NATéR
Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer

A klímaváltozás hatása az ivóvízbázisokra

Kutatási jelentés

Szerzők:
Rotárné Szalkai Ágnes – Homolya Emese–
Selmeczi Pál

NAK NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet

2015. december 15.

ICELAND LIECHTENSTEIN NORWAY
eea grants

REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER

TARTALOM

Táblázatok jegyzéke **3**

Ábrák jegyzéke **3**

1 Bevezetés **5**

2 Ivóvízbázisok meghatározása és típusai **6**

3 Alkalmazott vizsgálati módszer **8**

4 Kitettség vizsgálata **11**

4.1 Éghajlati kitettség 11

4.1.1 Adatok és módszerek *11*

4.1.2 Az elmúlt évtizedek szárazsági viszonyainak jellemzése a CarpatClim-Hu adatbázis alapján .. *15*

4.1.3 Várható jövőbeli tendenciák az ALADIN-Climate és a RegCM modellek szimulációi alapján ... *21*

4.2 Felszíni vizek vízjárásából adódós kitettség 25

5 Ivóvízbázisok klímaérzékenysége **29**

5.1 Érzékenységet befolyásoló tényezők 29

5.1.1 Karsztos területek *29*

5.1.2 Üledékes mélymedencék területei *30*

5.1.3 Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolódási területe *32*

5.2 Érzékenységi kategóriák 32

5.3 Ivóvízbázisok érzékenységi kategóriákba sorolása 34

5.4 Vízbázisok klíma-érzékenysége a DMRV működési területén 37

6 Felszín alatti ivóvízadók jelenlegi igénybevétele **42**

6.1 Megfigyelőkutakban mért vízszintváltozás elemzése 42

6.2 Felszín alatti vizek áramlási modell eredményeinek elemzése 42

6.3 Felszín alatti vízszintek változásának értékelése 43

7 A települések éghajlatváltozás hatásaival szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén **45**

7.1 Módszertan 45

7.2 Az alkalmazkodóképesség infrastrukturális tényezői 46

7.3 Az alkalmazkodóképesség társadalmi–gazdasági hatótényezői 47

7.4 A települések alkalmazkodóképességének meghatározása a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. működési területén 50

8 Ivóvízbázisok klímasérülékenységi vizsgálata **52**

9 Következtetések, javaslatok **57**

10 Hivatkozások **59**

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat. Klímaosztályok a UNEP ariditási index alapján 12
2. táblázat. A csapadék havi súlyzótényezői 12
3. táblázat. Klímaosztályok a módosított Pálfai-féle aszályindex alapján 14
4. táblázat. A parti szűrésű vízbázisok kitettségi indikátorainak meghatározásához használt mérőhelyek legfontosabb adatai 25
5. táblázat. Vízbázisok klímaérzékernységi kategóriái. 33

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra. A módosított CIVAS model alkalmazása a vízbázis klímaérzékenységi és -sérülékenységi vizsgálat során 9
2. ábra. A DMRV működési területén kijelölt mintaterület 10
3. ábra. A UNEP ariditási index területi eloszlása az 1961–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 15
4. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex területi eloszlása az 1964–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 16
5. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadék arányainak területi eloszlása az 1961–1989 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 17
6. ábra. A UNEP ariditási index szórásának területi eloszlása az 1961–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 18
7. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex szórásának területi eloszlása az 1964–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 18
8. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányainak szórása az 1961–1989 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 19
9. ábra. Az átlagos éves klimatikus vízmérleg területi eloszlása az 1961–1990 referencia időszakra a CarpatClim-Hu adatbázis alapján 20
10. ábra. A UNEP ariditási index változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján 21
11. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján 22
12. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányainak változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján 23
13. ábra. A klimatikus vízmérleg várható változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján 24
14. ábra. A Tisza havi vízhozam minimumainak alakulása az 1960-2010 közötti időszakban a tiszapalkonyai 1722 jelű mérőhelyen 26

15. ábra. A Duna havi vízhozam maximumainak alakulása az 1960-2010 közötti időszakban a budapesti 1026 jelű mérőhelyen 27
16. ábra. A Duna havi vízhozam maximumainak alakulása az 1960–2010 közötti időszakban a budapesti 1026 jelű mérőhelyen 28
17. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenysége 35
18. ábra. Sekély (<30 m) porózus ivóvízbázisok klímaérzékenységének másodlagos besorolása 36
19. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenységének mértéke 36
20. ábra. Vízbázisok klímaérzékenysége a DMRV működési területén 37
21. ábra. Vízbázisok klímaérzékenységének mértéke a DMRV működési területén 38
22. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenységi típusainak százalékos aránya 39
23. ábra. Települések ivóvízellátásának klímaérzékenysége a legkevésbé érzékeny közvetlenül ellátó vízbázistípus alapján, a DMRV működési területén 40
24. ábra. Települések ivóvízellátásának klíma-érzékenysége, a közvetlenül ellátó vízbázisok száma és klímaérzékenysége alapján, a DMRV működési területén 41
25. ábra. Víztermelések által kiváltott vízszintcsökkenés modellezéssel számított értéke a negyedidőszaki rétegek alsó szintjén 43
26. ábra. Víztermelés hatására bekövetkező vízszintcsökkenés mértéke a porózus víztestekben 44
27. ábra. Az MFGI Kengyel–2 megfigyelőkútjának vízszint idősora 44
28. ábra. A települések ivóvízbázis-ellátottsága a DMRV működési területén, 2015 (Adatok forrása: DMRV Zrt.) 46
29. ábra. Az ivóvízbázisok fejlesztési lehetőségei a DMRV működési területén, 2015 (Adatok forrása: DMRV Zrt.) 47
30. ábra. A lakosság jövedelmi helyzete és az ivóvízfogyasztás közötti összefüggés az egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem (Ft/fő/év, 2013) és az egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás (m^3/fő, 2013) alapján 48
31. ábra. A települések fajlagos ivóvízfogyasztása a DMRV működési területén, 2013 (Adatok forrása: DMRV, KSH T-STAR) 49
32. ábra. A lakosság jövedelmi viszonyai a DMRV működési területén, 2013 (Adatok forrása: NAV SZJA statisztika, KSH T-STAR) 50
33. ábra. A települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén 51
34. ábra. Ivóvízbázisok klímasérülékenysége az ALADIN-Climate modell adatai alapján a 2021–2050 közötti időszakra 53
35. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége a RegCM modell adatai alapján a 2021–2050 közötti időszakra 54
36. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége az ALADIN-Climate modell adatai alapján a 2071–2100 közötti időszakra 55
37. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége a RegCM modell adatai alapján a 2071–2100 közötti időszakra 56

1 BEVEZETÉS

Magyarország ivóvízkészletének 95%-a felszín alatti vizekből származik, ezért a felszín alatti vizek jelentősége az ivóvízellátásban kiemelkedő. Az elsősorban öntözővíz szempontjából fontos talajvizeken kívül a síkvidékek alatt húzódó üledékes mélymedencék jelentős rétegvíz készlete egyúttal legnagyobb ivóvízkészletünk is. Középhegységeink karsztvizei szintén a felszín alatti vizek fontos részét képezik, egyes régiókban pedig az ivóvizek fő forrását jelentik. Mind a jelenlegi, mind a távlati ivóvízellátás szempontjából hazánkban a felszíni és felszín alatti vizek határeseteként jelentkező parti szűrésű rendszerek kiemelt szerepet töltenek be.

Ivóvízbázisok üzemeltetése során figyelmet kell fordítani a rövid és hosszú távú üzembiztonságra, azaz a folyamatos üzemeltetést veszélyeztető körülményekre. Ezen vízbázisokat, vízilétesítményeket, továbbá az ilyen felhasználású víz kezelését, tárolását, elosztását szolgáló vízilétesítményeket a Víz Keretirányelv (Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK Irányelve (2000. október 23.) 7. cikkelye, az ennek alapján meghatározott 120/1999. (VIII. 6.) Korm. rendelet, illetve a 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendeletek szerint fokozott védelemben kell tartani. A vízellátó rendszer kialakítását a 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet értelmében az üzembiztonságra, valamint az előírásoknak megfelelő ivóvízminőségre figyelemmel kell biztosítani.

A szélsőséges időjárási viszonyok a múltban számos esetben okoztak problémát az ivóvízellátásban. Nyári száraz időszakokban a csökkent vízkészletek és az egyidejűleg jelentkező magasabb vízigény hatására egyes területeken vízhiány alakult ki, amely gyakran vízkorlátozásokhoz vezetett. Más esetben a csapadékos időjárás hatására kialakult árvizek, illetve karsztárvizek miatt a fertőzésveszély elkerülése érdekében kellett egy-egy vízbázist időszakosan kikapcsolni a vízellátásból.

A szélsőséges időjárási viszonyok gyakoribb megjelenése, illetve a jövőben várható további változásokból adódóan szükségessé vált a klímaváltozás ivóvízbázisokra gyakorolt hatásának részletes vizsgálata. A Víz Keretirányelv által előírt, hétévente felülvizsgálandó vízgyűjtő-gazdálkodási tervek részét képezi a változó klimatikus viszonyok figyelembevétele, azonban a részletes vizsgálatok, illetve az intézkedéseket megalapozó célirányos adatrendszerek eddig nem álltak rendelkezésre.

A NATéR projekt keretében, a projekt egyik részfeladataként, célunk az ivóvízbázisok klíma-sérülékenységének meghatározása és jellemzése. A klímaváltozás ivóvízbázisokra gyakorolt hatása területileg eltérő, amely az éghajlati-, földtani-, vízföldtani adottságok függvénye. A projekt keretében feladatunk tehát a várható klímaváltozás ivóvízbázisokat leginkább érintő éghajlati elemeinek, valamint az ivóvízbázisok sérülékenységét nagymértékben meghatározó földtani közeg, azon belül a vízföldtani sajátosságok jellemezése. Az ivóvízbázisokra gyakorolt hatás, illetve ennek csökkentése és kiküszöbölése társadalmi-gazdasági következményeket vonhat maga után. Vizsgálatainkat ezért kiegészítettük a megváltozó körülményekhez történő alkalmazkodási lehetőségek jellemzésével. Munkánk során olyan térinformatikai elemeket tartalmazó adatrendszer felépítésére került sor, amely segíti az alkalmazkodási képesség fokozását, illetve a kedvezőtlen hatások csökkentését.

Az alkalmazkodás elemzéséhez szükséges paraméterek, indikátorok összegyűjtése a vízbázisok üzemeltetőjével folytatott közvetlen konzultáción alapult. Ezt a NATéR projekt keretében országos léptékben nem volt lehetőségünk vizsgálni, így az alkalmazkodás és a vízellátás klíma-sérülékenységét a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. üzemeltetési területén kijelölt mintaterületen határoztuk meg.

2 IVÓVÍZBÁZISOK MEGHATÁROZÁSA ÉS TÍPUSAI

Vízbázisnak nevezzük a vízkivételi művek által igénybe vett, vagy arra kijelölt területet, illetőleg felszín alatti térrészt és az onnan emberi fogyasztásra, illetve hasznosításra kitermelhető vízkészletet a meglévő, vagy a tervezett vízbeszerző létesítményekkel együtt.

Az ivóvízbázisok alatt azokat az emberi fogyasztásra szánt, illetve ivóvízellátást szolgáló vízilétesítményeket, az ivóvíz-minőségű vízigények kielégítését, az ásvány- és gyógyvízhasznosítást szolgáló, igénybe vett, lekötött vagy távlati hasznosítás érdekében kijelölt vízbázisokat értjük, amelyek átlagosan napi 10 m^3-nél több víz biztosítását szolgálják, vagy legalább 50 személy vízellátását biztosítják. Ide soroljuk azokat a víztesteket is, amelyeket a jövőben ilyen használatra szánnak.

Fentiek alapján az ivóvízbázis fogalmát munkánk során kibővítve értelmeztük, amely egyaránt magába foglalja az ivóvízellátást biztosító vízkészletet tartalmazó felszín alatti térrészt, illetve a vízbeszerző létesítményeket.

A vízbázisokat környezetük vízföldtani sajátosságai alapján az alábbi típusokba sorolhatjuk:

- karsztvízbázis: olyan vízbázis, melyben az igénybe vett, vagy arra előirányzott vízkészlet a karsztosodott kőzetek (mészkő, dolomit) pórusaiban, hasadékaiban, üregeiben helyezkedik el; lehet nyílt tükrű, amely a meteorológiai viszonyok közvetlen hatása alatt áll, vagy fedett;
- partiszűrésű vízbázis: felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, melyben a vízkivételi művek által termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben a felszíni vízből történő beszivárgásból származik;
- rétegvízbázis: olyan vízbázis, melynek megcsapolt képződményei az első vízzáró, vagy féligáteresztő réteg alatti, vagy 50 méternél mélyebben települt törmelékes vízadó kőzetek;
- talajvízbázis: olyan vízbázis, melyben az igénybe vett vagy arra előirányzott vízkészlet a törmelékes felszín közeli képződmények telített zónájában helyezkedik el, vagy az első vízzáró vagy féligáteresztő réteg mélységéig, vagy nem mélyebben, mint 50 m.

Az ivóvízbázisok nyilvántartása az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) közcélú vízbázisainak adatbázisában történik. Munkánk alapját ez az adatbázis jelentette. Az adatbázisban 1952 db ivóvízbázisból 19 felszíni (1 tartalék, 2 nem üzemel), 1729 felszín alatti üzemelő vízbázis szerepel. Ezen felül, 74 távlati és 98 tartalék, 240 egyéb közcélú ivóvízbázist és 32 további üzemelő, 10 m^3/nap alatti vízszolgáltatású felszín alatti vízbázist tartanak nyilván.

Tartalék vízbázisnak az üzemkész állapotban lévő, nem üzemelő vízbázisokat nevezzük. Távlati vízbázis alatt a műszakilag megkutatott, de még termelésbe nem vont vízkészleteket értjük. A távlati vízbázisok, mint a nevük is utal rá, tartalék vízbázisok szerepét töltik be.

A Víz Keretirányelv és az érvényben lévő magyarországi jogi szabályozás szerint (23/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet) a vízbázisok megóvása érdekében védőterületeket kell meghatározni. A védőterületek kijelölésének legfontosabb szempontja a szennyeződések vízbázisba történő bejutásának megelőzése, ennek megfelelően a kijelölés alapja a felszín alatti áramlási modellekkel meghatározott „elérési idő”.

A klímaváltozás szempontjából azonban az utánpótlási folyamatok, illetve ezek változása meghatározó, így a teljes utánpótlási területen végbemenő folyamatokat figyelembe kell venni.

3 ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZER

A vízbázisok klíma-sérülékenységének jellemzéséhez a CLAVIER nemzetközi klímakutatási projektben kidolgozott CIVAS modellt (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) alkalmaztuk (Pálvölgyi et al., 2008). A térségi kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes értékelésén alapuló CIVAS modell egységes módszertani kereteket biztosít a kvantitatív éghajlati hatásvizsgálatokhoz, segítségével jellemezhető a klíma-sérülékenység, amelyet jelen tanulmány keretében az ivóvízbázisokra, illetve a települések ivóvízellátására végeztünk.

A CIVAS modell az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület Negyedik Értékelő Jelentésében (IPCC, 2007) közzétett megközelítésen alapul. A CIVAS modell a környezeti állapotértékelésben széles körben alkalmazott DPSIR2 („Driving Force – Pressure – State – Impact – Response" az Európai Unióban kidolgozott és elfogadott környezetértékelési vizsgálati modell) modellhez hasonló elvet követ (Pálvölgyi et al., 2010).

A CIVAS modell alapján az éghajlatváltozás ivóvízbázisokra gyakorolt hatásait a kitettség (exposure) → érzékenység (sensitivity) → várható hatás (impact) → adaptivitás (adaptive capacity) → sérülékenység (vulnerability) kontextusban vizsgáljuk, ezáltal a várható környezeti változásokon túl figyelembe vesszük a közvetetten eredményezett társadalmi, gazdasági folyamatokat is.

Más, emberi tevékenység által okozott, a klímaváltozástól független hatások hasonló jelenségeket eredményeznek, a két folyamat együttes érvényesülése esetén nehezen szétválasztható. A víztermelések által kiváltott felszín alatti vízszint-változások, illetve a vízminőségben egyéb, emberi hatásra bekövetkező változások a klímaváltozás hatásaival együttesen, egymást felerősítve érvényesülnek. Az egyéb antropogén hatásokat tehát a klíma-sérülékenységi vizsgálatok keretében figyelembe kell venni. Ennek megfelelően klíma-sérülékenység vizsgálatunk során a CIVAS modell módosított változatát (1. ábra) alkalmaztuk, amelynek elemeit az alábbiak szerint határoztuk meg.

A *kitettség* a klíma várható változását, illetve ennek jellemzését foglalja magába. Csak földrajzi helyre jellemző, amelyről adatok, információk a korábbi meteorológiai mérési adatsorokból illetve klímamodellekből nyerhetők.

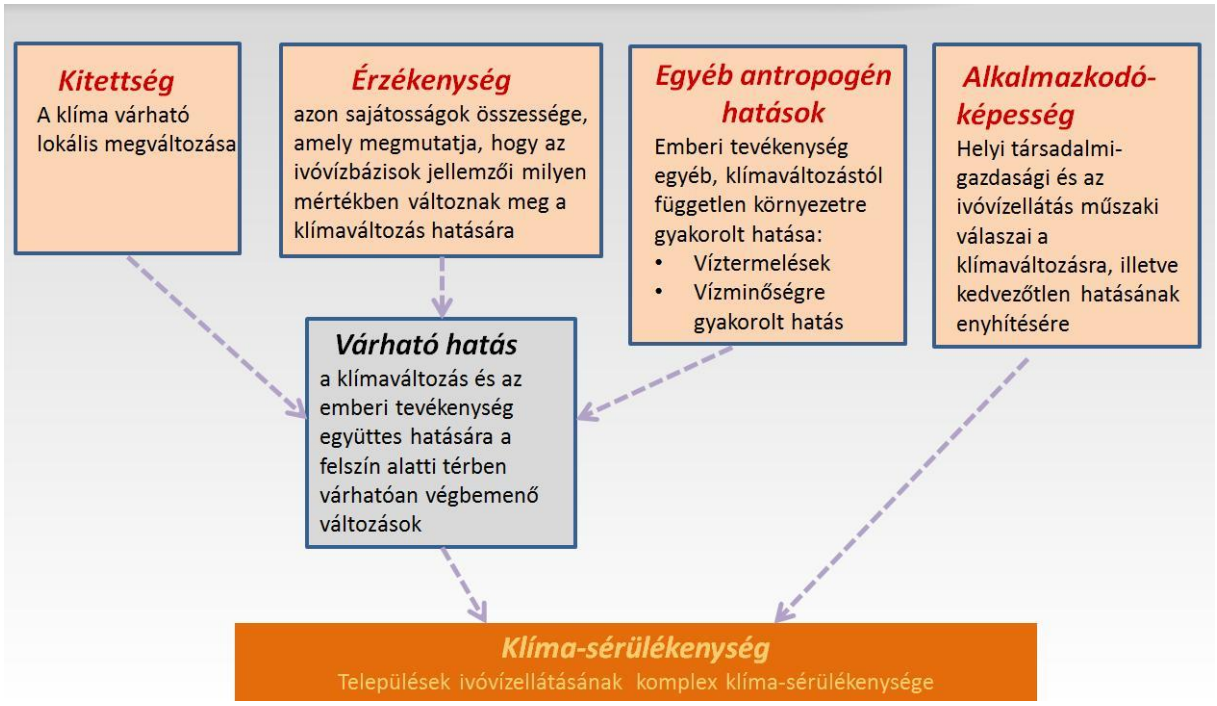
Az *érzékenység* (sensitivity) a hatásviselő rendszer (esetünkben az ivóvízbázisok) azon sajátosságainak összessége, amely megmutatja, hogy a hatásviselő rendszer milyen mértékben változik meg klímaváltozás hatására. A hatásviselő rendszerek érzékenysége független magától a klímaváltozástól, és elsősorban a hatásviselő rendszer környezeti, illetve fizikai paramétereiből tevődik össze, ami az ivóvízbázisok esetében a földtani, vízföldtani adottságokból vezethető le.

Az *egyéb antropogén hatások* a felszín alatti vizek mennyiségében és minőségében a klímaváltozás hatásától függetlenül, emberi tevékenység hatására bekövező változásokat foglalják magukba.

A *várható hatás* (potential impact) a kitettség, az érzékenység és az egyéb emberi hatások kombinációja, amely egyaránt jellemző a földrajzi helyre és a vizsgált hatásviselő rendszerre.

Az *alkalmazkodóképesség* (adaptive capacity) nem klimatikus tényező, a helyi társadalmi-gazdasági válaszokat fejezi ki a klímaváltozásra, illetve kedvezőtlen hatásának enyhítésére.

Ivóvízbázisok esetében a társadalmi, gazdasági tényezőkön kívül fontos szerepet kapnak a műszaki tényezők, amelyek a megváltozott körülmények között az ivóvíz szolgáltatás biztonságát, illetve változatlan szintű biztosítását teszik lehetővé.



1. ábra. A módosított CIVAS model alkalmazása a vízbázis klímaérzékenységi és -sérülékenységi vizsgálat során

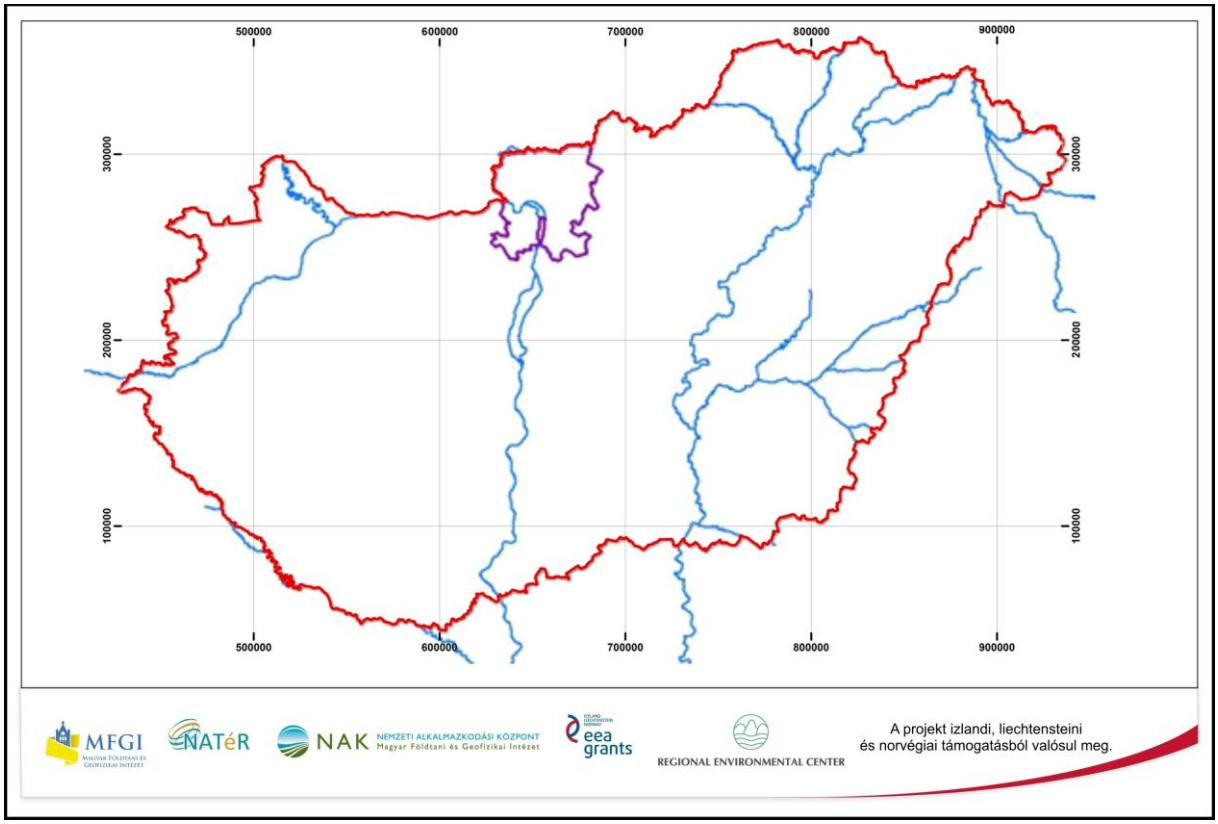
A *sérülékenység* (vulnerability) komplex mutató, amely integrálja a kitettséget (azaz egy adott helyen az éghajlat várható megváltozását), az éghajlati érzékenységet [azaz egy adott helyen a természeti környezet éghajlatváltozás által érintett fizikai jellemzőit], valamint az alkalmazkodóképességet (azaz a társadalom és a gazdaság kedvezőtlen változásokat enyhítő erejét).

Az ivóvízbázisok klíma-sérülékenységi vizsgálata során a nem-klimatikus emberi hatások vizsgálatánál eltekintettünk a vízminőségi változások elemzésétől annak komplex jellege miatt. A vízminőségi változások elemzése a változások széles spektrumából adódóan meghaladta a NATéR projekt időkereteit, ezért csak a víztermelések hatásait vettük figyelembe. A klímaváltozások hatására bekövetkező vízkémiai változások vizsgálata további kutatási feladat, amelyet egy külön projekt keretében, az emberi tevékenységből adódó változásokkal, valamint a szennyeződések terjedésének vizsgálatával együttesen javasolt tanulmányozni egyidejűleg több paraméterre (pl. nitrát, összes oldott anyag tartalom, szerves szennyezők stb.) vonatkozóan.

Az alkalmazkodóképesség vizsgálatához, illetve az alkalmazkodási indikátorok meghatározásához közvetlenül az ivóvízbázisok üzemeltetőjétől származó információra volt szükségünk. A jelenleg akkreditált 34 regionális vízmű mindegyikével nem volt lehetőségünk a projekt keretében részletes konzultációt folytatni, ezért egy kiválasztott mintaterületen alakítottuk ki az alkalmazkodási és sérülékenységi vizsgálatok részletes módszertanát.

A vízbázisok klíma-érzékenységének kibővített, az alkalmazkodást is figyelembe vevő és a klíma-sérülékenységet is meghatározó vizsgálatát a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (DMRV) üzemeltetési

területével megegyező mintaterületen végeztük. A mintaterület kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy az üzemelő vízbázisok között valamennyi típus reprezentálva legyen (2. ábra).



2. ábra. A DMRV működési területén kijelölt mintaterület

A klíma-sérülékenységet az indikátorok eloszlásával, illetve kategorizálásával jellemeztük. Mindezt adattáblákba foglalva és térinformatikai rendszerbe beépítve térben is megjelenítettük. A kialakított NATéR (NAGiS) rendszer támogatja a döntéshozók munkáját, egyben hozzájárul a fenntartható fejlődést figyelembe vevő klímastratégiák kialakításához.

4 KITETTSÉG VIZSGÁLATA

A klímaváltozásnak csak ritkán van közvetlen hatása az ivóvízbázisokra. A felszín alatt elhelyezkedő vízbázisok többnyire csak közvetetten érintkeznek a klímaváltozásban szerepet játszó, a felszínen, illetve a felszín felett zajló éghajlati, meteorológiai folyamatokkal. Ezért a klímaváltozás a felszín alatti vizek készletváltozásában, illetve a felszín alatti áramlási rendszerek paramétereinek változásában, mint következmény nyilvánul meg. Mindezek kiváltó tényezője a felszínen végbemenő folyamatokban keresendő, melyek a beszivárgás és a megcsapolás (beleértve az evapotranspirációt).

A beszivárgási helyszíneken lejátszódó folyamatokat főként a csapadék változékonysága és a csapadékhullást megelőző időszakban az adott talajzónából párolgással-párologtatással elfogyasztott nedvességtartalom szabályozza, mely utóbbi nagyrészt a hőmérsékletváltozás függvénye. A felszín alatti vizek megcsapolási helyszínein mind a csapadék, mind a hőmérséklet, és a vele szoros összefüggésben lejátszódó párolgási folyamatok hatásai közvetlenebbül és gyorsabban jelentkeznek.

