

III. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia 2021

Tanulmányok

Szerkesztette
Bíró Tibor



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

III. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási
Konferencia 2021

Tanulmányok

III. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia 2021

Tanulmányok

Szerkesztette

Bíró Tibor



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Budapest, 2023

A kötet szakmai szerkesztője
Bíró Tibor

A szerkesztőbizottság tagjai
Cimer Zsolt
Keve Gábor
Mrekva László
Vadkerti Edit

Szerzők
Balatonyi László
Balogh Balázs
Bana Zsolt
Bene Viktória
Cimer Zsolt
Hábermayer Tamás
Hegyi Zoltán
Hetesi Zsolt
Kozák Péter
Márton Attila
Máthé Katalin
Mrekva László
Nagy Zoltán András
Rácz Tibor

Kiadja a Nemzeti Közzolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó
A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Székhely: 1083 Budapest, Ludovika tér 2.
Kapcsolat: kiadvanyok@uni-nke.hu

Felelős szerkesztő: Pordány Katalin
Olvasószerkesztő: Tomka Eszter
Korrektor: Szabó Ilse
Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla

ISBN 978-615-6598-70-7 (ePDF) | ISBN 978-615-6598-71-4 (ePub)

DOI: https://doi.org/10.36250/01137_00

© A szerkesztő, 2023
© A szerzők, 2023
© A kiadó, 2023

Minden jog védve.

Tartalom

<i>A tanulmánykötet szerzői</i>	7
<i>A szerkesztő előszava</i>	9
I. rész – Az integrált települési vízgazdálkodás témakörében elhangzott előadások publikációi	11
Balatonyi László – Hegyi Zoltán: A közút forgalma által okozott szennyeződések terjedésének vizsgálata a közúti csapadékvíz-elvezetésben	13
II. rész – A kutatás, innováció és legjobb gyakorlat témakörében elhangzott előadások publikációi	23
Bana Zolt – Balogh Balázs – Rácz Tibor: Neurálishálózat-alapú vízállás-előrejelző modellek a budapesti kisvízfolyásokon	25
Kozák Péter: Csapadékvíz-gazdálkodási kérdések az Alsó-Tisza vízgyűjtőjén	45
III. rész – A stratégia, gazdaságpolitika és oktatás témakörében elhangzott előadások publikációi	63
Máthé Katalin: A kulcsvonalmódszer alkalmazása vonal menti struktúrák létesítésére	65
IV. rész – A település- és lakosságvédelem témakörében elhangzott előadások publikációi	83
Hábermayer Tamás: Az éghajlatváltozás jövőbeli hatásai a települési csapadékvízre – tudatos tervezés a rendkívüli események elhárítása kapcsán	85
Márton Attila: A Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó hatásának elemzése Ecseg település villámárvizekkel szemben való védettségére	93
Bene Viktória – Cimer Zsolt: Csapadékvíz-gazdálkodás kontra veszélyhelyzet kialakulása a veszélyes ipari üzemekben	105
V. rész – Az infrastruktúra-gazdálkodás, -üzemeltetés témakörében elhangzott előadások publikációi	113
Nagy Zoltán András: Kibertámadások víziközművek ellen	115
Hetesi Zsolt – Mrekva László: Szélsőséges csapadék kezelése a mezőgazdasági gyakorlatban	127
VI. rész – Az előrejelzés, méretezés és tervezés témakörében elhangzott előadások publikációi	137
Rácz Tibor: Hellmann–Fuess-csapadékirók szisztematikus hibájának korrekciója a feldolgozott záporadatokban	139

Vákát

A tanulmánykötet szerzői

Balatonyi László: osztályvezető, Települési Vízgazdálkodási Osztály, Országos Vízügyi Főigazgatóság; adjunktus, NKE Víztudományi Kar Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék

Balogh Balázs: okleveles építőmérnök, FCSM

Bana Zsolt: okleveles térképész

Bene Viktória: PhD-hallgató, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola; Honvédelmi Minisztérium Hatósági Főosztály

Cimer Zsolt: egyetemi docens, oktatási dékánhelyettes, tanszékvezető, NKE Víztudományi Kar Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék

Hábermayer Tamás: tűzoltó ezredes, megyei igazgatóhelyettes, Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság

Hegyi Zoltán: környezetvédelmi albizottság-vezető, MAÚT; ügyvezető igazgató, VIKÖTI Kft; vezető tervező

Hetesi Zsolt: egyetemi docens, NKE Víztudományi Kar, Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék

Kozák Péter: okleveles építőmérnök, igazgató, Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság

Márton Attila: okleveles építőmérnök, csoportvezető, Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság Vízyűjtő-gazdálkodási Csoport

Máthé Katalin: tudományos munkatárs, NKE Víztudományi Kar Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék

Mrekva László: mesteroktató, NKE Víztudományi Kar, Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék

Nagy Zoltán András: egyetemi docens, NKE Rendészettudományi Kar Bűnügyi, Gazdaságvédelmi és Kiberbűnözés Elleni Tanszék

Rácz Tibor: okleveles építőmérnök, PhD-hallgató

Vákát

A szerkesztő előszava

A modern városok olyan dinamikus központok, ahol az emberiség az urbanizáció és technológia fejlődésének csúcán találja magát. Ezzel párhuzamosan azonban felmerül egy olyan kihívás, amely a városi környezet fenntarthatóságát és életképességét érinti: a települési csapadékvíz-gazdálkodás. Ez a komplex probléma nem csupán a vízgazdálkodásról szól, hanem a városi tervezés, az ökológia és a társadalmi részvétel területére is kihat. Az emberiség évezredek óta településeken él, és a víz mindig is létfontosságú szerepet játszott mindennapi életünkben. A városok azonban óriási változásokon mentek keresztül. A változás, ami egyfajta vízhierarchiát is teremt, számtalan előnnyel jár, de a természetes vízkörforgás megváltozása és a területbeavatkozások következtében a városoknak egyre nagyobb szükségük van hatékony csapadékvíz-gazdálkodási stratégiákra, és olyan vízgazdálkodási rendszereket kell kialakítaniuk, amelyek reziliensek maradnak az extrém időjárási eseményekkel szemben. A városoknak el kell kezdeniük az esővíz gyűjtésének és újrahasznosításának lehetőségeit kutatni, amelyek révén képesek lehetnek csökkenteni a külső vízkészletek iránti igényüket. Az előttünk álló évtizedekben a városoknak együtt kell működniük, hogy fenntartható, innovatív megoldásokat találjanak és alkalmazzanak. A fenntartható városfejlesztés és vízgazdálkodás eléréséhez az integrált megközelítés elengedhetetlen. A fenntartható vízgazdálkodás nem csupán egy kihívás, hanem egy lehetőség is a városok számára, hogy élhetőbb, zöldebb és ellenállóbb közösségekké váljanak.

Tisztelt Olvasó, a konferencia tovább mélyítette az érdekelt felek közötti diskurzust, a tudás- és tapasztalatcserét, egyben katalizátorként is szolgált, növelte a vízgazdálkodással kapcsolatos elkötelezettséget. A kötet tematikus tanulmányai segítenek megérteni és felismerni a problémakör fontosságát, a települési csapadékvíz-gazdálkodás jelentőségét, az azzal kapcsolatos kihívásokat, valamint az előttünk álló feladatokat.

Bíró Tibor

dékán

Nemzeti Közzolgálati Egyetem

Víztudományi Kar

Vákát

I. rész

Az integrált települési vízgazdálkodás
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

A közút forgalma által okozott szennyeződések terjedésének vizsgálata a közúti csapadékvíz-elvezetésben

Bevezetés

A tervezések és előkészítések során a tervező sokszor kerül abba a helyzetbe, hogy a tervezett nyomvonalas létesítmény (út) csapadékvíz-elvezetéséhez költséges műszaki kialakítással vízelvezető rendszer kiépítését kell megterveznie az esetleges szikkasztás vagy a helyben tározás és szikkasztás, párologtatás helyett. A jogszabályi megfogalmazásokon túl sok esetben a helyi előírások is szigorú feltételeket szabnak. A mindennapi tervezői gyakorlat során a hatósági egyeztetések alkalmával – határozatokon kívül – sokszor elhangzik az a mondat, hogy az útburkolatról lefolyó víz szennyezett, és ezért sem élő vízfolyásba közvetlenül, sem szikkasztással nem lehet a vízelvezetést megoldani. Költséges tisztítóberendezéseket, illetve költséges zárt vagy burkolt csapadékvíz-elvezető rendszereket kell tervezni. Az előzőekben említett mondatnak kutatásokon alapuló létjogosultsága nincs, mérések és vizsgálatok sajnálatosan nem alapozzák meg sem a jogszabályi megfogalmazásokat, sem a helyi szabályozásokat és tiltásokat. Részletes és átfogó kutatás hiányában ezek a kijelentések általánosságban igazak, de helyspecifikusan eltérhetnek a feltételezett állapottól.

A vonatkozó jogszabályi háttér rövid ismertetése:

- 219/2004. (VII. 21.) kormányrendelet a felszín alatti vizek védelméről;
- 220/2004. (VII. 21.) kormányrendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól;
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről;
- 123/1997. (VII. 18.) kormányrendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellétesítmények védelméről;



https://doi.org/10.36250/01137_01



BL: <https://orcid.org/0000-0001-5130-730X>

- 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól;
- 27/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területeken levő települések besorolásáról;
- 90/2007. (IV. 26.) kormányrendelet a környezetkárosodás megelőzésének és elhárításának rendjéről.

Célkitűzés

A kutatás során a vizsgálatok és laboreredmények alapján meghatározandó, hogy melyek a havárián kívüli általános üzemből eredő szennyeződések, és azok milyen távolságba és milyen mélységbe jutnak el, szivárognak be a talajba. A beszivárgási eredményeket különböző forgalmú utakra kell meghatározni, hiszen egy autópálya vagy egy kis forgalmú út, illetve egy kerékpárút forgalmából adódó szennyezés keletkezése és annak terjedése talajösszetételtől függően jelentősen eltér.

A célkitűzés teljesülésével párhuzamosan az alábbi kérdésekre próbál választ adni a kutatás:

- a) A közúti csapadékvíz normál üzemrend mellett is szennyezett?
- b) A közúti csapadékvíz a pályatesten előálló havária/baleset során szennyeződhet?
- c) A közúti csapadékvíz havária/baleset felszámolása során szennyeződhet?

A kutatás és a téma indokoltsága

Az éghajlatváltozás következtében fokozódó nyomás nehezedik Magyarország hozzáférhető édesvízkészleteire, és több régióban is a kereslet és a kínálat aszimmetriája figyelhető meg. Az éghajlatváltozás következtében egyre szélsőséesebb időjárási jelenségek negatív hatással vannak a vízellátásra. Az időben és térben változó vízkészletek közép- és hosszú távon jelentős negatív hatással vannak a környezetbiztonságra, és össztársadalmi szinten éreztetik hatásukat. A szélsőségeknek kitettség pedig korlátozza Magyarország versenyképességét, gazdasági stabilitását. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság tevékenységportfóliójában új elemként jelenik meg mind a települési vízgazdálkodás, mind a csapadékvízgazdálkodás, de nyilvánvalóan az állami és az egyéni szerepvállalás fontosságának

erősödése várható a következő években. A víz egyre élesebb biztonsági deficitként jelenik meg a Föld lakosságának preferencia-rendszerében. Közgazdasági szempontból is jelentős potenciálúak azok az országok, ahol a vízzel megfelelően gazdálkodnak. A különböző gazdasági ágazatok vízigénye miatt egyre kiéleztettebb verseny folyik a vízért mint erőforrásért, miközben vízkészleteinknek nemcsak a mennyiségét, hanem a minőségét is óvnunk kell.

A közlekedési tevékenységek jelentős szerepet játszanak életünkben. A közlekedés révén hozzájuthatunk termékekhez és szolgáltatásokhoz, biztosíthatjuk az egyéni mobilitást és a jobb életminőséget, emellett fontos szerepet játszik a gazdasági és társadalmi fejlődésben is [1]. E pozitív eredmények mellett azonban a környezet egyes elemeit, rendszereit érő károsító, terhelő hatásokkal is számolni kell. A közlekedésben a fenntarthatóság fontos kritériuma, a megfelelő infrastruktúra mellett, a környezet terhelésének csökkentése. A környezeti elemekben, rendszerekben azok állapotának megfigyelésére monitoringrendszer kiépítésére van lehetőség, amellyel nyomon követhetjük a ténylegesen jelentkező változásokat, és szükség esetén hatásmérséklő beavatkozásokat határozhatunk meg, illetve ellenőrizhetjük azok sikerességét is [2].

A nyomvonalas létesítmények csapadékvíz-elvezető rendszere sok esetben nemcsak a burkolati vizeket gyűjti és vezeti el, hanem a környező és a vízgyűjtő területek vizeit is összegyűjti, a természetes lefolyásokat megakadályozza és a vízelvezető rendszeren keresztül kivezeti a területről, így megváltoztatja a lefolyási és szivárgási viszonyokat. Amikor az út vízelvezető rendszerét zártan, illetve részben burkoltan alakítjuk ki, teljes mértékben megakadályozzuk a talajba szivárgás lehetőségét, amivel a talajvíz utánpótlását ellehetetlenítjük.

A vízelvezetés ilyenfajta kialakításának indoka a legtöbb esetben ez a már említett mondat: az útburkolatról lefolyó víz szennyezett. Mindazonáltal a szennyezettség időben és térben igen változó. A talaj szennyeződhet az útkörnyezet légteréből a légköri csapadékkal való le-, kicsapódás, majd nedves ülepedés útján, illetve az út menti szennyezett növényzetről lemosódás, az útburkolatnál lefolyó csapadékvízzel szállított szennyezők hatására [3]. E kijelentés igazságtartalmának részletes vizsgálata és méréseken alapuló koncepcionális kutatása a cél.

A környezeti monitoring egy célorientált, szervezett mérési és kiértékelési tevékenység, amelynek segítségével figyelemmel tudjuk kísérni a vizsgálandó környezeti elemek állapotát, változását, és ezek ismeretében meg tudjuk határozni az állapot romlását előidéző okokat [4]. A monitoringtevékenység egyik célja, hogy mérje és összegezze a környezet állapotára vonatkozó adatokat a bizonytalanságok csökkentése és ellenőrzése érdekében [5]. A környezeti monitoring

révén olyan adatokhoz juthatunk, amelyek alkalmasak környezetünk állapotának értékelésére [6].

A korábbi hasonló vizsgálatok és mérések részben igazolják a mondat helytelenségét, azonban a megfogalmazás helytelenségét alátámasztó komplex kutatási mérésorozat nem történt, amely alapján módosítani lehetne a jogszabályi háttérrel és a műszaki előírásokat.

A közlekedésből fakadó csapadékvíz minőségi aspektusai

A csapadékvíz hasznosíthatóságát a lefolyás vízminősége erősen befolyásolja, korlátozhatja, mivel az egyes használatokhoz a szennyező komponensek még megengedhető koncentrációja tartozik. Például hasznosításnak tekintve a talajnedvesség/talajvíz pótlását, a termett talajba, illetve a talajvízbe juttatható komponensek határértékeit jogszabályok tartalmazzák. Hasonlóképpen, a felszíni befogadókra is léteznek területileg előírt vízminőségi emissziós, illetve immisziós határértékek. A szabályozás azonban korlátozott mértékben alkalmazható a csapadékvízzel szállított szennyező anyagokra.

A felszíni lefolyás vízminőségét a városi légkör és az egyes területhasználatokhoz kapcsolódó vízgyűjtő felület szennyezettsége határozza meg. A szennyezett légtérrel át lehulló esőcseppek ad- és abszorpció útján „kimosás”, magukkal ragadják a levegőben található szilárd szállópor-részecskéket (PM10, PM2,5), valamint a savképző gyököket alkotó aeroszol részecskéket, amelyek zömében égési folyamatokból származnak (SO_2 , NO_x , CO és CO_2). Az esőcseppeknek ezen az úton kialakuló szennyezettsége a koncentrációkat tekintve elhanyagolható, kivéve a pH-nak a tiszta levegőhöz képest savas irányban elmozduló csökkenését. Az esővíz szennyeződésmentes levegőben kimeríthető, gyengén savas pH 5,5-ös értéke akár 3-as értékre is csökkenhet. A pH-érték csökkenésével a víz fémekre vonatkozó oldóképessége növekszik. Az oldott fémek mozgékonyasága a talaj-talajvíz térben és a potenciális környezeti hatásuk, mivel beépülhetnek a tápláléklánc folyamatába, jóval nagyobb a szilárd fázisúakénál. Ráadásul eltávolíthatóságuk a felszíni lefolyás során bonyolultabbá válik.

Ahhoz, hogy a szennyezőket eltávolíthassuk, néhány jellemzőjüket meg kell ismerni. A szennyeződés fő forrása a szennyezett városi felszín, ezen belül is a nagy gépjárműforgalmú és/vagy (nehéz) iparosított felületek. A csapadégmentes időszakban felhalmozódott szennyező anyagok eltávolításának transzportfolyamata a fent említett oldatba kerülő fémek kivételével a szilárd felszín

leemosásával és a szilárd fázisként való szállítással valósulhat meg. Ez alól kivételt képeznek a járművekből kicsöpögő, kiszóródó alifás szénhidrogének, ásványolajok – többségében motorolaj – és a hidraulika-rendszerek folyadékai.

A lemosható, alakilag szilárd részecskék zöme inert ásványi összetételű por. Alkotóelemei közé tartoznak még a gépjármű gumiköpenyei és az aszfaltburkolat kopásakor keletkező finom, szerves, biológiailag azonban nem bontható részecskék, valamint a belső égésű motorok (döntő mértékben a dízelmotorok) kipufogógázában megtalálható koromrészecskék is, amelyek kémiaiilag policiklikus aromás szénhidrogének (PAH-ok). Az útfelületen felhalmozódó és lemosható részecskék mérete a szálló por néhány mikrométeres szemcseméretei és a 0,1-0,2 mm-es értékek között változik.

Ennek az olajnak az eltávolíthatósága jelentősen különbözik a parkolókról (beleértve a buszvégállomások felületét is) lemoshatóktól. Míg a parkolóban az elcsöpögő olaj úgynevezett „olaj a vízben” típusú emulziót képez a csapadékvízzel, amelyet a gyakorlatban ismert olajfogókkal sikeresen eltávolíthatunk, az útfelületek olajszennyezettsége sajátos formában jelentkezik. Ez az olaj alapvetően a tömítési hibák miatt, a járó motorokból permet formájában kiszóródó mikron nagyságú olajcseppek formájában jelenik meg. A gumiköpenyek ezeket összegyűrik a lekopott gumi- és aszfaltszemcsékkel, amelyek körbezárják az olajpermet részecskéit. Így egy olyan heterogén összetételű anyag keletkezik, amely megakadályozza, hogy az olaj például az oleofil abszorbensekkel közvetlenül érintkezzen, és ott megtapadjon. Ez az olajtartalom hagyományos módszerekkel, felúsztatással nem választható el a víztől, csak homokszűréssel vagy kisebb hatékonyságú koaleszcens szűrőkkel. Kiemelendő, hogy az utcai szemét nem tartozik a vízminőséget közvetlenül veszélyeztető szennyezők közé, eltávolítása a közterület-tisztítás hagyományos feladata. A közlekedési eredetű, felszíni és felszín alatti vizek szennyezés elleni védelmére a gyakorlatban hatékonyan alkalmazhatók a szikkasztó, szűrő tározók [7].

A részletes kutatási terv ismertetése

A kutatási feladat az alábbi fő lépésekből áll:

- előkészítés;
- a mintaterületek kijelölése, a vizsgálatok meghatározása;
- a mintavételi helyek meghatározása, beazonosítása;
- a mintavételek elvégzése;

- laboratóriumi munkák;
- az eredmények összefoglalása, elemzése, javaslatok megfogalmazása;
- publikálás, ismeretterjesztés.

Előkészítés

A lehetséges szennyező anyagok beazonosítását követően a vizsgálati módszereket, majd a klimatikus hatások ismeretében a mintavételi gyakoriságokat kell meghatározni. Ki kell jelölni a mintavételekbe és vizsgálatokba bevonandó szervezeteket, és meg kell határozni a velük való kapcsolattartást. Biztosítani kell a jogi hátteret.

A mintaterületek kijelölése, vizsgálatok meghatározása

Az előkészítést követően javaslatot kell tenni a mintaterületekre. Mind sík, mind hegyvidéki utak kijelölése, valamint különböző útkategóriák is javasoltak. Meg kell határozni a vizsgálati módszereket és azok gyakoriságát.

A forgalom gyakoriságának, a lokális szennyezettségnek és a potenciálisan veszélyeztetett felszíni vagy felszín alatti vízkészletnek a figyelembevétele mellett ki kell jelölni a monitoringpontokat és a mintavételeket, a mintavételek gyakoriságát, a környezeti feltételeket.

El kell készíteni a kutatási tervet, javasolt az alapállapot felvétele. Száraz és csapadékos időszakban is szükséges a mintavételezés elvégzése. Ezek ismeretében fel kell venni a kapcsolatot a kijelölt utak, vízelvezető rendszerek és befogadók kezelőivel, és az ő ismereteik szerint a kutatási tervet felül kell vizsgálni, szükség esetén pedig módosítani.

A mintavételi helyek meghatározása, beazonosítása

A kutatási terv alapján a helyszíni bejárásokkal be kell azonosítani az elvégzendő feladatokat. Meg kell határozni, hogy a mintavételezési helyek megközelíthető-e. A mintavételi helyeket javasolt közvetlenül az út mellett a padkában, az út menti árokban, a vízelvezető rendszerben az úttól távolabb 5-10 m-re, valamint

a befogadó előtt meghatározni (legalább négy pontot). A szükséges előterveket el kell készíteni, és az engedélyeket be kell szerezni.

A mintavételek elvégzése

A kutatási tervben meg kell adni, hogy a kijelölt mintavételi helyeken mikor és hány alkalommal kell a mintavételezést megtenni. Jelen ismereteink szerint mindenképpen szükséges az alapállapot rögzítése. Azt követően a lefolyási viszonyok ismeretében meg kell határozni, hogy a mintavételezést hány alkalommal és milyen időjárási és/vagy forgalmi viszonyok között kell elvégezni. A mintavételezés javasolt mind száraz, mind csapadékos időszakban, továbbá a klimatikus viszonyokat is figyelembe véve zivatarok közvetlen időszakában (azalatt és röviddel azt követően) is.

A méréseket akkreditált laborban kell elvégezni. A másodlagos célkitűzések között szerepel egy minél nagyobb területet lefedő és minél részletesebb (térbeli felbontású) térinformatikai térkép előállítása (interpolált raszteres állomány), amely feltételezi a kellő minőségű és mennyiségű adatot.

Laboratóriumi munkák

A munka környezetvédelmi felmérés, amelynek célja annak megbecsülése, hogy az autóutak mint vonalas infrastruktúrák mennyiben szennyezik valójában a közvetlen környezetüket.

A munka alapvetően két részre osztható a jelenleg érvényes és rendeletekben rögzített környezetvédelmi vizsgálatoknak megfelelően. Az első a teljes vizsgálandó területet lefedő mintázás és szűrővizsgálat.

Az alapállapot-vizsgálatok során javasolt lehetőség szerint különválasztani a vonal menti nedves-száraz kiülepedés diffúz szennyeződéseit, illetve a pontszerű elvezetések okozta szennyeződéseket. A talajok és iszapfogók anyagának vizsgálatát előbb gyors és költségkímélő módszerekkel szükséges felmérni. Ez a TPH (összes ásványi szénhidrogén) esetében a Petroflag (U.S. EPA SW-846 METHOD 9074) turbidimetriás mérési módszert, a nehézfémek esetében az XRF elemanalizátort (Niton XL3t XRF) jelenti. Addicionális vizsgálatok kívánatosak a mátrix meghatározása céljából: mésztartalom, pH, hézagterfogat, hidraulikai vezetőképesség, humusz/szervesanyag-, szemcseeloszlás- és szabatos

ásványtani leírás. A problémás területek lehatárolása után a vett minták egy részéből akkreditált gázkromatográfiás TPH-meghatározás és (ICP-módszerrel) fémvizsgálat végezhető. A fémek vizsgálat előtti feltárása történhet teljes fém-tartalomra és/vagy biológiaiilag felvehető elemtartalomra.

A talajok azon jellemzője, hogy képesek ionok megkötésére, visszatartására és kicserélésére, fontos információ lehet, amelyet a természeti folyamatok mellett az engedélyezési eljárások során is fel lehetne használni. A fenti információk miatt lehetőleg vizsgáljuk a földtani közeg adszorpciós képességét is.

Az eredmények összefoglalása, elemzése, javaslatok megfogalmazása

A laboratóriumi eredményeket a jogszabályokban megfogalmazott határértékekkel össze kell hasonlítani. Az összehasonlítási eredmények ismeretében a következtetéseket le kell vonni, az eredményeket összegezve meg kell adni.

Az eredményekre alapozva a kutatásban részt vevőknek mind műszaki, mind jogi oldalról javaslatokat és ajánlásokat kell tenniük, amelyek alapjai lehetnek a műszaki előírásokban (UME), illetve jogszabályokban megfogalmazott előírások módosításának.

Publikálás, ismeretterjesztés

A kutatási eredményeket a hazai műszaki és jogi környezetben minél szélesebb körben, publikációkon és konferenciákon keresztül ismertetni kell.

A kutatás várható végeredménye (társadalmi, műszaki, jogi és pénzügyi relevanciák), az eredmények várható hasznosítása, a kutatási feladat végrehajtásával nyerhető előnyök felsorolása

A kutatás prognosztizálható eredménye következtében arra az általános megközelítésre, hogy „az útburkolatról lefolyó víz szennyezett”, térben és időben sokkal részletesebb, helyspecifikus és objektív – akkreditált méréseken, elemzéseken

alapuló – választ tudunk adni. Ezen információk birtokában javasolt felülvizsgálni, hogy a jelen közúti részterületet érintő kutatást és eredményeket követően érdemes-e a vasúti közlekedési részterületen is hasonló témájú és tárgyú kutatást elvégezni.

A korábbi vizsgálatok és a gyakorlati tapasztalatok alapján feltételezhető, hogy a burkolatról lefolyó vizek talajba beszivárgása, élővízbe bevezetése nem károsítja sem a talajvizet, sem az élővíz állapotát. Nyilvánvalóan ott, ahol kiemelt jelentőségű vízbázis található, nagyobb körültekintéssel kell eljárni. Mindazonáltal pontosan ez okozza a problémát, elsősorban hatósági oldalról, hogy nincsenek meg a kellő információk (alapadatok, beszivárgásmodellezés), így jogosan az elővigyázatosság elve mentén túl szigorú feltételrendszert állítanak a beruházások elé. Amennyiben a kísérlet megerősíti és bizonyítja a korábbi vizsgálati eredményeket és gyakorlati tapasztalatokat, akkor a műszaki előírások és jogszabályok változtatását követően a jövőben elkerülhetők a költséges beruházások (például árokburkolások), valamint a tisztító műtárgyak felesleges sűrűségű kiépítése. Amennyiben figyelembe vesszük akár a kül- és belterületi közutak különféle fejlesztési alapokból történő beruházási igényeit, és csak 5-10% „műszakitartalom-csökkenés” képzelhető el a különféle vízépitési művek elhagyásával, már akkor is jelentős anyagi haszon érhető el. A felesleges műtárgyak kiépítési költségei mellett a terület igénybevétele is növeli a beruházások költségét, továbbá az üzemeltetés során is jelentős üzemeltetési- és fenntartási költség-csökkenés érhető el, amely mind a kutatási eredmény hasznaként értelmezendő.

Mindezen, pénzben kifejezhető közgazdasági előnyök mellett vízgazdálkodási szempontból is előnyös a területi vízháztartásokra nézve, hogy az oda leeső csapadékvizeket nem koncentráltan, zárt rendszerben vezetik ki az adott területről, hanem azok ott elszikkadva vagy részben elszikkadva a talaj vízháztartását segítik, és ez a vízgazdálkodásban is pozitív hatásokat eredményez.

Köszönetnyilvánítás

A részletes kutatási tématerv kidolgozását a MAÚT Magyar Út- és Vasútügyi Társaság finanszírozta.

Felhasznált irodalom

1. Horváth B, Koren Cs, Prileszky I, Tóth-Szabó Zs. Közlekedéstervezés. Győr: Széchenyi István Egyetem; 2010. 182 p.
2. Elekné FV, Biró B, Polgár A. Közlekedésből származó környezetterhelések monitorozási lehetőségei. Természet-, műszaki- és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia [Internet]. 2019 [letöltve 2021. november 6.];18:105–110. Elérhető: <http://ojs.elte.hu/index.php/tmgank/article/view/682>
3. Koronikáné Pécsinger J. Az útkörnyezet hatásterjedést befolyásoló szerepe természeti területeken. Doktori disszertáció. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem; 2008. 130 p.
4. Arts J, Noteboom S. Environmental impact assessment monitoring and auditing. In: Hillary R, Jolly A, editors. The CBI Environmental Management Handbook. London: Earthscan; 2000. p. 431–436.
5. Gouveia C, Fonseca A. New approaches to environmental monitoring: the use of ICT to explore volunteered geographic information. GeoJournal [Internet]. 2008 Aug [cited 2021 Nov 6];72(3):185–197. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-008-9183-3>
6. Dobos T, Orbay P, Nagy A, Pájer J, Oláh M, Tőkés P. A környezetállapot kifejezését szolgáló monitoring rendszer koncepciója és alkalmazási lehetőségeinek feltárása. Kutatási jelentés. Sopron: Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőmérnöki Kar Környezetvédelmi Tanszék; 1990.
7. Buzás K. A közúti közlekedés hatása a felszíni csapadékvíz-lefolyás szénhidrogén szennyezettségére. Doktori (PhD-) disszertáció. Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem; 2009. 106 p.

II. rész

A kutatás, innováció és legjobb gyakorlat
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

Neurálishálózat-alapú vízállás-előrejelző modellek a budapesti kisvízfolyásokon

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben tapasztalt globális klímaváltozással kapcsolatos várakozások általában a rövid idejű nagycsapadékok gyakoriságának és intenzitásának növekedésével számolnak, lásd például [1]. Sajnos közhelyszerűvé vált, hogy a kisvízfolyások vízgyűjtő területének beépítése miatt a lefolyási tényező értéke kedvezőtlen irányban változik [2] [3]. Ezek a változások a városi kisvízfolyások esetében növelik az elöntések kockázatát a konvektív csapadékesemények során hirtelen kialakuló árvizekkel. Ehhez járul hozzá az is, hogy a vízfolyások medrének környezete jellemzően intenzív beépítés célterülete, így a vízlevezető képesség növelése, különösen az egyidejűleg megjelenő ökológiai szempontok figyelembevételével, egyre körülményesebb feladat. Mindezen káros folyamatok mellett az esetek többségében a vízfolyások hidrológiai jellemzői feltáratlanok, az átfogó vízgyűjtő-modellezésre kevés lehetőség nyílik.

A jelentősebb budapesti kisvízfolyások üzemeltetésének feladatát a Fővárosi Önkormányzat megbízásából a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. (FCSM) látja el. Az FCSM üzemeltetésébe tartozó vízfolyások egy része heves lefolyási viszonyokkal jellemezhető, és ezeken a nagycsapadékok idején gyakran alakul ki elöntésveszélyes helyzet. A budapesti záporok és zivatarok hidrológiai jellegzetességeinek megismerése érdekében az FCSM 2007-től csapadékmérő hálózat fejlesztésébe kezdett, amely átlagosan 3 km élhosszúságú háromszögekkel képes lefedni a város és egyes kapcsolódó vízgyűjtők területét [4]. 2010. május 30-án a dél-budai Hosszúréti-patakon egy extrém zivatart követően addig soha nem látott árvíz vonult le, amely Budafokon kisebb elöntéseket okozott, és egy ipari ingatlan elöntése révén több száz liternyi motorolaj bemosódásával jelentős szennyezést idézett elő. Az árvizet követően született meg az elhatározás a vízfolyások hidrológiai adatainak gyűjtésére, amely elsősorban a Hosszúréti-patak és később a Határ-árok, majd további vízfolyások folyamatos vízszintészlelését alapozta meg. A vízszintészlelés mellett alkalmi (nagyvízi) vízhozammérés

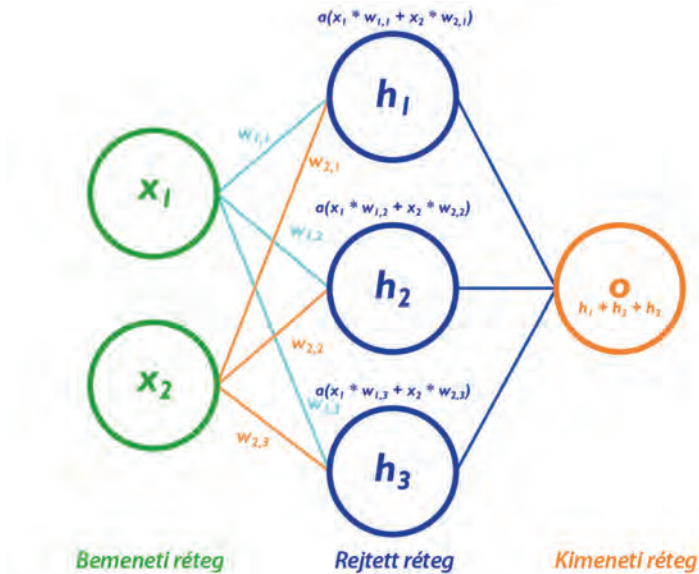
is történt, amelynek során elkészülhetett például a Hosszúréti-patak árvízi vízhozamgörbéje [5]. A vízfolyásokról immár többévtizednyi időszakból néhány perces mérési periódussal felvett vízszintadat áll rendelkezésre. A kialakított csapadékmérő hálózaton egyperces mérési periódussal rögzített csapadékadatok gyűjtése folyik, ami a legtöbb mérőn ugyancsak 8-10 éve folyamatosan zajlik. Az ilyen méretű adatbázisok a leíró jellegű hidrológiai adatok biztosításán túl már lehetőséget adnak a csapadékadatok és a vízgyűjtőn kialakuló nagyvízi lefolyás közötti kapcsolatok feltárására. A lefolyási modellek számos típusa szóba kerülhet az ilyen összefüggések feltárására. Ezek közül a lefolyás elemeinek hidraulikai vagy a vízmérlegre gyakorolt hatását figyelembe vevő modellek alkalmazása csak további jelentős mennyiségű adat gyűjtése esetén valósítható meg, amire üzemi körülmények között az FCSM-ben nem lett volna lehetőség. Ugyanakkor az adattudomány fejlődése révén elérhetővé váltak olyan „black box” jellegű eljárások, amelyek a lefolyás folyamatának bármiféle – a matematikai megfontolásokon túlmenő – ismerete nélkül is a nagyvizek előrejelzésével kecsegtettek. Amennyiben ilyen modell áll rendelkezésre, a gyorsan kialakuló árvíz megérkezése előtt nowcasting jellegű, igen rövid időtávú előrejelzés készíthető, amely bizonyos körben védekezésre is lehetőséget adhat, de elsősorban az emberélet védelmét szolgáló figyelmeztető, korai veszélyjelző jelzésként használható. Az ötlet felvetését követően kialakították a matematikai modellt, amely 2018 óta nagy pontosságú előrejelzések biztosítását teszi lehetővé közel valós időben, a csapadékesemény alakulásának függvényében. Cikkünk az alkalmazott eljárást, a helyszíneket, az infrastruktúrát, valamint a tapasztalatokat mutatja be.

A vízállás-előrejelző modellezés módszere

A vízállás-előrejelzés neurálishálózat-alapú előrejelző modellezés segítségével valósult meg.

A neurálishálózat-alapú modellezés áttekintő ismertetése

A mesterséges neurális hálózatok olyan gépi tanulási algoritmusok, amelyek segítségével jól közelíthetők két adathalmaz között fennálló komplex, nemlineáris függvénykapcsolatok. Az 1. ábra egy egyszerű neurális hálózat felépítését mutatja.



1. ábra: A neurális hálózatok általános felépítése Mehlig nyomán [7] (a szerzők szerkesztése)

Ahogy az ábrán is látszik, a neurális hálózatok három fő részből állnak, amelyek a következők:

- bemeneti változók (x_1, x_2);
- rejtett réteg vagy rétegek a számítási neuronokkal (h_1, h_2, h_3) és súlyokkal ($w_{1,1} \dots w_{2,3}$);
- kimeneti réteg a kimeneti neuronnal (o) vagy neuronokkal.

Mély neurális hálózatok esetében a modellnek több rejtett rétege is van, illetve a megoldani kívánt probléma felépítésétől függően több kimeneti neuron is lehetséges a kimeneti rétegen. A rejtett rétegben lévő neuronok az összes bemeneti változó vagy az előző rétegben lévő összes neuron kimenetének súlyozott összegét állítják elő, majd egy nemlineáris transzformációt hajtanak végre rajta az úgynevezett aktivációs függvényvel.

Ahogy a többi gépi tanulási módszernél, a neurális hálózatok esetében is az első lépés a modell tanítása. Ekkor megadjuk a modellnek a bemeneti változókat és az ezekhez tartozó célváltozókat (például esetünkben a bemeneti változók

a csapadékadatok lesznek, a célváltozó valamely, a csapadék hatására kialakult „jövőbeni” vízállás értéke), a modell pedig különféle algoritmusok használatával (például hiba-visszaterjesztés) meghatározza a súlyok optimális értékét, és így minimalizálja a kimeneti változó és a célváltozó eltérését. Utóbbi különbség meghatározására többféle hibafüggvény is használható, például az átlagos négyzetgyökös középhiba (*Root Mean Squared Error* – RMSE). A folyamat eredményeképp a bemeneti réteg elemei és a kimeneti réteg neuronjai között összetett nemlineáris regressziós összefüggés „jön létre”. Az így „betanított” neurális hálózatba már betáplálhatók új adatok, és képes lesz ezekből ismeretlen célváltozók kiszámítására (predikciójára) [6] [7].

Az elmúlt 10-15 évben széles körben elérhetővé váltak a nagy számítási kapacitású processzorok és videókártyák, valamint lehetővé vált nagy adathalmazok összegyűjtése és tárolása. Többek között ez a fejlődés tette lehetővé a neurális hálózatok gyakorlati alkalmazását, és mára ezeknek az algoritmusoknak a különböző programozási nyelvekben létrehozott implementációi bárki számára elérhetők.

