

A klímaváltozás hatása a felszíni vízgazdálkodásra

Döntéstámogató tanulmány

„A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra” valamint
„A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására
becsült változása” című tanulmányok alapján

Szerző:
Lendér Henrik



2016. március 20.

TARTALOM

| | |
|---|-----------|
| Ábrajegyzék..... | 2 |
| Táblázatjegyzék..... | 2 |
| 1 Vezetői összefoglaló | 3 |
| 2 A címbeli tanulmányok összefoglaló ismertetése | 5 |
| 2.1 „A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása” című tanulmány módszertani háttere és annak eredményei | 5 |
| 2.1.1 A Balaton vizsgálatba vont vízháztartási tényezőinek jellemzése | 5 |
| 2.1.2 A természetes vízkészletváltozás – a tó vízforgalmát leíró integrált mutatószám – értelmezése és jellemzése | 7 |
| 2.1.3 Az évi éghajlati elemek és a természetes vízkészletváltozás kapcsolatának jellemzése | 9 |
| 2.1.4 A Balaton évi vízmérlegére eddig elvégzett éghajlati hatásvizsgálatok összefoglaló értékelése | 9 |
| 2.1.5 A modellszimulációk eredményei | 10 |
| 2.1.5.3 A BALATON VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉRŐL TÖRTÉNŐ ÉVI LEFOLYÁS (A BALATON VÍZHÁZTARTÁSBAN A HOZZÁFOLYÁS) IDŐSZAKOS ÁTLAGÉRTÉKEINEK SZÁMÍTÁSA A KLÍMAABLAKOKRA | 12 |
| 2.1.5.4 A BALATON ÉVI TERMÉSZETES VÍZKÉSZLETVÁLTOZÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA A KLÍMAABLAKOKRA | 12 |
| 2.1.6 A kapott eredmények összefoglaló értékelése | 12 |
| 2.2 „A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra” című tanulmány módszertani háttere és annak eredményei..... | 14 |
| 2.2.1 Villámárvizek..... | 14 |
| 2.2.2 Klímamodellek..... | 15 |
| 2.2.3 Eredmények..... | 15 |
| 2.2.4 Vízyűjtő elemzés..... | 20 |
| 2.2.5 Csapadékesemények gyakoriság-elemzése..... | 21 |
| 2.2.6 A villámárvíz veszélyeztetettség elemzésmegalapozó lépései..... | 22 |
| 3 A tanulmányokból levonható következtetések, javaslatok és az eredmények hasznosítási lehetőségei | 23 |
| 3.1 A felszíni vízgazdálkodásra vonatkozó döntés előkészítő, döntéstámogató következtetések, javaslatok | 23 |
| 3.2 Az eredmények hasznosítási lehetőségei, javaslatokkal a további kutatásokra, vizsgálatokra vonatkozóan | 28 |
| 4 Irodalom..... | 31 |

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. A Balaton felületére hulló csapadék évi területi átlagértékei
2. ábra. A Balaton évi párolgása
3. ábra. A Balaton évi természetes vízkészletváltozása
4. ábra. Az évi lefolyási tényező változása a Balaton-vízgyűjtőn 1921-2014 között
5. ábra. Az évi természetes vízkészletváltozás és az ariditási mutató kapcsolata
6. ábra. A 30 mm-t meghaladó napi csapadékösszegek relatív gyakoriságai évszakos bontásban az 1961–1990 időszakra a CarpatClim-Hu, az ALADIN-Climate és a RegCM modellek adatai alapján
7. ábra. A 30 mm-t meghaladó csapadékos napok előfordulási gyakorisága a két klímamodell adatai alapján a három vizsgált klímaablakra
8. ábra. A 30 mm-t meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának területi eloszlása az 1961–1990 időszakra a CarpatClim-Hu adatbázis alapján
9. ábra. A küszöbértéket meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának változása a 2021–2050 időszakra az ALADIN-Climate adatai alapján
10. ábra. A településekhez tartozó kifolyási pontok, a településhatár kiterjesztésével
11. ábra. A települések vízgyűjtő karakterisztika alapján történt veszélyeztetettség osztályozása

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat. A jövőbeli klímaablakokra kapott várható csapadékmennyiség, középhőmérséklet és a párolgás

1 VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

Magyarország a Kárpát-medence árvízzel, belvízzel és aszályal jelentősen veszélyeztetett területén fekszik. Hazánkban a szélsőséges vízgazdálkodási viszonyok elleni küzdelem már régóta tart, elég azt említeni, hogy az árvízvédelem, a belvízvédelem és az aszálykár elleni védekezés mindegyike jelenleg is országos léptékű problémának számít.

A klímaváltozás hatására valószínűleg a víz, mint természeti erőforrás felértékelődése rövid időn belül be fog következni. Márpedig napjainkban nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy az éghajlat változik, annak ellenére, hogy az éghajlati modellek eredményei természetesen nem tekinthetők tényeknek. Az eredmények alapján az éghajlatváltozás várhatóan jelentős változásokat fog okozni a felszíni vízgazdálkodás területén, mivel a klímaváltozással a hidrológiai adottságok is megváltoznak.

Jelen tanulmány célja, hogy a NATÉR projekt keretében felmérésre kerüljenek azok az éghajlatváltozás hatására végbemenő folyamatok, valamint azok következményei, melyek a felszíni vízgazdálkodást a jövőben nagymértékben befolyásolni fogják.

A legtöbb modell az évi középhőmérséklet jelentős emelkedésével számol, mely várhatóan a nyári évszakban lesz a legnagyobb mértékű. Az eredmények alapján az éves csapadékösszeg jelentős változása nem várható, de annak időszakos eloszlása meg fog változni, várhatóan télen kismértékű növekedés, míg nyáron csökkenés fog következni. A klímaváltozás következményeként a szélsőséges időjárási jelenségek is mind gyakoribbá válhatnak, ezáltal korábban nem tapasztalt csapadékmennyiségek hullhatnak le egy adott idő alatt.

A szélsőséges csapadék szélsőséges lefolyást is fog eredményezni, ezért az alacsonyabban fekvő területeken tartósabb belvizek, míg a vízfolyásokban magasabb árhullámmal jellemezhető árvizek alakulhatnak ki, és a villámárvizek gyakorisága is növekedni fog. Az intenzívebb csapadék növelheti az eróziót is, ami a hordalékmozgáson keresztül nemcsak ott hat negatívan, ahonnan elszállít, hanem ott is, ahol lerak, így a jövőben növelni kell a karbantartási munkákat is.

A hőmérséklet valószínűsíthető növekedése miatt a téli csapadékok egyre nagyobb mértékben fognak eső formájában lehullani, amely a téli lefolyásnövekedését okozza.

A feltehetőleg ritkább, de intenzívebb csapadékhullás a települési vízellátásban és csatornázásban is változásokat igényel. Az intenzív csapadék elvezetése egyre nehezebbé válik.

Az időjárás várható szélsőségesebbé válásának következtében az elkövetkező években egyre nagyobb belvízi elöntésekkel is számolhatunk, elsősorban a tél végi, tavasz elejei időszakokban. A belvízelvezető rendszerek most sem alkalmasak kielégítően elvezetni a vizet, így a várhatóan növekvő belvizekkel a vízszállító képesség tovább csökkenhet, mely hosszabb ideig tartó belvizet eredményezhet. A védekezési munkák hatékony elvégzése érdekében folyamatosan szükséges az elavult eszközpark, valamint a rossz műszaki állapotú műtárgyak rekonstrukciója is.

Mindenképpen szükséges a belvízvédelem rövid és középtávú stratégiájának újragondolása, és a jövőkép szempontjából nem mellékes a belvizek kérdését együtt vizsgálni a vízmegtartás témakörével.

A nagy csapadékok mellett számolnunk kell hosszan tartó aszályos időszakokra is. A csapadékhiány a lefolyás csökkenéséhez és tartós hiányához vezethet, aminek következtében csökken a talajok ned-

vességtartalma, a talajvíz szintje, valamint a folyókban szállított vízmennyiség is. A talajvízszintek süllyedésével még több csapadékot nyelhet el a talaj, ez pedig még kisebb lefolyást eredményez, csökken a kisebb vízfolyások felszín alatti vízutánpótlása is.

Ráadásul a várható felmelegedés a vízkészletek további csökkenését fogja eredményezni, ezáltal a hasznosítás szempontjából meghatározó utánpótlás is csökkenő trendet mutat majd. A településeken megnőhet a csúcsvízigény, további terhet róva a lecsökkent vízkészletekre.

Fontos következmény lehet az öntözött területek megváltozása. A rendelkezésre álló öntözővíz mennyisége csökkeni fog, és ezért a vízellátás egyre költségesebbé válik, így az alföldi területeken, ahol a rendelkezésre álló víz mennyisége már jelenleg is igen korlátozott, az öntözés visszaszorulhat és a fő öntözött területek más tájegységeken alakulhatnak ki, ahol kisebb a hosszabb időn át tartó aszályos időszakok kockázata.

Meg kell fontolni még több záportározó építését is. A tározók és környezetük természetesen kialakíthatók úgy, hogy azok esztétikus megjelenésükkel szebbé tegyék a városképet és az ott lakók számára váljanak, pihenési, kikapcsolódási lehetőséget biztosítva. A csapadékvíz elvezetése helyett a csapadékvízzel való gazdálkodást, hasznosítást kell szorgalmazni. A víztakarékosság szempontjából meg kell vizsgálni a használt vizek újrafelhasználásának a lehetőségét, valamint a technológiai fejlődésből adódó innovációban rejlő lehetőségeket is. A várható vízhiánnyal szemben való sikeres fellépés érdekében mindenekelőtt azt kell elérni, hogy a gazdaság vízfelhasználása hatékonyra és takarékosra váljon.

Az állóvizeink vízháztartása is megváltozhat, a kisebb tavaink felülete jelentősen zsugorodhat, egyesek akár ki is száradhatnak. Egyre nehezebb lesz a tavak minimális vízszintjét a szabályozási sávon belül tartani. A helyzet stabilizálása érdekében szóba jöhet a vízhasználatok átmeneti korlátozása és tartaléktározóból vagy külső vízforrásból történő vízpótlás lehetősége. Megfontolandó a vízvezetési kényszer megszüntetése, ezzel párhuzamosan a helyi vízvisszatartás és a térségi vízátervezés lehetősége, így csökkentve a vízhiányos időszakokban bekövetkező káreseményeket. Magyarországon is vannak tározási lehetőségek, melyek további vizsgálatokat igényelnek.

A klímaváltozás hatása a különböző ágazatokban is érződni fog, például a hazánkban húzóágazatnak számító mezőgazdaság területén, de az iparra és a turizmusra is jelentős következményekkel bírhat, ezért a közelgő változásokra való felkészülést minél előbb meg kell kezdenünk. Nagyon fontos, hogy a társadalomnak sikerüljön alkalmazkodni a takarékos vízhasználatra az egyre szűkösebben rendelkezésre álló vízkészletek figyelembevételével.

Jelentős probléma továbbá az integrált vízgazdálkodás-politika hiánya, valamint a településfejlesztési és vízgazdálkodási tervezés gyenge kapcsolata. Sajnos jellemző az ágazatok között is a gyenge kommunikáció, ennek javítása elengedhetetlen feladat az integrált vízgazdálkodás-politika működése érdekében. Mindezek mellett el kell készíteni egy olyan tanulmányt, melyben a korábbi évek idevonatkozó munkáinak, stratégiáinak eredményeit felhasználják, és benne a különféle szakpolitikai érdekek érvényesülhetnek, valamint kellően megalapozottak, mind szakmai-, mind gazdasági- és mind társadalmi szempontok szerint. A különböző szakágazatoknak feltétlenül össze kell dolgoznia, és ha a különböző érdekek nem találkoznak, akkor kompromisszumok megkötésére van szükség.

2 A CÍMBELI TANULMÁNYOK ÖSSZEFOGLALÓ ISMERTETÉSE

A tanulmány kidolgozásához rendelkezésre álltak a 2016 januárjában elkészült „a Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása”, valamint a 2015 decemberében befejezett „A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra” című dolgozatok. Jelen fejezetben ennek a két tanulmánynak az összefoglalása következik.

2.1 „A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása” című tanulmány módszertani háttere és annak eredményei

A VITUKI Hungary Kft. által elkészített tanulmány hazánk legnagyobb tava, a Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változásának irányával és mértékével foglalkozik.

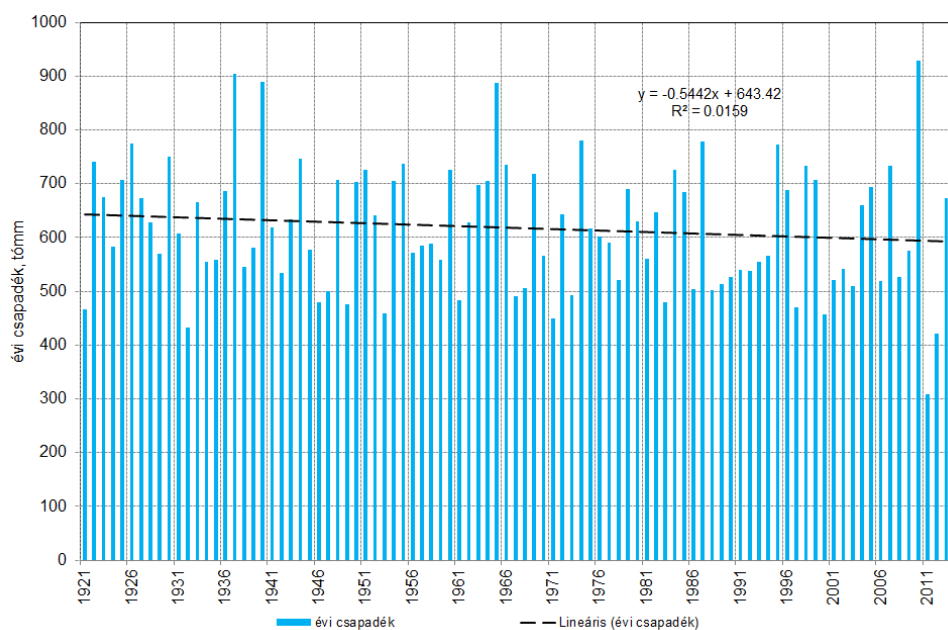
A tavak, különösen a Balatonhoz hasonló sekély tavak éghajlati érzékenysége már régóta ismert. Történeti kutatások kimutatták, hogy a tó vízjárása és a vízjáráshoz kapcsolódóan a tó felülete a múltban többször, esetenként jelentősen változott az éghajlat ingadozásával összefüggően (Virág 1997).

