

## A CSAPADÉKVÍZ – MINŐSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS AZOK HATÁSAINAK ELEMZÉSE

PROF. EMERITA DULOVICS DEZSŐNÉ DR., DR. CSAPÁK ALEX PHD.

**Kulcsszavak:** csapadékvíz minősége, befolyásoló tényezői, hazai és nemzetközi mérési eredmények, összehasonlító értékelés

A települési csapadékvíz-gazdálkodásban a felhasználás lehetősége és módja nagy részben függ a csapadékvíz mennyiségétől és minőségétől. Jelen tanulmányban elsősorban a hazai csapadékvíz minőségi vizsgálatok eredményeit ismertetjük, illetve azokat vetjük össze néhány nemzetközi eredménnyel.

### A csapadékvíz minőségét befolyásoló tényezők

A csapadékvíz minősége számos tényezőtől függ. Jellemzőit nagymértékben befolyásolja, hogy a természetes és/vagy a mesterséges hidrológiai körfolyamat melyik szakaszában vizsgáljuk azokat:

- a légtérben,
- a tetőfelületeken,
- a vízgyűjtő-területi lefolyásban,
- a közlekedési pályákon,
- települések belterületen,
- a decentralizált és/vagy a centralizált tárolókban.

A csapadékvíz minőségét alapvetően befolyásolja a vizsgálat helyszínéül választott terület

háttérszennyezettsége. Értelmszerűen más eredményekre számíthatunk egy nagyvárosban, mint vidéki környezetben.

A fentieken túlmenően érdemes megvizsgálni a hőmérsékleti tényezők, a légtérben létrejövő áramlások, a tartózkodási idő, stb. hatását is. Fontos azt is megjegyezni, hogy a szélsőséges események – mint pl. a villámárvizek – jelentősen befolyásolják a lefolyó csapadékvíz minőségét.

### A csapadékvíz minősége a légtérben

A nagyvárosok, iparvidékek területén lehulló csapadék már a földet érés előtt számottevő szennyeződést tartalmazhat. Ezt különböző anyagok (pl. a légkörből beoldódó kén- és nitrogén-vegyületek, porszennyeződés) és energiák (hő-, fény-, radioaktív-sugárzás) légtérbe kerülése okozhatja. Az ipar, a közlekedés és a lakossági fűtésteknika által kibocsátott szennyeződések erősíthetik a csapadékvizeket természetes körülmények között is gyakorta jellemző enyhén savas jellegét (Csapák, 2009). A szennyezőanyagok a légtérben jelentkező áramlási folyamatok eredményeképp

pen nemcsak lokálisan (emisszió folytán), de nagy távolságokról szállítva (transzmisszió következtében) is okozhatják a csapadékminőség szennyezettségének változását (imisszióját). Az előzőkből következik, hogy a légköri szennyezettség időben és térben változó folyamat, és átlagos paraméter értékekkel nehezen jellemezhető, ezért a légtéri csapadékok is ehhez hasonló változásokat mutatnak (Batizné, Ferdinánd J. in Dulovicsné et Telekes, 2007).

### A csapadékvíz minősége a tetőfelületeken

A csapadékvíz települési gyűjtése és felhasználása szempontjából az egyik legfontosabb vízkészlet a tetőről gyűjtött esővíz és hólé. A tetőről lefolyó csapadékvíz ugyanis kevésbé szennyezett, mint az utakról lemosódó víz, mivel a légtérbeli szennyeződésen túlmenően csak a tetőfelületekről származó anyagok terhelik. A tetővíz az erősen szennyező gépjármű közlekedéssel elvileg nem kerülhet kapcsolatba, bár megvannak ennek is a maga transzmissziós korlátai.

A tetőkre lerakódó szennyeződés sokféle lehet. Összetevődhet a levegőben szálló porból kiülepedő nehézfémekből, növényvédő-szerekből, növényi eredetű szennyeződések (mindenekelőtt falevelekből), madarak és bogarak tetemeiből, madárürülékből, stb. Ezek egy része a szerves anyagok bomlása következtében

mikrobiális hatásokat is eredményezhet. Szennyeződést okozhat a tetőhéjazat anyaga is. Ezzel kapcsolatban az **1. táblázat** szerinti várható hatásokkal lehet számolni: MSZ EN 16941-1: A keletkezés helyén hasznosító, nem ivóvízellátó rendszerek 1. rész. Csapadékvíz hasznosító rendszerek c. európai-magyar szabványban (CEN 2016). (Dulovicsné, 2016)

A bitumenes anyaggal fedett tetőkről lefolyó vizek minőségét Horváth (2011) elemezte Budapesten. A vizsgálat alapján megállapítható volt, hogy a bitumenes tetőfelületről lefolyó vizek pH-ja kisebb, mint a légköri csapadéké. A kutatás az első szennyezés-hullám („first flush”) esetén követte nyomon a vezetőképességet, az átlátszóságot, a lebegő- valamint a szerves anyagok mennyiségének alakulását, és megállapította, hogy ezek nagysága a csapadékot megelőző száraz periódus hosszától függ. A minták nagy szerves anyag-tartalomra utaltak és a héjazati anyagból származó, jelentős mennyiségű kioldódó PAH összetevőt lehetett kimutatni.