Az FCSM által mért és a modellben felhasznált adatok

A 2000-es évek első évtizedében tapasztalt jelentős kárt okozó nagycsapadékok kapcsán az FCSM-nél felismerték, hogy nincsenek elég pontos, elég nagy felbontású csapadékadatok az üzemeltetési területén, így a zivatarok során a városi vízelvezető rendszereken levonuló árhullámok jellegzetességei ismeretlenek voltak. A hiány pótlására, tekintettel a megfelelő időbeli és térbeli felbontású adatok beszerzésének nehézségeire, az FCSM saját csapadékmérő hálózatot épített ki. A kisvízfolyásokról sem álltak rendelkezésre megfelelő adatok, ezért egyes patakokon vízszintmérők kihelyezésére került sor.

A csapadékmérő hálózat kiépítése 2007-ben kezdődött, és 2013-ban érte el a mai kiterjedését. A Budapestet és az agglomeráció egy részét lefedő hálózatban jelenleg 56 darab, kis sorozatban legyártott billenőkanalas csapadékmérő működik. A 2. ábrán a Lőrinci úton kihelyezett csapadékmérő állomás látható. A berendezések a jelen kiépítésben autonóm energiaellátással (napelem + akkumulátor) működnek, és telefonos adatkommunikációval juttatják el az adatokat a központi szerverre. A berendezések 0,2 mm elvi mérési pontossággal

jellemezhetők, és perces összegzésű billenésadatokat továbbítanak a központi szerverre, ahol mm-es csapadékadatokká konvertálják át a beérkező adatokat. Az adatok továbbítása alapértelmezésben naponta háromszor történik meg, ám ha a billenések száma meghalad egy beállítható küszöbértéket, tízperces ciklus-idejű adattovábbítás is előfordulhat.



2. ábra: Egy FCSM-csapadékmérő jellemző elrendezése (Lőrinci út) (FCSM Árvízvédelmi Osztály felvétele)

Kisvízfolyásokon 2013-ban a Hosszúréti-patakon (a Horogszegi határsornál), 2017 végén pedig a Határ-árkon (a Károly Iréneusz József utcánál) és az Aranyhegyi-patakon (a Pomázi útnál) üzemeltek be vízszintérzékelő műszert. Az ultrahangos vízszintmérő műszerek NIVUS NivuLog Easy típusúak. A vízszintet hatpercenként, illetve intenzív vízállás-emelkedés és magas vízállás esetén kétpercenként rögzítik. A műszerek az adatokat tizenöt percenként továbbítják a központi szerverre. A mérések sűrűsége az igen intenzív vízszintemelkedések miatt indokolt. A kihelyezett műszerek mérési tartománya:

- Aranyhegyi-patak: 0–264 cm;
- Határ-árok: 0–273 cm;
- Hosszúréti-patak: 0–255 cm.

A 3. és 4. ábrákon a Határ-árkon kihelyezett vízszintészlelő berendezés látható.

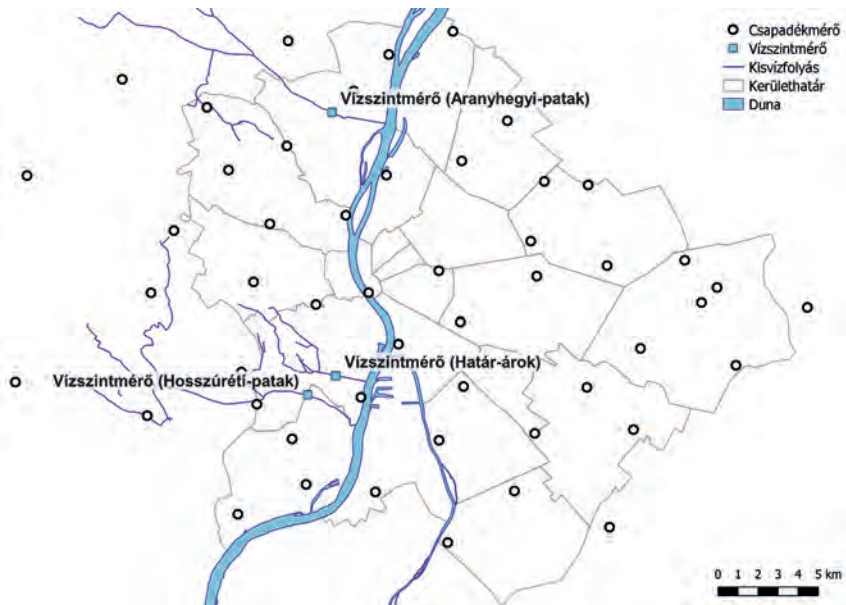


3. ábra: A Határ-árkonon kihelyezett vízszintészlelő berendezés hídra szerelt mérődoboz (FCSM Árvízvédelmi Osztály felvétele)



4. ábra: A Határ-árkonnál alkalmazott mérődoboz belső kialakítása (FCSM Árvízvédelmi Osztály felvétele)

A neurális hálózat alapján működő előrejelző modell betanításához szükséges adatokat a csapadékmérő és a vízszintmérő sokéves mérési időszaka során keletkezett adatbázis biztosította. Az 5. ábra a csapadékmérő hálózat kiépítettségét és a kisvízfolyásokra kihelyezett műszerek elhelyezkedését mutatja.



5. ábra: A budapesti csapadékmérő hálózat, valamint a három mért vízfolyás nyomvonala a vízszintmérők feltüntetésével (FCSM Árvízvédelmi Osztály)

A mérési adatok feldolgoása

A mért csapadékadatok minőségbiztosítását operátor végzi. A beérkező adatok áttekintésével a gyanús adatokat megjelölik, az esetleges hibákat javítják. Ilyen hibák lehetnek a téves bejelzések, amelyek például egyes esetekben a mérő rezgése miatt, szél hatására alakultak ki, vagy karbantartás során a mérő működőképességének ellenőrzése miatt keletkezhetnek nem valós csapadékadatok. További hamis adat lehet az „idegen víz” megjelenése, amely az aktuális csapadékhelyzet ismeretében szűrhető. Ilyen esetekben az adat megjelölve a további feldolgozásból kizárható, mindamellett az archivált állapotban fellelhető és újra felülvizsgálható.

A beérkező vízállásadatokat vizuális ellenőrzéssel szűrik. Fizikai értelemben nem valószerű adatok (például hirtelen ugrás, egy adatra korlátozódó kiugró érték stb.) ebben az esetben is törölhetők, és vagy adathiányként (elsősorban

hosszabb hibás mérési időszak esetén), vagy interpolálás révén javítva jelennek meg a feldolgozásra előkészített adatbázisban.

A modellek felépítéséhez szükséges volt a csapadék- és vízállásadatsorok szűrése (a megfelelő mérőállomások leválogatása) és a műszerek által mért adatok transzformációja, hogy a modell által használható bemeneti és kimeneti változók álljanak rendelkezésre.

Első lépésként meg kellett határozni a vízgyűjtőkre hatással lévő csapadékmérő állomásokat, ehhez először a vízszintmérők feletti vízgyűjtőket kellett lehatárolni. Alapadatként ehhez az STRM domborzatmodellt és az FCSM budapesti kisvízfolyásokra vonatkozó térinformatikai adatbázisát használták fel. A mederhálózat valós futásával javított domborzatmodell 1 ívmásodperces felbontása (kb. $30\text{ m} \times 30\text{ m}$) elégségesnek bizonyult a vízgyűjtők kellően pontos meghatározásához. A Határ-árok esetében egy összefüggő, az Aranyhegyi-pataknál és a Hosszúréti-pataknál pedig egy három, illetve hat részvízgyűjtőre bontott vízgyűjtőt határoltak le. A 6. ábrán a három kisvízfolyás vízrendszere, valamint a vízgyűjtő terület domborzati viszonyai láthatók.



6. ábra: A három kisvízfolyás vízgyűjtője és a vízgyűjtő domborzati viszonyai (FCSM Árvízvédelmi Osztály)

A modellek építése során fontos szempont volt, hogy az algoritmus működése független legyen a csapadékmérő hálózat változásaitól (mérőhelyek megszűnése, újak létrehozása). Ennek érdekében a térben pontszerűnek tekinthető csapadékmérők méréseit Voronoi-sokszögek segítségével átlagolták a vízgyűjtőre [8] [9]. Minden olyan csapadékmérőt, amelynek a köré írt sokszöge metszi a vízfolyás vízgyűjtőjét, a patak vízjárására hatással lévő mérőnek tekintettünk, és az e mérőkről beérkező csapadékadatok területarányosan szerepelnek a perces csapadéktömeg-becslésben. A Voronoi-sokszög területén a csapadék térbeli eloszlását eléggé bizonytalanul lehetne becsülni, tekintettel az intenzív nagy-csapadékok térbeli eloszlásának igen egyenetlen jellegére. A mérők pillanatnyi adatait az előbbiek miatt a legegyszerűbb közelítéssel a Voronoi-sokszögon egyenletes értékkel vettük figyelembe, így a továbbiakban a lehullott csapadékmennyiségre csak becslésként hivatkozunk. Például amennyiben a Határ-árokra hatással lévő csapadékmérőkről az 1. táblázatban lévő adatok érkeztek 2021. augusztus 31. 12 órakor, akkor a csapadékbecslés a következő képlet alapján történik: $(1,4 \cdot 5) + (1,2 \cdot 10) + (1,8 \cdot 3) + (4,1 \cdot 2) + (5,7 \cdot 14)$. Miután a modell nem fizikai lefolyásmodell, a mértékegységek harmonizációja nem szükséges.

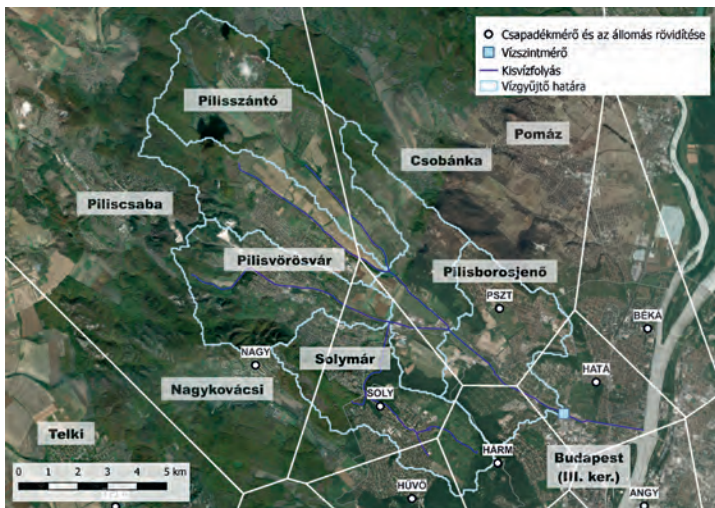
1. táblázat: Csapadékbecslés-példa (a szerzők szerkesztése)

Dátum	Mérőhely kódja	A Voronoi-sokszög és a vízgyűjtő metszete (km ²)	Csapadék (mm)
2021. 08. 31. 12:00:00	ALBE	1,4	5
2021. 08. 31. 12:00:00	KOLO	1,2	10
2021. 08. 31. 12:00:00	M1M7	1,8	3
2021. 08. 31. 12:00:00	MERE	4,1	2
2021. 08. 31. 12:00:00	SZEC	5,7	14

Miután a tapasztalatok alapján az így számolt becslés megfelelő volt a modellek számára, más, bonyolultabb és nagyobb számításigényű interpolációs módszert nem próbáltunk ki. A 7–9. ábrák a vízgyűjtőket és a Voronoi-hálózatokat mutatják.



7. ábra: A Határ-árok vízgyűjtő területe a vízszintmérő feletti szelvényben és a csapadékmérők Voronoi-poligonjai (műholdkép: bing.com)



8. ábra: Az Aranyhegyi-patak vízgyűjtő területe a vízszintmérő feletti szelvényben és a csapadékmérők Voronoi-poligonjai (műholdkép: bing.com)



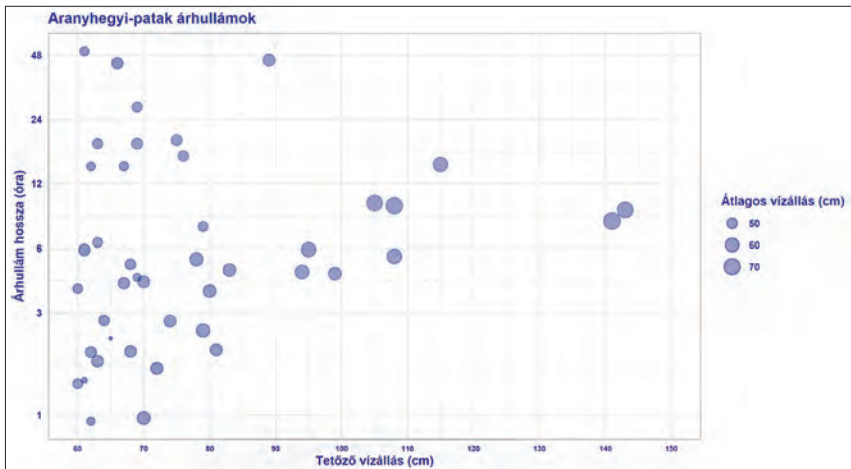
9. ábra: A Hosszúréti-patak vízgyűjtő területe a vízszintmérő feletti szelvényben és a csapadékmérők Voronoi-poligonjai (műholdkép: bing.com)

A modellek elsődleges célja a jelentős árhullámok minél pontosabb előrejelzése, így célszerűen az árhullámokat okozó meteorológiai és vízjárási időszakok adatait használtuk fel. Ezért tehát a következő lépés az árhullámos időszakok adatainak legyűjtése volt. A legyűjtésre kijelölt vízjárási helyzetek definiálására mindhárom patak esetében egyedi szempontok szerint, az üzemeltetési tapasztalatok alapján került sor. Az egyes patakoknál alkalmazott szabályokat a 2. táblázat tartalmazza.

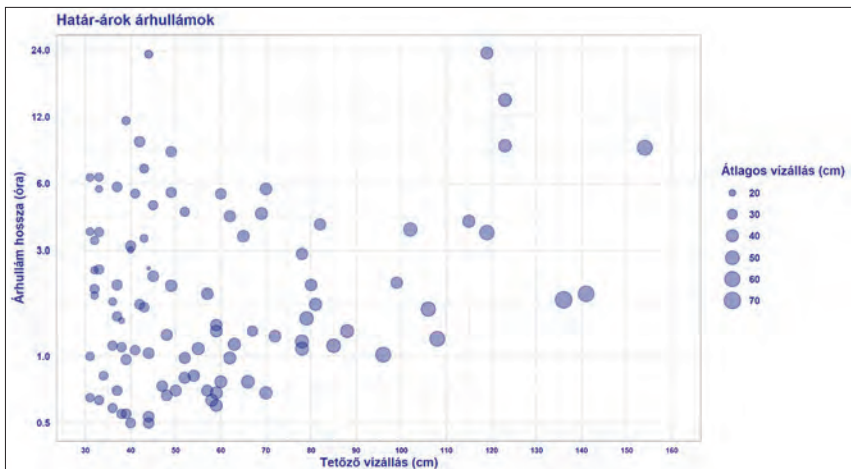
2. táblázat: Árhullám-definíciók (a szerzők szerkesztése)

Kisvízfolyás	A modell tanításához használt időszak	Magas vízállás definíciója	Árhullám definíciója	A modellben használt árhullámok száma	Legnagyobb mért vízállás
Aranyhegyi-patak	2017. december 15. – 2021. augusztus 17.	A patak vízszintje tartósan 40 cm felett tartózkodott, két óránál hosszabb időre nem csökkent ezen érték alá.	Azon magas vízállásos időszakok, ahol a tetőzés leg-alább 60 cm-es, és fél óránál hosszabb idő-tartamúak.	43	143 cm
Határ-árok	2017. december 15. – 2021. augusztus 17.	A patak vízszintje tartósan 20 cm felett tartózkodott, két óránál hosszabb időre nem csökkent ezen érték alá.	Azon magas vízállásos időszakok, ahol a tetőzés leg-alább 30 cm-es, és fél óránál hosszabb idő-tartamúak.	97	154 cm
Hosszúréti-patak	2013. május 3. – 2018. szeptember 5.	A patak vízszintje tartósan 25 cm felett tartózkodott, két óránál hosszabb időre nem csökkent ezen érték alá.	Pontos definíció nélkül, szemrevételezés után válogatták ki.	100	194 cm

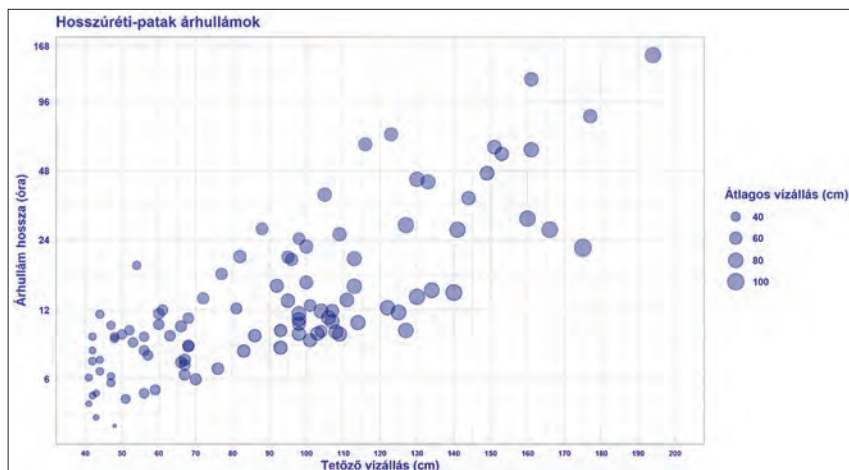
A Hosszúréti-pataknál az adatfeldolgozás fontos lépése volt a fals adatok kiszűrése, amikor úgy keletkezett árhullám a patakon, hogy nem volt csapadékesemény. Ennek oka tározók, tavak, medencék ürítésére vezethető vissza. Sajnos a nyilvánvalóan mesterséges eredetű vízeresztések eredetét nem sikerült igazolhatóan felderíteni. A 2. táblázatban a Hosszúréti-pataknál az árhullámok számát már ezen időszakok kihagyásával tüntettük fel. A Határ-árok és az Aranyhegyi-patak esetében erre a lépésre nem volt szükség, ilyen jellegű hatással nem találkoztunk. A 10–12. ábrák a modellek építése során használt árhullámok főbb jellemzőit mutatják.



10. ábra: Összesítő grafikon az Aranyhegyi-patakon levonult árhullámokról 2017. december 15. és 2021. augusztus 17. között (a szerzők szerkesztése)



11. ábra: Összesítő grafikon a Határ-árkon levonult árhullámokról 2017. december 15. és 2021. augusztus 17. között (a szerzők szerkesztése)



12. ábra: Összesítő grafikon a Hosszúréti-patakon levonult árhullámokról 2013. május 3. és 2018. szeptember 5. között (a szerzők szerkesztése)

Az előrejelzéshez használt modell felépítése

A modellek építése az R programozási nyelv „caret” könyvtára felhasználásával történt, a neurális hálózat tanítására az „mxnet” könyvtár implementációjával. A modellek bemeneti változói a Voronoi-hálózatok segítségével a vízgyűjtőn vagy részvízgyűjtőkön becsült csapadékok különböző időbeni felbontásban, illetve az aktuális vízállás és az ezt tíz perccel megelőző vízállás különbsége. A 3. táblázat mutatja az egyes kisvízfolyásokon működő modellek főbb paramétereit.

A kezdeti előrejelző rendszert úgy hozták létre, hogy külön modellek épültek a 30, 60, 90 stb. perccel későbbi vízállások előrejelzésére. Ennek nagy hátránya volt, hogy bár a modelleket jellemző statisztikai mérőszámok külön-külön megfelelőnek tűntek, ám miután az algoritmusok függetlenek voltak egymástól, sokszor egymásnak ellentmondó, így az operatív munkában nem használható előrejelzéseket adtak. Ennek kiküszöbölésére a jelenleg használt előrejelző rendszerben a modellek célváltozója egységesen az aktuális vízállást 10 perccel követő vízállás lett. Ezt felhasználva az előrejelzés úgy készül a következő hat órára, hogy a 10 perces előrejelzés vízállását felhasználva előrejelzés készül

20 perccel későbbre, ezt felhasználva 30 perccel későbbre stb. Így mindig konzekvens, az aktuális pillanatban rendelkezésre álló csapadékadatoknak megfelelő előrejelzést kapunk.

3. táblázat: Főbb modellparaméterek (a szerzők szerkesztése)

Kisvízfolyás	Vízgyűjtők	Bemeneti változók		Kimeneti változó	Neurális háló felépítése	R ²
		Csapadék	Vízállás			
Aranyhegyi-patak	6 rész-vízgyűjtő	Előző 6 óra csapadécai 15 perces bontásban	Az aktuális vízállás és a 10 perccel korábbi vízállás különbsége	Az aktuális vízállást 10 perccel követő vízállás	3 rejtett réteg (256, 128, 64 neuron)	0,89
Határ-árok	1 vízgyűjtő	Előző 3 óra csapadécai 5 perces bontásban	Az aktuális vízállás és a 10 perccel korábbi vízállás különbsége	Az aktuális vízállást 10 perccel követő vízállás	3 rejtett réteg (256, 128, 64 neuron)	0,80
Hosszúréti-patak	3 rész-vízgyűjtő	Előző 12 óra csapadécai 1 órás bontásban	Az aktuális vízállás és a 10 perccel korábbi vízállás különbsége	Az aktuális vízállást 10 perccel követő vízállás	1 rejtett réteg (32 neuron)	0,73

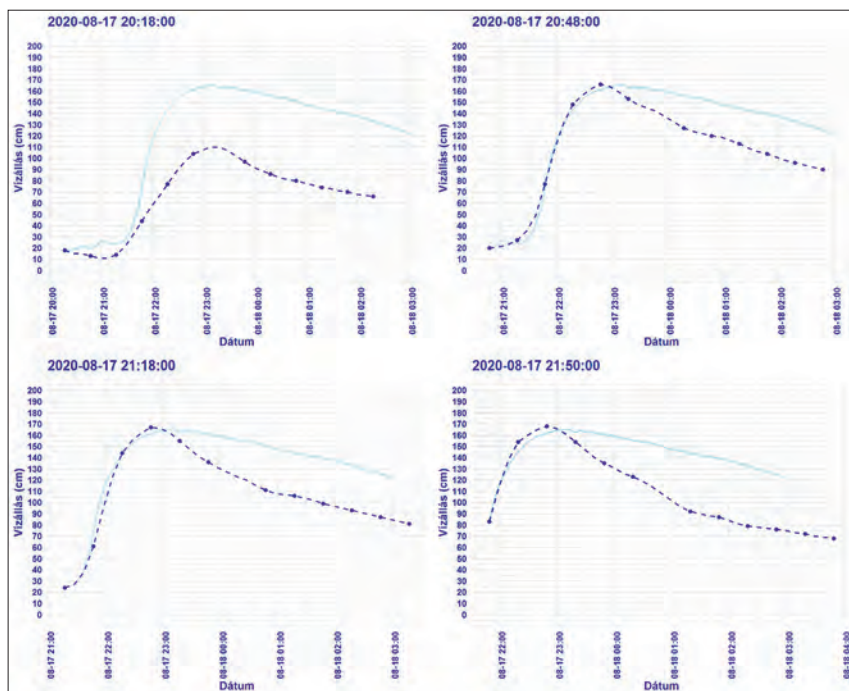
Eredmények

Az eredmények ismeretében az FCSM a modelleket éles rendszerbe helyezte, és mindhárom pataknál előrejelző rendszer működik. Amennyiben a vízgyűjtőn csapadékesemény történik, a rendszer megjeleníti az előrejelzést a patakok monitoringrendszerén, valamint az előrejelzéseket és a felhasznált bemeneti változókat tárolják későbbi elemzés céljára. Az időelőnyök igen rövidek, a Határ-árok esetében egyes esetekben a csapadékesemény kezdete után már 30-60 perccel megtörténik a tetőzés, míg a másik két vízfolyásnál ez általában 60 perctől pár óráig terjedhet. Ezen adottság miatt a beavatkozási lehetőségek szűkösek, de értesítések kiadására, veszélyhelyzet elhárítására megfelelő a rendszer.

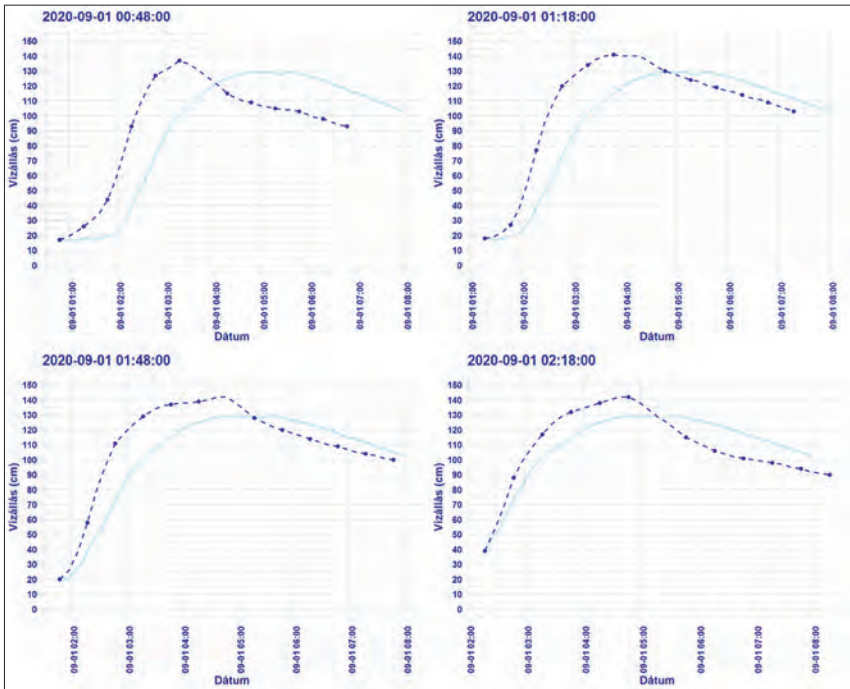
A Hosszúréti-patak esetében az elmúlt három év árhullámai alapján a modell nagy megbízhatósággal működik, a valósághoz közel határozta meg az árhullámok felfutását, és a tetőzés becslése ± 15 cm-es pontosságú volt. A tetőzés utáni lefutás előrejelzésében nagyobb pontatlanságok tapasztalhatók, illetve magas

vízállásos stagnálás esetén folyamatos csökkenést jelez előre a modell. A 13. és 14. ábra két árhullám négy időpillanatban készített előrejelzéseit mutatja. A vízkárelhárítási szempontból elsődleges fontosságú tetőző vízállás előrejelzése igen jó közelítéssel valósult meg az alkalmazott eljárás segítségével.

A két ábrán megfigyelhető az is, hogy az előrejelzés pontossága a csapadékadatok beérkezése során időben hogyan fejlődik. A 13. ábrán az árhullám megindulása előtt kb. egy órával az árhullám csúcsára még 80 cm-es hibával készül előrejelzés, fél órával később az árhullám csúcsa már 10 cm nagyságrendben helyes adatot szolgáltat. Fontos látni azt, hogy az árhullám tényleges kialakulása a valós vízállásokban csak fél órával később indul meg, és a tetőzésre mintegy két órával később kerül sor.



13. ábra: A 2020. augusztus 17-én levonult árhullám során készített vízállás-előrejelzések (sötétkék szaggatott vonal) és a vízmércén mért valós vízállások (világoskék vonal) (a szerzők szerkesztése)



14. ábra: A 2020. szeptember 1-jén levonult árhullám során készített vízállás-előrejelzések (sötét-kék szaggatott vonal) és a vízmércén mért vízállások (világoskék vonal) (a szerzők szerkesztése)

A csapadékmérő hálózat kiépítésénél Budapest közigazgatási területének megfelelő lefedése mellett elsődleges cél volt, hogy nagy részletességgel tudjuk rögzíteni a Hosszúréti-patak vízgyűjtőjén átvonult csapadékokat, így a modell sok évre visszamenő és pontos adatokkal tud dolgozni.

Az Aranyhegyi-patak és a Határ-árok esetében az üzembe helyezés óta nem történt jelentős csapadéktevékenység, így itt csak a modell építéséhez használt adatokon végzett tesztekre tudunk támaszkodni az éles üzemben várható pontosság becsléséhez. Ennek meghatározásához minden árhullám esetében külön modellt tanítottak be az éles üzemben lévő modell paramétereivel, de az adott árhullám adatainak kihagyásával. Az így kapott modellt alkalmazva az árhullámon elfogulatlan képet kaphattunk, hogy hogyan viselkedik az algoritmus

ismeretlen adatokkal találkozva, mennyire jól másolja az adott vízfolyás általános lefolyási viszonyait.

Ennek alapján a Határ-árok esetében a Hosszúréti-patakhoz hasonló pontoságú előrejelzések várhatóak. Az árhullámok 80%-ában a tetőzés magasságát 15 cm-es pontossággal becsülte a modell, és jól közelíti a tetőzés időpontját, valamint az árhullám fel- és lefutását. A kicsi, alig 14 km²-es vízgyűjtő terület működésének megtanulásához a rendelkezésre álló 3,5 év adatai elegendőnek bizonyultak. A pontosságot segíti a csapadékmérőkkel való részletes lefedettség, a csapadébecslés nagy pontossággal elvégezhető.

Az Aranyhegyi-pataknál ennél rosszabb eredményt kaptunk, csak 60%-ban marad a tetőzés magasságának becslése a 15 cm-es tartományban, valamint a tetőzés időpontjának és az árhullám fel-, illetve lefutásának előrejelzése még bizonytalan. Ennek fő okai, hogy a vízgyűjtő nagy (114 km²) és komplex (hat részvízgyűjtőre kellett osztani a legjobb eredmények eléréséhez), illetve csapadékmérővel rosszul lefedett. A csapadébecslés számítása nagy részben négy mérő alapján történik, míg a jóval kisebb vízgyűjtőjű Határ-ároknál öt mérő van. Emellett kevés árhullámról áll rendelkezésre adat a vízgyűjtő bonyolult viszonyainak megtanulásához.

Összefoglalás, javaslatok

A többéves csapadék- és vízállásidősoroknak köszönhetően lehetővé vált egy neurális hálón alapuló vízállás-előrejelző rendszer kiépítése az FCSM-nél. Az előrejelző rendszer a tapasztalatok szerint a Hosszúréti-patak esetében megfelelően működik. A Határ-árkon az igen gyors lefutású árvizek miatt csak a korai figyelmeztetés valósulhat meg. Az Aranyhegyi-patak esetében a vízgyűjtő terület nagysága és a viszonylag kevés csapadékvízmérő berendezés miatt az előrejelzés egyelőre bizonytalan. Az Aranyhegyi-patak vízgyűjtő területén további csapadékvízmérő állomásokat kell kihelyezni, hogy a terület lefedése és ezzel az előrejelző modell adatellátása javuljon.

Az előrejelzések pontossága a modellek rendszeres, új adatokat is tartalmazó újratanításával folyamatosan javítható. A modellek önálló automatikus újratanulása bár technikailag megoldható lenne, bevezetését két okból nem tervezzük. Egyrészt nagy erőforrásigénye miatt nem szeretnénk ezt az éles rendszeren futtatni, másrészt a bemeneti adatok kézi, szakértői ellenőrzése továbbra is szükséges a tanítás előtt.

A továbbfejlesztés egyik lehetősége az SMS-alapú jelzőrendszer kiépítése, amely alkalmazásával egy adott (beállított) vízállás-küszöbérték meghaladása után a rendszer automatikus üzenetet küld az érintetteknek, hogy a szükséges intézkedéseket elvégezhessék.

További fejlesztési lehetőséget jelent a rendszer kiépítése a főváros többi vízfolyásán, vagy akár a csapadékvíz elvezetésében használt csatornahálózaton. Ennek adatait felhasználva hasonló előrejelző rendszer felállítására van lehetőség, a betanításhoz elegendő mennyiségű adat begyűjtését követően.

A csapadékmérők adatai alapján végzett vízállás-előrejelzés alkalmazható vízfolyások, de akár csatornák korai (néhány órás), nowcasting jellegű figyelmeztető rendszerének kialakítására. Az operatív alkalmazásra csak azokban az esetekben kerülhet hatékonyan sor, ahol a reakcióidő erre lehetőséget ad.

Felhasznált irodalom

1. Watson RT, Core Writing Team, editors. Climate change 2001: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the third assessment report of the IPCC [Internet]. Cambridge: Cambridge University Press; 2001 [cited 2021 Nov 12]. 408 p. Available from: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf
2. Bartholy J, Pongrácz R. Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. Glob Planet Change [Internet]. 2007 May [cited 2021 Nov 12];57(1):83–95. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.002>
3. Chen Y, Xu Y, Yin Y. Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin. Quat Int [Internet]. 2009 Oct [cited 2021 Nov 12];208(1–2):121–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2008.12.014>
4. Rácz T, Bana Zs, Székely Á, Szilágyi M. Csapadékmérő hálózat fejlesztése Budapesten. Konferencia-előadás és dolgozat. Magyar Hidrológiai Társaság XXX. Vándorgyűlése, Kaposvár, 2012. július 4–6.
5. Rácz T. Adalékok a Hosszúréti-patak vízjárásához. Konferencia-előadás és dolgozat. Magyar Hidrológiai Társaság XXXIV Vándorgyűlése, Debrecen, 2016. július 6–8.
6. Bailer-Jones CAL, Gupta R, Singh HP. An introduction to artificial neural networks. In: Gupta R, Singh HP, Bailer-Jones CAL, editors. Automated data analysis in astronomy. New Delhi, India: Narosa Publishing House; 2001. p. 51–68.

7. Mehlig B. Machine learning with neural networks. An introduction for scientists and engineers [Internet]. Cambridge: Cambridge University Press; 2021 [cited 2021 Nov 12]. 260 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108860604>
8. Liebling TM, Pournin L. Voronoi diagrams and Delaunay triangulations: Ubiquitous siamese twins. Documenta Mathematica. 2012 Jan;18(ISMP):419–431.
9. Di ZW, Maggioni V, Mei Y, Vazquez M, Houser P, Emelianenko M. Centroidal Voronoi tessellation based methods for optimal rain gauge location prediction. J Hydrol. 2020 May;584:124651.

Kozák Péter

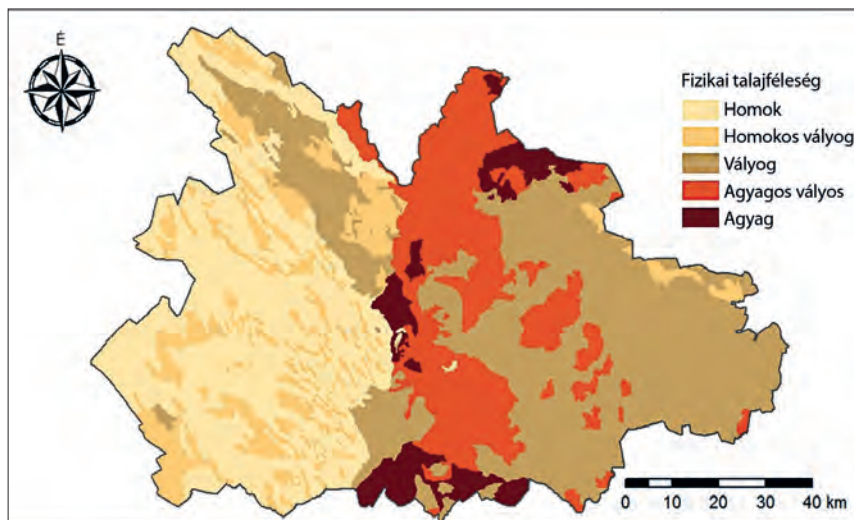
Csapadékvíz-gazdálkodási kérdések az Alsó-Tisza vízgyűjtőjén

Bevezetés

Az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság területe az Alföld nagytájon helyezkedik el. Működési területe érinti a Körös–Maros köze középtáját, a Duna–Tisza közí sík vidéket, az Alsó-Tisza-vidék középtáját. A középtájakat az alábbi kistájak építik fel: Körösszög, Csongrádi-sík, Békési-hát, Marosszög és Dél-Tisza völgye, Bugaci-homokhát keleti fele, a Dorozsma-Majsai-homokhát, a Kiskunsági löszös hát, a Bácskai löszös síkság, valamint a Dél-Tisza-völgy [1].

A terület felszínének mai képét leginkább a negyedidőszakban bekövetkezett változások határozzák meg. A táj kialakításában fluvialis felszínformáló folyamatok domináltak, a szél felszínformáló hatása csak korlátozott volt. Az eolikus felszínformálás csak kevés morfológiai formát hozott létre, azonban ezen a területen számottevő szerepe volt. A löszös felszínborítás eredményeként néhol még kivehetők az egykori vízhálózat nyomai, ám ezek az intenzív mezőgazdasági művelés miatt nagyrészt eltűntek. A szabályozási munkák megkezdése előtti időszakban az alegység területén kiterjedt mocsárvilág virágzott, amelynek táplálói a Maros és egykori vízrendszerének maradványai voltak.

A terület talajadottságai jellemzően heterogénnek minősíthetők. Nagyobb részén az öntéstalajok dominálnak, azonban a Duna–Tisza közí Homokhát-ság területén a homoktalajok a jellemzőek. Általánosságban kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságú talajok határozzák meg a felszínközeli rétegek vízgazdálkodási viszonyait (1. ábra).



1. ábra: Az Alsó-Tisza vízgyűjtőjének jellemző talajtípusa (készítette: Benyhe B.)

A terület éghajlata mérsékelt meleg, illetve meleg-száraz. Az évi napsütéses órák száma kiemelkedően magas, 2000-2100 óra körüli, ettől csak kismértékű eltérés tapasztalható. Az évi középhőmérséklet 10,2–10,7 °C. Az évi csapadék-összeg 500–620 mm között változik, de az utóbbi évtizedekben csökkenés, illetve a szélsőségek erősödése tapasztalható. Víziányos időszakban akár egyhavi csapadékmennyiséggel is kevesebb hullhat a területre. A Pálfa-féle besorolás szerint eddig előfordult aszályok alapján az erősen aszályos, nagyon erősen aszályos zónába tartozik ez az alegység. A belvíz-veszélyeztetettségi térkép szerint az alegység mély fekvésű ártéri területei a közepesen, a legmélyebb térszínek pedig az erősen belvízveszélyes kategóriába tartoznak. A Csongrádi-sík magasabb területei mérsékelt kockázatosak, s csak a Békési-hát „magaslatai” mentesülnek a belvízi elöntés alól. A legmélyebb, csak a Torontáli-öblözetet, illetve Battonya déli részét érintő térszínek az erősen belvízveszélyes kategóriába tartoznak.