A tanulmányban a Balaton vízháztartási viszonyainak becsült változásait az Országos Meteorológiai Szolgálat az 1961–1990 referencia időszakra és a 2021–2050, valamint a 2071–2100 közötti 30 éves klímaablakokra vonatkozó ALADIN-Climate modellfuttatási eredményeire alapozott és elvégzett hidrológiai számítások eredményei alapján mutatja be.

2.1.1 A Balaton vizsgálatba vont vízháztartási tényezőinek jellemzése

A tó vízháztartásának fontos jellemzője a természetes vízkészletváltozás, ami a tó adott időszakra vonatkozó természetes vízbevitelének és vízkiadásának különbsége. A vízbevitel a tó felületére hulló csapadék (P) és a tó vízgyűjtőjéről érkező hozzáfolyás (R_{vgy}) a vízgyűjtő (F) és a tófelület (f) F/f arányában a tófelületre átszámított értékének (R_H) összege, míg a vízkiadásnak a vízfelületi párolgás (E_w) felel meg amennyiben nem vesszük figyelembe a mesterséges vízleeresztéseket. E szerint a természetes vízkészletváltozás számítása a $\Delta S_T = P + R_{\text{vgy}}(F/f - 1) - E_w - SW$ képlet alapján történhet.

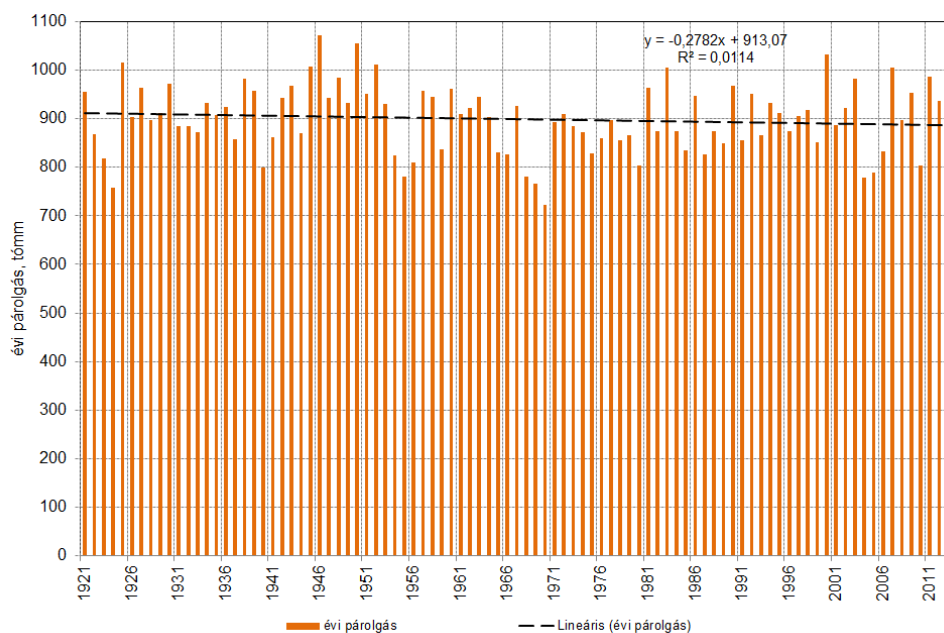
A tó felületére érkező csapadék (1. ábra) számítása 1970-ig a tó közvetlen vízparti területén elhelyezkedő állomások adatainak számtani, 1971-től a Thiessen-módszer szerinti súlyozott átlagolásával történt. A figyelembe vett állomások száma 1970-ig 12 volt, számuk 1971-től előbb 25-re nőtt, később előbb 19-re, majd ismét 12-re csökkent. Megjegyzendő, hogy a figyelembe vett állomások számának csökkenése a területileg átlagolt csapadék nagyságát érdemben nem érintette (VARGA 2011).



1. ábra. A Balaton felületére hulló csapadék évi területi átlagértékei

A hozzáfolyás számításának problémája, hogy a lefolyás mérése csak a felszíni vízfolyásokra, azoknak is csak egy részére terjed ki, így jószerével hiányzik a Balatonba kerülő közvetlen lefolyás, és a felszín alatti táplálás pontos ismerete is. Napjainkra a vízhozamméréssel folyamatosan ellenőrzött terület aránya a vízgyűjtőn 90% felett van. A mérésekkel le nem fedett vízgyűjtők hozzáfolyását az analógia időben változó módszerével számították (VIRÁG 1997).

A vízfelületi párolgást (2. ábra) meteorológiai állomások méréseiből (léghőmérséklet, a telítési és a tényleges párányomás különbségeként számított telítési hiány, szélesebbég) számítással határozták meg. A számításhoz 1921–1974 között a Meyer-képletet, 1974–1986 között az Országos Meteorológiai Szolgálat Központi Léghőfizikai Intézete és a VITUKI által több éven át folytatott kísérleti mérései alapján szerkesztett ún. Antal-képletet (ANTAL et al. 1971), 1986-tól annak pontosított változatát használták (VARGA 2011).

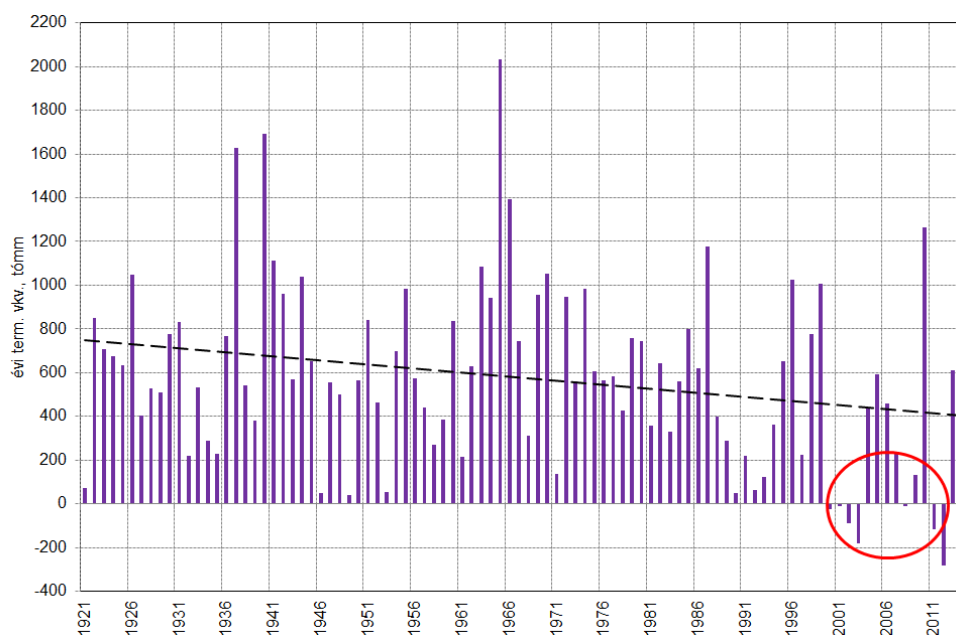


2. ábra. A Balaton évi párolgása

A tóra hulló csapadék és a hozzáfolyás együttesen mintegy 39 mm/évtized ütemmel csökkent, aminek nagyobb részét, 85%-át a hozzáfolyás fogyatkozása váltotta ki. A tó párolgás kismértékben csökkent, üteme mintegy 3 mm/évtized értékre tehető.

2.1.2 A természetes vízkészletváltozás — a tó vízforgalmát leíró integrált mutatószám — értelmezése és jellemzése

A természetes vízkészletváltozás időszora (3. ábra) a csapadék, a párolgás és a hozzáfolyás számításában beállt módszertani és a számításokhoz felhasznált állomásokban bekövetkezett változások miatt közelítő jellegűnek lehet tekinteni (VITUKI 1990).



3. ábra. A Balaton évi természetes vízkészletváltozása

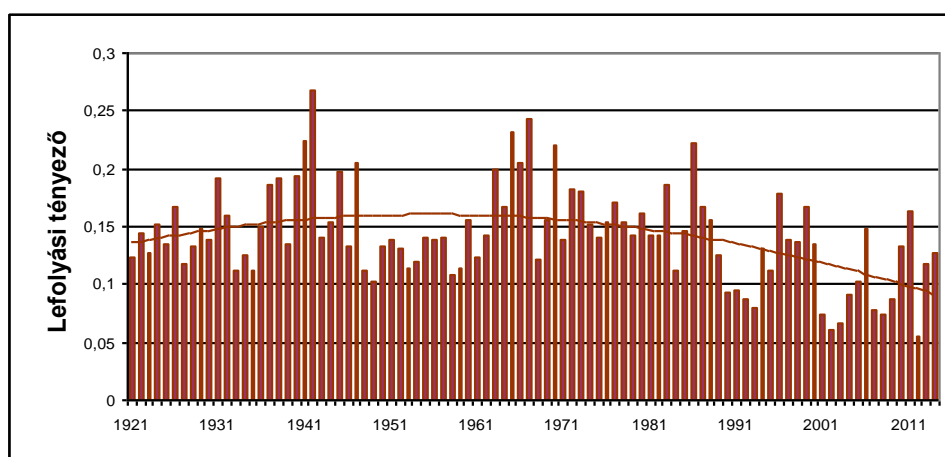
Az évi természetes vízkészletváltozás ($TVK_{év}$) 1921–2014. közötti közel 100 éves időszaka csökkenő tendenciát mutat.

Az évi természetes vízkészletváltozás elegendő terjedelmű mintákon számított statisztikai mutatói, várható értéke és szórása az 1980-as évekig nem mutat statisztikai értelemben szignifikáns eltérést, ezért az idősor stacionáriusnak tekinthető.

Az idősor az 1980-as éveket követően megváltozott, a várható érték határozott csökkenést mutat, és az 1980-as évekig tartó stacionárius folyamat ezt követően nem stacionáriussá alakult. Az 1980-as éveket követően lényeges változás állt be az évi természetes vízkészletváltozás valószínűségi eloszlási függvényében.

A statisztikai vizsgálatok eredménye intő jel arra, hogy a Balaton évi természetes vízkészletváltozásának viselkedése a XX. század utolsó évtizedeiben megváltozott a korábbi évekhez képest. Az idősorban beállt változást a tóra hulló csapadék és a tófelület-párolgás egyenletes és kismértékű csökkenése nem indokolja, ugyanakkor a hozzáfolyásban (azaz a vízgyűjtő-lefolyásban) jelentős, a természetes vízkészletéhez hasonló idő szerinti változás mutatható ki (HONTI 2013, in NOVÁKY et al. 2013).

A hozzáfolyás csökkenési üteme az 1980. évet követően gyorsult fel, hasonlóan az évi természetes vízkészletváltozásához. A hozzáfolyás csökkenése részben a vízgyűjtőre hulló csapadék, és főként a lefolyó hányad csökkenésével magyarázható (4. ábra).



4. ábra. Az évi lefolyási tényező változása a Balaton vízgyűjtőjén 1921–2014 között

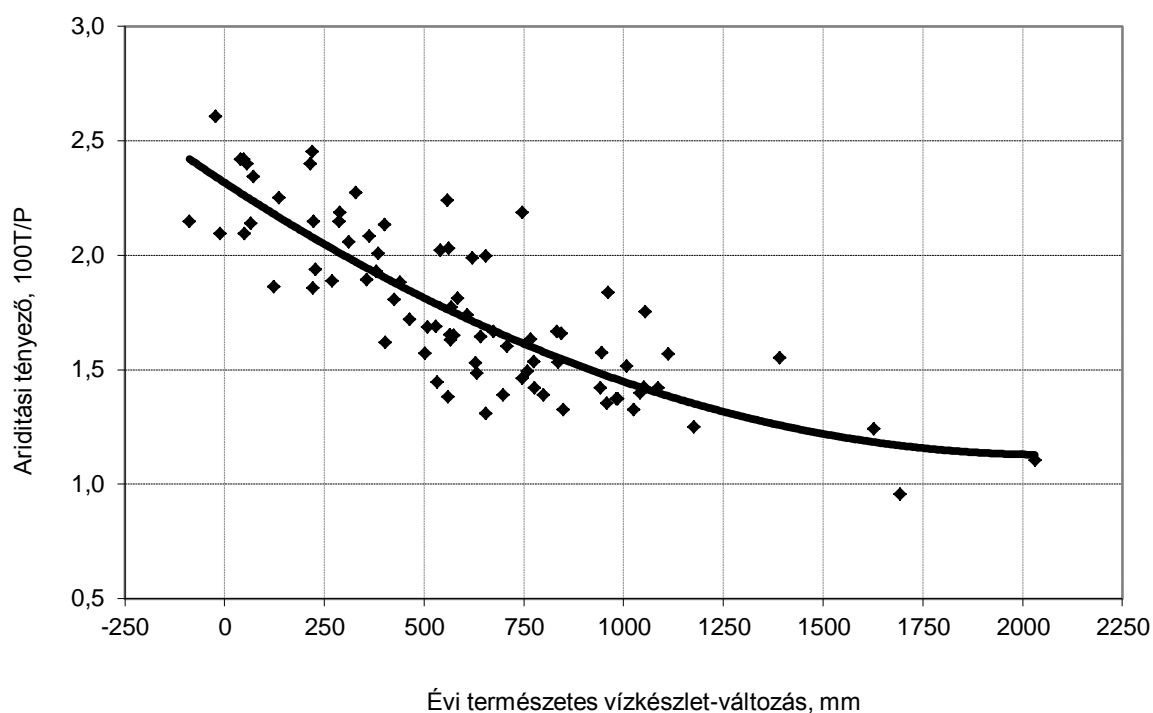
A Kis-Balaton és a halastavak többletpárolgása az elmúlt évtizedekben, különösen az 1980-as évektől felerősödve, közel 200 mm-rel csökkentette a vízgyűjtő tárolt vizeit, ami viszont hozzájárult a vízgyűjtőben a csapadék lefolyó hányadának (a lefolyási tényezőnek), és azon keresztül a Balatonhoz való hozzáfolyás csökkenéséhez. A lefolyási tényező csökkenésében a Kis-Balaton és a halastavak többletpárolgása mellett szerepet játszott a vízgyűjtő éghajlati ariditásának utóbbi évtizedekben tapasztalat növekedése is.