Figyelemreméltó vizsgálatot végeztek magyar kutatók (Horváth et Buzás, 2013) a fémtetőről lefolyó vizek cink és réz koncentrációkra vonatkozóan is. Megállapították, hogy a tetővíz cink és réztartalma függ a tetőre hulló csapadék fémtartalmán túlmenően a tető korróziójától,

| Tető héjazata                   | Várható hatás                      |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Zöld tető                       | Elszíneződés                       |
| Bitumenes vagy, kátrányos fedés | Elszíneződés, szénhidrogén lemosás |
| Azbesztcement                   | Szállkiválás                       |
| Réz- vagy cinkfedés             | Nehézfém koncentráció              |
| Érdes felületek (pl. Bramac)    | Szilárd anyagok                    |

**1. táblázat** Tetőhéjazat szennyező hatása a tetőn összegyűlő csapadékvízre

és befolyásolja azt a tető hajlásszöge továbbá a csapadék intenzitása is. A cink lefolyását 1,1–8,4 mg/m<sup>2</sup> értékben mérték a first flushban, és átlagosan 3,8 mg/m<sup>2</sup> értékben határozták meg. Az éves cinklefolysást 0,7 g/m<sup>2</sup>\*év-re becsülték és a réz lefolyását 0,009 mg/mm<sup>2</sup>.d nagyságrendben határozták meg.

### A csapadékvíz minősége a vízgyűjtő-területi lefolyásban

A vízgyűjtő-területi lefolyás során a terület tulajdonságai, valamint az ott folyó tevékenységek nagyban befolyásolják az összegyűlekező csapadékvíz minőségét. Ebből a szempontból meghatározó lehet a kül- illetve belterületi lefolyás, a természetes- illetve a mesterséges- (urbanizált területi) hidrológiai körfolyamat.

**A külterületi lefolyás** során a víz elsősorban a közlekedési eszközök szennyezőanyag kibocsátása miatt és/vagy a mezőgazdasági művelés során szennyeződik. E két szennyező forrás az összegyűlekező vizek eltérő használatát teszi szükségessé. Ezért érdemes különbséget tenni a természetes vízgyűjtőkről lefolyó vizek között a szerint, hogy közlekedési funkciójú, vagy mezőgazdasági felhasználású területről származnak. (Gayer et Ligetvári, 2007, Buzás et Budai, 2008, Buzás, 2009, Budai et Clement, 2011).

**A mezőgazdasági művelés alatt álló területeken** a talaj jellegétől és a domborzati viszonyoktól függően eltérő nagyságrendet képviselhet az erózió okozta lebegtetett és görgetett hordalék mennyisége és aránya. Továbbá az erózióhoz köthető más szennyezők lefolyása is, mivel ezek gyakran a lemosott részecskékhez tapadva jutnak a vízbe. A művelés alatt álló területeken az agrotechnika sajátosságai, a tápanyag utánpótlás jellege befolyásolja a

szerves-, a nitrogén-, a foszfor-, a kálium- és a bakteriális eredetű szennyezés jellemzőit, míg a kemizáción alapuló növényvédelem a toxikusnak tekinthető peszticid és herbicid összetevőket. Fontos megemlíteni az állattartó telepekről lemosódó szerves és bakteriális szennyezést is (Katona, 1989). Mindezek egyértelműen arra utalnak, hogy az adott terület jellemzői és a használat módok alapvetően befolyásolják a lefolyó csapadékvíz szennyezettségének konkrét mutatóit.

### A csapadékvíz minősége a közlekedési pályákon

A közúthálózatról származó szennyeződés igen összetett. Ez egyrészt a forgalom következtében keletkező, másrészt a forgalombiztonság megteremtésének következményeiből származó hulladékból áll. A közlekedés során keletkező főbb szennyezőanyagok: a gépkocsi abroncsok morzsaléka, a járművekhez használatos folyadékok cseppvesztése, az üzemanyag elégetésének termékei, a fékbetétek és a fém-alkatrészek morzsaléka, és az egyéb hulladékok, amelyek főként a közlekedő emberek helytelen magatartása miatt jutnak a közutakra. Az útburkolatra kiszóródó forgalmi eredetű nehézfém részecskék térbeli eloszlását több tényező is befolyásolja: függ a kibocsátó források (járművek) jellegétől, a szennyeződéseket az út felületéről eltávolító mechanizmusoktól (a járművek menetszelétől, a természetes légmozgástól) illetve más helyi adottságoktól (például a szemcsék csapdázottságának lehetőségét befolyásoló burkolati egyenlőtlenségektől – gödröktől, mélyedésektől). A fékbetétek kopásából származó fémek jellemzően: a Cu, Sb, Pb. A gumiköpeny gördülési kopásából származó fémek pedig: a Zn, Cd (Budai et Clement, 2011). Az autópályák burkolatáról lefolyó csapadékvíz a forgalom nagyságától és összetételétől