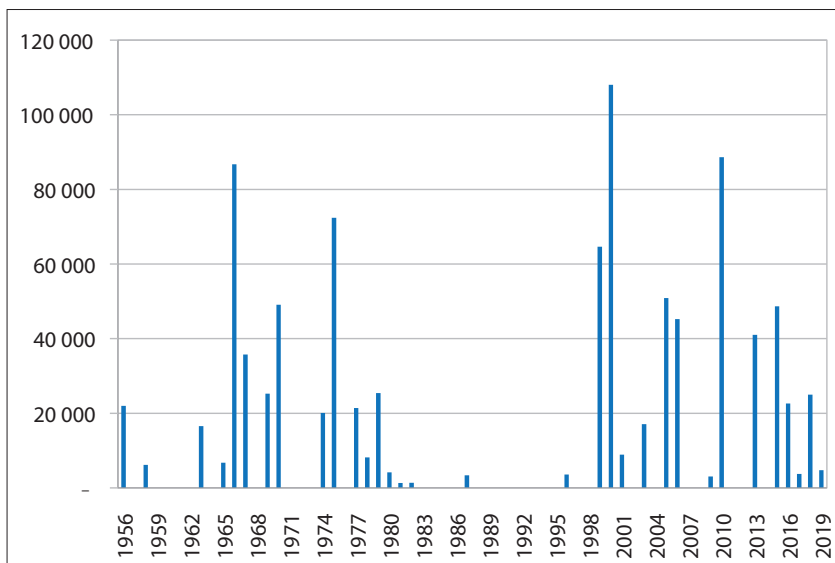
A téli félévben kialakuló hótakaró vastagsága átlagosan 18–35 cm, a hótakarós napok száma 28–35 között változik. Az uralkodó szélirány északi, illetve déli, a szélsősség átlagos értékei nem haladják meg a 3 m/s-ot.

A térség fő vízfolyása a Máramarosi-havasokban 1000 m körüli magasságban eredő Tisza, amely a Rahó mellett egyesülő két ágból áll össze. Jelenlegi teljes hossza 962,2 km, amelyhez 157 200 km² vízgyűjtő terület tartozik, ebből a magyarországi szakaszára 596 km és 47 000 km² jut. Vízjárása a kontinentális hatás miatt erősen ingadozó. Az ingadozó vízhozamot (ebben akár 120-szoros különbség is előfordulhat) a vízgyűjtő terület középhegység jellegű domborzata, valamint a csapadékviszonyok is befolyásolják. A tengerszint feletti magasság hatással van a vízgyűjtő terület csapadékmennyiségére (a nagyobb magasság fokozza az esőgyakoriságot), amely a maximumát a hegyek lejtőin, a légtömegek élénk felemelkedésének zónájában éri el. A Tiszát kora tavaszi nagyvizek (a bekövetkező hóolvadások miatt), másodmaximumok (ritkábban) jellemzik, azonban nyár elején és ősszel is kialakulhatnak árhullámok (októberben és novemberben) a Földközi-tenger felől érkező csapadék hatására.

A terület vízföldtani adottságairól elmondható, hogy a talajvizek nyugalmi szintje több métert süllyedt az elmúlt harminc évben. A rétegvizek szintjében tapasztalt süllyedés az 1990-es évektől kezdődően megállt, és csekély mértékű nyomásemelkedés tapasztalható. A térség jelentős vízföldtani potenciálja a terület alatt elhelyezkedő termálvízkincs, amelyet jellemzően energetikai céllal termelnek ki, az 1960-as évektől kezdődően intenzíven. A kitermelés fenntartható folytatását a változó jogszabályi környezet nem segíti elő. Az energetikai céllal kitermelt vízkészletek visszasajtolásának elmaradása következtében a termálvíz-adó rétegekben folyamatos nyomáscsökkenés figyelhető meg.

A vizsgálati területen 114 település található, ebből négy megyei jogú város. A belvíz megjelenése a terület természeti adottságaival kapcsolatos. A kicsiny terepesések következtében a felszíni összegyülekezési folyamatok a talaj felszíne helyett a talajba történő beszívárgás által mennek végbe. Ezáltal a felszínen összegyülekezett vízmennyiség rendkívül lassan jut el a befogadókhöz, így felszíni/belvízi elöntések alakulnak ki.

A térség további sajátosságai azok a felszín alatti áramlási sajátosságok, amelyek eredményeként a terepen kialakuló elöntések keletkeznek. A kialakuló elöntések jellemzően hosszú időre kiterjedően borítják be a területet. A belvízi elöntéseket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A belvízi elöntések maximális nagysága (hektár) (készítette: Kozák P.)

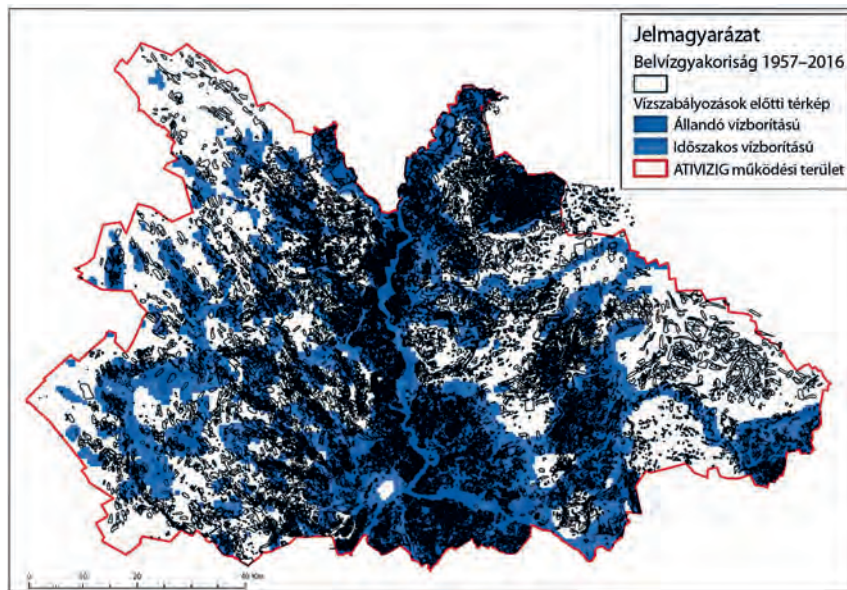
A területi belvizek kialakulása alapvetően két időszakhoz köthető [2]. A telet megelőző hosszabb felhalmozódási időszakokat követő tavaszi csapadékos időjárás miatt a tavaszi hónapok tekinthetők belvizesnek, illetve a nyári nagycsapadékok következtében a kora nyári időszakban jellemzők a belvízi elöntések. A belvíz időbeni megjelenésére – hasonlóan az árvizekéhez – az jellemző, hogy több hullámban jelentkezik. Ezért a belvízi készülség fenntartása sokszor akár 6-8 hónapig is indokolt. A belvíz a terület domborzati adottságai következtében a településeket is komoly kihívások elé állítja. Egyrészt azokat szükséges a külterületekről érkező belvízi terhelésektől mentesíteni. Másrészt a belterületeken keletkező belvizek, csapadékvizek elvezetését biztosítani kell. A belterületekről történő vízelvezetés hatékonyságát jelentősen befolyásolja a település csapadécsatorna-hálózatának kiépítése, illetve annak aktuális állapota. A belvízi időszakok során több településnél bizonyosodott be, hogy a domborzati

adottságokhoz nem kellő körültekintéssel megtervezett és kiépített belterületi csatornahálózat miatt keletkeztek belterületi elöntések. A települések esetében további, akár belvízi elöntésekkel járó problémákat okoztak azok a nem kellően átgondolt lakóövezeti fejlesztések, amelyek során a korábban lefolyástalan belterületi ingatlanokat lakóingatlanná nyilvánították. Ezeknél időszakonként visszatérő probléma, hogy a kialakuló belvíz miatt a lakóingatlanok átmenetileg használhatatlanná válnak.

Az alföldi térségek külterületi jellemzője a tanyás szerkezet, amely hosszú évszázadok óta a táj sajátossága. A domborzati adottság következtében ezek a lakóingatlanok is ki vannak téve a belvíznek, mentesítésük sokszor csak az ingatlan értékét többszörösen meghaladó költséget igénylő műszaki beavatkozással valósítható meg.

A belterületek felértékelődésével, illetve gazdasági potenciáljuk fejlődésével a belvizeket elvezető rendszer egyre több terhelést kap, olyan vízbevezetések formájában, amelyek korábban nem voltak jelen. Egyrészt a belterületek kiépítésével a csapadékvizek összegyülekezése és elvezetése révén a korábbinál nagyobb víztömegek érkeznek a belterületekről. A térség geotermikus adottságainak kiaknázásával jelentősen növekednek a termálcsurgalékvíz-bevezetések és az általuk szállított hozamok mind a belterületek, mind a külterületek esetében. A térség öntözővíz-szállításában is jelentős szerepet töltenek be a belvízcsatornák, hiszen ezeken keresztül – folyásirányukkal ellentétesen –, a műtárgyakkal létrehozott duzzasztások által történik az öntözővíz-szolgáltatás. A rendszerek ilyen mértékű igénybevétele sokszor azt eredményezi, hogy a vízjogi engedélyekben nyilvántartott elvezetési kapacitás nem áll rendelkezésre, ami zavarokat okozhat a fölös vizek elvezetésében.

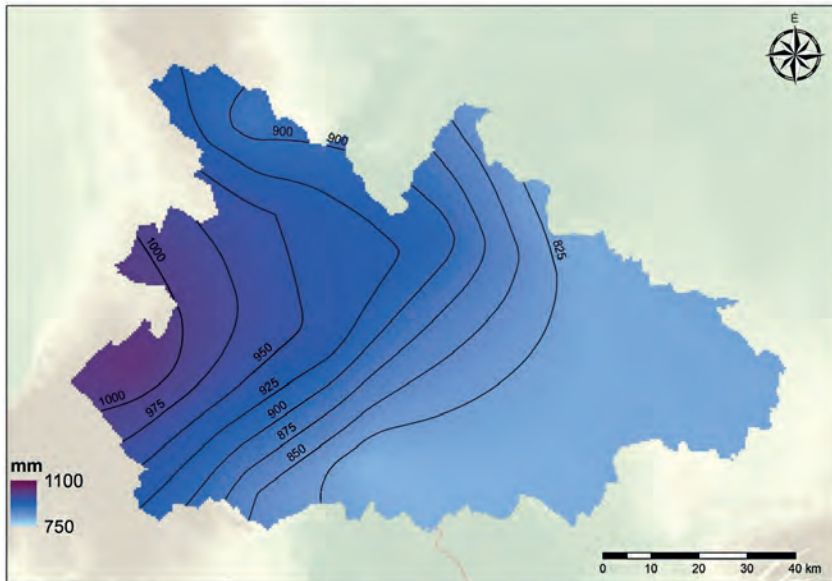
Habár a vízelvezető művek fejlesztése töretlenül folytatódott az 1980-as évek második feléig, a 2. ábra alapján megállapítható, hogy a fejlesztések eredményeként a belvízi elöntések kialakulásában nem mutatható ki csökkenés. Amennyiben összevetjük a vízszabályozások előtti elöntött területeket (3. ábra) a belvízgyakoriség térképével, megállapítható, hogy az elöntések súlypontja jellemzően nem változott.



3. ábra: A vízszabályozási munkák megkezdése előtt időszakos vízborítás alatt lévő területek és a belvízgyakoriság térképe 1956–2015 között (készítette: Benyhe B.)

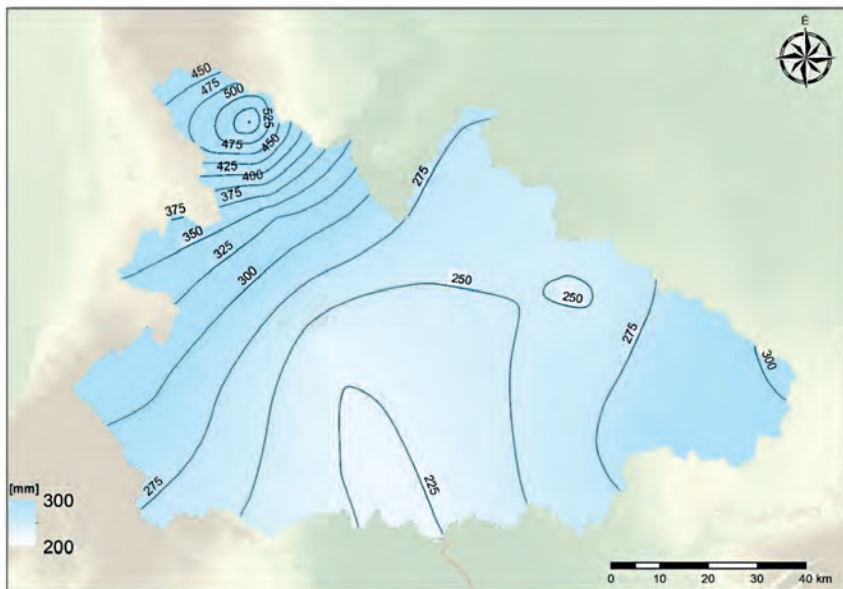
A csapadék területi előfordulásának jellemzői

A vizsgálati területre az Alföld csapadékviszonyai a jellemzőek. A terület éves csapadékösszege 560 mm, azonban az egyes évek csapadékossága egymástól jelentősen eltérő lehet. A közelmúltban rendkívül csapadékos és csapadékszegény időszakok is jelentkeztek. Az egyik legcsapadékosabb esztendő 2010-ben volt, amikor az éves csapadékösszeg elérte a 940 mm-t (4. ábra). Ebben az évben rendkívüli belvízi események voltak a vízgyűjtőn, még a legmagasabb készültségi fokozatok elrendelése is szükségessé vált.



4. ábra: Az éves csapadékösszeg területi eloszlása 2010-ben (készítette: Fehérváry I.)

A csapadék területi előfordulásának másik szélsőségét a csapadékszegény időszakok jelentik, amelyek nagy gyakorisággal tapasztalhatók ezen a területen. A közelmúltban a 2000. év emelhető ki, ekkor az éves csapadékösszeg területi átlaga 330 mm volt. Látható, hogy a csapadék és a felszíni lefolyások következtében a térségnek hektikusan változó vízmennyiségek kezelésével kell megbirkóznia. A helyzetet árnyalják a felszín alatti vizek, amelyek áramlási irányai több térségben nem esnek egybe a felszíni vizek áramlási irányjaival, így vannak olyan térségek, amelyeket nem a felszíni vizek előntése fenyeget belvizek esetén, hanem a felszín alatti vízáramlások következtében kap jelentős terhelést.



5. ábra: Az éves csapadékösszeg területi eloszlása 2010-ben (készítette: Fehérváry I.)

A csapadék éven belüli eloszlására általában két maximumérték jellemző, a kora tavaszi és a nyári időszakban, a legnagyobb belvízi események is ezekhez az időszakokhoz köthetők.

Külterületi vízelvezető hálózat

A térség fölös vizeinek levezetésére jelentős hosszúságú felszíni vízelvezető hálózatot építettek ki, amelynek elemei a vízelvezető csatornák, a közbenső és torkolati szivattyútelepek, a vízkormányzó műtárgyak és a különböző belvízi és szükségtározók. A vízelvezető csatornarendszer tulajdonos szerinti megoszlását az 1. táblázat, az üzemeltető szerinti megoszlását a 2. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Vízvezető csatornarendszer tulajdonos szerinti megoszlása (a szerző szerkesztése)

Tulajdonos	Hossz (km)
Állami	4168
Önkormányzati	561
Magán	743
<i>Összesen</i>	<i>5472</i>

2. táblázat: Vízvezető csatornarendszer üzemeltető szerinti megoszlása (a szerző szerkesztése)

Üzemeltető	Hossz (km)
Állami	4507
Önkormányzati	222
Magán	743
<i>Összesen</i>	<i>5472</i>

A fenti adatok alapján megállapítható, hogy a rendszerek több mint 76%-a állami tulajdonban, 82%-a pedig állami kezelésben van [3].

Az összegyűlekezés folyamatát alapvetően meghatározza a területen kiépült felszíni vízvezető hálózat. Ennek lényeges elemei a vízfolyások, azonban ezek közös jellemzője, hogy rendkívül csekély a vízszínesésük. Ennek következtében szinte folyamatos a rendszerben a visszaduzzasztás, emiatt a csatornahálózat nagyon csekély hatékonysággal képes feladatát ellátni. A csekély vízszínesések következtében a vízvezető hálózat fenntartási igénye jelentős, de erre források a védekezési időszakokon kívül csak csekély mértékben állnak rendelkezésre.

A vízrendszerek működésének hatékonysága vizsgálatához fontos azt megjegyezni, hogy a vízvezető rendszerek túlnyomó részben az ötvenes és a nyolcvanas évek között épültek, tervezésük során az elsődleges szempont a mezőgazdasági termőterületek növelése volt. Ebből a célból olyan területeket is csatornáztak, amelyek a korábbi vízrendszerben elsődlegesen tározási feladatokat láttak el, például semlyékek. Ezek a funkcióváltások azonban nem voltak teljes mértékben sikeresek, és az így kieső tározási kapacitások hiányoznak a rendszerekből. E területek használatában a rendszerváltás után következő időszakok sem hoztak megoldást, mert magántulajdonba kerültek, és elsődlegesen a mezőgazdasági termelés révén realizálható haszonszerzés eszközei maradtak.

Tulajdonosaik – habár rét-, legelőhasznosítással rendelkeznek – törekednek a leg-rövidebb elöntési időszakok eltűrésére, ezáltal tovább csökkentve azok tározás által kifejtett pozitív hatását.

A fenntartási hiányok megoldására egyrészt fontos a szükséges pénzügyi források biztosítása, azonban nagyon időszerű lenne a térségi vízelvezetési gyakorlat napjaink igényei szerinti felülvizsgálata is. Ennek során meg kellene határozni a vízelvezető hálózattal kapcsolatos mennyiségi elvárásokat (például elvezetendő vízhozamok, elvezetési irányok stb.), amelyek alapján majd szükség szerint a rendszerek átalakítását, megújítását végre kellene hajtani. Sajnos a rendszerváltás óta eltelt több mint negyven évben sem volt arra lehetőség, hogy az ilyen jellegű létesítményekkel kapcsolatos társadalmi, gazdasági elvárásokat meghatározzák. Ma is a hatvanas években meghatározott társadalmi, gazdasági igények szerint kiépített vízelvezető rendszerekkel kísérjük meg a jelenkori társadalmi, gazdasági – meg nem fogalmazott – igényeket kielégíteni, természetesen csekély hatékonysággal. Mind a kül-, mind pedig a belterületek tekintetében alapvetően eltérnek az igények a szocializmus időszakában megfogalmazott elvárásoktól!

Ami jelenleg is megoldatlan

A fölös vizek kezelésének mindennapi gyakorlata világosan rámutatott arra, hogy a terület felszíni morfológiai adottságai következtében rendkívül csekély vízszínesésű rendszerekkel kell a vizek kezelését megoldani. A térség főcsatornáiban a 10 cm-es kilométerenkénti vízszínesés sem ritka. Ilyen áramlási adottságok mellett rendkívül érzékenyek a rendszerek a meder érdekességére, amelyet csak folyamatos karbantartással lehet az optimális értéken tartani. A vízelvezetés biztosítása érdekében a rendszerekben több száz szivattyútelep létesült, közülük 130-at a Vízügyi Igazgatóság üzemeltet. Csak ezekkel az objektumokkal lehetséges a megfelelő hatékonyságú üzem biztosítása, azonban ezek is nagy fenntartási igényű létesítmények, és fenntartási forrásaik jelenleg sem folyamatosan biztosítottak [4].

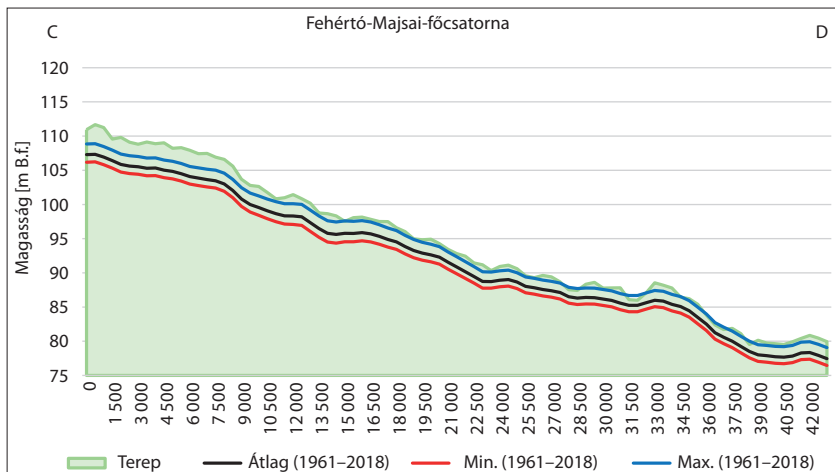
A rendszerek üzemeltetésének gyakorlata rávilágított arra, hogy azok sokkal nagyobb mértékben kitettek a felszín alatti áramlási viszonyok hatásainak. A felszíni vízelvezető rendszerek méretezési gyakorlatában a felszín alatti

áramlásoknak sokkal kisebb szerepet tulajdonítottak, mint az a terepi körülmények között adódik. Ennek feloldására javasolható a méretezési gyakorlat ez irányú felülvizsgálata. Ez a jelenség mutatható ki a Duna–Tisza közti Homokhátság keleti lejtőjén elhelyezkedő területeknél (6. ábra), amelyeknél a jelentős felszín alatti áramlások következtében felszíni elöntések is megjelenhetnek (9., 10. ábra), akár területi csapadék nélkül is.

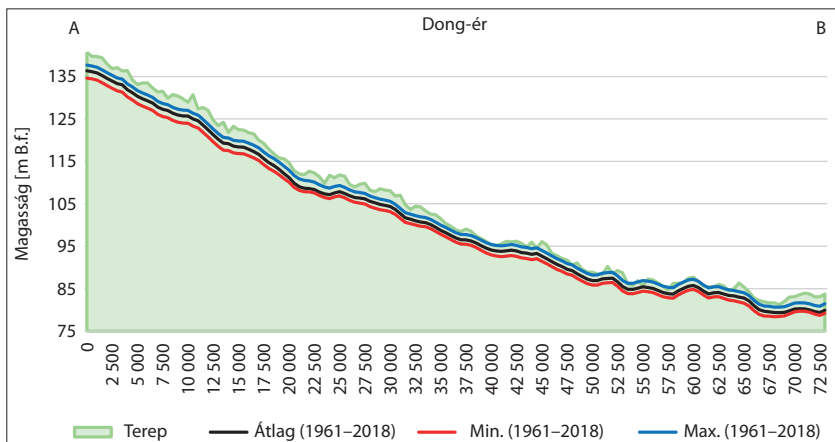


6. ábra: Felszín alatti áramlások vizsgálatába vont szelvények (készítette: Benyhe B.)

A 7. és a 8. ábrákon kivetített talajvízfelszínek szélső állapotokhoz tartozó vízszinteket mutatnak a térképen feltüntetett szelvények mentén.



7. ábra: C–D szelvény (készítette: Benyhe B.)



8. ábra: A–B szelvény (készítette: Benyhe B.)

Ezekből látható, hogy a Homokhátság területén a talajvízszintek maximális értékei a terepfelszint is eléri, a felszínközeli zónát telítik, akár elöntéseket is eredményeznek. Ezek alapvetően nem helyi csapadékok következtében keletkeznek,

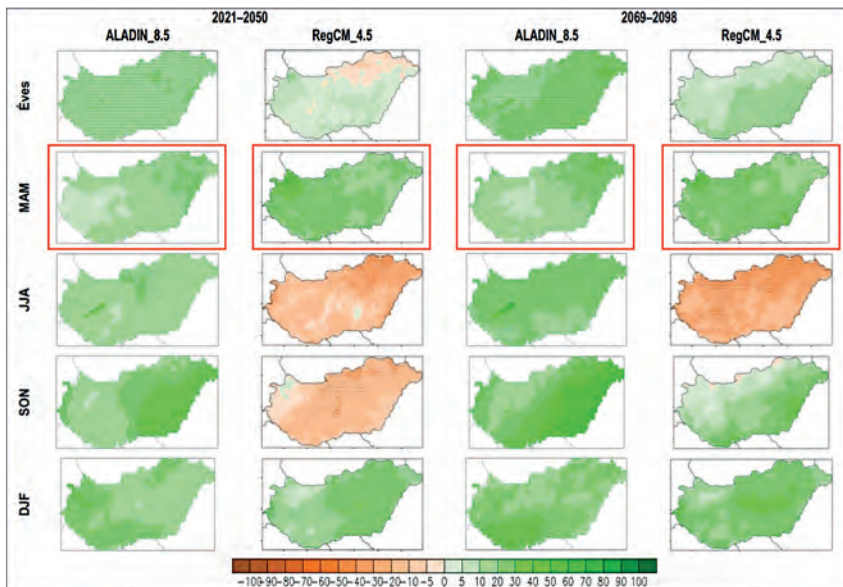
hanem a telített talajvízes rétegben kimutatható nyomáshullámok eredményeként állnak elő. Ezek felszíni hatásai csak rendkívüli költségek révén ellensúlyozhatók, hiszen a felszín alól a felszínre érkező terheléseket, áramlásokat csak vízelvezető rendszerek folyamatos üzemeltetésével lehet vízteleníteni. Ennek kiépítési és üzemeltetési költségének viselője nem meghatározott.

Mivel a külterületi elvezetőrendszerek a fentiekben részletezett hatások alatt állnak, így azok kapcsolata a belterületi elvezetőrendszerekhez sok konfliktust hordoz. A belterületekről történő dinamikus vízelvezetési igény a külterületi vízelvezető rendszerekkel csak külön beavatkozásokkal biztosítható. A belterületről érkező vízelvezetési igényt, amelynek csak egyik összetevője a csapadékvíz (a tisztított szennyvíz, használt termálcsurgalékvíz is jelentős mennyiségű), csak abban az esetben képes a rendszer kielégíteni, ha annak fenntartottsága magasabb műszaki színvonalon valósul meg. Ehhez azonban az érintett üzemeltőknek a közcél mértékét meghaladó igényük kiszolgálására többlet-fenntartáshozjárulást kell fizetniük [1]. Sajnálatosan napjainkban a közműszolgáltatók a korábban általuk is elfogadott gyakorlatról nem vesznek tudomást, és az általuk megjelenített többletigény kielégítéséhez szükséges anyagi forrásokat az államtól várják, holott az egyértelműen önkormányzati feladatokhoz kapcsolódik [3].

Klímaváltozás

A klímaváltozásra vonatkozó prognózisok a területtel kapcsolatban jelentős változásokat vetítenek előre. Az éves csapadékok összegében nem jeleznek változást, de a csapadék éven belüli előfordulásában a jelenleginél nagyobb szélsőségek kialakulását valószínűsítik. Amennyiben azt vesszük alapul, hogy a bel- és külterületi rendszerek összhangjában jelenleg is jelentős zavarok vannak, úgy a nagyobb intenzitású belterületi csapadékok várhatóan tovább fokozzák ezeket a konfliktusokat.

Az éven belüli csapadékok változásának tendenciáit Csorvási et al. alapján [5] mutatjuk be. E szerint mind 2012–2050, mind 2050–2098 között a tavaszi időszakban (9. ábra) várható a csapadékmennyiség növekedése. Ezáltal várhatóan a jelenleg is csapadékos időszak további terhelésekkel fog jelentkezni, ami az amúgy is belvizes időszakok bel- és külterületi problémáinak fokozódását eredményezheti.

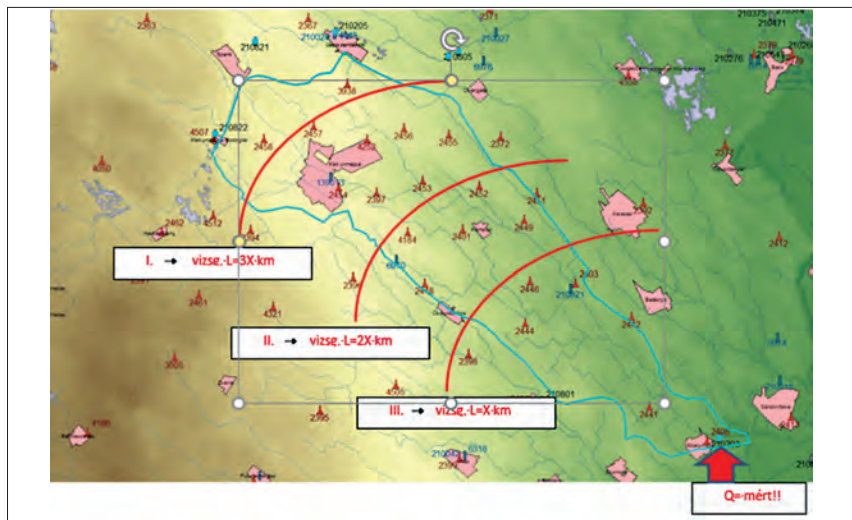


9. ábra: Az éves és évszakos csapadékösszeg átlagos változása (%) Magyarországon 2021–2050-re és 2069–2098-ra az ALADIN és a RegCM modellszimulációk eredményei alapján az 1971–2000 referencia-időszakhoz viszonyítva. A szignifikáns változást pontozás jelöli [5]

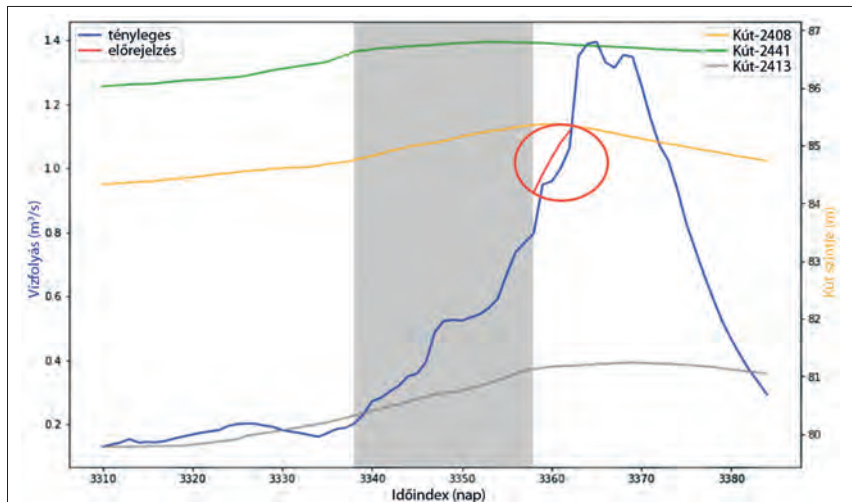
Új igények

A jelenlegi problémák és a klímaváltozás okozta prognosztizált hatások kezelésére olyan komplex megoldást kell kidolgozni, amely egyrészt a jelenlegi konfliktusok kezelését is biztosítja, másrészt a klímaváltozás miatti többletterheléseknek, új igényeknek és elvárásoknak is eleget tesz. Első lépésként meg kell határozni legalább ötvenéves távlatban a települések víztelenítése, csapadékvíz-kezelése szempontjából releváns kvantitatív terheléseket, amelyeket a vízelvezető rendszereknek kezelni szükséges. Meg kell határozni a külterületi elvezetési igényeket.

E két mennyiség ismeretében kell(ene) rögzíteni azt az elvezetési potenciált, amelyet a rendszer működtetésével biztosítani szükséges és lehetséges. Ezt követően a működtetési és fenntartási tevékenység anyagi feltételeinek meglétét kell szavatolni az üzemeltetők számára. A felülvizsgált újraméretezés során nem elég egy átlagos elvezetési érték meghatározása, hanem annak részértékeit is ki kell számítani a vízgyűjtő egyes területein. A felülvizsgálat során nem elegendő csak a felszíni csapadéktérhelés feltárása, hanem kiemelt figyelmet kell fordítani valamennyi vízterhelést okozó tényező számszerű meghatározására, mind a felszíni, mind pedig a felszín alatti vizek tekintetében. A jelenlegi tapasztalatok bebizonyították, hogy akár a felszíni, akár a felszín alatti terheléseknél komplex módon kell kezelni a terhelések mennyiségi számítását. A felszíni lefolyás esetében az eddigiekben alkalmazott méretezési elvek nem tulajdonítottak jelentős hatást a felszín alatti vizeknek, azonban számos területi tapasztalat ezt cáfolta. Ennek megfelelően bővíteni kell a felszín alatti vizek vizsgálatát is. Azonban ennek módszerét nem szerencsés kizárólag az eddigiekben alkalmazott hagyományos regressziós alapokon fejleszteni, hiszen a rendelkezésre álló nagy mennyiségű lefolyási és talajvízadat együttes vizsgálata a neurális hálózatok alkalmazásával [6] új lehetőségeket biztosít. A kérdéskörrel kapcsolatosan megalapozó vizsgálatokat végeztek el az ATIVIZIG és a Szegedi Tudományegyetem Bolyai Intézete munkatársainak közreműködésével, amelyek során öntanuló algoritmusok segítségével elemezték a lefolyás és a talajvíz kapcsolatát. A neurális hálók alkalmazásával a csapadék/talajvíz- és lefolyásértékekre kiterjedő sikeres vizsgálatokat hajtottak végre [1]. A vizsgálatok alapján kifejlesztett rekurzív neurális hálók alkalmazásával a lefolyásértékek nagy pontossággal jelezhetők előre. A neurális hálók képesek integrálni az előrejelzésbe a kiindulási adatokban tapasztalható változatosságot. Az előrejelzések a folyamatos „tanulási” folyamat révén mindig igazodnak a hatótényezőkben bekövetkezett változásokhoz. A 10. ábrán a vizsgálati területet, a fehértó-majsai belvízrendszert ábrázoljuk. Itt a csapadék- és a talajvízállás-adatok hatását vizsgálták a felszíni lefolyásértékekre. A vizsgálatok kimutatták, hogy az LSTM-modellek nagy pontossággal tudják meghatározni a felszíni lefolyásértékeket a talajvízállás-adatokból. A vizsgálati eredményeket a 11. ábra mutatja be, a piros ellipszis emeli ki a kékkel jelzett mért és a vékony piros vonallal jelölt előre jelzett lefolyásértéket.



10. ábra: Rekurzív neurális hálózatok vizsgálati területe (készítette: Kozák P.)



11. ábra: Rekurzív neurális hálózatok alkalmazásával meghatározott lefolyási adatok pontossági vizsgálata (készítette: Vízy Zs.)

Természetesen a vízterhelések tekintetében valamennyi lehetőséget fel kell tárni azok kezelésével kapcsolatban. Kiemelt figyelmet kell fordítani a tározási lehetőségek feltárására és lehetőség szerinti alkalmazására, azonban az eddigi tapasztalatok ráirányították a figyelmet arra, hogy a jelenlegi jogi és társadalmi környezetben az egyéni „érdek” és „jog” a közösségi elvárások és igények fölé helyeződik, így számos esetben hiúsult meg valamely közösségi tározó az érintett terület tulajdonosa együttműködésének hiányában. Valószínűsíthető, hogy a műszaki, méretezési eljárások fejlesztése mellett hangsúlyt kell fektetni a megoldások „társadalmasításának” megvalósítására is.

Összegzés

A dolgozatban összefoglaltuk az alsó-tiszai vízgyűjtők csapadékvíz-gazdálkodásával kapcsolatos legfontosabb kérdéseket. Az elemzésből megállapítható, hogy a természeti adottságok kapcsán a csapadékvíz-gazdálkodás csak rendkívül körülményes, komplex megközelítéssel lehet eredményes az érintett vízgyűjtőn. A meglévő vízelvezető rendszerekkel kapcsolatos tapasztalatok alapján javasolt a rendszerek felülvizsgálata. A felülvizsgálatnak azonban ki kell terjednie a vízterhelések teljes körére, mind a felszíni, mind a felszín alatti vizekre. Tekintettel a vizsgálatba bevonandó adatok nagy számára, illetve azok rendkívül bonyolult kapcsolatrendszerére, javasolt az öntanuló algoritmusok alkalmazása, amelyek eredményeire a dolgozatban utalunk is. A műszaki jellegű feladatokon túlmutatóan azonban nagy hangsúlyt kell(ene) fektetni a jogi-társadalmi környezet formálására is, mivel a műszaki jellegű beavatkozások nem lehetnek hatékonyak széles körű társadalmi elfogadottság és támogatás hiányában.

Felhasznált irodalom

1. Kozák P. Felszíni lefolyások változása a Duna-Tisza közti Homokhátság dél-keleti lejtőjén a klímaváltozás tükrében. In: Farsang A, Ladányi Zs, Mucsi L, szerkesztők. Klímaváltozás okozta kihívások – globálistól lokálisig. Szeged: SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet; 2020. p. 109–117.
2. Kozák P. Az Alsó-Tisza vízkárelhárításának 100 esztendeje. In: Hábermayer T, szerkesztő. Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek. Szekszárd: Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság; 2020. p. 95–106.

3. Priváczkíné Hajdu Zs. A települések vízgazdálkodási helyzetének hatása a belvíz-kárral szembeni érzékenységre. *Hadmérnök*. 2018. szeptember;13(3):274–289.
4. Priváczkíné Hajdu Zs, Muhoray Á. Improving resilience of settlements situated in plain areas in relation to inland excess water flood and drought risk. *Polgári Védelmi Szemle*. 2020;13(Különszám):238–266.
5. Csorvási A, Illy T, Sábitz J, Szabó P, Szépszó G, Zsebeházi G. A jövőre vonatkozó projekciók eredményeinek együttes kiértékelése, bizonytalanságok számszerűsítése [Internet]. Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat; 2016 [letöltve 2021. november 30.]. 51 p. Elérhető: www.met.hu/downloads.php?fn=/RCMTer/doc/reports/D4.2_C13-10_kozos-kiertekeles_projekcio.pdf
6. Fehérvári I, Kiss T. Riparian vegetation density mapping of an extremely densely vegetated confined floodplain. *Hydrology* [Internet]. 2021 Nov [cited 2021 Nov 30];8(4):176. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology8040176>

III. rész

A stratégia, gazdaságpolitika és oktatás
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

Máthé Katalin

A kulcsvonalmódszer alkalmazása vonal menti struktúrák létesítésére

A települési csapadékvíz hasznosításának szabályozási háttere Magyarországon

A publikáció bevezetéseként jelen fejezetben a magyarországi szabályozást ismertetjük röviden.