2.1.3 Az évi éghajlati elemek és a természetes vízkészletváltozás kapcsolatának jellemzése

Az évi természetes vízkészletváltozás alakulása szorosan összefügg a csapadék és a párolgást alapvetően meghatározó hőmérséklet évi alakulásával. A kapcsolat a múltbeli észlelési adatok alapján modellezhető, egyszerűbb esetben lineáris regresszióval becsülhető. A bemutatott modellekben a bemenő adatokat a tóra hulló csapadék és a Keszthely állomás hőmérséklete, a kimenő adatokat az évi természetes vízkészletváltozás 1921–2002 közötti értékei jelentették.

A csapadék és a hőmérséklet az a két alapvető meteorológiai tényező, amelyek meghatározó mértékben alakítják a tó természetes vízkészletváltozását.

A két meteorológiai elemet az $ARI = 100T/P$ képlet szerinti ariditási mutatóba összevonva, eléggé egyértelmű kapcsolat építhető fel az éghajlat jellegét átfogóan jellemző mutató és az évi természetes vízkészletváltozás értékei között (5. ábra). Az ábráról egyértelműen kitűnik, hogy az éghajlat ariditásának (száraz jellegének) növekedésével az évi természetes vízkészletváltozás csökken, az ariditási mutató 2,3 értékénél negatívba fordul át, azaz éves szinten a tó természetes vízkészlete fogyatkozik.



5. ábra. Az évi természetes vízkészletváltozás és az ariditási mutató kapcsolata

2.1.4 A Balaton évi vízmérlegére eddig elvégzett éghajlati hatásvizsgálatok összefoglaló értékelése

A Balaton vízháztartásának — a 21. századi klímaablakok időszakára vonatkozó — vizsgálatával és becslésével a korábbiakban több szakértő is foglalkozott.

A különböző éghajlati forgatókönyvekből kiinduló, eltérő módszerekkel készített vizsgálatok egyfajta értékelő összehasonlításra is lehetőséget adnak. A hatásvizsgálatok abban egyeznek, hogy a globális melegedés következtében a tó vízmérlege romlik, a hatásvizsgálatok többsége alapján az évi természetes vízkészletváltozás csökken. Jelentős eltérések vannak azonban a romlás mértékében, sőt vannak vizsgálatok, amelyek a közelebbi évtizedekben akár a vízmérleg javulásával is számolnak. Figyelemre méltó, hogy a csökkenés mértéke szorosan összefügg az éghajlat ariditásának növekedésével, amit kiválthat a csapadék csökkenése, a hőmérséklet emelkedése, és a kettő együttes jelentkezése.

2.1.5 A modellszimulációk eredményei

2.1.5.1 AZ OMSZ ALADIN-CLIMATE ÉS CARPATCLIM-HU (CC) MODELLADATAINAK KÖRE ÉS HASZNÁLATA

A klímaváltozás vizsgálata éghajlati modellek segítségével lehetséges, jelen tanulmányban az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott ALADIN-Climate eredményeinek felhasználási lehetőségeit és korlátait foglaljuk össze.

Megjegyzés: A regionális (és globális) modelleredmények szükségszerűen kisebb-nagyobb hibával terheltek, amit figyelembe kell venni a jövőre vonatkozó projekciók kiértékelése során.

Ahogy a múltbeli modelleredmények, úgy a jövőre vonatkozó adatok sem értelmezhetők az „éghajlatváltozás előre jelzett idősoraként”, csupán a meteorológiai változók egyik lehetséges realizációjaként. A harmincéves időszakokon belül az évenkénti adatok olyan statisztikai sokaságot alkotnak, melyek időben felcserélhetők. Ez azt jelenti, hogy egy tetszőleges éves adatsor az időszak bármelyik évének megfeleltethető.

Arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy az éghajlati rendszer egy nem lineárisan fejlődő rendszer, ezért egy adott időszak tendenciájából nem következtethetünk egy másik időszak jellemzőire.

Egyetlen — jelen esetben az ALADIN-Climate — modellszimuláció eredményeinek vizsgálatával nem tehetők megalapozott kijelentések az eredmények bizonytalanságáról.

Fontos kiemelni, hogy nincs garancia arra, hogy a múltat jól leíró modellek a jövőre vonatkozóan hasonlóan sikeres éghajlati becsléseket adnak, ezért a validációnál kiszámított hibák és a jövőre becsült változások nem „vegyíthetők össze”. A bizonytalanságok korrekt módon csak több modellkísérlet segítségével írhatók le. Két modell alkalmazása már jó kiindulási alapot nyújt a bizonytalanságok alapfokú számszerűsítésére. Ezért a jövőbeli változások értelmezéséhez mindenképpen szükséges legalább még egy alkalmasan megválasztott modellkísérlet eredményeinek vizsgálata.

Jelen esetben a CarpatClim-Hu (CC) adatokat a referencia időszakra (1961–1990) tényleges mérési eredmények alapján, az ALADIN-Climate adatokat a klímaablakokra (1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100) modellezéssel határozták meg.

Az adatok a felsorolt időszakokra havi időhorizontra vonatkoznak és súlyozott területi átlagra (vízgyűjtő terület, a tó vízfelülete) reprezentálnak.

2.1.5.2 A JÖVŐBENI KLÍMAABLAKOKRA (2021–2050 ÉS 2071–2100) KAPOTT EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Az alábbi táblázat összefoglalóan bemutatja a modellezéssel kapott eredményeket a várható csapadékmennyiségre, középhőmérsékletre és a párolgásra vonatkozóan (1. táblázat)

1. táblázat. A jövőbeli klímaablakokra kapott várható csapadékmennyiség, középhőmérséklet és a párolgás

| | A 2021–2050 klímaablakra kapott eredmények a referencia időszak (1961–1990) átlagértékeihez viszonyítva | 2071–2100 klímaablakra vonatkozó eredmények a referencia időszak (1961–1990) átlagértékeihez viszonyítva |
|--|---|---|
| A Balaton-vízgyűjtőre érkező csapadék területi átlaga | Számottevő mértékű ($\pm 10\%$ -ot meghaladó) változás nem valószínűsíthető. Az eredmények alapján áprilisban és a szeptember–november időszakban 10% -ot meghaladó növekedés, ugyanakkor januárban 32% -os csökkenés mutatkozik. | Számottevő mértékű ($\pm 10\%$ -ot meghaladó) változás nem valószínűsíthető. A referencia-időszak értékeihez képest nyáron 10% -ot meghaladó csökkenés, télen 10% -ot meghaladó növekedés mutatkozik. A nyári félévi becsült csapadékcsökkenés súlypontja a július–augusztus időszakra, a téli félévi csapadéknövekedés súlypontja a november–december időszakra koncentrálódik. |
| A Balaton vízfelületére érkező csapadék területi átlaga | Számottevő mértékű ($\pm 10\%$ -ot meghaladó) változás nem valószínűsíthető. Az eredmények alapján áprilisban és a szeptember–november időszakban 10% -ot meghaladó növekedés, ugyanakkor januárban 32% -os, júliusban 11% -os csökkenés mutatkozik. | Számottevő mértékű ($\pm 10\%$ -ot meghaladó) változás nem valószínűsíthető. A kapott adatok alapján nyáron 10% -ot meghaladó csökkenés, télen 10% -ot meghaladó növekedés mutatkozik. A nyári félévi becsült csapadékcsökkenés súlypontja a július–szeptember időszakra, a téli félévi csapadéknövekedés súlypontja pedig a november–december időszakra koncentrálódik. |
| A Balaton-vízgyűjtő évi középhőmérsékletének területi átlaga | Számottevő mértékű ($1\text{ }^\circ\text{C}$ -t meghaladó) változás valószínűsíthető. A nagyobb mértékű melegedés ($1,8\text{ }^\circ\text{C}$) a nyári félévre becsülhető, ezen belül a legerőteljesebb hőmérséklet-emelkedés július–október időszakra koncentrálódik. | Számottevő mértékű ($2\text{ }^\circ\text{C}$ -t meghaladó) változás valószínűsíthető. A nagyobb mértékű melegedés ($3,8\text{ }^\circ\text{C}$) a nyári félévre becsülhető, ezen belül a legerőteljesebb hőmérséklet-emelkedés márciusra és a július–október időszakra koncentrálódik. |
| A Balaton-vízgyűjtő évi tényleges párolgása időszakos területi átlaga | Időszakos átlagban mintegy 9% -os tényleges párolgásnövekedés becsülhető. | Időszakos átlagban mintegy 13% -os tényleges párolgásnövekedés becsülhető. |
| A Balaton párolgása | Számottevő mértékű (10% -ot meghaladó) változás valószínűsíthető. Havi szinten 15% feletti eltérés a július–szeptember időszakban állapítható meg. | Számottevő mértékű (40% -ot meghaladó növekedés) változás valószínűsíthető. Havi szinten a legnagyobb eltérések ($57\text{--}73\%$) a július–szeptember időszakra mutatkoznak. |

A kapott eredmények a vízgyűjtőre érkező becsült átlagos évi csapadékmennyiség a referencia időszak átlagához képest a jövőbeli klímaablakok időszakos átlagában $\pm 2\%$ -ot nem meghaladó változást valószínűsít, mely arra utal, hogy a tényleges párolgás becsült növekedésének alapvetően nem a csapadékmennyiség változása az oka, hanem minden bizonnyal a becsült hőmérséklet-emelkedés.

A jövőbeni klímaablakok időszakában a becslés szerint alig változó átlagos évi csapadékmennyiség mellett a párolgás jelentős mértékű emelkedése valószínűsíthető. Ez a vízgyűjtő területen a csapadék és tényleges párolgás különbségének csökkenését vetíti előre, ami a Balaton vízháztartása szempontjából jelentős hozzáfolyás-csökkenést eredményezhet.

2.1.5.3 A BALATON VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉRŐL TÖRTÉNŐ ÉVI LEFOLYÁS (A BALATON VÍZHÁZTARTÁSBAN A HOZZÁFOLYÁS) IDŐSZAKOS ÁTLAGÉRTÉKEINEK SZÁMÍTÁSA A KLÍMAABLAKOKRA

A tó vízgyűjtő területéről történő lefolyást a vízgyűjtő területre érkező csapadék és a párolgással onnan távozó vízmennyiség különbségeként értelmezzük.

Az adatok szerint — döntően a területi párolgás növekedésének következményeként — a jövőbeni klímaablakok időszakos átlagában a Balaton-vízgyűjtőn a csapadék és a párolgás különbségének erőteljes csökkenése becsülhető.

A számítások szerint a 30 éves klímaablakokon belül a negatív előjelű évi csapadék–párolgás különbséggel jellemezhető évek száma az 1961–1990 közötti időszakban 1 évben fordult elő, ez a 2021–2050 közötti időszakban 6 évben, a 2071–2100 közötti időszakban 13 évben várható.

A felszíni és a felszín alatti vizek állandó kapcsolata miatt azokban az években, amikor a vízgyűjtő területen a csapadék–párolgás-különbség negatív előjelű, akkor is van lefolyás, de ez túlnyomó részben felszín alatti vízkészletekből származik. A csapadékosabb évjáratokban a vízgyűjtő területre érkező csapadék eleinte ezeket a hiányzó felszín alatti készleteket pótolja és csak ennek megtörténte után várható a felszíni lefolyás megjelenése.

Tekintve, hogy a felszíni alatti vízkészletek vízforgalma és ennek részeként regenerálódása a felszíni vízkészletekhez képest lényegesen lassabban megy végbe, a felszín alatti készleteket érintő változások hatása — mint áthúzó hatás — több egymást követő évre is kiterjedhet.

2.1.5.4 A BALATON ÉVI TERMÉSZETES VÍZKÉSZLETVÁLTOZÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA A KLÍMAABLAKOKRA

A Balaton vízháztartásban a természetes vízkészletváltozás azon vízháztartási tényezők algebrai összegét jelentik, amik térbeli és időbeli alakulása csak természeti tényezők által meghatározott. Ezek a tó felületére hulló csapadék, a tóhoz történő hozzáfolyás és a tó felületéről történő párolgás.

A számítások alapján a 30 éves klímaablakokon belül a negatív előjelű évi természetes vízkészletváltozással jellemezhető évek száma az 1961–1990 közötti időszakban 7 évben fordult elő, ez a 2021–2050 közötti időszakban 9 évben, a 2071–2100 közötti időszakban 19 évben várható.

2.1.6 A kapott eredmények összefoglaló értékelése

Összefoglalóan elmondható, hogy az ALADIN-Climate modell jövőbeni klímaablakokra vonatkozó becslései szerint a Balaton vízgyűjtő területén jelentős éghajlatváltozás következhet be a 2021–2050 és a 2071–2100 időszakban a viszonyítási időszakban (1961–1990) mért éghajlati adatokhoz képest. A legmarkánsabb és leghatározottabb változás a hőmérséklet becsült emelkedésben mutatkozik meg.

A hőmérséklet emelkedése több többletenergiát szolgáltat a párolgás számára, aminek következtében a vízgyűjtő területen és a szabad vízfelületen egyaránt a párolgás növekedése valószínűsíthető. A vízgyűjtő területen a területi párolgás növekedése valószínűsíthető, még úgy is, hogy a párolgás számára hozzáférhető vízkészlet jellemzően korlátos. A növekvő területi párolgás következménye-

ként megváltozik a vízgyűjtő vízháztartási képe, ami a párolgásnövekedés következményeként jelentős lefolyáscsökkenést eredményez, mely a Balaton vízmérlegének bevételi oldalán hiányt okoz és a vízháztartás deficitességét erősíti, azaz vízháztartásában a bevételi oldal csökkenése és a kiadási oldal növekedése valószínűsíthető. Ez a kettős hatás a referencia időszak átlagos viszonyaihoz képest — különösen a második jövőbeli klímaablak időszakában (2071–2100) — alapvetően megváltoztatja a tó hidrológiai képét. A tó vízcseré-aktivitása jelentősen romlik, gyakrabban és tartósabban fordulnak elő lefolyástalan időszakok.

Nem hagyható figyelmen kívül az a tény sem, hogy a tartósan deficités vízháztartási helyzet miatt a tó fokozatosan új hidrológiai egyensúlyi állapot felé mozdul el. Ez a vízszintcsökkenés mellett felületcsökkenést is jelent. Ennek a változásnak a következtében a vízmérlegelemek szélsőségei mérséklődhetnek, ugyanakkor a tó hasznosításával kapcsolatos igények fenntartható kielégítése napjainkban ismert tartalmában és formájában nem lesz lehetséges.