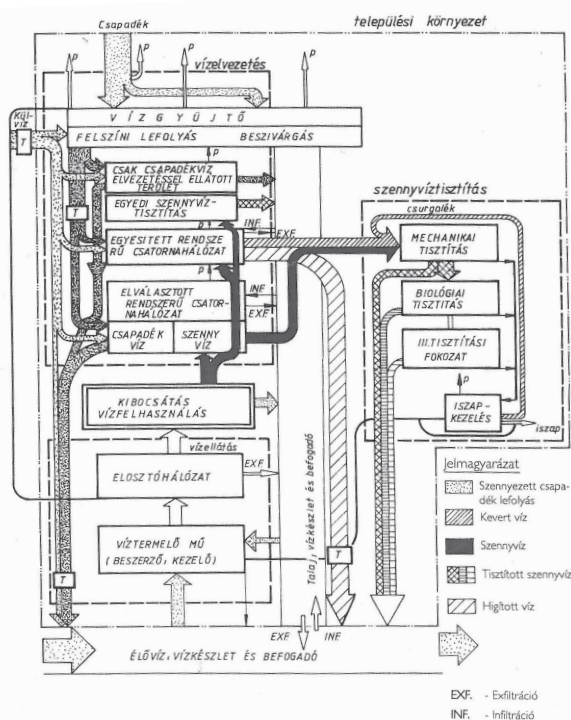
függően jelentősen szennyeződhet. Tipikus szennyezők a TPH-k és a PAH-ok, valamint a nehézfémek egy csoportja, melyek a finom, kvázi-kolloidális méretű szilárd szemcsékhez kötődnek (Buzás et Budai 2008, Buzás, 2009),

### A csapadékvíz minősége települések belterületén

A települések beépített területéről (a lakóterületekről, ipari övezetekről) és a belterületi utakról lefolyó csapadékvizek szennyezettsége régóta ismert. A települési hidrológiai körfolyamat számos elemből áll – ennek főbb egységeit az **1. ábra** szemlélteti. A meglehetősen összetett rendszer sok szennyező forrással jellemezhető (Dulovicsné, 1986. in: Markó et al. 1986, Dulovicsné, 2008, 2011).

A települések belterületén a lefolyó csapadékvíz minőségére közösen hatnak azok a tényezők, amelyekről – részben – már szóltunk a közlekedési területek és a tetőfelületek kapcsán is. Befolyásoló tényező a levegő szennyezettsége, a gépjárművekből származó emissziók, a növényi szennyezők, az állati ürülék, a szilárd anyagok törmeléke, a különböző eldobált hulladékok, a közlekedési területek síkosság mentesítését szolgáló csúszásgátló anyagok stb.. Jellegzetes települési szennyeződési folyamat az egyesített csatornarendszerek, illetve az elválasztott szennyvíz-csatornahálózatok idegenvíz túlfolyása, továbbá a nem csatornázott területeken egyedi szennyvíztárolók, vagy kisberendezések túlterhelésekor a szabadba kerülő fekáliával szennyezett víz. A burkolt települési területekről lefolyó vizek nehézfém, szénhidrogén származék, nitrogén- és foszforvegyület, illetve lebegtetett hordalék tartalma jelentős lehet, ami korlátozza ezek újrahasznosítását. Csak ott lehet ezeket öntözésre felhasználni, ahol csekély szennyezőanyag terhelés éri a lefolyó csapadékvizet, pl. zárt parkok sétányait, sportpályáknál. A parkolókról lefolyó csapadékvíz olaj és hordalékfogás után használható –elsősorban gépjárművek mosására. Grazban pl. a villamosok mosására használják fel ezeket a vizeket. A belterületen összegyűlekező csapadékvizeket tűzi-víz tárolásra is igénybe vehetik.

A belterületi lefolyásnál is meg kell említeni az első szennyezés-hullám (first flush) jelenségét, melyet célszerű hasznosításkor leválasztani. Ez a jelenség a száraz időben felhalmozódó szennyeződés első csapadékhullám által kialakuló, kezdeti, felületi lemosását jelenti; és Gayer et Ligetvári (2007) szerint a szennyezőanyagok jelentős hányadát ragadja magával (a csapadék első 40 %-a szállítja el a szennyezőanyagok 60 %-át).



**1. ábra** A lefolyás szennyezettsége a települési hidrológiai körfolyamatban (Dulovicsné, 1986)

## A háztetőkről összegyűjtött csapadékvíz minőségének változása a tárolás következtében – külföldi példák

A háztetőkről lefolyó csapadékvíz felhasználását a mennyisége mellett kétségtelenül elsősorban a minősége határozza meg. Külföldön számos vizsgálatot végeztek a gyűjtött csapadék minőségének meghatározása érdekében. A hazánkban megjelent publikációk elsősorban a német példákra hivatkoznak. A tetővíz felhasználásában élen járó országok között ugyanis Németország természet- és társadalom-földrajzi viszonyai hasonlítanak leginkább hazánkéra (Csapák, 2009). Jelentősek Ország (2007-2008) belgiumi eredményei, aki a TELESŐ rendszerében ivóvízellátásra is használta a gyűjtött csapadékot. A német kutatás (Pálfi 1996) és a belgiumi vizsgálatok (Ország 2007-2008) közzétett minőségi paraméterei a **2. táblázat**ban találhatók.