A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény és az OTÉK

Magyarországon az általános építészeti gyakorlatban a víz bármilyen formájának jelenléte fenyegetésként jelentkezik, amelyre a szakmai válaszadás a védekezés valamilyen formája. Annak ellenére, hogy az adott ingatlanra hulló csapadékvíz a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvényben az ott lakó tulajdonát képezi, annak hasznosítása kevés esetben történik meg. Az önkormányzatok nagy erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy a telken belüli csapadékvíz-elvezetés kialakítását a tulajdonosok az Országos Településrendezési és Építési Követelményekről (OTÉK) szóló 253/1997. (XII. 20.) kormányrendelet 47. paragrafusa által kötelező jelleggel előírtaknak megfelelően oldják meg, azaz hogy a víz a terepen, a szomszédos telken és az ott lévő építményekben, illetve a közterületen kárt (áztatást, kimosást, korróziót stb.) ne okozzon, és hogy a rendeltésszerű használatot ne akadályozza.

Általánosságban kevesen érvényesítik tulajdonosi jogait, a csapadékot ritkán gyűjtik vagy szivárogtatják el ott, ahol lehullott, és az elvezetés számos rendelettel korlátozott útját választják. Az OTÉK szerint a csapadékvíz a szomszédos magáningatlanra nem vezethető át, valamint a közterületi nyílt vízelvezető árokba is csak zárt szelvényű vezetékben, az utcai járdaszint alatt juttatható el. A közúti közlekedésről szóló 1988. évi I. törvény 42. paragrafusának 3. bekezdése alapján pedig „a közút műtárgyának minősülő árokba, csatornába vagy más

vízvezető létesítménybe a közút területén kívüli területekről származó vizeket bevezetni csak a közút kezelőjének hozzájárulásával szabad” [1].



1. ábra: Az ingatlanok tulajdonosai a csapadékvizet még a növényzet öntözésére sem használják; az általános, szabálytalan gyakorlat a víz kivezetése az ingatlan előtti járdára (a szerző felvétele)

Az 1/1986. (II. 21.) ÉVM-EüM együttes rendelet és a 2011. évi CCIX. törvény végrehajtásáról szóló 58/2013. (II. 27.) kormányrendelet

Mivel a közterületi vízgyűjtő-szikkasztó árkok a közlekedés biztonságossága miatt épültek, és a közút felületének víztelenítését szolgálják, a karbantartásukról, tisztításukról gondoskodni kell, ami szintén a határos ingatlantulajdonosok feladata amellet, hogy saját telkükről a vizet ide csak külön engedéllyel vezethetik. További korlátozást és fenntartási kötelezettséget fogalmaznak meg a köztisztasággal és a települési szilárd hulladékkal összefüggő tevékenységről szóló 1/1986. (II. 21.) ÉVM-EüM együttes rendelet 6. paragrafus 1. bekezdésének a) és b) pontjai, miszerint a tulajdonos köteles az ingatlana előtti járdaszakaszt tisztán tartani és a csapadékvíz zavartalan lefolyását akadályozó anyagokat és más hulladékokat onnan eltávolítani.

Ezenfelül nehézségek merülnek fel olyan településeken, ahol a szennyvíz-csatornázás elválasztó rendszerben épült ki. Az ilyen esetekről a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 58/2013. (II. 27.) kormányrendelet 85. paragrafusának 5. bekezdése

rendelkezik: „Elválasztott rendszerű szennyvízelvezető műbe csapadékvizet, egyesített rendszerű szennyvízelvezető műbe a víznyelőn keresztül szennyvizet, továbbá elválasztott rendszer esetén a csapadékvíz-elvezető műbe szennyvizet juttatni tilos.” A 6. bekezdése pedig kimondja: „Ha elválasztott rendszerű szennyvízelvezető hálózatba csapadékvíz bevezetésére kerül sor, és ezt a gyakorlatot a felhasználó a víziközmű-szolgáltató felszólítása ellenére tovább folytatja, a víziközmű-szolgáltató a jogellenes állapotot a felhasználó költségére megszüntetheti. A szennyvízelvezető törzshálózatba jogellenesen bevezetett csapadékvíz mennyisége után a víziközmű-szolgáltató üzletszabályzatában meghatározott pótdíjat számolhat fel.” [2]

A víz mint a rombolás metaforája

Mindezekből leszűrhető a fennálló alapkonfliktus: a településeken a nagyarányú burkolt terület miatt keletkező jelentős mennyiségű nem beszívargó csapadékvíz kezelését ugyan kötelező jelleggel, büntetést magával vonó módon szabályozzák, az a keretrendszer, amelyben a csapadékvíz pozitív elemként jelenne meg, nem létezik. Ennek hiányában nehezen várható el, hogy a lakosok ezt a saját tulajdonukat képező vizet érték-ként kezeljék, miközben a szabályozás csak az ingatlanokon, illetve közterületeken álló építményekre gyakorolt károsító hatásairól tesz említést, tökéletesen megalapozva és fenntartva egy aquafób állampolgári magatartást.

A legnagyobb jóhiszeműség mellett is a lakosok azzal a helyzettel szembe-sülnek, hogy mindenki csak szabadulni akar a romboló hatású víztől, maguknak pedig kötelességük egy viszonylag nehezen karbantartható és költséges rendszer (utcai járdaszint alatti zárt szelvényű vezeték) kiépítése és jól felfogott érdekükben hibamentes működtetése úgy, hogy kevés információ érhető el a jelen csapadékmennyiség és -intenzitás terhelésére megfelelően méretezett ilyen jellegű műtárgy kiépítéséről, miközben a közterületeken elhelyezett befogadórendszer sem mutatkozik az új helyzetre kellően átgondoltnak. Tapasztalati tény, hogy a felszíni vízmozgásokat szabályozó rendszerek kiépítése csak akkor megoldás, ha azok folyamatos működése, illetve a változó körülményekhez való igazíthatósága biztosított, ennek hiányában több kárt tudnak okozni, mint amennyi problémát megoldanak.

Megoldási minták meglévő települések számára

A kialakult helyzet megoldására, javítására már több mintát is kidolgoztak, közülük egy éghajlati és területi szempontból releváns példát mutatunk be az alábbi fejezetben.

A megoldandó probléma

A víz akut hiányának megtagasztalása nélkül szemléletváltásra csak kis-mértékben lehet számítani. Az adott környezetet használó lakosság magatartás-alakításának sikere is csak akkor megalapozott, ha rendszerszintű változás következik be, és a csapadékvíz teljes útját átgondoló, egységes, mindent átfogó kezelési módot vezetünk be. A helyi érdekek képviselőit alakult környezeti szervezetek formális részvétele ilyen projektekben anélkül, hogy eredményeként a polgárok legalább a létrehozandó változások alapelveit megismernék, hatástalan.

A rendszerszemlélet a rész és az egész viszonyát úgy határozza meg, hogy a rész holografikus leképezése az egésznek, tehát annak minden fontos információját tartalmazza. Ha tudástranszfer nem következik be, és a lakosok nem ismerik fel, hogy saját tulajdonuk egy átfogó rendszernek a lokális, kis léptékű megnyilvánulása, amely rendszer életképessége ezeknek a mozaikdarabkáknak a megfelelő kialakításán alapul, csak áthidaló, ideiglenes kárrendezési események jöhetnek létre.

Ausztrália példája, a vízérzékeny várostervezés

Ezen a téren követendő példákért olyan országok gyakorlatai felé érdemes fordulni, ahol a hazánkban az utóbbi években megfigyelt csapadékeloszlási mintázat már korábban jelentkezett, és a vízellátottság általában is szűkös. Ausztráliában az előbbi körülmény a földrész belső, szavannás területeinek elszivatagosodásával, a korábbi monszunidőszak elmaradásával már a legújabb kori történelmének egyik alapeleme.

Mindezt tetézte az 1990-es évek legvégétől jelentkező aszályos évtized, amely 2019-től visszatérni látszik, két egymást követő rekordmértékben alacsony

menyiségű csapadékot hozó év formájában [3]. Ebben a kényszerhelyzetben logikus lépés volt a szigetországnak a kertvárosi életmód miatt kiterjedt burkolt felülettel ellátott nagyvárosaiban a nem beszívárgó csapadékvíz kezelését megoldani. Az ezzel kapcsolatos kutatások már a hatvanas években megkezdődtek, az úgynevezett *urban stream syndrome* (városi folyó szindróma, a burkolatokról lemosódó szennyezett víz akadálytalan és gyors bejutása a környező vízfolyásokba) megjelenésére való reakcióként [4] [5].

A Dél- ausztráliai Egyetemen oktató John R. Argue professzor nevéhez fűződik az első városi csapadékvíz-kezelési tervezési útmutató (1994), amely a nem beszívárgó víz elvezetéséről, illetve beszívárgtatásáról vizesélőhely-rendszer kialakításával gondoskodik. A módszer ausztrál elnevezése *Water Sensitive Urban Design* (WSUD, vízérzékeny várostervezés). Hasonló gyakorlatot takar az Egyesült Államokban fejlesztett *Low-impact Development* (LID, alacsony hatású fejlesztés) és a *Sustainable Drainage System* (SuDS, fenntartható beszívárgtató rendszer), ahogyan ugyanezt az Egyesült Királyságban nevezik [6].



2. ábra: Egy vízérzékenyen tervezett város sematikus ábrája (www.urbanfloodresilience.ac.uk/documents/library-talk-20.02.20-eodonnell.pdf)

A fő kihívás a csapadékvíz megtisztítása és a helyszínen tartása, ennek érdekében a városi környezetbe a természetes vízkörforgás létrejöttét elősegítő táji elemeket integrálnak (csapadékvízgyűjtők, ülepítőmedencék, vizes élőhelyek, vizesárok stb.). A vízerzékeny tervezés Ausztráliában nemcsak a vízmérnököket foglalkoztató kérdéskör, hanem a 21. század második évtizedétől kezdve az építészgyakorlat része is. Minden, a víz beszivárgását megakadályozó felület létesítése esetén a csapadékvíz hasznosításáról az építésznek kell a bevezetett szabályozásnak megfelelő megoldást javasolnia az engedélyezési tervdokumentációban.

A fentiekből is kitűnik, hogy a városi csapadékvíz-gazdálkodás nem egy elszigetelt problémakör, amely az ivóvíz- és szennyvízcsatorna-hálózattal való integrált kezelésén felül a városi úthálózat- és zöldfelület-tervezést, általában a közművesítést, valamint magát az építészeti gyakorlatot, a magántelkeken kialakított kerteket és a magánházak gépészeti megoldásait is befolyásolja. Ezért rendszerszemléletű megközelítést igényel nemcsak az érintett szakmák gyakorlótól, hanem a hálózatot használó és azt részben kialakítani, illetve fenntartani köteles lakosságtól is.

A permakultúra, Ausztrália ökológiai szemléletű tervezési stratégiája

Ausztrália a helyi közösségnek a környezet alakításába való bevonásában is élen jár; a permakultúra nevet viselő, ezt a problémakört összességében kezelő környezettervezési megközelítés megalkotói, a biológus Bill Mollison (1928–2016) és az ökológus David Holmgren többéves közös munkájának eredménye. E módszer első kézikönyve Holmgren korábban Masters-disszertációként benyújtott, *Permaculture One* címmel 1978-ban publikált kötete.

Ez a magát nemzetközi mozgalommá kinövő fenntartható területgazdálkodási módszer az első évtizedekben a magángazdaságok művelési módjaira koncentrált, de az utóbbi évtizedben fontos fejlődési irányvonala lett a kertvárosi életmód fenntarthatóvá tétele is. Holmgren kiterjedt kísérleteket folytat ezen a területen, amelynek tanulságait 2018-ban kiadott *RetroSuburbia: the downshifter's guide to a resilient future* [7] című munkájában foglalta össze, segítséget nyújtva a családiház-tulajdonosoknak, hogy a környezetüket önerőből, közösségi összefogással fenntarthatóvá alakítsák, oly módon, hogy abban a csapadékvíz hasznosítása elsőrangú helyet kap.

P. A. Yeomans és az ökológiai területgazdálkodás

Az alábbi fejezetben Percival Alfred Yeomansnak a föld termékenysége növelésére irányuló munkásságát ismertetjük.

A permakultúra rendszerét alkotó 12 fő téma (köztük tervezésmódszertan, klimatikus viszonyok, fás növénytakaró, talaj, földmunkák, társadalmi vonatkozások) összekötő motívuma a Parsifal Alfred Yeomans bányamérnök munkásságán alapuló vízkezelés. Yeomans a második világháború után bevezetett mezőgazdasági adókedvezményeknek köszönhetően fordult a fenntartható mezőgazdaság felé, ekkor vásárolt befektetésként Sydney közelében egy ezerhektáros terméketlen földterületet. Üzletemberként úgy érezte, hogy egy önfenntartó gazdaság anyagi támogatással történő beindítása hosszú távon minden bizonnyal jövedelmező tevékenység lesz.

Ebben az időben bányászati geológiai tanulmányait kamatoztatva megalapította és vezette a szigetország egyik legsikeresebb külszíni szénfejtéssel foglalkozó vállalatát, így az új birtokán elvégzendő földmunkákhoz nemcsak a teljes gépparkja, hanem a kiemelkedő munkatapasztalata is megvolt. Ezzel az anyagi és szellemi háttérrel felszerelve kezdett bele 1944-ben a kísérleteibe, amelyeknek kezdeti vezérfonalát az akkoriban az Ausztráliában is tért hódító United States Army Corps of Engineers (Egyesült Államok Hadserege Mérnöki Hadtest) által kidolgozott talajkonzervációs módszerek, majd ezek sikertelensége után saját, különösen a vízelvezetés terén szerzett bányászati tapasztalatai adták [8].

Az ökológiai agrár-szakirodalom olvasásával kiegészülve a módszer alapelvei az 1950-es évek közepére kristályosodtak ki, amikor a Yeomans-farmra hétvégeként látogató érdeklődők tömegének hatására – legnagyobb részük gazdálkodó volt, de néhány mezőgazdasági szakember vagy kutató is odalátogatott – ismertető könyvek sorának írásába kezdett, amelyeket saját gondozásában adott ki (*The Keyline Plan*, 1954, *The Challenge of Landscape: the Development and Practice of Keyline Concept*, 1958, *The City Forest*, 1971 és *Water for Every Farm*, 1973) a tervezői megbízásainak teljesítésén túl [9] [10] [11].

Yeomans saját forrásaihoz és céljaihoz igazította kísérleteit, és nagyrészt tapasztalati úton jutott módszere főként farmméretben kipróbált és alkalmazott tervezési elveihez. Vállalkozóként a terv elemeinek kivitelezéséhez szükséges felszereléseket (földmérő eszközök, kifolyók, csapok) és a műveléshez javasolt eszközöket (Yeomans vésőeke, Graham eke, tritter, ripper) kevés meglévő példa alapján fia, Allen Yeomans (1931) közreműködésével maga fejlesztette, gyártotta

és forgalmazta, adott esetben kölcsönözte, és szabadalmi oltalmat is kért rájuk. Ugyan felesége halálakor vállalkozása csődöt volt kénytelen jelenteni az örökösödési adók anyagi terhei következtében, Allen fia a családi céget később újraalapította Yeomans Plow Co. (Yeomans Eke Vállalat) néven, és a cég a mai napig foglalkozik szaktanácsadással és az eszközök készítésével.

A forma szerepe az ökológiai szemléletben

A természet tervezési stratégiájának alapelvei a táj formáiban öltenek testet, amelyek árulkodnak az őket alakító erők együttműködésének milyenségéről. A földdel és a rajta megtelepedő élettel foglalkozó tudományágak mindegyike rendelkezik morfológiai megközelítésből rendszerezett ismeretekkel. Az ökológikus tájhasználat tárgyalt művelői a forma fogalmához a szélesebb, eredeti jelentését rendelik, amely túlmutat a modern, a formát az alakkal azonosító és csak a felszíni jellemzők megfigyelésére szorítkozó értelmezésen. A forma tehát egy jelenség úgy külső, mint belső rendeződésének leírása, amely utóbbit általában funkciónak hívnak, és elkülönülten kezelnek – a funkció a forma integrált része, annak aktív alakítója, ható oka.

Az azonos körülmények között létrejövő egyező formák azonos működésekre utalnak, és e ható erők változatlan jelenlétére számítani kell a tervezéskor. Ezek alakító munkát fognak végezni az ember beavatkozásán is, hogy az együttműködve, dinamikus egyensúlyban létezhesen e kölcsönhatásban. A forma funkcióra is kiterjesztett értelmezése a rendszerszemléletű tervezés leglényegesebb ismérve, miszerint egy területet nem statikus tárgyak összességének fog fel, amelyet akár egy importált technológia telepítési háttereként kezelhet, hanem a természeti vagy városi környezetet folyamatok dinamikus kölcsönhatásának állandóan változó lenyomataként érzékeli. A formálás célja, hogy csapdába ejtse a kialakítandó rendszerbe eső energiát, az entrópiáját meghosszabbítsa, és ezt a leadott energiát saját hasznára kifejtett munkavégzésre fordítsa.

Vízvonalak

A tervezést informáló mintázatot a domborzati felszínen létrejövő vízmozgások rajzolják ki – a szintvonalat, gerincvonalat és a lefolyásvonalat –, amelyet

Yeomans egy saját maga által definiált domborzati ponttal és a rajta keresztülhaladó szintvonallal egészített ki. Ezt kulcspontnak, illetve kulcsvonalnak nevezte el, ezzel is sugallva a terület kialakítandó vízháztartásában játszott kitüntetett szerepét. Mivel az ember számára élhető terület kívánatos hidrológiája az éltető víz folyamatos és kielégítő mennyiségének biztosítása és egyenletes eloszlása, ezért Yeomans módszere ennek a célnak az elérésére született.

E vízvonalak mindegyike görbe, amiből következik, hogy a terület egyenes vonalak mentén való felosztása, illetve lineáris struktúrák telepítése a víz természetes viselkedését előnytelen módon változtatja meg. A kívánatos egyenletes eloszlás és lassú mozgás helyett a vizet bizonyos pontokra koncentrálják, és ezáltal növelik a sebességét, aminek következtében nemcsak az eróziós tevékenység indul meg, amelynek korrigálása folyamatos energiabefektetést követel a terület kezelőjétől, hanem a rendszerbe kerülő csapadékvíz sem tud hatékonyan hasznosulni. Ezért Yeomans módszerében az egyenesek helyett a természetes görbék által rajzolt formai mintázatok határozzák meg a víz tározását és a földekre kijuttatását, az állatok itatóhelyeinek, a farmon vagy városon belüli utak, építmények, tisztások és fák helyét; az alkalmazható művelési módokat és a farm általános irányításának elveit [12].

Egy állékony táj elemei és egymáshoz való kapcsolatuk

Az alábbi fejezetben a Yeomans-féle tájantatómiát, illetve annak szerepét ismergetjük.

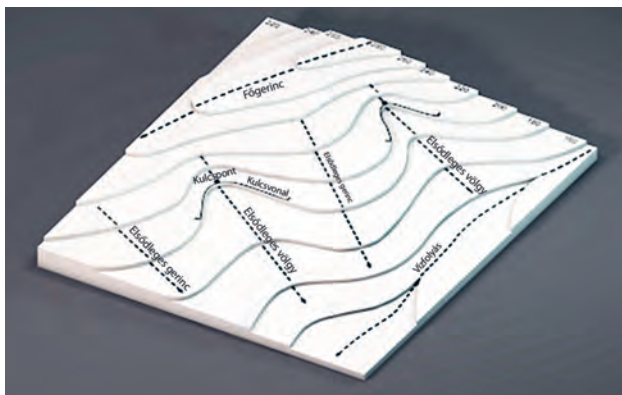
Kulcsvonal-permanencialépcső

Yeomans hierarchikus rendet állított fel a tervezést meghatározó tényezők közül. A legállandóbb elemből, az éghajlatból indult ki, és innen haladt az egyre csökkenő állandóságú (és ezért az ember által befolyásolható) elemek felé, összesen nyolc lépésben, amit „kulcsvonal-permanencialépcsőnek” nevezett el:

1. éghajlat;
2. domborzat;
3. vízellátás;
4. utak;

5. fák;
6. permanens épületek;
7. elválasztások, kerítések;
8. talaj.

Az első tényező, a klíma a természetes talajtakaró és a domborzat – a második tényező – alakítója. A területre érkező víz – a harmadik faktor – az első ember által igazán befolyásolható elem. A víz és a földfelszín kapcsolódási módjai szerint három természetes vízvonalt különböztethet meg: (1) kontúrvonal, (2) lefolyásvonal, (3) vízgyűjtő területek választóvonala – ami egybeesik a főgerincek taréjvonalával. A domborzati formák három fő alakja: (1) a legkisebb tájforma, az elsődleges völgy (*primary valley*), amelyet (2) elsődleges gerincek (*primary ridge*) szegélyeznek; (3) a főgerinc (*main ridge*) pedig az adott terület égre írt kontúrja. Az elsődleges völgyek meredek felső szakasza a főgerinc oldalaiból formálódik [11].



3. ábra: A Yeomans-féle tájanatómia (www.permaterra.fr/projet-keyline-design)

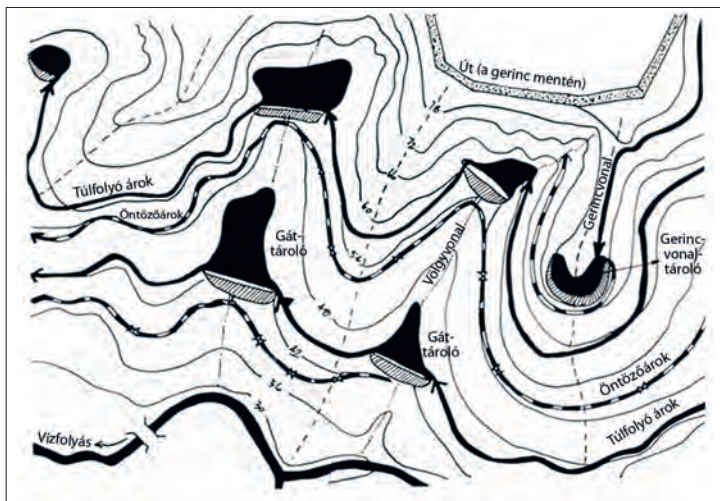
Kulcsvonal és kulcspont

Az elsődleges völgyek felső végződése a legmeredekebb lejtő tájban. Ez a meredek szakasz rövid, ami egy ponton laposabb és hosszabb szakaszra vált. Ez a pont, ahol a völgy lejtése meredekből lankásra vált, a kulcspont (*keypoint*).

Az a kontúrvonal, amely ezen a ponton áthalad a völgyben az egyik végétől a másikig, a völgy kulcsvonala (*keyline*). Az elsődleges völgy a vizét az őt körülzáró gerincekről gyűjti; egyrészt a főgerincről, amelyből kiindult, és a két oldalán lévő elsődleges gerincekről. Amikor esik, a víz az elsődleges gerincről folyik le először, és ez az első lefolyás, ami megszűnik az eső után. Az elsődleges gerinc a föld legnagyobb egyedi alakja. Mivel a főgerincen kívüli összes többi gerincet jelentik, és az elsődleges völgyek a legkisebbek, az elsődleges gerincek több földfelszínt borítanak, mint a másik két alak együttvéve [9].

Az elsődleges völgyek kiemelt szerepet kapnak Yeomans tervezési stratégiájában, mivel a víz számára a legmagasabb gyűjtőpontot, a kulcspontot tartalmazzák. Ez az a pont, ahol a területet meg lehet erősíteni a víz támadása ellen. Esőzéskor a víz a felszín nagy részét elfoglaló gerincekről hamar lefut, és az elsődleges völgyekben (ezek a legkisebb tájformák) koncentrálódik, ahonnan, ha nem ütközik akadályba, közvetlenül az alattuk lévő vízfolyásokba érkezik. A beérkező víz viselkedése tudatos megváltoztatásának leghatékonyabb módja az elsődleges völgyekben való koncentrálódásának megakadályozása és ezzel mozgásának lassítása. Mivel az elsődleges és a főgerincek területi kiterjedése a legjelentősebb, ezért az itt jelentkező víztömeggel való bánásmód kritikus. Az alkalmazható két módszer a beérkező víz egyenletesebb eloszlására, amellyel Yeomans is él: (1) az ide érkező víz beszívargásának növelése és völgybe jutási útjának megváltoztatása és (2) a völgyekbe érkező víz gyűjtése tározókban és azokból kijuttatása a területre az aszályos időszakokban.

Ennek elérésére a Yeomans által kikísérletezett eszköz két újabb vízvonal létrehozása volt. Az egyik a csapadékvíz lefolyását megakadályozó kulcsvonal, amely az elsődleges völgy már említett kulcsvonalán keresztül futó szintvonal. A kulcspont egyben a terület legmagasabb potenciális víztározó helyét is kijelöli, ahova a kulcsvonal feletti vízgyűjtő területre hulló maximális vízmennyiségre méretezett földfalú víztározó építendő. Ennek van egy kifolyója, amely a második új vízvonalat látja el vízzel, ez pedig a tárolt vizet öntözésre hasznosítja, tehát öntözőcsatorna. Ezek az új vonalak különböznek a természet vonalaitól, mivel az előbbieket nem keresztezik egymást, ezek pedig úgy az elsődleges völgy lefolyásvonalán, mint az elsődleges gerinc vízválasztó vonalán áthaladnak. Folytathatók a területen, hogy több elsődleges völgy szivárgási vonalát és vízválasztó vonalat is keresztezzenek, ezáltal több vízgyűjtő egységterületet is összekapcsolhatnak [10].



4. ábra: Víz tározók kulcspontokon [9 p20]

A vonalak mentén kialakuló zónák

Yeomans ezekről az új vízvonalakról is úgy gondolkodik, mint a természetesekekről, hogy kiépítésük után a táj anatómiájának permanens elemeivé válnak, és a nyolcfokú permanencialépcső alsóbb fokain lévő elemek pozícióját is meghatározzák. A víz után közvetlenül következő tényező, a sorban a negyedik, az utak egyike a kulcsvonal mentén fut végig a telekhatárokig. Ez az út lehatárolóként egy új zónát (első zóna) is képez azzal, hogy elválasztja a főgerinc és az elsődleges völgyek felső szakasza által elfoglalt magas vízgyűjtő területet a helyszín többi részétől. Egy másik út a terület legmagasabb szakaszán, a főgerinc választóvonalára mentén vezet, hogy ezt a legfelső zónát kiszolgálja. Ide telepítendő a szélfogó erdősáv és az épületek, a permanencialépcsőnek az utak után következő ötödik és hatodik tényezői.

A második zóna alsó határa a víztározók alatt futó öntözőárok mentén létesített út, ami szintén keresztülfut a teljes birtokon. A harmadik zóna az öntözőterületeket foglalja magában; az alsó határa egy újabb szintvonalcsatorna, amely a túl intenzíven lehulló csapadék esetén az öntözött részen beszivárogni nem tudó további lefolyást kontrollálja. Az ez alatt elhelyezkedő negyedik zóna

a terület legalsó szakaszán (feltételezetten) végighúzódnó vízfolyásig tart. A második, harmadik és negyedik zóna egy farm esetén gazdálkodási terület, ahova az odajutó vízmennyiségnek megfelelő felhasználási mód – legelő, szántó vagy erdő – települ. Yeomans a talajjavítás és a permanencia elérése érdekében a minél vegyesebb művelésű gazdálkodást szorgalmazta, ahol sokféle növény és állat él egy területen [10].

Város esetén a legfelső zónában a kormányzat középületei, az üzleti élet építményei és terei foglalnak helyet a főgerincen haladó főút mentén. A második-harmadik zóna lakófunkciójú, a negyedik zóna a városi erdő, a rekreáció helye, ide kerülnek a városi szennyvíztisztító telepek is, és az innen kikerülő kezelt, de még tápanyagban gazdag víz kijuttatásával táplálják az erdő növényzetét. Ennek köszönhetően a legalsó vízfolyásba a talajon átszűrődve kerül csak víz, amely nemcsak hogy nem szennyez, de a vízjárás egyenletességét is biztosítja. Yeomans felhívta a figyelmet az így keletkező összkép szépségére is: a közel kontúrvonalak mentén tagozódó város a görög amfiteátrumokat idéző, tájba illeszkedő képződmény. A sávos elrendezés ellenére a kulcsvonalmódszerrel tervezett városok méretkorlátozottak, méretüket pedig a bennük keletkező szennyvíz tisztításához szükséges városi erdő nagysága határozza meg [11].

A zónák további tagolódása az elsődleges gerincekre épült utak mentén történik, amelyek egyben a hosszanti utakat – amelyekre közel merőlegesek – kötik össze, és így együttesen adják egy farm feltáró útjait, illetve egy város közlekedési hálózatát. A fák telepítése is – ahol nem egybefüggő erdőfoltot képeznek – ezeknek az utaknak a mentén történik, hogy lombkoronájukkal árnyékoljanak, biomasszát képezzenek, szélfogók legyenek, és javítsák a levegőminőséget. Gyökérzetükkel gondoskodnak a víztisztításról, miközben a beszivárgó víz nedvességigényüket is kielégíti. Yeomans ezzel az úgy a városban, mint a gazdaságokban alkalmazandó tájstrukturálással nemcsak a szennyezés problémáját minimalizálja, hanem a víznek, a domborzat legerősebb támadójának lefegyverzéséről is gondoskodik az időben és térben egyenletes eloszlásával.

A Yeomans vésőeke szerepe

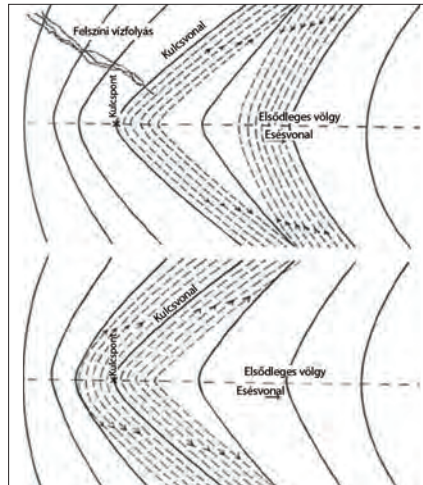
A módszertan alkalmazásával a végrehajtott beavatkozások mindegyike engedi érvényesülni a tájalakító természetes erők harmonikus munkáját. Ez a harmónia abban az esetben tartós, ha mindennek az alapja, a talaj vízbeszivárgató és -megtartó képessége is maximális, amihez az ideális talajklímát kell

biztosítani. Ennek három tényezője a kellő nedvesség mellett a talajhőmérséklet és a talaj levegőzése. A talaj levegőztetésére Yeomans egy olyan ekét alkalmazott, amely úgy lazította fel a talajt, hogy felső rétegét nem fordította meg. Az eszköz kezdetben a texasi fejlesztésű Graham-Hoeme Chisel Plow szabadalma alatt gyártották, majd azt tapasztalatai alapján fiaival továbbfejlesztette, és saját szabadalmi oltalommal védve Yeomans név alatt forgalmazta [12].

A vésőeke használata több szempontból is előnyös. Egyrészt a hagyományos ekék a megmunkált föld megforgatásával új talajhorizontot hoznak létre, és a talajélet ilyen mértékű bolygatásával és takaratlanul hagyásával először a talajklíma romlását, majd talajeróziót idéznek elő. Yeomans tapasztalata szerint a talajélet leghatékonyabb (vissza)táplálása a növények elhaló gyökérzete által történik. Az ehhez szükséges gyökérzetpusztulást az ültetett növény kellő megerősödése után annak lelegeltetésével vagy kaszálásával érte el. Egy ilyen sokk hatására a növény megáll a növekedésben, és regenerálódásához a gyökereiben felhalmozott tápanyagra hagyatkozik, aminek következtében a mélyebb talajrétegekbe elérő gyökerei elhalnak [8].

Mivel a vésőeke a mélyebb talajrétegek lazítását és levegőztetését is elvégzi, amelyekbe így képes a vegetáció a gyökérzetével behatolni, az újabb gyökernövekedés megindulásakor a magát összeszedő növény a korábban elhalt gyökérzete által tápanyagdúsabbá tett mélyebb rétegekbe is eljut. Itt több tápanyagot és nedvességet találva erősebbé, egészségesebbé és ellenállóbbá képes fejlődni, tovább lazítva a talajt, emelve annak vízbeszívárogató képességét, ezáltal maga is újabb tápanyagokhoz jut. A vésőekével a talajlazítás a legelőnövényzet megtelepedése után is folytatható, mivel nem tépi ki a növényeket gyökerestől, csak mély barázdákat húz a földbe.

A vésőeke nemcsak talajlazítást végez a barázdák behúzásával, hanem ami még fontosabb, hogy a barázdák irányvonalának pontos kivitelezésével a víz természetes áramlási vonalát is megtöri. Yeomans a tájalakok vízzel való kölcsönhatásának tanulmányozásakor megfigyelte, hogy a víz természetes mozgása szerint haladva a legkisebb tájalak, az elsődleges völgyek állékonyságát kezdi ki azzal, hogy oda koncentrálódik, míg a nagyságrendekkel nagyobb elsődleges gerinchálózatról sietősen távozva ezt a legnagyobb kiterjedésű tájalakot szinte szárazon hagyja. Annak megakadályozására, hogy a víz a legrövidebb úton, a völgyön keresztül gyorsan távozzon, a képzett barázdák a vizet az ellenkező irányba, a völgyből kifelé a gerincekhez terelik.



5. ábra: A vésőeke által húzott vízelterelő barázdák [9 p24]

Ehhez Yeomans vezetőként a kulcsvonalat használta, amely nem csak azért viseli ezt a nevet, mert ez a kulcsponton – azon a ponton, ahol a föld megerősíthető a víz támadásai ellen – keresztülvezető szintvonal. A kulcsvonal a tájban az a szintvonal, amely alatt és felett párhuzamosan a talajba vésott barázdák a természetes áramlási vonalat megtörik, és a vizet a völgyből a gerincekre terelik. Mivel a talaj lejtése sosem egyenletes, ezért a kontúrművelés elmélete sem tud a gyakorlatban tökéletesen érvényesülni, hanem a valóságban egyes kontúrok közötti közelítőleg vízszintest követő művelésként valósul meg. Ez a csekély eltérés a vízszintestől a vésőeke által húzott barázdákban pont olyan lejtésű, hogy a természetes vízfolyás irányát megváltoztatva a víz összeterelődését a völgyben megakadályozza, és megtörténjen a gerinceken való vízbeszivárgás [11].

Ennek eredményeképpen a csapadék a területen egyenletesen oszlik el, és a lefolyás is csak mélyebben kezd el koncentrálni a völgyekben, ahol széles sávban vékony filmként halad lefelé, minimálisra csökkent sebességgel. Ezt a lefolyást tovább csendesíti és oszlatja el a korábban említett, az öntözendő területeket magában foglaló harmadik zóna alsó határára telepítendő újabb

szintvonalcsatorna. A vízvonalak és tározók hálózata a területre érkező összes esővizet hasznosítja, térben és időben egyenletesen elosztatva a Yeomans által kidolgozott árasztásos öntözési protokoll szerint. Ennek számos verziója létezik a terület éghajlatától és domborzatától függően – a kulcsvonal-permanencia lépéseit logikusan alkalmazva az éghajlat és a domborzat határozza meg az adott területre ideális vízkezelési stratégiát –, és alacsony eszköz- és élőmunkaigénye miatt a felmerülő öntözési költségeket a minimálisra csökkenti.



6. ábra: A Yeomans-féle árasztásos öntözés (<https://bark.today/en/water-management-the-key-line-principle/>)

Összegzés

A kulcsvonal módszer egy adott terület hidrológiájának kiegyensúlyozásával éri el a permanencia állapotát, a rendszer legsérülékenyebb elemének, a talaj termékenységeének a folyamatos megújulásához szükséges feltételek biztosításával. Yeomans nem a geológiai idő ritmusában keletkező, a geomorfológia által definiált tájakból indult ki, hanem az emberi léptékben releváns, a földtudomány számára ismeretlen, a legkisebb tovább nem osztható tájformákat különböztette meg. Rendszerének másik lényeges elemei a víz által erre a domborzatra rajzolódó vonalak, amelyek egy terület osztóvonalait és fő strukturáltságát, zónáit adják.

A vízgazdálkodás fő kihívása napjainkban a csapadékvíz egyenetlen időbeli eloszlása. Yeomans egy olyan régióban fejlesztette ki a módszerét, ahol ezek az időjárási viszonyok voltak a jellemzőek, ezért e kihívás megoldásaként a földfelszínre érkező víz térbeli egyenetlen eloszlására törekedett. Ugyan a kulcsvonalmódszert a csapadékvíz kezelésére alakította ki, bármilyen méretű felszíni vízfolyás vízjárásának kiegyenlítésére alkalmazható, mivel a víz térbeli koncentrációját akadályozza meg, és gondoskodik annak beszivárogtatásáról, illetve tározásáról és egyenetlen terítéséről. Ez a módszer alkalmazható úgy a mezőgazdasági földterületek, erdők vízerőkevény művelésére, mint új településstruktúra kialakítására.

Felhasznált irodalom

1. 1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről
2. 58/2013. (II. 27.) kormányrendelet a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
3. Water in Australia 2019–20 [Internet]. Melbourne: Australian Government Bureau of Meteorology; 2021 [cited 2021 Nov 8]. 66 p. Available from: www.bom.gov.au/water/waterinaustralia/files/Water-in-Australia-2019-20.pdf
4. Argue JR, editor. Water sensitive urban design: basic procedures for 'source control' of stormwater. A Handbook for Australian practice [Internet]. St Laurent: Australian Water Association; 2004 [cited 2021 Nov 8]. 248 p. Available from: www.unisa.edu.au/contentassets/d8b261f5e4c84572b2cda9e97a4e69aa/johnargue-wsud-basic-procedures-for-source-control-student-edition.pdf
5. WSUD engineering procedures: stormwater. Melbourne: CSIRO Publishing; 2005.
6. Wong THF. Australian runoff quality: a guide to water sensitive urban design [Internet]. Milton Keynes: Engineers Media; 2006 [cited 2021 Nov 8]. 244 p. Available from: www.engineersaustralia.org.au/sites/default/files/Learned%20Society/Resources-Guidelines%26Practice%20notes/Australian_Runoff_Quality-Guide_to_WSUD.pdf
7. Holmgren D. RetroSuburbia: the downshifter's guide to a resilient future. Melbourne: Holmgren Design Services; 2018. 592 p.
8. Hill SB. Yeoman's keyline design for sustainable soil, water, agroecosystem, & biodiversity conservation: a personal sociology analysis. In: Wilson BP, Curtis A, editors. Agriculture for the Australian environment: proceedings of the 2002 Fenner Conference. Albury: Charles Sturt University; 2003. p. 34–48.

