

A települések ivóvízellátásának klíma- sérülékenysége Magyarország kiemelt víziközmű-szolgáltatói esetében

Készítette a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
a KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítószámú „NATÉR
továbbfejlesztése” projekt keretében



NAKFO

NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT FŐOSZTÁLY
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

2020

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Készítette:

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
Nemzeti Alkalmazkodási Központ Főosztály

Témafelelős:

Rotárné Szakai Ágnes

Jóváhagyta:

Dr. Czira Tamás
főosztályvezető

Szerzők:

Rotárné Szalkai Ágnes
Fejes Lilian
Selmeczi Pál

2020

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezető.....	1
2	Víziközmű szolgáltatók bemutatása	2
3	Alkalmazott módszertan	6
3.1	Általános alapelvek	6
3.2	Kitettség vizsgálatának módszerei	7
3.2.1	Éghajlati kitettség.....	7
3.2.2	Felszíni vizek vízjárásából adódó kitettség	8
3.3	Vízbázisok klíma-érzékenységi jellemzésének módszere.....	9
3.3.1	Vízbázisok klíma-érzékenységi kategorizálása	9
3.3.2	Felszín alatti vizek igénybevételének meghatározása	10
3.3.3	Komplex érzékenységi index meghatározása	10
3.4	Alkalmazkodóképesség vizsgálati módszerei	11
3.5	Klíma-sérülékenység meghatározása	12
4	Eredmények bemutatása.....	14
4.1	Ivóvízellátás kitettségének vizsgálata	14
4.2	Ivóvízbázisok klíma-érzékenységének meghatározása	21
4.3	Ivóvízellátás alkalmazkodóképességének vizsgálata.....	27
4.3.1	Az alkalmazkodás infrastrukturális hatótényezői.....	27
4.3.2	Az alkalmazkodás társadalmi–gazdasági hatótényezői.....	28
4.3.3	A települések éghajlatváltozással szembeni komplex alkalmazkodóképessége	30
4.4	Települések ivóvízellátásának klíma-sérülékenysége	31
5	Következtetések és javaslatok	33
	HIVATKOZÁSOK.....	36

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Vizsgálatban résztvevő víziközmű-szolgáltatók működési területei	2
2. ábra: A módosított CIVAS model alkalmazása a vízbázis klíma-érzékenységi és -sérülékenységi vizsgálat során	6
3. ábra: Az átlagos éves klimatikus vízmérleg területi eloszlása az 1971-2000 közötti időszakban a CARPATCLIM-HU adatbázis alapján.....	14
4. ábra: A klimatikus vízmérleg várható változása a CNRM-CM5 globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva.....	15
5. ábra: A klimatikus vízmérleg várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva.....	15
6. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányának területi eloszlása az 1971-2000 közötti időszakban a CARPATCLIM-HU adatbázis alapján.....	16
7. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félév csapadékarányának várható változása a CNRM-CM5 globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	17
8. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félév csapadékarányának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	17
9. ábra: A csapadékmentes napok számának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 forgatókönyv alapján a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	18
10. ábra: A száraz időszakok maximális hosszának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval, az RCP4.5 forgatókönyv alapján a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	19
11. ábra: Települések várható éghajlati kitettsége a CNRM-CM5 globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval az RCP4.5 forgatókönyv alapján, a 2021-2050 közötti időszakra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva C45 21	20
12. ábra: Települések várható éghajlati kitettsége az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamoddellel szimulációval az RCP8.5 forgatókönyv alapján, a 2071-2100 közötti időszakra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	20
13. ábra. Vízbázisok klíma-érzékenységeinek domináns jellege.....	21
14. ábra. Vízbázisok másodlagos klíma-érzékenységi kategóriája	22
15. ábra. Klíma-érzékenység mértéke	22
16. ábra. Települések klíma-érzékenységi kategóriái a legkedvezőbb vízbázis alapján.....	23
17. ábra. Települések klíma-érzékenységeinek mértéke a legkedvezőbb vízbázis klíma-érzékenységi kategóriája alapján	23
18. ábra. Települések klíma-érzékenységi besorolása a vízbázisok számának, valamint a vízbázisok földtani-, vízföldtani környezetének eltérő, vagy megegyező jellegének figyelembe vételével	24

19. ábra. Települések klíma-érzékenységi besorolása az érzékenységi pontszámok átlagának értéke alapján	24
20. ábra. Felszín alatti vizek igénybevétele	25
21. ábra. Komplex klíma-érzékenységi index településekre vonatkoztatott értéke	26
22. ábra: A települések ivóvízbázis-ellátottsága	27
23. ábra: Az infrastrukturális hatótényezők alapján számított alkalmazkodóképesség	28
24. ábra: A lakossági fajlagos ivóvízfogyasztás mértéke	28
25. ábra: Fogyasztói érzékenység.....	29
26. ábra: A társadalmi–gazdasági hatótényezők alapján számított alkalmazkodóképessége	29
27. ábra: A települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén.....	30
28. ábra: A települések 2021–2050 közötti időszakokra vonatkozó klíma-sérülékenysége az ivóvízellátás terén, a CNRM-CM5 és az EC-EARTH globális klímamodellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján, az 1971–2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva	31
29. ábra: A települések 2071–2100 közötti időszakokra vonatkozó klíma-sérülékenysége az ivóvízellátás terén, a CNRM-CM5 és az EC-EARTH globális klímamodellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján, az 1971–2000 referencia időszakhoz viszonyítva	32

1 BEVEZETŐ

A klímaváltozás eredményeként tapasztalt Föld vízforgalmának megváltozása közvetlen hatással van az ivóvízkészleteinket jelentő felszíni és a felszín alatti vizek mennyiségi, illetve közvetve minőségi állapotára.

Magyarország kedvező földtani-, vízföldtani adottságainak köszönhetően az ivóvízellátás több mint 95 %-át jelentő felszín alatti vízkészletekben gazdag, azonban ezen készletek utánpótlódása az éghajlati viszonyok alakulásának függvényében változik. A csapadék éves mennyiségének, valamint éven belüli eloszlásának változása közvetlenül hatással van a felszín alatti vizek utánpótlását jelentő, beszivárgó vizek mennyiségére amelyet a hőmérséklet és számos más éghajlati paraméter is közvetetten befolyásol.

Mivel hosszú távú ivóvíz készleteinket a klímaváltozás ily módon egyértelműen befolyásolja, szükségessé vált a vízellátás klíma-sérülékenységének részletes vizsgálata. A klímaváltozás ivóvízbázisokra gyakorolt hatásán túl vizsgálatunk kiterjed az alkalmazkodás lehetőségeinek technikai, társadalmi, valamint szociális szempontjaira egyaránt.

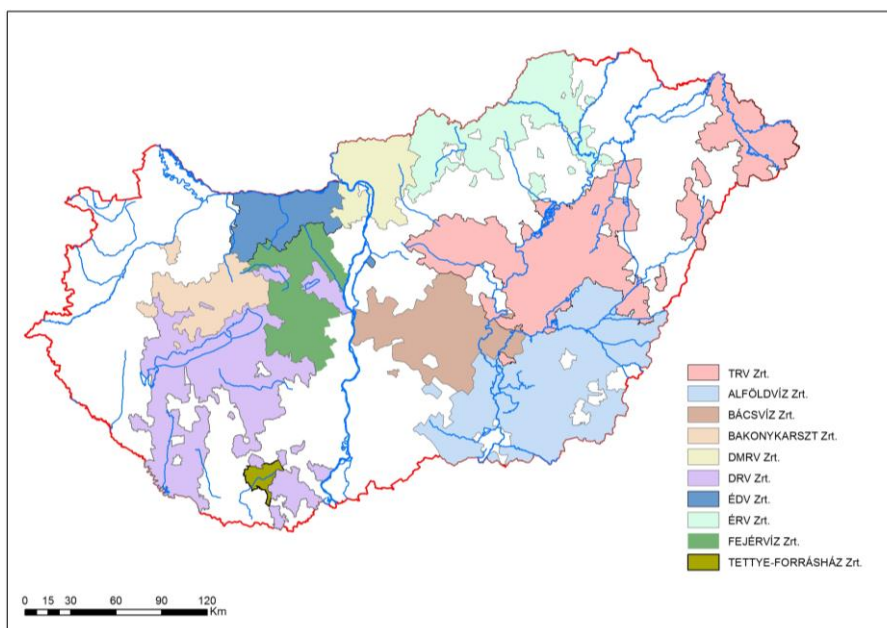
A klíma-sérülékenység mértékét különböző klíma projekció változatokra készítettük el tíz kiválasztott víziközmű-szolgáltató működési területére.

Jelen tanulmány keretében a 10 kiválasztott szolgáltató rövid bemutatását követően ismertetjük a sérülékenységi vizsgálat módszerét, a felhasznált adatok körét és forrásait. A részletesen tárgyaljuk a klímaváltozás lehetséges forgatókönyveit, illetve a vizsgálatunk során alkalmazott projekciók alapján a várható változásokat. Az előállított előrejelzés alapján meghatározzuk a vízbázisok érzékenységét, valamint az ivóvízbázisokat és ivóvízkészleteket érintő várható hatásokat.

Széleskörű adatgyűjtéssel, valamint a víziközmű szolgáltatás jellemző paramétereinek meghatározásával jellemezzük a települések ivóvízellátásának várható hatásokkal szembeni alkalmazkodó képességét, a kockázatokat, valamint a lehetséges megoldásokat. Vizsgálatunk eredményeként jellemezzük a települések ivóvízellátásának sérülékenységét, valamint az Európai Közös vízügyi politikájával összhangban (COM/2009/147) javaslatokat fogalmazunk meg a klímaváltozás hatására az ivóvíz szolgáltatást érintő kedvezőtlen hatások csökkentésére. Ezáltal tanulmányunk és a kapcsolódó NATÉR térinformatikai rendszerben megjelenő térképi fedvények támogatják a Víz Keretirányelv előírásai szerint időszakonként felülvizsgálásra kerülő Vízügyi-gazdálkodási Terv végrehajtását, amely következő felülvizsgálata is középpontba helyezi a globális éghajlatváltozás hatások hazai feltételekhez illeszkedő, a szélsőséges időjárás kihívásaira hatékony választ adó középtávú vízpolitikai stratégiát és a szükséges intézkedéseket. Eredményeink hasznosíthatók a regionális és területi fejlesztések tervezéséhez, valamint értékelésünk információt szolgáltat a víziközmű-szolgáltatók részére, hosszú távú üzemtetési feladatuk támogatására.

2 VIZIKÖZMŰ SZOLGÁLTATÓK BEMUTATÁSA

A víziközmű-szolgáltatók kiválasztása során első sorban a nagy regionális szolgáltató bevonására törekedtünk, valamint figyelembe vettük, hogy vizsgálatunk valamennyi vízbázis típusra és különböző érzékenyséű területekre is kiterjedjen. A tíz kiválasztott szolgáltató – Északdunántúli Vízmű Zrt. (ÉDV), Bakonykarszt Zrt., Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (DRV), Alföldvíz Zrt., Északmagyarországi Regionális Vízmű (ÉRV), Tisza-menti Regionális Vízmű Zrt., Tettye Forrásház Zrt., Fejérvíz Zrt., Bácsvíz Zrt., Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (DMRV) – részt vett az adatszolgáltatásban, és konzultációkkal támogatta az érzékenységi és alkalmazkodóképességi elemzéseket. A partner víziközmű-szolgáltatók működési területét az 1. ábra, a legfontosabb adatokat az 1. táblázat mutatja.