Német kutatók 1994-ben 37 különböző jellegű esővíztárolóból (ciszternából) származó víz minőségét vizsgálták, és a mérések jelentős része igen jó vízminőséget regisztrált (három ciszternában ivóvízellátásra is alkalmas lett volna a gyűjtött víz). Házi jellegű egyéb hasznosításra (kertöntözés, WC öblítés, mosás) gyakorlatilag az összes vizsgált létesítmény vize alkalmasnak mutatkozott, de határozottan jobb volt a vízminőség ott, ahol a csapadékvizet a gyűjtést követően valamilyen mértékig előtisztították és a gyűjtőrendszereket megfelelően karbantartották. A szóban forgó vizsgálat sorozat alkalmával minden vízmintában kimutatták a koliform baktériumokat, és néhányban fekálkoliformokat is detektáltak, jobbra 100/100 ml alatti mértékben. Hasonló eredményeket mutattak ausztrál és új-zélandi kutatások (Csapák, 2009). Más források (Evans et al. 2007) arról számolnak be, hogy a nem megfelelően karbantartott tárolókban (pl. Thaiföldön és az Óceániai

| Vízminőségi paraméterek         |               | Belga eredmények | Német eredmények |
|---------------------------------|---------------|------------------|------------------|
| pH                              | (-)           | 6,3-8            | 6.2-10.5         |
| Vezetőképeség                   | ( $\mu$ S/cm) | 36-190           | 39-239           |
| Klorid ion (Cl)                 | (mg/l)        | 1-16,7           | -                |
| Nitrát ion (NO <sub>3</sub> )   | (mg/l)        | 0.2-4,7          | 0,3-0,8          |
| Nitrit ion (NO <sub>2</sub> )   | (mg/l)        | -                | 0.-0,99          |
| Ammónium ion (NH <sub>4</sub> ) | (mg/l)        | 0,01-0,05        | 0,01-2,6         |
| Foszfát ion (PO <sub>4</sub> )  | (mg/l)        | -                | 0- 0,23          |
| Szulfát ion (SO <sub>4</sub> )  | (mg/l)        | 8 alatt          | -                |
| Ca ion                          | (mg/l)        | 4,3-15,3         | -                |
| Mg ion                          | (mg/l)        | 0,14-0.52        | -                |

**2. táblázat** Tárolt csapadékvíz minőségi paramétereinek szélsőértékei (Forrás: Csapák, 2009)

szigetvilágban) a *Camphilobacter* baktériumok mellett, egyes esetekben *Salmonella*, *Shigella*, *Clostridium*, *Crisptosporidium* és *Giardia* kórokozó szervezetekkel is találkoztak. Jelenlétük felhívja a figyelmet arra, hogy az egészségügyi kockázat akkor tekinthető minimálisnak, ha a gyűjtött vizet a zöldterület öntözésére, a WC-k öblítésre és mosásra használják fel, illetve arra is, hogy a tárolók karbantartása, időszakonkénti fertőtlenítése, illetve az esővíz utótisztítása mennyire fontos a fertőzések elkerülése érdekében.

A csapadékvíz tárolás funkcionális elemeit – a MSZ EN 16941-1 szerinti – a **2. ábra** szemlélteti.

- **GYŰJTÉS** (lokális, decentralizált, a vízgyűjtő tetőfelületen és a csővezeték rendszerben),
- **TISZTÍTÁS** (előtisztítás, esetleges további tisztítás),- esetleges hasznosulás
- **TÁROLÁS,**
- **ELOSZTÁS,** és
- **HASZNÁLAT** (hasznosulás és/vagy hasznosítás)

**2. ábra** A decentralizált csapadékvízgyűjtő rendszerek funkcionális elemei ( CEN, 2016., Dulovicsné, 2016)

A hazai hozzáférhető eredmények közül a Nagykövácsiban (Csapák et Fehér, 2008), és Németkéren (Hádinger, 2012) végzett kutatások eredményeiről szólunk részletesebben. Mind a két tanulmány kistelepülési, kertvárosias környezetben vizsgálja a tetővizek hasznosítását. Tapasztalatok szerint ilyen környezetben a leginkább célszerű a csapadékvíz gyűjtést és felhasználást lakossági szinten megvalósítani.

**A Nagykövácsiban végzett kutatás (Csapák et Fehér, 2008) tető- és tárolt-víz minőségi vizsgálati eredményeinek összefoglaló ismertetése (Csapák, 2009)**

Nagykövácsi Pest megyei község, a budapesti (budai) agglomeráció része. A terület kiválasztását egy korábbi lakossági kérdőíves felmérés indokolta. Ennek eredménye ugyanis igazolta, hogy a karsztvidéken meglehetősen sok háztartás létesített az 1980-as években csapadékvízgyűjtő ciszternát (Csapák, 2006). A vizsgálatot pala (azbesztcement) héjazatú tetőn lefolyó vízre végezték. Többlépcsős mintavétel során két csapadékeseményt mintáztak meg. Az így nyert vízmintákon az ELTE-TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének Geomorfológiai-, Talajtani- és Vízföldrajzi Laboratóriumában végezték a kémiai vizsgálatokat, ahol a nehézfémek és mikrobiológiai jellemzők meghatározására nem volt lehetőség.

A mintavételekre két csapadékesemény alkalmával került sor, 2007. június 14-én délután, illetve 2007. augusztus 30-án délelőtt. A mintavételek a csapadékból, a tetővízből és a tárolóból történtek meg. Az első mérés alkalmával egy zápor kezdeti „first flush” periódusát sikerült megmintázni, a második mintavétel során már egy 4-5 órája intenzíven zajló esőzés minőségi adatait mérték. A méréssorozatok során a betonból készült, cementvakolattal ellátott felszín alatti víztárolóból 66 napon keresztül rendszeres időközönként vettek mintát. A méréssorozatok eredményeire befolyást gyakorolt a vizsgált két 66 napos periódus eltérő időjárása. Az első ciklus során a havi középhőmérsékletek 21-23 °C körül, a második mérési periódus idején 10-14 °C közötti tartományban mozogtak.