A tanulmányban a Balaton vízháztartásának azon tényezőivel foglalkoztak, melynek időbeli alakulását alapvetően a természeti tényezők határozzák meg. A teljes vízforgalom alakulásában a természeti tényezők szerepe mellett nem hagyható figyelmen kívül az antropogén hatás, melyek közül a legfontosabbak a következők.

- A Balaton alulról szabályozott tó, ami azt jelenti, hogy lefolyása a Sión keresztül szabályozottan történik. A vízszintszabályozás elvei és gyakorlata a tó vízjárásához igazodik, ennek jövőbeli módosulásai nem ismertek. Napjainkban a medertározás növelésével (a vízszintszabályozási sáv felső határának 5–10 cm-es emelésével) igyekeznek a negatív vízháztartási szélsőségek következtében kialakuló kisvizek szintjét emelni. Ez jó megoldás, ugyanakkor kérdés az, hogy ez a megoldás több évtizedes időtávlatban elegendőnek bizonyul-e a fenntartható tóhasználat igényeinek kielégítésre. A tanulmány eredményei szerint erre a kérdésre a válasz egyértelműen nemleges.
- A vízgyűjtő területen létező és a tavat közvetlenül érintő vízhasználatok (vízkivételek, vízbevezetések a vízrendszerben) is hatással vannak a vízforgalomra. Ugyancsak tekintettel kell lenni a vízgyűjtő területhasználatára, annak természetes és emberi hatásra történő változásaira (erdősültség, művelési ágak és módszerek változása, a lefolyás szabályozása, szabad vízfelületek kiterjedésének változása stb.)

A felsorolt antropogén tényezők hosszú távú (6–8 évtizedre előretekintő) alakulását gyakorlatilag lehetetlen megbecsülni. Ez a tény további bizonytalansággal terheli a „vízügyi szektor” eredményeit, egyúttal azok felhasználásával kapcsolatban nagyfokú óvatosságra és a bizonytalanságok kiemelésére hívja fel a figyelmet.

2.2 „A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra” című tanulmány módszertani háttere és annak eredményei

Egyre kevesebb kutató, laikus kételkedik ma már a klímaváltozás tényében. Az éghajlatváltozással együtt járó hőmérsékletváltozás, illetve csapadék területi eloszlásváltozás hozzájárul a kisebb folyók, patakok árvízi lefolyásainak a megváltozásához is. A tanulmány a klímaváltozás villámárvizekre vonatkozó hatásait vizsgálta, és részletesen feltárta a magyarországi villámárvízi jövőbeli veszélyeztetett területeit is.

A feladat célja volt a magyarországi hegyvidéki területeken fekvő települések villámárvíz veszélyeztetettségének kimutatása, egy olyan jellemző együttes kidolgozása és összeállítása, mely alkalmas a villámárvízre való érzékenység kifejezésére.

A NATÉR tanulmányban feldolgozásra került három klímamodell eredménye: az Országos Meteorológiai Szolgálat által fejlesztett ALADIN, a CarpatClim-Hu és az RCM (Regionális Klíma Modell) modell. Ezeknek a modelleknek a csapadék adataiból készültek statisztikák, illetve Magyarországra vonatkozó területi eloszlások. Így eredményül megvizsgálhatjuk azokat a területeket, ahol a nagy csapadékok előfordulási valószínűsége növekedni látszik a jövőben.

A másik fő vizsgálati tárgy az volt, hogy lehatárolásra kerültek azok a kisvízgyűjtők Magyarországon (külföldi adatok hiányában csak azok a vízgyűjtők, melyek teljes egészében Magyarországon vannak), amelyeknél villámárvíz lehetséges.

2.2.1 Villámárvizek

A NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) definíciója alapján a villámárvíz az árvíz egy olyan típusa, amely rövid, 6 óránál nem hosszabb idő alatt lezajló heves esőzés következményeként lép fel. Általában kis területen jelentkező, konvektív eredetű viharokkal áll összefüggésben. Villámárvíz gyakorlatilag bármilyen, meredek lejtőkkel övezett területen előfordulhat, de különösen jellemző a gyakori heves vihartervékenységnek kitett hegyvidékes régiókban. Függ a lehulló csapadék mennyiségétől és intenzitásától, a csapadékhullás időtartamától, továbbá a felszín és a vízfolyások tulajdonságaitól. A villámárvizek veszélyeztetik az épített infrastruktúrát, házakat, utakat, illetve a vízfolyások fölé épített hidakat és egyéb műtárgyakat, e mellett pedig a mezőgazdasági területeken is jelentős károkat okozhatnak.

A villámárvizek jellemzői:

- Kiváltó okok: nagy csapadék intenzitás, lejtős domborzat, felszín tulajdonságai;
- Rendkívül gyors vízszintemelkedés, nagy vízsebesség, maximum néhány órára jelezhető előre;
- A hegyvidéki és városi területek különösen érzékenyek;
- Legfontosabb paraméter: az átlagosnak hányszorosa a maximum vízhozam;
- Kis vízfolyásnak nagy az eróziós potenciálja, ha meredek a lejtő, vékony a talajréteg és intenzív az eső. Jelentős hordalék és uszadék szállítás, természetes gátképződés, gátszakadás, fluktuáló jelleg;
- A villámárvizek általában kis vízgyűjtőkön keletkeznek, mert kisebb vízgyűjtőnél nagyobb az esélye annak, hogy egy csapadéköna a teljes vízgyűjtőt érinti.

2.2.2 Klímamodellek

A villámárvizekre a legnagyobb kockázatot az jelentheti, ha az időjárási szélsőségek megszorodnak annak ellenére is, ha az átlag akár változatlan marad. Az IPCC kutatói szerint igen valószínű, hogy a forró extrémítások, a hóhullámok és a nagy csapadékok száma meg fog növekedni. Európa egész területén várhatóan emelkedni fog a hóhullámok gyakorisága, intenzitása és időtartama is, míg a téli szélsőségek (hideg és fagyos napok száma) előfordulása várhatóan csökkenni fog.

2020-ra Észak-Európában az éves lefolyás mintegy 15%-os növekedése várható, míg ugyanez a paraméter délebbre közel 25%-kal csökkenhet. Mint ahogy már érintve volt az előző fejezetekben, általánosságban a nyári félév lefolyásának csökkenése prognosztizálható. Ezzel szemben a téli félév árvízi veszélyeztetettsége a téli csapadékok növekedésével — különösen északon — emelkedik, a gyors lefolyású, hirtelen kialakuló árhullámok gyakoriságának növekedése pedig az egész kontinensen várható. A hőmérséklet növekedésével csökken a hó formájában lehulló csapadék mennyisége, és a hóolvadásból kialakuló árvizek előfordulásai a tavaszi időszakból a télbe tolnak át (RADOCHAY 2010). Villámárvizet kis csapadék is kiválthat, ha jelentős mennyiségű hó halmozódott fel a vízgyűjtőn, és a hőmérséklet bőven fagypont felett van.

A NATÉR tanulmányában a klímamodellek eredményeinek és az egyéb levezetett adatok előállításához a következő adatok kerültek felhasználásra:

- rácsra interpolált CarpatClim-Hu 1961–1990 adatai;
- ALADIN klímamodel (1960–1990, 2021–2050, 2071–2100 időablakkal) szimulációk eredményei,
- RCM klímamodel (1960–1990, 2021–2050, 2071–2100 időablakkal) szimulációk eredményei;
- felszínborítottság (CORINE).

A CarpatClim-Hu egy nagyfelbontású, klimatológiai mérésekből előállított, szabályos rácsra interpolált adatbázis, melynek létrehozása a Kárpát-medence területét érintő klimatológiai elemzések számára egy egységes klimatológiai háttéradatbázis biztosítása céljából történt.

A CarpatClim-Hu adatok az 1961–2010 időszakra álltak rendelkezésre. A klímamodellek adatai három klímaablakot fedtek le, az elemzésekben rendszerint referenciaként szolgáló 1961–1990-es, a jövőre vonatkozóan pedig a 2021–2050-es és a 2071–2100-as időszakok. A térbeli felbontásuk mindhárom modellnek $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, vetületi rendszerük WGS 1984.

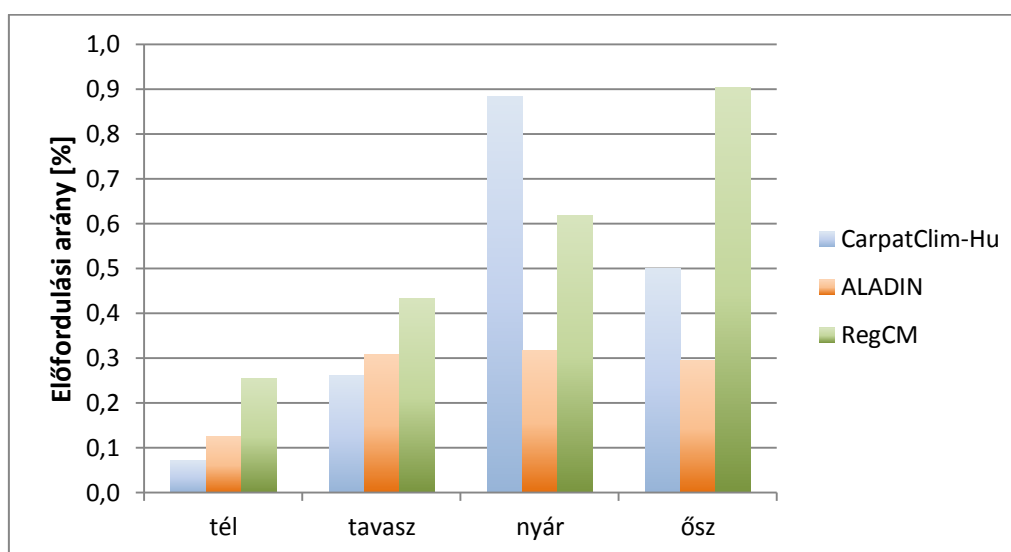
2.2.3 Eredmények

A 30 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságára vonatkozó elemzést a klimatológiai mérésekből interpolált CarpatClim-Hu, valamint az ALADIN és a RegCM modelladatokra is elvégezték. Mivel villámárvízhez csak a folyadék fázisú csapadék vezet, a vizsgálat során azokat az eseteket vették figyelembe, melyekre a napi középhőmérséklet eléri, vagy meghaladja a 0°C -ot.

A nyers adatok előzetes statisztikai elemzése céljából megvizsgálták a csapadék mennyiségi eloszlását, évszakos változékonyságát és területi eloszlását. A referencia időszakra (1961–1990) vonatkozó, különféle típusú adatok összehasonlítását követően elemezték az extrém csapadékos napok előfordulási gyakoriságának várható változását a XXI. századi klímaablakokra a klímamodellek adatai alapján.

A villámárvizek várható jövőbeli alakulásának elemzése többlépcsős feladat, ahol a végső cél egy olyan mutató létrehozása, melynek segítségével megadható a Magyarország területére eső vízgyűjtők és települések villámárvíz veszélyeztetettsége és annak lehetséges változása a jövőben. A csapadékviszonyok figyelembevételére külön osztályozási rendszert határoztak meg a küszöbértéket meghaladó csapadékos esetek éves számainak 30 éves átlaga alapján. Minél nagyobb ez a szám, annál kitettebb az adott település az extrém csapadékos időjárási helyzeteknek.

A 30 mm-t meghaladó napi csapadékösszegek évszakonkénti előfordulási gyakoriságait a referencia időszakban a 6. ábra foglalja össze. A függőleges tengely a százalékos arányt adja meg, a vízszintes tengelyen az évszakok láthatók.



6. ábra. A 30 mm-t meghaladó napi csapadékösszegek relatív gyakoriságai évszakai bontásban az 1961–1990 időszakra a CarpatClim-Hu, az ALADIN-Climate és a RegCM modellek adatai alapján

A modellek szerint a nyári maximumot a vizsgált időszakban az őszi esetszám követi, majd a tavaszi, a legkevesebb, 30 mm-t meghaladó csapadékos helyzetet pedig télen találjuk.

Nyáron az intenzívebb besugárzás és a felszín ezzel együtt járó erőteljesebb felmelegedése kedvez a légköri instabilitás erősödésének, mely a konvektív folyamatok intenzívebbé válását eredményezi. Az ilyen módon kialakuló, konvektív eredetű időjárási jelenségekhez, viharokhoz rendszerint rövid idő alatt lehulló, nagy mennyiségű csapadék társul. A frontális felhőzethez kapcsolódó, hosszú ideig tartó folyamatos esőzés ugyancsak vezethet nagyobb napi csapadékösszegekhez, mivel azonban az ilyen típusú csapadék intenzitása jellemzően kisebb, a villámárvizekhez hasonló jelenségek kialakulásához gyakorlatilag nem járul hozzá. Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyni ezeket az eseteket sem, hiszen egy telített, kis vízgyűjtőre hulló folyamatos esőzés, ha nem is szigorúan véve 6 óra alatt, de 1 nap alatt tud okozni jelentős árvizet.