1. ábra: Vizsgálatban résztvevő víziközmű-szolgáltatók működési területei

1. táblázat. A partner víziközmű-szolgáltatók legfontosabb adatai

Víziközmű-szolgáltató neve	Ellátási terület nagysága (km ²)	Ellátott települések száma (2018. év novemberi állapot)	Üzemelő vízbázisok száma (2018. év novemberi állapot)
Alföldvíz Zrt.	9387	131	74
Bakonykarszt Zrt.	2515	122	73
Bácsvíz Zrt.	4507	57	33
DMRV Duna Menti Regionális Vízmű Zrt.	2567	120	25
Dunántúli Regionális Vízmű Zrt.	8990	378	181
Északdunántúli Vízmű Zrt.	2333	78	19
Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt.	5302	263	65
Fejérvíz Zrt.	3318	78	64
Tettye Forrásház Zrt.	332	15	3
Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt.	11436	256	180

ALFÖLDVÍZ Zrt.

Az Alföldvíz Zrt. működési területén a települések a Körös, a Maros, a Tisza, valamint az Ős-Duna által lerakott hordalékkúp területén helyezkednek el. A lakosság vízellátását kizárólag felszín alatti vízbázisokból, a folyók által lerakott porózus vízadó rétegekből (rétegvíz vízbázisokból) biztosítják. A lakosság jelentős hányadának ellátása a kedvezőbb adottságokkal rendelkező Maros-hordalékkúp vizét felhasználva, nagy kiterjedésű regionális távvezetékekkel összekötött vízművek üzemeltetésével történik.

A Békés Megyei Regionális Vízmű (BMRV) rendszer 73 települést, vagy település részt lát el. A regionális rendszeren felül jelenleg átalakítás alatt áll a Nagyéri Kistérségi rendszer, illetve jelenleg beüzemelés alatt áll az Apátfalvi Kistérségi rendszer. Az összekapcsolt rendszerekben többnyire két-három település közös vízellátását biztosítják. Azon települések ellátása, amelyek nem kapcsolódtak a regionális- vagy kistérségi vízművekre, a helyi vízbázisok kútjaiból történik, legtöbb esetben víztisztítási technológiák alkalmazását követően.

Bakonykarszt Zrt.

A Bakonykarszt Zrt. elsősorban Veszprém megye területén végzi az ivóvízellátást, amely döntő többségében (82%) karsztvízből történik. A karsztvíz feltárása sekély mélységű műtárgyaktól (néhány méter mélység) a nagymélységű fúrt kutakig terjed (a legmélyebb fúrt kút Ukkon található: 805 méter), átlagos mélységük 150 méter.

A rétegvíz hasznosító vízbázisok az összes vízbeszerzési kapacitás 11%-át jelentik. A rétegvíz feltárása 20-270 m mélységközben változik, a kutak átlagos mélysége 110 m.

A talajvizet hasznosító vízbázisok aránya mindössze 7%, Farkasgyepű és Városlőd települések térségében történik a sekély mélységű vizekből az szolgáltatás.

A társaság vízellátó rendszerei közül 26 önálló helyi vízmű, míg 29 kistérségi, illetve regionális rendszerű vízmű.

BÁCSVÍZ Zrt.

A Bácsvíz Zrt. szolgáltatási tevékenysége területileg három megyére terjedt ki, a Duna-Tisza közén Bács-Kiskun megye északi részére, Jász-Nagykun-Szolnok megyében a Tiszazugi térségre és Pest megyében Apaj, Nagykőrös, Kocsér térségére.

Az ivóvízellátás céljára jellemzően védett mélységi rétegvizek állnak rendelkezésre, kivétel a Dunai Kistérségi Vízmű Tass - Gudmonfokon, ahol a Duna kavicsteraszára telepített parti szűrésű kutakat üzemeltetése zajlik. A települési ellátó rendszerek többsége egyedi vízbázissal rendelkezik, de működtetnek kistérségi (kecskeméti, kiskunfélegyházi, tiszai, kerekegyházi, bugaci, valamint izsáki-ágasegyházi) és regionális (dunai, tiszazugi) rendszereket is.

A Duna-Tisza közén hét kistérségi vízellátó rendszer működik: Kecskeméti Kistérségi Vízmű, Kiskunfélegyházi Kistérségi Vízmű, Bugaci Kistérségi Vízmű, Dunai Kistérségi Vízmű, Tiszai Kistérségi Vízmű, Izsák - Ágasegyházi Vízmű, Kerekegyházi Kistérségi Vízmű. A Tiszántúlon egy kistérségi vízellátó rendszer üzemel, a Tiszazugi Kistérségi Vízmű.

Duna Menti Regionális Vízmű Zrt.

A Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (DMRV) három megye, Pest, Nógrád és Komárom-Esztergom megyéhez tartozó 120 településen élő, közel 500 ezer lakos részére történő vízellátását biztosítja. A társaság működési területén a fogyasztók ivóvízzel való ellátása felszín alatti vízkészlet igénybevételével valósul meg. A víztermelés jelentősebb hányada a Duna jobb- és bal partján található parti szűrésű vízbázisokról regionális rendszereken keresztül jut a lakossághoz. A szolgáltatott víz kisebb része karsztvíz-, rétegvíz- és talajvízbázisokról történik. A hegyvidéki területeken alárendelt szerepet kapnak a forrásokra kapcsolt vízbázisok, amelyek napjainkban többnyire tartalék vízbázisként tartanak nyilván. Számos településen más szolgáltatótól (átvett vízből) történik a szolgáltatás.

Dunántúli Regionális Vízmű Zrt.

A Dunántúli Regionális Vízmű Zrt. (DRV) működési területe igen tagolt. Baranya, Fejér, Somogy, Tolna, Veszprém és Zala megyékben csaknem 400 település, több mint 800 000 lakosának ivóvízellátását biztosítja. A társaság ellátási területén az ivóvíz 46%-át biztosítják karsztvizekből, parti szűrésű vízből és rétegvizekből a 30%-át, míg a szolgáltatott vízmennyiség 24%-a felszíni vízbázisokból származik. A víztermelés jelentősebb hányada a Duna jobb- és bal partján található parti szűrésű vízbázisokról, kisebb része karsztvíz-, rétegvíz- és talajvízbázisokról történik. A DRV Zrt. több társszolgáltató tevékenységét vízátadással támogatja. A vízellátást regionális rendszerekből (elsősorban a partiszűrésű vízbázisokhoz kapcsolódva), kistérségi rendszerekből, valamint többségében települési vízművek üzemeltetésével végzi.

Északdunántúli Vízmű Zrt.

Az Északdunántúli Vízmű Zrt. működési területe Komárom-Esztergom, Fejér és Pest megyékben 84 településen több mint 300 000 fő részére biztosítja az ivóvízellátást. A vízellátást döntően a karsztvízre telepített tatabányai, dorogi és bicskei regionális rendszerek, kisebb részben dunai parti szűrésű vízbázisok, illetve kevés esetben egyedi kutakra települő helyi vízellátó rendszerek biztosítják. Lokálisan társszolgáltatóktól átvett vízből történik a vízellátás míg más térségekben az ÉRV Zrt. részéről történik vízátadás más vízmű szolgáltatók részére (FEJÉRVÍZ, DMRV).

Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt

Az Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt. (ÉRV Zrt.) ellátási területén két nagy üzemmértékű látja el a vízellátási feladatokat, ezek a Nyugati-, valamint a Keleti Üzemmértékű, melyeken belül 4, illetve 5 Szolgáltatási Üzem található. A lakosság ivóvízzel történő ellátása felszíni víztározókból, különböző forrásokból és különböző mélységű kutakból, azaz felszín alatti vízbázisokból történik. Uralkodóan települési vízellátás jellemző, néhány kistérségi vízmű kivételével. Más társszolgáltatóktól is történik vízátvétel.

Fejérvíz Zrt.

A Fejérvíz Zrt. működési területén a vízbeszerzés módját illetően a települések egy része mélyfúrású kútból származó rétegvízből, más települések pedig karsztvízből kapják az ivóvizet. A rétegvízből ellátott települések egy részén a vizet külön kezelni szükséges, mely kezelés vas- és mangántalanítást, illetve ammónium-mentesítést jelent. A részvénytársaság az ellátott települések harmadrésében egyedi, azaz egy településre kiterjedő rendszert üzemeltet, másik harmadában kistérségi rendszeren keresztül folyik a vízszolgáltatás, míg a többi településen regionális rendszerből átvett víz kerül a hálózatba. Más szolgáltatóktól átvett vízből is történik lokálisan vízellátás.

Tettye Forrásház Zrt.

A Tettye Forrásház Zrt. Pécs városát és annak környékét látja el ivóvízzel, mely döntő többségében felszín alatti vízbázisokból származó réteg- és karsztvizet jelent. Ezt egészíti ki a társszolgáltatóktól átvett, parti szűrésű kutakból termelt ivóvíz. A szolgáltató jelenleg összesen mintegy 170 ezer fő ellátását biztosítja.

Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt.

A Tiszamenti Regionális Vízművek Zrt. (TRV Zrt.) szétagoltan, jelentős területen, összesen hat megyében (Jász-Nagykun-Szolnok, Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar, Heves, Csongrád és Pest), több mint 250 településen, közel 700 ezer lakos ivóvízellátásáról gondoskodik. A TRV Zrt. három nagy regionális és több települési rendszert üzemeltet. A vízellátás többnyire különböző mélységekből származó rétegvizekből biztosított. A társaság jelenleg 3 üzemigazgatóság 9 üzemmérnökségen keresztül látja el a szolgáltatási feladatokat.