A **3. táblázat**ban a két csapadékesemény során mért vízminőségi jellemzők átlagolt értékei szerepelnek.

| Vízminőségi paraméterek            |                                                  | Csapadék | Tetővíz | Tároló |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|---------|--------|
| pH                                 | (-)                                              | 6,3      | 8,0     | 8,6    |
| Vezetőképeség                      | ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )                      | 37,55    | 101,8   | 152,1  |
| Lúgosság                           | ( $\text{mg}\text{e}\acute{\text{e}}/\text{l}$ ) | 0,129    | 0,537   | 1,039  |
| $\text{HCO}_3^-$                   | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 7,92     | 32,78   | 63,39  |
| Összes keménység                   | ( $\text{mg}\text{e}\acute{\text{e}}/\text{l}$ ) | 0,6      | 1,25    | 1,76   |
| Ca ion                             | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 2,04     | 18,05   | 29,14  |
| Mg ion                             | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 3,13     | 4,33    | 3,77   |
| Állandó keménység                  | ( $\text{mg}\text{e}\acute{\text{e}}/\text{l}$ ) | 0,47     | 0,72    | 0,72   |
| Klorid ion ( $\text{Cl}^-$ )       | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 0        | 0       | 10,83  |
| Nitrát ion ( $\text{NO}_3^-$ )     | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 2,12     | 6,7     | 3,96   |
| Nitrit ion ( $\text{NO}_2^-$ )     | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 0        | 0,14    | 0      |
| Ammónium ion ( $\text{NH}_4^+$ )   | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 1,41     | 1,20    | 0,60   |
| Foszfát ion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 0,12     | 0,04    | 0,09   |
| Szulfát ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 5,04     | 7,28    | 2,79   |
| $\text{KOI}_{\text{ps}}$           | ( $\text{mg}/\text{l}$ )                         | 7,76     | 8,76    | 8,16   |

**3. táblázat** A vizsgált csapadékesemény során mért vízminőségi jellemzők átlagértékei  
(Forrás Csapák Alex, 2009)

Szembevetendő volt a tetőről lefolyó és a csapadékvíz közötti vízminőségi különbség. Ezt a palatetőre rakódott szennyeződés okozta. Érdemes felhívni a figyelmet a fajlagos vezetőképesség és a nitrát-tartalom megháromszorozódására, illetve a  $\text{KOI}$  enyhe növekedésére. A csapadékok során vett minták mind a csapadékvízre, mind a tetővízre, mind pedig a tárolt vízre vonatkozóan kedvező értékkel voltak jellemezhetők, a nitrit ion szennyezettség a kimutathatósági határt sem érte el. Csupán az ammóniumion és  $\text{KOI}_{\text{ps}}$  jellemzők lépték

túl a vízminőségi határértékeket, de azok sem jelentős mértékben. A talajvíz nitrát jellemzőihez képest a nitrát tartalom is kedvezőnek volt mondható.

A méréssorozat kétségkívül legérdekesebb része a tárolóban gyűjtött esővíz kémiai vízminőség-változásának a több mint két hónap kereszti nyomon követése volt. Ennek eredményeit a tetővízzel összehasonlítva a **4. táblázat** a nyári időszakra, és **5. táblázat** az őszi időszakra vonatkozóan mutatja be.

| Vízminőségi paraméterek        |                             | Tetővíz |       | Tárolt víz |
|--------------------------------|-----------------------------|---------|-------|------------|
| Tárolási időszak               | (nap)                       | 0       | 10    | 66         |
| pH                             | (- )                        | 8,6     | 7,3   | 6,8        |
| Vezetőképeség                  | ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 127,6   | 152,7 | 148        |
| Lúgosság                       | (mgeé/l)                    | 0,64    | 0,90  | 0,70       |
| $\text{HCO}_3$                 | (mg/l)                      | 39,13   | 55,36 | 42,7       |
| Összes keménység               | (mgeé/l)                    | 1,36    | 1,36  | 1,2        |
| Ca ion                         | (mg/l)                      | 23,64   | 24,84 | 24,04      |
| Mg ion                         | (mg/l)                      | 2,18    | 1,45  | 0          |
| Állandó keménység              | (mgeé/l)                    | 0,71    | 0,45  | 0,5        |
| Klorid ion (Cl)                | (mg/l)                      | 0       | 0     | 0          |
| Nitrát ion ( $\text{NO}_3$ )   | (mg/l)                      | 12,43   | 10,87 | 24,21      |
| Nitrit ion ( $\text{NO}_2$ )   | (mg/l)                      | 0,18    | 0,28  | 0,02       |
| Ammónium ion ( $\text{NH}_4$ ) | (mg/l)                      | 2,08    | 1,02  | 0,24       |
| Foszfát ion ( $\text{PO}_4$ )  | (mg/l)                      | 0,09    | 0     | 0          |
| Szulfát ion ( $\text{SO}_4$ )  | (mg/l)                      | 14,57   | 16,75 | 10,39      |
| $\text{KOI}_{\text{ps}}$       | (mg/l)                      | 2,32    | 12    | 7,2        |