Télen a Kárpát-medencében a frontális jellegű időjárási helyzetek dominálnak, a konvekció ezzel párhuzamosan háttérbe szorul. A téli, tél végi nagy csapadékok például tipikusan gyakran fordulnak elő olyan szinoptikus helyzetben, mikor hazánk egy mediterrán ciklon előoldalában helyezkedik el,

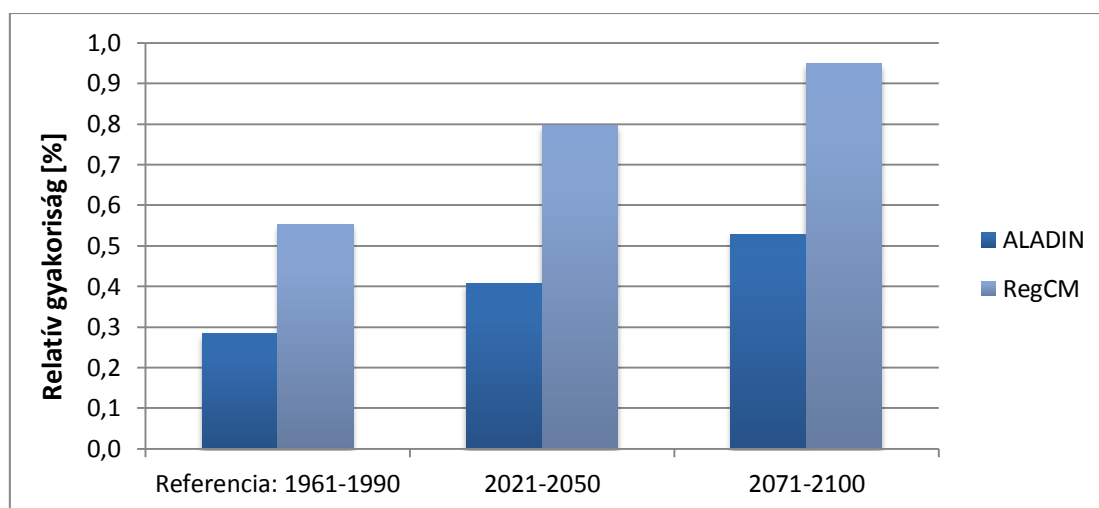
északra pedig stabil anticiklon blokkolja a ciklon átvonulását. Ráadásul, ha még a magasban is kiépül egy magassági örvény, akkor Magyarország hosszú időn keresztül a ciklon előoldalán marad, aminek a következménye lesz a több napig tartó nagy csapadékmennyiséget okozó időszak (BABOLCSAI, HISCH 2012).

A RegCM modell, ellentétben a többivel a nyár helyett ősze teszi a vizsgált események gyakoriságának maximumát.

Az évszakos elemzésekből látható, hogy a különféle adatbázisokban nem ugyanakkora a 30 mm-t meghaladó esőnapok számának előfordulási gyakorisága. Mérésekből előállított adatbázis lévén a valósághoz legközelebbi értékelést a CarpatClim-Hu adatok alapján kaphatjuk. A klímamodelleknek ugyanerre az időszakra vonatkozó adatainak felhasználásával eltérő eredményekhez jutunk, melynek oka a modellek sajátosságaiban és számítási bizonytalanságaiban keresendő. Az eltérés iránya és nagysága függ az adott modell jellegzetességeitől, mint például az alkalmazott számítási módszerektől, vagy a parametrizációktól. Az ALADIN esetében az előfordulási gyakoriság 0,28%, tehát alulbecsli, a RegCM esetében pedig 0,55%, vagyis felülbecsli a CarpatClim-Hu alapján kapott értéket.

A klímamodellek karakterisztikáiból adódó eltérések korrekciója céljából megkeresték azokat a csapadékmennyiségeket, amelyeket küszöbértéknek tekintve közelítőleg ugyanazt a gyakoriságot kapták, mint a CarpatClim-Hu adatbázisban 30 mm-re. A referencia időszakra ez a küszöbérték az ALADIN esetében 26,1 mm-nek, RegCM esetében 31,2 mm-nek adódott.

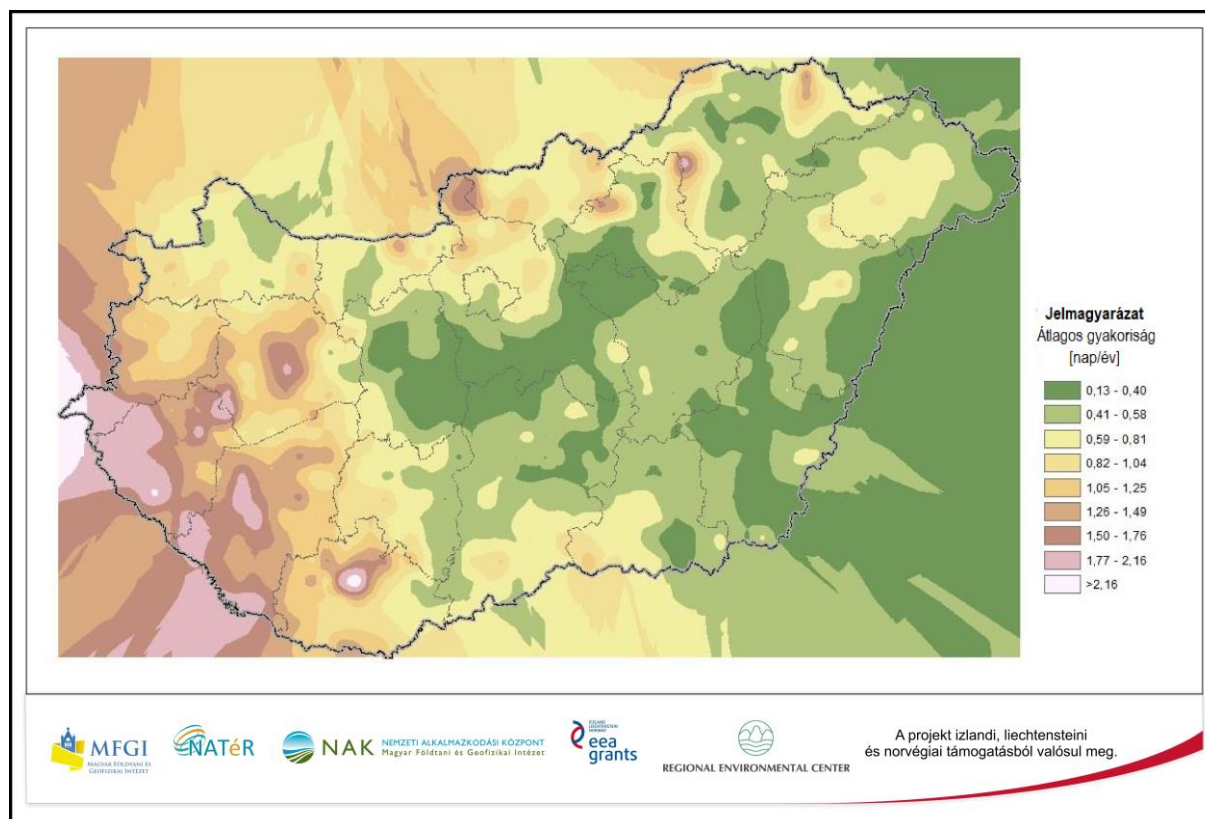
A 7. ábra a küszöbértéket meghaladó csapadékos napok előfordulási gyakoriságát szemlélteti a magyarországi rácpontokra a két klímamodell adatai alapján, az 1961–1990, a 2021–2050 és a 2071–2100 klímaablakokra. A lenti ábrák a CarpatClim-Hu 30 mm-hez tartozó gyakoriságának megfelelően küszöbértékek (vagyis 26,1 mm az ALADIN, 31,2 mm a RegCM esetén) mellett kapott eloszlásokat ábrázolja.



7. ábra. A 30 mm-t meghaladó csapadékos napok előfordulási gyakorisága a két klímamodell adatai alapján a három vizsgált klímaablakra

Jól látható, hogy a CarpatClim-Hu előfordulási gyakorisághoz igazított küszöbértékek alkalmazásával kapott eredmények számottevően jobb egyezést mutatnak, mint a fix 30 mm-es küszöb esetén.

Ebből kifolyólag a további vizsgálatokat a CarpatClim-Hu-nak megfelelően küszöbértékek alapján végezték el.

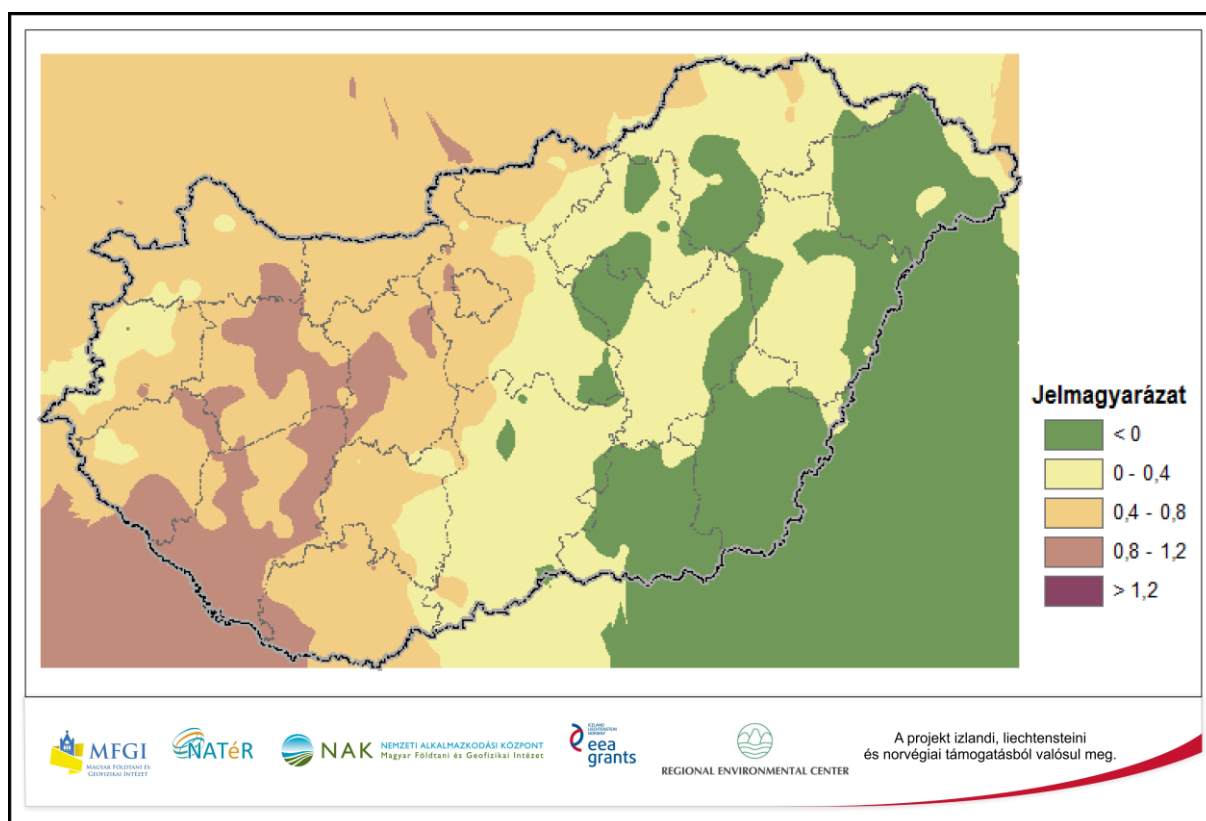


8. ábra. A 30 mm-t meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának területi eloszlása az 1961–1990 időszakra a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

A küszöbértéket meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának területi eloszlását illetően, mely a 8. ábrán megfigyelhető, a referencia időszakra a CarpatClim-Hu adatokból kapták a legpontosabb képet. Minél nagyobb egy területen a küszöbértéket meghaladó csapadékos napok várható előfordulási gyakorisága, az annál inkább veszélyeztetett villámárvíz kialakulása szempontjából.

A térképen jól kivehető a domborzat hatása. A legkisebb gyakoriság értékeket az Alföldön találjuk, a lejtősebb területeken, hegy- és dombvidékeken jellemzően magasabb az előfordulási arány. Nyugaton, a Dunántúli-dombság és a Bakony környékén láthatóan gyakoribb az extrém csapadékos esetek előfordulása, ugyanígy északon, magasabb esetszámukkal leginkább a Börzsöny, a Mátra, a Bükk és a Zempléni-hegység vonulatai rajzolódnak ki. A Mecsek területe a déli-délnyugati országrészben szintén jól kivehető.

A következőkben a küszöbértéket meghaladó csapadékos napok átlagos évi számában bekövetkező változását szemlélteti a következő ábra (9. ábra).



9. ábra. A küszöbértéket meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának változása a 2021–2050 időszakra az ALADIN-Climate adatai alapján

A klímamodellek eredményei alapján a 2021–2050 időszakra Magyarország területének számottevő hányadán várható a kritikus értéket meghaladó csapadékos napok számának növekedése, egyes régiókban azonban a gyakoriság nem változik, vagy akár csökkenhet is. A csökkenés mértéke jellemzően nem haladja meg a kétévenkénti egy esetet, abban azonban, hogy mely területeket érinti, nem egységes a két modell. Az ALADIN az ország keleti részére, a RegCM egyes északkeleti, középső és délnyugati régiókra helyezi a vizsgált esetek számában bekövetkező csökkenő tendenciát. Az ország legnagyobb részében az átlagos évi gyakoriságban bekövetkező növekmény a 0–0,8 intervallumba esik, vagyis nem éri el az évi 1 esetet. Ennél nagyobb, pozitív irányú változás csak helyenként fordulhat elő, melyet a RegCM északkeletre, az ALADIN a dunántúli térségre helyez.