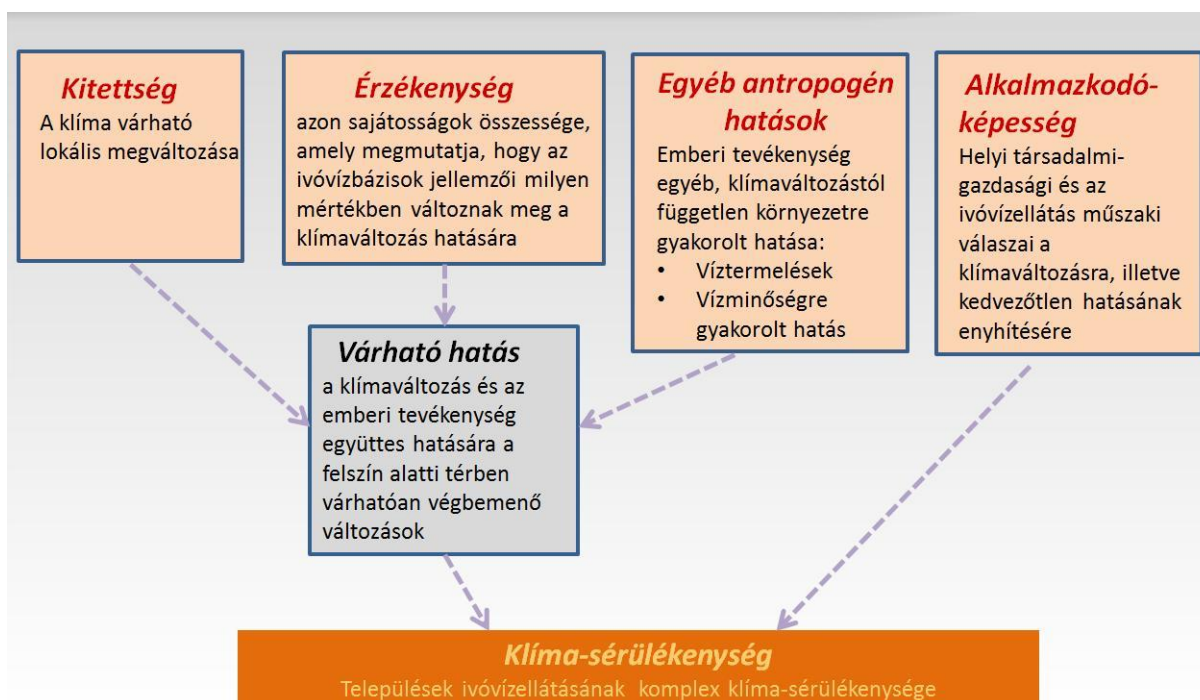
3 ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN

3.1 Általános alapelvek

A vízbázisok klíma-sérülékenységének jellemzéséhez a CLAVIER nemzetközi klímakutatói projektben kidolgozott CIVAS modellt (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) alkalmaztuk. A térségi kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes értékelésén alapuló CIVAS modell egységes módszertani kereteket biztosít a kvantitatív éghajlati hatásvizsgálatokhoz, segítségével jellemezhető a klíma-sérülékenység (PÁLVÖLGYI ET AL., 2008).

A NATÉR rendszer kialakítása projekt keretében elvégzett, a DMRV működési területére vonatkozó kutatási jelentés (ROTÁRNÉ ET AL., 2015) alapján a következőkben foglalható össze a települési ivóvízellátás sérülékenységvizsgálati keretrendszere.

A CIVAS modell alapján az éghajlatváltozás ivóvízbázisokra gyakorolt hatásait a kitettség (exposure) → érzékenység (sensitivity) → várható hatás (impact) → adaptivitás (adaptive capacity) → sérülékenység (vulnerability) kontextusban vizsgáljuk (SELMECZI ET AL. 2016). Az vízbázisok érzékenysége esetében az emberi tevékenység által okozott, a klímaváltozástól független hatások hasonló jelenségeket eredményeznek, a két folyamat együttes 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 alkalmaztuk (2. ábra) (ROTÁRNÉ ET AL., 2015).



2. ábra: A módosított CIVAS model alkalmazása a vízbázis klíma-érzékenységi és -sérülékenységi vizsgálat során

3.2 Kitettség vizsgálatának módszerei

Klímaváltozás szempontjából az ivóvízbázisok kitettségét felszíni vizes ivóvízbázis esetén közvetlenül az éghajlat megváltozása, míg felszín alatti ivóvízbázis esetében közvetetten, az utánpótlódási folyamatokat meghatározó, elsősorban a beszívargás és a megcsapolás folyamatait meghatározó meteorológiai paraméterek változása jelenti (GREEN ET AL. 2011). A felszín alatti ivóvízbázisok sajátos formáját képezik a parti-szűrészű 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.

3.2.1 Éghajlati kitettség

Az éghajlati kitettség vizsgálatához két adatbázis került felhasználásra. A rácsra interpolált, Magyarország területét lefedő mérési adatsorokat tartalmazó CARPATCLIM-HU adatbázis 1971-2000 közötti időszakát használtuk fel a múltbeli klimatikus viszonyok elemzéséhez. Emellett négy, az EURO-CORDEX (JACOB ET AL. 2014) adatbázisból származó klímamodell szimuláció 1971-2000, 2021-2050 és 2071-2100 közötti időszakainak adatait használtuk fel a jövőbeli klíma projektálására. Két globális klímamodell – CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 (VOLDOIRE ET AL., 2012), ICHEC-EC-EARTH (HAZELEGER ET AL., 2010) – egyazon regionális klímamoddellel – RCA4 (SAMUELSSON ET AL. 2011) – leskálázott szimulációit alkalmaztuk. A kiválasztott klímamodellek az IPCC ötödik helyzetértékelő jelentésében szereplő éghajlati forgatókönyveket veszik alapul. A közepesen optimista RCP4.5 és a pesszimista RCP8.5-ös forgatókönyvekre alapozott szimulációk a sugárzási kényszer évszázad végére történő változását vetítik előre W/m^2 -ben.

Az éghajlati kitettség elemzéséhez kettő indikátor került kiválasztásra: a klimatikus vízmérleg és a hidrológiai félévek csapadékösszegeinek aránya. A klimatikus vízmérleg (WB) a vízellátottság elemzéséhez szolgáltat információt, ami az éves csapadékösszeg (P) és az éves potenciális evapotranszspiráció (PET) különbségeként áll elő.

$$WB = P - PET$$

A potenciális evapotranszspiráció Thornthwaite módszerével került kiszámításra (ÁCS ET AL., 2013), napi adatsorokból származtatott havi hőmérsékleti adatsorok felhasználásával.

A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékviszonyainak elemzéséhez a hidrológiai félévek csapadékarányát (P_a) használtuk fel. Ezt a dimenzió nélküli arányszámot alkalmazhatjuk a csapadékosabb félév megállapításának céljából. Amennyiben az arányszám egynél nagyobb, a téli félévben van csapadéktöbblet, míg az egynél kisebb érték a nyári félév csapadéktöbbletét jelenti. Az arányszám a két időszak hányadosaként áll elő (ROTÁRNÉ ET AL, 2015). A téli félév ($P_{tél}$) az adott évet megelőző év november 1-jétől az aktuális év április 31-ig tart, a nyári félév ($P_{nyár}$) május 1-jétől október 31-ig tartó időszak.

$$P_a = \frac{P_{tél}}{P_{nyár}}$$

A klímaablakok és a referencia időszak harmincéves átlagainak különbségéből számított differencia értékek kerültek felhasználásra a vizsgálat során a változás mértékének kimutatása céljából.

Az így kapott vízmérleg és csapadékarány értékeket települési szintre történő átlagolást követően a következő kategóriákba soroltuk: nem várható jelentős változás; mérsékelt változó; jelentősen változó; és fokozottan változó.

3.2.2. Felszíni vizek vízjárásából adódó kitettség

A parti szűrésű rendszerek olyan speciális, a nagyobb folyók allúviumain elhelyezkedő vízbázisokat jelentenek, ahol a kitermelt víz felszín alatti vízből származik, de vízkészlet utánpótlása közvetve a felszíni vízből történik (KÁRMÁN 2013). Az ország geomorfológiai helyzetéből adódóan a nagyobb folyóink a Kárpát-medencét körbevevő hegyvidéki területeken erednek, illetve vízhozamuk jelentős része is innen származik. Fő vízfolyásaink vízjárását ezáltal az országhatáron kívül eső, magasabb térszíni helyzetű területek klíma-kitettsége (ezen belül első sorban az ott hullott csapadék mennyisége) határozza meg (KOVÁCS 2009). A vízbázisok biztonságos üzemeltetése szempontjából fontos a folyamatos megfelelő mennyiségű utánpótlódó vízmennyiség.

A vízfolyások szélsőséges vízállása esetén kisvízi időszakokban nem csupán mennyiségi, de vízminőségi problémák is zavarhatják a partiszűrésű rendszerek megfelelő üzemeltetését a háttér területek felől szivárgó, gyakran szennyező anyagokat tartalmazó vizek megjelenésével, illetve a partiszűrésű rendszerben a redox állapotok által előidézett vízminőségi változásokkal. Nagyvizek esetén szintén romolhat a vízminőség, a folyóvízből a szűrési folyamat felgyorsulása következtében, vagy közvetlenül a rendszerbe jutó szennyezőanyagok miatt (KÁRMÁN 2009).

Az árvizek által jelentett kitettséget csak nagy pontosságú felszíni lefolyásmodell alkalmazásával lehet részletesen tanulmányozni. Mivel ilyen modell nem állt rendelkezésre, értékelésünk során elsősorban a folyó kisvízi állapota által jelentett kitettséget vettük figyelembe. Az egyszerűsítést az is indokolta, hogy a mindössze néhány napig jelentkező árvízi időszakokkal szemben a kisvízi periódusok jóval hosszabbak, akár egy-két hónapig is jelentkezhetnek, ezáltal meghatározóbbak, hangsúlyosabbak. A kitettséget ennek megfelelően két paraméter alkalmazásával jellemeztük, a vízutánpótlás szempontjából mértékadó területre vonatkozó száraz napok számával, valamint a száraz időszakok hosszával. Az 1 mm-nél kevesebb csapadékösszegű napot nevezzük csapadékmentes napnak, az egy adott időszakon belüli leghosszabb egymást követő csapadékmentes periódust jelöli a száraz időszakok maximális hossza. Napi adatsorok felhasználásával készültek el a klímaablakokra a harmincéves átlagok és az ezekből számított differenciák.

Az ivóvízellátás sérülékenységi vizsgálatban részt vevő, jelenleg üzemelő parti szűrésű rendszerek a Duna mentén helyezkednek el. E vízbázisok kitettségét elsősorban a Duna vízjárást meghatározó, a folyó vízgyűjtő területének az országhatáron kívüli, magasabb térszíni helyzetű területek éghajlati paramétereinek vizsgálatával jellemezhetjük. A klimatológiai modell elemzését fenti két paraméter meghatározásához kiterjesztettük az Országos Vízirajzi Szolgálat által a Duna vízjárásának szimulációjára alkalmazott HOLVTAPI hidrológiai modellben meghatározott Duna vízgyűjtő területrészekre.

Az komplex kitettségi indexet a vízmérleg és a csapadékarány kategóriákhoz rendelt értékek településekre számított átlagából, valamint a parti szűrésű rendszerekhez rendelt súlyszám hozzáadásával számítottuk ki, melyek négy kategóriát alkotnak:

- nem várható jelentős változás,
- mérsékelten változó,
- jelentősen változó,
- fokozottan változó.

3.3 Vízbázisok klíma-érzékenységi jellemzésének módszere

Nem nehéz belátni, hogy a csapadék mennyiségének megváltozása annak felszín alá beszivárgó hányadára, azaz a felszín alatti vizek utánpótlódó készletére is hatással van. A hatás mértéke azonban függ a beszivárgási terület földtani, vízföldtani adottságaitól, illetve a beszivárgást követően a felszín alatti víz áramlását befolyásoló tényezőktől. Ebből adódóan a különböző földtani környezeteket reprezentáló hidrológiai rendszerek eltérő mértékben, valamint más-más éghajlati elem változékonyságára érzékenyebbek. Az érzékenységet ezen felül az emberi hatások is befolyásolhatják.