**4. táblázat** Vízminőségi paraméterek változása nyári vizsgálat során (Forrás :Csapák, 2009)

A tárolóban jelentős vízminőség-romlás nem következett be a tartózkodási idő hatására, csak az egyébként várható reakciók voltak detektálhatók, pl. a nitrogén körfolyamatban. A szerves anyagok alakulása viszont eltérő volt a nyári illetve őszi időszakban.

| Vízminőségi paraméterek            |                             | Tetővíz |       | Tárolt víz |
|------------------------------------|-----------------------------|---------|-------|------------|
| Tárolási időszak                   | (nap)                       | 0       | 10    | 66         |
| pH                                 | (-)                         | 7,4     | 7,7   | 6,9        |
| Vezetőképeség                      | ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 76      | 74,9  | 93,7       |
| Lúgosság                           | (mgeé/l)                    | 0,43    | 0,6   | 0,89       |
| $\text{HCO}_3^-$                   | (mg/l)                      | 26,43   | 36,6  | 54,48      |
| Összes keménység                   | (mgeé/l)                    | 1,15    | 0,84  | 0,94       |
| Ca ion                             | (mg/l)                      | 12,46   | 15,14 | 18,07      |
| Mg ion                             | (mg/l)                      | 6,48    | 1,06  | 0,47       |
| Állandó keménység                  | (mgeé/l)                    | 0,72    | 0,24  | 0,04       |
| Klorid ion (Cl)                    | (mg/l)                      | 0       | 0     | 0          |
| Nitrát ion ( $\text{NO}_3^-$ )     | (mg/l)                      | 0,97    | 2,04  | 2,46       |
| Nitrit ion ( $\text{NO}_2^-$ )     | (mg/l)                      | 0,1     | 0,13  | 0          |
| Ammónium ion ( $\text{NH}_4^+$ )   | (mg/l)                      | 0,31    | 0,4   | 0          |
| Foszfát ion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) | (mg/l)                      | 0       | 0     | 0          |
| Szulfát ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) | (mg/l)                      | 0       | 3,93  | 0          |
| $\text{KOI}_{\text{ps}}$           | (mg/l)                      | 15,2    | 10,4  | 0,56       |

**5. táblázat** Vízminőségi paraméterek változása az őszi vizsgálat során (Forrás: Csapák, 2009)

A KOI vonatkozásában a méréssorozatok kezdetén jelentős volt a különbség a két kiinduló mintában. Az augusztusi tetővíz hatszor akkora KOI értékkel volt jellemezhető, mint a júniusi. A tárolás tizedik napján vett júniusi mintából a KOI határozott növekedése, míg az augusztusi mintában annak csökkenése következett be. Fontos megjegyezni azonban, hogy a tizedik napi mintavételt követő időben a KOI folyamatos csökkenése volt regisztrálható mindkét mérési periódus során. Egyéb vízminőségi mutatók esetében is a hosszúidejű tárolás során javulás volt megfigyelhető, ami arra utalt, hogy egy megfelelően karbantartott tárolóban a csapadékvíz minőségi romlás nélkül hosszabb ideig is eltartható.

#### **A Németkéren végzett kutatás (Hádinger, 2012.) tárolt-víz minőségi vizsgálati eredményeinek összefoglaló ismertetése**

Németkér Tolna megye északi részén, Paks-tól 15 km-re fekvő mintegy 2000 lélekszámú kistelepülés. A vizsgált helyszínen csapadékvíztároló nem volt, így a mintákat műanyag hordókban gyűjtötték. A víz betoncserép és hullámpala tetőhéjazatú épületekről folyt le az ereszcsonatorkon keresztül. A gyűjtés március 1-én kezdődött, és augusztus végéig tartott. Minden mintavételt megelőzően egy hónapig, összesen öt minta vételével történt a gyűjtés, a mintavétel utáni kiürítéssel, biztosítva az egy hónapos átlagmintát. A hordókat textildéssel

látták el, a bogarak és tetőhéjazatából erodált anyagok visszatartása érdekében, a tetővíz gyűjtés előtisztítását biztosítva..

A következő **6. táblázat**ban a pH, vezetőképesség és CaO keménység mért mutatói láthatók.

| Vizsgált időszak | vezetőképesség ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) |      | pH (-)      |      | CaO keménység (mg/l) |      |
|------------------|--------------------------------------------|------|-------------|------|----------------------|------|
|                  | betoncserép                                | pala | betoncserép | pala | betoncserép          | pala |
| március          | 180                                        | 160  | 6,4         | 6,6  | 19                   | 16   |
| április          | 180                                        | 100  | 7,3         | 7,1  | 7                    | 3    |
| május            | 180                                        | 110  | 6,0         | 6,5  | 4                    | 4    |
| június           | 180                                        | 100  | 7,3         | 7,4  | 10                   | 6    |
| augusztus        | 180                                        | 100  | 5,4         | 5,7  | 3                    | 9    |
| átlag            | 180                                        | 114  | 6,48        | 6,66 | 9                    | 7,6  |

**6. táblázat** A vezetőképesség, pH, és CaO keménység mért mutatói (Forrás: Hádinger, 2012.)

A **7. táblázat**ban a N háztartás mutatóinak összefoglalása látható.