Fentiek alapján a klímaváltozás szempontjából az ivóvízbázisok kitettségét az éghajlat megváltozása jelenti, amelyet a beszivárgás és a megcsapolás folyamatait meghatározó meteorológiai paraméterek változásának vizsgálatával jellemeztünk.

A felszín alatti ivóvízbázisok sajátos formáját képezik a parti-szűrésű rendszerek, amelyek kitettségét elsősorban nem a helyi meteorológiai viszonyok, hanem az utánpótlás szempontjából érintett folyó vízgyűjtő területének (sok esetben az országhatáron túlnyúlóan) éghajlatváltozása határozza meg. Ezen vízbázisok kitettségét a felszíni vízfolyások vízjárásában bekövetkező változások jellemzésével határoztuk meg.

A kitettség meghatározására mindkét esetben indikátorokat alkalmaztunk, amelyek jól jellemzik a már bekövetkezett, illetve a jövőben várható változékonyságot.

4.1 Éghajlati kitettség

4.1.1 Adatok és módszerek

Elemzésünkhöz kétféle adatbázis állt rendelkezésre, a klimatológiai mérésekből szabályos rácsra interpolált adatokat tartalmazó CarpatClim, illetve az ALADIN-Climate és a RegCM klímamodellek szimulációiból származó adatok. A különféle adatbázisok rácshálózata átfed, a rácsfelbontás minden esetben 10 km. A CarpatClim-Hu az 1961–2010 időszakot fedi le, a klímamodellek adatai három klímaablakra állnak rendelkezésre, az 1961–1990, a 2021–2050, valamint a 2071–2100 időszakokra.

Az elemzés során négyféle indikátorral dolgoztunk, melyeket a vizsgálat célja, valamint a szükséges háttéradatbázis elérhetősége alapján választottunk ki.

4.1.1.1 Ariditási index

Az ariditási index a csapadék és a potenciális evapotranspiráció hányadosaként áll elő, ahol a potenciális evapotranspiráció számolása Thornthwaite módszerével történt (Ács et al., 2013).

$$\mathrm{AI} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{PET}}$$

A képletben AI az ariditási indexet, a P az éves csapadékösszeget, a PET az évi összes potenciális evapotranspirációt jelöli.

Az ilyen módon meghatározott ariditási indexet és a hozzá kapcsolódó klímaosztályozást, melyet az 1. táblázat (TSAKIRIS et al, 2005) foglal össze, a UNEP (United Nations Environment Programme) vezette be 1992-ben.

1. táblázat. Klímaosztályok a UNEP ariditási index alapján

Klímaosztály	Ariditási index
Hiperarid	AI < 0,05
Arid	0,05 < AI < 0,20
Szemi-arid	0,20 < AI < 0,50
Száraz szubhumid	0,50 < AI < 0,65
Humid	> 0,65

4.1.1.2 Pálfai-féle aszályindex

A Pálfai-féle aszályindex (PAI) egy-egy év aszályának erősségét jelzi, értéke a terméshozamok csökkenésével szoros összefüggést mutat (Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), 2012). A módosított Pálfai-féle aszályindex (Palfai Drought Index, PaDI), mely a DMCSEE projekt keretében került kidolgozásra, elvében megegyezik a PAI alkalmazhatóságával, viszont szerényebb adatigényű és számítása is egyszerűbb (OMSZ, 2012).

$$PaDI_0 = \frac{\left[\sum_{i=ápr}^{aug} T_i\right] / 5 * 100}{c + \sum_{i=okt}^{szept} (P_i * w_i)}$$

ahol

$PaDI_0$ a módosított Pálfai-féle aszályindex alapértéke [°C/100 mm],

T_i a havi középhőmérséklet áprilistól augusztusig [°C],

P_i a havi csapadékösszeg októbertől szeptemberig [mm],

w_i súlyozó tényező,

c állandó érték [10 mm].

A csapadék havi súlyozó tényezői a talajban történő nedvesség-felhalmozódás szerepét és a növényzet vízigényének eltéréseit fejezik ki a Délkelet-Európában átlagosnak tekinthető növényszerkezet figyelembevételével (Országos Meteorológiai Szolgálat, 2012), értéküket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A csapadék havi súlyzótényezői

Hónap	w_i súlyozó tényező
október	0,1
november–december	0,4
január–április	0,5
május	0,8
június	1,2
július	1,6

Hónap	w_i súlyozó tényező
augusztus	0,9
szeptember	0,1

A PaDI értéke a:

$$\mathrm{PaDI} = \mathrm{PaDI}_0 * \mathrm{k}_1 * \mathrm{k}_2 * \mathrm{k}_3$$

képlettel adható meg, ahol:

PaDI a módosított Pálfai-féle aszályindex [°C/100 mm],

k_1 a hőmérsékleti korrekciós tényező, vagyis a nyári hőmérsékleti átlag viszonya a sokévi átlaghoz:

$$\mathrm{k}_1 = \frac{\left(\mathrm{T}_{\text{jún}} + \mathrm{T}_{\text{júl}} + \mathrm{T}_{\text{aug}}\right)/3}{\left(\overline{\mathrm{T}}_{\text{jún}} + \overline{\mathrm{T}}_{\text{júl}} + \overline{\mathrm{T}}_{\text{aug}}\right)/3}$$

k_2 a csapadék korrekciós tényező, vagyis a nyári minimum havi csapadékösszeg viszonya a sokévi átlaghoz:

$$\mathrm{k}_2 = \sqrt[4]{\frac{2 * \overline{\mathrm{P}}_{\text{summer}}^{\min}}{\mathrm{MIN}\left(\mathrm{P}_{\text{jún}}, \mathrm{P}_{\text{júl}}, \mathrm{P}_{\text{aug}}\right) + \overline{\mathrm{P}}_{\text{summer}}^{\min}}}$$

$$\overline{\mathrm{P}}_{\text{summer}}^{\min} = \mathrm{MIN}(\overline{\mathrm{P}}_{\text{jún}}, \overline{\mathrm{P}}_{\text{júl}}, \overline{\mathrm{P}}_{\text{aug}})$$

k_3 a megelőző 36 hónap csapadékviszonyait jellemző korrekciós tényező, tehát a megelőző 36 hónap csapadékátlagának viszonya a sokévi átlaghoz. A sokévi átlagot a klímamodellek ablakainak időtartamához igazodva 30 évre számoltuk.

$$\mathrm{k}_3 = \sqrt[\mathrm{n}]{\frac{\overline{\mathrm{P}}}{\overline{\mathrm{P}}_{36\mathrm{m}}}}$$

$$\overline{\mathrm{P}}_{36\mathrm{m}} = \sum_{\mathrm{i}=(\text{év}-3)\text{okt}}^{(\text{év})\text{szept}} \mathrm{P}_{\mathrm{i}} \Big/ 36$$

Az n paraméter értéke a helyi domborzati viszonyok függvénye, a sík- és dombvidékek közti határt elemzésünkben a 200 m felszín feletti magasságban húztuk meg.

$$\mathrm{n}_{\text{síkvidék}} = 3$$

$$\mathrm{n}_{\text{dombvidék}} = 5$$

Az aszály erősségét a módosított Pálfai-féle aszályindex értéke alapján a 3. táblázatban (OMSZ 2012) bemutatott osztályozás adja meg.

3. táblázat. Klímaosztályok a módosított Pálfai-féle aszályindex alapján

PaDI	A minősítés kategóriái
< 4	aszálymentes év
4 – 6	enyhe aszály
6 – 8	mérsékelt aszály
8 – 10	közepes erősségű aszály
10 – 15	súlyos aszály
15 –30	nagyon súlyos aszály
> 30	extrém erősségű aszály

Mivel az index értékének kiszámításához szükség van a vizsgált évet megelőző három év csapadék adataira, teljes értékű eredményeink csak a klímaablakok negyedik évétől állnak elő, a referencia időszakra (1961–1990) így 1964-től, a XXI. századi klímaablakokra (2021–2050 és 2071–2100) pedig 2024-től és 2074-től. Az eredmények feldolgozása során ezért a PaDI esetében az első három évet nem vettük figyelembe.

4.1.1.3 Hidrológiai félévek csapadékösszegeinek aránya

A felszín alatti térbe beszivárgó vizek mennyiségét jelentősen befolyásolja a csapadék éven belüli eloszlása. A téli hidrológiai félév csapadékmennyisége nagymértékben meghatározza az éves beszivárgás értékét (KESSLER 1954). Annak vizsgálatára, hogy hogyan alakulnak az egymást követő hidrológiai félévek csapadékviszonyai, harmadikként bevezettünk egy olyan mutatót, mely a téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékösszegeinek arányát adja meg, ahol a nyári félév májustól október végéig, a téli félév novembertől április végéig tart.

$$P_a = \frac{P_{tél}}{P_{nyár}}$$

A képletben $P_{tél}$ a téli, $P_{nyár}$ a nyári hidrológiai félév csapadékösszegét, P_a a kettő hányadosát jelenti. A vizsgált időszak első évére vonatkozó csapadékarány érték a novemberrel kezdődő, következő évbe átcsúszó téli félév és a vizsgált évbe eső nyári félév csapadékösszegeinek hányadosaként áll elő, a következő évekre hasonlóan. Mivel a csapadék adatok véges időszakokra állnak rendelkezésre, a legutolsó évre vonatkozó érték nem számolható ki. Ha az arányszám egynél kisebb, a nyári félév csapadékösszege meghaladja a rákövetkező téli félévét, az egynél nagyobb szám téli csapadék többletet jelent.

4.1.1.4 Klimatikus vízmérleg

A vízellátottság további elemzése céljából meghatároztuk a vizsgált területekre jellemző klimatikus vízmérlegeket és azok jövőbeli alakulását. Elemzésünkben a klimatikus vízmérleg az évi csapadékösszeg és az évi összes potenciális evapotranspiráció különbségeként áll elő, ahol a potenciális evapotranszspirációt Thornthwaite módszere alapján számítottuk ki (ÁCS et al. 2013).

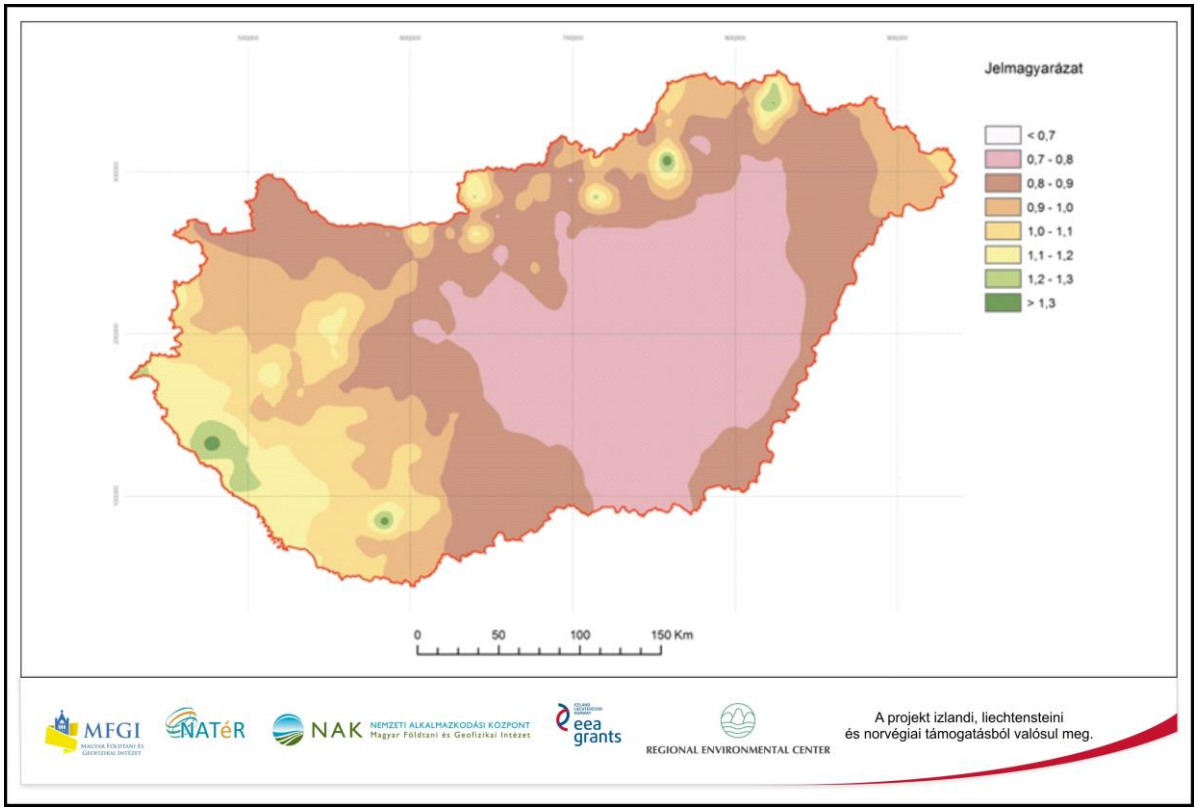
Mivel a vizsgált indexek többsége – a vízmérleg kivételével – éves bontásban számolható ki, minden esetben éves szinten állítottuk elő az eredményeket. Az elemzés során az éves értékekből klímaablakonként harminc éves átlagokat képeztünk, e jelentésben ezek az eredmények kerülnek bemutatásra. Az elmúlt időszak jellegzetességeinek és a változás tendenciájának részletesebb

vizsgálatához a CarpatClim-Hu adatbázis adatai alapján elkészítettük az egyes indexek tíz éves átlagolását is a rendelkezésre álló 50 éves időszakra (1961–2010). Ebben az esetben a PaDI számításához szükséges sokévi átlagot 50 évre számoltuk. A rendelkezésre álló adatok szűkösségéből adódóan, a korábbiakhoz hasonlóan a PaDI-t csak 1964-től, a csapadékarányt pedig csupán 2009-ig tudtuk meghatározni. Az átlagolások ezekben az évtizedekben 7, illetve 9 évre történtek. Annak vizsgálatára, hogy az ország különböző térségei milyen mértékben vannak kitéve a száraz (arid) és a nedves (humid) időszakok évről évre történő ingadozásának, elkészítettük az évi aszályindex értékek szórásának térképeit a referencia időszakra, a CarpatClim-Hu adatbázis alapján.

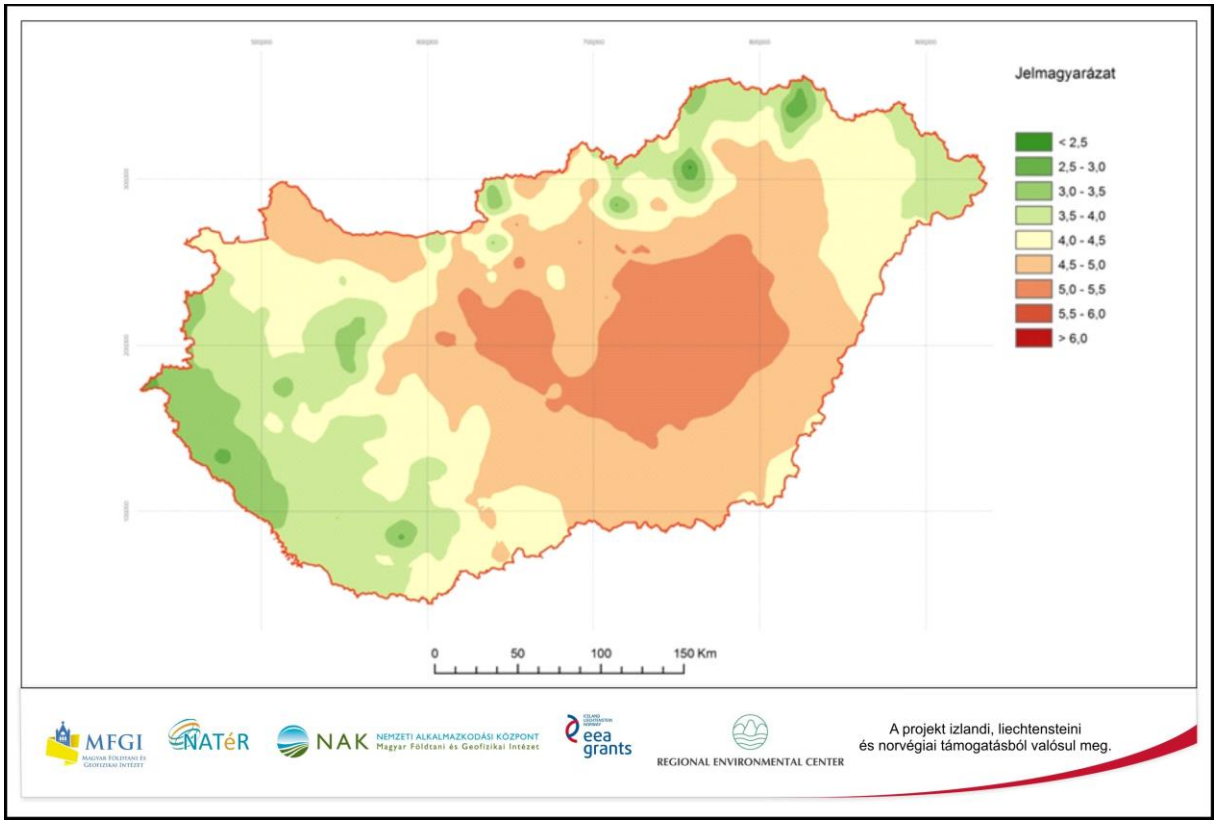
A csapadék és hőmérsékleti viszonyok jövőbeli várható alakulásának becslése a rendelkezésre álló klímamodell adatok elemzésével történt. Az elemzés során a vizsgált indikátorok változásának mértékét és irányát határoztuk meg a közelebbi, 2021–2050-es és a századvégi, 2071–2100-as klímaablakokra, a referencia időszakhoz képest. Az adatok feldolgozása Fortran programok írásával, megjelenítése az ArcGIS szoftver segítségével történt.

4.1.2 Az elmúlt évtizedek szárazsági viszonyainak jellemzése a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

A 3. és a 4. ábra a CarpatClim-Hu adatokból számított ariditási index és a módosított Pálfai-féle aszályindex átlagos értékeinek eloszlását mutatja be Magyarország területére, az 1961–1990 időszakban. Minél kisebb az ariditási index értéke, annál szárazabb az érintett régió. A PaDI esetében ez a skála éppen fordított, a kisebb értékek humidabb, a nagyobbak aridabb klímára utalnak.



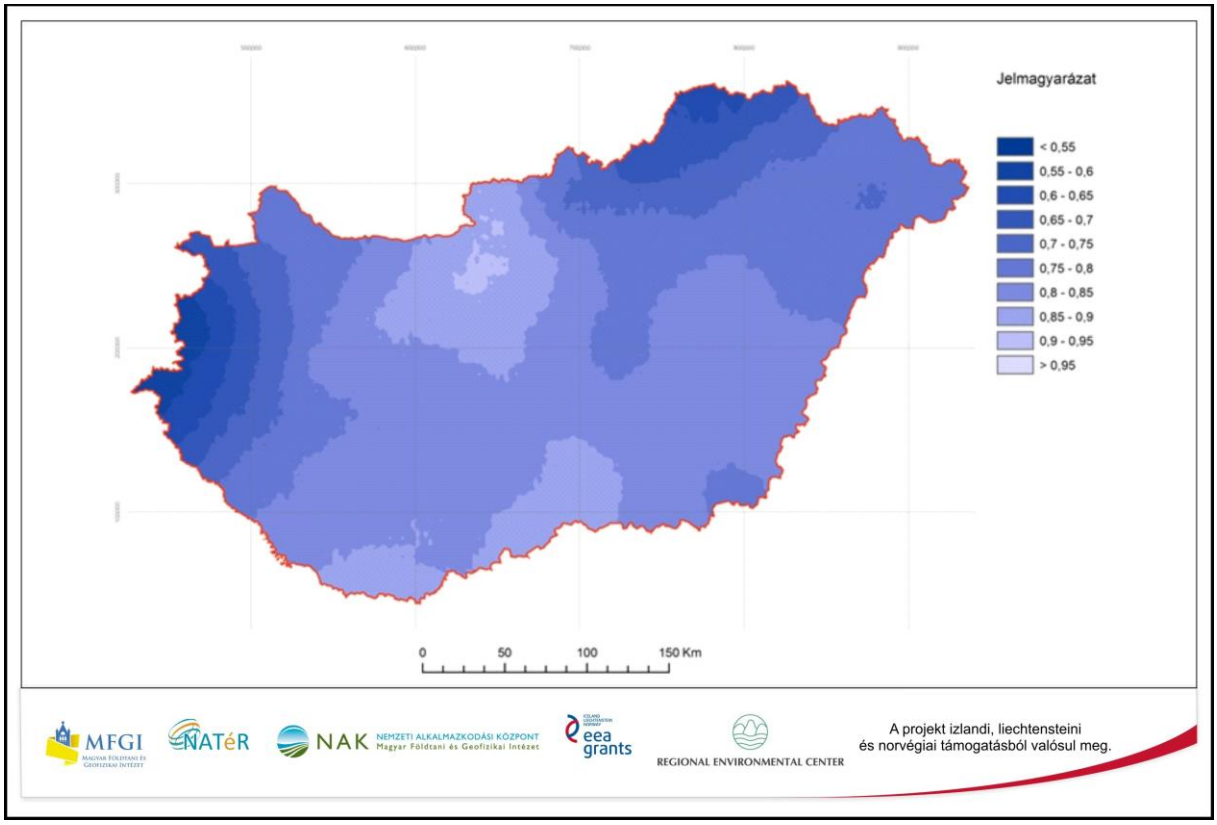
3. ábra. A UNEP ariditási index területi eloszlása az 1961–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján



4. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex területi eloszlása az 1964–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

Mindkét ábrán jól kivehető az aszályindexek domborzatfüggése. A vizsgált időszakban az Alföld bizonyult a szárazságra leginkább hajlamos területnek, a domb- és hegyvidéki régiókban, ahol a csapadék rendszerint meghaladja a síkvidéki területekre jellemző összegeket, az indexek értéke a skála humidabb vége felé tolódik el. Az ország egészéhez képest kiemelkedően humid területekként rajzolódnak ki a magasabb hegységek vonulatai, északon a Zempléni-, a Visegrádi-hegység, a Mátra, a Bükk, a Börzsöny és a Budai-hegység, nyugaton a Bakony környéke, a Dunántúli-dombság és a Mecsek.

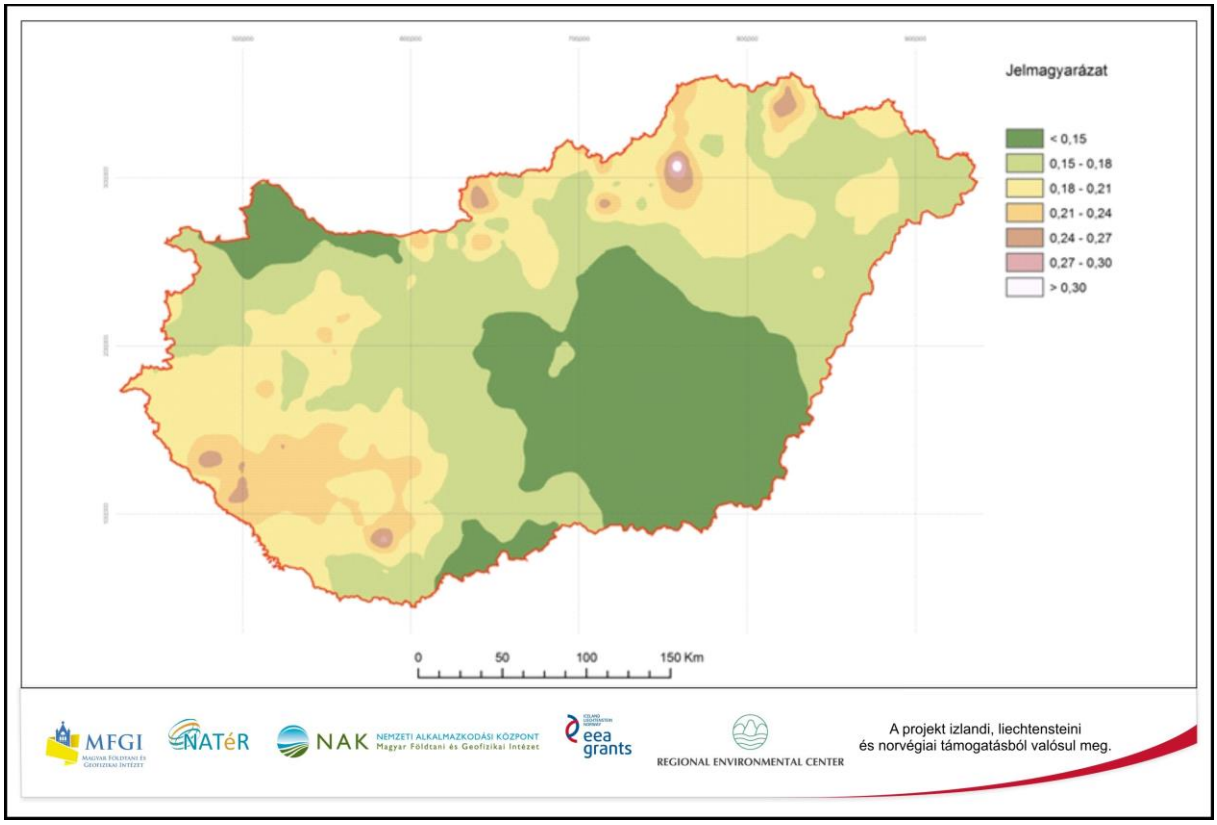
A téli és nyári hidrológiai félévek csapadékösszegeinek hányadosából egy dimenzió nélküli arányszámot kapunk, amely kifejezi az egymást követő hidrológiai félévek csapadékösszegeinek egymáshoz képesti viszonyát. Ha az így kapott arányszám egynél kisebb, az adott év nyári félévének csapadékösszege meghaladja a rákövetkező téli félév csapadékösszegét, ellenkező esetben a téli félévhez kapcsolódik a több csapadék. Minél nagyobb a csapadékarány abszolút értékben vett eltérése egytől, annál nagyobb a különbség az egyes hidrológiai félévek csapadékösszegei között. A CarpatClim-Hu adatokból számított átlagos csapadékarány értékek területi eloszlását mutatja be az 5. ábra az 1961–1989 időszakra.