3.3.1. Vízbázisok klíma-érzékenységi kategorizálása

Vízbázisok klíma-érzékenységét fentiek alapján alapvetően a földtani- hidrogeológiai környezetük határozza meg. A vízáadó képződmény hidrogeológiai jellege, a felszín alatti áramlási rendszerben elfoglalt hely, valamint a mélység figyelembevételével a vízbázis környezetére vonatkozó érzékenységi kategóriákat alakítottunk ki, amelynek alkalmazásával valamennyi érintett vízbázist klíma-érzékenységi kategóriákba soroltuk (ROTÁRNÉ ET AL. 2016). Az ivóvízellátás klíma-sérülékenységi vizsgálata során felülvizsgáltuk a NATÉR első fázisában kijelölt kategóriákat, amelyeket a partner víziközmű-szolgáltatókkal egyeztetve a korábbinál részletesebb csoportosítást (2. táblázat) alkalmaztunk.

2. Táblázat. Klíma-érzékenységi kategóriák

Vizbázis típusa					érzékenység mértéke
porózus	30 m-nél sekélyebb				nagyon érzékeny
	30-100 m mélységű				mérsékelten érzékeny
	100 m-nél mélyebb				nincs közvetlen hatás
karsztos	sekélykarsztos	fedetlen karsztos (nyíltkarszt)		járatos	nagyon érzékeny
				repedezett	érzékeny
		fedett karsztos	közvetlen beszivárgással jellemzett	járatos	érzékeny
				repedezett	mérsékelten érzékeny
			közvetett beszivárgással jellemzett	járatos	mérsékelten érzékeny
				repedezett	mérsékelten érzékeny
	mélykarsztos	regionális áramlási rendszerhez tartozó			nincs közvetlen hatás
		önálló áramlási rendszer része			nincs közvetlen hatás
repedezett					mérsékelten érzékeny
partiszűrésű rendszer	partiszűrésű rendszer (szoros értelemben)				nagyon érzékeny
	vízfolyás által befolyásolt sekély porózus				nagyon érzékeny
felszíni					nagyon érzékeny

A vízbázisok klíma-érzékenységét térképen is ábrázoltuk, ahol pontszerű adatként, a vízbázisok súlyponti koordinátáihoz rendeltük a klímaérzékenységi kategóriát. A kialakított 15 klíma-érzékenységi kategória az eltérő hidrológiai környezetek miatt közvetlenül nem összehasonlítható, de jellemezhető a klíma-érzékenység mértéke. Négy érzékenységi fokozat elkülönítésével minden klíma-érzékenységi kategóriához összehasonlítható módon hozzárendeltük a klíma-érzékenység mértékét, amely így már számszerűsítve is összehasonlíthatóvá vált (2. táblázat).

Korábban már említettük, hogy a klíma-sérülékenység jellemzését településekre vonatkozóan végeztük. Amennyiben egy adott település vízellátása egy vízbázisról történik, a település vízellátásának klíma-érzékenysége vízbázis klíma-érzékenységéből közvetlenül levezethető. Amennyiben több vízbázis is részt vesz egy település vízellátásában a település klíma-érzékenységét több szempont alapján is jellemeztük:

- a legkevésbé klíma-érzékeny vízbázis alapján
- a vízbázisok számának és érzékenységének kombinációjával
- a vízbázisok klíma-érzékenységének átlagával

Az első két paramétert térképen ábrázoltuk a települések közigazgatási területeihez rendelve. A vízbázisok klíma-érzékenységének átlagát a klímaváltozás hatása, illetve a klíma-sérülékenység mutatóinak számítása során alkalmaztuk.

3.3.2. Felszín alatti vizek igénybevételének meghatározása

A települések vízellátása klíma-érzékenységének meghatározása során figyelembe kell venni az emberi hatásokra történő ivóvízkészlet csökkenések jelenlegi mértékét is. Amennyiben a természetes állapothoz képest csak korlátozott felszín alatti vízkészletek állnak rendelkezésre, a klímaváltozás hatása a már igénybevett vízkészletekben okoz további változásokat. A két hatás együttes jelentkezése felerősítheti a bekövetkező kedvezőtlen változásokat.

Magyarországon az 50-es évek óta emelkedett meg jelentősen a felszín alatti vizek elsősorban ivóvíz célú termelése. Egyes területeken az ivóvízadó rétegekben is tartós vízszintcsökkenést figyelhetünk meg. Vizsgálatunk során a NATÉR első fázisában végzett, megfigyelő-kutakban mért vízszintváltozás elemzést, valamint a felszín alatti vizek áramlási modell eredményeinek elemzését használtuk fel. Az első fázisban készített regionális értékelés helyett a meghatározott vízszintváltozások mértékét, mint az igénybevételt jellemző mutatót szintén a települések közigazgatási területéhez kapcsolva négy kategóriába soroltuk.

Mivel a tartós regionális vízszintcsökkenések elsősorban a mélyebb (100 m-t meghaladó mélységű) porózus ivóvíztartó rétegekben jelentkeztek, az indexet csak a vonatkozó vízbázis típus esetén alkalmaztuk.

3.3.3. Komplex érzékenységi index meghatározása

A települések vízellátásának klíma-sérülékenységéhez a fenti módon meghatározott két érzékenységi jellemzőből származtatott, a településekhez kapcsolt, komplex klíma-sérülékenységi indexet alkalmaztuk. Ennek számításához a vízbázisok klíma-érzékenységének átlagát, illetve az igénybevétel mértékét használtuk. A két jellemzőt nem egyenlő súllyal szerepelt, a vízbázisok klíma-érzékenységének átlagát négyszeres szorzóval vettük figyelembe.

3.4 Alkalmazkodóképesség vizsgálati módszerei

Az éghajlatváltozás hatásaival szembeni sérülékenység mértékét a kitettség és érzékenység eredőjeként leírható hatás mértéke mellett alapvetően befolyásolja az alkalmazkodóképesség. Az ivóvízellátás sérülékenysége esetén az alkalmazkodóképesség részeként vizsgáljuk az infrastruktúra állapotát, fejlesztési lehetőségeit, valamint a vízigényeket és az adott település társadalmi–gazdasági viszonyait (ROTÁRNÉ ET AL. 2016). E tényezők tehát együttesen befolyásolják a vízellátás éghajlatváltozás hatásaival szembeni sérülékenységét.

3. táblázat: Az ivóvízellátás alkalmazkodóképességének hatótényezői

Infrastrukturális tényezők	Társadalmi–gazdasági hatótényezői
Egy adott települést közvetlenül ellátó ivóvízbázisok száma (db)	Egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás, 2013 (m3/fő)
Az ivóvízbázis bővíthetősége és az ivóvízellátás kapacitásának növelhetősége (kategória)	Egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem, 2013 (Ft/fő/év)
Értékesítési különbözet (m3/m)	Fogyasztói érzékenység (%)
Tározási kapacitás (m3/fő)	

Az alkalmazkodás tekintetében – a kitettséghez és érzékenységhez hasonlóan – a NATÉR kialakítása projekt keretében kidolgozott módszertant vettük alapul, amelyet a vizsgálatba bevont víziközmű-szolgáltatókkal megvitattunk, javaslataik alapján több új tényező (3. táblázat) került bevonásra a vizsgálatba.

Az **infrastrukturális tényezők** esetében a módszertan továbbfejlesztése révén két új paraméter került bevonásra a vizsgálatba. Ezek egyik a fajlagos értékesítési különbözet, amely a kitermelt és értékesített vízmennyiség közötti különbséget mutatja meg. E tényezőt a szolgáltatóktól beérkezett adatok alapján számítottuk ki és az adott szolgáltató teljes működési területére értelmeztük. E megközelítést alkalmaztuk a tározási kapacitás esetén is.

Az ivóvízbázis-ellátottság, valamint a fejlesztési lehetőségek esetén vízbázisonként kértünk adatokat az szolgáltatóktól. Meghatároztuk, hogy egy adott települést hány darab vízbázis lát el, illetve a vízbázisok esetében a szolgáltató értékelése szerint van-e lehetőség a kapacitások fejlesztésére az egyes vízbázisoknál.

A **társadalmi–gazdasági hatótényezők** esetében új elemként jelenik meg a módszertanban a fogyasztói érzékenység, amely azt fejezi ki, hogy hogyan viszonyul a vízdíj mértéke az egy főre jutó átlagos jövedelemhez települési szinten figyelembe véve az adott településen mért átlagos vízfogyasztást is.

E mellett a korábban kidolgozott módszertan alapján figyelembe vettük települési szinten az egy főre jutó átlagos jövedelmet, mint általános fejlettségi mutatót, valamint a lakossági ivóvízfogyasztás mértékét.

A vizsgálat további lépései során kategóriaértékeket rendeltünk az egyes mutatókhoz, majd a kategóriaértékek összegzésével meghatároztuk az infrastrukturális és a társadalmi–gazdasági alkalmazkodóképesség indexét települési szinten, majd e két tényező összegzésével határoztuk meg a ivóvízellátás alkalmazkodóképességének kategóriaértékét.

3.5 Klíma-sérülékenység meghatározása

A vízellátás sérülékenységének jellemzése a NATÉR projekt keretében sikeresen alkalmazott (ROTÁRNÉ ET AL. 2015, ROTÁRNÉ ET AL. 2016, HOMOLYA ET AL. 2017) a kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes vizsgálatán alapul. Jelen vizsgálatok célja, hogy az ott meghatározott módszertant több víziközmű-szolgáltató bevonásával továbbfejlesszük és országosan értelmezhető eredményeket állítsunk elő. Fontos hangsúlyozni, hogy jelen módszertani leírás keretében alapvetően az eltérések, a továbbfejlesztés mikéntjének bemutatása a célunk. A módszertan megalapozása a hivatkozott tanulmányokban, valamint a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer dokumentumtárában közzétett dokumentumokban érhető el.

A kitettség elsősorban az éghajlati kitettséget jelenti, azonban a vízellátás szempontjából a parti szűrőű rendszerek kitettségét a felszín alatti vízkészletek utánpótlását közvetlenül biztosító felszíni vízfolyás vízjárásának változása határozza meg.

A vízellátás klíma-érzékenysége az ivóvízkészleteket biztosító vízbázisok (amelyek felszíni és felszín alatti vízkészleteket egyaránt jelenthetnek) klímaváltozás hatására várható vízkészletében bekövetkező változások mértékét jelzi. Különböző földtani, hidrogeológiai körülmények között elhelyezkedő, illetve a felszíni vizeket magukban foglaló vízbázisok klíma-érzékenysége jelentősen eltér, amelynek mértéke a vízbázis közvetlen környezetének földtani, hidrogeológiai adottságok függvénye (EARMAN AND DETTINGER 2011). Felszín alatti vízbázisok esetében antropogén hatásra is bekövetkezhet vízkészlet változás, amelynek elkülönítése a klimatikus hatások által kiváltott készletváltozástól nem egyértelmű. A két folyamat együttes érvényesülése fokozott hatással jelentkezhet a felszín alatti vizekben.

A kitettség és érzékenység együttesen meghatározza az éghajlatváltozás hatását az egyes vízbázisokra és a települések vízellátására.