9. Yeomans PA. The Keyline Plan. Sydney: Keyline Publishing; 1954.
10. Yeomans PA. The challenge of landscape: the development and practice of Keyline Concept. Sydney: Keyline Publishing; 1958.
11. Yeomans PA. The city forest: the human environment revolution. Sydney: Keyline Publishing; 1971.
12. Holmes MJ. The geographical basis of Keyline [Internet]. Sydney: Angus & Robertson; 1960 [cited 2021 Nov 8]. Available from: https://issuu.com/gboothby/docs/12._the_geographical____topographic

IV. rész
A település- és lakosságvédelem
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

Az éghajlatváltozás jövőbeli hatásai a települési csapadékvízre – tudatos tervezés a rendkívüli események elhárítása kapcsán

Bevezetés

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP) és a Meteorológiai Világszervezet (WMO) 1988-ban alapította meg, célként tűzve ki azt, hogy a tudomány segítségével a világ vezetői számára a leghitelesebb információkat és értékelést biztosítsák az éghajlatváltozás mindenkori állapotáról. Az IPCC munkásságát tagként belépve a szervezetbe a világ 195 állama ismeri el, és több ezer, a kormányzatok vagy nemzetközi szervezetek részéről elismert tudós támogatja. A szakértők folyamatosan elemzik és értékelik a megjelenő tudományos kutatások eredményeit, vizsgálják az összefüggéseket, keresik az éghajlatváltozást gyorsító vagy lassító okokat, alkalmazkodási és kockázatsökkentési lehetőségeket.

A tevékenység elismeréseként a szervezet és Al Gore 2007. október 12-én közösen megosztott Nobel-békedíjat kapott. Az éghajlatváltozásról az első értékelő jelentés (First Assessment Report – FAR) 1990-ben készült, ez akkor az éghajlatváltozás világszintű kihatására hívta fel a figyelmet. Öt évvel később, 1995-ben megjelent a második jelentés (Second Assessment Report – SAR) a kiotói egyezmény elfogadásának előkészítésére, majd 2001-ben a harmadik (Third Assessment Report – TAR), amely a várható kockázatokra és az alkalmazkodásra fókuszált. Ezt a negyedik jelentés (Assessment Report 4 – AR4) követte 2007-ben a 2 °C-os korláttal, majd hosszabb szünet után 2018-ban az ötödik (Assessment Report 5 – AR5), amely a párizsi egyezményt készítette elő. A legfrissebb, hatodik értékelő jelentés kiadását eredetileg 2022-re tervezték, azonban annak fontosságára és sürgösségére tekintettel a publikálást előrehozták, és 2021. augusztus 9-én elfogadták. Az AR5 és AR6 már nagy valószínűséggel állítja és világít rá arra, hogy a hirtelen áradások kockázata, a tengerparti részek

előltéseinek várható gyakorisága az éghajlatváltozás miatt megnövekedett. Európát érintően arra lehet majd számítani, hogy a középső és keleti régiókban a nyári csapadék mennyiségének, délen a hasznosítható vízkészleteknek a csökkenése és emiatt aszályok várhatóak. Az északi területeken először a magasabb hőmérséklet miatt pozitív hatások is jelentkeznek (csökkenő fűtési költség télen), amelyeket viszont a gyakoribb téli árvizek és növekvő talajinstabilitás követ. A jövő kiszámíthatatlansága pedig meglehetősen nagy gondokat okoz a települések csapadékvíz-elvezetésének szakszerű megtervezésében és a védelmi rendszerek, védekezés kialakításában.

Az AR6 döntéshozói összefoglaló megállapításai

Az IPCC hatodik értékelő jelentésének döntéshozók számára készített összefoglalására önálló dokumentumot adtak ki *Headline Statements from the Summary for Policymakers* [1] címmel. Ez az irat a következő pontok szerint rögzíti a tényeket és következtetéseket:

a) Az éghajlat jelenlegi állapota

Kétségtelen, hogy az ember okozta hatások miatt melegszik az atmoszféra, az óceánok és a szárazföld. Kiterjedt és gyors változások zajlottak le az atmoszférában, az óceánokban, a krioszférában és a bioszférában is. Az éghajlati rendszerben történt jelenlegi módosulások több száz évtől több ezer évig visszatekintve példa nélküliek. Az ember által indukált éghajlatváltozás számos területen befolyásolja az időjárást, és szélsőségeket okoz. A megfigyelhető extrém változások: hőhullámok, rendkívüli csapadékhullás, aszály, trópusi ciklonok. Ezen elemek hatásai az AR5 jelentéshez képest csak növekedtek. Az egyre növekvő tudás és a paleoéghajlati bizonyítékok alapján az éghajlati folyamatok egyensúlya a becslések alapján 3 °C körüli egyensúlyi értéket fog elérni.

b) A lehetséges éghajlati jövő

Minden lehetséges kibocsátáscsökkentési változatot figyelembe véve a globális földfelszíni hőmérséklet az évszázad közepéig bizonyosan növekedni fog. Az 1,5 és 2 °C értékeket meg fogjuk haladni a 21. században, hacsak nem csökkentjük rendkívüli mértékben a szén-dioxid és az üvegházhatású gázok kibocsátását az eljövendő évtizedekben. A melegedés miatt az éghajlati rendszer változik, aminek során a következő események gyakorisága és intenzitása növekszik:

- extrém meleg időszakok;
- hóhullámok;
- rendkívüli csapadékhullás;
- mezőgazdasági és ökológiai aszályok bizonyos területeken;
- trópusi ciklonok.

Ezzel egy időben viszont csökkenni fog a sarki tengeri jég, a hótakaró és az állandóan fagyott altalaj kiterjedése. Ezeken felül az éghajlatváltozás fokozni fogja a víz körforgása során bekövetkező eseményeket, világszinten monszunszerű csapadékokat, valamint a száraz és nedves időjárási események rendkívülivé válását eredményezve. Amennyiben a káros gázok kibocsátásának mértéke növekszik, akkor az óceán és a szárazföld azon „elnyelőképessége” romlik, amely lassítaná a szén-dioxid feldúsulását a légkörben. Számos változás a múltbeli és jövőbeli üvegházhatásúgáz-kibocsátásnak köszönhetően évszázadokig, évezredekig visszafordíthatatlan. Különösen azok, amelyek az óceánokban, a sarki jégtakaróban vagy a világ tengerszintjeiben következtek be.

c) *Éghajlati információ a kockázatok értékeléséhez és a régiós alkalmazkodáshoz*

A természeti folyamatok és a belső környezeti viszonyok árnyalhatják az ember által okozott változások hatását, különösen régiós szinten, rövid távon. Ugyanakkor a további melegedés hatására minden régió kivétel nélkül tapasztalni fogja ezeket. Az alacsony valószínűséggel bekövetkező folyamatok, mint például a jéglemez-leszakadás vagy az óceáni körforgás hirtelen változása, az extrém események bekövetkezése és a melegedés mértékének jelentős növekedése a nagyon valószínű kategóriába kerültek, ezért nem lehet ezeket kihagyni a jövőbeli kockázateértékelések közül.

d) *Az éghajlatváltozás mértékének korlátozása*

Kizárólag a tudomány szemszögéből nézve, az ember okozta globális felmelegedés megállításához szükséges lenne a zéró szén-dioxid-kibocsátás elérése és az üvegházhatású gázok légkörbe jutásának drasztikus csökkentése. A gyors és hatékony metánkibocsátás-csökkentés tovább korlátozná a melegedést és a levegőbe kerülő káros gázok hatását, valamint javítaná a levegő minőségét. Amennyiben ez megtörténik, akkor éveken belül érzékelhetővé válna a levegő minőségének javulása, és világszinten körülbelül 20 év után a hatása a melegedési folyamatokra.

Az éghajlatváltozás okozta HILP-események hatásai 2021-ben

A jövőbeli védelmi tervezések során a rendkívüli hatást kiváltó, alacsony valószínűséggel bekövetkező események (high-impact, low-probability events – HILP) figyelembevételének szükségességét Bernice, Felix és Gemma már 2012-ben kimondta [2], a katasztrófavédelmi veszélyelhárítási tervezésre vonatkoztatva pedig disszertációmban [3] részletesen kifejtettem.

Jelenleg Magyarországon, hasonlóan a legtöbb EU-tagállamhoz, a hagyományos alapokon nyugvó veszélyelhárítási tervezést vesszük alapul, amely viszont csak részben (az erőforrás-elosztás, felkészülési és védekezési feladatok eltérő volta miatt) alkalmazható az események felszámolására. Ezzel szemben ha csak a 2021-es évet vizsgáljuk meg, akkor a veszélyhelyzetek adatbázisa (EM-DAT) adatai alapján megállapíthatjuk, hogy a 2021. október 30-áig terjedő időszakban még a fejlett nyugati országokban is halálessel járó árvizek következtek be az 1. táblázatban szereplő helyszíneken.

1. táblázat: A nyugati országokban bekövetkezett árvizek emberi veszteségei (a szerző szerkesztése)

Időpont	Ország	Helyszín	Halálessetek száma	Sérültek száma
2021. 01. 08.	Spanyolország	Madrid, Malaga, Zaragoza	4	–
2021. 06. 24.	Csehország	Dél-Morávia	6	213
2021. 07. 12.	Németország	Berchtesgaden, Heilbronn, Szászország, Szász-Anhalt, Ahrweiler, Euskirchen, Rhein-Sieg, Heinsberg, Köln, Märkischer Kreis, Düsseldorf, Solingen, Unna, Rhein-Erf; Hessen, Sachsen, Thüringen	205	766
2021. 07. 14.	Belgium	Liège, Namur, Luxembourg, Limbourg, Brabant Wallon, Hainaut	43	–
2021. 07. 17.	Ausztria	Alsó-Ausztria	1	–
2021. 10. 23.	Algéria	Algiers, Boumerdes, Chlef, Tizi Ouzou	2	–
2021. 10. 23.	Tunézia	Thala, Borj Chakir, Manouba, Béja	3	–
2021. 10. 25.	Olaszország	Scordia, Catania	2	–

A táblázatból emeljük ki először a Németország területén történt eseményeket. A Világ Időjárás Hivatala (World Weather Attribution) számos más intézménnyel és társszerzővel közösen készített egy 51 oldalas tudományos jelentést [4], amelyben többek között megállapítja, hogy az árvizet a lehulló csapadék

történelmi mértékű mennyisége okozta. A hasonló katasztrófák előfordulását átlagosan egy 400 éves időperiódusra teszi, és megállapítja, hogy más európai területeken is bekövetkezhett volna. Az éghajlatváltozásnak köszönhetően viszont az ilyen jellegű események növekvő gyakoriságot fognak mutatni. Sokan egyértelműen a katasztrófák elleni tervezés és védekezés kudarcának tekintik a történeteket, viszont Fekete és Sandholz, a kölni és bonni egyetem tudósai nem erre a következtetésre jutnak [5]. Saját maguk, valamint a védekezésben részt vevő hivatásos és önkéntes erők megállapításai alapján a tervezésben, a helyzet felismerésében, az észlelésben, az értékelésben és az építésekben voltak a legnagyobb hiányosságok [5 p16]. Ezenfelül az eset további tapasztalataként négy kulcsterületet határoznak meg, amelyek egyértelműen további vizsgálatot igényelnek: kommunikáció, adatok megosztása a hivatalok és a lakosság között, kritikus infrastruktúrák zavara és a lakosság figyelme, a vészhelyzeti intézkedések befogadása.

A Belgiumban bekövetkezett események kapcsán a belügyminiszter, Annelies Verminden a sajtónak azt nyilatkozta, hogy az esemény „[a] legnagyobb természeti katasztrófák egyike, amelyet az országban valaha is tapasztaltak. Senkinek se legyen illúziója, hogy mindent meg lehet tervezni, vagy fel lehet készülni.” [6] A nyilatkozat alapján az esemény HILP volta egyértelműen érzékelhető. A halálesetekkel járó események sora azonban még nem ért véget. Pár hónap elteltével Algéria, Tunézia és Olaszország váltak hasonló jelenségek áldozataivá [7], a lehullott csapadék 24 órán belüli maximális mennyisége 140 mm, 166 mm és 312,2 mm volt. A heves esőzés a településeken városi árvizeket eredményezett, mint ahogyan az 1. ábrán is látható.



1. ábra: Catania településen keresztülsöpör az árvíz [8]

A csapadék mennyisége azonban nem ezen helyszíneken volt a legtöbb a 2021-es évben. Októberben az olaszországi Rossiglione településen ugyanis 24 óra alatt 883,6 mm-t mértek, amelyből 740 mm 12 óra alatt hullott le [9]. Ezeket az adatokat Európában történelmi mértékűeknek tekinthetjük.

Települési csapadékvíz, tudatos tervezés, rendkívüli események

Az éghajlatváltozás hatásai egyértelműen növelik az extrém mennyiségű csapadékhullással járó események gyakoriságát, intenzitását. Ha egy ilyen kategóriájú rendkívüli esemény érint egy települést, akkor elsősorban annak csapadékelvezető rendszerén, annak állapotán és a hatékonyságon fog múlni, hogy lehetséges-e egyáltalán védekezni a káros hatások ellen. A magyarországi előrejelző rendszerek alapvetően jól működnek, és a katasztrófák elleni védekezéshez szükséges időelőnyt egy nagy kiterjedésű káreseménynél képesek nagy pontossággal előre jelezni. A riasztáshoz és a katasztrófavédelmi műveletek végrehajtásához így várhatóan elegendő beavatkozó erő áll majd rendelkezésre. A legnagyobb gondot ugyanakkor az okozhatja, ha valamely településen olyan műszaki beavatkozást követel a káros víz lefolyásának, elvezetésének irányítása, amely időigényes építési, bontási munkákkal jár. A beavatkozáshoz ugyanis hiába érkeznek oda megfelelő létszámban az erők, ha már nem lesz elegendő idő a védekezés megvalósításához.

Éppen ezért ilyen esetekben már a tervezés során a következő felsorolás szerinti helyszínek áttekintését, majd szükség szerinti azonnali kimenekítését vagy védelmét célszerű elvégezni, ha tartósan lehet a víz fennmaradására számítani a belterületi részeken, ingatlanokban:

1. A település mélyen fekvő vagy medenceként feltöltődni képes területei, kezdve elsősorban az árvizek esetén különösen veszélyeztetett lakosság (életkor szerint: 14 év alatt és 60 éves életkor felett; valamint mozgásképtelen betegek) tömeges tartózkodási helyül szolgáló, elsősorban egyszintes ingatlanokkal. Ide kell érteni az alagsorral rendelkező, többszintes épületeket, bevásárlóközpontokat is, különösen ha parkolás céljára kialakított helyiségeik vannak.
2. A település mélyen fekvő vagy medenceként feltöltődni képes területeire épített lakóingatlanok (különösen a vályogtégla és vert falazatúak) és létfontosságú üzemek, létesítmények.

3. A csapadékvíz levezetését szolgáló utak, csatornák. Külön kell vizsgálni esetükben a megerősítési, gyors bontási, megnyitási lehetőségeket.
4. Ha vannak, akkor a település magasabban fekvő részein lévő, tömeg-tartózkodásra alkalmas helyiségek vizsgálata (ideiglenes befogadóhely funkció), amelyeket várhatóan nem érint majd semmilyen városi árvíz.
5. A település kritikus pontjai esetén a többirányú vízelvezetési lehetőségek tervezése és biztosítása – akár lezárt lakórészekben keresztül is.

Felhasznált irodalom

1. IPCC [Internet]. AR6 WGI Headline statements from the summary for policymakers; 2021 [cited 2021 Oct 11]. Available from: www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Headline_Statements.pdf
2. Lee B, Preston F, Green G. Preparing for high-impact, low-probability events: lessons from Eyjafjallajökull [Internet]. London: The Royal Institute of International Affairs Chatham House; 2012 [cited 2021 Oct 10]. 61 p. Available from: www.chatham-house.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/r0112_highimpact.pdf
3. Hábermayer T. Az ár- és belvíz elleni katasztrófavédelmi feladatok korszerű megoldásának lehetőségei. Doktori (PhD-) értekezés [Internet]. Budapest: Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola; 2020 [letöltve 2021. október 10.]. 239 p. Elérhető: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/16211/habermayer_tamas_doktori_ertekezés.pdf;jsessionid=9661603CE9260A87CCCF6131BB60B542?sequence=1
4. World Weather Attribution [Internet]. Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021; 2021 [cited 2021 Oct 26]. 51 p. Available from: www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf
5. Fekete A, Sandholz S. Here comes the flood, but not failure? Lessons to learn after the heavy rain and pluvial floods in Germany. Water [Internet]. 2021 [cited 2021 Oct 26];13(21):3016. Available from: www.mdpi.com/2073-4441/13/21/3016/html
6. 'This is one of the greatest natural disasters Belgium has ever known', says Verlinden. The Brussels Times [Internet]. 2021 July 19 [cited 2021 Oct 26]. Available from: www.brusselstimes.com/news/belgium-all-news/178091/this-is-one-of-the-greatest-natural-disasters-belgium-has-ever-known-says-verlinden/

7. Algeria, Tunisia and Italy – floods leave 5 dead, 2 missing. Floodlist.com [Internet]. 2021 Oct 25 [cited 2021 Oct 27]. Available from: <https://floodlist.com/africa/algeria-tunisia-italy-medicane-floods-october-2021>
8. Fierce cyclonic storm turns squares into lakes in southern Italy. Reuters [Internet]. 2021 Oct 26 [cited 2021 Oct 28]. Available from: www.reuters.com/business/environment/fierce-cyclonic-storm-turns-squares-into-lakes-southern-italy-2021-10-26/
9. Catastrophic floods and tornadoes hit Italy and France! Genoa cyclone brought 883,6 mm / 24 hours and 11 tornado reports! Mkweather.com [Internet]. 2021 Oct 5 [cited 2021 Oct 29]. Available from: <https://mkweather.com/catastrophic-floods-and-tornadoes-hit-italy-and-france-genoa-cyclone-brought-859-mm-24-hours-and-11-tornado-reports/>

Márton Attila

A Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó hatásának elemzése Ecseg település villámárvizekkel szemben való védettségére

Bevezetés

A rekordmennyiségű csapadékot hozó 2010-es évben a Zagyva vízgyűjtőjén lévő Szuha-patak völgyét rendkívüli mértékű villámárvizek sújtották, ebben az időszakban négy komolyabb árhullám is kialakult a patakon. A Nógrád megyei Ecseg településen közel 200 ingatlan elöntése mellett 76 millió forintnyi anyagi kár is keletkezett ebben az időszakban. Ekkor újra előtérbe került az árhullámcsökkentési intézkedések elvégzésének fontossága a területen. Ennek egyik eszköze az Ecseg településen található Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó (más néven Ecsegi-tározó) létesítése volt, amely 250 millió forintba került, és a 2013-as megépítését követően 2016-ban kapott üzemeltetési engedélyt.

A tározó létesítése óta eltelt időszakban többször fordult elő jelentősebb mennyiségű csapadék a szóban forgó vízgyűjtőn, viszont a településen árvízi elöntés egyszer sem történt. A tározó és annak alvize is távjelzős vízmércével ellátott, ez lehetővé teszi a vízállás- és vízhozam adatok összegyűjtését és kiértékelését. A rendelkezésre álló idősorokból elemezhető, hogy a Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó létesítése milyen hatással volt Ecseg település villámárvizekkel szembeni védettségére.

Azért fontos továbbá az ilyen jellegű elemzések elvégzése, mert a nem megfelelő kialakítású vagy üzemelésű árvízcsúcscsökkentő tározó komoly gazdasági vagy szociális kockázatot jelenthet, ezért ezek a létesítmények állandó felügyelet és nagy körütekintés melletti üzemeltetést igényelnek, így az Ecsegi-tározó hasonló helyzetben van.



https://doi.org/10.36250/01137_06



<https://orcid.org/0000-0001-5070-2359>

Az érintett terület bemutatása

Az alábbi fejezetben a vizsgálat alá vont kutatási területet ismertetem.

A vízgyűjtő bemutatása

Az északról déli irányba folyó Szuha-patak Zagyvaszántó és Apc települések között torkollik a befogadó Zagyvába a vízfolyás 119,1 folyamkilométerénél. A Szuha-patak hossza 25,7 km, felső szakasza dombvidéki jellegű, középső szakasza átmeneti, legalsó szakasza pedig síkvidéki. A patak a felső szakaszán több vízmosásos völgyből is szállít vizet. A Szuha-patak torkolati szelvényéhez tartozó keskeny alakú vízgyűjtő terület 169 km² méretű [1].

Az érintett, nyugaton a Galga, keleten a Zagyva völgye által határolt Központi-Cserhát kistáj 160 m és 574 m közötti tengerszint feletti magasságú, völgymedencékkel tagolt, alacsony középhegység. A kistáj felépítésében északnyugatról délkelet felé egyre fiatalabb kőzetek vesznek részt. Északnyugaton a hegység lábánál felső oligocén homokos, agyagos összletek lépnek a felszínre, ezt követően az alsó miocén slír és kavics rétegsorok, majd a középső miocén andezittakarók következnek. Az andezitre kisebb-nagyobb foszlányokban lajtamészko, az alacsonyabb szinteken szarmata mészkő is rakódott [2].

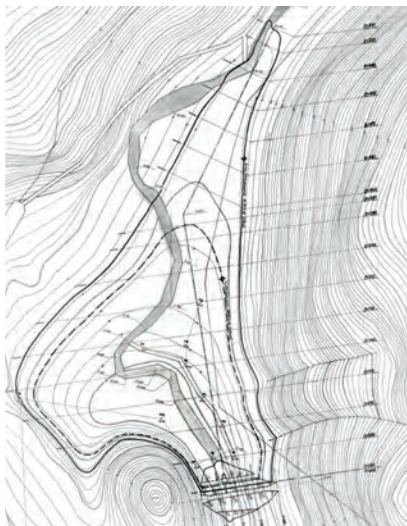
A lankás dombvidék nagyobb része kultúrtáj, kisebb erdőfoltokkal, völgyalji nedves rétekekkel, patak menti fűzligetekkel. A kistáj mérsékeltén hűvös-mérsékeltén száraz éghajlatú, az évi középhőmérséklet a kistáj legmagasabb pontján 8,0 °C körüli, máshol 9,0–9,5 °C, kevéssel 1900 alatti az évi napsütéses órák száma. Az évi csapadék 580–630 mm, ebből 340–380 mm a vegetációs időszakban hull. A Szuha-patak mértékadó kisvize 0,06 m³/s, mértékadó nagyvize pedig 35 m³/s. A kistájban kevés a forrás, a Szuha-patak völgytalpán erős völgyfeltöltés folyik [2].

A vizsgált tározó árvízcsúcscsökkentő hatásával leginkább érintett Ecseg község Nógrád megyében a Pásztói járásban, Pásztótól nyugatra, a Cserhát déli lábánál található. A település lakossága 1174 fő [3].

határolt, megközelítőleg 80 hektár nagyságú területen közel 1 200 000 m³ víz gyülekezett össze. Az összegyűlt víz levezetése érdekében a Vízügyi Igazgatóságnak töltésátvágást kellett végrehajtania [4]. Ecsegen a község 520 házából 186-ot öntött el a víz, tíz család háza végleg odaveszett. A víz a 60-80 cm-es magasságot is elérte a lakóterekben, ezáltal további károkat okozva a tulajdonosoknak. A talajvíz feltört a pincékben, és a kutak is megteltek a zavaros vízzel.

A tanulmányban vizsgált Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó Ecseg településtől északra helyezkedik el. A völgyzáró gát a Szuha-patak 17 + 452 fkm szelvényében épült a Várhegy keleti, illetve a Bézma nyugati lejtőire támaszkodva, helyszínrajza a 2. ábrán látható. Szerkezetes földgát, vízdoldali vízzáró testtel és mentett oldali támasztótesttel. 2013-as megépítését követően 2016-ban kapott üzemeltetési engedélyt. A tározó árvízi szintje 171,3 mBf, amelyhez 3,87 hektár vízfelület tartozik. Völgyzáró gátjának koronája 172,67 méter tengerszint feletti magasságban található.

A tározó működését egy monolitbeton árapasztó toronyból és betétgerendás aknából álló egyesített műtárgy biztosítja, amelyben a csőalagút mértékadó vízhozama nyomás alatt 48,1 m³/s. Az egyesített műtárgy a 3. ábrán látható. A völgyzáró gáton homlokbukós vészárasztó létesült, amely csillapítómedencébe vezeti az átbukó vizeket [5].



2. ábra: A tározó helyszínrajza [5]

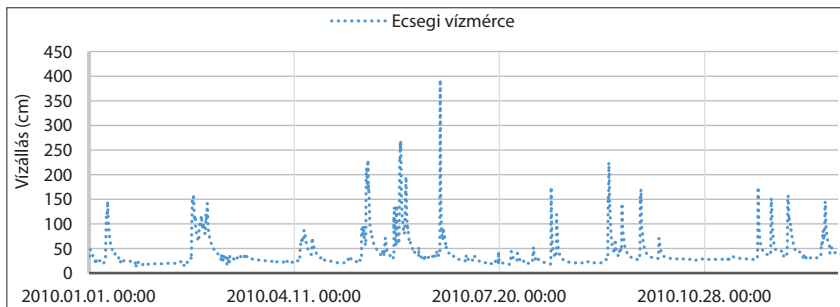


3. ábra: Az elkészült tározó 2014-ben (a szerző felvétele)

A tározó villámárvizekre való hatásának elemzése

A hosszú idejű adatsorokat a vizsgált területen telepített távjelzős vízmércék működése biztosítja. Mind a tározótérben, mind annak alvizén, Ecseg településen rendelkezésre állnak ilyen jellegű adatok, ezek elemzéséből lehet következtetéseket levonni a tározó működésével kapcsolatban.

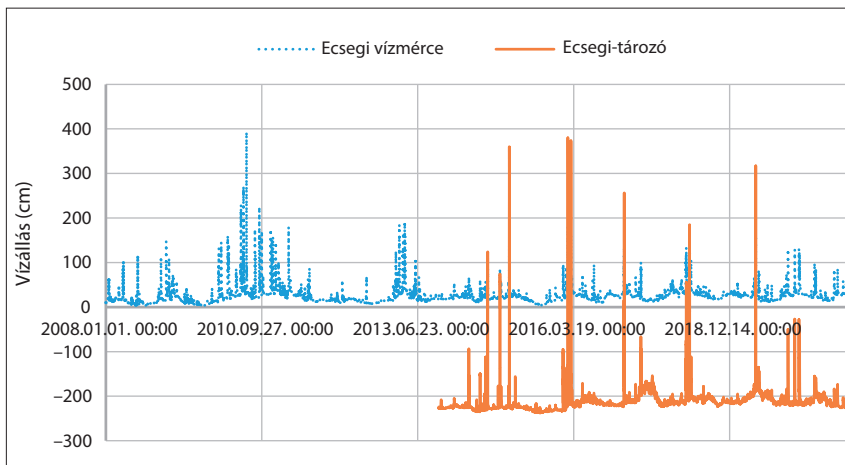
A 4. ábrán a Szuha-patakon lévő ecsegi vízmérce 2010-es vízállásidősora látható. *A tározó és építési körülményeinek bemutatása* című pontban már ismertett hidrometeorológiai szituációt alátámasztva megfigyelhető, hogy a tározó építése előtt akár hirtelen többméteres vízszintnövekedések is kialakulhattak.



4. ábra: Az ecsegi vízmérce 2010-es vízállásidősora (adatforrás: KDVVIZIG, a szerző szerkesztése)

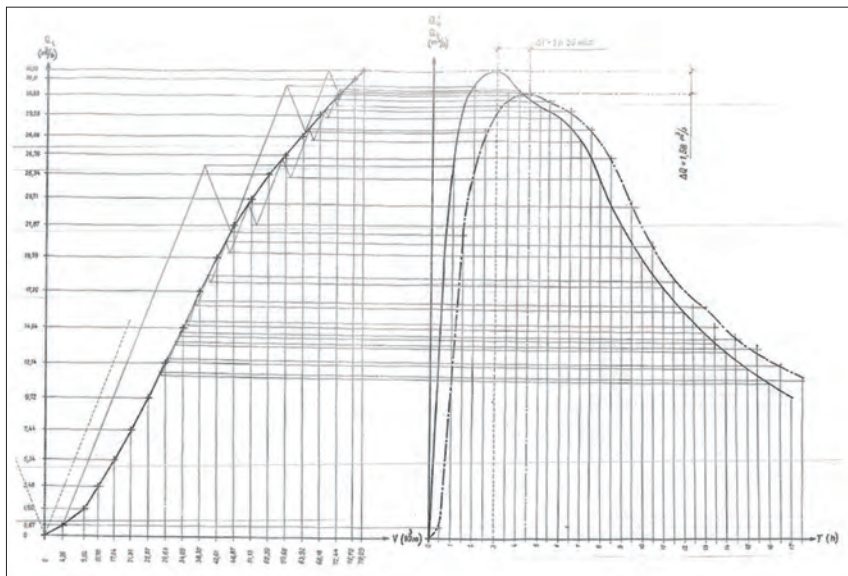
A tározóelzárási szelvényben $32,7 \text{ m}^3/\text{s}$ 200 évente előforduló, illetve $28,7 \text{ m}^3/\text{s}$ 100 éves visszatérési idejű csapadékkal lehet stratégiaileg számolni, viszont itt meg kell jegyezni, hogy 2010-ben ennél nagyobb vízhozamú árhullámok érhatték el a települést a Szuha-patakon, de mivel az kilépett a medréből, csak becslésekre lehet hagyatkozni.

Amennyiben a megépült tározóhoz képest folyásirány szerint alvízen lévő vízmérce és a tározóra telepített állomás adatait egy idősoron ábrázoljuk az 5. ábrán látható módon, kirajzolódik, hogy a tározó üzembehelyezése óta nem jellemzőek a többméteres vízszintemelkedések Ecseg településen.



5. ábra: Az ecsegi vízmérce és az Ecsegi-tározó vízállásidősora, 2008–2020 (adatforrás: KDV-VIZIG, a szerző szerkesztése)

A tározó elméleti árhullámcsökkentő hatását mutatja be a 6. ábra.



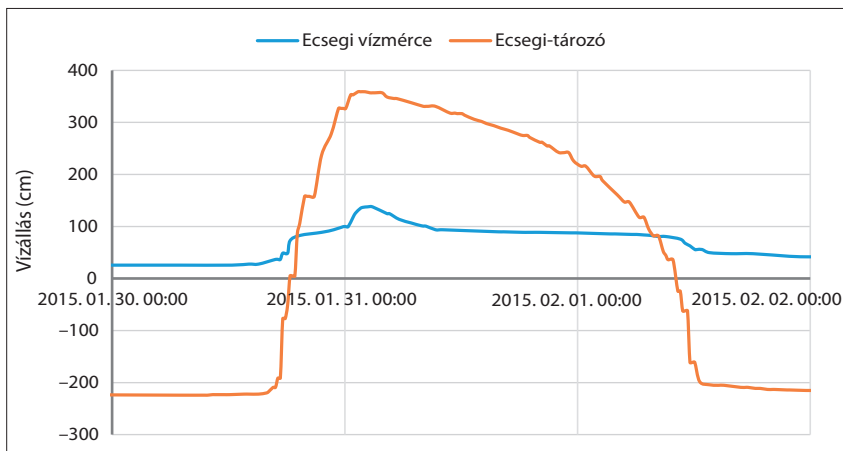
6. ábra: A Szuha-pataki tározó Sorrensen-ábrája [5]

Itt a létesítmény tervezője a fix küszöbű bukós árapasztóval ellátott árvízcsökkentő tározók méretezésére, illetőleg a tározóból távozó árhullám alakjának meghatározására szolgáló Sorrensen-módszerrel [6] mutatta be, hogy a 100 év visszatérési idejű árhullám közel 1,5 óra késéssel és 1,5 m³/s-mal kevesebb vízhozammal érkezik a településre az Ecsegi-tározó működésének hatására.

A tározó hatásának elemzése az első jelentősebb árhullámra

A fentiekén túl, hogy pontosabb képet kapjunk a tározó árhullámcsökkentő hatásáról, vizsgálni lehet a múltban megtörtént események alakulását a hidrológiai idősorok alapján.

A Szuha-patakon a tározó létesítése után lefolyó első komolyabb árhullám a 2015. év elején érte el Ecseg települést. Az árhullám téli időszakban, egy lokális csapadék hatására alakult ki, és nagyjából egy nap alatt le is vonult. A 7. ábrán láthatóak a tározóban és a településen ekkor mért vízállások.



7. ábra: Az ecsegi vízmérce és az Ecsegi-tározó vízállásidősora 2015. január végén (adatforrás: KDVVIZIG, a szerző szerkesztése)

Az árhullám érkezésével gyors vízszintemelkedés történt a tározóban, a településen viszont kevésbé intenzíven és kisebb mértékben emelkedett a patak vízszintje. Ahhoz, hogy láthassuk, mi történhetett volna ekkor a tározó létesítése nélkül, néhány számítást volt szükséges elvégezni.

Fontos adat a számítások elvégzéséhez a tározó vízszint-térfogat görbéje, valamint az ecsegi vízmérce vízhozam-vízszint görbéje. Ezek megléte mellett a tározóvízállások növekedésének üteméből számítható volt, hogy az a tározott vízmennyiség milyen intenzitású növekedését jelentette az adott időszakban. A tározott térfogat növekedésének üteme alapján számíthatóvá vált továbbá az egységnyi idő alatt tározott vízhozam (m^3/s) is. Szélsőséges esetet feltételezve, a legnagyobb egységnyi idő alatt tározott vízhozamot hozzáadva az alvízi mért maximumvízhozamhoz megkapjuk a tározó nélkül feltételezett maximális alvízi hozamot. Az ecsegi vízmérce vízhozam-vízszint görbéje alapján pedig leolvashatóvá vált a tározó nélküli maximális vízállás az adott időszakban.

A fenti számítások elvégzését követően az 1. táblázatban olvasható eredményeket kaptam a 2015. január végi árhullámmal kapcsolatban.

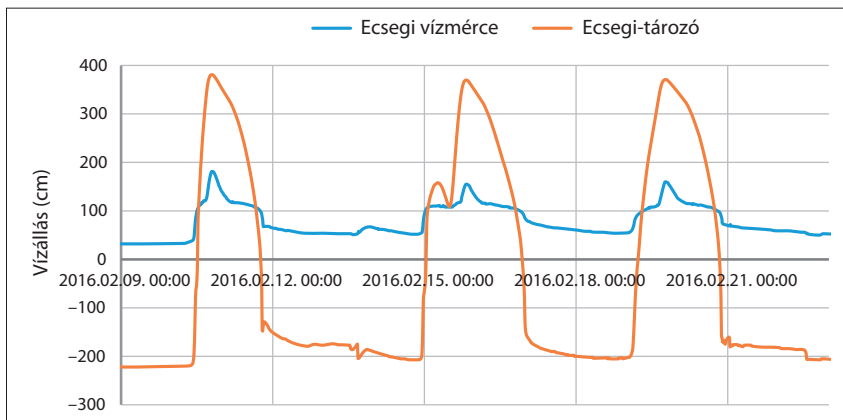
1. táblázat: A tározó hatásának elemzése az első jelentősebb árhullámra (a szerző szerkesztése)

Az árhullám alatt lefolyó víztömeg	545 353	m ³
Max. tározott mennyiség	72 669	m ³
Max. tározótöltődés	8	m ³ /s
Max. vízhozam (alvíz)	9	m ³ /s
Max. vízállás (alvíz)	140	cm
Becsült max. vízhozam (tározó nélkül)	17	m ³ /s
Becsült max. vízállás (tározó nélkül, alvíz)	183	cm
Különbség (alvíz)	43	cm

A vizsgált esetben 43 centiméterrel magasabb vízszint alakult volna ki az alvízen, tehát a tározó nélkül sem történt volna katasztrófahelyzet a településen.

A tározó hatásának elemzése a vizsgált időszak szélsőségeire

2016 februárjában volt a vizsgált időszak legjelentősebb árvízi eseménye a vízgyűjtőn. Ekkor nagyjából tíz nap leforgása alatt három árhullám is elérte a tározót. Érdekes, hogy ebben az időszakban is télen érkezett a víztöbblet, ez valószínűleg a fagyott talaj miatt kialakuló gyorsabb lefolyási viszonyoknak köszönhető. A 8. ábrán láthatóak a tározóban és a településen ekkor mért vízállások.



8. ábra: Az ecsegi vízmérce és az Ecsegi-tározó vízállásidősora 2015. január végén (adatforrás: KDVVIZIG, a szerző szerkesztése)

Mindhárom árhullám esetében az látható, hogy gyors vízszintemelkedés történt a tározóban, a településen viszont az egy évvel korábbihoz hasonlóan kevésbé intenzíven és kisebb mértékben emelkedett a patak vízszintje.

A tározó hatásának elemzése az első jelentősebb árhullámra című pontban ismertetett számítások elvégzését követően a 2. táblázatban olvasható eredményeket kaptam a vizsgált időszak árhullámaival kapcsolatban.

2. táblázat: *A tározó hatásának elemzése a 2016. februári árhullámokra (a szerző szerkesztése)*

Az árhullám alatt lefolyó víztömeg	3 095 152	m ³
Max. tározott mennyiség	75 560	m ³
Max. tározótöltődés	8	m ³ /s
Max. vízhozam (alvíz)	17	m ³ /s
Max. vízállás (alvíz)	181	cm
Becsült max. vízhozam (tározó nélkül)	25	m ³ /s
Becsült max. vízállás (tározó nélkül, alvíz)	214	cm
Különbség (alvíz)	33	cm

A 2016-os árvíz magasabb szinten tetőzött a településen, viszont a tározó töltődésének a dinamikája hasonlóan zajlott a 2015-ös esethez. 2016-ban 33 centiméteres emelkedést okozott volna a tározó hiánya, tehát árvízi problémát ez sem okozott volna a településen.

Következtetések, konklúzió

A Szuha-pataki árvízcsúcscsökkentő tározó 2014-es létesítése óta nem volt a 2010-eshez hasonló extrém csapadékesemény a patak vízgyűjtőjén, azonban néhány jelentősebb árhullám kialakult ebben az időszakban is.

Bár ezeknél az árhullámoknál elemezni lehet a tározó vízszintcsökkentő hatását a patak alvízi szakaszára vonatkozóan, az eredmények szerint a tározó működése csupán néhány deciméteres vízszintcsökkenést jelentett Ecseg településen. A különbség annak ellenére kevésnek tűnik, hogy az elméletinél magasabb vízhozamcsökkentést feltételeztem. A tározó létesítése óta viszont nem volt villámárvíz a faluban, továbbá a mérési adatokon és diagramokon látható az időelőny és a vízhozamcsúcs csökkenése is, így valamilyen mértékben nyilvánvalóan csökkent Ecseg árvíz-veszélyeztetettsége.