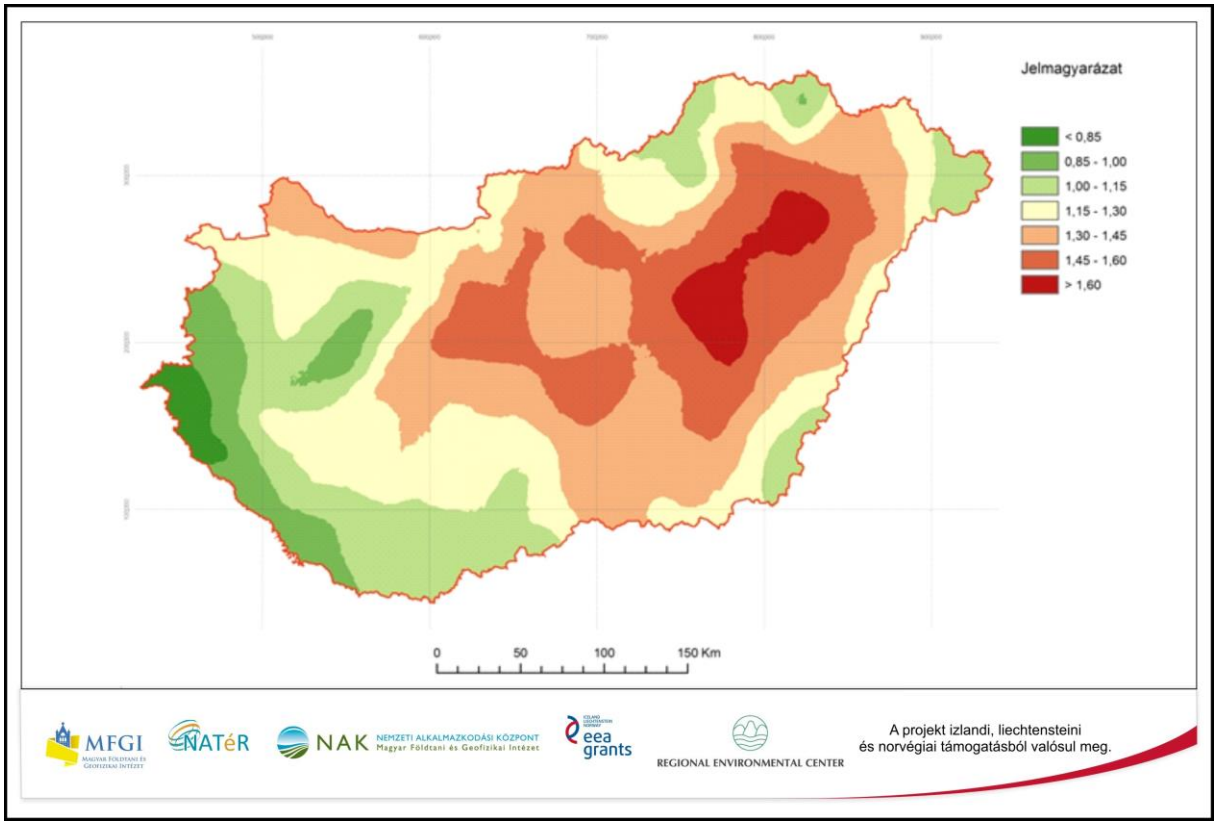
5. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadék arányainak területi eloszlása az 1961–1989 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

Az ábrán látható, hogy az esetek többségében a nyári félévre jellemző a csapadék nagyobb mennyisége, elvétve találunk olyan területeket – a vizsgált időszakban a főváros körzetében -, ahol az arány fordított. Az eredmények alapján az egymást követő hidrológiai félévek csapadékösszegei a középső országrészben térnek el a legkevésbé egymástól, a nyugati, valamint az északkeleti területek felé haladva a nyári félévek csapadéka egyre inkább meghaladja a téli félévekét.

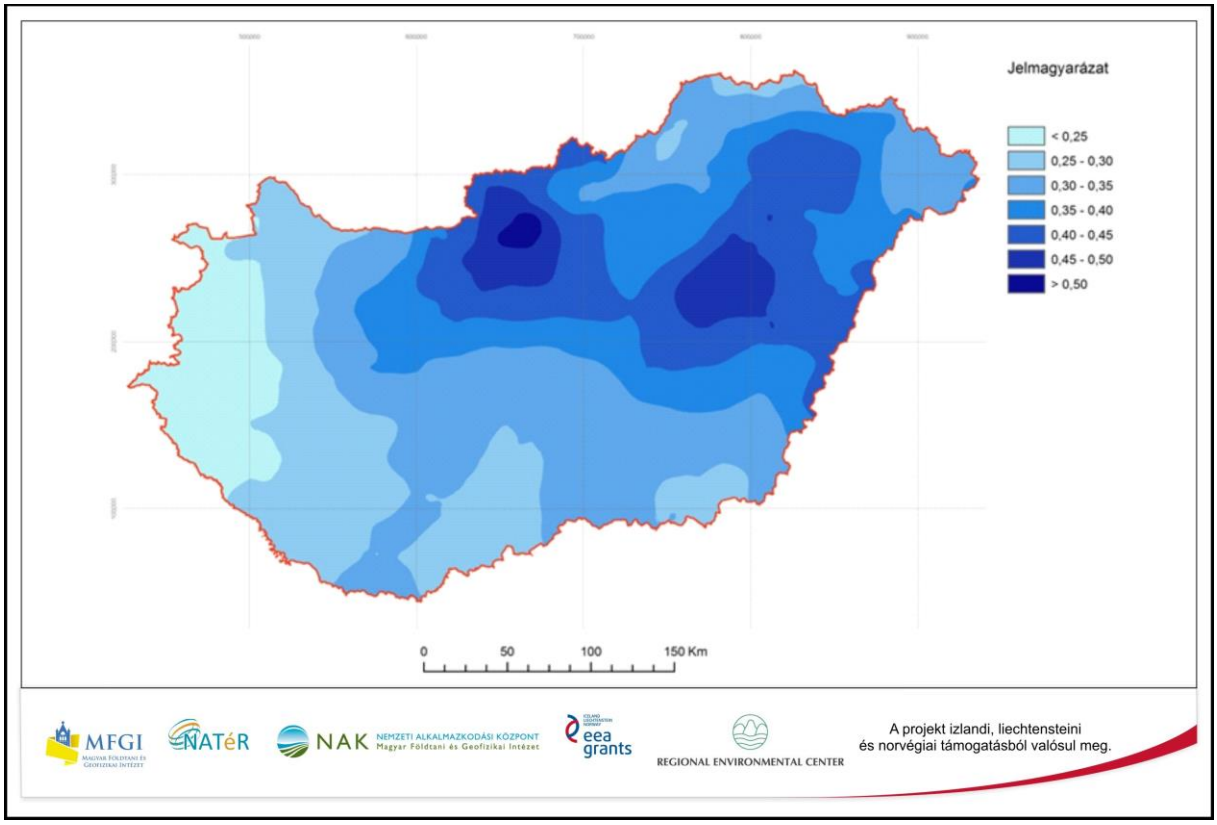
Ha meghatározzuk az egyes indikátorok évi értékeinek a vizsgált időszakon belüli szórását, az indexek változékonyságára, közvetve pedig a terület éghajlati kitettségére vonatkozóan kapunk információt. A 6–8. ábrák az ariditási index, a PaDI, valamint a csapadékarány évi értékeinek szórását jelenítik meg az 1961–1990 időszakra.



6. ábra. A UNEP ariditási index szórásának területi eloszlása
az 1961–1990 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján



7. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex szórásának területi eloszlása az 1964–1990 időszakban
a CarpatClim-Hu adatbázis alapján



8. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányainak szórása az 1961–1989 időszakban a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

Az ariditási index értékének legnagyobb ingadozása a referencia időszakban a domb- és hegyvidékeken jellemző. Mivel az ariditási index közvetlenül a csapadék és a potenciális evapotranszspiráció hányadosaként áll elő, a csapadékviszonyok ingadozása meghatározó az index változékonysága szempontjából. A csapadék mennyisége a hegy- és dombvidékeken változik a leginkább.

A módosított Pálfai-féle aszályindex ingadozása a síkvidékeken mutatkozik a legnagyobbnak, így ezek a területek vannak a leginkább kitéve a szárazsági viszonyok változékonyságának. A jellemzően csapadékosabb hegy- és dombvidéki régiók, mint a Mátra, a Bükk, a Zempléni-hegység, vagy a Bakony térségei, kitettsége – ahogy az ábrán is látható – kisebb mértékű. Figyelembe kell venni azonban, hogy az index megfogalmazásából adódóan a domborzati hatást erősen leegyszerűsítve veszi számításba, így elsősorban a síkvidéki területekre ad pontosabb értékeket.

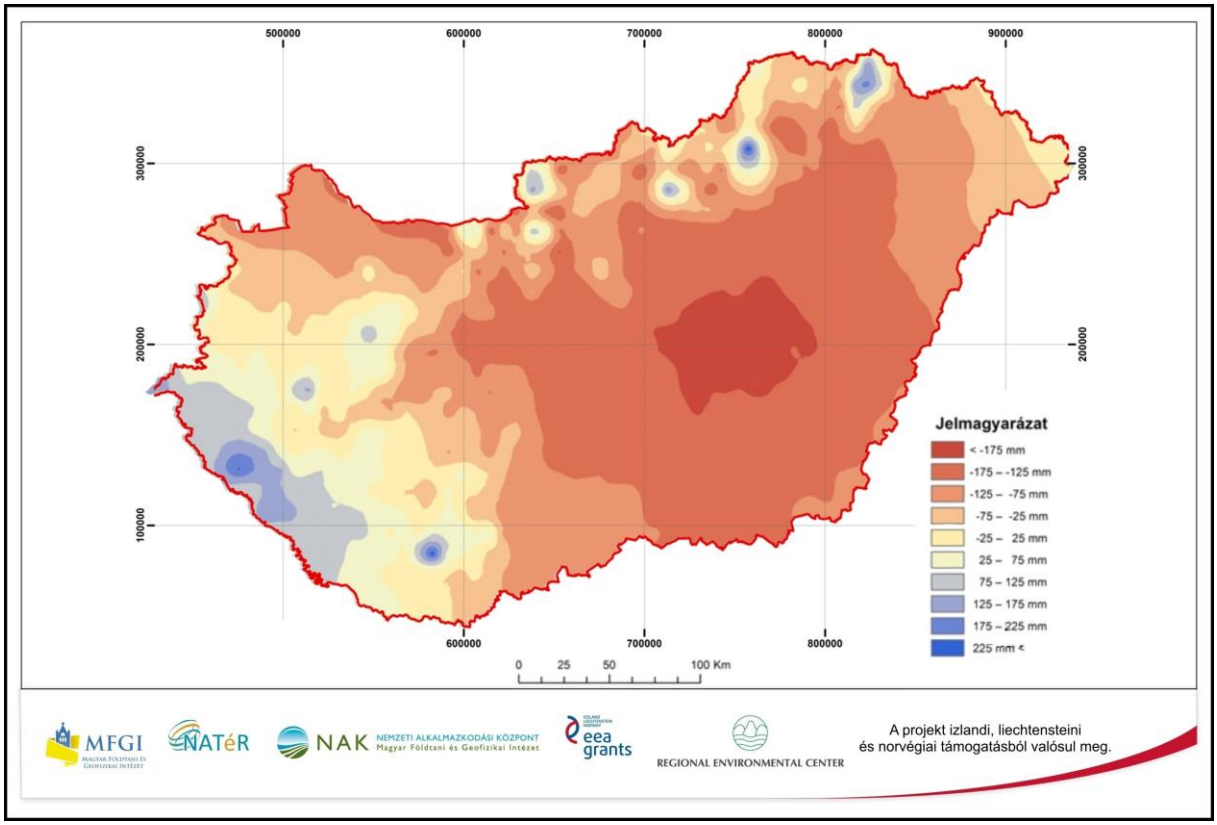
Az egymást követő téli és nyári hidrológiai félévek csapadékösszegei a CarpatClim-Hu adatok alapján a Duna-Tisza közének északi részén, valamint a Tiszántúl középső régióiban szórnak a leginkább, a nyugati és északkeleti területek felé haladva a változékonyság egyre kisebb.

Az elmúlt időszakra jellemző éghajlati tendenciák megfigyelésére kiszámítottuk a CarpatClim-Hu adatbázis öt évtizedének átlagértékeit minden vizsgált indikátorra. Mivel a PaDI kiszámításához szükség van a vizsgált időpontot megelőző három év csapadék adataira, releváns értékeink – az előzőekben már említett módon – csak az 1964-es évtől vannak, így az első évtizedre vonatkozó átlagértékek csupán hét évet fognak át (1964–1970). Hasonlóan a csapadékarány esetében, ahol adott évre vonatkozó arányszám a következő évbe átcsúszó téli félév figyelembevételével áll elő, az

utolsó év adatát nem tudjuk kiszámítani, ezért az utolsó évtized átlaga kilenc év adataiból került meghatározásra (2000–2009).

Az egymást követő évtizedekben a vizsgált indikátorok kissé eltérő tendenciát mutatnak, az alapvető jellegzetességek tekintetében azonban az eredmények átfednek. Általánosságban elmondható, hogy a hatvanas évektől a következő évtizedekre Magyarország éghajlata fokozatosan szárazabbá vált, mely tendencia a kétezres évekhez közeledve megfordult és egy nedvesebb időszak vette kezdetét. A kétezres évek első évtizede a szárazság jelentős enyhülését hozta az azt megelőző időszakokhoz képest.

A klimatikus vízmérleg elemzésével a vizsgált régiók vízellátottságáról kapunk információt. A 9. ábra az 1961–1990-es referencia időszakra jellemző átlagos éves klimatikus vízmérleg területi eloszlását mutatja a CarpatClim-Hu adatbázis alapján.



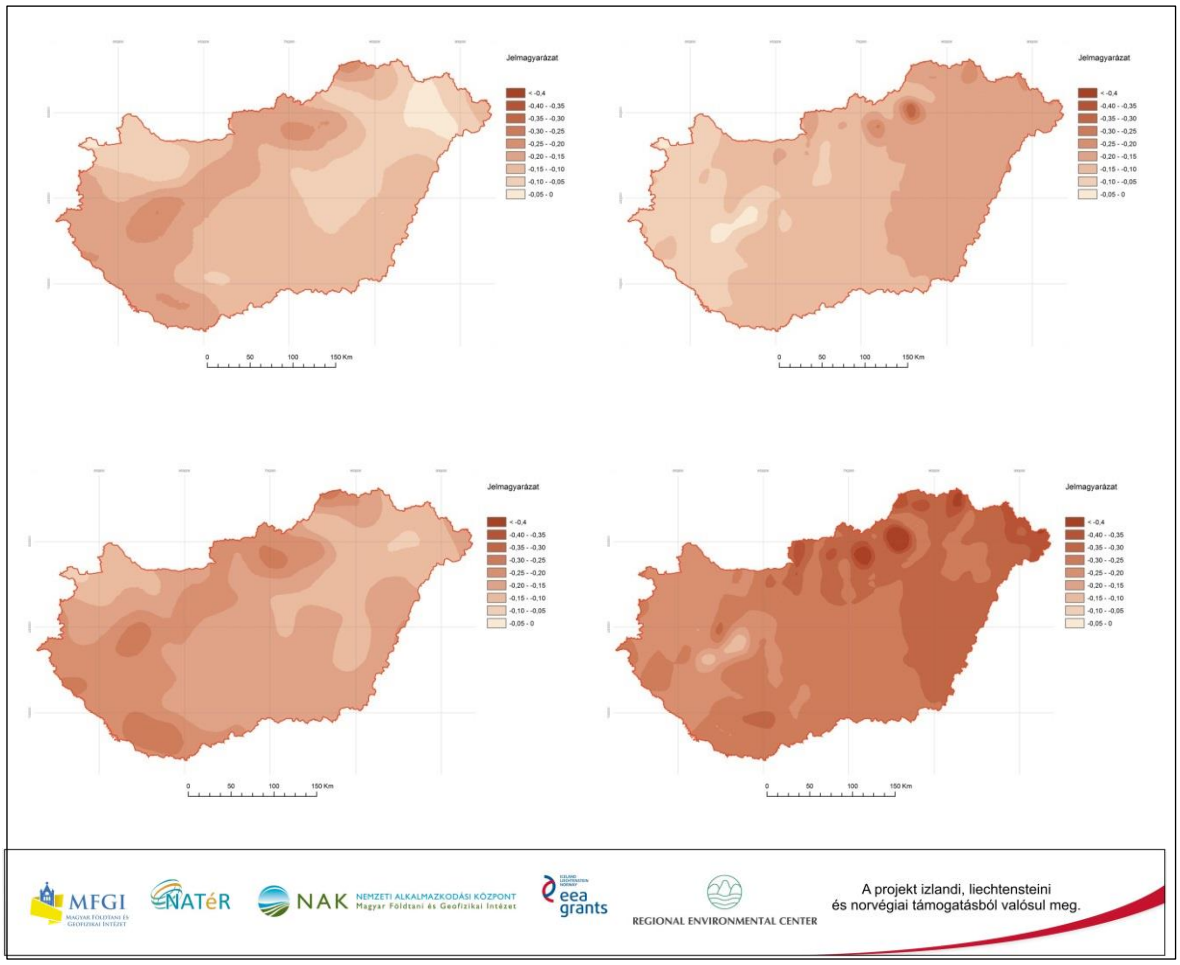
9. ábra. Az átlagos éves klimatikus vízmérleg területi eloszlása az 1961–1990 referencia időszakra a CarpatClim-Hu adatbázis alapján

A 9. ábrán nyomon követhető, hogy az ország mely területei bővelkednek csapadékban és melyek azok a régiók, ahol jobbára a vízhiány a jellemző. Összhangban az előzőekben bemutatott eredményekkel, a vízmérleget vizsgálva az alacsonyabban fekvő területek mutatkoznak a legszárazabbnak. Az ország legnagyobb részén az éves vízmérleg negatív, vagyis az elpárologtatható víz mennyisége meghaladja a lehulló csapadékét. A legjelentősebb vízhiány az Alföld középső területeit érinti. A tengerszint feletti magasság emelkedésével a vízmérleg egyre inkább a pozitív értékek felé tolódik el, a hegyvidékes régiókban, illetve a Dunántúl délnyugati részén a csapadék többlet a 200 mm-t is meghaladhatja.

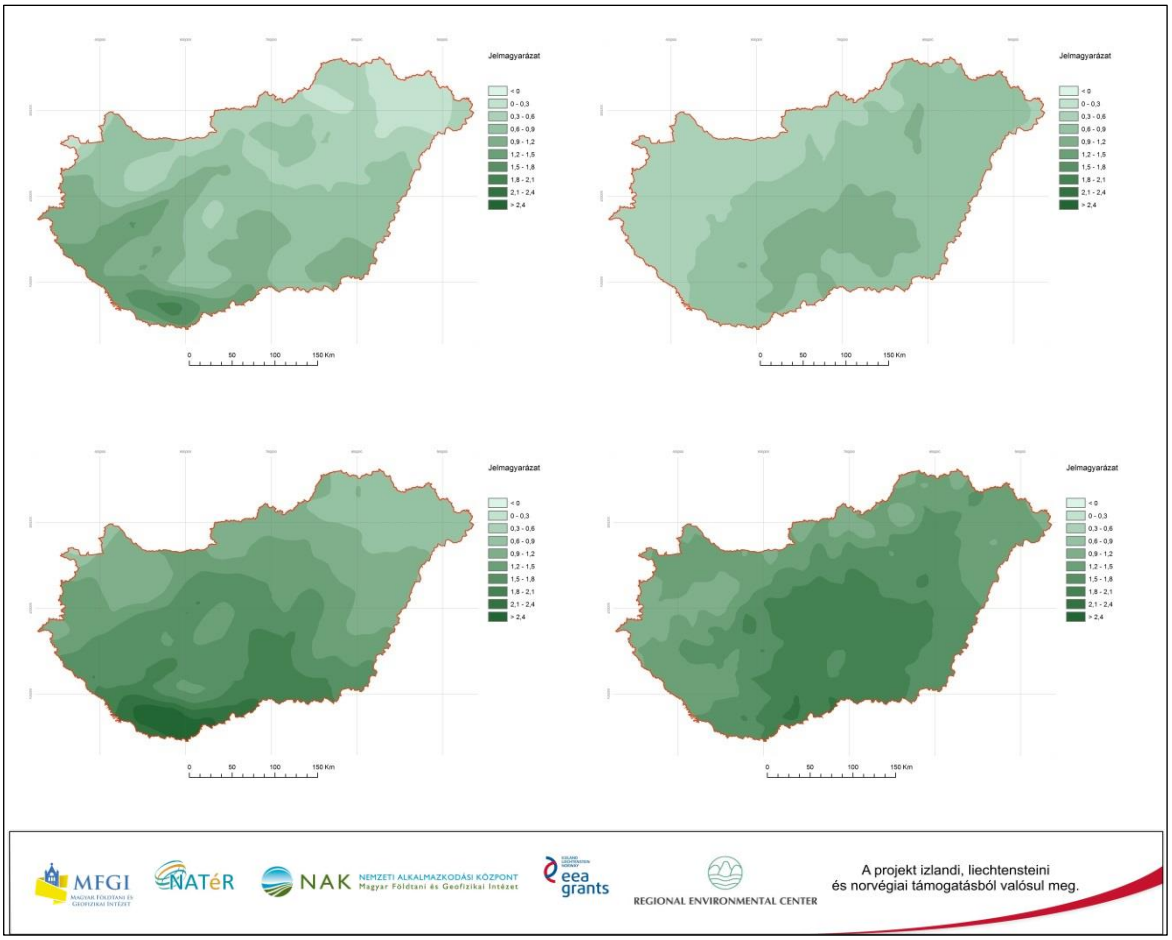
4.1.3 Várható jövőbeli tendenciák az ALADIN-Climate és a RegCM modellek szimulációi alapján

A klímamodellek adatainak elemzésével képet kaphatunk Magyarország éghajlati viszonyainak lehetséges jövőbeli alakulásáról. Elemzésünkhöz két klímamodell, az ALADIN-Climate és a RegCM modellek adatai álltak rendelkezésre, melyek egy közepesen optimistának számító klímaszcenárió, a SRES A1B forgatókönyv feltételezésével készített szimulációk alapján álltak elő. A jövőbeli várható változások megjelenítésére minden esetben az indikátor referencia időszakhoz képesti változását határoztuk meg. Az elkészült különbség térképek a 10–12. ábrákon láthatók, ahol a két felső térkép a 2021–2050, a két alsó a 2071–2100 időszakra történő várható változások területi eloszlását reprezentálja, a bal oldalon a RegCM, a jobb oldalon pedig az ALADIN-Climate modellek eredményei alapján.

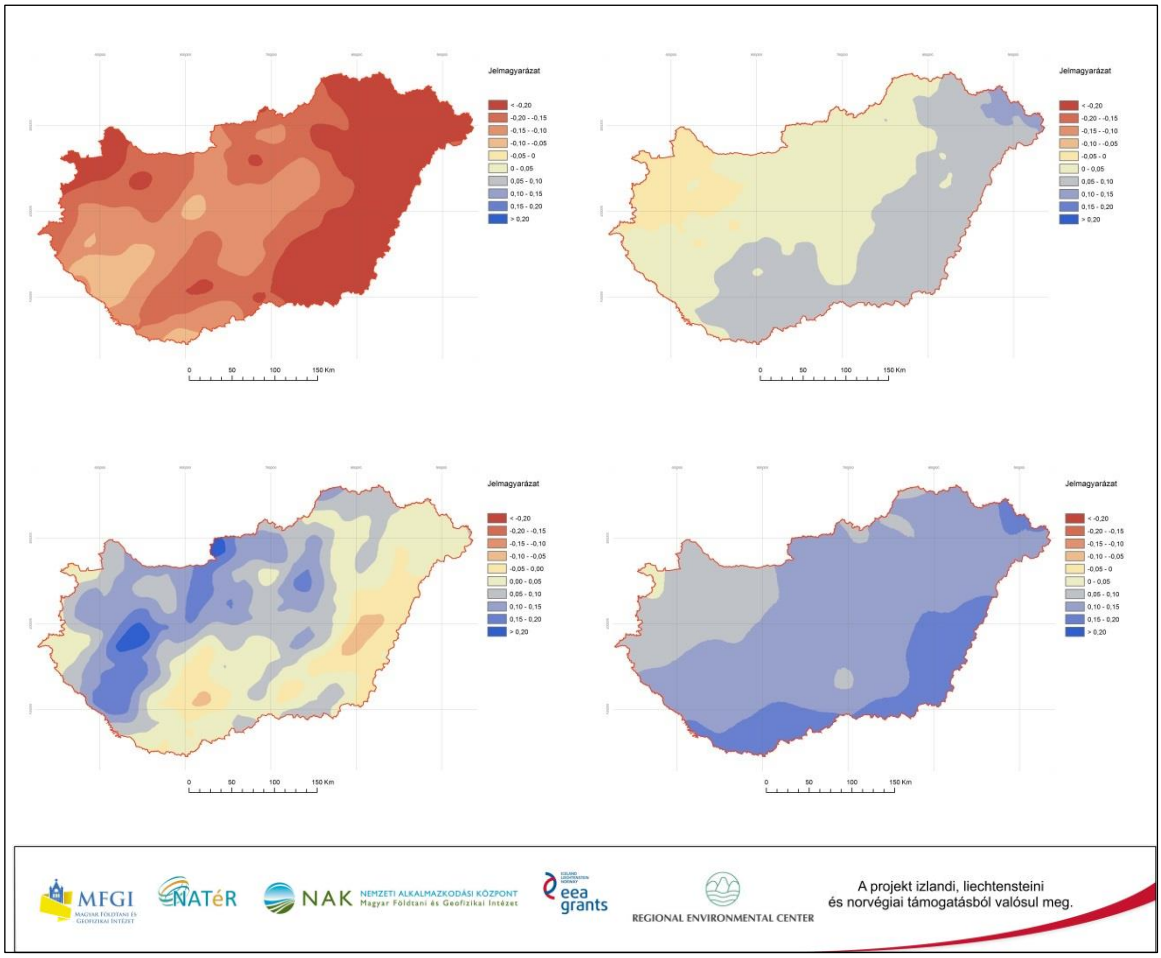
A klímamodellek adatainak elemzése során fontos szem előtt tartani, hogy a modell szimulációk minden esetben magukban foglalnak bizonyos fokú bizonytalanságot, melyből adódóan a különféle modellek eredményeiben sok esetben eltérések, olykor ellentmondások tapasztalhatók (Szépszó et al., 2015). A klímamodellek célja a teljes éghajlati rendszer viselkedésének leírása, mely a folyamatok összetettsége miatt csak közelítőleg lehetséges. A bizonytalanságok oka a közelítések, számítási módszerek, parametrizációk különbözőségében keresendő. Az éghajlat jövőbeli alakulásának vizsgálata során ezért célszerű az elemzéseket több modell eredményeire alapozva is elvégezni.