Az alkalmazkodóképesség megmutatja, hogy a kitettség és a vízbázisok érzékenységéből származó változó feltételekhez a vízellátási rendszer társadalmi, gazdasági és technológiai szempontból hosszú távon mennyire képes alkalmazkodni.

A klíma-sérülékenység fenti elemeit az indikátorok eloszlásával, illetve kategorizálásával jellemeztük. Valamennyi eleméből (kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség) az egyes meghatározó tényezőkből levezetett indexek együttes figyelembevételével komplex indikátorokat hoztunk létre.

Fent bemutatott elemekből levezetve határoztuk meg a vízellátási rendszerek klíma-sérülékenységét komplex indexrendszer alkalmazásával. A klíma-sérülékenység paraméterét településekhez kapcsolva jellemeztük, illetve térképen megjelenítettük a kiválasztott víziközmű-szolgáltató működési területére.

A klíma-sérülékenységi értékeket a települések közigazgatási területéhez kapcsoltuk. Amennyiben egy víziközmű-szolgáltató csak egy résztelepülés ivóvízellátását végezte a vonatkozó adatokat a teljes településhez kapcsolva, a nagyobb település ellátását biztosító vízi közmű szolgáltató adataival együtt értékeltük a teljes településre vonatkoztatva. Ha a kiegészítő településrész ellátását a vizsgálatba be nem vont szolgáltató végezte, hiányzó adatokra való tekintettel a teljes települést kihagytuk az értékelésből. Amennyiben egy település vízellátása más szolgáltatótól történő vízátadással történik, a települést szintén kihagytuk a vizsgálatból, mivel nem volt lehetőség a partner víziközmű-szolgáltatókon kívül az átadott víz eredetére (ellátó vízbázisra) vonatkozó információk összegyűjtésére.

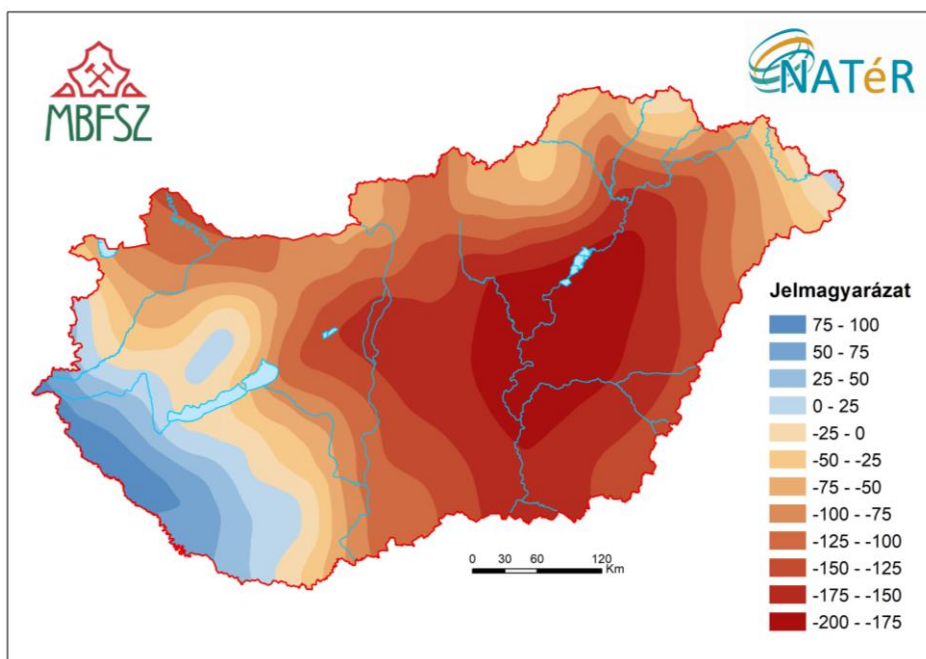
A klíma-sérülékenységet a 2015 során zajlott kutatásban a kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség egyenlő súllyal történő figyelembevételével határoztuk meg. Az új módszertan szerint a sérülékenység jellemzéséhez első lépésben a komplex kitettségi index és a komplex klíma-érzékenységi index alkalmazásával meghatároztuk a klímaváltozás települések ivóvízellátására gyakorolt hatásának mértékét. Második lépésként ezt az összetett hatást összegeztük a komplex alkalmazkodóképességi mutatóval. Az indexek összehasonlíthatósága céljából az összegzést megelőzően a komplex mutatók értékeit normalizáltuk. A kapott értéket sérülékenység jellemzése céljából négy kategóriába soroltuk, majd a települések közigazgatási területeihez rendelve térképen ábrázoltuk.

A klíma-sérülékenységhez meghatározott indexeket és komplex index értékeket, valamint a sérülékenység mértékét adattáblákba foglalva és térinformatikai rendszerbe beépítve térben is megjelenítettük.

4 EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

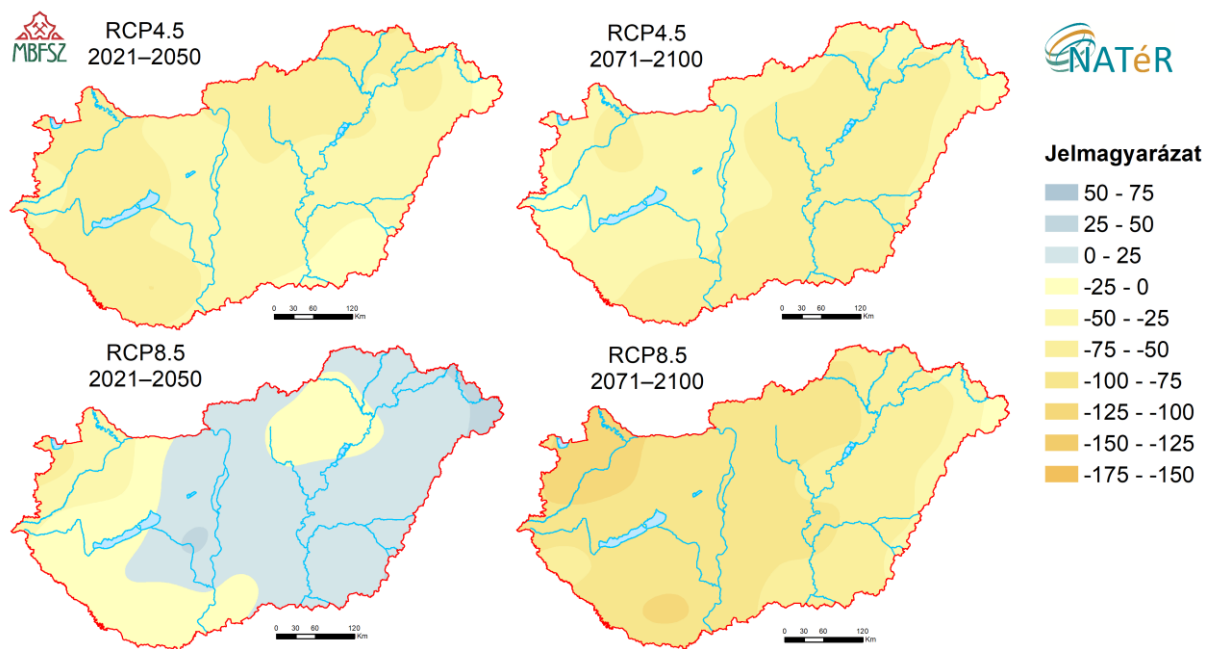
4.1 Ivóvízellátás kitettségének vizsgálata

Az 1971-2000 közötti 30 éves periódus vízellátottságáról nyújt információt a CARPATCLIM-HU adatbázis alapján számított klimatikus vízmérleg és hidrológiai félévek csapadékaránya. A klimatikus vízmérleg területi eloszlásán (3. ábra) látható az alacsonyabban fekvő, alföldi területek csapadékhányos állapotát jellemző negatív értékek többsége, amely az Alföld középső régiójában -200 mm-es minimum értékekkel jelenik meg. Látható továbbá, hogy a tengerszint feletti magasság emelkedésével növekszik a vízmérleg értéke is, azonban döntően negatív tartományban marad. Az ország délnyugati területein csapadéktöbblet mutatkozik, ezeken a területeken éri el a vízmérleg a maximális, 100 mm-es értékeit.

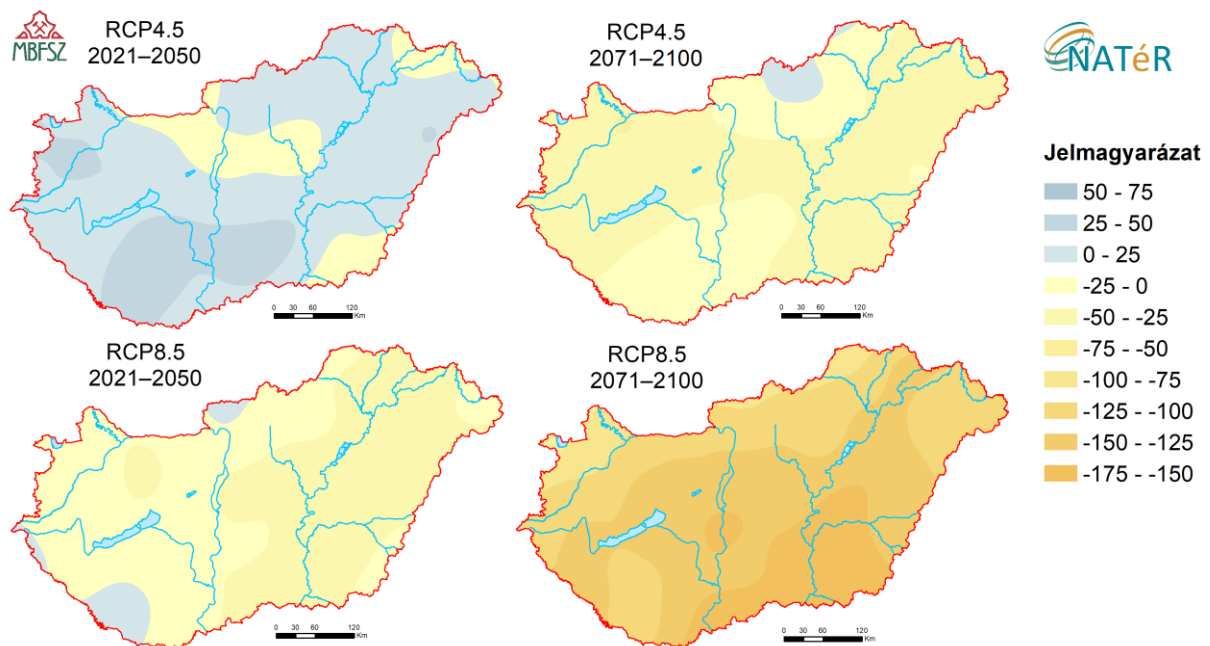


3. ábra: Az átlagos éves klimatikus vízmérleg területi eloszlása az 1971-2000 közötti időszakban a CARPATCLIM-HU adatbázis alapján

A 4. és 5. ábrák a klimatikus vízmérleg várható változását mutatják be, négy klímamodell kombináció két klímaablakára. A 4. ábrán látható, hogy a CNRM-CM5/RCA4 szimuláció eredményei közül egyedül az RCP8.5-ös forgatókönyvre alapozott eredményekben mutatkoznak pozitív értékek, az ország döntő hányadát negatív értékek jellemzik. Ezzel ellentétben az EC-EARTH/RCA4/RCP8.5 klímamodell kombináció eredményei szerint az évszázad közepére az ország nagyobb részére negatív értékek várhatóak. A két szimuláció közötti különbség is mutatja az általunk is elvégzett ensemble elemzések szükségességét, ami olyan valószínűségi kiértékelést tesz lehetővé, amellyel csökkenthetjük a klímamodellekben mutatkozó bizonytalanságot. Látható, hogy kismértékű csapadéktöbbletre az évszázad közepéig számíthatunk, míg az évszázad végére ez jellemzően már csapadékhányba fordul át. A csapadékmennyiség csökkenésének leginkább kitett terület várhatóan az Alföld térsége lesz, ahol a referencia időszakhoz viszonyítva a csapadékhány növekedése elérheti akár a 150 mm-t is.