Az adatok rendelkezésre állásának feltétele volt a vízmércék kiépítése mind a tározótérben, mind az alvízen. Újonnan épített tározóknál ez előírás szokott lenni az üzemeltetéshez, az elemzéshez azonban fontos volt az is, hogy a vízmérce folyamatosan rögzítse a vízszintadatokat.

Korábbi modelleredmények bizonyítják továbbá, hogy a tározó jelenleg nem felel meg a 2010-eshez hasonló mértékű árhullámok fogadására, mert a korlátozott anyagi lehetőségek miatt csak kisebb kapacitású tározó megvalósítására nyílt lehetőség [4]. A tározó tervezése kapcsán azonban ügyeltek arra, hogy a töltése magasítható legyen, így növelve az árvízi biztonságot.

A villámárvizek nehezen megelőzhetők, nehéz ellenük védekezni, ilyen esetekben az építési követelmények körültekintő megválasztása és az integrált vízgazdálkodás alkalmazása vezethet eredményre [7].

Fontos továbbá, hogy az ilyen kis méretű tározóknál nem javasolt állandó víztartás, ugyanis a járulékos hasznosítás kielégítéséből eredő esetleges nem megfelelő üzemeltetés egy nagyobb árhullám esetén komoly katasztrófavédelmi és szociális kockázatot jelenthet.

Felhasznált irodalom

1. Tározási lehetőségek komplex hidrológiai és hidraulikai vizsgálata a Szuha völgyében. Tanulmányterv. Budapest: VIZITERV Consult Kft.; 2013.
2. Dövényi Z, szerkesztő. Magyarország kistájainak katasztere. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet; 2010. 876 p.
3. Magyarország közigazgatási helynévkönyve. Budapest: Központi Statisztikai Hivatal; 2015. 230 p.
4. Takácsné Tóth Á. Az Ecsegi-tározó üzemeltetési szabályzatának kidolgozása hidrinformatikai támogatással. Szakdolgozat. Budapest; 2016.
5. Petre L. Ecseg, Szuha-pataki „zöld” tározó végleges üzemeltetési szabályzata. Bátönytereny; 2014.
6. Kontur I, Koris K, Winter J. Hidrológiai számítások. Budapest: Akadémiai Kiadó; 1993. 572 p.
7. Kirovna Rác RM, Márton A. A hidrológiai eredetű szélsőségekkel összefüggő katasztrófavédelmi feladatok értékelése. Hadmérnök [Internet]. 2020. december [letöltve 2021. október 11.];15(4):97–106. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2020.4.7>

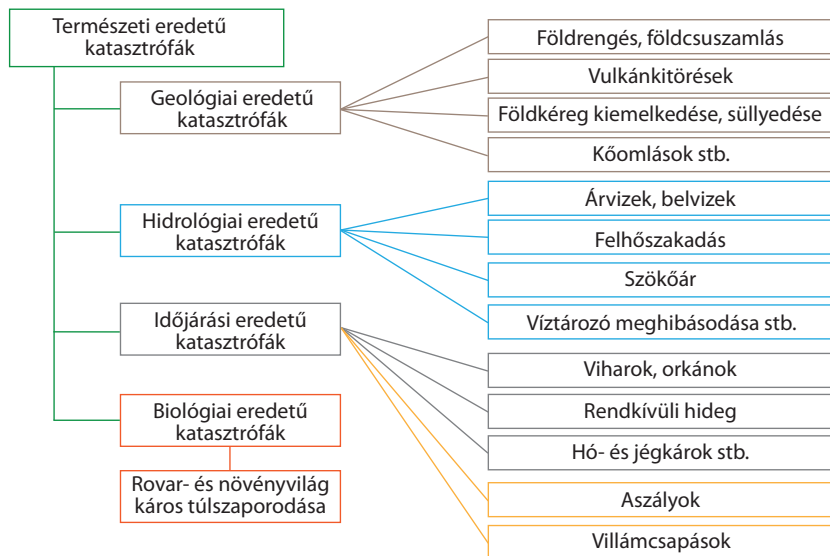
Vákát

Csapadékvíz-gazdálkodás kontra veszélyhelyzet kialakulása a veszélyes ipari üzemekben

A természeti katasztrófák gyakoriságának változása

Azokat a természeti okokból bekövetkező váratlan, rendkívüli eseményeket, amelyek a környezet állapotát, beleértve az élővilágot (az embert) is nagymértékben negatívan befolyásolják, természeti katasztrófáknak nevezzük.

A természeti katasztrófák osztályozására többféle modell létezik, az egyik leggyakrabban alkalmazott módszert az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: A természeti katasztrófák osztályozása [1]

A természeti katasztrófák bekövetkezésének valószínűsége számos tényező függvénye. Általánosságban, globális szinten a Meteorológiai Világszervezet (WMO) átfogó jelentése alapján elmondható, hogy az elmúlt ötven évben a természeti katasztrófák száma – elsősorban a globális klímaváltozásra visszavezethetően – az 1970-es évekhez képest az ötszörösére növekedett.

A WMO 11 ezer természeti katasztrófa következményeit vizsgálta meg. Megállapította, hogy a természeti katasztrófák következtében több mint kétmillió ember halt meg, a halálos áldozatok száma az 1970-es években több mint évi 55 000 volt, az utóbbi évtizedben pedig 18 500-ra csökkent. Ez azt jelenti, hogy amíg az 1970–1980-as években átlag 170 ember halt meg naponta, addig ez a szám 2010-re 40-re csökkent. A csökkenés vélelmezhetően a természeti katasztrófák korai előrejelzésének, valamint a védelmi tervezés fejlődésének tulajdonítható.

Bár a természeti katasztrófák a legtöbb halálos áldozatot a fejlődő országokban követelték – a feljegyzett kétmillió áldozat mintegy 90%-át – a gazdasági károk 60%-a a fejlett országokban jelentkezett. Az 1970-es években a természeti csapások évente mintegy 175 millió dollár kárt okoztak világszerte, ez a 2010-es évekre évi 1,38 milliárd dollárra nőtt [2].

Európában a vizsgált időszakban, azaz 1970 és 2019 között 1672 természeti katasztrófa történt, amelyek összesen 159 438 halálos áldozattal és 476,5 milliárd dollár gazdasági kárral jártak együtt. Bár a természeti katasztrófák leggyakoribb okai az árvíz (az esetek 38%-a) és a viharok (az esetek 32%-a) voltak, a legtöbb áldozatot (50 év alatt 148 109 emberélet, az esetek 93%-a) a szélsőséges hőmérséklet – hóhullám – okozta. Az extrém hóhullámok közül a 2003-as és a 2010-es hóhullám mintegy 127 946 emberéletet követelt.

A természeti katasztrófák, beleértve a rendkívüli meteorológiai eseményeket, az illetékes – általában a katasztrófavédelemért, illetve a meteorológiai adatszolgáltatásért felelős – nemzeti szervezetek honlapján nyomon követhetők. 2004-ben az Egyesült Nemzetek Szervezete és az Európai Bizottság együttműködési keretként létrehozták a Globális Katasztrófiariasztási és -koordinációs Rendszert (Global Disaster Alert and Coordination System – GDACS) annak érdekében, hogy orvosolják az információgyűjtés és -elemzés jelentős hiányosságait a katasztrófák korai szakaszában.

Magyarországon a természeti katasztrófák, rendkívüli meteorológiai események az illetékes nemzeti szervezetek – úgymint Országos Meteorológiai Szolgálat, Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság és területi szervei, Országos Vízügyi Főigazgatóság és területi szervei – honlapján nyomon követhetők.

A természeti katasztrófák, úgymint NATECH-események kezelése a veszélyes anyagokkal végzett tevékenység engedélyeztetése során is egyre fokozottabban kerül elő, ugyanis az Európai Unió Közös Kutatóközpontjának (EC JRC – Ispra) a vizsgálatai megállapították, hogy a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek/üzemzavarok minimum 5%-a természeti katasztrófák bekövetkezésére vezethető vissza [3].

Hazai szélsőséges időjárási események

Hazánkban a leggyakoribb természetikatasztrófa-típust a meteorológiai események jelentik. A szélsőséges időjárás korai jelzése érdekében a magyar illetékes szervezet – az Országos Meteorológiai Szolgálat – veszélyjelző rendszert működtet. A figyelmeztetések és a riasztások három veszélyességi szintjét különbözteti meg:

- Első szint (sárga): Az ebbe a kategóriába sorolt időjárási események nem szokatlanok, de potenciális veszélyt jelenthetnek, ezért tanácsos elővigyázatosnak, óvatosnak lenni, főként az időjárási hatásoknak jobban kitett tevékenységek során.
- Második szint (narancs): Veszélyt hordozó időjárási jelenség, amely káreseményekhez vezethet, vagy akár személyi sérülést, balesetet is okozhat.
- Harmadik szint (piros): Veszélyes, komoly károkat okozó, rendszerint kiterjedt területeket érintő, sok esetben emberi életet is fenyegető időjárási jelenségek [4].

A szélsőséges időjárási eseményekről az Országos Meteorológiai Szolgálat minden évben jelentést tesz közzé a honlapján. A 2021-re vonatkozó jelentést még nem tették közzé a tanulmány megírásának idején. 2020-ban összesen 174 napon volt érvényben riasztás: 123 napon sárga, 51 napon narancs fokozatú. Ami viszont komolyabb eltérés volt az előző évhez képest: a narancs riasztással jellemzett napok száma (51) több mint kétszerese volt a 2019. évi értéknek (25). Piros riasztást nem adtak ki abban az évben [5].

Országos viszonylatban a narancs fokozatú riasztások csaknem négyötödét (79%) a lokálisan 50 mm-t meghaladó csapadékkal járó felhőszakadásra (36%) és a heves – azaz a jégeső és a viharos kifutószél szempontjából fokozottabb kockázatot jelentő – zivatarokra (43%) kiadott jelzések tették ki. Ez azt jelenti, hogy 2020-ban 30 napon volt érvényben nagy mennyiségű csapadékra vonatkozó

figyelmeztetés: országos viszonylatban 24 napon sárga és 6 napon narancs fokozatú figyelmeztetés. [5]

2020 egyik legextrémebb helyzete július 24–25-én történt Zala megye déli, illetve Somogy megye északnyugati részén, ahol 24 óra alatt elképesztően nagy, néhol 150 mm-t is meghaladó csapadékmennyiség hullott. Az extrém esőzés következtében több útszakasz járhatatlanná vált a térségben a vízátfolyások miatt. Folyók, víztározók gátjai szakadtak át, elárasztva többek között Liszó és Surd településeket is [5].

Az Országos Meteorológiai Szolgálat által közétett jelentés alapján megállapítható, hogy a meteorológiai veszélyeztetések közül leggyakoribb a heves zivatar, valamint a jelentős csapadékkal járó felhőszakadás. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos tevékenységek engedélyeztetése során ezért ezekre az eseményekre kiemelt figyelmet kell fordítani.

NATECH-események kontra veszélyes ipari üzemek

Évente számos olyan veszélyes anyagokkal kapcsolatos baleset történik, amelynek következményei hatással vannak a környezeti elemekre. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek egy része az üzemhatáron túlterjedve veszélyezteti a környezetben lévő lakott területeket. Gondoljunk csak a 2020. augusztus 4-én Bejrútban történt ammónium-nitrát-robbanásra, amelynek következményeként 160 fő elhalálozott, valamint helyreállíthatatlan károk keletkeztek [6].

A veszélyes anyagokkal végzett tevékenység engedélyeztetése, felügyelete ezért kiemelt prioritású. A balesetek megelőzésének egyik lehetséges eszköze a szigorú jogi szabályozás kialakítása és működtetése. A jogi szabályozásnak egyrészt ki kell terjednie az építés, az üzemeltetés és a felszámolás fázisára egyaránt, másrészt a veszélyes tevékenység folytatását megelőzően a leendő üzemeltetőt szisztematikus kockázatelemzés elkészítésére kell kötelezni. A kockázatelemzés során feltárják, azonosítják a technológia, az üzemeltetés lehetséges gyenge pontjait, valamint meghatározzák egy esetleges baleset elhárításához szükséges humán és szaktechnikai feltételrendszert.

A rendszer gyenge pontjainak feltárása során törekedni kell a teljesség igényére, azaz minden olyan lehetséges okot azonosítani kell, amelynek bekövetkezése – akár áttételesen is – hozzájárulhat a veszélyes anyagokkal kapcsolatos baleset kialakulásához. A költséghatékonyság érdekében a balesetek kialakulásához vezető okokat rangsorolni kell, költség-haszon elemzés alapján el kell

dönteni, hogy a vizsgált ok esetében szükséges-e további intézkedéseket tenni, vagy a generált kockázat az elfogadható, tolerálható tartományba tartozik-e.

A kockázatelemzést nemcsak az üzemeltetést megelőzően kell elvégezni, hanem a működés során rendszeresen meg kell ismételni a folyamatosan változó tényezők miatt. Változó tényező lehet akár egy technológiai módosítás vagy a humán feltételrendszerben, irányítási rendszerben bekövetkező jelentős változás, de akár a külső környezeti tényezők megváltozása is.

A külső környezeti tényezők vizsgálatának ki kell terjednie egyrészt az üzem mikrokörnyezetét érintő változásokra, másrészt a globális hatásokra. A külső környezeti tényezők megváltozását a mesterséges és természetes folyamatok egyaránt indukálhatják. Mesterséges folyamat lehet többek között az üzem épített környezetének fejlesztése, új üzem létesítése. Ilyen esetekben a dominóhatás-vizsgálat nélkülözhetetlen. Természetes folyamat lehet a globális klímaváltozás, amelynek egyik eredménye a szélsőséges időjárási externáliák gyakoriságának növekedése. Gondoljunk csak bele, milyen komoly kockázatokat hordozhat magában egy erős szélvihar, tornádó kialakulása olyan területen, ahol a veszélyesanyag-egységrakományokat a szabadban, egymásra helyezve tárolják.

A súlyos baleset kialakulásához vezető természeti okok vizsgálata a globális klímaváltozás miatt egyre fokozottabb szerepet kap, ugyanakkor a számszerűsíthető metodika kidolgozása még gyerekcipőben jár. Talán az egyik ok, ami miatt a természeti katasztrófákat a kockázatelemzés során nehéz számszerűsíteni – különösen igaz ez a meteorológiai eseményekre –, a bekövetkezési valószínűséghez tartozó bizonytalanság. A természeti katasztrófák bekövetkezési valószínűségéhez kapcsolódó bizonytalanság kezelése érdekében javasolt a mennyiségi kockázatelemzésben való tételes szerepeltetés helyett a preventív és védelmi oldalról való megközelítés.

A preventív megközelítés során a létesítési fázisban már javasolt a lokális csapadék kezelése, a csapadékintenzitás figyelembevételével. A csapadékintenzitás meghatározására az Országos Meteorológiai Szolgálat viszonylag új – és új honlapfelületen megjelenő – szolgáltatása nyújt szakmai háttérrel.

A preventív megközelítés mellett kiemelt prioritású a védelmi tervezés, valamint a védelmi tervekben megfogalmazott intézkedési sorok maradéktalan végrehajtása. A védelmi tervezés során minőségi módon fel kell mérni a területet veszélyeztető lehetséges elsődleges és másodlagos természetikatasztrófa-típusokat. A védelmi intézkedések között a megfelelő monitoringnak – többek között az Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelző rendszerének – rendkívüli szerepe van, hiszen alapinformációt biztosít a veszélyhelyzetre való felkészüléshez.

Például a vízgyűjtő területen várható rendkívüli esőzés eredményeként valószínűsíthető árvíz, belvíz kialakulása, amely a föld alatti üres tartályok (például sloop tartályok) megemelkedését eredményezheti. A föld alatti üres tartályok megemelkedése a technológiai rendszer sérülését okozhatja, amely veszélyes anyag szabadba kerülésével járhat. A monitoringrendszer igénybevételével felkészülhetünk a veszélyhelyzetre a tartályok felemelkedés elleni lesúlyozásával, amely a legegyszerűbben a tartályok megtöltésével oldható meg.

A védelmi tervezés során nemcsak a veszélyhelyzet megelőzésére kell kitérni, hanem a területet érintő esetleges természeti katasztrófát követően a normál állapot minél hamarabbi visszaállítására. Egy jelentős csapadékkal járó felhőszakadást követően például a kármentőkben összegyűlt csapadékvizet – az üzemi protokollnak megfelelően – minél gyorsabban el kell távolítani annak érdekében, hogy egy esetleges veszélyhelyzet során a kármentő teljeskörűen be tudja tölteni funkcióját, részleges telítettsége miatt a veszélyes anyag ne kerüljön ki a környezetbe.

Következtetés

Az elmúlt év tapasztalatai alapján a meteorológiai események közül az egyik leggyakoribb a heves zivatar, a jelentős csapadékkal járó felhőszakadás. A 2020-as év rendkívüli meteorológiai eseményei közül a legextrémebb helyzet szintén a nagy mennyiségű lokális csapadékhoz kapcsolódik.

A rendkívüli meteorológiai események a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek tevékenységében veszélyhelyzetet idézhetnek elő, másodlagos hatásként veszélyes anyagok kerülhetnek a szabadba. A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek üzemeltetői a veszélyes anyagok lehetséges szabadba kerülésével járó csúcsesemények kiváltó okait kockázatelemzéssel próbálják részletesen feltárni. A rendkívüli meteorológiai események alapeseményként való figyelembevétele a bizonytalanság miatt azonban nehézkes, ezért javasolt azok kezelésének preventív és védelmi oldalról való megközelítése.

A preventív megközelítés azt jelenti, hogy az üzemeltetőnek a tervezés fázisában, például a méretezéskor, már figyelembe kell vennie a rendkívüli meteorológiai eseményeket.

A védelmi megközelítés a veszélyhelyzet kezelésének a tervezésnél történő figyelembevételére ad utalást: az üzemeltetőknek a releváns védelmi tervben nevesíteniük kell a meteorológiai veszélyhelyzet és a kapcsolódó egyéb

következmények eszkalálódásának megelőzésére, valamint a normál üzem visszaállítására (a helyreállításra) vonatkozó intézkedési sort. A védelmi tervezés első lépése a veszélyhelyzetre való felkészülési idő optimalizálása, amelyhez jól működő, hatékony monitoringrendszerekre, az úgynevezett korai figyelmeztető rendszerekre (Early Warning System) van szükség. A szélsőséges időjárás korai jelzésére vonatkozóan az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett veszélyjelző rendszer kiépítésével ez megvalósult.

Felhasznált irodalom

1. Nagy K, Halász L. Katasztrófavédelem. Egyetemi jegyzet. Budapest: ZMNE; 2002. 161 p.
2. World Meteorological Organization [Internet]. Weather-related disasters increase over past 50 years, causing more damage but fewer deaths; 2021 Aug 31 [cited 2022 Feb 15]. Available from: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/weather-related-disasters-increase-over-past-50-years-causing-more-damage-fewer>
3. Vass Gy, Mesics Z, Kovács B. Útmutató a külső hatások (természeti veszélyek) figyelembevételére és hatásaik kezelésére [Internet]. Budapest: BM OKF Országos Iparbiztonsági Főfelügyelőség, Veszélyes Üzemek Főosztály; 2016 [letöltve 2022. február 15.]. 17 p. Elérhető: www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/hat-veszuz-szaktaj/738.pdf
4. Met.hu [Internet]. Az OMSZ Veszélyjelző rendszere [letöltve 2022. február 15.]. Elérhető: www.met.hu/idojaras/veszelyjelzes/omsz_veszelyjelzo_rendszere/
5. Met.hu [Internet]. Összefoglaló az Országos Meteorológiai Szolgálat publikus veszélyjelző rendszerének 2019. évi működéséről, illetve hazánk szélsőséges időjárási eseményeiről és éghajlatáról; 2020. április 1. [letöltve 2022. február 15.]. Elérhető: www.met.hu/omsz/OMSZ_hirek/index.php?id=2791
6. De miért volt ilyen nagy a bejrúti robbanás? Hvg [Internet]. 2020. augusztus 11. [letöltve 2022. február 15.]. Elérhető: https://hvg.hu/tudomany/20200811_bejrut_robbanas_libanon_fizika

Vákát

V. rész

Az infrastruktúra-gazdálkodás, -üzemeltetés
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

Kibertámadások víziközművek ellen

Bevezetés

A víz napjaink, életünk alapfeltétele, stratégiai elem. A lakosság vízfogyasztása mellett sok szektor tevékenységéhez nélkülözhetetlen. Természetessé és ezzel láthatatlanná vált, ahogy az lenni szokott. Értékét, jelentőségét akkor fedeztük fel, amikor hiánya, a vízellátás problémái realitássá váltak.

Az 1992-ben született dublini elvek leszögezték, hogy „a víznek valamennyi versengő felhasználásában gazdasági értéke van, és gazdasági jószágként kell elismerni” [1].

Az elmúlt évek trendje, hogy a természetet, annak elemeit gazdasági értékkel (természeti tőkével) ismerik el annak érdekében, hogy megvédjék és megőrizték nemcsak a mai, hanem a jövő nemzedékek számára is. A természeti tőke a fizikai természeti javak állománya – egyszerűen minden, amit a természet ingyen ad nekünk, például a víz, a talaj, az erdők és a biológiai sokféleség [2].

Ahogy a 2021. évi víz világnapját méltató weboldal összegzi: „a víz értéke sokkal több, mint az ára – a víznek óriási és összetett értéke van háztartásaink, kultúránk, egészségünk, oktatásunk, gazdaságunk és természetes környezetünk épsége szempontjából. Ha figyelmen kívül hagyjuk ezen értékek bármelyikét, azt kockáztatjuk, hogy rosszul kezeljük ezt a véges, pótolhatatlan erőforrást.” [3]

Az iparágak folyamatos fejlődéséhez növekedésre orientált, fogyasztásra kényszerített, túlnépesedett világunkban egyre több vízre van szükség. Ezzel szemben a nagyipari és mezőgazdasági környezetszennyezés, valamint az ipari-nagyüzemi felhasználókra és az egyéni felhasználókra egyaránt jellemző pazarló vízgazdálkodás miatt az édesvíz egyre korlátozottabb mennyiségben és minőségben áll rendelkezésre, ami rendkívüli nyomást jelent az ágazatnak. A víziközművekre és vízügyi igazgatóságokra komoly kötelezettséget ró a működés biztonságának megteremtése a vízkivételtől a szennyvíz kezeléséig.

A víz a mai technikai-technológiai fejlettségnek köszönhetően megbízhatóan tisztítható, újrahasznosítható, a fogyasztók felé eljuttatható, a keletkezett szennyvíz elvezethető. A jogszabályban meghatározott fizikai, kémiai, bakteriológiai,

biológiai, toxikológiai és radiológiai határértékeknek megfelelő minőségű víz szolgáltatása a víziközművek felelőssége.

A kor technikai követelményeivel lépést tartva a növekvő igények kielégítéséhez, a működési költségek – legalább – szinten tartásához, az ügyfelek kiszolgálása, az adminisztratív tevékenységek modernizálása céljából és nyilván más okok folytán is, a víziközmű-vállalatok jelentős digitális fejlesztéseket hajtottak végre az elmúlt évtizedekben.

A digitális adatátvitel egyben megteremtette annak lehetőségét, hogy a vállalaton belül a telephelyek, ügyfélirodák, laboratóriumok és más egységek összekapcsolódjanak, a sokszor bizonytalan, netán akadozó analóg telefonkapcsolat helyett stabil, folyamatosan megbízható minőségű kommunikációra nyílt lehetőség.

Ugyanakkor – kifelé – kiterjedt kapcsolatrendszer épült ki egyfelől az államigazgatás különböző szerveivel, a pénzügyi szférával, a meteorológiai intézetekkel, felhőszolgáltatókkal és másokkal, másfelől az ügyfelek is elérhetik a vállalat szervereit. Tehát a hozzáférési pontok a veszélyeztetettek.

A víziközmű-vállalatok, vízügyi igazgatóságok valós térbeli üzemi tevékenységének integráns részei a virtuális térben zajló folyamatok, ezáltal veszélyeztetettségük is növekedett, több irányból, különböző védelmi szinten levő tevékenységek, részlegek védelmét kell megoldani.

A víziközműveket érintő kiberfenyegetettség és -biztonság

Korábban a víziközműveket a valós térből potenciálisan fenyegető – jellemzően rongálásban megmutatkozó – támadásoktól kellett óvni, azok fizikai védelmére kellett komoly figyelmet fordítani. Ez természetesen ma is elengedhetetlen követelmény. A védművek veszélyeztetői a magányos elkövetőktől (ittas, garázda személyek, elbocsátott dolgozók, a védművek építkezései ellen tiltakozók stb.) az emberi életet sem kímélő és különösen nagy kárt okozó terroristákig terjedhetnek.

A valós térbeli cselekmények köre és elkövetőik viszonylag jól behatárolhatók a védművek rongálásától, amely rendkívül veszélyes árvizek idején, az ivóvíz mérgezésén át (a 13. században a tatárok ellen alkalmazták önvédelemként; a régi magyar jogban a „kútmérgezés” sokáig büntetendő cselekmény volt) a vízellátás megzavarásáig.

Az állam biztonsága, az állampolgárok jóléte, a gazdasági-társadalmi folyamatok zavartalansága, az egyéni felhasználók tevékenysége védelmének alapkövetelménye a kiberbiztonság [4 p69–72]. Ennek hiánya nem csupán elbizonytalaníthat a modern technikai eszközök, applikációk és megoldások alkalmazásában, hanem hatásai felmérhetetlenek, jelesen a demokráciát és annak értékeit kockáztatják.

A cselekmények kriminológiai ismérve az is, hogy a kiberfenyegetések gyakran profitérdekből elkövetett bűncselekmények, azok egyre gyakrabban politikai, stratégiai motivációjúak. Egyre gyakrabban terrrorszervezetek és államilag támogatott terroristák hajtják végre nemtelen cselekményeiket.

Kriminálisztikai tapasztalat az, hogy a kiberbűnözés és a „hagyományos” bűnözés közötti határ elmosódik, mivel a bűnözők az internetet, a digitális eszközöket használják tevékenységeikhez, valamint a digitális környezet az új módszereket és eszközöket tálcán kínálja a bűncselekmények elkövetéséhez. Lehetséges, hogy bármely bűncselekménnyel összefüggésbe hozott bizonyítékok elektronikus formában állnak rendelkezésre számítógépes rendszerekben, adathordozókon, mobileszközökön, és azok tartalmát, integritását a büntető-eljárás során a nyomozó hatóság és a védelem érdekei miatt biztonságosan meg kell őrizni.

Napjainkban a víziközművek és vízügyi igazgatóságok a virtuális térből is támadhatók. A támadás veszélyességét fokozza, hogy az bármikor, bárki által, bárholnan elkövethető. Az IP-címek leplezésének technikái miatt akár egy „szomszéd épületből” is indítható a támadás. Lássunk néhány tipikus támadástípust.

„Elektronikus betörés” (hacking)

A számítógépes rendszer közvetlen, az adatállomány közvetett veszélyeztetésének legkorábbi stádiuma. Az ilyen cselekmény a Büntető törvénykönyv 423. §-ába ütköző információs rendszer vagy adat megsértése bűncselekménye (1) bekezdése szerint minősülhet.

A védett adatállományokhoz való jogosulatlan hozzáférés következtében az ott kezelt adatok megismerhetők, megszerezhetők (lemásolhatók), azok részben vagy egészben megváltoztathatók (kiegészíthetők, felülírhatók, részben törölhetők), teljességükben törölhetők, az elért adatállomány ártrendezhető, amelynek eredményeképpen az nem vagy másképp értelmezhető. Az ilyen

cselekmények a Büntető törvénykönyv 423. §-ába ütköző információs rendszer vagy adat megsértése bűncselekménye (2) bekezdésének b) pontja szerint minősülhetnek.

Profi hacker a dark weben bérelhető (Cr2Cr, Criminals to Criminals, bűnözők a bűnözőkkel ügylet keretében). A megszerzett személyes adatok, különösen a nevek, e-mail-címek, bankszámlaszámok is „piacképes áruk”. 2020 januárjában az Egyesült Államokban a Greenville Water bejelentette, hogy célzott kibertámadást szenvedett, amely 500 000 ember munkabérének utalására, online kifizetésére volt hatással [5]. Ebben a hónapban a michigani Detroit Víz- és Csatornázási Osztály 300 fiókjának ügyfélérzékeny információi kerültek nyilvánosságra [6].

Az „elektronikus betörés” további valós veszélye az, hogy lehetőség nyílik a számítógépes rendszer működését befolyásoló, szabotáló malware-ek feltöltésére, megosztására.

Jogosulatlan felülírás (defacing)

Az „elektronikus betöréssel” megnyílik a lehetőség a vízügy weboldalának jogosulatlan felülírására (*defacing*) is. Hamis hírek, sőt rémhírek tölthetők fel a víziközművek tevékenységéről, valóságos vagy nem létező árvizekről, azok következményeiről, a víz minőségéről, mérgezéséről, és más lejárato tartalmak jeleníthetők meg.

Az adathalászat (phishing)

Az adathalászat felőleli a dolgozók, alkalmazottak személyes és a rendszer eléréséhez szükséges adatainak, továbbá a vállalat pénzügyi-gazdasági, technológiai információinak, valamint valamennyi munkavállalónak a munkáltatónál kezelt személyes adatainak tiltott megszerzését.

Az adathalászat céljára – mára – különféle csalárd e-mailek ismertek. Nézzük a legismertebbeket:

- BEC (Business E-mail Compromise) – a vállalat vezetője, a társintézmény, a társszerv nevében érkezik az e-mail, amelyre az alkalmazott, dolgozó jellemzően ellenőrzés nélkül, kvázi „szolgáiban” válaszol. A kért információkat szinte „automatikusan” közli a megkereső féllel.

- A Spear Phishing (szigonyozás) meghatározott felhasználói kört (vezetőt, döntési pozícióban, információk birtokában lévő stb. személyt) vesz célba.
- Whaling – kifejezetten felső vezetőket megkereső e-mail.

A víziközművek, igazgatóságok dolgozóinak, alkalmazottainak e-mailes megkeresését megkönnyítik a vállalati ismertető, továbbá az interneten közzétett elérhetőségek, ahol a dolgozók, alkalmazottak, vezetők e-mail-címei, telefonmellékei elérhetők.

Az adathalászat másik ismert módszere a *social engineering*. Jellemzően a felhasználóval már meglévő vagy később kialakított bizalmi viszony kihasználásával történik. A személyes kapcsolat kialakítása a dolgozóval, az alkalmazottal, az ajándékokkal elhalmozás, érzelmi, szexuális viszony kezdeményezése, netán házasság ígérete vagy más típusú kapcsolat kihasználásának egyetlen célja van, ez pedig a számítástechnikai rendszerbe belépést biztosító adatok megszerzése. Lehetséges az is, hogy az elkövető számítógép-szerelőnek kiadva magát javítás színlelésével elkéri a dolgozó, alkalmazott belépési adatait.

Az adathalászat kapcsán említeni kell azon e-mailes visszaéléseket, amelyek ugyan kívül esnek a vízügyi igazgatóság hatáskörén, ám az ügyfeleket érinthetik. Az ügyfelek az e-mail-címükre kaphatnak olyan hamis leveleket, amelyek ki nem fizetett tartozásról, annak befizetéséről tájékoztatnak, a befizetés elmaradása esetében pedig szolgáltatáskorlátozással fenyegethetnek. Majd a tartozás kifizetésére egy hamis számlaszámot közölnek, amely nem a vízügyi igazgatósághoz, hanem a bűnözőkhöz köthető. Általában ezek nem túl jelentős összegek, pár ezer forintos (pár tíz eurós) követelésekről van szó, és a kis összegekre tekintettel a gondatlan felhasználó befizeti azt. Az ilyen cselekmények a Büntető törvénykönyv 373. §-ába ütköző csalás bűncselekményének minősülhetnek.

Az ügyfelek megtévesztésére alkalmas e-mailek kapcsán a víziközművek, vízügyi vállalatok adatvédelmi kötelezettségére kell a figyelmet felhívni, azaz semmilyen személyes vagy vállalati (pénzügyi-gazdasági-technológiai) adat ne szivároгjon ki a számítástechnikai rendszerből.

Az adatszivárgások (adatvesztések) tipikus okai lehetnek:

- a vállalati számítástechnikai rendszer fizikai vagy logikai biztonságának hiányosságai, gyenge védelmi rendszer;
- a fentebb említett hackertámadás, amelynek kifejezett célja az adatszerzés;
- valamely adathalász technika (például a *social engineering*) csapdájába került dolgozótól, alkalmazottól a belépési adatok megszerzése, amelynek

a következménye a vállalat védett adatállományához való hozzáférés lehetőségének a megteremtése;

- „cselédbosszú” (*maid’s revenge*), az elbocsátott, elégedetlen dolgozók, alkalmazottak „bosszúból” többféle kárt okozhatnak (volt) munkáltatójuknak, így például belépési kódokat, majd az ott dolgozók személyes adatait, egyéb vállalati információkat jogtalanul megszerezhetnek, azokat törölhetik, illetéktelen személyek számára – anyagi előnyért vagy anélkül is – hozzáférhetővé tehetik;
- gondatlanságból vagy véletlenekből is származhatnak nagyon súlyos jogsértések, károk (adatvesztések), így valamely, a dolgozó, alkalmazott által munkavégzésre használt laptop, más adathordozó elvesztése; e-mail-cím elírásából illetéktelen személyhez kerülhetnek adatok; fokozottabb az önhiba lehetősége, ha a dolgozó, alkalmazott a vállalat számítógépéhez saját adathordozóját csatlakoztatja, amely viszont malware-rel fertőzött is lehet.

A rosszindulatú programok (malware-ek)

A rosszindulatú programokkal intézett támadások többféle hátrányt okozhatnak a számítástechnikai rendszerekben, a felhasználók számítógépeiben, mobiltelefonjaiban. Jellemzően az alábbi módokon kerülhetnek a dolgozók, alkalmazottak eszközeire:

- a) külső adattárolóról töltik fel, például saját otthoni pendrive-ukat használják a munkahelyen, és ezen a pendrive-on fertőzött fájl található;
- b) letöltik a rosszindulatú fájlokat az internetről, akár a munkahelyen, akár otthoni munkavégzés vagy privát tevékenységük során (böngészés, különböző játékok, applikációk, zenék, filmek és más fájlok letöltőgetésével, fertőzött bannerre klikkeléssel, e-mailhez csatolt vagy alkalmazásfájlok [.exe, .bat, .com] kibontásával, telepítésével vagy szövegfájlok [.doc, .docx] megnyitásával) telepíthetik a gépeikre. Ez utóbbiak, az úgynevezett emotet-malware-ek a legújabb támadásfajta.

Biztonsági okokból a vállalati laptopokra letöltőgetést ki kell zárni.

A malware-ek fajtái között vannak olyan vírusok, amelyek az adatállományok tartalmát megváltoztathatják (felülírhatják), részben vagy egészen törölhetik,

a memóriáját telíthetik, a számítógép működését (indítását stb.), programját befolyásolhatják, és más károkat okozhatnak.

Az ilyen cselekmények a Büntető törvénykönyv 423. §-ába ütköző információs rendszer vagy adat megsértése bűncselekménye (2) bekezdésének b) pontja szerint minősülhetnek.

A zsarolóvírus (ransomware)

Napjaink egyik legveszélyesebb kibertámadás-fajtája a zsarolóvírus [7], amely a számítógépen, mobiltelefonon levő adatállományt (fájlokat, könyvtárakat) titkosítja, azokat mintegy „tűszul ejti”, aminek a következménye az, hogy a dolgozó, alkalmazott sem fér hozzá a munkavégzéséhez szükséges fájlokhoz. A bűnelkövetők a titkosítás feloldását pénzösszeg megfizetésétől teszik függővé. Az elkövető kilétének megismerése sokszor lehetetlen. A „válságdíjat” virtuális valutában követelik. A pénz kifizetése sem garancia arra, hogy a zsaroló a titkosítást feloldja. Előfordulhat, hogy a válságdíj fejében a titkosított adatállomány egy részét ismét elérhetővé teszi, majd további követelésekkel áll elő – ha egyáltalán jelentkezik az elkövető a pénz megszerzése után.

A vállalati (és az otthoni) számítástechnikai, mobileszközök használatakor a zsaroló- és más rosszindulatú programok veszélyére is fel kell hívni a figyelmet. Egy malware-támadás miatt 2017 januárjában az angliai Lincolnshire-ben négy napra leállították a víziközművet, a leállás 1 millió font kárt okozott [8]. Az orosz bűnözők által írt Kelihos malware napi 3,8 milliárd spam-e-mail küldésére volt képes, amelyek között zsarolóvírusok, illetve botnetvírusok is voltak [9].

A zsarolóvírus veszélyességére példa az az eset, amely 2016-ban az Egyesült Államokban a Lansing Board of Water and Light vízügyi vállalattal történt. Egy spear-phishinggel támadták egyik munkatársát, akinek a figyelmetlensége zsarolóvírust szabadított a rendszerbe. A fertőzött számítógépek és szoftverek cseréje 10 millió dollárba került, és további 2,4 millió dollár volt a helyreállítás költsége [10].

Ismertek olyan rosszindulatú programok is, amelyek meghatározott szerver ellen, meghatározott tevékenység szabotálására születtek, ilyen a Stuxnet és DuQu. A Stuxnet a natanzi (Irán) atomerő urándúsításának szabotálására íródott, és sikeresen alkalmazták [11].

Robot-network-vírusok

A robot-network-vírusok egy másik veszélyes támadásfajtához, a túlterheléses támadás végrehajtásához szükségesek. A túlterheléses DoS- és DDoS-támadások célja számítógépes szolgáltatások, hálózatok, rendszerek olyan mérvű terhelése, amely ellehetetleníti azok működését. A botnetvírus hálózatba fogja a zombiszámítógépek (tíz)ezreit, amelyek egy parancsra egyszerre fognak kapcsolatot teremteni a megcélzott szerverrel. A túlterheléses támadást anyagi haszonszerzés céljából indítják. Az ilyen cselekmények a Büntető törvénykönyv 423. §-ába ütköző információs rendszer vagy adat megsértése bűncselekményének minősülhetnek.