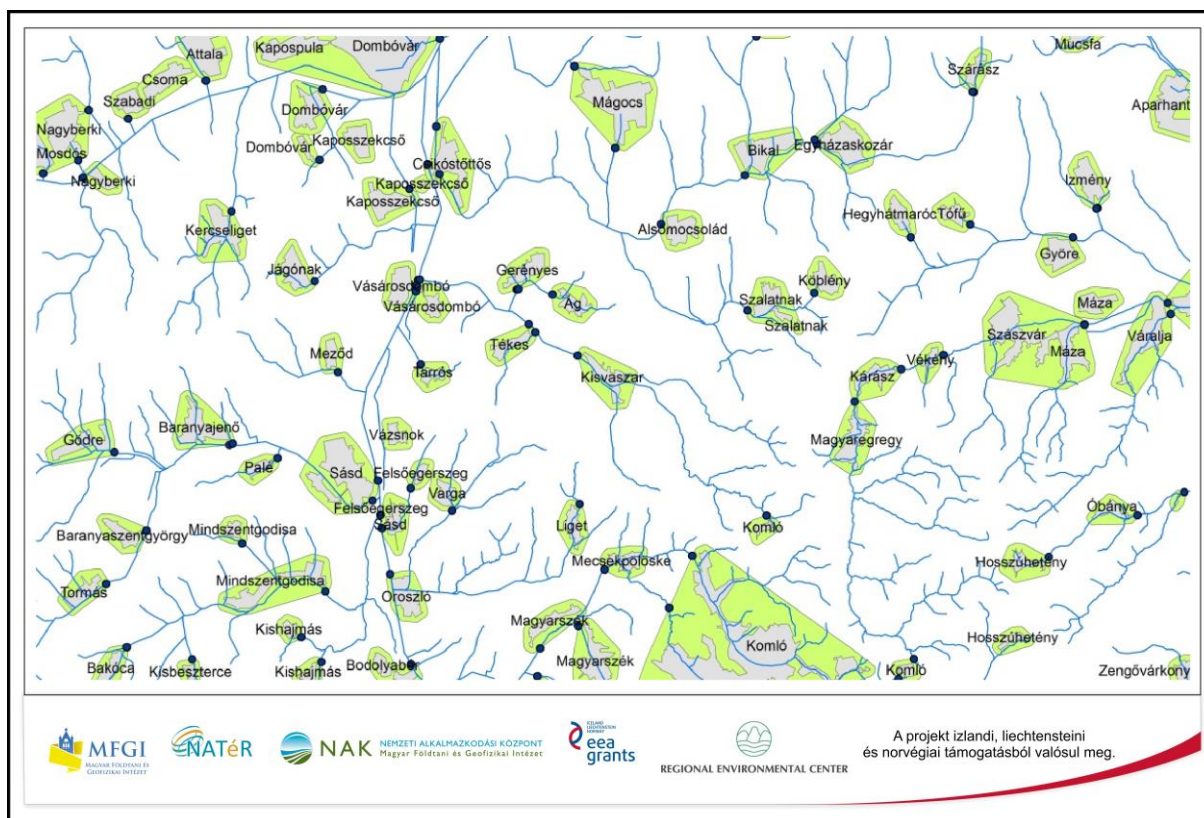
Bár a változás mértékében vannak eltérések a két modell adatai alapján, abban egyeznek az eredmények, hogy a század végére lényegében az **egész ország területén számíthatunk a kritikus értéket meghaladó csapadékos napok számának növekedésére**. Ez a növekedés összességében az Alföld térségét érinti a legkevésbé, itt a gyakoriságban bekövetkező változás egyik modell-szimuláció szerint sem éri el az évi 1 napot. Az ALADIN a gyakoriság növekmények egyenletesebb eloszlását mutatja az ország területére, a RegCM az északi régiókra nagyobb mértékű változást becsül, helyenként akár kétévenként 3 napot is.

2.2.4 Vízyűjtő elemzés

A tanulmány során lehatárolásra kerültek a Digitális terepmodell korrekcióját követően a hegyvidéki vízyűjtők is.

A településhatárok lefutását egyszerűsítették, illetve a kifolyási pontokat a vízfolyás mentén, a településhatároktól távolabb vették fel.

Ennek érdekében a településhatárokon két előkészítő műveletet végeztek el. A településhatárt a kifolyási pont meghatározásnál a legkisebb konvexbe foglaló geometriával helyettesítették, amit adott távolságra kiterjesztettek. (10. ábra)



9. ábra. A településekhez tartozó kifolyási pontok, a településhatár kiterjesztésével

A kifolyási pontokhoz ArcGIS alatt meg lehetett határozni a hozzá tartozó vízyűjtőt. Ehhez előbb hidrológiailag feldolgozottá kellett tenni a terepmodellt, vagyis a zárvány területeket fel kellett tölteni. Ezután pedig meghatározták minden egyes cella lefolyási irányát, amely segítségével megszámozták azt, hogy az egyes cellákba mennyi cellából folyik oda a víz (*flow accumulation*). Így kirajzoltatták a vízhálózatot is, mivel ahol ez az ún. „*flow accumulation*” szám meghaladott egy küszöbértéket, azt fogadták el a vízfolyás cellájának. Mivel rendelkezésre álltak a vízfolyások nyomvonalai, így azokkal javítani tudták a terepmodellt.

Miután meghatározták a vízyűjtőket, megvizsgálták őket villámárvíz veszélyeztetettség szempontjából:

Az egyes vízgyűjtők lefolyásviszonyainak leírására a következő paramétereket használták:

- vízgyűjtőterülete: Területnagysága alapján a vízgyűjtők kategorizálását az irodalmi adatok és az egyéb paraméterek feldolgozását követően végezték el. Az elemzés során csak egy jól meghatározott területtel rendelkező vízgyűjtőket volt célszerű figyelembe venni. A kisebb vízgyűjtők jelentenek nagyobb veszélyt villámárvízveszély szempontjából, mivel minél kisebb egy vízgyűjtő, annál nagyobb eséllyel következik be egy olyan csapadékesemény, ami érinti a teljes területet és időben eléri az összegyülekezési időt, ezáltal a gyakorlatilag lehetséges, maximális vízhozamot generálva a kifolyási szelvényben.
- alaktényező: Ez a mérőszám a vízgyűjtő alakjának hasonlóságát fejezi ki a körhöz viszonyítva. Minél jobban hasonlít a körhöz a vízgyűjtő alakja, annál rövidebb az összegyülekezési idő, vagyis hamarabb alakul ki az árhullám csúcs. A vízgyűjtőket alakjuk szerint öt osztályba sorolták.

Lejtőkategória feldolgozása

A lejtőkategória a Digitális terepmodellből vezethető le. Az eredménye a folytonosan változó lejtőviszonyok intervallumok szerinti részterületekre osztása volt. A folyamat következő lépése a lejtőkategória összesített részterületeinek arányítása volt a teljes területhez.

Corine landcover — felszínborítottság feldolgozása

A Corine felszínborítottság réteg a csapadék felszíni lefolyását befolyásoló tényező. A villámárvíz szempontjából az erdő kategória jelenti a legmarkánsabb vízlefolyást gátló felszínborítási típust. A vízgyűjtőkkel összemetszett poligon állományból vezethető le a vízgyűjtőre jellemző erdő terület/vízgyűjtőterület arány érték.

Vízfolyássűrűség

A völgytalphossz a *Flow Accumulation* raszter 100-as értékű raszterérték alapján generált esetet mutatja be. A *Flow Accumulation* olyan raszter, amit a terepmodellből származtatható és minden rácspont a rácspontba lejtő cellák számát mutatja. Az így kialakult raszter szűrése emeli ki a vízfolyást, ahol minél kisebb a szűrőérték, annál hosszabban tekinthető a völgytalp vízfolyásnak (lineáris eróziópálya).

További statisztikai feldolgozás volt a vízgyűjtő területek völgytalphosszáinak arányítása a vízgyűjtő területéhez.

2.2.5 Csapadékesemények gyakoriság-elemzése

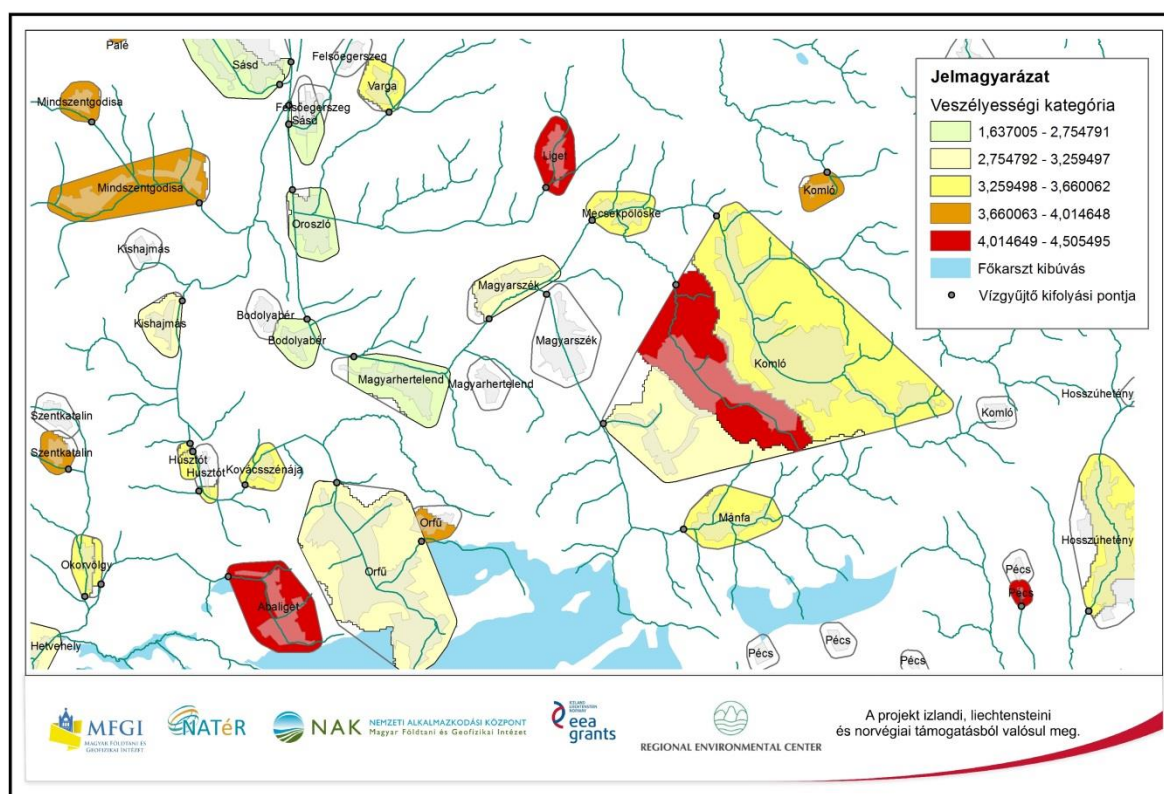
A CarpatClim-Hu grid pontjaira számított 30 mm/nap értéknél nagyobb csapadékok gyakoriságának 30 éves átlaga minden rendelkezésre álló modell időablakára elkészült. Az időablakonkénti interpolálás folytonos felületet eredményezett. A felület a megadott kategóriák alapján homogén részterületekre oszthatóak, melyeket összemetszve a vízgyűjtőterületekkel új, többszörösen átfedő adathalmazt eredményezett.

Minden vízgyűjtőt egy ötös kategóriarendszerbe soroltak be a CarpatClim-Hu adatokból számított gyakorisági érték alapján.

2.2.6 A villámárvíz veszélyeztettség elemzésmegalapozó lépései

A villámárvíz veszélyeztettség kifejezésére két féle adatsor állt rendelkezésre. Az egyik adatkör a vízgyűjtő által meghatározott, alapvetően statikus adatkör, melyek közül az összegző jellemzésre a következőket vették számításba: a vízgyűjtő nagysága, lejtés viszonyai, körhöz viszonyított alakja, a legnagyobb szintkülönbség és az erdős területek aránya. A másik adatkör az időjárás, s ezen belül az extrém csapadék gyakorisága volt.

A végső lépés, ami már átvezet a megjelenítés támogatásába, annak a térképi rétegnek az előállítás volt, amely az érintett településekhez rendeli a veszélyeztettség mértékét. A jellemzésre kiválasztott tematikákra az volt a jellemző, hogy a vízgyűjtő területet már eleve csak egy területtel súlyozott átlagérték jellemezte. Ezen értékek alapján történt a tematikánkénti osztályba sorolás, majd a végső 5 osztályos súlyozott átlag képzése. Tekintettel arra, hogy a vízfolyások mentén sorakozó települések vízgyűjtői átfednek, értelmezés és megjelenítés technikai szempontból előállították azt a réteget, amely a település területét a vonatkozó vízgyűjtőkkel való metszete szerint mutatja és értelemszerűen a vízgyűjtő villámárvíz veszélyességi kategóriáját is örökölte (11. ábra).



10. ábra. A települések vízgyűjtő karakterisztika alapján történt veszélyeztettség osztályozása

Az ábrán a települést befoglaló poligon és a településhatár is látható. A kifolyási pontra generált vízgyűjtő villámárvíz-veszélyeztettség besorolását a település poligon is örököli. Az ábrából kiolvasható, hogy adott településrészek más osztályba kerülhetnek, ha több vízgyűjtő alapján is érintettek. A térképen a karsztos területek (kék foltok) is bemutatásra kerültek jelezve azt, hogy ezen területek és környezetük esetén más szabályok érvényesülnek, azaz a felszíni vízgyűjtő és a karsztvízgyűjtő nem esik egybe, s ez igaz a kifolyási pontra is. Előzőekben már szerepelt, hogy a karsztos, összetett rendszernek a kezelésére a projekt keretiben nem volt mód.

3 A TANULMÁNYOKBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK ÉS AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Hazánkban a legtöbb modellszimuláció az évi középhőmérséklet jelentős emelkedésével számol, melynek súlypontja a nyári évszakban lesz a legnagyobb mértékű. Az eredmények alapján az éves csapadékösszeg jelentős mértékű változása nem várható, csak annak időszakos eloszlása fog megváltozni, melyek szerint télen kismértékű növekedés, míg nyáron csökkenés fog bekövetkezni.

Összességében a legtöbb előrejelzés szerint a klímaváltozás következményeként a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbakká válhatnak és ezzel párhuzamosan várható a rekordok számának növekedése, még annak ellenére is, hogy az átlag akár változatlan is maradhat. A forró napok és a nagy csapadékok száma várhatóan növekedni fog, ezzel együtt nőni fog a hóhullámok gyakorisága, azoknak az intenzitása és az időtartama is. A nyári szélsőséges időjárással ellentétben viszont a téli szélsőségek előfordulása várhatóan csökkeni fog, hiszen az eredmények alapján a fagyos napok számának csökkenése várható.

A klímaváltozás nem csak a felszíni vízgazdálkodásra lesz befolyással, hanem többek között a mezőgazdaságra, az iparra, és a turizmusra is jelentős hatást gyakorol majd, ezért a közelgő változásokra való alkalmazkodást minél előbb meg kell kezdenünk.

A felszíni és a felszín alatti vizek folyamatos kölcsönhatása miatt természetesen nem hagyható figyelmen kívül, hogy a klímaváltozás hatása a felszín alatti vizek mennyiségét és minőségét is érinti, azonban a tanulmány célja kizárólag a felszíni vizek vizsgálatára szorítkozott.

3.1 A felszíni vízgazdálkodásra vonatkozó döntés előkészítő, döntéstámogató következtetések, javaslatok

Az éghajlati modellek eredményei ugyan nem tekinthetők tényeknek, ezeket csupán, mint lehetséges irányokat vehetjük figyelembe, de mindenképpen elgondolkodtatóak.

Az extrém csapadékok gyakorisága az elmúlt években jelentősen megnövekedett, a szélsőséges csapadékok kialakulásai pedig növelik az árvízi és belvízi kockázatot, illetve az aszályos időszakok növekedésének a kockázatát. Ráadásul, mivel a hazánkat érintő vízgyűjtők jelentős része külföldön van, ezért könnyen elképzelhető, hogy az árvíz-kockázati kiszolgáltatottságunk növekedni fog.