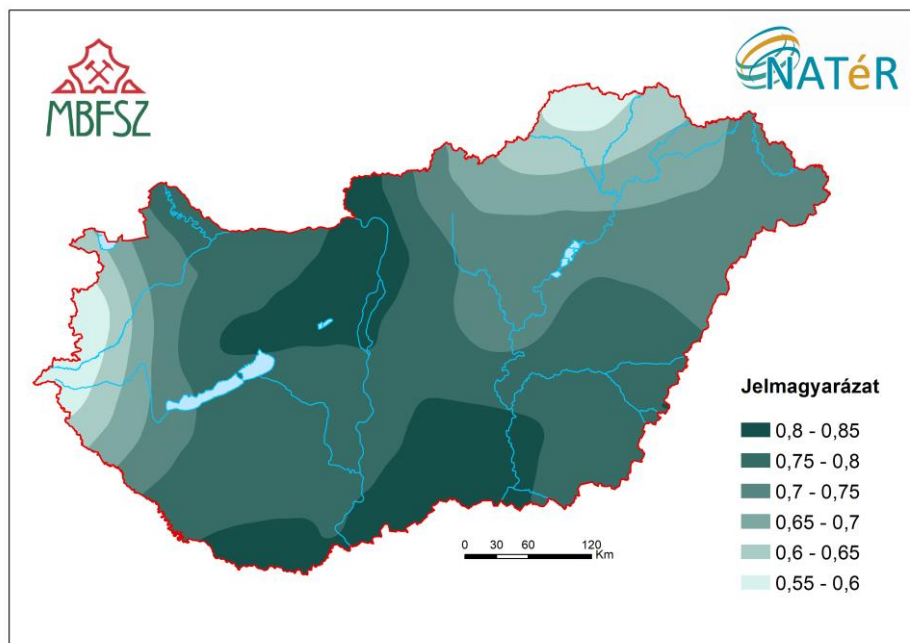


4. ábra: A klimatikus vízmérleg várható változása a CNRM-CM5 globális klímamoddellal meghajtott RCA4 regionális klímamoddell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva



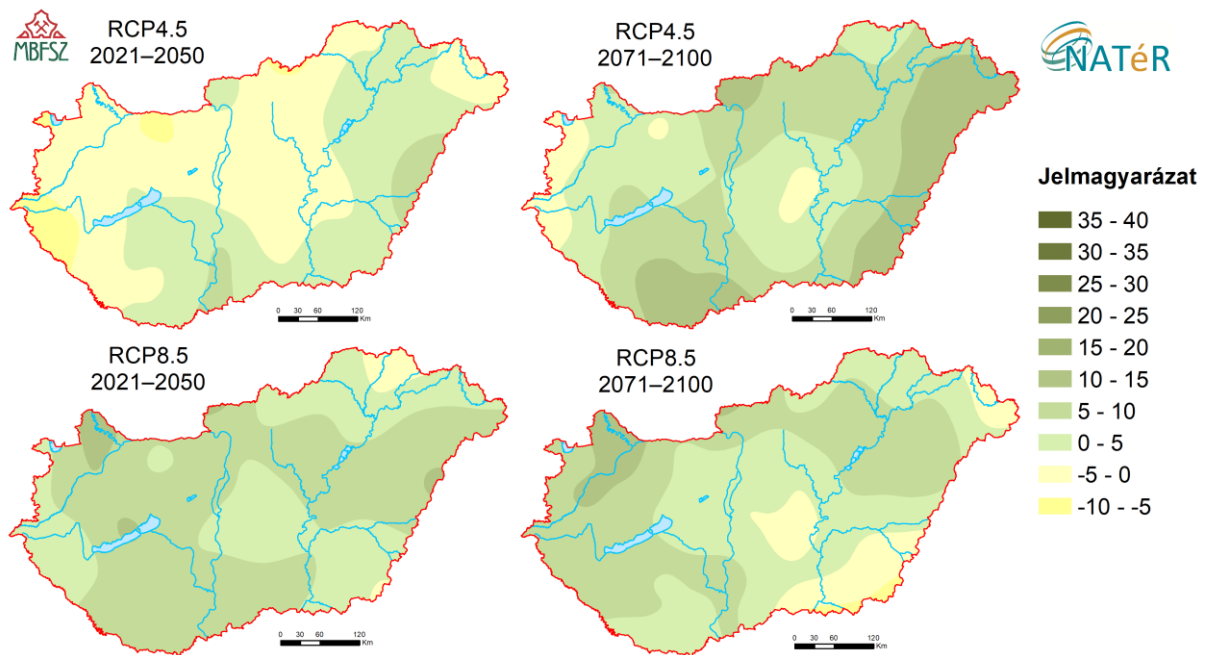
5. ábra: A klimatikus vízmérleg várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellal meghajtott RCA4 regionális klímamoddell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

Az 1971-2000 közötti referencia időszakban a hidrológiai félévek csapadékaránya az ország teljes területén 1 alatti értéket vesz fel, azaz a csapadék nagyobb hányada a nyári félévben jelentkezett (6. ábra). Az ország nyugati határvidékén és az északkeleti régióban a legalacsonyabb a csapadékarány értéke, ezeken a területeken volt a legnagyobb különbség a két félév csapadékösszegei között.

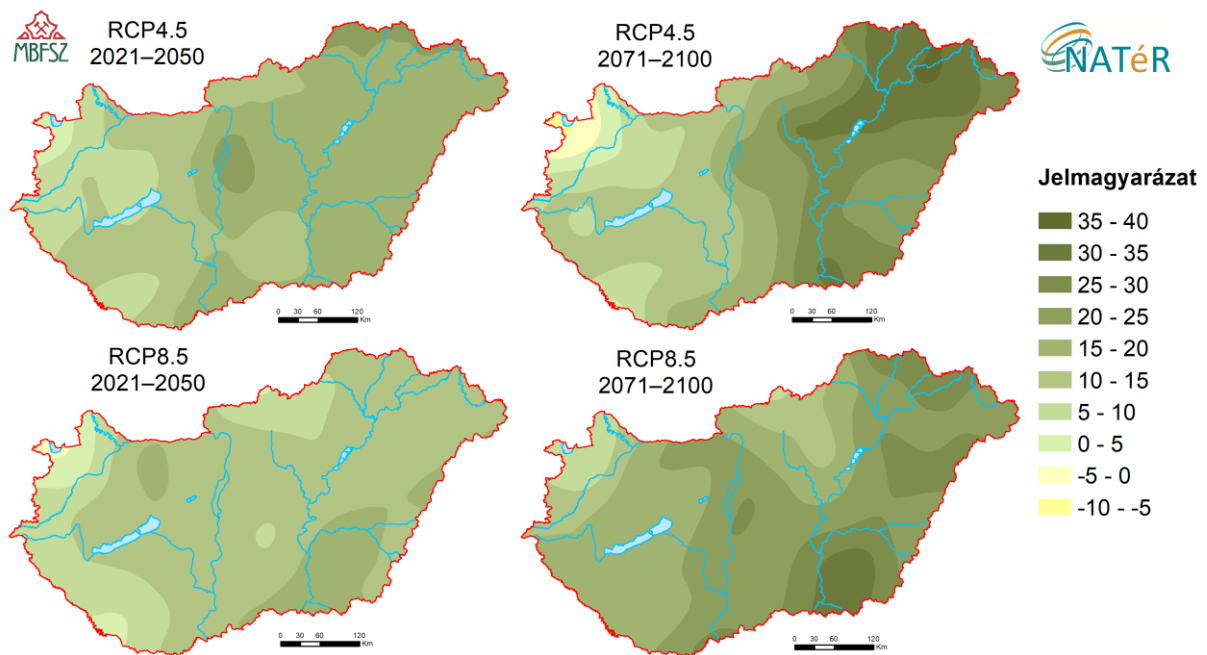


6. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félévek csapadékarányának területi eloszlása az 1971-2000 közötti időszakban a CARPATCLIM-HU adatbázis alapján

Az évszázad közepére az EC-EARTH globális modellel és az RCP4.5-ös közepesen optimista kibocsátási forgatókönyvvel meghajtott RCA4 regionális éghajlati modell a csapadékarány kismértékű, de az ország kétharmadára kiterjedő negatív eltolódását feltételezi (7. ábra). Az EC-EARTH modell minden általunk vizsgált szimulációjának eredményeiben találhatók kisebb területet érintő negatív irányú eltolódások, az RCP8.5-ös forgatókönyv mellett ez az ország kisebb, északkeleti, illetve alföldi, déalföldi régióit érinti. A CNRM-CM5 modellfuttatásai (8. ábra) alapján az ország keleti területein várható a csapadékarány legerőteljesebb pozitív irányú eltolódása, de az egész ország területén a pozitív értékek dominálnak. Összesítve a modellpárok eredményeit, azok a csapadékarány pozitív eltolódását feltételezik, a lehulló csapadékmennyiség arányosan a téli félévben lesz több, ezáltal a nyári félév szárazabbá válása projektálható.