Megjelent a virtuális térben a valós térben már ismert „védelmi pénz” követelése is. Ebben az esetben egy kilátásba helyezett túlterheléses támadás végre nem hajtása fejében pénzt, általában virtuális valutát (bitcoin, ethereumot vagy egyéb altcointot) követelnek a célzott szerver tulajdonosától, üzemeltetőjétől. E támadástípus kiemelésének az az indoka, hogy ezen támadások, illetőleg az ezzel való fenyegetések „hathatós célpontjai” azok a szerverek, amelyeknek folyamatos (0–24 óras) működéséhez nemzetgazdasági, honvédelmi, energetikai, pénzügyi vagy más komoly érdek fűződik. A víziközművek ebbe a kategóriába tartoznak. Az ilyen cselekmények a Büntető törvénykönyv 367. §-ába ütköző zsarolás bűncselekményének minősülhetnek.

Man-in-the-Middle-támadás

A hálózati támadás egyik fajtája az úgynevezett Man-in-the-Middle-támadás, amelynek lényege az, hogy az ügyfél és a szolgáltató közötti kommunikációba egy harmadik fél jogellenesen kapcsolódik be, és a szolgáltatónak adja ki magát, az ő nevében kéri el a személyes adatokat, befizetéseket, és más tiltott tevékenységeket végezhet.

A számítástechnikai rendszer manipulálása

Potenciális veszélyt jelent az ügyfelek részéről a befizetések manipulálása, csalás esetében az elektronikus adatfeldolgozás és -átvitel folyamatába történő jogosulatlan beavatkozás.

A számítástechnikai rendszerben történő manipulációk változatos formát ölthetnek:

- az ügyfél mint elkövető maga vagy egy másik ügyfél számlájára fiktív befizetéseket végez;
- az ügyfél mint elkövető önmaga vagy egy másik ügyfél tartozásának összegét csökkenti;
- az ügyfél mint elkövető egy másik valódi vagy fiktív ügyfélként azonosítja magát;
- az ügyfél önmaga vagy egy másik ügyfél ügyfélprofil mivoltát megszünteti, törli a rendszerből.

Az ilyen cselekmények a Büntető törvénykönyv 375. §-ába ütköző információs rendszer felhasználásával elkövetett csalásnak minősülhetnek.

A víziközművek lehetséges támadói

A víziközművek támadásának az alábbi elkövetői lehetnek:

- a) Az egyik csoport az elégedetlen vagy elbocsátott munkavállalók, alkalmazottak, akik ismerik, használják/használták a számítástechnikai rendszert, az azokhoz tartozó belépési azonosítókat, a rendszer működésében a loophole-okat, amelyeket felfedeztek, vagy amelyeket csak bennfentes információ birtokában levő tudja. Ezen ismeretekkel munkaadóiknak, volt munkaadóiknak kárt tudnak okozni. Cselédbosszú (*maid's revenge*) az elnevezése a szakirodalomban ennek az elkövetési formának.
- b) A „magányos farkasok” gyakori elkövetői különböző valós és virtuális térbeli bűncselekményeknek. Ők azok, aki előlépnek az ismeretlenségből, felderítésüket megnehezíti az a tény, hogy előéletük ismeretlen, szervezethez nem kapcsolódnak, cselekményük kiszámíthatatlan. Példaként említhetjük a floridai víztisztítótelep megmérgezését tervező magányos hackert 2021-ből [12].
- c) A terroristák, akik hadüzenet nélkül, a legváratlanabb helyeken, szituációkban, aljas céljaiktól vezéreltetve hajtják végre gonoszterveiket. A víziközművek, amelyek az egyik legfontosabb népgazdasági tevékenységet látják el, különösen veszélyeztetett célpontok. A terroristatámadások mind a valós térben, mind a virtuális térben jelentkezhetnek. Valós térben a fegyveres, robbantásos vagy vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris

(CBRN-) támadások történhetnek. A virtuális térbeli támadásra példa a Kemuri Water Co. elleni támadás, amikor egy szíriai csoport manipulálni próbálta az ivóvíz vegyszeradagolását 2016-ban [13].

A kibertámadások elleni védekezés lehetőségei

Az ISO-27001 szabvány [14] hasznos kiindulópont a víziközművek számára. Ez szabályozza az információbiztonsági felügyeleti rendszer (ISMS) specifikációját. Az ISO-27001 bevált módszerei segíthetik a szervezeteket információbiztonságuk kezelésében az emberek és folyamatok, valamint a technológia terén is.

A védekezés legfőbb alapja a dolgozók, alkalmazottak fizikai biztonsága, a számítástechnikai rendszerek magas szintű fizikai és logikai védelme. A dolgozókat, alkalmazottakat fel kell készíteni a digitális környezet veszélyeire, a kiberfenyegetésekre. Tudatosítani kell felelősségüket a számítástechnikai eszközök alkalmazása során, az ő felkészületlenségük, gondatlanságuk sodorhatja veszélybe a vállalatot, annak tevékenységét, termékeit, szolgáltatásait.

Felhasznált irodalom

1. The Global Development Research Center [Internet]. The Dublin Statement on Water and Sustainable Development [cited 2021 Sep 22]. Available from: www.gdrc.org/uem/water/dublin-statement.html
2. Capitals Coalition [Internet]. How do we value water?; 2017 Jan 13 [cited 2021 Sep 22]. Available from: <https://capitalscoalition.org/how-do-we-value-water/>
3. World Water Day [Internet]. Celebration World Water Day 2021 [cited 2021 Sep 22]. Available from: <https://archive.worldwaterday.org/2021/>
4. Haig Zs, Várhegyi I. Hadviselés az információs hadszíntéren. Budapest: Zrínyi Kiadó; 2005. 286 p.
5. Dornfeld L. A kiberbűnözés elleni küzdelem kihívásai. Diskurzus. 2015;5 (különszám):27–35. Elérhető: https://epa.oszk.hu/02200/02234/00012/pdf/EPA02234_Diskurzus_2015_ksz_27-35.pdf

6. Cyware Social [Internet]. Water utilities face increasing risk of cyberattacks; 2020 May 19 [cited 2021 Sep 22]. Available from: <https://cyware.com/news/water-utilities-face-increasing-risk-of-cyberattacks-37ald084>
7. Mezei K, Nagy ZA. A zsarolóvírus és a botnet, mint napjaink két legveszélyesebb számítógépes vírusa. In: Gaál Gy, Hautzinger Z, szerkesztők. Szent Lászlótól a modernkori rendészettudományig. Pécs: Magyar Hadtudományi Társaság Határőr Szakosztály Pécsi Szakcsoportja; 2017. p. 155–163.
8. Open Access Government [Internet]. Malware ransom of £1m for Lincolnshire County Council; 2016 Febr 1 [cited 2021 Sep 22]. Available from: www.openaccessgovernment.org/malware-ransom-1m-lincolnshire-county-council/24093/
9. The United States Department of Justice [Internet]. Russian national convicted of charges relating to Kelihos botnet; 2021 June 16 [cited 2021 Sep 22]. Available from: www.justice.gov/opa/pr/russian-national-convicted-charges-relating-kelihos-botnet
10. Palmer K. BWL paid \$25,000 ransom after cyberattack. Lansing State Journal [Internet]. 2016 Nov 8 [cited 2021 Sep 22]. Available from: <https://eu.lansingstatejournal.com/story/news/local/2016/11/08/bwl-paid-25000-ransom-after-cyberattack/93488502/>
11. Cserháti A. A Stuxnet vírus és az iráni atomprogram. Nukleon [Internet]. 2011 [letöltve 2021. szeptember 22.];4(85):1–7. Elérhető: <https://nuklearis.hu/nukleon/stuxnet-virus-es-az-irani-atomprogram>
12. In Florida city, a hacker tried to poison the drinking water. The Detroit News [Internet]. 2021 Feb 8 [cited 2021 Sep 22]. Available from: <https://eu.detroitnews.com/story/news/nation/2021/02/08/florida-water-treatment-hack-lyc/115453008/>
13. Leyden, John: Water treatment plant hacked, chemical mix changed for tap supplies. 2016 Mar 24 [cited 2021 Sep 22]. Available from: www.theregister.com/2016/03/24/water_utility_hacked/
14. SGS [Internet]. Egészség és biztonság. ISO/IEC 27001:2013 – Információbiztonsági irányítási rendszer [letöltve 2021. szeptember 22.]. Elérhető: www.sgs.hu/hu-hu/health-safety/quality-health-safety-and-environment/risk-assessment-and-management/security-management/iso-27001-2013-information-security-management-systems?gclid=Cj0KCQjwqp-LBhDQARIsAO0a6aLQNdUz1aKBtKQsu01FMPoJr-gTSJZBE1ooFRRn1ZJZcsfapu2Kc9EEaAodzEALw_wcB#

Vákát

Szélsőséges csapadék kezelése a mezőgazdasági gyakorlatban

Bevezetés

A mezőgazdasági gyakorlat, azon belül is a szántóföldi gazdálkodás számára az elmúlt néhány száz év éghajlati stabilitása megfelelő kereteket nyújtott az agro-technika alapvető elemeinek változatlanul tartásához. Azonban az ipari forradalom következtében fellépett két jelenség, amelyeket jelen íráson kívül nem is lehetne összekapcsolni egymással, legfeljebb távolról, de a villámárvizek és a nagy mennyiségű hirtelen hulló csapadék szempontjából mégis egyszerre kezelendők.

1. Az ipari forradalommal kezdődő gépesítés jelentősen hozzájárult a termelékenység növeléséhez, de egyúttal a probléma forrását is mélyítette, hiszen a gépesítéssel az ekék járási mélysége is növekedett, ezzel a talaj szélesebb felső rétegében történtek olyan változások, amelyek a talajok vízháztartásának módosulásával jártak együtt. Ezek közül az egyik a pórusterak méreteloszlásának megváltozása, továbbá az eke járási mélységében kialakuló eketalp, amely mind a gyökerek, mind a víz számára áthatolhatatlan.
2. Az éghajlatváltozás nagyobbrészt emberi eredetét ma már alig vitatják a szakterület kutatói, és az is világossá vált, hogy az ipari forradalom óta kezdődött CO_2 -felhalmozódás elsődleges oka az emberi tevékenység. Ezt úgy lehet kimutatni, hogy tudjuk, a fosszilizálódott maradványokban más a szén izotóp-összetétele, mint a légkörben található széné, mert a növények előnyben részesítik a könnyebb ^{12}C -izotópot. Így a fosszilis források égetése során felszabaduló szén-dioxid relatíve növeli a légkörben a ^{12}C mennyiségét, a $^{12}\text{C} : ^{13}\text{C}$ arány megváltozik, ami mérhető, és pont úgy változik, ahogyan nő a CO_2 -koncentráció [1]. Az éghajlatváltozás számos kedvezőtlen hatása közül a csapadékvizek keletkezésével kapcsolatosan két jelenség fontos: a) a hirtelen lehulló csapadék mennyisége, és hogy az ilyen típusú események valószínűsége hazánkban szignifikánsan

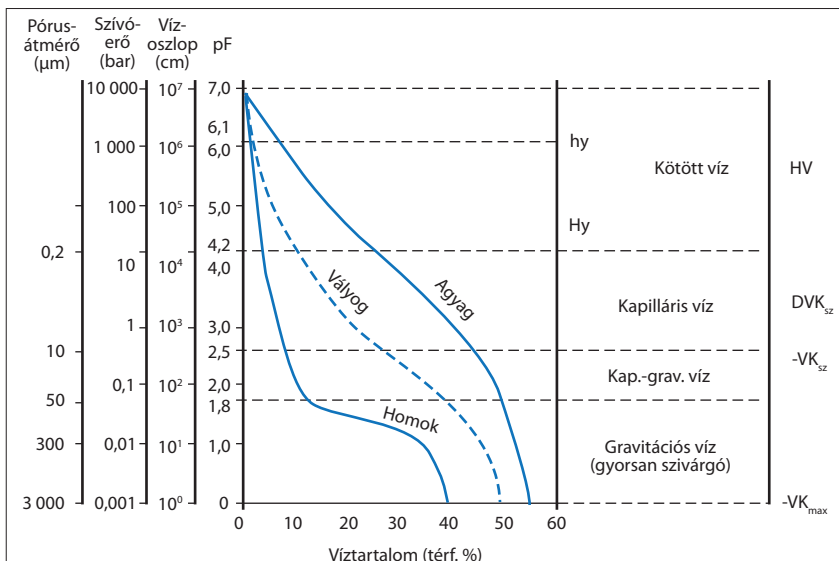


megnőtt, b) a csapadék egyre kevésbé megbízhatóan érkezik, és kiszorul a vegetációs időszakból [2].

A két probléma együttes kezelésére látszólag nincs lehetőség, azonban van egy olyan mezőgazdasági gyakorlat, amelyet gyűjtőszóval regeneratív mezőgazdaságnak lehetne nevezni, és amely mindkét probléma következményeit képes enyhíteni. A regeneratív szántóföldi művelési rendszer lényege, hogy a talajt természetes úton, a fő tenyészidőszakon kívül takarónövények segítségével, azaz természetes körülmények másolásával igyekszik újra szerkezetessé tenni és eltüntetni a művelés okozta eltéréseket (eketalp, pórusátmérő eloszlásának változása). Ennek a módszernek a kedvező hatása nemcsak abban nyilvánul meg, hogy a talajból eltűnik a víz gravitációs mozgásának útját elzáró eketalp, hanem a talaj felső rétege is több víz megtartására lesz képes. Az alábbiakban a problémák részletesebb bemutatását teszik meg a szerzők.

A talajok vízháztartásának átalakulása a művelés következtében

Ha megvizsgáljuk, hogy különféle talajtípusokban mennyi a tárolható és a növények számára felvehető víz mennyisége, azt találjuk, hogy a megfelelő szerkezetű vályogtalajok adottságai a legjobbak. A talaj szerkezetétől függően a benne található víz egy része a súlyánál fogva elszivárog a mélybe (gravitációs víz), akármilyen szerkezetű is a talaj, más része annyira kötött az apró üregekhez a talajban, hogy semmilyen szívóerő nem képes onnan előhozni (kötött víz). Ez utóbbi kötöttség oka a nagyon magas kapilláris szívás, mivel az üregek nagyon kicsik, így a kapilláris hatás érvényesül, a növények gyökerei által kifejtett szívóhatás nem tudja ellensúlyozni a kapilláris szívást (negatív nyomás), így a víz kötött marad. A nedvesség egy része már elegendően nagy üregekben található, hogy a növények gyökerei fel tudják venni, és még nem olyan nagyok az üregek, hogy a gravitáció le tudja győzni a kapilláris hatás megtartó hatását (kapilláris víz), azaz ezen vízkészlet a talajban felvehető a növényzet számára. A növényélet szempontjából ez a vízmennyiség az, ami számít a talajban. Ábrázolva (1. ábra) a vízmennyiség eltávolításához szükséges szívást (negatív nyomás) logaritmikus skálán a pF-értéket kapjuk. (A nedvességtartalom jellemzésére a nedvesség eltávolításához szükséges, vízoszlop cm-ben kifejezett szívóerő tízes alapú logaritmusát használják, a pH analógiájára; a pF = 2 érték tehát 100 cm, pF = 2,4 pedig kb. 250 cm vízoszlop szívóerejének felel meg [3 p67].)



1. ábra: A víztartalom és a víz kinyeréséhez szükséges szívás logaritmusának összefüggései agyag-, vályog- és homoktalajok esetén a pórusok átmérőjének feltüntetésével [3 p67]

Az 1. ábrán látható, hogy a növények számára hasznosítható kapillaris víz legnagyobb mennyiségben a vályogtalajokban van jelen, a homoktalajok túl nagy pórusai miatt a víz zöme gravitációs, azaz gyorsan elszívárgó a mélyebb rétegek irányába, az agyagtalajok alkotórészeinek kis pórusátmérője pedig a kötött víz nagyobb jelenlétét eredményezi, kevesebb kinyerhető kapillaris vízzel. Itt kell megjegyezni, hogy az agyagtalajok legfontosabb alkotóelemei, az agyagásványok általában kis átmérőjűek, ezért a talajban a kis pórusméretek lesznek dominánsak, velük a kötött víz mennyisége gyorsan nő. Az ilyen talajok hajlamosak a tömörödsésre, és a kötött víz miatt nehezen művelhetők, viszont ha kiszáradnak, akkor az apró agyagásványok sziklaszerűen összeállva még inkább nehezítik a művelést; az ilyen földek megmunkálása nagy vonóerőt igényel.

A homoktalajok esetén tehát a víz megtartása az egyik legfontosabb feladat, amelyet több eszközzel lehet elérni, míg az agyagos talajok esetén a teendőnk a pórusosság növelése. Mindkét esetben alapvetően a talajmegújító mezőgazdaság elemei alkalmazhatók. Vályogtalajok esetén a vízháztartás szempontjából nincs szükség a talajszerkezet javítására, ugyanakkor más szempontból a talaj

szervesanyag-tartalmát növelni, a szerkezetességet megtartani, az eketalp kialakulását meggátolni itt is szükséges.

Miközben látható, hogy a folyamatokat milyen irányban kellene megváltoztatni, az történik, hogy a szántás és a talaj bolygatása során általában mindig visszarendeződik a pórusterek méret szerinti eloszlása egy kezdeti, jellemzően a szántás után, annak következtében mesterségesen kialakult eloszláshoz, amely célunkkal ellentétes.

A szántás során továbbá az eke járási mélységében kialakul az eketalpbetegség, azaz az ekefejek súlya, amely az ekenádon (csúszótalp) keresztül a talajnak adódik át, egy kemény, tömörödött réteget hoz létre a szántás alatt, amelynek áttörése nem lehetséges a gyökök számára, és a víz sem jut át rajta. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a felső 25-35 cm-es porhanyított, szerkezet nélküli talajrétegnek kell felvennie és megtartania az érkező csapadékot, amely az év legkritikusabb időszakában, azaz tavasszal, kora nyáron nem borított növényzettel (hiszen a sorközök üresek, a kultúrnövény még nem árnyékol, a puszta talaj látható). A sötét talajok a napsütés hatására akár 60 °C-ra is felmelegsznek, és ezen a hőmérsékleten a legtöbb kedvező hatású talajlakó élőlény elpusztul, a párolgási veszteség magas. Ugyanakkor a sekély mélységben található eketalp miatt a hirtelen lezúduló esőzés a mélyebben fekvő részekben megáll, hónapokig megmaradó pangó vizet hozva létre.

Nő a szélsőséges csapadékesemények valószínűsége

Általános tapasztalat hazánkban, hogy a csapadék kiszorul a vegetációs időszakból, azaz a talaj vízmegtartó képességét növelni kellene, illetve egyszerre jelentős mennyiségű csapadék hullik, amelyet a talaj nem tud befogadni, erre is fel kellene tudni készülni. Mindkét problémát részletesebben megvizsgáljuk:

a) Változó csapadékeloszlás

Magyarországon egyelőre az éves csapadékmennyiség nagyobb része hullik le a nyári félévben, mint a téliben, de az éghajlatváltozási modellek azt mutatják, hogy a téli csapadék mennyisége növekszik (bár egyre többször eső formájú lesz hó helyett), a nyári pedig csökken. Ez utóbbi kedvezőtlenül hat azokra a mezőgazdasági terményekre, amelyek a nyár folyamán még igényelnének csapadékot, mert tenyészidejük hosszabb (ilyen például a kukorica, a szója vagy a dinnye), és ebben az időszakban több vízre lenne szükségük, mint ami csapadékból elérhető. A téli

csapadéktöbbletet (ha van) nem lenne szabad egészen a vetés előkészíté-
ség nyitottan hagyott szántásokkal elpárologtatni (2. ábra), hanem leg-
alább a szántások időben történő lezárásával megtartani, de sokkal jobb
megoldás olyan talajszerkezet kialakítása, amelyben a takarónövényzet
gyökerei csatornákat képezve az eketalpat áttörik, és így a hirtelen lehulló
csapadékot is képes befogadni.

b) *Hirtelen esőzések*

Megnő az esélye a hirtelen esőzéseknek, azaz rövid idő alatt hullhat
le a megszokott csapadékmennyiség többszöröse, úgy, hogy akár pár
száz méteren belül is jelentősen változik annak mennyisége. Az elmúlt
évek tapasztalatai azt mutatják, hogy a csapadék mennyisége egy adott
esőzés alkalmával kiteheti egy egész hónap, vagy nagyobb periódus meg-
szokott csapadékmennyiségét is, főleg zivataros időszakban. Ez a jelenség
közvetlenül összefügg az éghajlatváltozással, és a talajok felső, művelt
rétege sokszor képtelen befogadni az egyszerre lehulló nagy mennyiségű
csapadékot, ilyenkor a víz pang, belvízfoltot hoz létre, amely ha sokáig
marad a területen, alatta a vetés kipusztul. A talajmegújító mezőgazda-
ság segítségével kialakított nagy mélységig szerkezetes talajok képesek
a hirtelen lehulló csapadék befogadására és megtartására is.



2. ábra: A talaj párolgása tavasszal, napsütés hatására [4]

A vízmegtartó képesség tehát nemcsak a tömörséggel, hanem a szerkezetességgel is összefügg. A szántással művelt talajban minden évben legalább egyszer – a szántás során – lerombolják a talajban kialakult szerkezetet, amelyet a gyökerek, a talaj szervesanyag-tartalma és a talajban élő lények alakítanak ki. Szerkezetesebb talajokban a befogadható és később elérhető vízmennyiség jelentősen nagyobb.

Megoldási lehetőség: a talajkímélő szántóföldi gazdálkodás

Az emberi beavatkozástól mentes talajokban (erdei és sztyeppet talajok) a következő kedvező folyamatok zajlanak: a talaj élő gyökerekkel átjárt, hiszen felszíne a tájnak megfelelő növényzettel borított. A talaj szerkezete zavartalanul fejlődik, benne szerves anyag halmozódik fel, elérve a talaj teljes tömegének 10-15%-át. Az élő, nem forgatott talajban a növények gyökerei tápanyagraktárként szolgálnak, illetve felületükön kialakul egy, a talajból tápanyagot könnyen felvevő és a növénynek felvehető formában továbbadó baktériumréteg, illetve gombafonal-hálózat, amely valódi együttélésben (szimbiózisban) létezik a növényekkel, és szintén a tápanyagfelvételt segíti elő. A részletes talajvizsgálatok ugyanis kimutatják, hogy a talajból felvehető tápanyagmennyiség lényegesen több, mint a vízdoldott formában jelen lévő tápanyag, a feltárást a talajlakó élőlények segítik elő: a talajban található mikro- és makroelemek átalakítása, a haszonnövények számára történő előkészítése a talajban élő baktériumok és gombák feladata. A talaj tetején képződő szervesanyag-rétegnek az úgynevezett moder- és mullhumusszá alakításában a gombák és baktériumok munkája kiemelt fontosságú, így azok a talajok, ahol eleve jobb a talajélet, tápanyag-feltáródás és humuszképződés szempontjából is kedvezőbb feltételekkel rendelkeznek. (Moderhumusznak nevezzük az erdei talajok képződő humuszcsoportját. Az erdő mint ökoszisztéma hatására ez a talaj kissé nedvesebb és savasabb környezetben képződik, mint sztyepei megfelelője, a mullhumusz. A moder- és mullrétegek a mezőgazdaság számára legalkalmasabb területeken vannak jelen általában.) Ezt használja ki az úgynevezett talajkímélő mezőgazdasági gyakorlat.

A talajjavító mezőgazdaság rendszerezett leírása

A legjobb humusztartalmú talajok a prérók és az erdők talajai. Az itt kialakuló humusztömeg olyan folyamatok együttes hatásaként állt elő, amelyek a szántásos, vegyi anyagokat használó talajművelés során nem működnek megfelelően, vagy ellenkező előjellel működnek.

Egy magára hagyott csupasz talajon először úttörő növények (amelyeket a mezőgazdálkodás gyomokként észlel) jelennek meg, és velük együtt elkezdődik a gyökér-talaj kölcsönhatás során a baktériumok megtelepedése. Ahogy az úttörő társulások helyét átveszik a füves, cserjés, majd fás társulások (a prérin csak a füves társulások), úgy növekszik a talajban a baktériumok és a gombák száma, és a gombák aránya nő. Egy hosszú ideje nem bolygatott talajban a gombák vannak túlsúlyban, ez főleg az erdők talajára igaz. A szerves anyag minden évben a talajra rétegződik, de abba nem forgatja be semmilyen mechanizmus. A lehullott lombok vagy az elhalt fűfélék korhadása, lebomlása szerves anyagban gazdag réteget hoz létre (ezt modernnek hívják), ezt élő gyökerek járók át, és gazdag baktérium-, gomba- és egyéb élőlénytársulások vannak jelen. A talajban lévő, legtöbbször kötött tápanyagok (makro- és mikroelemek) a baktériumok és gombák anyagcsere-folyamatai során felszabadulnak, és a baktérium-, valamint gomba-gyökér szimbiózisban felvehetővé válnak. Az élő talajban nincs szükség kívülről mesterségesen adagolt tápanyagokra, azokat az egészséges talajélet természetes táplálékhálójának működés közben biztosítja.

Ebből következően a talaj egészsége, a haszonnövény számára is kedvező működését a minimális forgatás és a természetes prériállapot minél jobb megközelítése jelenti. Ebben a rendszerben a talaj állandóan takart, hol élő növényvel, hol elhalt származványokkal (mulcsréteg), miközben benne tápanyagbankok képződnek, illetve a talaj porózus, szerkezetes lesz – így a csapadékot jobban megköti, ha az kevesebb is, illetve a mélyebb szerkezetesség és az eketalp hiánya miatt a hirtelen csapadékot is teljesen elnyeli, nem képződnek belvízfoltok. Gyakorlatát tekintve ez a gazdálkodási mód négy területen tartalmaz eltérést a hagyományos gyakorlattól:

1. Minimálművelés (*minimal tillage, no tillage*). Ez a talaj forgatás nélküli kezelését, lehetőség szerint teljesen bolygatásmentes művelését jelenti. Ezt olyan technológiával érik el, amelyben a vetőgépek bármilyen minőségű és bármilyen élő vagy holt szerves anyaggal, növényzettel borított talajba képesek vetni. Az ilyen vetőgépeket direktvetőgépeknek nevezik.

A direktvetőgépek vetőegységei magas felületi nyomást érnek el nagyobb súlyuk (csoroszlyanyomás) miatt, így képes a vetőelem átszakítani a talajt borító szerves anyagot (mulcs, élő növény, növényi maradvány), és közvetlenül a talajba vet.

2. A gazdasági év során állandó növényborítás elérése. A főnövény (például búza, szója, kukorica) betakarítása után gyakran leforgatják a tarlót, azzal a korábban elterjedt szemlélettel összhangban, hogy a talajjal érintkező tarlómaradvány lebomlik, és humuszt képez. Így a szántással megforgatott talaj pusztá marad egész télen, és a szervesanyag-tartalma a felszínen bomlik, miközben CO_2 jut a légkörbe. Manapság célszerűnek tartják, hogy a tarlóba azonnal újra növényeket vessenek, a takarónövény-jelleg és a talajlazító hatás miatt. A takarónövények gyökerei idővel áttörnek és felszámolják az eketalpat is (bár ennek elősegítésére lehetőség van talajlazítás elvégzésére is).
3. A talaj állandó fedése, legalább mulccsal. Az elpusztult szerves anyag, amely a gazdasági főnövény maradványa vagy a másodvetésű takarónövény maradványa, a talajt borítva megőrzi a nedvességet, és a talajjal érintkezve humuszt kezd kialakítani.
4. A talajban a gazdasági év nagy részében élő gyökerek vannak. A hagyományos gazdálkodás során a talajban csak a gazdasági főnövény gyökerei képeznek élő hálózatot, a felszántott talajban nincs növényzet, így élő gyökerek sem lehetnek. A gyökérszet határrétegén képződő mikrobabevonat és gombákkal történő szimbiózis az, amely hozzájárul a tápanyag-feltárhozáshoz és felvehetővé alakításához, továbbá segít a talaj szerkezetességének fenntartásában. A regeneratív mezőgazdaság összefoglalását és eredményeit lásd például Brown [5] és Stockfish [6] munkáiban.

Összefoglalás

A szántóföldi gyakorlat változása, továbbá az éghajlatváltozás szélsőséges tulajdonságai, nevezetesen az egyszerre lehulló csapadék mennyiségének növekedési valószínűsége többször okozott és vélhetően fog okozni problémát a szántókon. A művelés módja, a talaj forgatásos/szántásos megmunkálása a pangó vizek megjelenésének valószínűségét növeli az eketalphatás miatt. A regeneratív szántóföldi gazdálkodási gyakorlat mindkét problémát képes kedvező irányba befolyásolni: a szántás elhagyásával és a takarónövények gyökereinek segítségével eltűnik

az eketalpbetegség, a talaj szerkezeti javulásával pedig nő a vízmegtartó képesség, azaz a hirtelen csapadékesemények ritkábban okoznak pangó vizeket, illetve domboldalakon ritkább a villámárvíz lehetősége is.

Felhasznált irodalom

1. Levin I, Heishammer V. Radiocarbon – a unique tracer of global carbon cycle dynamics. Radiocarbon [Internet]. 2016 Jul [cited 2023 Apr 11];42(1):69–80. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200053066>
2. Kiss T, Hetesi Zs, Füzi T. Az átlaghőmérséklet és a csapadékmennyiség alakulása Mosonmagyaróváron. Statisztikai Szemle [Internet]. 2019. június [letöltve 2021. április 12.];97(6):568–593. DOI: <http://dx.doi.org/10.20311/stat2019.6.hu0568>
3. Szalai Z, Jakab G. Bevezetés a talajtanba. Egyetemi tankönyv. Budapest: Typotex Kiadó; 2011. 168 p.
4. Väderstad [Internet]. A talaj vízgazdálkodása [letöltve 2021. április 12.]. Elérhető: www.vaderstad.com/hu/tudastar/agronomiai-ismeretek/a-termeszet-segitsegevel/a-talaj-vizgazdalkodasa/
5. Brown G. Porból élet. Egy család útja a regeneratív mezőgazdálkodás felé. Törökbálint: T.Bálint Kiadó; 2021. 172 p.
6. Stockfish N, Forstreuter T, Ehlers W. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. Soil Tillage Res. 2019 Oct;52(1–2):91–101.

Vákát

VI. rész

Az előrejelzés, méretezés és tervezés
témakörében elhangzott előadások publikációi

Vákát

Hellmann–Fuess-csapadékírók szisztematikus hibájának korrekciója a feldolgozott záporadatokban

Bevezetés

Sajátos kettősség az, hogy a víz, amely az egyén és a társadalom létehez alapvetően szükséges elem, számos veszély és kár forrása is lehet. A társadalom által épített és működtetett javak, mérnöki létesítmények, eszközök, erőforrások, általában a környezetünk csapadékok elleni védelme folyamatos feladatot jelentett az emberiségnek a története folyamán. A csapadékok a legkülönbözőbb módon tehetnek kárt az ember környezetében, ami a civilizáció kezdetétől arra ösztönözte az embereket, hogy a létesítményeiket, a termőföldet, a termést a csapadék okozta közvetlen és a csapadék keltette árvíz formájában jelentkező közvetett károktól megvédje. A javakra a legnagyobb veszélyt, a vízelvezető rendszerekre pedig a legnagyobb terhelést a rövid idejű nagycsapadékok jelentik. A rövid idejű nagycsapadékok hatása túlmutat a mérnöki (vízmérnöki) szakterületen, és például környezetgazdálkodási, mezőgazdasági szempontból is releváns kérdés. Utóbbi területeken az érdeklődés elsődleges oka a nagy intenzitású csapadékok által kiváltott erózió. A gyorsan kialakuló intenzív felszíni lefolyás révén leöblítéses, majd árkos erózió alakul ki, a víz a termőtalajt elszállítja, és másutt áthalmozza, lerakja [1] [2]. Mind az erózió, mind a hordaléklerakás a természeti, mezőgazdasági vagy települési környezet károsodását okozza [3]. A rövid idejű nagycsapadékok kérdéskörének vizsgálata tehát a környezettudomány és agrártudomány körében is érdeklődésre tart számot. A téma kutatása a globális felmelegedés és klímaváltozás miatt is előtérbe került, minthogy a változás kimutatásához szükséges referenciaadatok a történeti méréseken alapulnak. Belátható, hogy a változások megfelelő értékelése csak a számottevő pontatlanságoktól mentesített referenciaadatok alapján biztosítható.

A történeti csapadékadatok pontatlanságai három nagy kategóriába sorolhatók, ezek a csapadékgyűjtés során, a mérés folyamatában, valamint az adatfeldolgozásban jelentkező hibákat tartalmazzák. Ezek a hibák vonatkoznak a jelen dolgozat vizsgálatának tárgyát képező Hellmann–Fuess rendszerű szifonos

leürítésű szintmérési csapadékmérőkre (SRW) is, e hibák közül itt a mérés folyamata során bekövetkező szisztematikus hibát vizsgálom, megjegyezve ugyanakkor, hogy hasonló nagyságrendű hibaforrást jelent a csapadékmérés során a szél hatása. A szél okozta hiba javítására (amennyiben hatásának csökkentésére nem került sor megfelelő árnyékoló megoldásokkal) jelenleg nem áll rendelkezésre megfelelő korrekciós eljárás a csapadékmérőkre, és általában az egy napnál rövidebb mérési időtartamok esetére.

Az SRW-mérők a pontbeli, közvetlen gyűjtési csapadékmérési eljárások csoportjába tartoznak. Működési elvük a csapadékmennyiség folyamatos rögzítése egy gyűjtőtartály szintmérése révén. A gyűjtött csapadék mennyiségét a gyűjtőtartályban elhelyezett úszó függőleges elmozdulásával lehet mérni. Az úszóhoz rögzített toll egy egyenletes sebességgel mozgó henger palástjára rögzített regisztrációs szalagon folyamatos vonallal teszi láthatóvá a vízszint alakulását. A regisztrációs szalag az SRW-berendezések esetében jellemzően 10-15 mm csapadékösszegnek felel meg, így amikor ezt a mennyiséget eléri a vízszint, akkor a gyűjtőtartály leürítése szükséges. Ezt az SRW-berendezések szifonos leürítéssel biztosítják. Az SRW-műszerek szisztematikus mérési hibáját az okozza, hogy a leürítés időtartama alatt az adatrögzítés szünetel, a toll egy ferde vonalat húz a legnagyobb mérhető szint vonalától a nulla szintig. Noha a csapadék direkt mérése nem történik meg ilyenkor, a meg nem mért vízmennyiségre közvetett módon lehet következtetni, mivel a szifon leürüléséhez csapadékterhelés nélküli esetben szükséges időhöz képest a csapadékhozam növekedésével a leürítési idő is nő.

A magyar vízügyi szolgálat kb. a 2000-es évekig alkalmazott az észlelő-hálózatában SRW-berendezéseket. Az e hálózaton gyűjtött adatok rögzítésének rendje a következő volt. A csapadék elejét és végét egy tízperces osztású adatlapon jelölték, az időszakban hullott csapadékmagasságot, valamint ezen túl a leghevesebb csapadékú időszak intenzitását és hosszát feljegyezték. A vízügyi szolgálatnál vezetett csapadékkartonok ezért, a tízperces rögzített időszakról elszakadva, az intenzív időszak „tényleges” hosszát és csapadékintenzitását tartalmazták. Észlelték az intenzív csapadék esetén kialakuló hibát, és annak észlelésével együtt a javítására is készült javaslat [4]. Arra viszont nem találtam utalást, hogy ezt a korrekciót valóban alkalmazták-e. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (a továbbiakban: OMSZ) SRW-készülékekkel kapcsolatos adatfeldolgozási és adatjavítási eljárásáról Szentés ad leírást [5]. E szerint az SRW-készülék mellett egy hagyományos napi leolvasású mérő is működött. Az SRW regisztrálószalagjáról az előre rögzített időtartamú időszakokra (5, 10,

20, 30 stb. perc) leszámolták a csapadékösszegeket, és ezekből számítottak átlagos intenzitásértékeket. Amennyiben a hagyományos csapadékmérő napi adatai eltértek az SRW-berendezés összegzett napi adataitól, korrekciót alkalmaztak. A két mérő különbségét a hatvanperces csapadékösszegekhez írták hozzá, így a hibát önkényesen az egyik időintervallumra osztották. Ezzel számszerűen „eltűnt” az SRW-berendezés alulmérése, ugyanakkor a rövidebb heves időszakok intenzitásértékét nem javították ki, noha, amint azt később bemutatom, a hiba leginkább ott következhetett be.

A leürítéssel kapcsolatos probléma megoldására szabatos megoldást adott Luyckx és Berlamont, elméleti hidraulikai levezetéssel és laboratóriumi mérésekkel [6]. Javaslatuk, hasonlóan Kallóséhoz, a regisztrálószalag adatainak javítására vonatkozik. Amennyiben a regisztrációs szalag nem áll rendelkezésre, az eljárás nem alkalmazható.

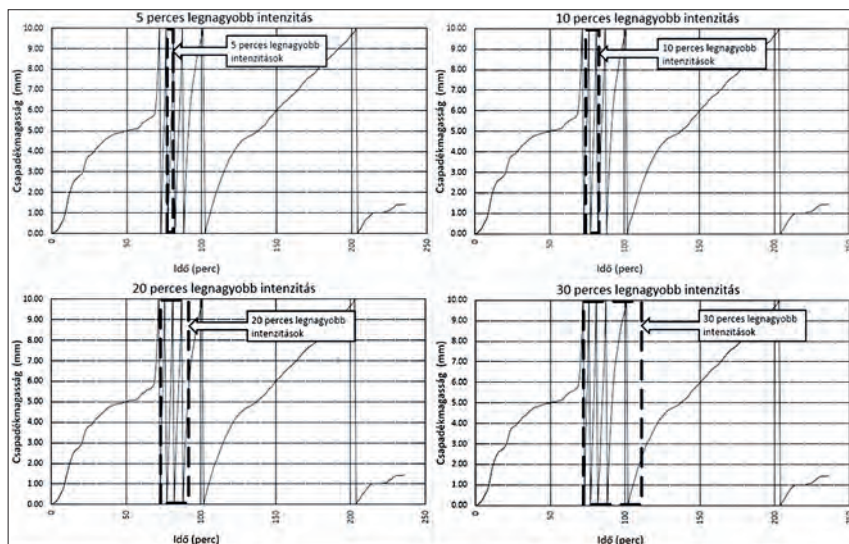
A jelen dolgozatban a szisztematikus hiba javítására a Luyckx és Berlamont módszere alapján kifejlesztett és publikált eljárást mutatom be [7] [8], amelyet a Hellmann–Fuess-mérők esetére alkalmaztam. Ismertetem a javítás hatását a csapadékintenzitások évi legnagyobb értékeinek empirikus eloszlására a Budapest Belterület csapadékmérő állomás vonatkozásában.