Az **aszály** leggyakoribb kiváltója a tartós csapadékhiány, ráadásul a regionális klímamodellek egyértelmű melegekedést is vetítenek előre a XXI. századra, a kapott eredmények alapján a nyári aszályos időszakok jelentős növekedése várható, ezért az aszálykérdés kiemelt problémává válhat a jövőben. A hazai mezőgazdaságban feltehetőleg a legnagyobb károkat az aszály okozza, és a helyzetet súlyosbítja, hogy az aszály elmúltával az okozott jelenségek nem szűnnek meg egyből, hatása hosszú időn keresztül tart.

Az aszályos időszakok vízgazdálkodási következményei igen szerteágazóak, hiszen az aszály gyakorlatilag mindenre hatással van, a vízellátásra, a mezőgazdaságra, és a turizmusra is.

A rendelkezésre álló öntözővíz mennyisége csökkenni fog, és ezért a vízellátás egyre költségesebbé válik, így az alföldi területeken, ahol a rendelkezésre álló víz mennyisége már jelenleg is igen korlátozott, az öntözés visszaszorulhat és a fő öntözött területek más tájegységeken (például a Dunántúlon) alakulhatnak ki, ahol kisebb a hosszabb időn át tartó aszályos időszakok kockázata.

Az aszálynak kettős hatásai lehetnek a turizmusra, hiszen a várható időjárás kedvező lehet azok számára, akik kedvelik a száraz meleget, de az általánosan érvényesülő káros hatások gyors visszaesést okozhatnak a nemzeti, illetve nemzetközi turizmusban, ami érzékeny veszteségekkel járhat hazánkban, mivel Magyarországon a turizmus kiemelt ágazatként működik. Ellenben kedvező hatások közé sorolható például a szúnyoginvázió csökkenése, valamint a víztakarékos megoldások előtérbe kerülése. Az aszály várhatóan előremozdítja a hatékonyabb, víztakarékosabb vízfelhasználást és a tudatosabb vízminőség-védelmet. Mindenesetre intenzív kutatómunka szükséges a kedvező hatások vizsgálatára, melyeknek segítségével mérsékelhetjük a lehetséges káros hatásokat.

A természetvédelemnek is fel kell készülnie a gyakoribb aszályokra, mely különösen a vizes élőhelyeken okozhat jelentősebb problémákat.

Hazánk földrajzi adottságaiból adódóan és az időjárás várható szélsőségesebbé válásának következtében, az elkövetkező években is számolhatunk kisebb-nagyobb **belvízi** elöntések kialakulásával. Mindenképpen szükséges a belvízvédelem rövid és középtávú stratégiájának újragondolása, és a jövőkép szempontjából nem mellékes a belvizek kérdését együtt vizsgálni a vízmegtartás témakörével.

A belvízelvezető rendszerek most sem alkalmasak a víz kielégítő elvezetésére, így a várhatóan növekvő belvizekkel a vízszállító képesség tovább csökkenhet, mely hosszabb ideig tartó belvizet eredményezhet.

A csapadék éven belüli eloszlásának megváltozása miatt a jövőben is várható tél végén, tavasz elején szélsőséges belvizek kialakulása, melyek továbbra is rendkívül nagy károkat okozhatnak.

Az **árvizek és a villámárvizek** tekintetében a következők várhatók. A hőmérséklet valószínűsíthető növekedése miatt a téli csapadékok egyre nagyobb mértékben fognak eső formájában lehullani, amely a téli lefolyás növekedését okozza és a jelenleginél korábban érkező és magasabban tetőző árhullámokra számíthatunk. Ennek oka, hogy késleltetés nélkül fog lefolyni a korábban hóban tárolt vízkészlet, azaz a jelentősebb téli árvizek inkább köszönhetőek az éghajlati változékonyságnak, mint a mennyiségi változásoknak.

A csapadék intenzitásának növekedése a lefolyás részarányának emelkedésén kívül minden bizonnyal elősegíti a villámárvizek gyakoriságának növekedését. Az intenzívebb csapadék növelheti az eróziót is, ami a hordalékmozgáson keresztül nemcsak ott hat negatívan, ahonnan elszállít, hanem ott is, ahol lerak, így növelni kell a karbantartási munkákat.

Jelenleg sajnos az árvízi védvonalak elégtelen kiépítettsége nagy problémák okozója, egy-egy árvízi esemény után igen nagy károk keletkeznek és a védekezési költségek is számottevőek.

Meg kell fontolni még több záportározó építését, melyek lehetnek időszakos vagy állandó vízborítottságúak. Előbbi esetben egy olyan, mélyebb részen fekvő területről, medencéről van szó, mely száraz időszakban teljesen üres, csapadékesemény során pedig magába fogadja a környező területek csapadékvizét. Az állandó vízborítottságú tározók olyan tavak, melyek az állandó vízszinten felül még nagy tározókapacitással rendelkeznek, s ez által képesek fogadni a záporok vizét. Mindkét esetben a tározók és környezetük kialakíthatók úgy, hogy azok esztétikus megjelenésükkel szebbé tegyék a városképet és az ott lakók hasznára is válják, pihenési, kikapcsolódási lehetőséget biztosítva (pl. kiváló horgásztó lehet belőlük).

A tározók műtrágyáinak karbantartása természetesen mindenképpen szükséges ahhoz, hogy árvízi üzemmódban megfelelően működhessenek.

A kibontakozó éghajlatváltozás feltehetően jelentős hatással lesz a **felszíni vízkészletekre** is. Két jelentősebb magyar vízgyűjtőt kivéve (Zagyva, Zala) a vízgyűjtőink nagy része külföldi területre esik, így a magyarországi vízkészletek nagyjából 95%-a az országhatárokon kívülről érkezik. Ennek következménye, hogy vízkészlet tekintetében a felvízi országoktól kiszolgáltatott helyzetben vagyunk, így hazánk alvízi országgént sok esetben kénytelen lesz elfogadni, hogy a felvízi országok csak egy minimális vízmennyiség továbbengedését fogják biztosítani számunkra. Amennyiben a környező országok növelni fogják tározó kapacitásaikat, Magyarország vízkészletei még tovább csökkennek, bár ennek valószínűsége valószínűleg nem lesz nagy.

A korábbinál kisebb nyári csapadék és jelentősebb potenciális párolgás hatására a nyári kisvizek számottevő csökkenése prognosztizálható, amely nagymértékben csökkentheti a tározás nélkül hasznosítható felszíni vízkészleteket, a kisvízhozamok még kisebbek lesznek és egyre több felszíni vízfolyás időszakos kiszáradása várható. A kora nyári kisvizeket valószínűleg nem fogja növelni az Alpok hóolvadása sem.

A felszíni vízkészletek mennyiségének hatására lesüllyednek a talajvízszintek is, melynek következtében még több csapadékot nyel el a talaj, ez pedig még kisebb lefolyást eredményez, és csökken a kisebb vízfolyások felszín alatti vízutánpótlása is.

Vagyis az éves hidrológiai ciklus megváltozása várható: Eddig a kora tavaszi árvizeket, melyek főleg hóolvadásból származtak, felváltja majd a téli középi nagy esőzések okozta villámárvizek számának növekedése, illetve a téli belvíz növekedése. Ezt nagyon jól példázza a 2016. év eleje is: Idén februárban a lehullott csapadékmennyiség közel kétszerese volt a sok éves átlagnak. Ráadásul a csapadék nagy része eső formájában hullott le, több helyen alakultak ki árvízszintet meghaladó vízállások a hazai patakokon, kisebb folyókon (www.vizugy.hu).

A tavak vízháztartása romlik, nagy tavainknál számolni lehet a tóból való kifolyás fogyásával, kisebb alföldi tavaink felülete zsugorodhat, egyesek kiszáradhatnak. Megnövekszik a halastavak vízigénye is úgy, hogy az addigi, elsősorban felszíni forrásaik csökkennek a lefolyás csökkenése és a kisvízfolyások bizonytalan vízhozama miatt. A nyári félévben a lefolyás csökkenése nagyobb arányú lesz, mint a téli félévben. A vízfolyásokban gyakoribb és tartósabb kisvizek várhatók, a tavakban növekedhet az alacsony vízállású időszakok gyakorisága és hossza. A kisebb tavak kiszáradhatnak.

Egyre nehezebb lesz a tavak minimális vízszintjét a szabályozási sávon belül tartani. A helyzet stabilizálása érdekében szóba jöhet megoldás a vízhasználatok átmeneti korlátozása és tartaléktározóból vagy külső vízforrásból történő vízpótlás lehetséges. Utóbbival kapcsolatban a külső vízforrás vízkészletét is vizsgálni kell, mert azt is befolyásolja a szárazság, és vízminőségi problémák is felmerülhetnek.

A Balaton vízszintjének többszöri szélsőséges ingadozása miatt az elmúlt ötven évben többször is felvetődött a vízpótlás esetleges szükségessége. Különböző ötletek merültek fel a vízpótlással kapcsolatban, úgy, mint vízpótlás a Drávából, a Murából, a Dunából (a Sión keresztül), a Rábából (szivattyúzással vagy gravitációs úton), valamint a Dunántúli-középhegység karsztvizéből, de várhatóan igazán jó megoldást egyik eset sem jelentene. Ráadásul, mivel a sekély tavak, így a Balaton élővilága maximálisan képes alkalmazkodni a vízszint olykor szélsőséges ingadozásaihoz is, így a vízpótlási igény megjelenésének valódi oka legfőképpen a turizmus csökkenésétől való félelem.

A vízkészletek csökkenése várhatóan a Duna esetében is érezhető mértékű lesz. Szélsőséges esetben a Dunán egyre gyakrabban előforduló alacsony vízállás nemzetgazdasági problémákat is okozhat, hiszen a Duna stratégiaileg fontos nemzetközi hajózási útvonal. Amennyiben hosszabb periódusokra nem lesz hajózható, az többek között gátolni fogja a Dunán történő jelentős áruszállítást.

Az éveken át jellemző, tartós dunai kisvizes időszakok a turizmust is visszavethetnék, mely számottevő költségkiesést okozna a különböző szektorokban.

Természetesen a felszíni vízkészletek csökkenése a felszín alatti vízkészletek iránti igények növekedését is maga után vonhatja.

A kisvízi hozamok csökkenése a **vízminőség** megváltozását is eredményezheti, mivel érzékenyebbé teszi a vízfolyásokat a szennyezőanyag-terhelésekkel szemben. A jövőben egyre több szennyvíz keletkezésével számolhatunk, melyeket a tisztítási folyamatok után a legtöbb esetben egy felszíni vízfolyásba vezetnek be, melyet a felszíni vizek felhígítanak, de a várható kisebb vízmennyiség miatt ez a hígítás csökkenhet. Ezzel szemben egyes szennyezések lebomlása viszont gyorsabb lehet, mert a magasabb hőmérséklet növeli a biokémiai folyamatok sebességét.

A villámárvizek által a vízgyűjtő területekről nagyobb mennyiségben mosódik majd le a szennyezőanyag, ami miatt romlik a vízfolyások tápanyagmérlege.

Aszályos időszakban különösképpen számolni kell a vízminőség romlásával, bár ekkor a folyók a kisebb vízhozamuk folytán kevesebb hordalékot is szállítanak majd. Kisvizes időszakban a vizekben kevesebb az oxigén és az öntisztuló képesség is kisebb. Aszályos periódusban nem csak a lakosság vízellátása fontos, hanem az ökológiai vízkészletre is megfelelő hangsúlyt kell helyezni és ezt a vízmennyiséget a vízhasználatok egyéb céljaira nem szabad elvonni.

A feltehetőleg ritkább, de intenzívebb csapadékhullás a települési vízellátásban és csatornázásban is változásokat igényel. Megnöhet a csúcsvízigény, további terhet róva a lecsökkent vízkészletekre, illetve az intenzív csapadék elvezetése is nehezebbé válik.

Sajnos jellemző hazánkban a **csapadékvíz-gazdálkodás** hiánya, melyen mindenképpen javítanunk kell a takarékos vízhasználat céljából és ki kell alakítani a települési csapadékvíz-gazdálkodás rendszereket. A klímaváltozás szélsőséges következményei, az extrém nagy csapadékok és a hosszú, száraz periódusok növekvő gyakorisága miatt változtatni kell az alapvető, csapadékvíz elvezetés helyett a csapadékvízzel való gazdálkodást, hasznosítást kell szorgalmazni.

A csapadékvíz-gazdálkodás új szemlélete a régi „gyorsan levezetni” koncepció helyett inkább az, hogy a csapadékvizet és vele együtt a szennyezéseit a keletkezés helyén célszerű megfogni, azaz a vizet gyűjteni, tározni, felhasználni és/vagy elszikkasztani kell.

A városokban található zöldfelületek aránya a városok növekedésével folyamatosan csökken. Az infrastruktúra kiépültével, javulásával megindul a fejlődés is egy adott területen és ez szinte törvényszerűen maga után vonzza a burkolt felületek, tetőfelületek növekedését is. Ez hatással van a mikroklímára, a csapadék lefolyási és beszivárgási viszonyaira, a lefolyó víz minőségére, azaz a módosult fizikai-kémiai környezet módosítja a folyamatokat is (pl. a hidrológiai ciklust).

Természetes környezetben a csapadék egy része a növényzeten marad, nagy része beszivárog a talajba, s csak kis hányada jut közvetlen lefolyással a befogadó vízfolyásokba. Ezzel szemben a város épületek, utak, járdák halmaza, ami csupa olyan felületet jelent, ami a legtöbb esetben vízzáró. Ez nem volna probléma, ha ezeket a felszíneket megfelelő arányú zöldfelület tagolná, ahova a csapadékot vezetve az beszivároghatna a talajba. A beszivárgás megakadályozásának hatásaként nő a lefolyó víz hozama és egyben csökken a tetőzési és összegyülekezési idő. A burkolt felületek következtében megnövekedett vízhozam a csatornarendszer túlterhelését és akár elöntéseket is eredményezhet, melyeknek költségvonzata a kis területen felhalmozódott nagy vagyon következtében számottevő lehet.