10. ábra. A UNEP ariditási index változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján



11. ábra. A módosított Pálfai-féle aszályindex változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján

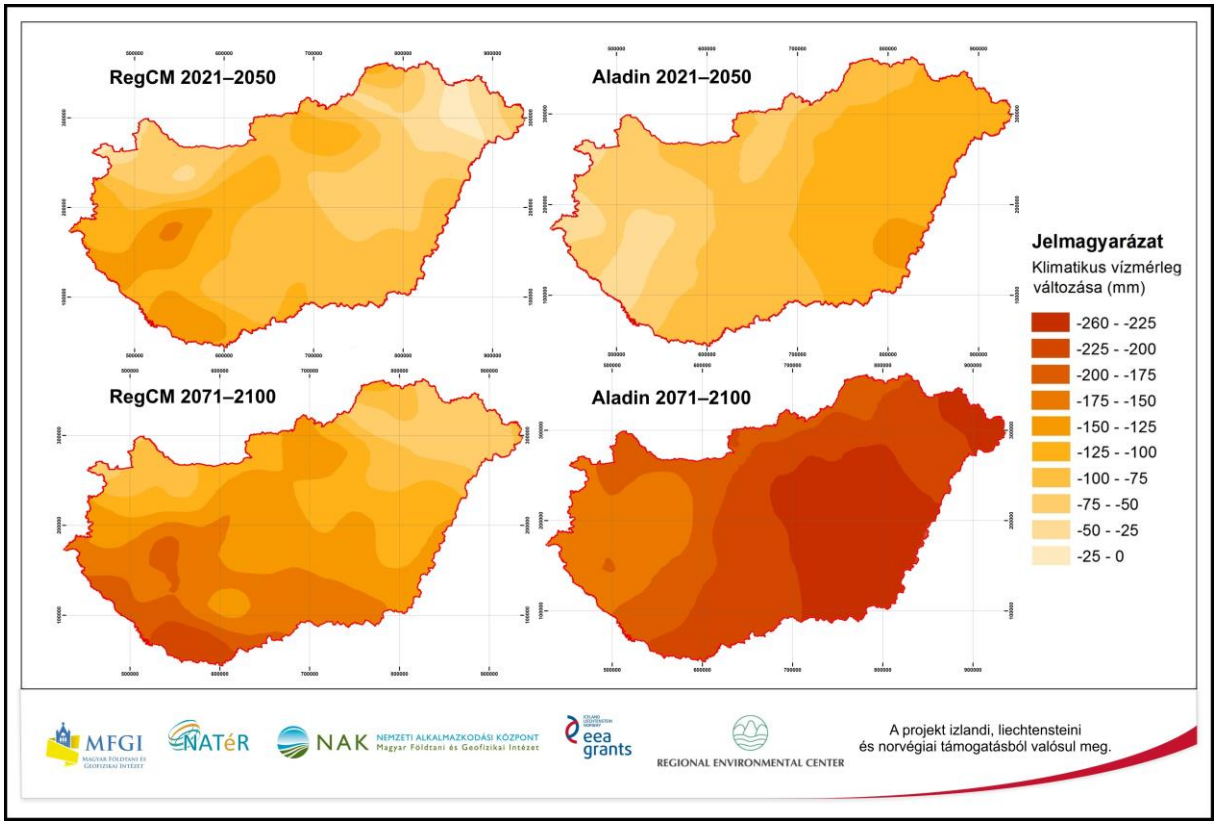


12. ábra. A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányainak változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján

Az ALADIN az ariditási indexnek az ország nyugati részeitől a keleti területek felé haladva egyre nagyobb, negatív irányú változását vetíti előre, amely a különböző régiók eltérő mértékű, de egységes szárazodására utal. A század végére a szárazodás várhatóan még intenzívebbé válik. A legnagyobb mértékű változás az ország északi hegységeit, a Zempléni-hegység, a Cserehát, a Bükk, a Mátra és a Börzsöny környékét érinti. A RegCM eredményeiből az ALADIN-hoz hasonlóan az ariditás általános erősödésére következtethetünk a jövőben, a változás mértékére azonban a klímamodellekben tapasztalható különbségből adódóan (SZÉPSZÓ et al. 2015) másféle területi eloszlást kapunk. A RegCM a változásban legkevésbé érintett területeket északkeletre és északnyugatra helyezi, az ország középső, valamint a nyugati, délnyugati részeire intenzívebb aszályosodást feltételez. Egyes hegységeink, mint a Mátra, a Bükk, a Bakony, vagy a Mecsek vonulatai a RegCM adatai alapján készült térképeken is kivehetők, ezeken a területeken várhatóan erőteljesebben jelentkezik a szárazodás. A módosított Pálfai-féle aszályindex jövőbeli alakulására az ALADIN és a RegCM többnyire egységes becslést ad, mely szerint a szárazság erősödése leginkább a középső és a déli országrészekben valószínű, az északi, északnyugati, a RegCM szerint az északkeleti területek is kevéssé érintettek. A RegCM eredményei alapján a 2021–2050-es időszakra a PaDI helyenként – leginkább északkeleten – akár csökkenhet is, a század végére azonban mindkét modell a szárazság egyértelmű erősödését vetíti előre Magyarország teljes területére.

A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányának alakulására a 2021–2050-es időszakban a két modell eredményei eltérő képet adnak. Az eltérés itt is a klímamodell eredményekből származtatható (SZÉPSZÓ et al. 2015). Az ALADIN kismértékű, az ország nagy részén negatív, a déli és a keleti régiókban pozitív irányú változást becsül. A RegCM az arányszám csökkenését vetíti előre az ország teljes területére, ahol erőteljesebb változás leginkább a keleti területeket érinti. A század végére a csapadékarány értékének nagytérségű növekedése várható mindkét modell szimulációt alapul véve, ami a téli félév csapadékösszegének növekedését, illetve a nyári csapadék csökkenését jelenti. A legerőteljesebb pozitív irányú változás az ALADIN adatok alapján délen, délkeleten, a RegCM szerint a Közép-Dunántúl és az északi régió egyes térségeiben valószínű. Helyenként – délen és délkeleten – a RegCM a századvégi periódusra is az arányszám csökkenését feltételezi. Összességében elmondható, hogy a klímamodellekkel végzett szimulációk a hidrológiai félévek csapadékösszegeinek a téli félév felé történő eltolódására utalnak az ország nagy területén, amely tendencia a nyári félévek szárazabbá válását hozza magával.

A Közép- és Kelet-Európát érintő klímaváltozás és következményei vizsgálata céljából létrehozott CLAVIER (CLimate ChAnge and Variability: Impact on Central and Eastern EuRope) projekt keretein belül folytatott kutatás eredményeinkkel összhangban lévő következtetésekre jutott. A REMO klímamodell adatai alapján végzett elemzések a közép-európai régió nyári csapadékának nagytérségű csökkenésére utalnak, a várható téli csapadékösszeg ezzel szemben növekszik.



13. ábra. A klimatikus vízmérleg várható változása a 2021–2050 (a, b), valamint a 2071–2100 (c, d) időszakokra a RegCM (a, c), illetve az ALADIN-Climate (b, d) adatok alapján

A referencia időszakra jellemző átlagos klimatikus vízmérleg várható jövőbeli változását a 13. ábra foglalja össze. A két különböző klíma projekció egységesen a vízmérleg negatív irányú eltolódását vetíti előre az ország egész területére. A vízellátottság legnagyobb mértékű csökkenését az ALADIN-Climate az Alföld keleti részére, a RegCM ezzel szemben délnyugatra helyezi. A legkevésbé érintett területek a szimulációk alapján a nyugati, északi, észak-nyugati régiókra helyeződnek. A szárazodás az idővel egyre intenzívebben jelentkezik, a század végére a vízmérlegben bekövetkező negatív irányú változás helyenként akár a 200 mm-t is meghaladhatja.

4.2 Felszíni vizek vízjárásából adódós kitettség

Parti szűrésű vízbázisaink a Duna, Tisza, Rába, Dráva és a Hernád mentén helyezkednek el. A vízbázisok üzembiztonságára a szélsőségesebbé váló időjárás hatására egyre gyakrabban jelentkező kisvízi állapotok, illetve az árhullámok jelentenek fenyegetettséget.

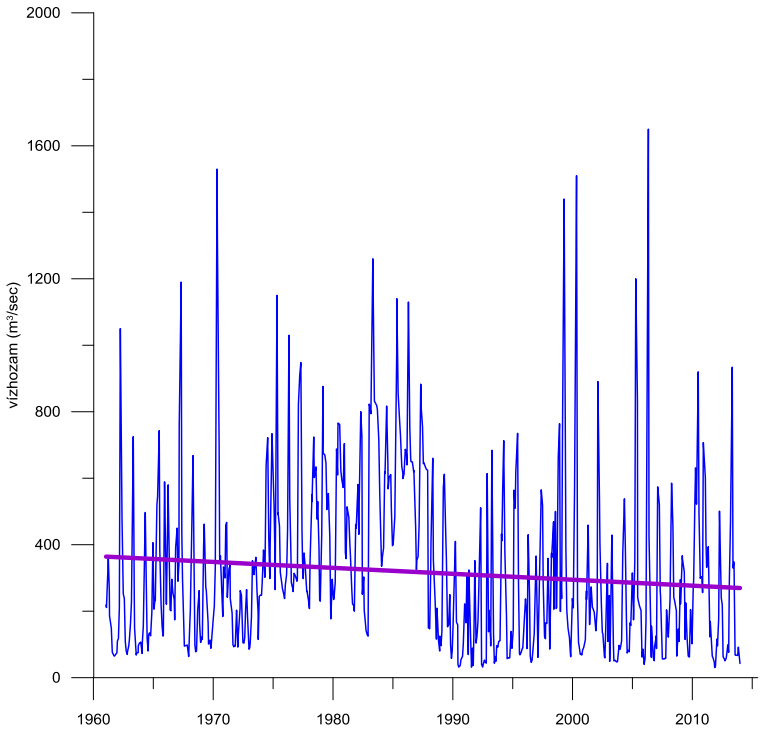
A vízfolyások vízjárása által okozott kitettséget az Országos Vízügyi Főigazgatóságtól (OVF) beszerzett, 1960-2013 közötti mérési adatsorok elemzése alapján jellemeztük. Az elemzéshez a folyók különböző szakaszain, lehetőség szerint a parti szűrésű vízbázisok közelében, kiválasztott mérőhelyek adatsorainak napi átlagos, havi átalagos, havi legkisebb, illetve havi maximális vízhozam értékeit használtuk fel. Nem használtuk azoknak a mérő állomásoknak az adatait, ahol egyértelműen emberi beavatkozás hatására megváltozott vízjárással kellett számolni. A kitettség jellemzéséhez kiválasztott mérőhelyek adatait a 4. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat. A parti szűrésű vízbázisok kitettségi indikátorainak meghatározásához használt mérőhelyek legfontosabb adatai

Mérőhely azonosítója	Vízfolyás	Állomás neve	EOV X	EOV Y	Vízmérce "0" pontja (mBf)
000005	Duna	Komárom	267810	579960	103,88
000547	Duna	Dunaújváros	181880	642362	90,295
001021	Duna	Vác	270611	655530	98,115
001026	Duna	Budapest	238946	648561	94,97
000831	Duna	Mohács	72070	622654	79,2
000011	Rába	Árpás	242212	526018	113,13
000344	Rába	Sárvár	213634	491535	149,86
001515	Tisza	Tivadar	308128	908829	105,4
001722	Tisza	Tiszapalkonya	285238	800352	87,28
002046	Tisza	Szolnok	204000	737000	78,78
002275	Tisza	Szeged	101000	735000	73,70
000835	Dráva	Barcs	68688	525528	98,14
000836	Dráva	Drávaszabolcs	49181	584216	86,76
001734	Hernád	Gesztely	308886	792475	108,06

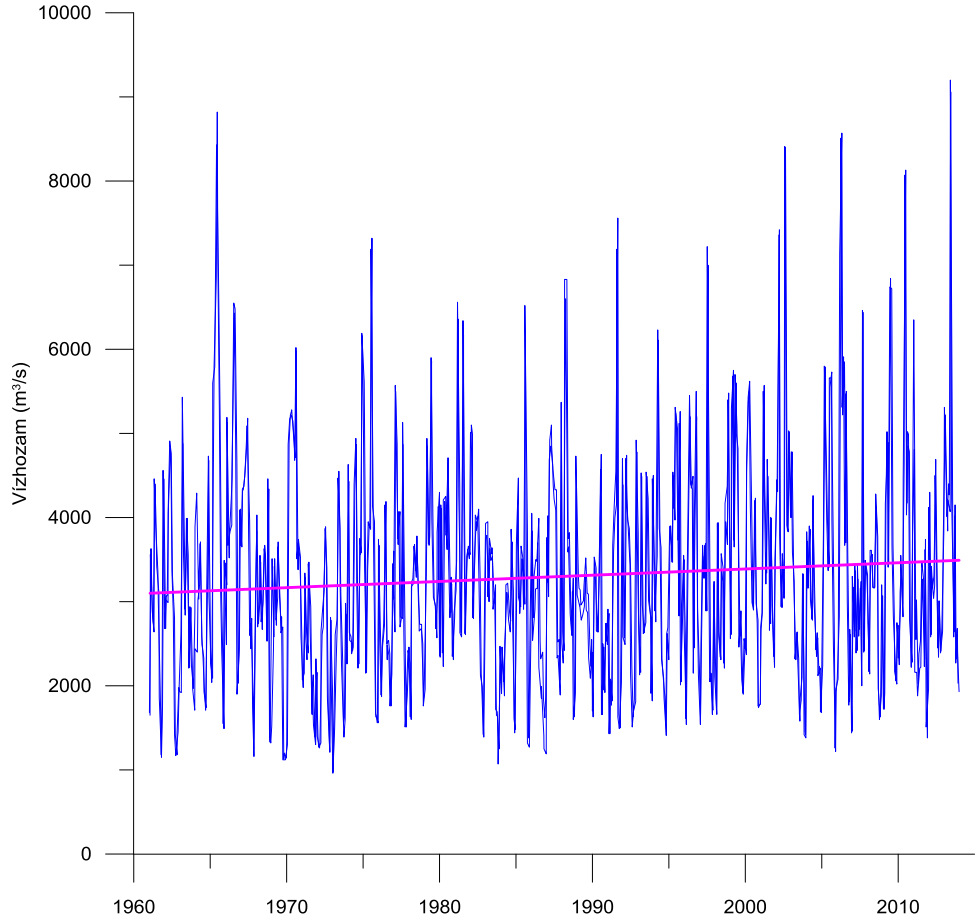
A kitettség jellemzésére megvizsgáltuk a parti szűrésű rendszerek üzemeltetése szempontjából kedvezőtlen állapotokat, amelyeket a folyók különböző időtartamokra számított közepes kisvízi és közepes nagyvízi adatsorai képviseltek.

A vízhozam mérések havi minimum értékeiből szerkesztett idősorok általában a kisvízi vízhozamok csökkenő trendjét mutatták (14. ábra).



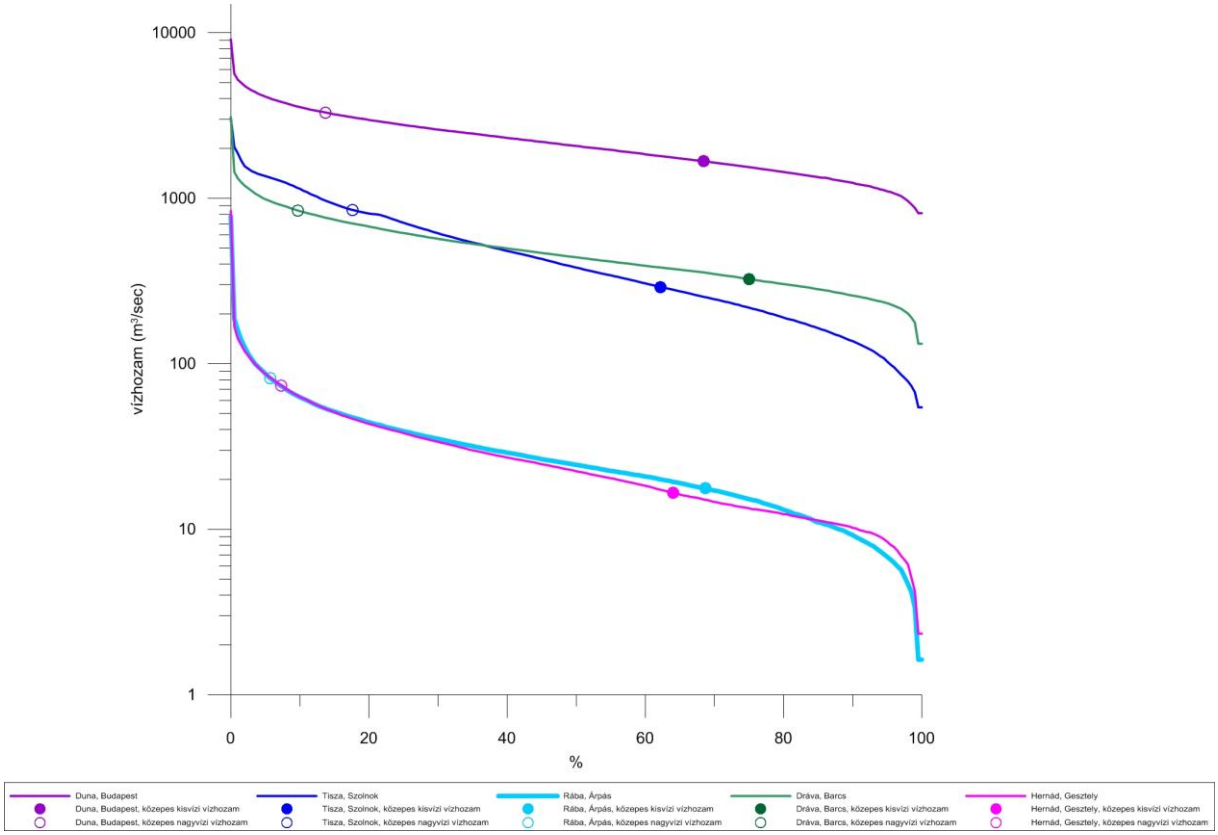
14. ábra. A Tisza havi vízhozam minimumainak alakulása az 1960-2010 közötti időszakban a tiszapalkonyai 1722 jelű mérőhelyen

A közepes nagyvízi vízhozam adatsorok kevésbé egységes képet mutatnak. A Duna és a Hernád közepes nagyvízi vízhozam idősora egyértelmű emelkedő trendet mutat. Kisebb mértékű emelkedés tapasztalható a Tisza adatsorában is, azonban a Rába és a Dráva közepes nagyvízi vízhozam értékeire csökkenő trend jellemző (15. ábra).



15. ábra. A Duna havi vízhozam maximumainak alakulása az 1960-2010 közötti időszakban a budapesti 1026 jelű mérőhelyen

A kisvízi és nagyvízi állapotok által jelentett kitettséget az 1961-2013 időszak napi adataiból számított tartóssági értékekkel is jellemeztük, ahol kiemeltük a teljes időtartamra vonatkozó havi adatokból meghatározott közepes kisvízi és közepes nagyvízi vízhozam értékét. A tartóssági görbéket a 16. ábrán a folyók vízhozam értékeiben jelentkező nagy különbségek miatt szemilogaritmikus skálán ábrázoltuk.



16. ábra. A Duna havi vízhozam maximumainak alakulása az 1960–2010 közötti időszakban a budapesti 1026 jelű mérőhelyen

A parti szűrésű rendszerekhez kapcsolódó folyók esetében nem találtunk jelentős eltérést a kitettségben. Mindemellett a legnagyobb kitettséggel a Tisza rendelkezik. A Tiszán mind a kisvízi állapot, mind a nagyvizek nagyobb százalékban fordulnak elő, mint a többi érintett folyón. A tartóssági elemzés alapján a kiválasztott folyók közül a legkiegyenlítettebbnek a Dráva vízjárása tekinthető.

A parti szűrésű rendszerek éghajlati kitettségét, illetve ennek várható változását nehéz előre jelezni. A nehézséget nagymértékben az jelenti, hogy a regionális klímamodellek a csapadék mennyiségének alakulását nagy bizonytalansággal tudják megadni, az általunk alkalmazott ALADIN-Climate és RegCM modellek egyes időszakokra egymásnak ellentmondó eredményeket mutatnak (SZÉPSZÓ et al. 2015). További nehézséget okoz, hogy a folyók vízjárását befolyásoló csapadék jelentős része az országhatáron kívülről származik, amely adatokat nem tartalmazza a NATéR kidolgozása során alkalmazott CarpatClim-Hu adatbázis.

Figyelembe kell venni azonban, hogy a folyók vízjárását az éghajlat változásán kívül olyan emberi tevékenység is befolyásolhatja, mint a folyó felsőbb szakaszának vízgyűjtőjén a területhasználatokban bekövetkező változás, illetve az elvégzett vízrendezések.

A parti szűrésű rendszerek kitettségének pontosítása tehát további részletes kutatást igényel.

5 IVÓVÍZBÁZISOK KLÍMAÉRZÉKENYSÉGE

A klímaváltozás hatása a felszín alatti vizekre nem olyan közvetlen és nagymértékű, mint a felszíni vizek esetében, illetve gyakran csak a többéves hatások eredményei figyelhetők meg. Ezek a változások azonban, kevés kivételtől eltekintve, hosszú ideig érvényesülnek, és a kedvezőtlen hatás megszűntével pedig csak nagyon lassú folyamatok révén állítható vissza az eredeti állapot.

A felszín alá szivárgó vizek további mozgására a járatokkal rendelkező karsztrendszerek kivételével a rendelkezésre álló pórustérben, illetve repedéseken keresztül van lehetőség, amely a felszíni folyamatokhoz viszonyítva jelentősen lelassítja a víz mozgását, a végbemenő folyamatokat. Mivel a porozitás mértékét földtani folyamatok szabályozzák, a felszín alatti ivóvízbázisok klíma-érzékenységét tehát a vízbázis, illetve utánpótlódási területének geológiai és hidrogeológiai adottságai határozzák meg.

5.1 Érzékenységet befolyásoló tényezők

A különböző földtani környezeteket reprezentáló hidrológiai rendszerek más-más éghajlati elem változékonyságára érzékenyebbek. A Magyarországon tipikus, nagyobb földrajzi és földtani egységekhez kapcsolódó hidrogeológiai rendszereket a klímaváltozás várható hatása alapján az alábbiak szerint csoportosíthatjuk (ROTÁRNÉ és TÓTH 2007):

- Karsztos és hegyvidéki területek
- Üledékes mélymedencék területei
  1. Löszös dombvidékek
  2. Homokhátságok
  3. Magas talajvízállású, síkvidéki területek
- Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolódási területe

5.1.1 Karsztos területek

A karsztos területek felszín alatti vízháztartása érzékenyen és gyorsan reagál az éghajlati viszonyok változásaira. Tartósan csökkenő csapadékmennyiség esetében a karsztrendszer dinamikus készlete leürülhet, a statikus készlet a későbbi megnövekedő beszivárgás esetében is csak lassan, hosszabb időszak alatt áll vissza az eredeti szintre.

A csapadék mennyiségének növekedése esetében, valamint a változékonyra forduló éghajlat esetében gyakrabban lezúduló hirtelen záporok hatására a karsztos területeken, különösen a járatokkal rendelkező karsztvidékeken, jelentős árvízi forrás vízhozamokkal kell számolni. A karsztos árvizek sajátossága, hogy a csapadékhullást követően néhány órával hirtelen jelentkeznek és a felszínről szennyező anyagokat juttathatnak az ivóvízrendszerekbe.

A Bükk-hegység területén elsősorban nyíltkarsztos, járatokkal rendelkező területek az uralkodók. Az ivóvízcélú karsztvíz kivételek által jelentett igénybevétel miatt a karsztrendszer rendkívül érzékeny a szélsőséges időjárás okozta csapadékszegény időszakokra is. A vízkivétel mértéke hosszabb-rövidebb időszakokra meghaladta a dinamikusan utánpótlódó készleteket (Lénárt, 2006). Ez különösen a hosszabb, száraz (csapadékmentes) időszakokban jelent problémát.

A Dunántúli-középhegység karsztrendszere a bükki karszthoz viszonyítva kevésbé érzékeny az éghajlati szélsőségekre, azonban az elmúlt évtizedek műszeres mérései alapján tartósabb éghajlati változások és az extrém események hatásai megjelennek a térség vízháztartásának alakulásában. A Dunántúli-középhegység területén a különböző karsztosodott karbonátos képződmények egymással jó hidraulikai kapcsolatban vannak, ezért vízföldtani szempontból egységes összletnek tekinthetők. Fiatalabb üledékes kőzetekkel fedve a mélyben Ny, DNy felé a szlovén határig terjednek, míg K-en, ÉK-en a Duna vonalán túl is követhetők. A nyíltkarsztos beszivárgási területeken azonnal, illetve a közvetlen kapcsolatban álló fedett karsztos vízadókban már kissé késleltetve, míg nagy regionális áramlási rendszer mélyebb zónájában elhelyezkedő karsztos vízadókban tompítva, jelentős késéssel jelentkeznek az éghajlati változások által eredményezett hatások. Hasonló tendenciák figyelhetők meg a Mecsek és a Villányi-hegység karsztos területein is.

5.1.2 Üledékes mélymedencék területei

A neogén porózus üledékekkel kitöltött medencékben a klímaváltozás hatása mélységfüggő, elsősorban a sekélyebb zónákban jelentkezik. A nagyobb mélységek felé az éghajlat tartós megváltozása közvetetten, az áramlási és utánpótlódási viszonyok megváltozásából adódó, nyomás terjedés révén érvényesülő, hidraulikus potenciálszint változások formájában jelentkezik. Ezek a hatások azonban nehezen választhatók szét más, az emberi tevékenységből adódó változásoktól.

A sekélyebb zónákban végbemenő változásokat a földtani adottságokon kívül az áramlási rendszerben elfoglalt helyzet is befolyásolja. Ezek alapján eltérő klíma-érzékenységet mutatnak a löszös dombvidékek, a homokhátságok, illetve a magas talajvízállású, síkvidéki területek.

5.1.2.1 Löszös dombvidékek

A Dunántúli-dombság területére jellemző löszös dombvidékek általános vonása a lösz-, agyagos lösz rétegek alsó részén (esetenként a löszsorozat alatti rétegekben jelentkező) nagyobb mélységű (általában 10 m-t meghaladó, helyenként 30 m mélységet is elérő), talajvíztükör. A gyenge vízvezető képességű, de nagy tárolókapacitású löszös talajzónákban a beszivárgás kicsi, majd ezt követően a nedvességmozgás a talajvízig igen lassú, egyenletes folyamat. Ennek következtében a talajvízszint változékonysága kicsi, csak a többéves beszivárgási tendenciákat követi kis mértékben.

A szélsőséges éghajlati változások hatása a felszín alatti vizekre ezeken a területeken tehát kevésbé látványosan jelentkezik. A meghatározó időszakokban (elsősorban a téli félévben) lehulló csapadékmennyiség csökkenésének hatására a beszivárgás is csökken, azonban mindez akár több éves, évtizedes késéssel mutatkozik meg a csökkenő talajvízszintekben. Növekvő csapadékos időszakok hasonlóan hosszú idő alatt eredményezhetik a talajvízszint lassú, elhúzódó emelkedését.

5.1.2.2 Homokos hátságok

A Duna–Tisza közén, illetve a Nyírség területén található homokos hátságok szintén sajátos hidrogeológiai adottságokkal rendelkeznek, ezek képviselik az Alföld helyi beszivárgási területeit. A felszínen több méter vastagságban található, jó vízvezető képességű homokos rétegeken keresztül a lehulló csapadék jelentős része beszivárog a felszín közeli talajvíztartó rétegekbe. A megelőző időszak párolgására a homokrétegek nedvességtartalma csak korlátozottan csökken, így kismértékű csapadékhullás is elég a beszivárgást kiváltó telítettség kialakításához. A talajvíz szintje érzékenyen

követi a lehullott csapadékmennyiség változásait. Fentieknek megfelelően a klímaváltozás hatása itt elsősorban a csapadék mennyiségének alakulásától függ, a hőmérséklet és ennek következtében a párolgási folyamatok változása kisebb jelentőségű. A csapadékos, illetve a csapadékszegény időszakok elsősorban a talajvíz szintjének, ezáltal a beszivárgó vizek mennyiségének megváltozását eredményezik, amelyek a lokális áramlási rendszerekre gyakorolnak jelentősebb hatást. A csapadék mennyiségének tartós csökkenése azonban, különösen együtt a sekély és mélyebb rétegekből történő víztermelések hatásával, nagyobb régiókra kiterjedő vízszint csökkenést eredményezhet.

A csökkenő beszivárgás hatására a felszín alatti áramlási rendszer átalakulhat, az áramlási sebességek lecsökkenhetnek. Ahol a felszín alatti áramlás hígító tényező a szennyeződés terjedésében, ott ez kedvezőtlen, ahol a felszín alatti víz volt a szennyeződéstranszport fő tényezője, ott kedvező vízminőségi változás következhet be. Ugyancsak vízminőségi változás következhet be a felszín alatti vizek esetében, ha a változó (feltehetően csökkenő) beszivárgási értékek miatt a felszín alatti vízrendszer átalakul, vagyis csökken a lokális áramlási rendszerek száma, és a korábban lokális megcsapolási helyeken összegyűlt, szennyeződött, esetenként párolgás révén bedúsított vizek a közbülső, vagy a regionális rendszer részeivé válnak.

A csapadékosabbra változó éghajlatra jellemző megnövekedett beszivárgás pedig együtt jár a szennyezőanyagok (síkvidéki területen elsősorban a mezőgazdaság által használt kemikáliák okozta szennyezések) felszín alatti vizekbe történő gyorsabb lejutásával és gyorsabb terjedésével.

A homokhátsági területek felszín alatti vizei tehát már az éghajlati elemek (különösen a csapadék mennyiségének alakulása tekintetében) akár néhány éves tartós változására is érzékenyen reagálnak.