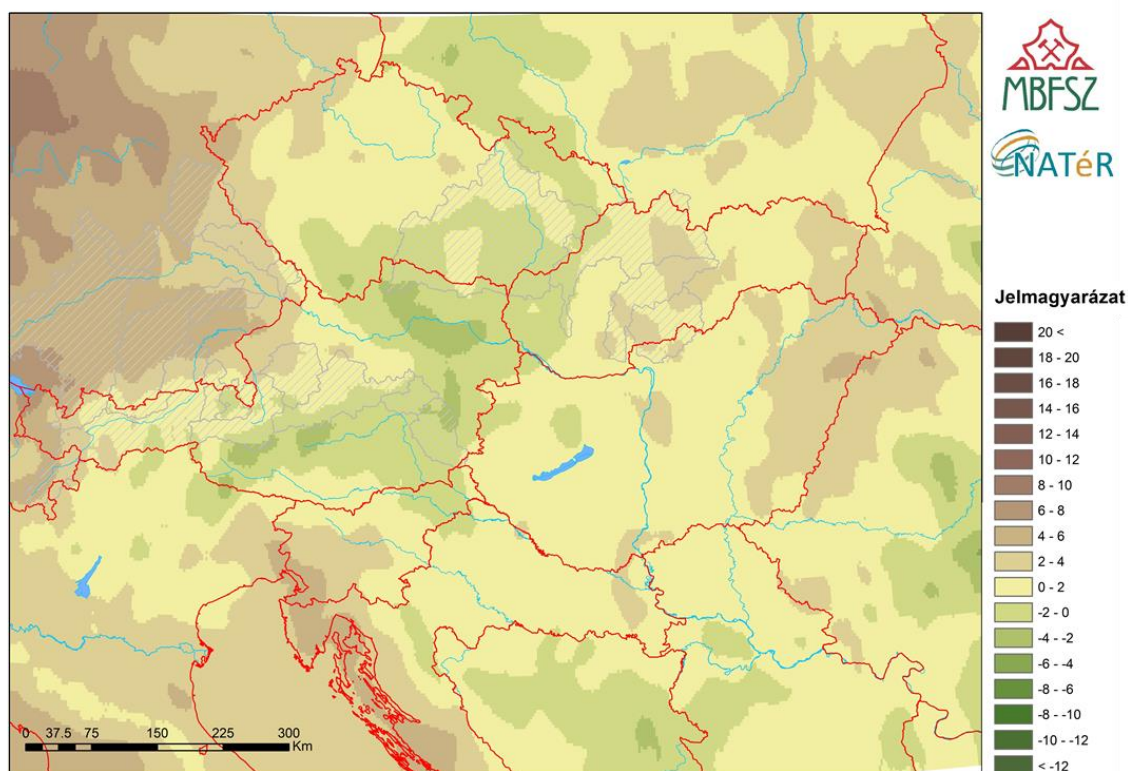
7. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félév csapadékarányának várható változása a CNRM-CM5 globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva



8. ábra: A téli és a nyári hidrológiai félév csapadékarányának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján a 2021-2050 és a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

A parti szűrésű vízbázisok kisvízi időszakainak figyelembevételéhez a Duna vízgyűjtő területére végeztük el az éghajlati adatok és mutatók kiszámítását. Napi csapadék idősorok felhasználásával meghatároztuk minden általunk használt klímamodell szimulációra a csapadékos napok számának, illetve a száraz időszakok maximális hosszának várható változását.

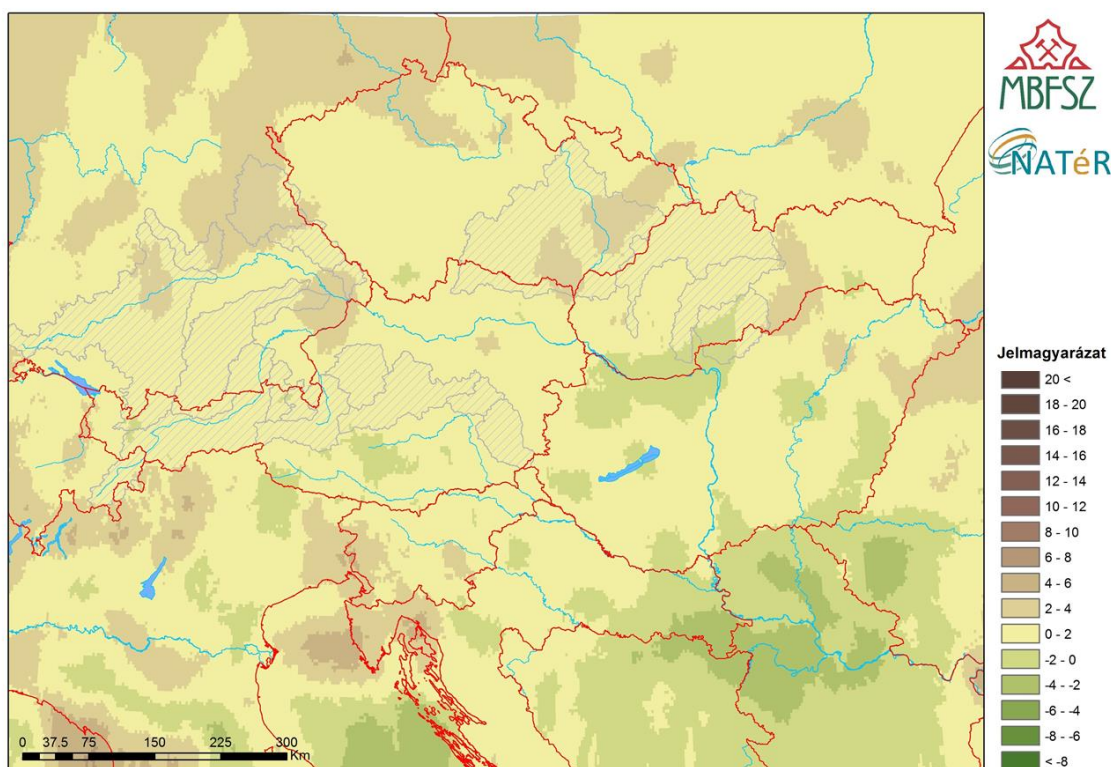
A csapadékmentes napok száma a vizsgált területen változékony képet mutat a közepesen optimista szimuláció szerint az évszázad végére (9. ábra). A projekció szerint a Duna-vízgyűjtő németországi és tiroli területein, Szlovákiában és Kárpátalján várható a csapadékmentes napok számának növekedése, amely jelentőse mértékben kihathat a Duna és a Tisza vízjárására. Hazánk területén – kiemelten Tiszántúl térségében – döntően emelkedni fog a csapadék nélküli napok száma.



9. ábra: A csapadékmentes napok számának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 forgatókönyv alapján a 2071-2100 közötti időszakra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

Ugyanez az éghajlati projekció a száraz időszakok maximális hosszának emelkedését vetíti előre a Duna-vízgyűjtő térségének nagyobb részére, főként a délkeleti területeken várható az időszak csökkenése (10. ábra). Magyarország területén megoszlik a változás iránya, a déli és északnyugati területeken negatív, az ország többi részén kismértékű pozitív értékek is megjelenhetnek az évszázad végéig.

Az utóbbi két a származtatott paraméter kizárólag a parti szűrésű vízbázissal rendelkező területek indexeinél kerültek bele a számításba, annak alapján súlyozva, hogy hány százalékban vesznek részt a vízellátásban a többi vízbázishoz viszonyítva.

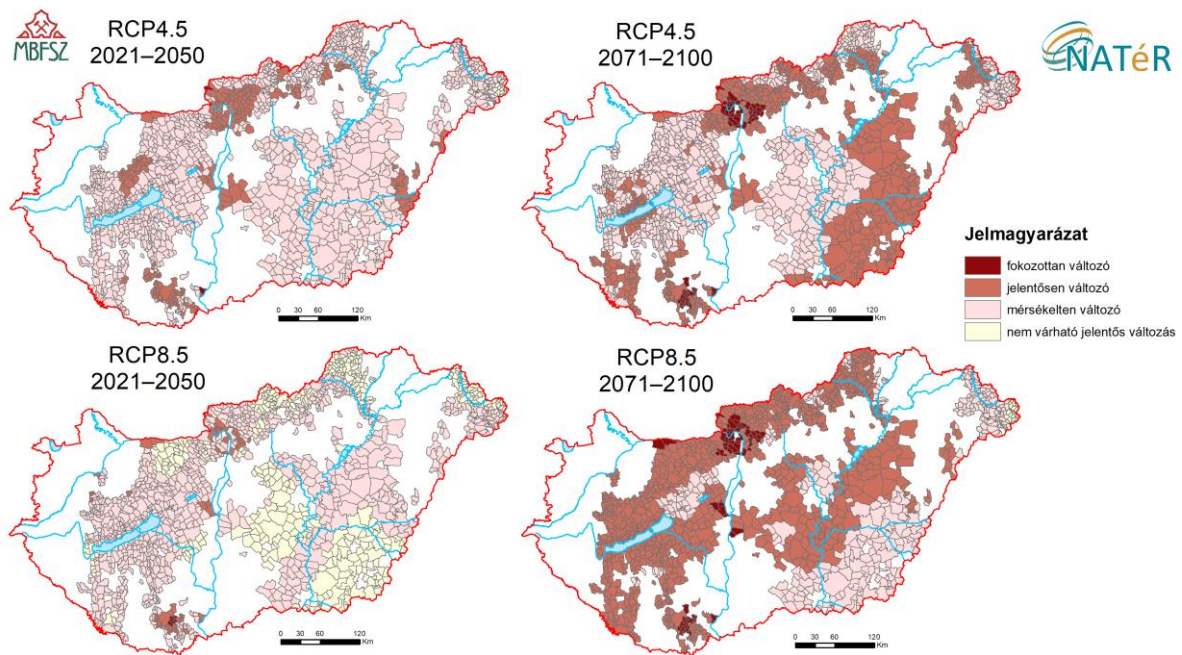


10. ábra: A száraz időszakok maximális hosszának várható változása az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 forgatókönyv alapján a 2071-2100 közötti időszakokra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

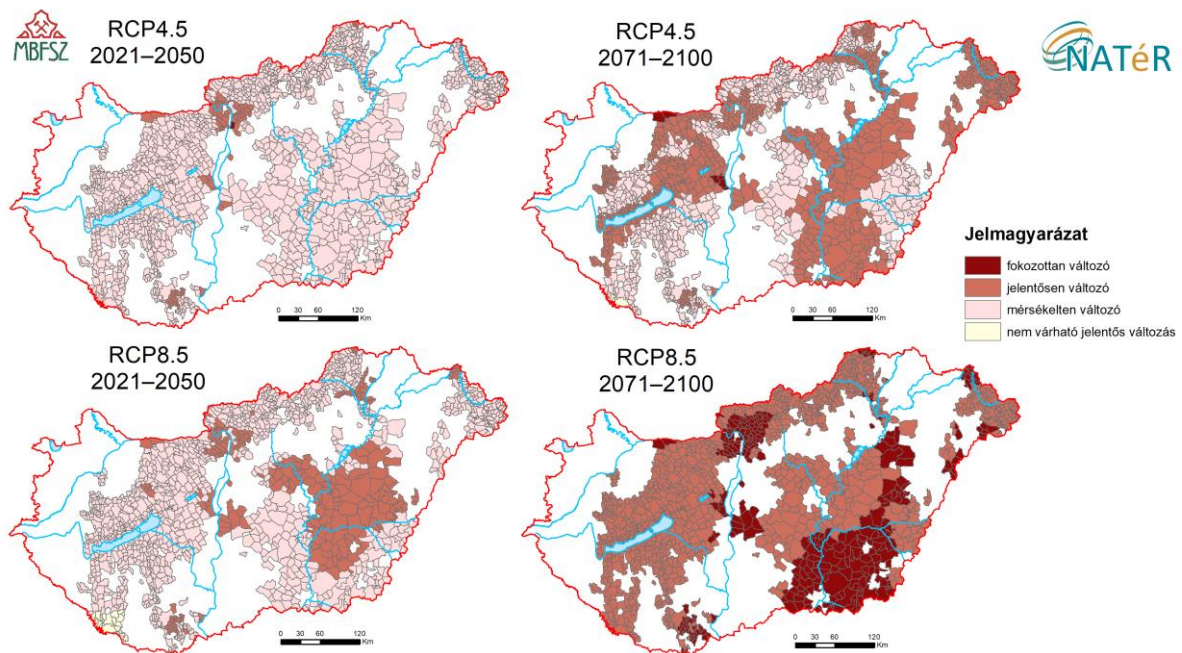
A vízmérleg és a csapadékarány kategóriákhoz rendelt értékeinek településekre számított átlagának, illetve a partiszűrészű vízbázissal rendelkező településeknél figyelembe vett érték hozzáadásával számított komplex kitettségi indexek előálltak minden kiválasztott klímamodell kombinációra, minden általunk vizsgált vízi közmű szolgáltató területére (11. és 12. ábra).