A szifonos csapadékirók szalagjainak feldolgozását a legegyszerűbb módon, a legfontosabb adatok kinyerésére kellett korlátozni. A regisztrációs szalagok feldolgozásának a bevezetésben leírt folyamatot követően az 1. ábrán bemutatott táblázat lett az eredménye.

Állomás: <u>Budapest</u>						Évi: <u>1966.</u>							
Műsor:						Hónap:							
j.ó.	nap	kezdet		vége	Idő- tartam (perc)	Összeg (mm)	maximális rétegszámok						
		óra	perc	óra			perc	5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	1 óra	3 óra
01	<u>1</u>												
02	<u>2</u>					<u>1,6</u>						<u>0,5</u>	
03	<u>3</u>					<u>9,5</u>						<u>1,6</u>	
04	<u>4</u>					<u>2,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,8</u>	<u>1,3</u>	<u>2,0</u>	<u>2,3</u>		
05	<u>5</u>					<u>1,6</u>	<u>0,8</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>		
06	<u>6</u>					<u>6,0</u>	<u>1,8</u>	<u>2,8</u>	<u>3,5</u>	<u>4,4</u>	<u>5,2</u>		
07	<u>7</u>					<u>8,4</u>	<u>0,3</u>	<u>0,6</u>	<u>1,0</u>	<u>1,4</u>	<u>2,5</u>		
08	<u>8</u>					<u>8,4</u>	<u>0,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>		
09	<u>9</u>					<u>1,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>		
10	<u>10</u>					<u>0,9</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	<u>0,7</u>		
11	<u>11</u>					<u>1,9</u>	<u>0,6</u>	<u>1,2</u>	<u>2,1</u>	<u>2,3</u>	<u>2,4</u>		
12	<u>12</u>					<u>2,0</u>	<u>0,5</u>	<u>0,7</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>	<u>1,0</u>		
13	<u>13</u>					<u>1,0</u>	<u>0,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>		
14	<u>14</u>					<u>3,7</u>	<u>1,0</u>	<u>1,9</u>	<u>3,0</u>	<u>3,3</u>	<u>3,7</u>		

1. ábra: Kivonatos csapadékintenzitás-adatok Hellmann-csapadékiró regisztrációs szalagja alapján (OMSZ)

Az adatkartonon látható, hogy általában az egyes csapadékesemények 5, 10, 20, 30, 60 perces összefüggő időszakainak legnagyobb csapadékösszegeit tüntették fel. Az adatokból már nem derül ki, hogy az adott csapadék esetében hány alkalommal történt automatikus leürítés, azaz hány alkalommal következett be a leürítés során mérési hiba. A hiba mértéke sem derül ki, mivel csak az adott intervallum átlagintenzitását ismerhetjük meg, holott a hiba a pillanatnyi intenzitástól függ. A 2. ábra illusztrálja azt, hogy adott esetben a legnagyobb intenzitás időszakában változatos intenzitások mellett kerülhet sor a leürítésre. Minél hosszabb a vizsgált intervallum, annál többféle átlagos intenzitás előfordulásával kell számolni, illetve ha rövidebb az intervallum, valószínűbb, hogy a leürítés időszakának átlagos intenzitása a vizsgált időintervallum átlagintenzitásához közel esik, azzal helyettesíthető. A 2. ábrán egy németországi csapadékmérőn észlelt nagycsapadék adatai alapján szimulált SRW regisztrátuma látható, a leírt módszerrel kimutatott legnagyobb intenzitású 5, 10, 20 és 30 perces intervallumokkal.



2. ábra: Egy csapadék mesterségesen előállított SRW-diagramja, a legnagyobb 5, 10, 20 és 30 perces intenzitású időablakkal (a szerző szerkesztése)

Amennyiben ezeket az adatokat feldolgoznánk az 1. ábra szerint, az adatkartókra csak a szaggatott vonalakkal jelölt időablakok időszakában mért összesített csapadékmagasságok kerülnének, tekintet nélkül arra, hogy volt-e ott szifonos leürítés, vagy sem, illetve mennyi leürítés történt. Nem lehet azt sem tudni, hogy hol állt a víz a műszer mérőtartályában.

Anyag és módszer

Az alábbi fejezetben a bevezetésben leírt eszköz és az általa végzett adatgyűjtés során fellépő hiba javítását mutatom be.

Az SRW-készülékek szisztematikus hibájának javítása

Az SRW-mérők feldolgozott adatainak javítására eljárást fejlesztettem ki [7], majd alkalmaztam [8]. A képletek leürítési veszteség becslésével javítják meg a csapadékintenzitás értékét azon az alapon, hogy a leürítések becsült száma és a nyers adatként ismert csapadékintenzitás szorzataként meghatározható a nem mért csapadékmennyiség [7]. A csapadékintenzitás alapján így módosított csapadékmennyiséggel újra számolható, korrigálható a mérés eredménye. Nem mindegy, hogy a mérőben a kezdeti vízszint mekkora. Amennyiben nullértékű, úgy a korrekciók száma egyszerűen számolható, viszont ez a feltétel a legritkább esetben áll fenn. A valóságban a kezdeti vízszint egyenletes eloszlású valószínűségi változó, amelynek értékét a várható értékével lehet közelíteni, amely a műszer mérési tartományának a fele, így a Hellmann-mérő esetében 5 mm [8]. Ebből az is következik, hogy a javítás statisztikai alapú közelítés, mivel az ismeretlen kezdeti vízszintet annak várható értékével becsülve vesszük figyelembe.

A képlet kezdeti vízszintet figyelembe vevő alakja a következő (1. képlet):

$$\dot{i}_{corr} = \frac{\left(t + \text{int} \left(\frac{h_0 + t \cdot \dot{i}_t}{h_s} \right) \left(\frac{\frac{t_{s,0}}{A_f \cdot \dot{i}_t}}{1 - \frac{q_s}{q_s}} \right) \right)}{t} \cdot \dot{i}_t$$

1. képlet: Csapadékintenzitás korrekciója t perces intervallumhoz, SRW-berendezés feldolgozott adataihoz [8]

Ahol

- t – a vizsgált időintervallum hossza (s);
 i_t – nyers (mért) csapadékinzintás a t intervallumra (mm/s);
 i_{corr} – javított csapadékinzintás a t intervallumra (mm/s);
 h_0 – kezdeti vízszint a csapadékmérő gyűjtőtartályában (mm);
 h_s – a regisztrációs szalagon mérhető csapadékösszeg (mm);
 $t_{s,0}$ – a mérő leürítésének időtartama vízutánpótlás nélkül (s);
 A_f – a csapadékmérő gyűjtőfelülete (mm²);
 q_s – a szifon leürítési vízhozama (mm³/s).

Amennyiben a nyers és a javított csapadékinzintást direkt módon, a szokásos mm/h egységben kell kezelni, akkor a fenti képlet kiegészül az időegység váltószámaival, az alábbi szerint (2. képlet):

$$i_{corr} = \frac{\left(t + \text{int} \left(\frac{h_0 + t \cdot i_t / 3600}{h_s} \right) \left(\frac{t_{s,0}}{1 - \frac{A_f \cdot i_t / 3600}{q_s}} \right) \right)}{t} \cdot i_t$$

2. képlet: Korrekciós képlet a Hellmann–Fuess SRW-berendezéshez [8]

A Hellmann-csapadékiró képletben használandó paraméterei [9]:

- $t_{s,0} = 18$ s,
 $q_s = 12\,500$ mm³/s,
 $A_f = 20\,000$ mm²,
 $h_s = 10$ mm,
 $h_0 = 5$ mm.

Mint hogy a javítás a kezdeti vízszintet mint valószínűségi változót a várható értékével veszi figyelembe, az eljárás nem determinisztikus jellegű. Ez azt eredményezi, hogy ha a vízszint kisebb, akkor felüljavítás, ha nagyobb, akkor a szükségesnél kisebb javítás következik be. A kezdeti vízszint értékének megfeleltetése szimulált csapadékinzintás-adatokból számolt eredmények összehasonlításával mutatható be. Ennek során három esetre, a véletlenszerűen kialakuló h_0 érték mellett $h_0 = 5$ mm kezdeti értékre, valamint $h_0 = 0$ mm értékre történik meg az 5 mm-es kezdeti vízszint alkalmasságának igazolása.

A paraméterekkel az OMSZ Budapest Belváros csapadékmérőjén Hellmann–Fuess-berendezéssel az 1915–1992-es időszakban mért éves legnagyobb 5, 10,

20, 30 és 60 perces csapadékintenzitás-adatok korrekciójára kerül sor. Hasonló vizsgálat készült korábbi szakcikkemben, ott billenőkanalas mérővel mért adatokkal kiegészített idősorra [8].

A csapadékintenzitás-adatok korrekciójának hatását az eredeti nyers és javított adatok empirikus eloszlásfüggvényének, az illetékt valószínűségi eloszlások és a korrekció IDF-görbe-adatai segítségével mutatjuk be.

Eredmények és az eredmények értékelése

A korrekció végrehajtása és értékelése

A Budapest Belterület csapadékmérő állomásra Hellmann-csapadékiróval rögzített adatok alapján az 1. és 2. képlet segítségével elvégzett korrekció eredményeit a 3–7. ábrákon mutatom be.

Az ábrákon az intenzitások abszolút értékeinek lényeges különbsége miatt eltérő a függőleges skálázás, ami az összemérhetőséget kismértékben nehezíti, ezért az eltérések átlagát és szélsőértékét, százalékban kifejezve, az 1. táblázatban is feltüntettem.

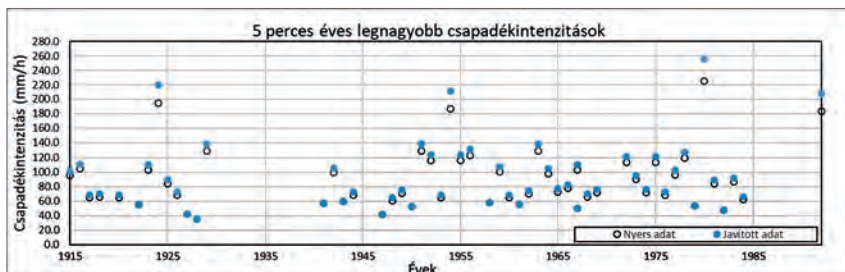
1. táblázat: Javított csapadékintenzitások eltérése a nyers adathoz képest (%) (a szerző szerkesztése)

Vizsgált intervallumok					
	5 perces	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
Átlag	105%	103%	102%	102%	101%
Maximum	113%	110%	105%	104%	103%

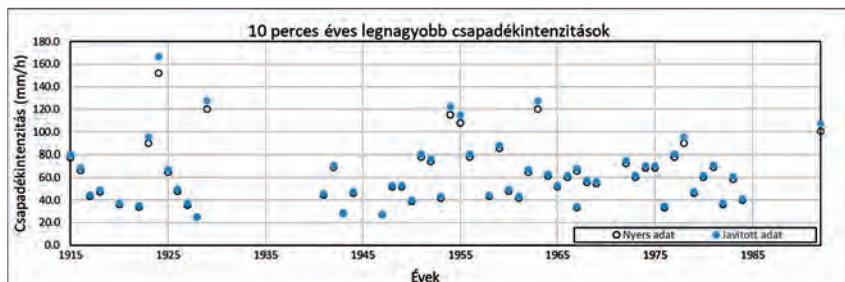
Amint az adatokból látható, a korrekció mértéke a hosszabb intervallumok esetében alacsonyabb, a rövidebbek esetében pedig magasabb. Ugyan az 1. táblázatban az átlagértékek 1–5% közöttiek, és csak a maximumértékek esetében látható 3–13% értékeket lehet számottevő nagyságúnak mondani, ezek az adatok minden év legnagyobb csapadékát reprezentálják. Amennyiben a többi nagycsapadék adata is szerepelne az adatok között, az átlagértékek is magasabbak lennének. Ezek hatása természetesen az IDF-görbékbe is átöröklődik.

Az egyes intervallumok adatait vizsgálva a 3. ábrán látható, hogy az ötperces intervallumban, amely során mindössze egy-két leírás lehetséges, a magas intenzitásértékek miatt a korrekció mértéke jelentős. A 4–7. ábrán az éves legnagyobb intenzitások az intervallum növelésével egyre alacsonyabbak ugyan,

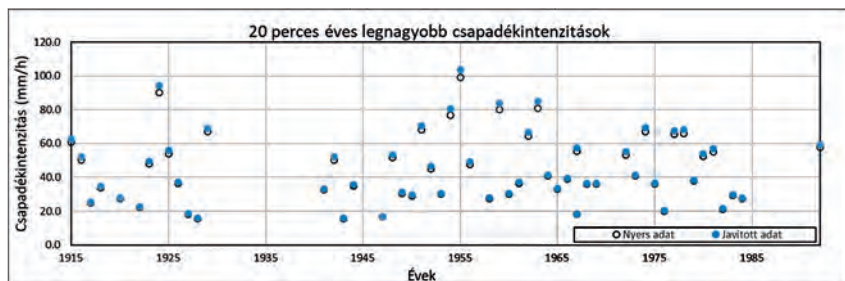
de a szélsőértékek esetén több, 3–8 leürítés is kialakulhat. A korrekció mértéke ugyanakkor alacsony marad, mivel az átlagintenzitás értéke alacsony.



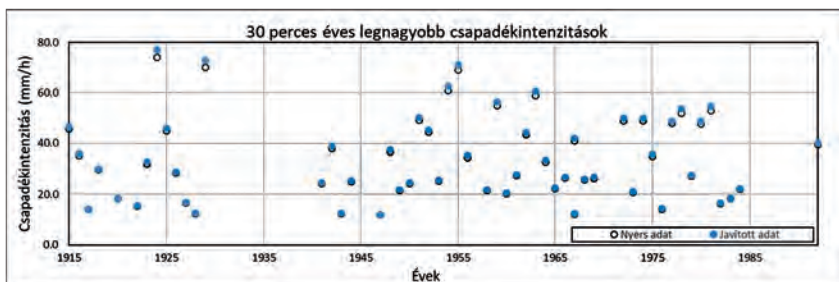
3. ábra: 5 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



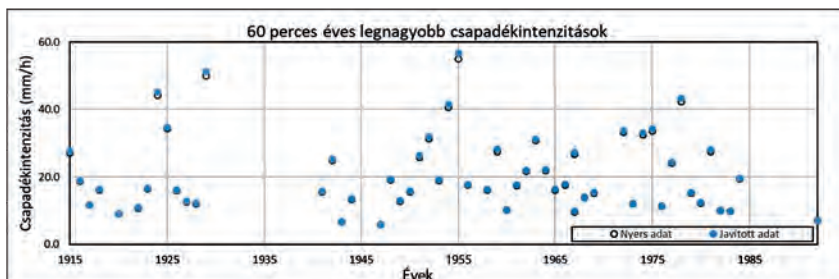
4. ábra: 10 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



5. ábra: 20 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



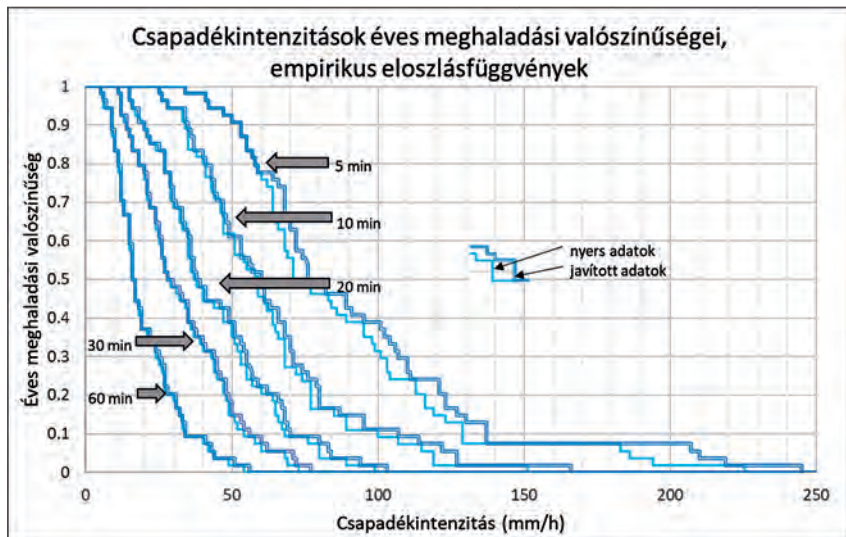
6. ábra: 30 perces éves legnagyobb csapadékinintázások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



7. ábra: 60 perces éves legnagyobb csapadékinintázások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)

A korrekció eredménye az empirikus eloszlásfüggvényekben is megfigyelhető (8. ábra). Az empirikus eloszlásfüggvényt a meghaladási valószínűségek alapján rajzoltam, azaz a függőleges tengelyen ábrázolt valószínűség értéke azt mutatja meg, hogy valamely évben a legnagyobb csapadékinintázás mekkora valószínűséggel haladja meg a vízszintes tengelyen leolvasott intenzitásértéket. Az alacsony intenzitásértékeket az éves maximális intenzitás nagyobb valószínűséggel haladja meg, ha a vizsgált intenzitás magasabb értékben meghatározott, a meghaladás valószínűsége alacsonyabb. A legnagyobb korrekciók az 1. táblázatnak megfelelően a rövidebb intervallumokban található, és mértékük a ritkább csapadékok irányában növekvő. Megfigyelhető az is (elsősorban az 5 és 10 perces értékek esetében), hogy a korrekció egy

bizonyos küszöbérték felett következik be, ennél a küszöbértéknél számol a korrekciós képlet szerint leürítéssel. Ez az 5 perces intervallum esetén kb. 60 mm/h intenzitásnál látható.



8. ábra: Empirikus eloszlásfüggvények a különféle csapadékinvenzítések (5–60 perc) nyers és korrigált értékeire (a szerző szerkesztése)

A leírt tulajdonság alapján az ilyen összetartozó nyers és javított empirikus eloszlásokra illesztett valószínűségi eloszlás nem eltolódik, hanem mintha elfordulna a korrekció küszöbértéke körül az óramutató járásával ellentétes irányba, növelve a ritka meghaladási valószínűséghez tartozó intenzitást.

A korrekció megfelelőségének értékelése

A korrekció megfelelőségének bemutatására a valóságban bekövetkező eloszlású csapadékinvenzítás-adatokat kell előállítani. Ehhez az inverz transzformációs

eljárás (ITM) alkalmazására került sor, amely révén az egyes egyenletes eloszlással felvett valószínűség-értékekhez egy eloszlásfüggvény alapján számolható valószínűségi változó megfelelő értékei rendelkezhetők, azok gyakoriságának megfelelően. Ennek alapján a különböző leürítésszámok gyakorisága szimulálható. A leürítések száma határozza meg a számba vett korrekciók számát is.

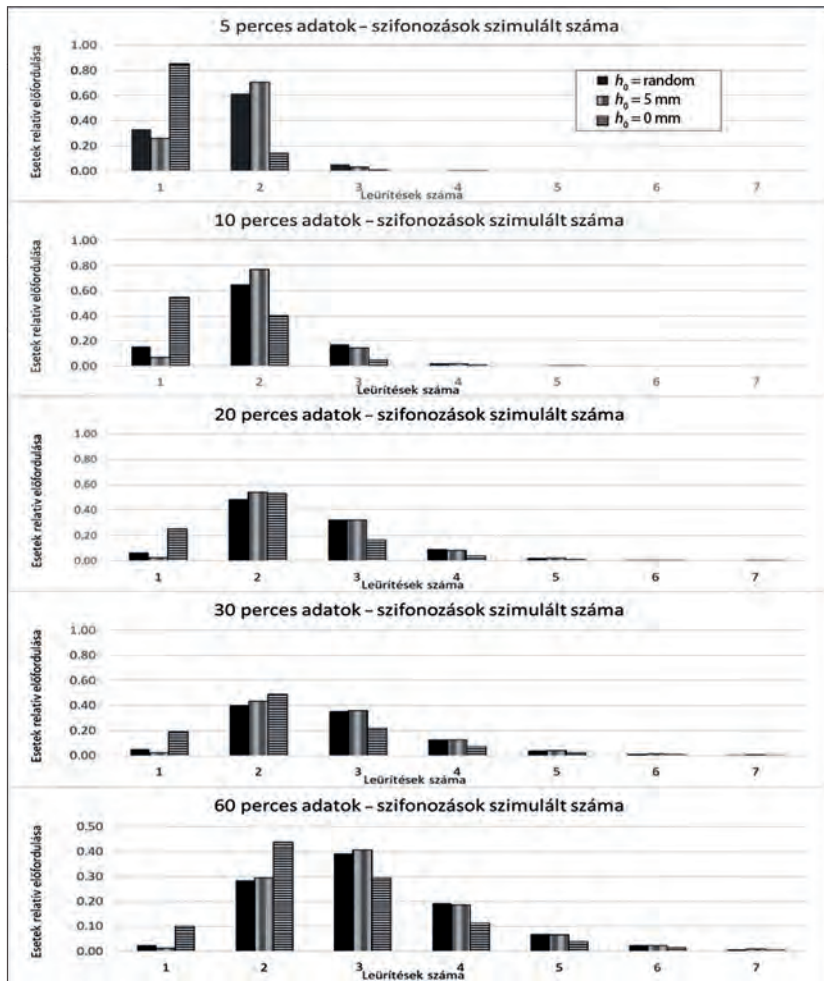
A csapadékinzintizásokat budapesti adatok alapján az általános extrém-érték-eloszlás (GEV) alkalmazásával a 2. táblázat szerinti eloszlásfüggvény-paraméterekkel állítottam elő.

2. táblázat: A modellcsapadék GEV-eloszlásának paraméterei az egyes t intervallumokban (a szerző szerkesztése)

GEV-paraméterek	5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc
ξ	0,093	0,083	0,083	0,092	0,054
σ	26,350	20,510	16,280	13,240	7,640
μ	67,800	49,480	35,080	26,450	16,240

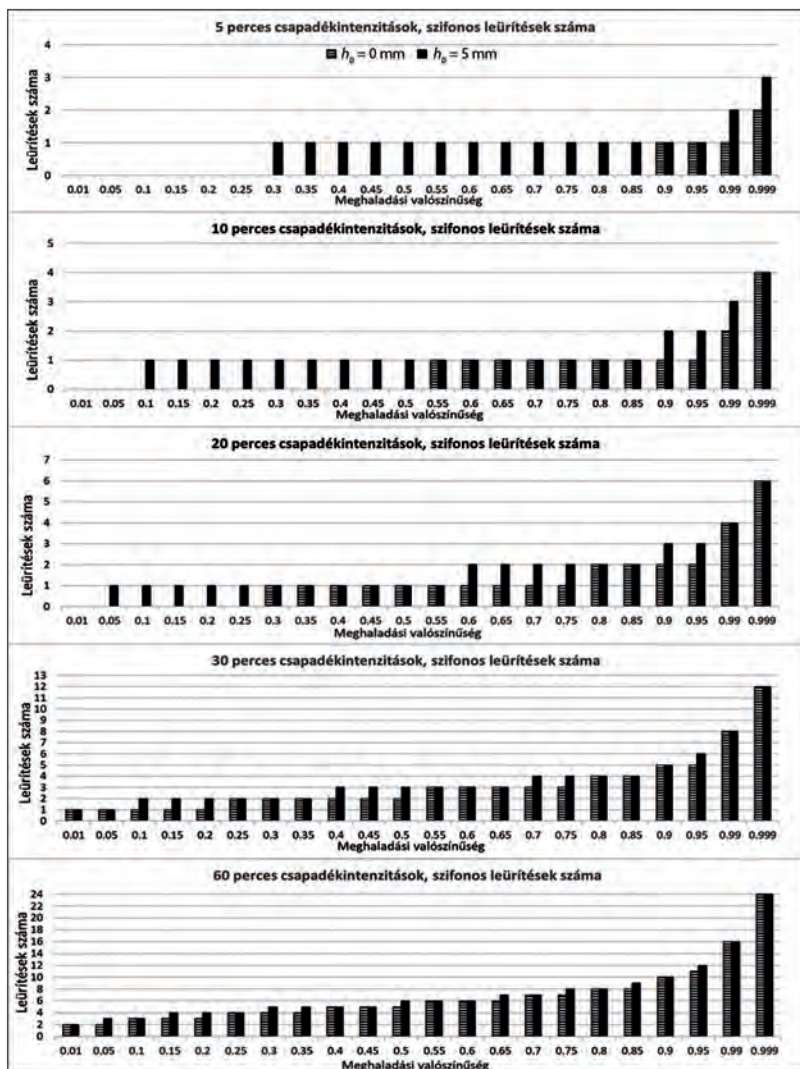
Az intenzitások alapján háromféle kezdeti vízszint mellett határoztuk meg a leürítések számát. A referenciaértéket az egyenletes eloszlás szerint véletlenszerűen felvett kezdeti vízszintértékek szolgáltatták, amelyekkel a leürítések valószínűségben bekövetkező száma modellezhető volt. A vizsgált két eset során a korrekcióban alkalmazott 5 mm, valamint a 0 mm kezdeti vízszint értékeivel határoztam meg a leürítések számát (9. ábra).

A 9. ábra az egyes intervallumokra vonatkozóan 10 000 – 10 000 szimuláció alapján készült. Az ábrából látható, hogy a referenciának tekintett random választott kezdeti vízszint adataihoz viszonyítva a félig telt, $h_0 = 5$ mm kezdeti szinttel számolt adatok gyakorisága hasonló, a $h_0 = 0$ mm viszont jelentősebb eltérést mutat. A referenciaadat és a $h_0 = 5$ mm kezdeti szinttel folytatott szimuláció természetesen kismértékben eltér egymástól, de elfogadható becslést ad.



9. ábra: Szifonos leürítések számának relatív gyakorisága; az első oszlopban véletlen felvett h_0 szimulált értékekkel, a második oszlopban $h_0 = 5$ mm, a harmadik oszlopban $h_0 = 0$ mm feltétel mellett (a szerző szerkesztése)

Külön vizsgáltam a leürítések számának alakulását a két eltérő kiindulási szint mellett néhány meghaladási valószínűség-érték mellett (10. ábra).



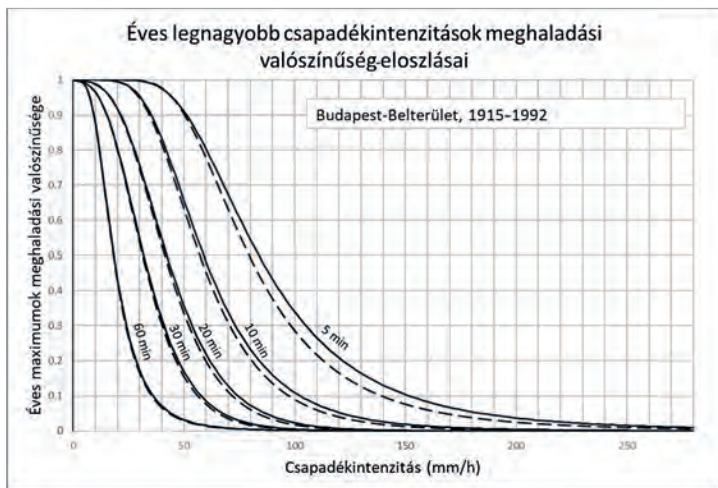
10. ábra: Szifonos csapadékirók leürítéseinek száma az egyes mérési periódusokban, egyes meghaladási valószínűségekhez tartozó intenzitások esetén a $h_0 = 0$ mm és $h_0 = 5$ mm kezdeti vízszint feltételezésével (a szerző szerkesztése)

A 10. ábra azt mutatja, hogy az egyes mérési periódusokhoz kapcsolódóan az egyes meghaladási valószínűségekhez tartozó intenzitásérték mellett hány leürítés alakul ki a $h_0 = 0$ mm és $h_0 = 5$ mm esetekben. Az ábrából látható, hogy az 5 és 10 perces mérési periódus vonatkozásában az üres mérő esetében rendre a 0,90 és 0,55 valószínűségeknel jelenik meg az első leürítés, miközben a félig telt kezdeti állapotban már 0,30 és 0,10 mellett is történik ürítés, tehát a $h_0 = 5$ mm esetben a 2. képlet alapján számolható korrekcióra lényegesen korábban sor kerül. A két kiindulási szint melletti korrekciók között a különbség a 30 és 60 perces mérési periódusban számottevően csökken.

Mind az elvi megfontolások, mind pedig a 9. ábrán bemutatott, a referencia-adatokhoz való viszonyt illusztráló eredmények igazolják a $h_0 = 5$ mm kezdeti vízszint alkalmazásának indokoltságát.

Hangsúlyozandó ugyanakkor, hogy ez a korrekció – lévén a kezdeti vízszint nem ismert – becslés jellegű, statisztikai alapú, így egyes esetekben visszamarad bizonyos mértékű alul- vagy felülbecslés, amelynek mértéke viszont elmarad a korrekció nélkül bekövetkező hibától.

A korrekció hatása az IDF-görbékre



11. ábra: A nyers és javított csapadékindenzitás-adatokra illesztett GEV-eloszlások (a szerző szerkesztése)

A csapadékontenzítások fent ismertetett módszer szerint előállított tapasztalati eloszlásfüggvényére általánosított extrémérték-eloszlást (GEV) illeszttem, amelyet a 11. ábrán mutatok be. Látható, hogy az eloszlásfüggvényekben a változás leginkább a rövid intervallumokra vonatkozó legnagyobb értékek esetén következett be.

Az illesztett eloszlásfüggvények paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: GEV-eloszlásfüggvények paraméterei (a szerző szerkesztése)

GEV- para- méterek	5 perc		10 perc		20 perc		30 perc		60 perc	
	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott
ξ	0,17	0,18	0,08	0,10	−0,02	−0,01	−0,02	0,00	0,14	0,10
σ	25,08	28,18	19,28	20,11	16,67	17,27	13,45	7,58	7,58	7,70
μ	69,30	72,42	49,56	50,89	34,92	35,57	26,14	15,14	15,14	15,30

Az IDF-görbe adatait az eloszlásfüggvény gyakorlatban szokásos kvantilisainál vettem fel, így az 1, 2, 10, 50, 99%-os elérési valószínűségi értékeknél, amelyek rendre 100 éves, 50 éves, 10 éves, 2 éves és 1 éves átlagos visszatérési időnek felelnek meg. A csapadékontenzítás-értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Nyers és javított IDF-adatok (a szerző szerkesztése)

Átl. vissza- térési idő (év)	Meghaladási valószínűség (%)	Nyers adatok, mm/h					
		5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc	
1	99	35,6	21,7	9,0	5,3	4,7	
2	50	78,8	56,7	41,0	31,1	18,0	
10	10	138,2	96,8	71,5	55,9	35,2	
50	2	208,5	137,0	97,1	77,0	54,4	
100	1	244,8	155,5	107,7	85,8	64,0	
Jávitott adatok, mm/h							
1	99	34,8	22,5	9,0	5,4	4,7	
2	50	83,1	58,4	41,9	31,5	18,2	
10	10	150,6	101,7	74,1	57,4	35,8	
50	2	231,7	147,2	101,9	80,0	55,7	
100	1	274,0	168,9	113,5	89,5	65,7	

A javított értékek nyers értékekre vonatkoztatott arányát az 5. táblázat mutatja. A táblázatból látható, hogy a GEV valószínűség-eloszlással felvett modell alkalmazásával a szifonos mérés korrekciója elsősorban az 5, 10, 20 és 30 perces időszakok csapadékintenzitásában okozott olyan mértékű változást, amely a mérés egyéb hibajelenségeiből származó ingadozások mértékét meghaladja. Ezekben az esetekben is elsősorban a 10 éves átlagos előfordulású éves maximumok értéke növekedett jelentős mértékben. A gyakorlatban általánosan használt 10 perces intenzitás esetében a változás 5–9% mértékű a 10 év feletti átlagos visszatérés esetében. Az intervallumok hosszának növekedésével a korrekció hatása csökken, így a 30 perces intervallum esetében a korrekció az 50 és 100 éves átlagos visszatérés esetében kb. 4% növekedést eredményez.

5. táblázat: Javított adatok százalékos változása a nyers adatokhoz képest (a szerző szerkesztése)

Átl. visszatérési idő (év)	Meghaladási valószínűség (%)	Javított adatok / Nyers adatok (%)				
		5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc
1	99	–2,3	3,7	0,0	1,9	0,0
2	50	5,4	3,0	2,2	1,3	1,1
10	10	9,0	5,1	3,6	2,7	1,7
50	2	11,1	7,4	4,9	3,9	2,4
100	1	11,9	8,6	5,4	4,3	2,7

Az IDF-adatokban a korrekció alkalmazásával látható eltérések azt mutatják, hogy a Hellmann–Fuess-csapadékírókon mért régi csapadékintenzitás-adatokban jelentős alulbecslés található, amely miatt a mérnöki gyakorlat méretezési értékei a ténylegesen hulló extrém csapadék intenzitásától elmaradnak. Ez a hiba a klímaváltozás csapadékintenzitásra vonatkozó megállapításait is árnyalja, hiszen a referenciaként használt intenzitásadatok a mérés e cikkben leírt szisztematikus hibáját tartalmazzák.

A Hellmann–Fuess-csapadékírók csapadékintenzitás-mérésének további, eddig figyelembe nem vett hibaforrása a szél okozta alulmérés, amelynek legalább a nagyságrendjét további kutatás során vizsgálni szükséges.

Összefoglalás

A dolgozatban a Hellmann–Fuess-rendszerű csapadékirók feldolgozott adataiban átöröklődő szisztematikus hiba utólagos korrekciós módszerét ismertettem. A szisztematikus hiba oka a leürítés idején a csapadékiró regisztrációs szalagján nem rögzített csapadékmennyiség, amely révén a csapadékintenzitás-adatokban is hiba marad vissza. A hiba szisztematikus alulmérés, amely a feldolgozott adatokban a csapadékintenzitás statisztikai alulértékelését eredményezi. A feldolgozott csapadékadatok esetében csak valamely időtartamra vonatkozó legnagyobb csapadékösszeg vagy csapadékintenzitás ismerhető, így a szakirodalomban ismert eljárásokkal a hiba korrekciója nem hajtható végre. A javasolt eljárás a Luyckx és Berlamont által kidolgozott, a leürítés fizikai folyamata alapján összeállított módszerre alapul. Lényege az, hogy felvett kezdeti vízszint mellett a mérés során meghatározott átlagos csapadékintenzitással becslést tesz a nem mért vízmennyiségre, illetve a csapadékintenzitásra. A Hellmann–Fuess-csapadékmérők műszaki paramétereinek ismeretében a módszert a gyakorlati adatokon is bemutattam. A korrekció a 10 éves átlagos visszatérésűnek tekintett 10% meghaladási valószínűségnél ritkább csapadékok esetén, a rövidebb intervallumok, időablakok esetében a legnagyobb. A 30 perces és hosszabb intervallumok esetében a korrekció hatása a kimutathatóság határán észlelhető.

Minthogy a korrekció statisztikai alapú, a ténylegesen kihullott csapadékot csak becsülni képes, de az alulmérést mindenképp javítja, és a becslés hibája a szisztematikus hibánál kisebb mértékű. A korrekció alkalmazásával a csapadékintenzitás-görbék értéke javítható, ez különösen amiatt fontos, hogy a klímaváltozás csapadékintenzitás vonatkozásában bekövetkezett változását – ha van – pontosabban lehessen kimutatni és értékelni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatáshoz, amely a PhD-kutatásom része, az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította a Budapest Belváros állomás Hellmann-csapadékirójának adatait, amelyet külön köszönök. Az adatok digitalizálásában Varga Laura vett részt, akinek ez irányú munkája nagy segítséget jelentett.

Felhasznált irodalom

1. Butzer KW. A földfelszín formakincse. Budapest: Gondolat Kiadó; 1986. 520 p.
2. Kiss T. Geomorfológiai vizsgálati módszerek. Szeged: JATEPress; 2014. 228 p.
3. Stefanovits P, Filep Gy, Füleki Gy. Talajtan. Budapest: Mezőgazda Kiadó; 1999. 470 p.
4. Kallós I. Ombrogrammok értékelése. Hidrológiai Közlöny. 1955;35(7–8):293–296.
5. Szentes LO. A rövid idejű intenzív csapadékok statisztikai vizsgálata. Diplomamunka. Budapest: Eötvös Loránt Tudományegyetem Földrajz- és Földtudományi Intézet Meteorológiai Tanszék; 2018. 85 p.
6. Luyckx G, Berlamont J. Accuracy of siphoning rain gauges. In: Global solutions for urban drainage [Internet]. Reston: American Society of Civil Engineers; 2002 [cited 2021 Nov 12]. p. 1–12. DOI: [https://doi.org/10.1061/40644\(2002\)251](https://doi.org/10.1061/40644(2002)251)
7. Rácz T. On the correction of processed archive rainfall data of siphoned rainfall. Időjárás [Internet]. 2021. július–szeptember [letöltve 2021. november 12.];125(3):513–519. DOI: <http://doi.org/10.28974/idojaras.2021.3.9>
8. Rácz T. Application of correction procedures for some systematic measurement errors to rainfall intensity data of a rain gauge in Budapest. Period. Polytech. Civil Eng. [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 12];65(4):1025–1035. Available from: <https://pp.bme.hu/ci/article/view/17731>
9. Dr. Alfred Müller MI KG. Precipitation gauges and recorders. Katalógus.

A világ számos részén a szűkös vízkészlet mellett a víz iránti kereslet folyamatosan nő. A világ jelenlegi vízproblémái, mint az áradások, az aszály, a vízhiány és a talajvíz kimerülése mind kapcsolatba hozhatók a csapadékvízzel. A csapadékvíz a vízkészletek megőrzésének eszköze és egy olyan természeti erőforrás, amely életképes alternatívát kínál a súlyosbodó problémák tendenciáival szemben. Az egyik legsürgetőbb kérdés, hogy hogyan kerülhetjük el a vízpazarlást és hogyan használhatjuk ki a lehető legjobban a rendelkezésre álló erőforrásokat.

Az éghajlatváltozás erősödésével és az urbanizáció terjedésével a hatékony csapadékvíz-kezelés minden eddiginél sürgetőbbé vált. Az éghajlatváltozás nemcsak arra kényszerít bennünket, hogy közösen és sürgősen cselekedjünk, hanem arra is, hogy gondosan mérlegeljünk, hogyan járulhat hozzá a csapadékvíz az éghajlat és a természet kettős válságának kezeléséhez. Az éghajlatváltozással szembeni reziliencia már nem opcionális, hanem elengedhetetlen.

Mrekva László