5.1.2.3 Magas talajvízállású, síkvidéki területek

Felszín alatti vizek feláramlási területein, ahol a talajvíz a felszínhez közeli helyzetben van — ilyen természetes állapotban van az Alföld jelentős része, illetve ilyenek a dombvidéki és hegyvidéki területeken a széles völgytalpi körzetek — a feláramló vizek a növényzet párologtatása révén, illetve közvetlen párolgással is kilépnek a felszín alatti térből. Magyarországon a magas talajvízállású helyeken jelentős mértékű talajvízpárolgással (evapotranszspirációval) kell számolni. Mivel a folyamat közvetlen összefüggésben van a levegő nedvességtartalmával és a hőmérséklettel, könnyen belátható, hogy az éghajlat megváltozására a síkvidékek és a magasabb térszíni helyzetű nedves területek rendkívül érzékenyen reagálnak. Síkvidékeink mélyhelyzetű, tartósan magas talajvizű részein a hőmérséklet emelkedése esetén intenzívebbé válnak a párolgási, párologtatási folyamatok, így a jelenlegi értéket meghaladó evapotranszspirációval kell számolni. Ennek következményeként megváltozik a vízmérleg, mind a felszín alatti vizekben a víztükör közeli zónában, mind a felszín alól kilépő vizekben jelentősebb oldott anyag (esetenként szennyezőanyag) bepárlódás, koncentrálódás prognosztizálható.

A csökkenő hőmérséklettel együtt járó csökkenő párolgás kevésbé valószínű jövőkép az eddigi klíma-projekciók szerint, de ahol előfordul, ott vízelvezetési problémák várhatók.

Az őszvégi-téli hónapok csapadékosabbá válása reálisabb szcenáriót jelent, ez esetben a síkvidéki területeken egyre sűrűbben alakulhatnak ki belvízi kockázatok, amelyek veszélyeztethetik az ökoszisztémákat, elősegíthetik a szennyeződések szétterítését, valamint a mezőgazdaságnak és a lakosságnak egyaránt gondot jelentenek.

5.1.3 Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolódási területe

A felszín alatti és felszíni vizek kapcsolatát a vízfolyások körzetében azok vízállása és a talajvízszint helyzetének viszonya határozza meg. Magas vízállások, nagyobb árvizek esetén a vízfolyásokból a felszín alatti térbe szivárog a víz. Alacsony vízállás esetén azonban a környező területekről a vízfolyás felé történik a szivárgás, azaz a talajvíz a vízfolyást táplálja, a vízfolyás ekkor a felszín alatti vizek megcsapolójává válik. Száraz időszakokban a vízfolyások úgynevezett alap vízhozamát tehát a felszín alatti vizek biztosítják. Az alap-vízhozam értéke nem állandó, a felszín alatti tárolótér leürülésével párhuzamosan lassan csökkenő tendenciát mutat, amelyet a következő csapadékos időszak felszíni lefolyásából származó vizek által eredményezett vízhozam növekedése szakít meg. Ekkor a felszín alatti tárolótér is telítődik, és a ciklikusan ismétlődő folyamat újra kezdődik.

A felszíni és a felszín alatti vizek kapcsolata szintén érzékenyen reagál az éghajlat megváltozására, amely eltérően jelentkezhet a kis vízfolyások, illetve a nagyobb folyók esetében.

Nagyobb folyók mentén a felszíni és a felszín alatti vizek kapcsolatának jellegzetes hasznosítása a parti szűrésű vízbázisok, amelyek egyben az ország távlati ivóvízbázisainak legfontosabb elemeit alkotják. Parti szűrésű rendszerekről akkor beszélhetünk, ha a víz nagyobb hányada származik a felszíni víz felől történő utánpótlódásból. E rendszerek tehát érzékenyen reagálnak a felszíni vízfolyás éghajlatváltozás által kiváltott hozamváltozásaira, amely a termelt víz mennyiségét és minőségét egyaránt befolyásolja (SPRENGER et al. 2011). A kisvízi hozamok esetén csökken a termelhető vízmennyiség, miközben kisebb arányú lesz a vízfolyásból közvetetten származó vízhányad. Ez egyben a környező, úgynevezett háttér területekről származó, gyakran szennyezőanyagot tartalmazó vizek arányának növekedését jelenti. A vízrészecskék megváltozó elérési ideje, illetve a szintén változó redox viszonyok alapvetően meghatározzák a parti szűrésű rendszerek vízminőségét.

Az időjárás szélsőségesebbé válásával egyre gyakrabban jelentkező árvizekkel kell számolni. Ezek során a felszíni vizekből közvetlenül származó szennyezőanyagok a szűrőfelülettel nem rendelkező részeken keresztül közvetlenül veszélyeztethetik a parti-szűrésű ivóvíz kutakat.

Meg kell említeni azonban, hogy a parti szűrésű rendszerek jelentős tároló kapacitással rendelkeznek, ezáltal mérséklik a szélsőséges időjárási viszonyokból adódó közvetlen hatásokat, illetve a szezonális változékonyságot. Ez a mérséklő hatás a vízfolyás és allúviumának méretével arányos mértékű.

Fentieknek megfelelően kisebb vízfolyások esetében, illetve azoknál a vízbázisoknál, ahol az utánpótlódás csak kisebb hányadban történik a felszíni vízből, élővízfolyás által befolyásolt felszín alatti vízbázisokról beszélhetünk.

5.2 Érzékenységi kategóriák

Fentiek alapján a vízbázisok klíma-érzékenysége eltérő, amely a magában foglaló hidrológiai rendszerek alapján klíma-érzékenységi kategóriákba sorolható. A kategóriák meghatározásakor a

vízbázist meghatározó vízadó képződmény hidrogeológiai jellege alapján az alábbi vízbázis típusokat különítettük el:

- porózus vízadóval rendelkező vízbázisok,
- karsztos vízadóval rendelkező vízbázisok,
- repedezett vízadóval jellemzett vízbázisok,
- parti szűrésű rendszerek,
- felszíni vizek.

A hidrológiai rendszer sajátossága alapján a vízbázis típusokat további kategóriákra osztottuk. A porózus vízbázisokat a vízadó mélysége függvényében három kategóriába különítettük el:

- 30 m-nél sekélyebb,
- 30-100 m közötti,
- 100 m-nél mélyebb.

A karsztos vízadókat a karsztjáratok jellege, a fedő üledékek vastagsága, illetve a közvetlen beszivárgási területet jelentő nyíltkarsztos területekkel való hidraulikai kapcsolat figyelembe vételével az alábbi kategóriákat határoztuk meg:

- járatos karsztos vízadó,
- fedetlen karsztos vízadó beszivárgási területtel közvetlen kapcsolatban,
- fedett karsztos vízadó beszivárgási területtel közvetlen kapcsolatban,
- karsztos vízadó nagy regionális áramlási rendszer mélyebb zónájában.

A klíma-érzékenység mértékét négy kategóriába soroltuk:

- nagyon érzékeny,
- érzékeny,
- mérsékelten érzékeny,
- nincs közvetlen hatás.

A fentiek alapján meghatározott vízbázisok klíma-érzékenységi kategóriáit az érzékenység mértékével az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat. Vízbázisok klímaérzékernységi kategóriái.

Vízadó típusa	**Klímaérzékenységi kategória**	**Klímaérzékenységi kategória kódja**	**Klíma-érzékenység mértéke**
porózus vízadó	porózus vízadó <30 m	ps	nagyon érzékeny
	porózus vízadó 30-100 m	p30	mérsékelten érzékeny
	porózus vízadó >100 m	p100	nincs közvetlen hatás
karsztos vízadó	járatos karsztos vízadó	kj	nagyon érzékeny
	nyíltkarsztos vízadó beszivárgási területtel közvetlen kapcsolatban	kny	érzékeny
	fedett karsztos vízadó beszivárgási területtel közvetlen kapcsolatban	kf	mérsékelten érzékeny
	karsztos vízadó nagy regionális áramlási rendszer mélyebb zónájában	km	nincs közvetlen hatás

Vízadó típusa	Klímaérzékenységi kategória	Klímaérzékenységi kategória kódja	Klíma-érzékenység mértéke
partiszűrésű rendszerek	nagyobb folyók kavicsteraszán kialakított partiszűrésű rendszer	asz	érzékeny
	kisebb folyók allúviumán elhelyezkedő, részben partiszűrésű, sekély porózus vízadó	ar	érzékeny
repedezett vízadó	repedezett vízadó	r	mérsékelten érzékeny
felszíni vizek	felszíni vizek	fev	nagyon érzékeny

5.3 Ivóvízbázisok érzékenységi kategóriákba sorolása

Az OVF–MFGI együttműködés keretében rendelkezésünkre állt a vízbázisok adatbázisa, amely valamennyi üzemelő, tartalék és felhagyásra váró vízbázist nyilván tartja. A NATéR projekt keretében pontosítottuk és kiegészítettük a klíma-érzékenységre vonatkozó paraméterekkel.

Az adatbázisban szereplő 2018 vízbázist besoroltuk az 5. táblázatban bemutatott klíma-érzékenységi kategóriákba. A besoroláshoz áttekintettük az egyes vízbázisokhoz tartozó kutak adatait, különös tekintettel a vízadó jellegére, mélységére. A kútadatokat összevetettük a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) fúrási adatbázisával, illetve a rendelkezésre álló regionális (szükség esetén lokális) földtani térképekkel, felületekkel. A karsztos vízbázisok altípusainak, illetve a parti szűrésű és élővízfolyással befolyásolt sekély porózus vízbázisok elkülönítésére áttekintettük a rendelkezésre álló vízbázis diagnosztikai vizsgálatokat, illetve ezek keretében elkészült áramlási modellezések eredményeit.

A vízbázisok klímaérzékenységi kategóriákba sorolása nem minden esetben egyértelmű. Ha a vízbázis nem sorolható egyértelműen valamely kategóriába, a domináns jelleget vettük alapul, és jeleztük, hogy másodlagosan melyik típusba tartozik. Példa erre a fedett karsztos területek elkülönítése, mivel a nyíltkarsztos területekkel egy hidraulikai rendszert alkotnak, és a klíma-érzékenységet a fedett karsztok esetén a vízrészecskék elérési ideje határozza meg. A parti szűrésű rendszer, az élővízfolyással befolyásolt és a sekély porózus vízadók között nincs éles határ, az átmenet a hasonló környezetből adódik. Abban az esetben tekintettünk egy vízbázist parti szűrésű rendszernek, ha a folyóvízből származó víz részaránya igazoltan meghaladja az 50%-ot. A százalékos arányoknál a korábbi „Vízbázisvédelmi program” diagnosztikai vizsgálatai keretében készült áramlási modellezések során meghatározott értékeket vettük figyelembe.

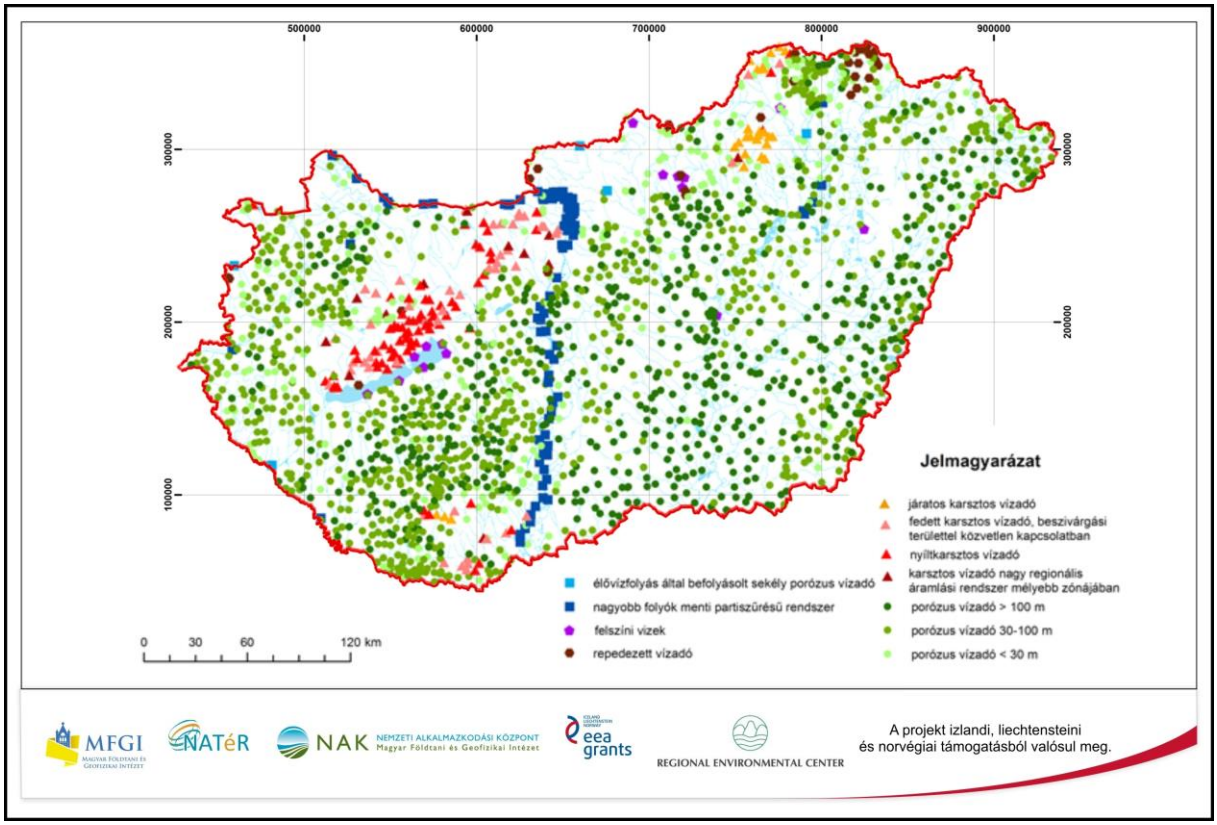
Különösen porózus vízbázisok között gyakori, hogy egy vízbázison több különböző mélységű kút is található. Ilyenkor a „legrosszabb forgatókönyv elvén” a legsekélyebb kút mélysége alapján minősítettük a vízbázis klíma-érzékenységét. Ebből adódóan a dominánsan sekély porózus vízbázisok között gyakran mélyebb (30–100 m közötti, ritkán 100 m alatti) vízadó réteget csapoló kút is jelen van, másodlagos jellegéből adódóan tehát kevésbé klíma-érzékeny kategóriába tartozik.

A létrejött adatbázis az alábbi, vízbázisra vonatkozó adatokat tartalmazza:

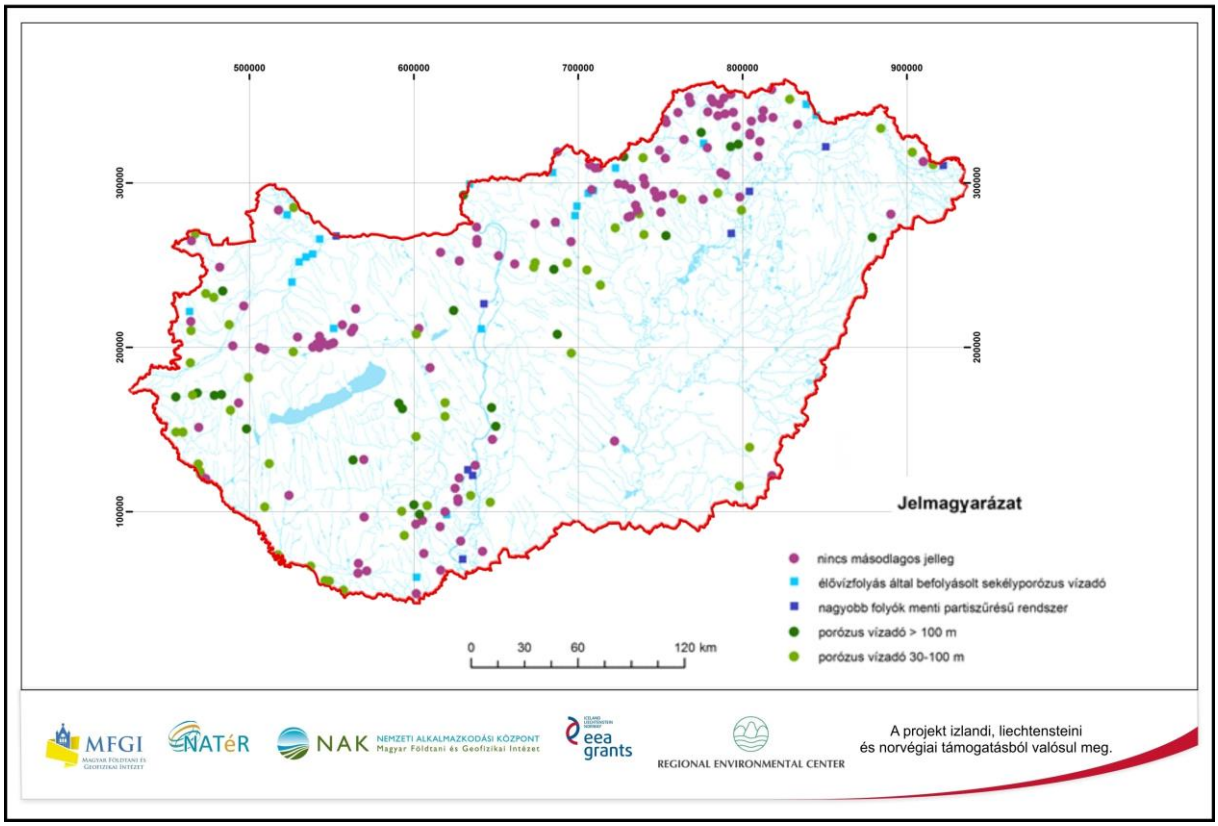
- vízbázis kódja,
- település neve,

- vízbázis neve,
- üzemeltető,
- vízbázis üzemi állapota,
- vízbázis vízadó jellege alapján meghatározott típusa,
- VIZIG kód,
- vízbázis súlyponti koordináták (EOV koordinátákkal),
- klímaérzékenységi kategória besorolás,
- klímaérzékenység minősítése,
- a vízbázis által érintett víztest.

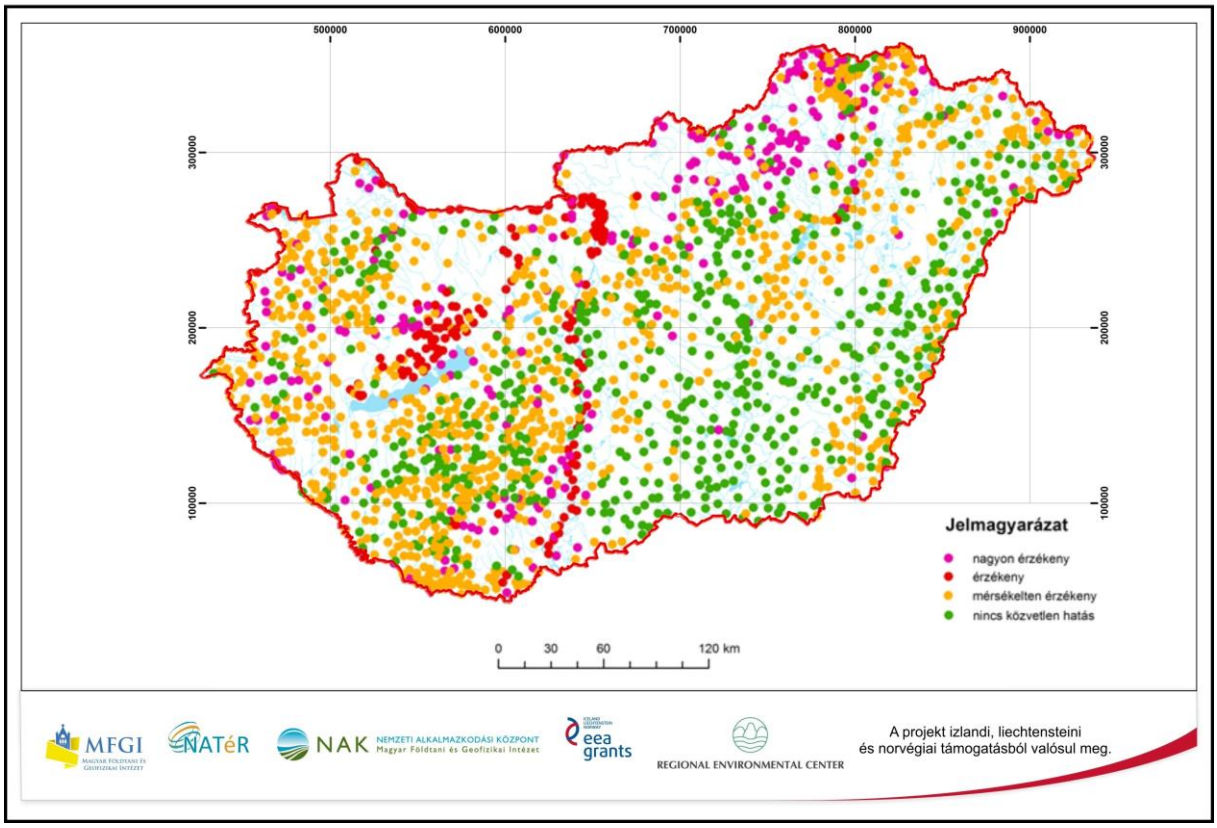
A térképi megjelenítés a vízbázisok súlyponti koordinátája alapján, pontszerű ábrázolással történt (17–19. ábrák).



17. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenysége



18. ábra. Sekély (<30 m) porózus ivóvízbázisok klímaérzékenységének másodlagos besorolása

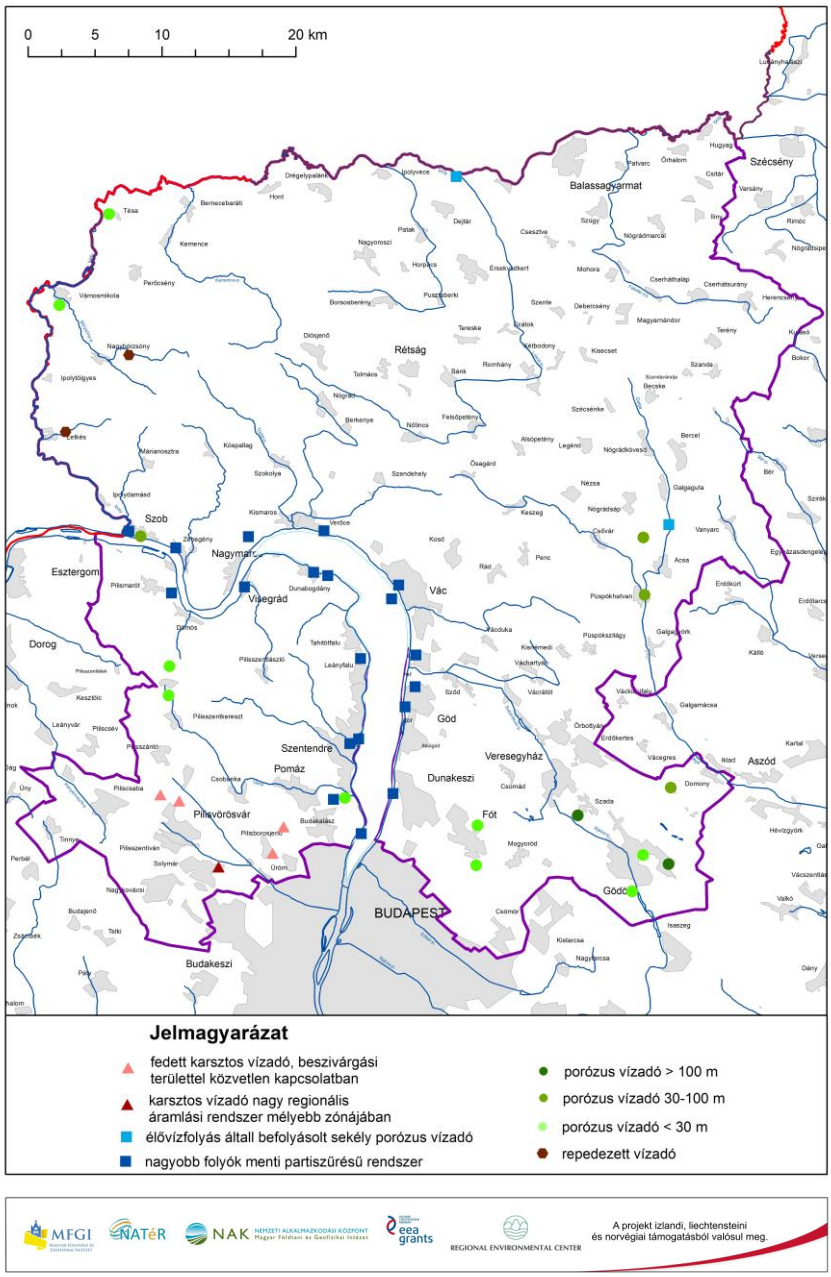


19. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenységének mértéke

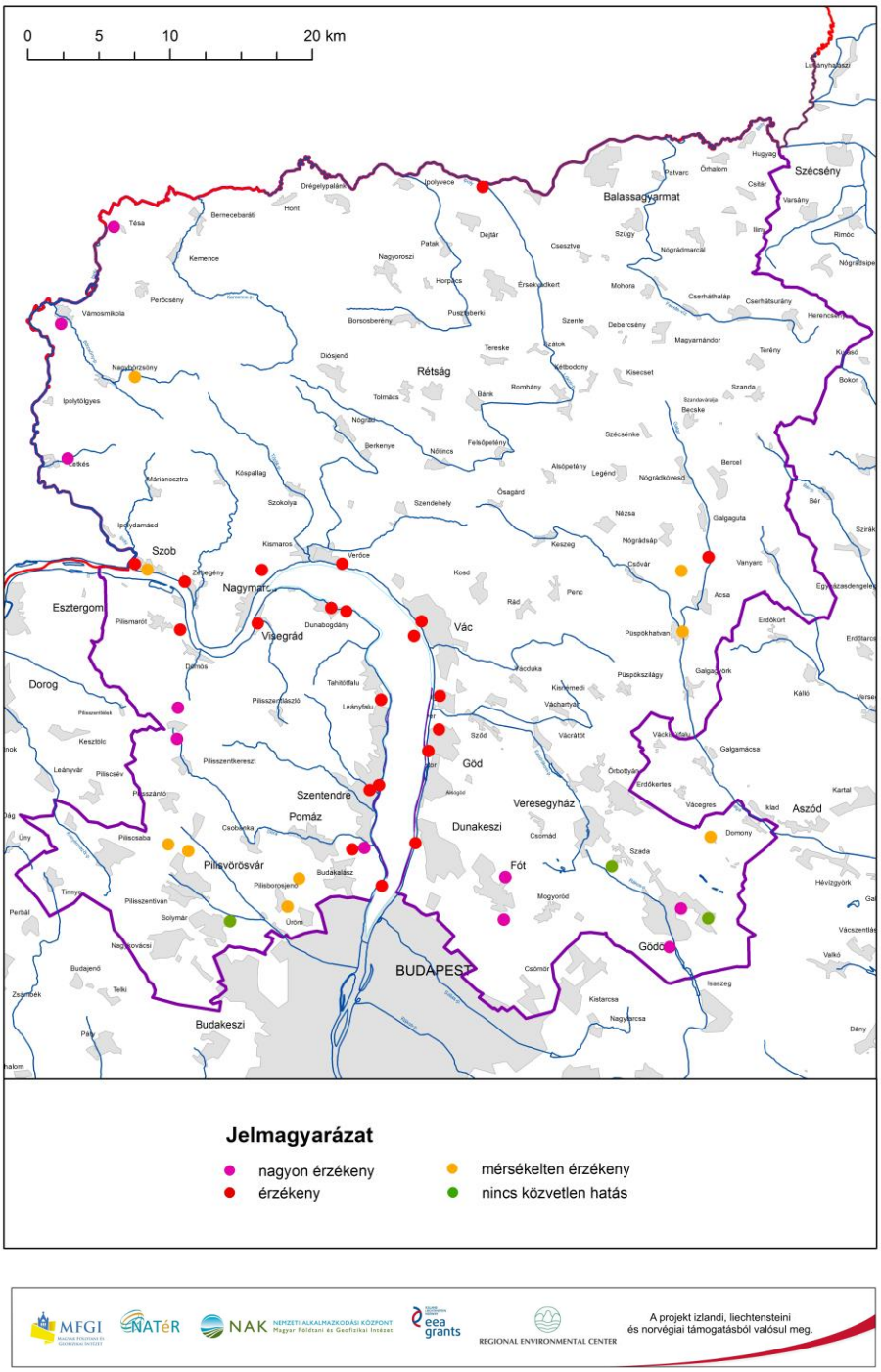
5.4 Vízbázisok klíma-érzékenysége a DMRV működési területén

A Dunakanyar térségében elhelyezkedő mintaterület döntően hegyvidéki jellegű. A térség földtani felépítéséből adódóan a vízbázisok koncentráltan helyezkednek el. A vízbeszerzés szempontjából kevésbé jelentős, vulkáni eredetű képződmények elterjedési területén csak kevés vízbázis létesült. A távlati vízellátásra is lehetőséget biztosító, nagy volumenű, víztermelésre alkalmas parti szűrésű rendszerek a Duna mentén húzódnak.