| Vizsgált időszak | $\text{NO}_2$ -N (mg/l) |       | $\text{NO}_3$ -N (mg/l) |       | $\text{NH}_4$ -N (mg/l) |       |
|------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
|                  | betoncserép             | pala  | betoncserép             | pala  | betoncserép             | pala  |
| március          | 0,095                   | 0,077 | 4,8                     | 3,3   | 1,204                   | 0,997 |
| április          | 0,067                   | 0,049 | 3,9                     | 4,5   | 1,324                   | 0,788 |
| május            | 0,026                   | 0,056 | 0,6                     | 1,83  | 1,035                   | 0,903 |
| június           | 0,025                   | 0,03  | 0,5                     | 1,3   | 1,43                    | 1,256 |
| augusztus        | 0,32                    | 0,133 | 0,9                     | 1,6   | 0,55                    | 1,031 |
| átlag            | 0,107                   | 0,069 | 2,14                    | 2,546 | 1,109                   | 1,003 |

**7. táblázat** A N háztartás mért mutatói (Forrás: Hádinger, 2012)

A **8. táblázat** a  $PO_4$ -P és a  $KOI_k$  mérési eredményeit mutatja.

| Vizsgált időszak | $PO_4$ -P   |      | $KOI_k$     |       |
|------------------|-------------|------|-------------|-------|
|                  | betoncserép | pala | betoncserép | pala  |
| március          | 80          | 70   | 51,3        | 42,3  |
| április          | 90          | 80   | 47          | 60    |
| május            | 30          | 20   | 73          | 45    |
| június           | 90          | 40   | 148         | 89    |
| augusztus        | 40          | 90   | 111         | 99    |
| átlag            | 66          | 60   | 86,46       | 87,06 |

**8. táblázat** a foszfát ( $PO_4$ -P) és a kémiai oxigénigény ( $KOI_k$ ) mérési eredményei (Forrás: Hádinger, 2012)

A táblázatok alapján megállapítható, hogy a gyűjtött minták mindegyike jó vízminőséget bizonyít, az augusztusi mintát leszámítva a palatetőről gyűjtött víz kisebb vezetőképességet mutatott, mint a betoncserép tetőről származó. Az augusztusi hónap rosszabb eredményei arra vezethetők vissza, hogy ebben a hónapban Németkéren egyáltalán nem esett csapadék, csak a mérést megelőző napokban, két nap alatt 8,3 mm.

A gyűjtött csapadék savas jellegű. A nitrit- és ammóniumion méréseiből megállapítható, hogy az augusztusi aszály utáni betoncserépről lefolyó friss esővízből vett minták utalnak a legrosszabb minőségre. A  $KOI$  szennyezettség nagy szerves anyag tartalmat igazol, és az összes mutató közül ez tekinthető a leggyengébbnek.

Bakterológiai vizsgálatokat a betoncserép tetőről vett mintákban végzett az Országos Epidemiológiai Központ, különféle táptalajokon. Véres agar táptalajon többségében a talajban is megtalálható *Bacillus* spp., *Staphylococcus* spp. baktériumok tenyészttek ki. Az esővíz mintában még *Pseudomonas fluorescens* baktériumokat detektáltak, de humán patogén baktériumokat (pl. *E.coli*, *Salmonella* spp., *Vibrio*

spp., *Legionella* spp.) nem tudtak kitenyészteni (Hádinger 2012)..

Ezek a vizsgálatok a tárolt víz felhasználhatóságát igazolták, ugyanakkor nyomatékossították az előtisztítás fontosságát is.

Érdekes – bár vitatható – elképzelés a tetővíz szennyezettségének mérséklésére az **1. képen** látható a „tölcséres” tetővíz-gyűjtés, aminek segítségével a tetőfelületről összegyűlő és lemosott szennyeződések visszatartását „álmodta” meg az építész ([www.eautarcie.org/hu/03a.html](http://www.eautarcie.org/hu/03a.html)).



**1. kép** Tölcséres tetővízgyűjtő rendszer ([www.eautarcie.org/hu/03a.html](http://www.eautarcie.org/hu/03a.html))

### A tárolt víz minőségére vonatkozó összefoglaló megállapítások

A két, részletesen elemzett hazai vizsgálat eredményeit áttekintve fontos megjegyezni, hogy mindkét mérőssorozat a tárolt víznek vidéki környezetben, családi házas beépítés során, használati vízként történő felhasználhatóságát igazolta. A Nagykovácsiban végzett vizsgálatok a szerves anyagra vonatkozóan jobb minőségről adtak számot, de meg kell jegyezni, hogy ez a tárolás eltérő módjából, és a tárolótér ottani karbantartásának nagyobb gondosságából is származhatott. A vezetőképesség kivételével a betoncserép-fedésű tetőről lefolyó víz valamivel kedvezőbb tulajdonságú a felhasználás szempontjából.

A vizsgálatok kiterjedése eltérő volt, ezért nem minden paraméter tekintetében van lehetőség részletes, összehasonlító elemzésre.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az integrált települési vízgazdálkodás egyik lényeges eleme a települési csapadékvíz-gazdálkodás, melynek fontosságát a klímaváltozás következtében egyre jelentősebbnek tekinthetjük. Igazolja ezt az ivóvízkészletekben jelentkező csökkenés és az csapadékokban tapasztalható hektikus egyenlőtlenség. Mindkettőből fakadó gondokat enyhítheti az ésszerűen alkalmazott csapadékvíz használat.

