a mindenkori vízdíjba). Ugyancsak érzékenyen érintik a fogyasztókat és a vízműtulajdonosokat a javítások okozta kellemetlenségek: útlezárások, burkolatbontások és a vízellátás átmeneti zavarai (vízhiány, vízminőségi problémák).

Közegészségügyi gondokat is előidézhetnek a hálózat rejtett sérülései. Normál üzemállapotban a csövekben uralkodó nyomás meggátolja a kívülről történő szennyeződést, előfordulhatnak azonban olyan üzemeltetési körülmények vagy hibák, melyek helyi nyomáscsökkenést vagy vízhiányt okoznak. Ilyen esetekben fennáll a rejtett hibahelyeken keresztül az ivóvíznek a környező talajból való szennyeződése. Az esetleges fertőzések eredetének felderítése – éppen a hibaforrás rejtett volta miatt – bonyolult feladat.

A szivárgások környezetvédelmi károkozásai a korábban említettek miatt kiemelt figyelmet érdemel:

- az egészséges vízkészletek felesleges terhelése;
- a talajvízszint megemelkedése;
- értékes természeti képződményekben történő károkozások (például a budapesti József-hegyi barlangrendszer fölött be-

épített utcákból gyakran beszivárgó, beömlő hálózati vizek a barlang természeti kincseit rombolják, állagát veszélyeztetik);

- az épített környezetben okozott olyan visszafordíthatatlan változások, melyek a gazdasági kár mellett eszmei értékek tönkremenetelét is jelentik (példaként a budai várrendszer alatti többszintes természetes és épített pincerendszer említendő, melynek egyes részei mára már beomlottak és eltömődtek);
- a gyakran sérült csatornahálózatokba történő vízbetöréssel a szennyvíztisztítóok leterheltségének növelése.

A hálózati veszteségek elfogadható szintre csökkentése és szinten tartása tehát a környezettudatos vízellátás elengedhetetlen feladata, a növekvő ütemű, megalapozott rekonstrukció hiánya tovább rontja a vízhálózatok állapotát, és emeli a fogyasztói vízdíjakat.

Századunk talán legértékesebb kincse, a tiszta ivóvíz, amely az ivóvízhálózatok zárt rendszeréből kizárólag az e célra szolgáló kifolyóhelyeken léphet ki, de csak folyamatos diagnosztikai vizsgálatokkal akadályozható meg az ellenőrizhetetlen szivárgások.

„Mindig megengedheted magadnak!” – így szól a Magyar Víziközmű Szövetség mottója –, de meddig...? Találó az ősi kínai mondás: *a kiömlő vizet nehéz összeszedni.*

Kulcsszavak: *víz, vízellátó hálózat és diagnosztikája, hálózati veszteség, rejtett szivárgás*

## IRODALOM

- Becker Károly – Somos Andrásné (1990): *A vízelosztó rendszerek hálózati veszteségének csökkentése*. KGI Informatikai Intézet, Budapest
- Berge, H. – Laske, C. (1982): *Korrelationsverfahren zur Wasserverlustminderung*. GWF, H. 6

- Echeverri, A. A. E. (1983): Water Loss through Leakage. *World Water*. 11,
- Hammerer, M. (1983): Wasserverlustbekämpfung. *GWV*. 12,
- Heim, Paul M. (1979): Conducting a Leak Detection Search. *Journal of the American Water Works Association*. 2, 66–69.



- Iann, H. (1971): Wasserverlust-bekämpfung durch Lecksuche. Wasser. *Luft und Betrieb*. 2,
- Ironmonger, Roger C. (1985): Advances in the Leak Noise Correlation Method. *Water Services*. 1074,
- Liemberger, Roland (2009): Performance Based Service Contracts for Reducing Non-Revenue Water. IWA Konferenz Water Loss, Súdáfrika
- Rendement... (1990): Rendement des réseaux d'eau potable. *Techniques sciences méthodes*. 4,
- Somos Éva (1999): Műszeres vizsgálatok a vízellátó rendszerek hálózati veszteségének csökkentése érdekében. *Vízmű Panoráma*. 7, 2, 9–11.
- Somos Éva (2009): *Szőkésben az ivóvíz*. 3. Ivóvíz-ágazati Konferencia, Tiszafüred
- Somos Éva – Tolnay Béla (2009): *A csőtöréshez vezető út, különös tekintettel a rejtett szivárgásokra. Problémafelvetés*. kézirat



# AZ EMBER VÍZHÁZTARTÁSA

Radó János

az MTA doktora,  
Virányos Klinika  
janosrado@t-online.hu

## *Az emberi szervezet vízforgalma*

Az emberi test nagyjából (50–70%-ban) vízből áll. Az egyes szervek víztartalma azonban nem azonos. A zsírszövetben kevesebb, az izomszövetben több víz van. Ezért a nők szervezetének víztartalma alacsonyabb (50%), mint a férfiaké (60%). A kövér egyéneknél is viszonylag kevesebb a víz. Az agyokban is, de bennük az izomszövet sorvadása miatt. A csecsemők szervezetének 70%-a víz.

A megivott napi minimális vízmennyiség átlagosan 650 ml, a táplálékban lévő (preformált) víz 750 ml, az anyagcsere-folyamatokban felszabaduló (oxidatív) víz 350 ml, összesen 1750 ml a *napi (minimális) vízszükséglet* (Weitzman – Kleeman 1979).

A víz a *tápcsatornán* át kerül a szervezetbe. Felszívódva a keringésbe, majd a hajszálereken át a szövetközi nedvbe és onnan a sejtekbe jut. Gyógyászati beavatkozás (intravénás infúzió, szubkután intramuszkuláris és intraszcélis injekció, beöntés és hólyagkatéter, művesekezelés stb.) útján is juthat folyadék a szervezetbe.

A víz elsősorban a *vizelettel* távozik a szervezetből (700 ml). De van vízvesztés a széklet útján (150 ml), a kilégtetett levegővel (400 ml) és a bőrön keresztül is (500 ml). A *napi (minimális) vízvesztés* 1750 ml (Weitzman – Kleeman, 1979).

A *vízforgalom* pontosan szabályozott. A szervezet a vízbevitel és -kiadást tekintve egyensúlyt tart: finom mechanizmusok útján érzékeli a vízhiányt, illetve a víztöbbletet, és életbe lépteti a különböző korrigáló működéseket, amelyekkel helyreállítja az egyensúlyi (alap)állapotot.

A *vízvesztés* leggyakoribb oka a vizeletmennyiség felszaporodása különféle okok miatt. Így az agyfűggelékben a hátsólebeny vízvisszatartó (antidiuretikus) hormon (vazopresszin) elégtelen termelése vagy hatása következtében, vesebetegség révén, ún. ozmotikus diurezisben (cukorbetegségben a magas vércukor, vesebetegségben a vér megemelt húgyszintje útján, illetve bizonyos mérgezésekben), gyógyszereszedés (vízhajtók) miatt stb.

Kóros állapotokban vízvesztésbe kerülhet a szervezet: a *légutak* útján (szapora, nagy volumenű lélegzés), a *bőrön keresztül* (verejtékezés, izzadás, például melegen végzett izommunka következtében), a *bélcsatorna* rendellenes működése által (nagy mennyiségű hasmenés), gyomor-bél fistula révén, mellkasi vagy hasi folyadék lecsapolása után, húgyúti elzáródás megoldását követően.

A vízvesztéshez vezető legegyszerűbb okok az elégtelen vízfelvétel, vízhiány vagy a víz szervezetbe való bejutásának képtelensége (tápcsatorna elzáródása vagy más betegsége,