A kiválasztott mintaterületen, az országos léptékű jellemzéshez hasonlóan, a vízbázisok pontszerű megjelenítésével elkészítettük a klíma-érzékenység és klíma-érzékenység mértéke tematikájú kategorizálást és ezek térképi ábrázolását (20. és 21. ábrák).



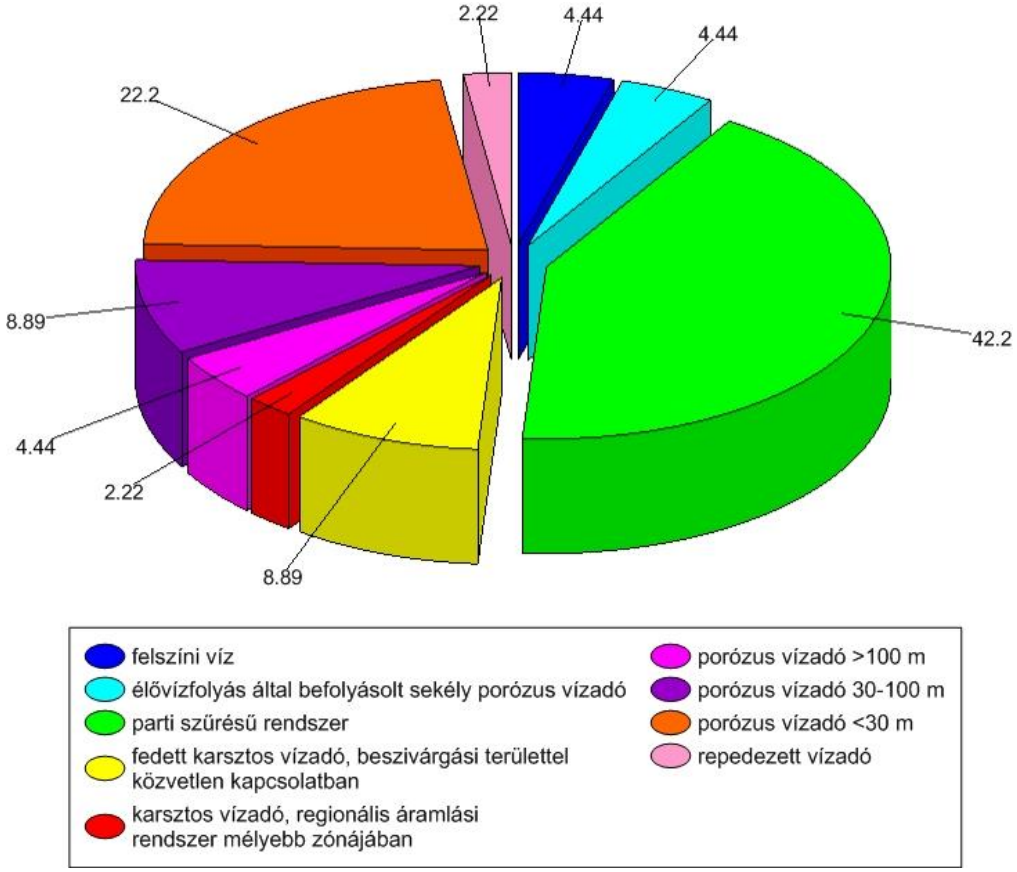
20. ábra. Vízbázisok klímaérzékenysége a DMRV működési területén



A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

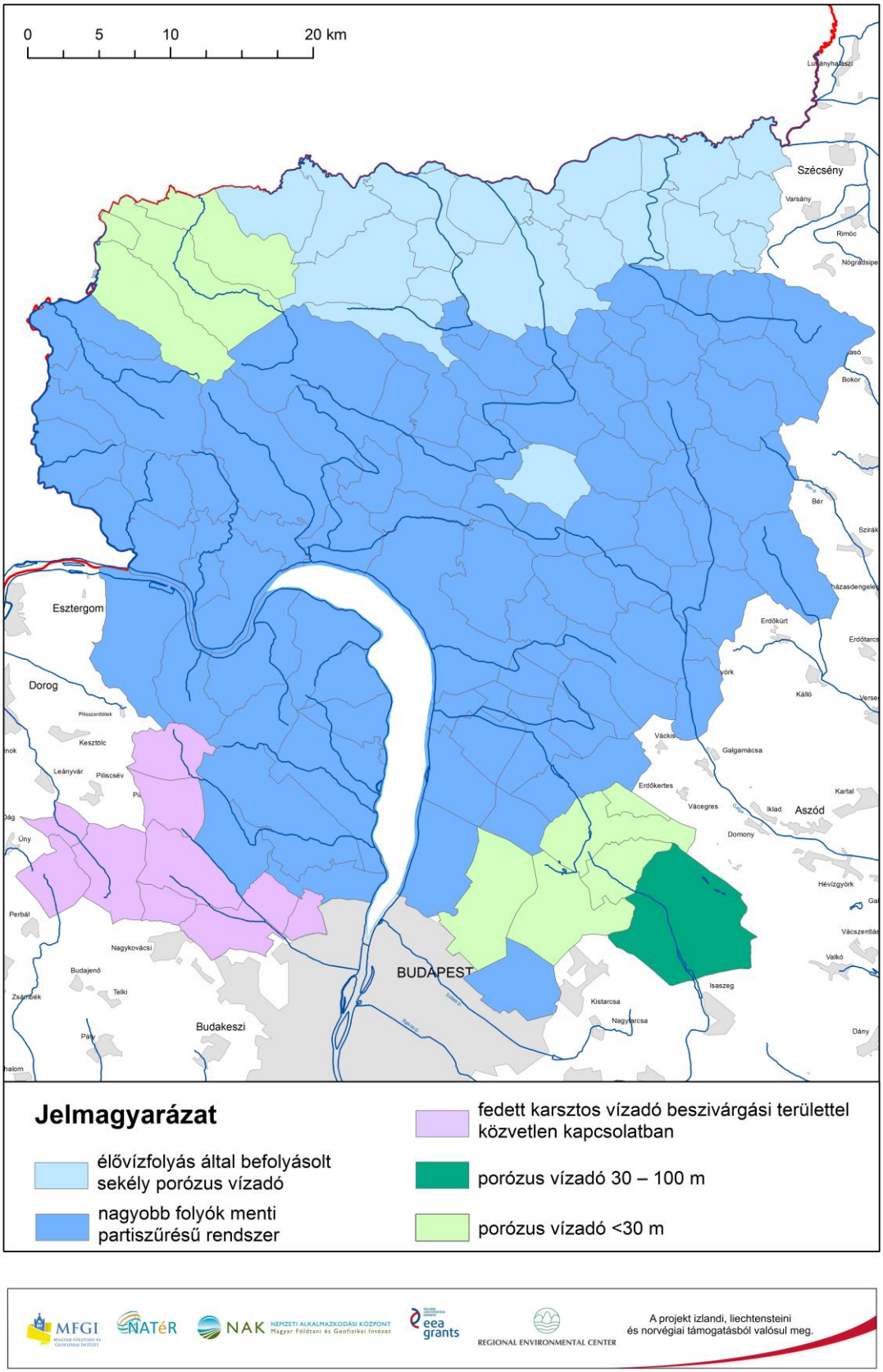
21. ábra. Vízbázisok klímaérzékenységének mértéke a DMRV működési területén

Amint a 21. ábra is illusztrálja, a vízbázisok térbeli elhelyezkedése — elsősorban a földtani felépítésből adódóan — a DMRV területén egyenlőtlen. A klímaváltozás által is veszélyeztetett parti szűrésű vízbázisok, amelyek a szolgáltatott víz mennyisége szempontjából is meghatározók, kiemelt szerepet töltenek be. Szintén nagyarányú a 30 m-nél sekélyebb vízbázisok jelenléte. A klímaváltozás által kevéssé érintett vízbázis típusok (mélykarsztok, illetve mélyebb porózus vízadók) kisebb hányadot képviselnek (22. ábra).



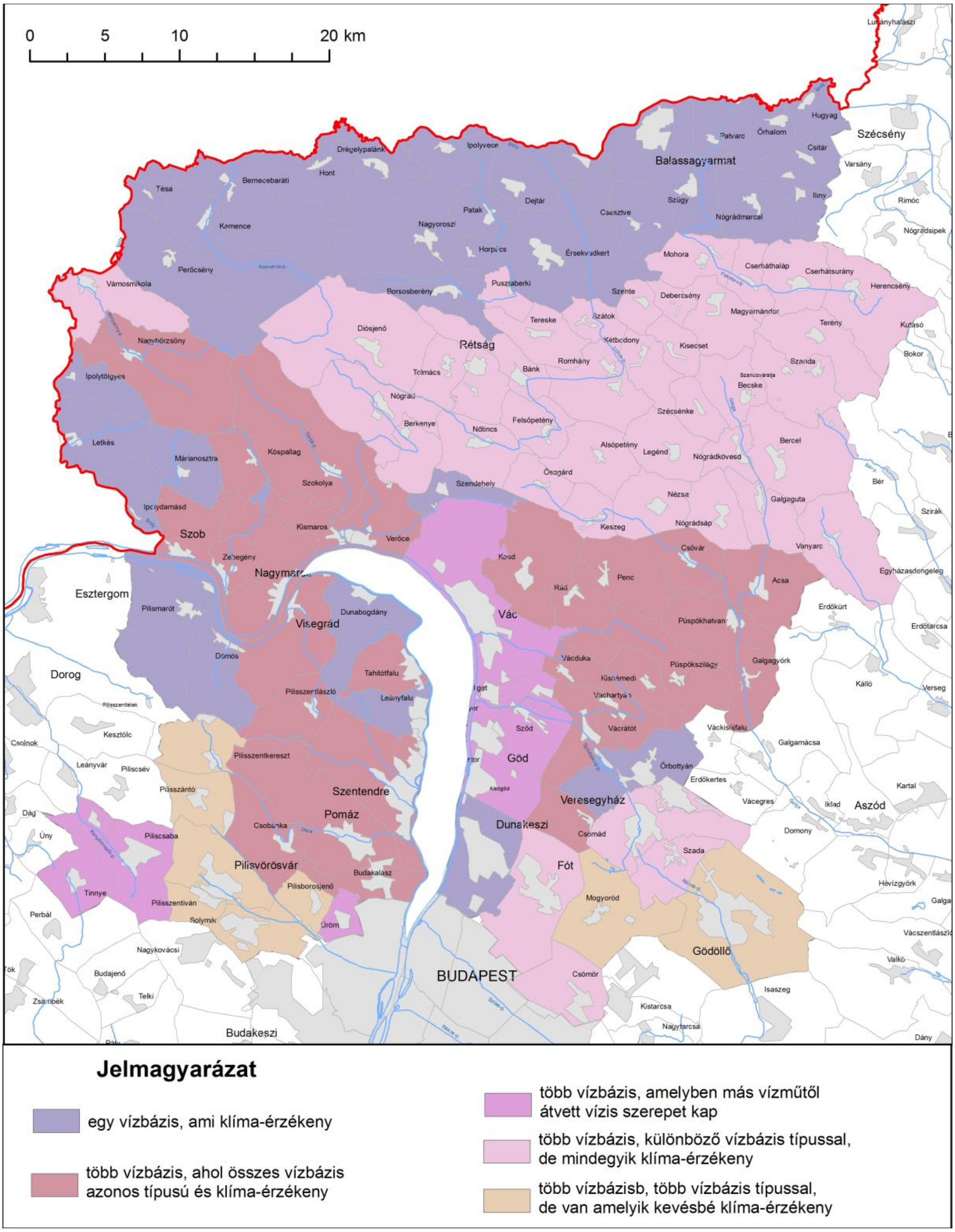
22. ábra. Ivóvízbázisok klímaérzékenységi típusainak százalékos aránya

A pontszerű megjelenítésen túl, a sérülékenység vizsgálatának megalapozása céljából, a vízbázisok klíma-érzékenységi kategóriáit településekhez rendeltük. A hozzárendelést a vízbázis által közvetlen módon ellátott települések alapján végeztük. Meg kell jegyezni azonban, hogy a DMRV rendelkezik olyan technikai megoldással, amely vészhelyzet esetén vízkormányzással bármely regionális ellátó területről, az üzemetetési területen belül, egy másik térség vízellátását biztosítani tudja. Mivel egy-egy település közvetlen vízellátása gyakran nem egy vízbázisról történik, a klíma-érzékenységi besorolást a legkevésbé érzékeny vízbázis alapján határoztuk meg (23–24. ábra).



MFGI NATéR NAK NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT Magyar Földtani és Geofizikai Intézet eea grants REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

23. ábra. Települések ivóvízellátásának klímaérzékenysége a legkevésbé érzékeny közvetlenül ellátó vízbázistípus alapján, a DMRV működési területén



MFGI Magyar Földtani és Geofizikai Intézet · NATéR · NAK Nemzeti Alkalmazkodási Központ Magyar Földtani és Geofizikai Intézet · eea grants · Regional Environmental Center · A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

24. ábra. Települések ivóvízellátásának klíma-érzékenysége, a közvetlenül ellátó vízbázisok száma és klímaérzékenysége alapján, a DMRV működési területén

6 FELSZÍN ALATTI IVÓVÍZADÓK JELENLEGI IGÉNYBEVÉTELE

A klímaváltozás és az emberi tevékenység hatásának szétválasztása minden területen nehéz feladat. A felszín alatti vizekben az emberi tevékenységből és a klímaváltozásból származó hatások összegezve, egymást jelentősen felerősítve jelentkeznek. A klímaváltozás hatásainak vizsgálata során ezért a több évtizedes víztermelések által jelentkező igénybevételek figyelembevétele elengedhetetlen. A túlzott víztermelések hatása mára globális tendenciaként jelentkezik (Green et al., 2011). Magyarországon az 50-es évek óta emelkedett meg jelentősen a felszín alatti vizek elsősorban ivóvíz célú termelése. A Föld egyes térségeiben, így hazánk egyes területein is számos víztartó rétegben figyelhetünk meg a víztermelések által eredményezett, tartós vízszintcsökkenést. Növekvő hőmérséklet esetén jelentősen megnőhet a lakossági ivóvízigény, illetve az öntözésre használt víz mennyisége. A megnövekedett víztermelés további vízszintcsökkenést eredményezhet, illetve egyes térségekben elérheti annak korlátait.

A víztermelések következtében napjainkig jelentkező vízszintcsökkenés vizsgálatát a felszín alatti vízszint-megfigyelőkutak mérési adatainak értékelésével, valamint a felszín alatti vízáramlási rendszer modell szimulációs eredményeinek értelmezésével végeztük.

6.1 Megfigyelőkutakban mért vízszintváltozás elemzése

Az ország területén 844 megfigyelőkút vízszintváltozását értékeltük. Elvégeztük valamennyi kút adatsorának trendvizsgálatát, majd vizuális értékeléssel ellenőriztük, hogy az automatizált módszerrel meghatározott trendek az egész adatsorra jellemzők-e, illetve az adatsor nem tartalmaz-e az értékelést befolyásoló hibákat. A vizsgálatban a vízügyi törzshálózat kútjainak mérési adatait 1991-2014 közötti időszakra, az MFGI megfigyelőkútjainak adatait a mérés kezdetétől az 1970-2015 időszakra vettük figyelembe. Az idősorok vizsgálata során meghatároztuk, hogy az adatsorra illeszthető-e trend, vagy változó trendek váltakozása jellemző. Az adatokra illeszthető trend meredekségét számítottuk a teljes időszakra, illetve az utolsó nyolc évre.

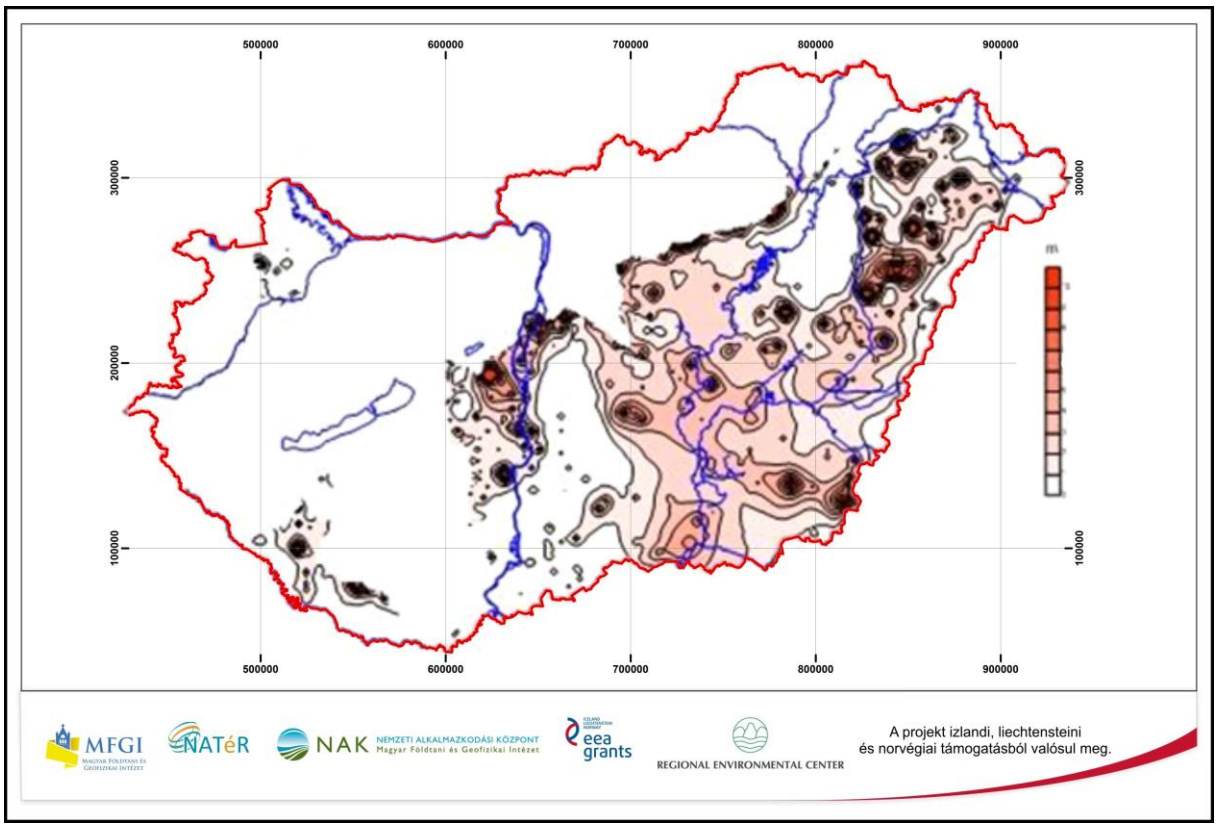
Az eredményeket összevetettük a párhuzamosan, 2015 során végzett, a Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv keretében elkészült süllyedés teszt eredményével, figyelembe véve, hogy utóbbi az elmúlt 8 évi trendet kezelte kiemelten.

6.2 Felszín alatti vizek áramlási modell eredményeinek elemzése

A megfigyelőkutak vízszintváltozásának értékelésén alapuló vizsgálatot pontosítottuk, illetve kiegészítettük a Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv keretében az MFGI szakemberei által az országos vízmérleg aktualizálásához, a sekély porózus, porózus és porózus termál víztestek között átadódó vízkészletek meghatározására fejlesztett áramlási modell eredményeivel.

A porózus medence területre a korábbi években az MFGI végzett modell-fejlesztéseket, főleg a hévíz- és geotermikus energia-gazdálkodási feladatokhoz. Ezek keretében az „XL-Pannon modell” elnevezésű modell változat továbbfejlesztése bizonyult a vízmérleg számításához célravezetőnek, a sekély porózus részek geometriájának, hidraulikai paramétereinek és beszivárgási peremfeltételeinek

frissítésével, újraalkotásával. A modellszámítás időben átlagos, vagyis időben változatlanként értelmezett, permanens helyzetet vizsgál. Külön szimulációk készültek a víztermelések nélkül, illetve a víztermelések (az ivóvíz célú vízkivételek mellett tartalmazza a mezőgazdasági, ipari és termálvíz kivételeket is) figyelembe vételével. A modell és a trendvizsgálat eredményeiből meghatározásra került a víztermelés hatására kialakult depresszió mértéke. A porózus víztestek területén legjelentősebb ivóvízadó réteg, a pleisztocén képződmények legalsó részére számított depresszió értékét mutatja be a 25. ábra.



25. ábra. Víztermelések által kiváltott vízszintcsökkenés modellezéssel számított értéke a negyedidőszaki rétegek alsó szintjén

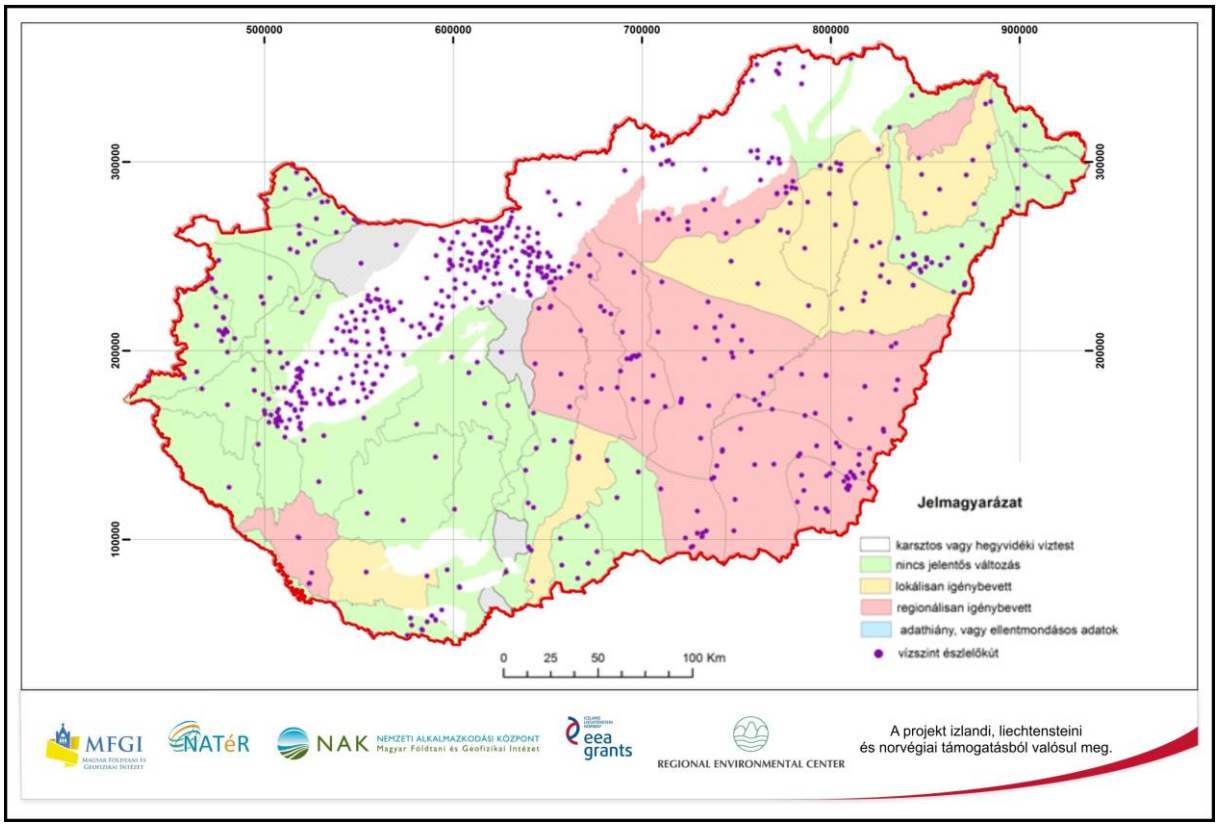
6.3 Felszín alatti vízszintek változásának értékelése

A megfigyelőkutak idősorának vizsgálata, illetve a porózus víztestekre elvégzett vízmérleg szimulációk eredményeinek együttes értékelése alapján jellemeztük a víztesteket a víztermelések általi igénybevétel alapján (26–27. ábra).

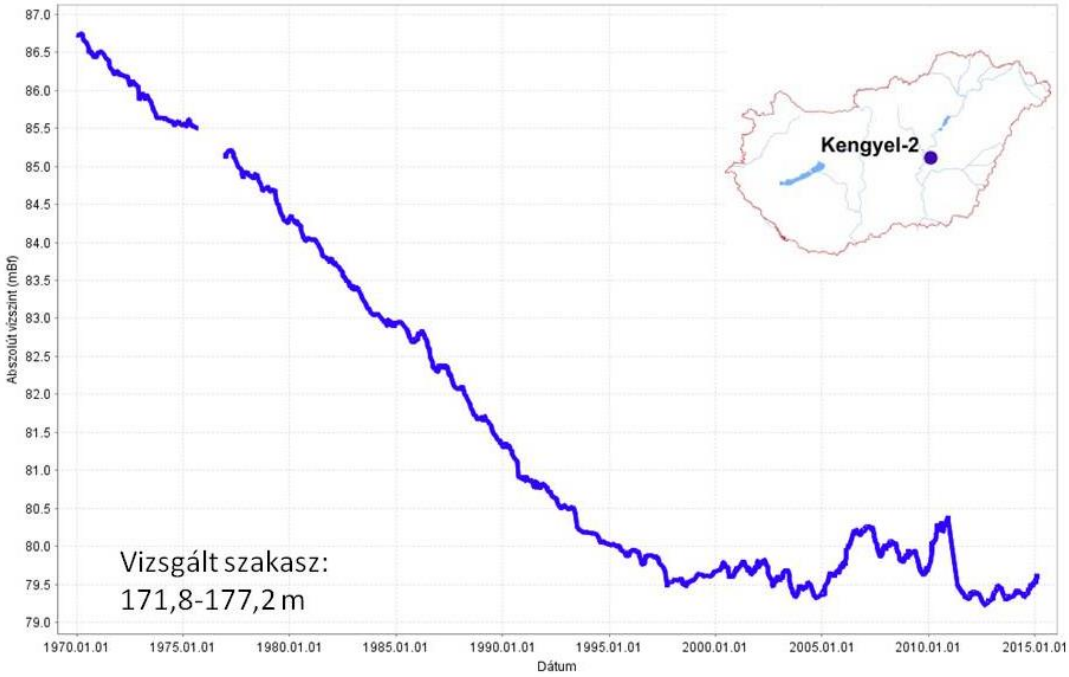
Általánosságban megállapíthatjuk, hogy a víztermelések által eredményezett depressziós hatás elsősorban az Alföld középső területén jelentkezik regionális vízszintcsökkenéssel, amelynek mértéke a mélységgel párhuzamosan nő. A 90-es évek közepére több térségben megtorpant a vízszintek további csökkenése, illetve azóta nem figyelhető meg jelentős változás. A jelenlegi vízszintek azonban ezeken a helyeken napjainkig is az eredeti vízszintnél több méterrel alacsonyabbak.

Az Alföld északi részén megjelenő nagymértékű igénybevétel a bükkábrányi külszíni lignitbányászathoz kapcsolódó víztermelés hatására alakult ki.