2015 augusztusában Budapest területét két alkalommal több helyen sújtotta villámárvíz. A konvektív, hirtelen nagy csapadékból származó árvíz olyan hirtelen nagy elöntéseket produkált a fővárosban, hogy a metrók is leálltak, és az utak is járhatatlanok voltak (www.vizugy.hu). Ez is azt bizonyítja, hogy egyrészt számítani kell a jövőben extrém nagy csapadékokra, másrészt a jelenlegi csapadék-elvezető rendszerek hiányosságai, és a burkolt felületek nagy aránya azt vonja maga után, hogy ilyen esetekre fel kell készülnünk.

A csapadékvíz szennyező forrásai elsősorban a különböző felületek: utak, járdák, parkolók, tetők, ipari területek, melyekről jelentős mennyiségű szennyeződés mosódhat le és különböző higiéniai problémák léphetnek fel.

3.2 Az eredmények hasznosítási lehetőségei, javaslattétel a további kutatásokra, vizsgálatokra vonatkozóan

Ahogy ez a klímamodellekből is látható az éghajlat várható változásának vizsgálatakor nem csak az átlagértékek elemzése fontos, hanem kiemelt jelentősége van a szélsőségeknek is. Elsősorban hidrológiai, vízgazdálkodási és mezőgazdasági hatásvizsgálatok céljából kiemelten fontos a szélsőségek jövőbeni elemzése, mind a nagy csapadékok, mind a szárazságok szempontjából. Ugyan történtek már ezzel kapcsolatos vizsgálatok, de több modellszimulációt is érdemes lenne lefuttatni arra vonatkozóan, hogy várhatóan mennyire fog csökkenni a hőséggel jellemezhető, illetve a forró napok száma, a hőségriadós napok száma, vagy éppen a fagyos napok száma. Nagyon fontos lesz a lakosság időben és megfelelő módon történő tájékoztatása és felkészítése a változásokra.

Jelentős probléma az integrált vízgazdálkodás-politika hiánya, valamint a település-fejlesztési és vízgazdálkodási tervezés gyenge kapcsolata. Sajnos jellemző az ágazatok között is a gyenge kommunikáció, ennek javítása elengedhetetlen feladat az integrált vízgazdálkodás-politika működése érdekében.

Mint azt korábban kiemeltem, a klímaváltozás a mezőgazdaságot is jelentősen befolyásolja majd, így a mezőgazdasági ágazatra vonatkozó hatások vizsgálata igen fontos (pl. termelőképességi adottságok meghatározása, várható terméshozam számítása). Nagy eredménynek számítana, ha a társadalomnak sikerülne alkalmazkodnia a takarékos vízhasználatra az egyre szűkösebben rendelkezésre álló vízkészlet figyelembevételével.

Magyarországon főleg az Alföld területein jelentkezik vízhiány, itt a vízigények meghaladják a helyben keletkező vízkészleteket, ezért a folyók vízkészletének hasznosítása nélkülözhetetlen. Ahogy a tározás a vízkészlet időbeni átcsoportosításával, úgy az átvezetések ennek térbeli áthelyezésével szolgálják az igények és a készletek összhangjának a megteremtését. Az alföldi sík területek adottságai kedvezőek a vízátvető rendszerek kiépítéséhez, így ezekkel az ország vízhiányos területeinek nagy része ellátható lenne vízzel. Ráadásul ezek a rendszerek alkalmasak lehetnek árvízi védekezés céljára is. A jelenleg üzemelő Nagykovácsói-főcsatorna is ilyen, habár az elsődleges funkciója az Alföldi területek vízpótlása, többször töltött már be árvízi védekező funkciót is. Ez történt például 2010-ben és 2013-ban, mikor is annak érdekében, hogy tehermentesítsék a Hortobágy–Berettyót a Körösök árvizétől, „megfordították” a víz irányát, és a Hortobágy–Berettyóból a keleti és a nyugati ágon vezették át a vizet a Hármas–Körösbe (www.kotivizig.hu).

Ide tartozik, hogy a racionális tájhasználatlaltal a környezeti károk minél nagyobb fokú elkerülésére kell törekedni.

A villámárvizekre a hegyvidéki és városi területek a legérzékenyebbek, mert a kiváltó okai a rendkívül nagy csapadékintenzitás mellett a lejtős domborzat és a felszín tulajdonságai (felszínborítás, talajvastagság, földtani felépítés). Jellemző a rendkívül gyors vízszintemelkedés és nagy vízsebesség, ezért maximum néhány órára jelezhető előre.

Egy kis vízfolyásnak nagy az eróziós potenciálja, ha a lejtő meredek, vékony a talajréteg és intenzív az eső. Ilyenkor jelentős hordalék- és uszadékiszállítás történik, mely természetes gátképződéshez, ezt követően pedig gátszakadáshoz vezethet.

A villámárvíz események növekedésével meg kell vizsgálni, hogy az egészséges faállomány összetétele milyen változásokon eshet át és ennek milyen hatásait lehetnek.

A hirtelen lefolyó vízhozamok csökkentése érdekében csökkenteni kellene a burkolt felületek nagyságát. A csapadék-elvezető rendszerek több helyen nem alkalmasak rendeltetésszerűen elvezetni a vizet, ezeket folyamatosan karban kéne tartani.

A villámárvizeknél különösen fontos a rövid távú meteorológiai előrejelzés, ugyanakkor ennek pontossága valószínűleg a közeljövőben nem fog jelentősen javulni. Azt viszont lehetne javítani, hogy a leesett csapadékmennyiséget minél pontosabban meg tudjuk határozni. Ehhez több, nagyobb területet lefedő radar szükséges, és a mostaninál sokkal sűrűbb csapadékészlelő hálózat.

A belvízelvezető rendszerek, jelenleg sem alkalmasak kielégítően elvezetni a vizet, így a klímaváltozás hatására várható növekvő belvizekkel a vízzállító képesség további csökkenése várható, mely hosszabb ideig tartó belvizet eredményezhet, és katasztrófális következményei lehetnek mezőgazdaságunkra, mely jelenleg húzóágazatnak számít Magyarországon. Ki kell dolgozni egy tervet arra, hogyan lehetne összehangoltan a belvízelvezetést fejleszteni, illetve megnövelni.

El kell készíteni egy olyan nemzeti alkalmazkodási stratégiát, melyben a korábbi évek idevonatkozó tanulmányainak, stratégiáinak eredményeit használják fel és benne a különböző szakpolitikai érdekek is érvényesülhetnek, valamint kellően megalapozottak, mind szakmai, mind gazdasági és társadalmi szempontok alapján. A különböző szakágazatoknak feltétlenül össze kell dolgoznia, a különböző terveket esetleg össze lehetne vonni, és ha a különböző érdekek nem találkoznak, akkor kompromisszumok megkötésére van szükség.

A hajózás és a jelentős mennyiségű áruszállítás mellett hazánkban a Duna kiemelt turisztikai célpont is, mely jelentős bevételeket hoz, többek között a Duna parthoz közeli települések részére és közvetve az állam részére is. Napjainkban egyre népszerűbbek a hajókirándulások a főváros és a Duna-kanyar környékén, valamint a Duna nagyon alkalmas egyes vízi sportok kedvelőinek, emellett igen kedvelt fürdő- és horgász hely is. Az éveken át jellemző, tartós dunai kisvízes időszakok várhatóan a turizmust is visszavethetik, mely számottevő költségkiesést okozna a jövőben, ennek az előzetes vizsgálata rendkívül fontos.

Az aszály miatt az alapvető nyersanyagok termelésében bekövetkező esetleges csökkenés negatívan fogja befolyásolni a feldolgozó ipar, a közlekedés, valamint a kereskedelem feltételeit, különösen az export–import tendenciákat. Ebben az esetben a gazdaságnak növekvő import révén kell ellensúlyoznia a hazai élelmiszer- és takarmányhiányt, ami extra kiadást okoz mind az egyének, mind a kormányzat számára. Ezeknek az átfogó hatásoknak a számításba vétele igen fontos az egész nemzetgazdaság számára, hiszen a gazdasági hatások mellett a pénzügyi viszonyokra gyakorolt következményeket is alaposan meg kell vizsgálni.

A klímaváltozás hatására valószínűleg a víz, mint természeti erőforrás felértékelődése rövid időn belül be fog következni. A víztakarékosság szempontjából meg kell vizsgálni a használt vizek újrafelhasználásának lehetőségét, valamint a technológiai fejlődésből adódó innovációban rejlő lehetőségeket. A várható vízhiánnyal szemben való sikeres fellépés érdekében elsőként azt kell elérni, hogy a gazdaság vízfelhasználása hatékony és takarékos legyen. A víztakarékosság persze energiatakarékosság is egyben, mivel a víz kivétele, szállítása és kezelése magas energiaköltséggel jár. Ebben az összefüggésben alapvető fontosságú a vízigény-gazdálkodás javítása, a víztakarékos technológiák és gyakorlatok támogatása. A jövőbeni vízkészletekhez igazodó vízhasználatokat kell elérni. A takarékos

vízhasználat azt is jelenti, hogy megfontoltabban kell bánnunk a rendelkezésünkre álló vízkészletekkel. A takarékos vízhasználat céljából ki kell alakítani a települési csapadékvíz-gazdálkodás rendszereket.

Megfontolandó a vízvezetési kényszer megszüntetése, ezzel párhuzamosan a helyi vízvisszatartás és a térségi vízátvétel lehetősége, így csökkentve a vízhiányos időszakokban bekövetkező káreseményeket. Szükség lenne egy működőképes, fenntartható vízvisszatartási rendszer kialakítására is.

Valószínűleg az árvízveszély kockázati kiszolgáltatottságunk a határos országok felé növekedni fog, ezért nagyon fontos az árvízvédelmi művek folyamatos fejlesztése, természetesen a MÁSZ (Mértékadó Árvízszint, amely nemrég, 2014-ben lett felújítva) folyamatos újra értékelésének figyelembevételével. Továbbá azt is figyelembe kell venni a MÁSZ-nál, hogy az vízszintekre van tervezve és ugyanígy szükséges lenne az, hogy a vízhozamokra is legyen előírás a mértékadó szintekkel kapcsolatban, ugyanis nem hagyható figyelmen kívül a mederváltozás sem.

A védekezési munkák hatékony elvégzése érdekében folyamatosan szükséges az elavult eszközpark, valamint a rossz műszaki állapotú műtárgyak rekonstrukciója. Részben tartozik ide, hogy a közművek rekonstrukcióját is folyamatosan végre kell hajtani.

Össességében a vízgazdálkodás területén fel kell készülni az egyre nagyobb gyakorisággal és váltakozó jelleggel előforduló vízbőségre valamint vízhiányra és fel kell készülni a vízkárok elleni fokozott védekezésre is. Az éghajlatváltozás miatt a vízgazdálkodási szélsőségek elleni küzdelem fontossága növekszik, illetve a nemzeti vízstratégia (Kvassay Jenő Terv¹) alapján előtérbe kerül az éghajlati viszonyokhoz történő alkalmazkodás szorgalmazása és mielőbbi megvalósítása.

¹Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2015: Kvassay Jenő Terv (vitaanyag).

4 IRODALOM

- ANTAL E., BARANYI S., KOZMÁNÉ TÓTH E. 1977: A Balaton hóháztartása és párolgása. — Hidrológiai Közlöny, 4.
- BABOLCSAI GY., HIRSCH T. 2012: Téli nagy csapadékos helyzetek. — <http://docplayer.hu/81505-Teli-nagy-csapadekos-helyzetek.html>
- GULYÁS P., MOZSGAI K., TOMBÁ CZ E.: Balatoni vízpótlás lehetséges megoldásainak környezeti vizsgálata, 3–24.
(http://www.aquadocinter.hu/THEMES/VANDORGYULES/PAGES/3SZEKCIO/TOMBACZ_GULYAS_MOZSGAI.HTM)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2015: A Duna-vízgyűjtő magyarországi része, Vízyűjtő-gazdálkodási Terv, 20–22., 352–353. (https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/072CB84D-905C-4A00-B365-FC77ABD0B45A/OVGT_foanyag.pdf)
- Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2015: Kvassay Jenő Terv (vitaanyag), 7–56. <https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/CE3BFF09-6D1B-4C8F-88B3-CDF70D2AF133/kjt0815.pdf>
- OVH, 1968: A Balaton vízgazdálkodása. Összeállította OVH Vízkészlet-gazdálkodási Központ, 29 p.
- NOVÁKY B., SOMLYÓDY L., HONTI M. 2013: Éghajlatváltozás: intő jelek a Balaton viselkedésében. — Magyar Tudományos Akadémia – Multidiszciplináris Vízkonferencia, Budapest, 2013. május 16.
- RADOCHAY I., 2010: Egy éghajlati forgatókönyv hidrológiai hatásának vizsgálata a Dunán, különös tekintettel a kisvízi időszakokra.
- VARGA B. 2011: A Balaton víz háztartásának elemzése különös tekintettel a párolgá számítás és mérés módszertani és területi kérdéseire. — PhD-értekezés, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Állat- és Agrártudományi Doktori Iskola
- Vidékfejlesztési Minisztérium Környezetügyekért Felelős Államtitkárságának Vízügyért Felelős Helyettes Államtitkársága, 2013: Nemzeti vízstratégia a vízgazdálkodásról, öntözésről és aszálykezelésről (a jövő vízügyi, öntözésfejlesztési és aszály kezelési politikáját megalapozó, a fenntarthatóságot biztosító ágazati stratégia), 4–27.
- VITUKI, 1990: Az éghajlat változékonyság és feltételezett változásának hatása a hidrológiai erőforrásokra és a vízgazdálkodásra (OMSz, 7613/1/1782 (vagy 1982, Faragó Tibor). (témafelelős: Nováky B.) Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Budapest, 1990. 75.
- VITUKI Hungary Kft. 2016: A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása, Kutatási jelentés, D4.11 A klímaváltozás hatása a felszíni vizekre, 3–51.
- VIRÁG Á., 1997: A Balaton múltja és jelene. — Eger Nyomda Kft.

Egyéb internetes források

<http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf>
www.vizugy.hu
www.kotivizig.hu

A NATÉR projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

A jelen szakmai munkaanyag Izland, Liechtenstein és Norvégia EGT-támogatásokon és a REC-en keresztül nyújtott anyagi hozzájárulásával valósult meg. A jelen dokumentum tartalmáért a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet felelős.

További információk a támogatási programról:

www.nagis.hu

eea.rec.org

eeagrants.org

norvegalap.hu