A használatot korlátozhatják a mennyiségi és minőségi paraméterek által határolt adottságok. Jelen tanulmányban a felhasználhatóság szempontjából a csapadékvíz minőségének elemzése képezte a célt. A vizsgálat során számos befolyásoló tényező hatására tértünk ki, melyek közül a települési csapadékvíz-gazdálkodásban a tárolt vízre vonatkozó adottságo-

kat tekinthetjük a legfigyelemre méltóbbaknak. Ezért, arra fordítottuk a fő hangsúlyt és a hazai környezeti adottságokat figyelembevevő, kistéleplési méréseket tárgyaltuk a legbővebben, a Nagykovácsiban és Németkéren végzett hazai mérések eredményeinek összefoglalásával. Mindkét minőségvizsgálat alapján megállapítható, hogy a tárolt csapadékvíz használati vízként igénybe vehető a családi házas beépítésű, külvárosi területen, ahol a levegő szennyezettsége – elsősorban a mérsékelt gépjárműforgalomnak köszönhetően – kevésbé jelentős.

### FELHASZNÁLT IRODALOM:

- Batizné, Ferdinánd J. (2007): A környezeti hatásvizsgálatok módszertana, Légszennyezési hatások in: Dulovics, Dné., Telekes, G. (2007): A környezeti hatásvizsgálatok módszerei, SZIE, YMÉK, Jegyzet, Kézirat.
- Budai, P., Clement, A. (2011): Burkolt útfelületek nehézfém szennyezettsége, MaSzeSz HÍRCSA-TORNA március-április pp. 15-22.
- Buzás, K., Budai, P. (2008): Az autópályákról és nagy forgalmú közutakról lefolyó csapadékvíz TPH szennyezettsége, MaSzeSz HÍRCSATORNA március-április pp. 9-15.
- Buzás, K. (2009): A közúti közlekedés hatása a felszíni csapadékvíz-lefolyás szénhidrogén szennyezettségére, Doktori (PhD) értekezés, BME Építőmérnöki Kar, Budapest.
- Csapák, A. (2006): Nagykovácsi vízgazdálkodása – egy kérdőíves felmérés eredményei, in: Magyar Hidrológiai Társaság Országos Vándorgyűlése CD, MHT, Pécs.
- Csapák, A. (2009): Települési vízgazdálkodás, lakossági csapadékvíz-gyűjtés és felhasználás, Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK, Budapest.
- Csapák, A., Fehér, K. (2008): A vízminőségi mutatók változása a tárolt csapadékvízben Hidrológiai Közöny 3. szám, pp. 57-60.

- CEN (2016) : MSZ EN 16941-1- A keletkezés helyén hasznosító, nem ivóvízellátó rendszerek 1. rész. Csapadékvíz hasznosító rendszerek.
- Dulovics, Dné (1986): A csatornázás rendszerei és a rendszerek fő részei, in: Markó, I. szerk. (1986): Települések csatornázási és vízrendezési zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest., pp. 22.
- Dulovics, Dné.(2008): Változások a csatornarendszerek mértékadó üzemállapotaiban, MaSzeSZ HÍRCSATORNA, március-április, pp.3-8.
- Dulovics, Dné, (2011): A továbbfejlesztett MSZ EN 752 „Települések vízelvezető rendszerei” c. európai szabvány MaSzeSZ HÍRCSATORNA, július-augusztus, pp. 3-15.
- Dulovics, Dné. (2016): A csapadékvíz helyben történő hasznosításának európai magyar szabályozása, MaSzeSZ HÍRCSATORNA, 5-6-szám. pp. 32-45.
- Evans, C.A., Coombes, P.J., Dunstan, R.H., Harrison, T. ((2007): Identifying the major influences on the microbial composition of roof harvested rainwater and the implications for water quality, Water Science and Technology 55/4, pp. 245-253.
- Gayer, J (2004): Települési csapadékvíz-elhelyezés az integrált vízgazdálkodás tükrében Doktori (PhD) értekezés, Corvinus Egyetem, Budapest.
- Gayer, J., Ligetvári F. (2007): Települési vízgazdálkodás csapadékvíz-elhelyezés, KvVM, Budapest.
- Háding, J. (2012): Az esővíz hasznosításának lehetőségei és szerepe a vízgazdálkodásban (The opportunities of rainwater utilization and its role in water management) Óbudai Egyetem RKK: Környezetvédelmi Intézet, MaSzeSZ diplomadíjas BSc.szakdolgozat, Budapest. Konzulensek: Bodáné Dr. Kendrovics Rita és Dulovics Dezsőné dr.
- Horváth, A. (2011): Roof runoff quality and reduction possibility of the pollutants. Pollack Periodica –An International Journal for Engineering and Information Sciences, Pécs, Vol.6. No.1. pp.107-116.
- Horváth, A., Buzás, K.(2013): Zinc and copper in roof runoff, Water Science and Technology 67. pp. 1734-1739.
- Katona, E. (1989): A vízminőség-szabályozás kézikönyve, AQUA, Budapest.
- Ország, J. (2007-2008): Az esővíz minősége, a [www.ivotiz.hu](http://www.ivotiz.hu) és Vízőnellátó, a [www.eautarcie.org/hu/03a.html](http://www.eautarcie.org/hu/03a.html), internetes hozzászólásokban.
- Pálfi, Á. (1998): Az esővíz hasznosítás bakteriológiai és kémiai értékelése) Műszaki Információ, Környezetvédelem, 5-6. szám, pp.55-61.