A hegyvidéki területeken általában nincs nagy volumenű víztermelés.



26. ábra. Víztermelés hatására bekövetkező vízszintcsökkenés mértéke a porózus víztestekben



27. ábra. Az MFGI Kengyel–2 megfigyelőkútjának vízszint idősora

A karsztos képződmények elterjedési területén a jelenlegi vízkivételek nagyságrendekkel kisebbek, mint a 90-es években a bányabezárások miatt befejeződött bányászati vízemelések. Az érintett Dunántúli-középhegység térségében a bányászati vízkivételek következményeként lecsökkent karsztvízszint — az ivóvízkivételek ellenére is — napjainkban még emelkedő trendet mutat.

7 A TELEPÜLÉSEK ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSAIVAL SZEMBENI ALKALMAZKODÓKÉPESSÉGE AZ IVÓVÍZELLÁTÁS TERÜLETÉN

Az éghajlatváltozás hatására a jövőben várhatóan jelentős mértékben nő a nyári hőhullámos időszakok hossza és gyakorisága, valamint várható a csapadékviszonyok átrendeződése is. A téli félévben várhatóan nő, míg a nyári félévben, azaz a vegetációs időszakban csökken a csapadék mennyisége. Ennek következtében várhatóan növekedni fog a jövőben a lakosság vízigénye, részben a háztartási vízfogyasztás, részben pedig a lakosság öntözési célú vízfelhasználásának növekedése miatt. Az alkalmazkodóképesség terén tehát az infrastruktúra állapota és fejleszthetősége, valamit a lakosság vízigénye a legfőbb hatótényezők.

7.1 Módszertan

A települések ivóvízellátásának éghajlatváltozással szembeni sérülékenység-vizsgálatához a kitettség és az érzékenység mellett meg kell határoznunk a települések éghajlatváltozás hatásaival szembeni alkalmazkodóképességét. E vizsgálathoz a KSH T-STAR és a NAV SZJA adatbázis Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszerben (TeIR) elérhető társadalmi-gazdasági mutatóit, valamint a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (DMRV) által a mintaterületre vonatkozóan átadott, az ivóvíz-ellátási infrastruktúra állapotára vonatkozó adatokat használtuk fel.

A vizsgálat első lépésében a DMRV-vel együttműködésben meghatároztuk azokat az adatköröket, amelyeket a továbbiakban használni kívánunk, illetve csoportosítottuk a felhasználandó adatok körét. E feladat fontos részét jelentette az adatsorok hibáinak kiszűrése, valamint egyes kiugró adatok ellenőrzése, korrigálása.

Fontos szempontot jelentett, hogy a vizsgálatba bevont adatok lehetőség szerint egy adott évre vonatkozzanak, ez azonban csak részben teljesíthető. Az infrastruktúra állapotára vonatkozó adatok naprakészek, tehát a jelen állapotra vonatkoznak, a társadalmi-gazdasági viszonyokat leíró mutatók azonban egységesen csak a 2013-as évre és az azt megelőző évekre vonatkozóan állnak rendelkezésünkre.

Mindezeket figyelembe véve az alábbi fajlagos mutatókat használtuk fel az alkalmazkodóképesség meghatározásához:

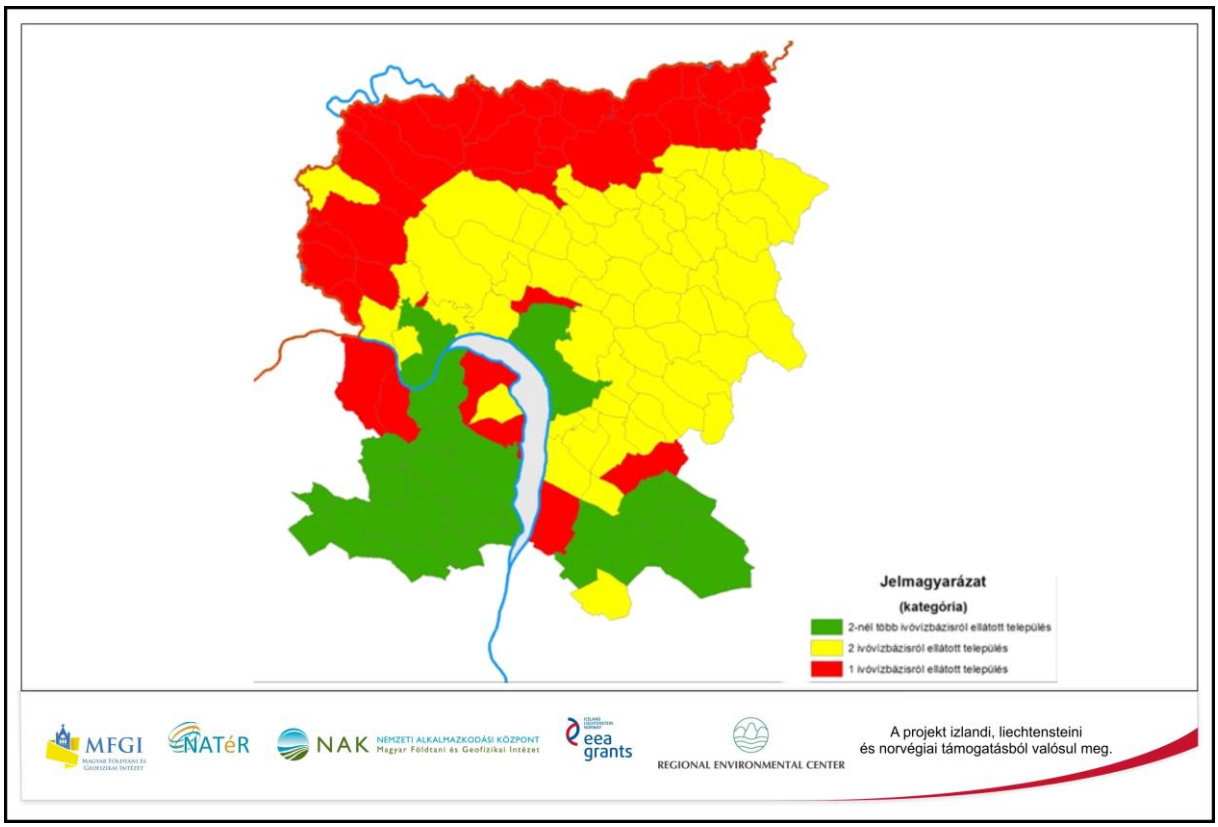
1) Az alkalmazkodóképesség infrastrukturális tényezői
   a) Egy adott települést közvetlenül ellátó ivóvízbázisok száma,
   b) Az ivóvízbázis bővíthetősége (kategória),
   c) Az ivóvízellátás kapacitásának növelhetősége (kategória).
2) Az alkalmazkodóképesség társadalmi–gazdasági hatótényezői
   a) Egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás, 2013 (m^3/fő),

b) Egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem, 2013 (Ft/fő/év).

A vizsgálat további lépései során kategóriaértékeket rendeltünk az egyes mutatókhoz, majd a kategóriaértékek összegzésével meghatároztuk az egyes települések alkalmazkodóképességének mértékét.

7.2 Az alkalmazkodóképesség infrastrukturális tényezői

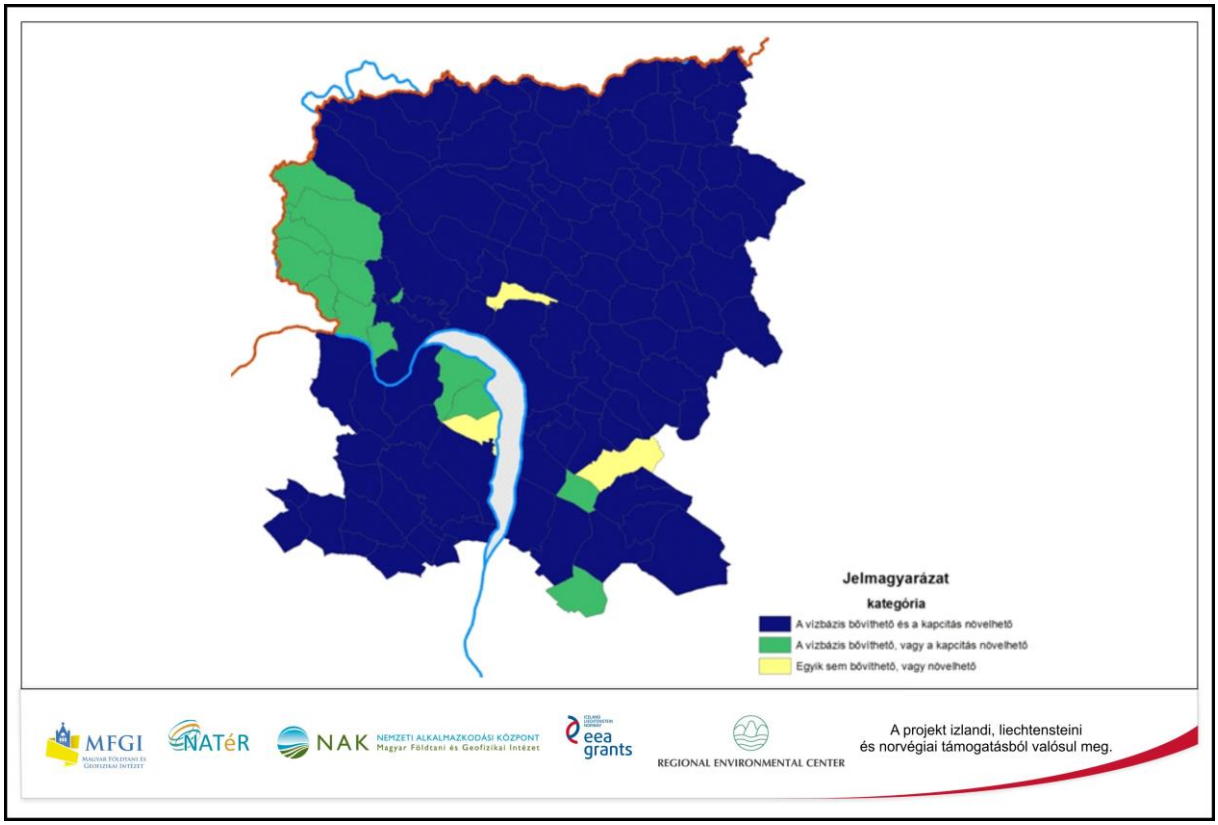
Az ivóvízellátás területén az alkalmazkodóképesség mértékét alapvetően meghatározza, hogy egy települést hány ivóvízbázisról lát el a szolgáltató, illetve a települési ivóvízellátás infrastruktúrája hogyan fejleszthető. A DMRV-től kapott adatok alapján meghatároztuk, hogy egy adott települést hány működő ivóvízbázis lát el (28. ábra). Megvizsgáltuk továbbá, hogy az adott ivóvízbázisok bővíthetőek-e, vagy növelhető-e a településen az ivóvíz-ellátási infrastruktúra kapacitása. Fontos hangsúlyozni ugyanakkor, hogy a kiépített vezetékhálózatnak köszönhetően, megfelelő vízkormányzással a szolgáltató minden esetben tudja biztosítani az ivóvízellátást.



28. ábra. A települések ivóvízbázis-ellátottsága a DMRV működési területén, 2015
(Adatok forrása: DMRV Zrt.)

Az ivóvízbázis-ellátottság területén 3 kategóriát határoztunk meg (29. ábra). Az alkalmazkodóképesség szempontjából legkedvezőtlenebbnek azt tekintettük, ha egy települést csupán egy ivóvízbázisról látnak el, míg a legkedvezőbb helyzetet az jelenti, ha 2-nél is több ivóvízbázisról szolgáltatnak az adott településen. E tekintetben jelentős eltérések tapasztalhatók a mintaterületen. Az Ipoly-mente településein jellemzően csupán egy ivóvízbázis látja el a településeket, Budapest térségében pedig a települések zömét több forrásból látja el a szolgáltató.

Az ivóvízbázisok fejleszthetősége tekintetében lényegesen egységesebb képet láthatunk. A DMRV által átadott információk alapján a mintaterület településeinek zömében van olyan vízbázis, amelynél mind a bővítésre, mind pedig a kapacitás növelésére nyílik lehetőség. A vízbázis bővíthetősége azt jelenti, hogy az adott vízbázis területén új kút létesíthető, míg a kapacitás növelése a meglévő termelő kapacitások növelését, a meglévő kút kiváltását, felújítását jelenti. A vízbázisok fejlesztését leginkább a beépítettség, vagy a vízbázis szennyezettsége gátolhatja, ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy mind a bővítés, mind a kapacitásfejlesztés jelentős ráfordítást igényel. Nagyobb, összefüggő terület, ahol problémák jelentkeznek, az Ipoly-mente déli részén, valamint a Dunakanyarban található.



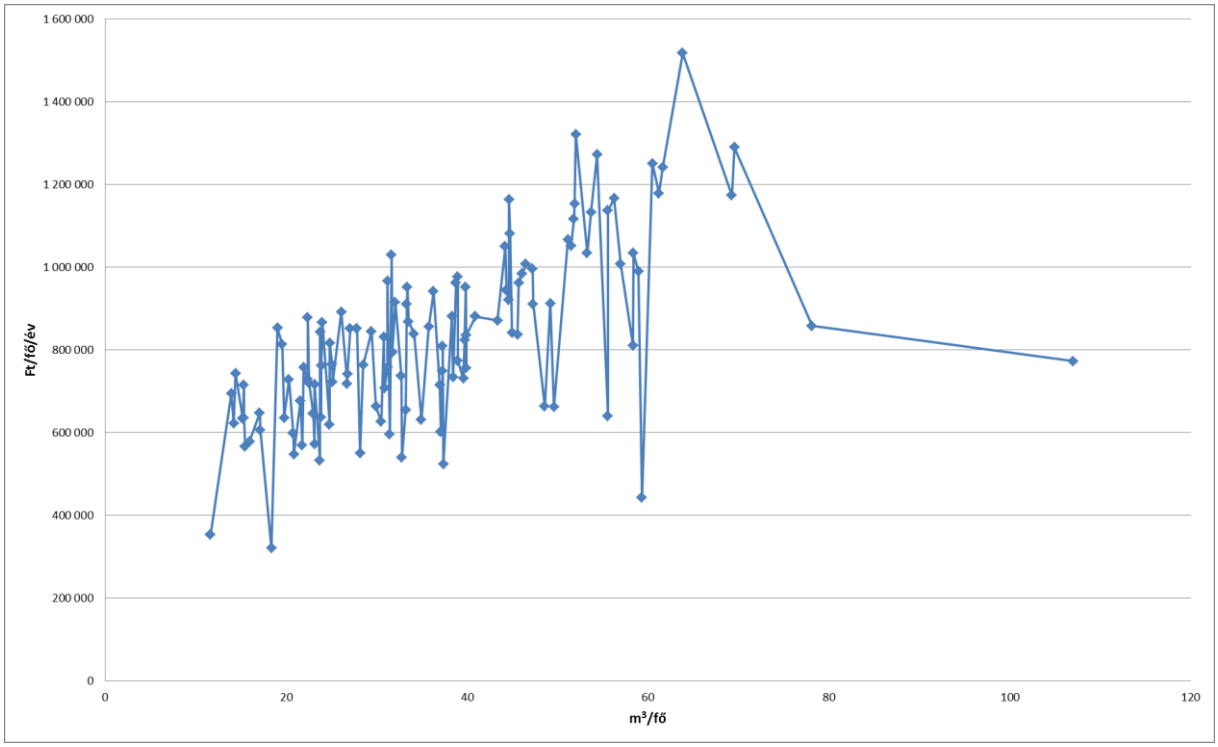
29. ábra. Az ivóvízbázisok fejlesztési lehetőségei a DMRV működési területén, 2015
(Adatok forrása: DMRV Zrt.)

7.3 Az alkalmazkodóképesség társadalmi–gazdasági hatótényezői

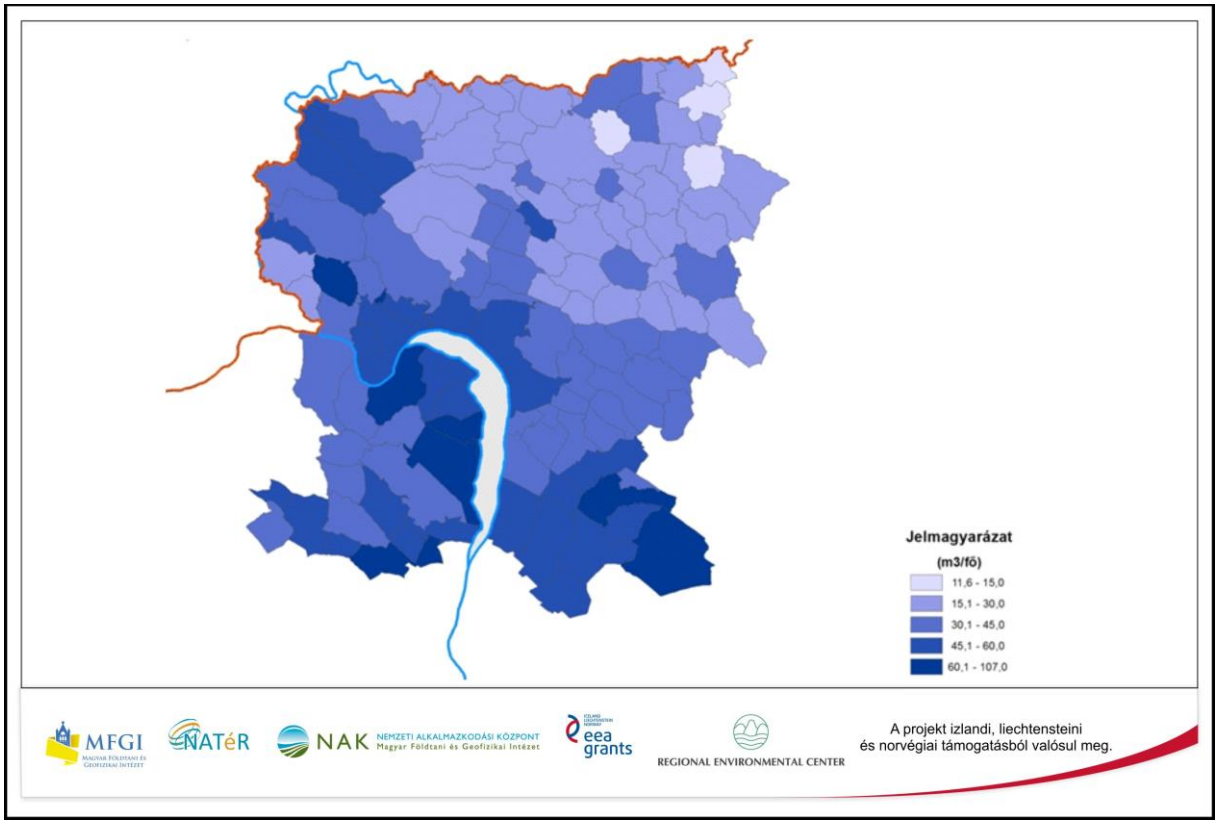
Az éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás vizsgálatának alapvető célja annak meghatározása, hogy a társadalom milyen mértékben képes választ adni az éghajlatváltozásból fakadó kihívásokra. Az ivóvízellátás tekintetében a legfőbb társadalmi–gazdasági kérdéseket a lakosság vízigénye, valamint a problémák elhárításának az egyén és a helyi közösség szintjén jelentkező képessége jelenti. Az lakosság vízigénye egyértelműen meghatározható az egy lakosra jutó vízfogyasztás mutatójával, ennél sokkal bonyolultabb a kép, ha az elhárítás képességét kívánjuk vizsgálni. A fő kérdés ebben a viszonylatban, hogy az egyén, vagy a helyi közösség képes-e megtenni

a szükséges intézkedéseket a várható problémák elhárítására. E kérdés vizsgálatára jól használható a lakosság jövedelmi viszonyait jellemző egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem mutatója, ugyanis egy adott térség fejlettségét a lakosság jövedelmi helyzete alapvetően határozza meg (Faluvégi, 2000). A jövedelmi viszonyok vizsgálatba vonásával tehát információt kapunk a fejlettségbeli különbségekről is. Bíró Péter és Molnár László kutatása (Bíró et al., 2004) alapján kijelenthető, hogy a térségek gazdasági és infrastrukturális fejlettsége között egyértelmű, szoros kapcsolat van, ezért indokolt a jövedelem vizsgálata az alkalmazkodóképesség meghatározása során.

Ezt a kapcsolatot jól mutatja az is, hogy a lakosság jövedelmi helyzete és az ivóvízfogyasztás között is szoros kapcsolat mutatható ki (30. ábra). Egyes kiugró értékektől eltekintve egyértelmű pozitív lineáris összefüggés mutatkozik a jövedelem és vízfogyasztás között. A kiugró értékeket egyedi hatások okozzák. A legmagasabb egy főre jutó vízfogyasztással Visegrád rendelkezett 2013-ban, ami leginkább a turizmus számlájára írható.



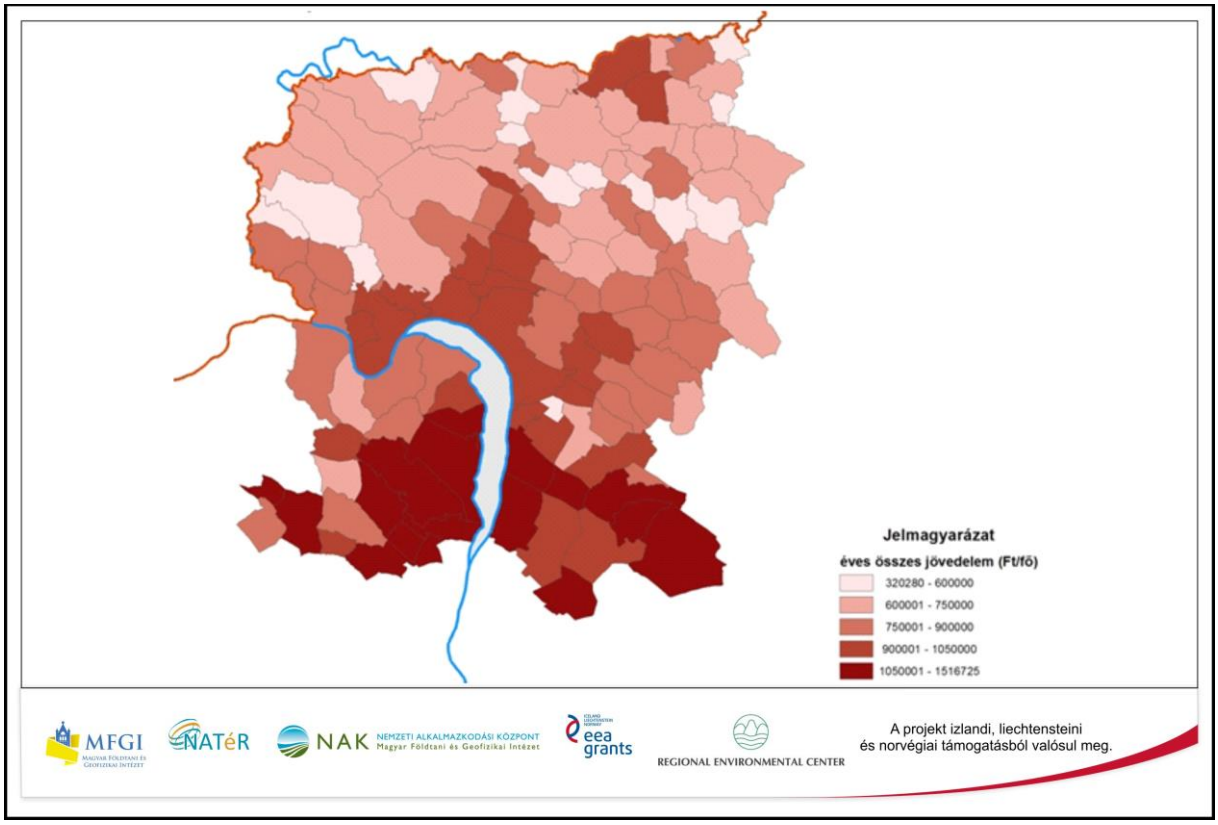
30. ábra. A lakosság jövedelmi helyzete és az ivóvízfogyasztás közötti összefüggés az egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem (Ft/fő/év, 2013) és az egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás (m^3/fő, 2013) alapján



31. ábra. A települések fajlagos ivóvízfogyasztása a DMRV működési területén, 2013
(Adatok forrása: DMRV, KSH T-STAR)

Az ivóvízfogyasztás területi differenciáltságát (31. ábra) tekintve jelentős kettősség mutatkozik a térségben. A főváros agglomerációja, a Dunakanyar térsége, valamint az Alsó-Ipoly-völgy települései magasabb, míg Nógrád megye települései zömében alacsonyabb (30 m^3/fő alatti) ivóvízfogyasztással rendelkeztek.

A térség jövedelmi viszonyaiban (32. ábra) szintén jelentős területi különbségek mutathatók ki. A jövedelmi szint Budapest térségében, az agglomeráció településein a legmagasabb. A Dunakanyar és Vác, valamint Balassagyarmat térségében láthatunk közepes értékeket, a mintaterület többi részén pedig alacsonynak tekinthető az egy lakosra jutó jövedelem mértéke.



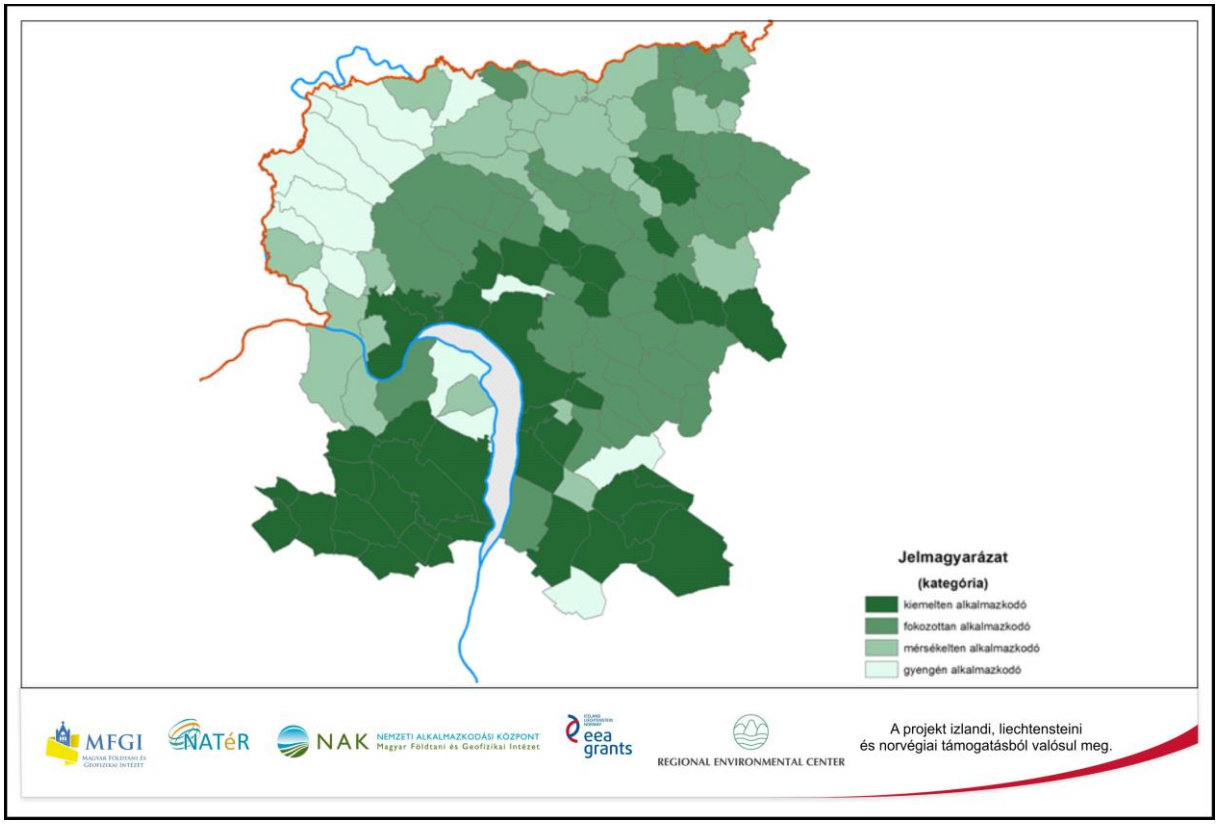
32. ábra. A lakosság jövedelmi viszonyai a DMRV működési területén, 2013
(Adatok forrása: NAV SZJA statisztika, KSH T-STAR)

7.4 A települések alkalmazkodóképességének meghatározása a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. működési területén

Az egyes hatótényezők részletes vizsgálata eredményeként meghatároztuk a települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképességét az ivóvízellátás tekintetében (33. ábra). Ennek során egyenlő súlyban vettük figyelembe az ivóvízbázis-ellátottságot, az ivóvízellátás fejleszthetőségét, a lakosság vízigényét, valamint a lakosság jövedelmi viszonyait jellemző mutatókat. Alkalmazkodóképesség szempontjából pozitívnak tekinthető, ha több ivóvízbázis lát el egy települést, van lehetőség a meglévő ivóvízbázis bővítésére és termelőkapacitásának fejlesztésére, valamint alacsony a lakosság vízigénye és kedvező a jövedelmi helyzete.

E szempontokat figyelembe véve 4 kategóriát különítettünk el: kiemelten, fokozottan, mérsékelten és gyengén alkalmazkodó. Alkalmazkodóképesség szempontjából legkedvezőtlenebb térségnek az Alsó-Ipoly-völgy tekinthető. Ebben a térségben a vizsgált mutatók mindegyike kedvezőtlenül alakult. A települések döntő többségét csupán egy ivóvízbázis látja el és a vízbázisok fejleszthetősége is korlátozott, emellett magasnak tekinthető az ivóvízfogyasztás, ugyanakkor alacsony a lakosság jövedelmi szintje.

Alkalmazkodóképesség szempontjából kedvezőtlen helyzetben vannak a Dunakanyar jobb parti települései is, ahol főként az infrastrukturális hiányosságok és — vélhetően a jelentős turizmus és a kiterjedt üdülőövezetek miatt — a magas lakossági vízfogyasztás jelent problémát.



33. ábra. A települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén

8 IVÓVÍZBÁZISOK KLÍMASÉRÜLÉKENYSÉGI VIZSGÁLATA

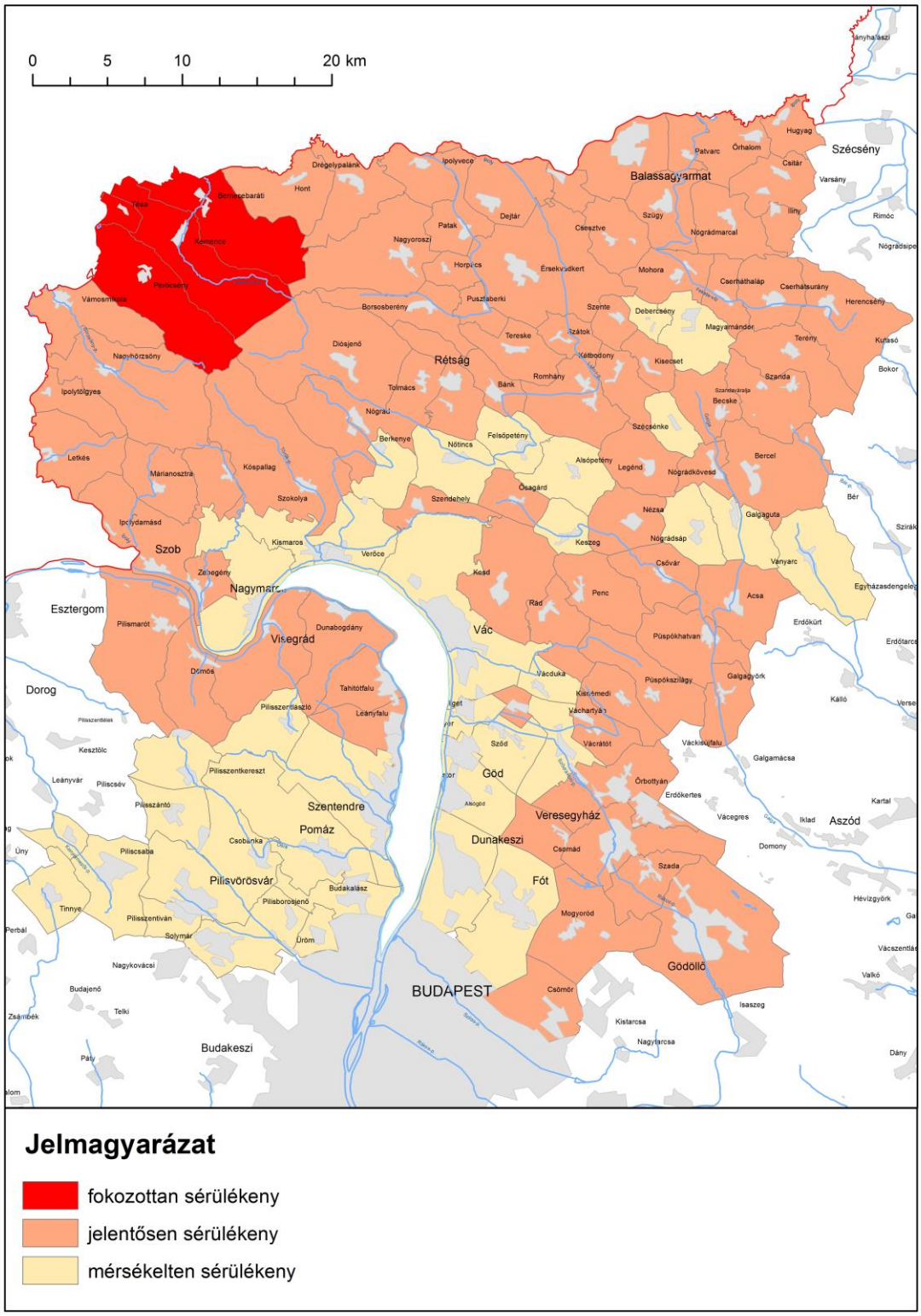
Az ivóvízbázisok klímasérülékenységét a módszertan ismertetése során bemutatott, kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes jellemzéséből vezettük le. A sérülékenységet a települések közigazgatási területére vonatkoztatva határoztuk meg. Mivel az alkalmazkodási indikátorokat csak a DMRV területére tudtuk megadni, a sérülékenység vizsgálatát is a DMRV működési területén végeztük el.

A sérülékenység mértékének meghatározására kategóriákat határoztunk meg, ahol a kitettségi, érzékenységi, igénybevételi és alkalmazkodási tényezőket egyenlő súllyal, az egyes indexekből levezetett komplex indikátorokkal vettük figyelembe. Az indikátorok értékét és a sérülékenységi kategóriákat oly módon határoztuk meg, hogy alkalmazhatók legyenek az egész ország jellemzése során, és a vizsgálat az ország teljes területére azonos kategóriák alkalmazásával kiterjeszthető legyen.

Az összetett kitettségi indikátor számításánál nem vettük figyelembe a jellemzésnél alkalmazott módosított Pálfai-féle aszályindexet, amely az aszályosságot megfelelően reprezentálja, de számításánál a nyári hónapok meteorológiai adatai nagyobb súllyal szerepelnek. A felszín alatti beszivárgásnál ezzel ellentétben a meteorológiai paraméterek téli félévi alakulása kap nagyobb jelentőséget. Ebből is látszik, hogy a csapadék éven belüli eloszlása, illetve ennek várható alakulása rendkívül fontos a vízbázisok utánpótlódása szempontjából. Ennek ellenére a klímamodellek nagy bizonytalansága, illetve a két modell ellentmondó projekciója miatt (SZÉPSZÓ et al. 2015) a csapadékarányokból levezetett indexet sem használtuk fel. Az összetett kitettségi indikátort tehát a UNEP ariditási index és a klimatikus vízmérleg értékéből számítottuk.

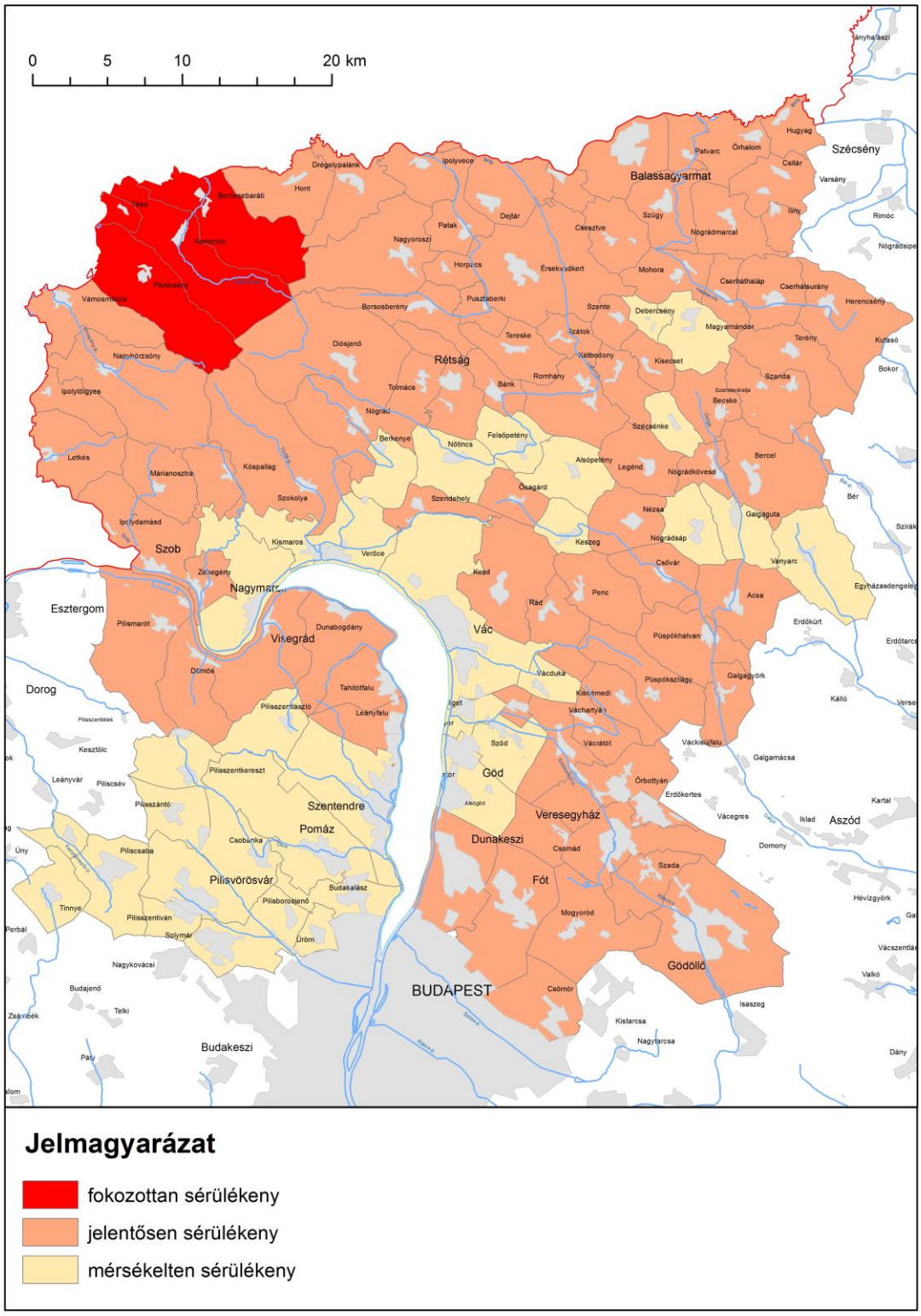
A vízbázisok klíma-sérülékenységét mind a két klímamodellel, a projekciókban szereplő mindkét klímaablakra meghatároztuk (34–37. ábrák).

Az ábrák jól szemléltetik, hogy mindkét modell esetében már a 2021–2050 időszakban is jelentkeznek különböző mértékben sérülékeny területek. Az idő előrehaladtával a 2071–2100 közötti időszakra fokozódik a sérülékenység mértéke.



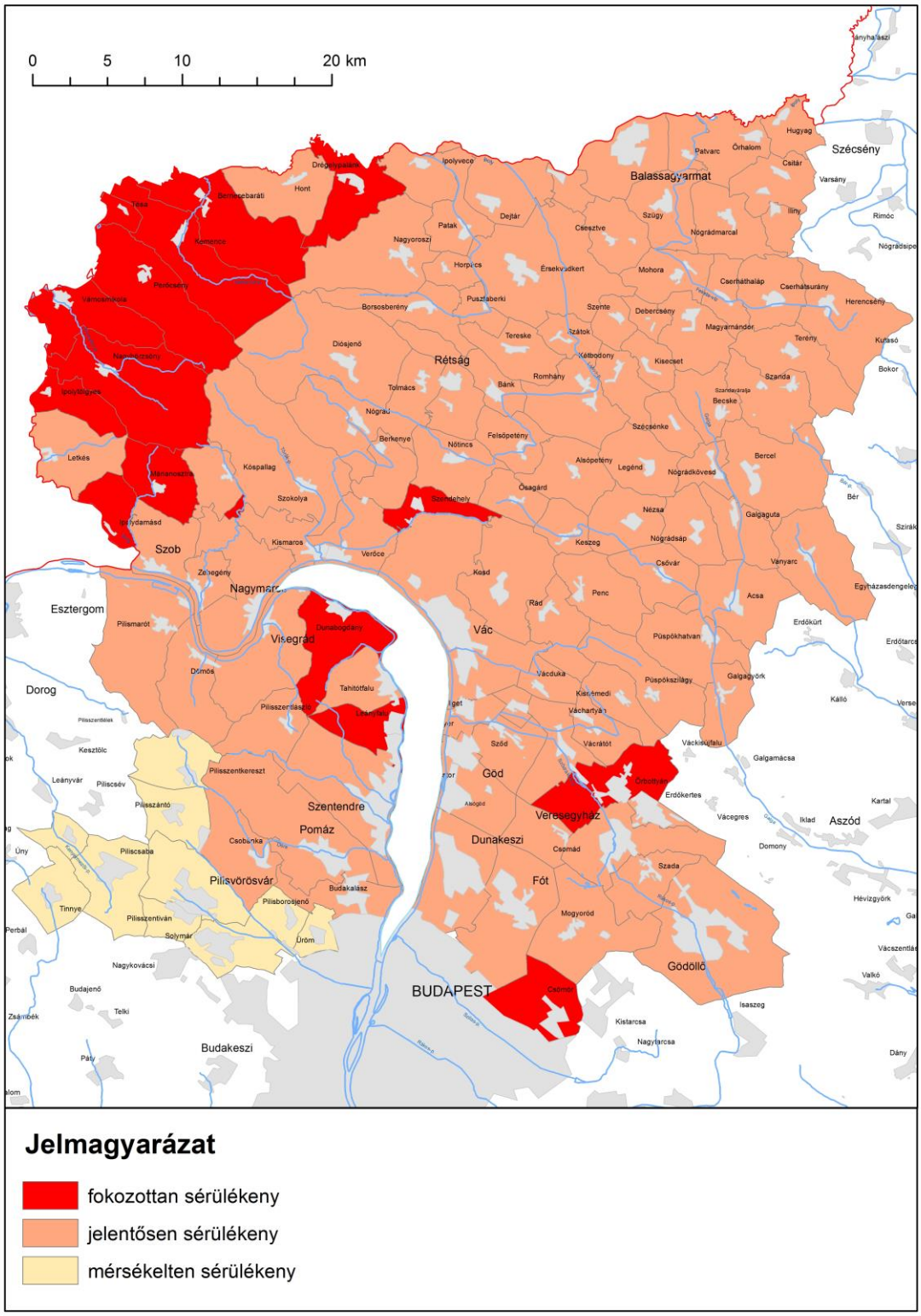
MFGI NATéR NAK Nemzeti Alkalmazkodási Központ Magyar Földtani és Geofizikai Intézet eea grants REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

34. ábra. Ivóvízbázisok klímasérülékenysége az ALADIN-Climate modell adatai alapján a 2021–2050 közötti időszakra



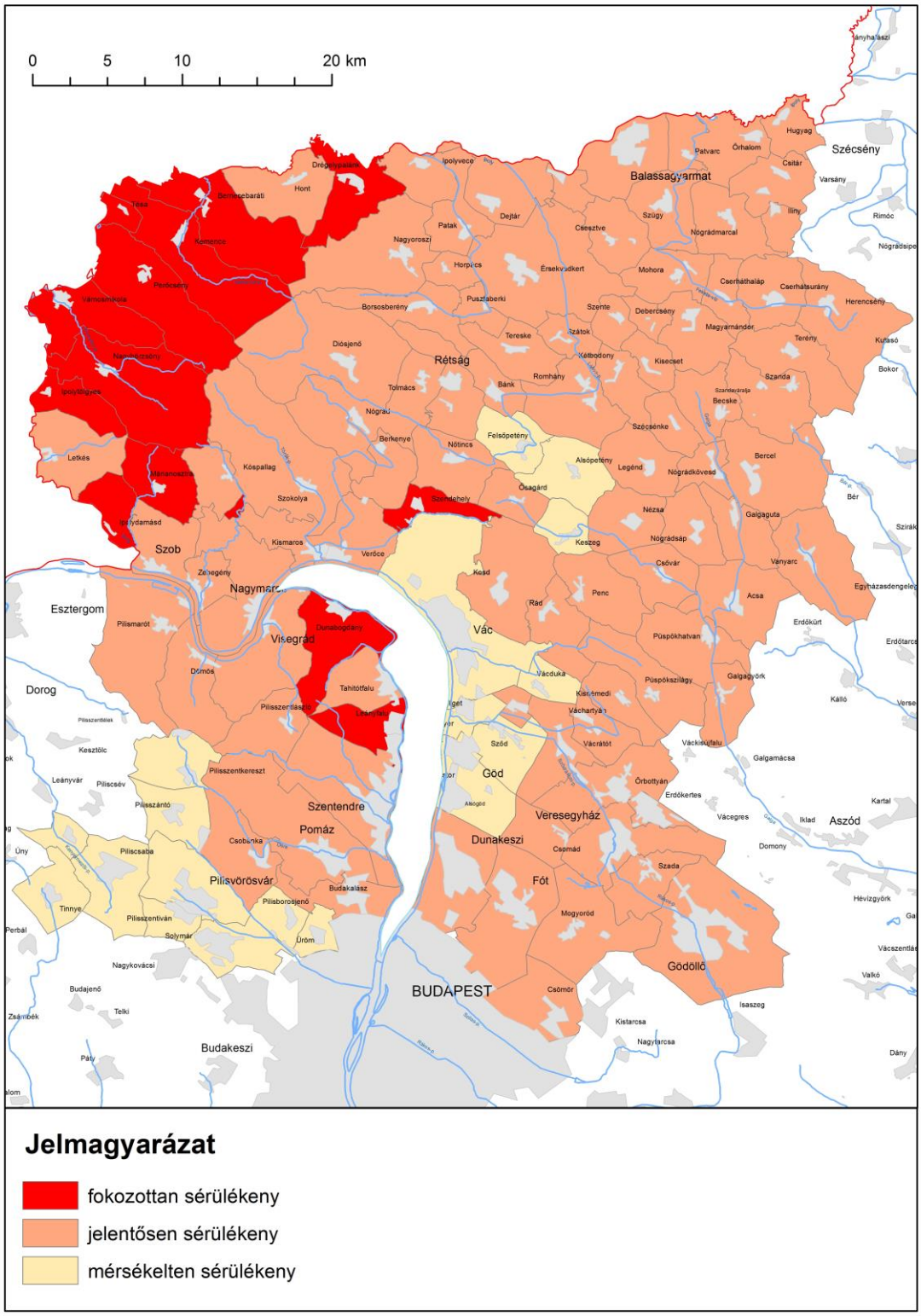
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

35. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége a RegCM modell adatai alapján a 2021–2050 közötti időszakra



MFGI NATéR NAK NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT Magyar Földtani és Geofizikai Intézet eea grants REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

36. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége az ALADIN-Climate modell adatai alapján a 2071–2100 közötti időszakra



MFGI NATéR NAK NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT Magyar Földtani és Geofizikai Intézet eea grants REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.

37. ábra. Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége a RegCM modell adatai alapján a 2071–2100 közötti időszakra

9 KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Fenti vizsgálat eredményeként megállapíthatjuk, hogy a vízbázisok klíma kitettsége az ország területén nem egységes, de európai viszonyok között relatív szűk sávban változik. A klímaváltozás hatására számolni kell a felszín alatti vizek utánpótlásának várható csökkenésével. Ezt a folyamatot valamennyire ellensúlyozza a csapadék éven belüli eloszlásának változása, azaz a téli hidrológiai félévben lehulló csapadék mennyiségének várható növekedése.

A jelenlegi klímamodellek meglehetősen nagy bizonytalansággal jellemezhetők, ezért a későbbi kutatások során fontos a bizonytalanság mértékének csökkentése további klíma projekciók figyelembe vételével, valamint új, nagyobb felbontású klímamodellek eredményeinek felhasználásával. A klíma-kitettség pontosításán felül további vizsgálatok szükségesek a parti szűrésű rendszerek kitettségének jellemzésére.

A vízbázisok földtani, vízföldtani helyzetükből adódóan eltérő klíma-érzékenységgel rendelkeznek. A felszín alatti vizekből történő vízellátás során nagyobb figyelmet kell fordítani a kevésbé klíma-érzékeny vízbázisokra. Kiemelt fontosságúak lesznek a parti szűrésű rendszerek, amelyek klíma-érzékenységük ellenére, nagy tároló kapacitásuknak és folyamatosan megújuló készletüknek köszönhetően a távlati ivóvízellátás alapjait jelenthetik. Célszerű a fokozottan klíma-sérülékeny karsztos, illetve sekély porózus vízbázisok kiváltása nagyobb biztonságot jelentő új vízbázisok létesítésével. Amennyiben erre a földtani, vízföldtani adottságokból adódóan korlátozottak a lehetőségek, megnő a tartalék vízbázisok szerepe.

A felszín alatti vizek állapotát, a klímaváltozás hatásait, valamint az igénybevétel mértékét rendszeres monitoring tevékenység során nyomon kell követni. Hasonló módon regisztrálni szükséges a vízfogyasztás mértékét, a jellemző szokásokat, illetve az ezeket befolyásoló társadalmi, gazdasági tényezőket. E megfigyelések rendszere időszakonkénti értékelésével, a változások meghatározásával és jellemzésével lehetséges kialakítani a klímaváltozás hatásait mérséklő alkalmazkodási intézkedéseket.

A klímaváltozás hatásainak csökkentése céljából nagyobb hangsúlyt kell fektetni az alkalmazkodásra. A vízellátás során nagyobb biztonságot jelenthetnek a regionális ellátórendszerek, ahol fontos szerepet tölthet be a már ma is sok helyen alkalmazott vízkormányzás, különböző térségek közötti vízátvezetés.

Az alkalmazkodás részeként a lakosság vízfogyasztási szokásainak változására van szükség, a tudatos és víztakarékos fogyasztás irányába.

Az ivóvízigények folyamatos biztosítását szolgálhatja az ivóvízbázisok kizárólag ivóvíz céljára történő hasznosítása, az egyéb célú vízhasználatok más forrásból történő biztosításával, illetve a két rendszer szétválasztásával.

A térségi fejlesztések során figyelembe kell venni a vízbázisok klíma-sérülékenységét, illetve az ezeket szintén meghatározó társadalmi, gazdasági tényezőket. Az ivóvízellátás infrastrukturális fejlesztéseinek tervezése során figyelembe kell venni, hogy mely térségekben jelenthetnek problémát a jövőben az éghajlatváltozás hatásai, törekedni kell olyan fejlesztések végrehajtására,

amelyek az alkalmazkodóképesség javításával csökkentik az egyes térségek ivóvízellátásának sérülékenységét.

Az ivóvízbázisok klíma-sérülékenységi vizsgálatához további kutatásokra van szükség. Szükséges a kidolgozott sérülékenységi vizsgálat egész országra történő kiterjesztése a többi regionális vízmű szolgáltató bevonásával, a kitettségi, érzékenységi, igénybevételi és alkalmazkodási elemzések részletes elvégzésével.

A sérülékenységi vizsgálat során szükséges az egyes elemek súlyának pontosítása.

A klímaváltozás hatására változás következhet be a felszín alatti vizek kémiai összetételében. Kiemelten fontosak ebből a szempontból a parti szűrésű rendszerekben bekövetkező változások, illetve a klímaváltozás hatására a szennyeződésterjedési folyamatok megváltozása. E folyamatok a különböző klíma forgatókönyvek esetén eltérően alakulhatnak, így részletes vizsgálatuk szükséges a megelőzés érdekében.

10 HIVATKOZÁSOK

ÁCS, F., BREUER, H. 2013: Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. — Az Eötvös Loránd Tudomany-egyetem kiadványa.

BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., GELYBÓ, GY., SZABÓ, P. 2008: Analysis of expected climate change in the Carpathian basin using the PRUDENCE results. — Időjárás 112, 249–264.

BÍRÓ, P., MOLNÁR, L. 2004: A kistérségek fejlettségi szintjének és infrastruktúrájának összefüggései. — Közgazdasági Szemle, 61, 2004. november (1048–1064. pp)

CLAVIER (CLimate ChAnge and Variability: Impact on Central and Eastern EuRope) http://www.clavier-eu.org/

FALUVÉGI, A. (2000): A magyar kistérségek fejlettségi különbségei, Területi Statisztika, 4., 319–346.

GREEN, T. R., TANIGUCHI, M., KOOI, M., GURDAK, J. J., ALLENE, D.M., HISCOCKF, K. M., TREIDEL, H., AURELI, A. 2011: Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. — Journal of Hydrology 405, 532–560.

IPCC 2007: Climate Change 2007 — The Physical Science Basis. — Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback).

KESSLER H. 1954: A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvizekben. — Vízügyi Közlemények 1954/2, 179–188.

LÉNÁRT L. 2006: A Bükk-térség karsztvízpotenciálja — A hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladata. — Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek 3/2, 17–28.

Országos Meteorológiai Szolgálat (2012): Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ — DMCSEE projekt: A projekteredmények összegzése.

PÁLVÖLGYI, T., HUNYADY, A. 2008: Common methodological framework of CLAVIER Impact Case Studies. — In: Database on the statistical-empirical interrelations between the high resolution climate indicators and the parameters of impact issues. (CLAVIER Report, www.clavier-eu. org)

PÁLVÖLGYI, T., CZIRA, T., DOBOZI, E., RIDEG, A., SCHNELLER, K. 2010: A kistérségi szintű éghajlat-változási sérülékenység-vizsgálat módszere és eredményei. — Klíma-21" Füzetek: Klímaváltozás—Hatások —Válaszok, 2010/62, 88–102.

ROTÁRNÉ SZALKAI Á., TÓTH GY. 2008: Klímaváltozás hatása a felszín alatti vizekre. — Vízmű Panoráma, 16/2, 16–20.

SPRENGER, C., LORENZEN, G., HÜLSHOFF, I., GRÜTZMACHER, G., RONGHANG, M., PEKDEGER, A. 2011: Vulnerability of bank filtration systems to climate change. — Science of the Total Environment, 409, 655–663.

SZÉPSZÓ, G., SÁBITZ, J., ZSEBEHÁZI, G., SZABÓ, P., ILLY, T., BARTHOLY, J., PIECZKA, I., PONGRÁCZ, R. 2015: A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei. — Kézirat, Országos Meteorológiai Intézet, Budapest.

TSAKIRIS, G., VANGELIS, H. 2005: Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. — European Water 9/10, 3–11.

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