Az évszázad közepéig a vizsgált települések nagyobb hányada az éghajlatváltozás hatásaival szemben mérsékelt/jelentős kitettséggel rendelkezik, azonban ekkor még több olyan település is lehet az országban, ahol nem várható jelentős változás az ivóvízbázisokra hatást gyakorló klimatológiai paraméterek szempontjából. Kivételt képeznek ez alól a parti szűrészű és karsztos vízbázissal rendelkező települések, amelyek fokozottan kitettek az éghajlatváltozás hatásaival szemben. Az évszázad végére megemelkedik a jelentősen és fokozottan változó kategóriákba sorolt települések száma, fokozottan változó területek közé tartozik a Dunakanyar, illetve az Alföld nagyobb térsége is. Az ország jelentős területén látható ivóvízbázisaink éghajlati kitettségének emelkedő tendenciája.

Vizsgálatunk egyik alappillére a klímamodell adatbázisokból származtatott indikátorok képezik, így figyelembe kell vennünk a klímamodellezés bizonytalanságait is. Olyan értékek, amelyek szignifikánsan eltérnek a tendenciától rövidebb időszakok vizsgálatakor problémát okozhatnak, ezekben az esetekben különböző hibakorrekciós eljárásokkal csökkenthető ezen hibák mértéke, illetve a bizonytalansági kiértékelés szempontjából több regionális klímamodell adatainak felhasználása szintén célszerű lehet. Mindezek mellett fontos kiemelni, hogy a jövőre vonatkozó becsléseket fogalmazzuk meg az előállított mutatók, amelyek értelmezésekor a változások irányát és mértékét kell figyelembe vennünk.



11. ábra: Települések várható éghajlati kitettsége a CNRM-CM5 globális klímamoddell meghajtott RCA4 regionális klímamoddell szimulációval az RCP4.5 forgatókönyv alapján, a 2021-2050 közötti időszakra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva C45 21



12. ábra: Települések várható éghajlati kitettsége az EC-EARTH globális klímamoddell meghajtott RCA4 regionális klímamoddell szimulációval az RCP8.5 forgatókönyv alapján, a 2071-2100 közötti időszakra az 1971-2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

4.2 Ivóvízbázisok klíma-érzékenységeinek meghatározása

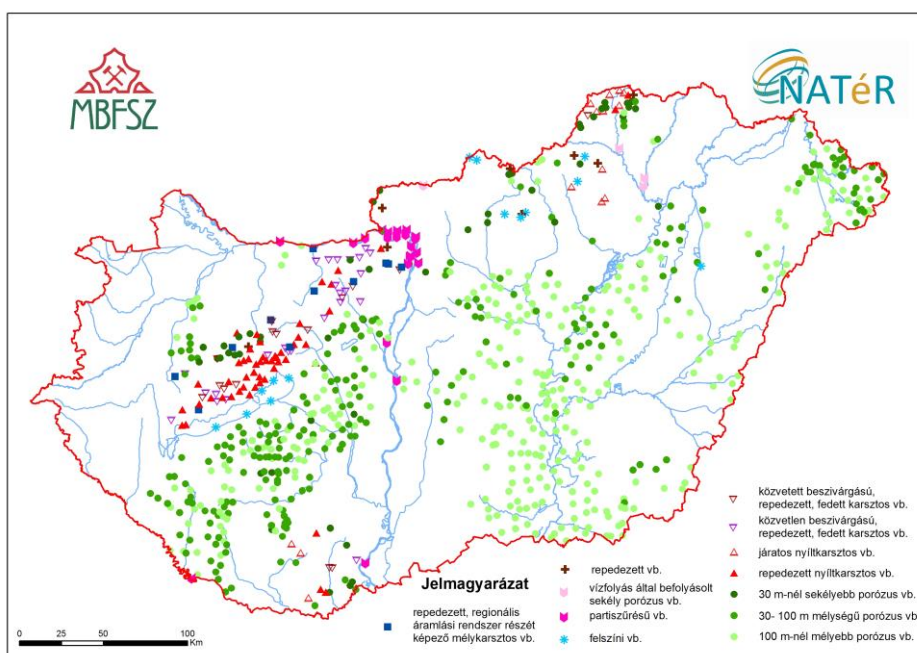
A különböző földtani környezeteket reprezentáló hidrológiai rendszerek más-más éghajlati elem változékonyságára érzékenyebbek. A vízbázisok eltérő klímaérzékenysége a magában foglaló hidrológiai rendszerek alapján klíma-érzékenységi kategóriákba sorolhatók (2. Táblázat). A kategóriák kialakításakor figyelembe vettük a vízbázist meghatározó vízadó képződmény hidrogeológiai jellegét és porózus vízbázisok esetében a vízadó mélységét. Karsztos vízadók esetében fontos szempont volt a karsztjáratok jellege, a fedő üledékek vastagsága, illetve a közvetlen beszivárgási területet jelentő nyíltkarsztos területekkel való hidraulikai kapcsolat. Parti szűrésű rendszerek esetében a felszíni vízből történő utánpótlódás mértéke volt meghatározó.

A partner víziközmű-szolgáltatók szakértőivel együttműködve valamennyi ivóvízbázist a 4.3.1. fejezetben ismertetett klíma-érzékenységi kategóriákba soroltuk. A besorolásnál az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

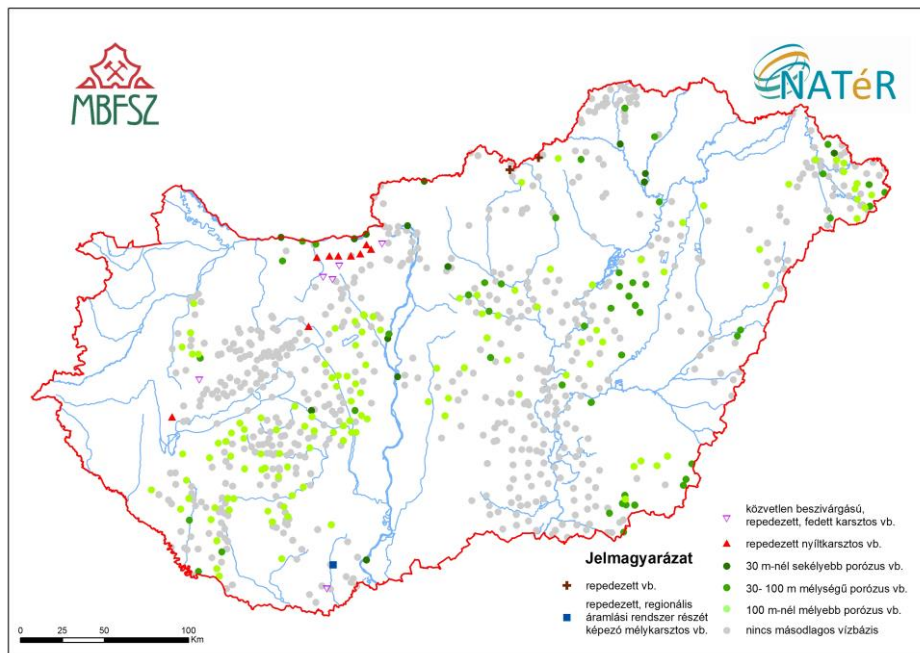
- a vízbázis környezetének földtani, vízföldtani jellemzői,
- a vízbázist alkotó kutak építéskori alapadatai és az üzemeltetés során mért paraméterek,
- vízbázis diagnosztikai vizsgálatok,
- lokális és regionális felszín alatti áramlási modellek eredményei

Amennyiben a besorolás nem volt egyértelmű, a domináns jelleget vettük alapul, és jeleztük, hogy másodlagosan melyik típusba tartozik. Porózus vízbázisok között pl. gyakori, hogy egy vízbázison több különböző mélységű kút is található. Ilyenkor a domináns jelleg mellett másodlagosan a további érintett mélységtartományt is jelöltük. Fenti besorolás jelentette a vízbázisok pontszerű megjelenítésével elkészített, a vízbázisok klíma-érzékenységeinek domináns jellege, valamint a másodlagos klíma-érzékenységi kategóriák tematikájú térképi fedvények alapját.

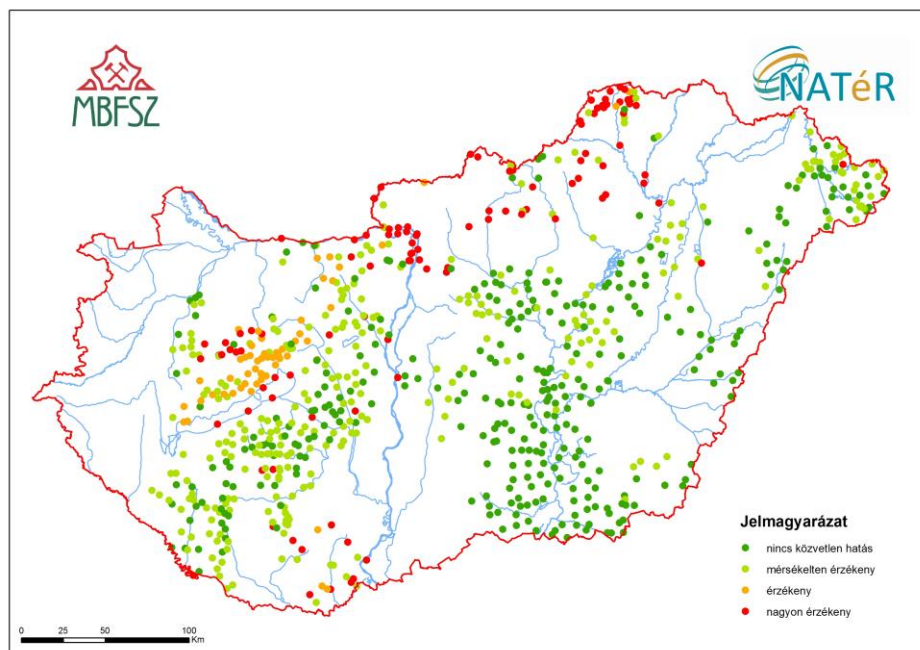
A klíma-érzékenységi kategóriákhoz hozzárendeltük a klíma-érzékenység mértékét, amelyben négy kategóriát különítettünk el. A térképi megjelenítés a vízbázisok súlyponti koordinátája alapján, pontszerű ábrázolással történt (13–15. ábrák).



13. ábra. Vízbázisok klíma-érzékenységeinek domináns jellege



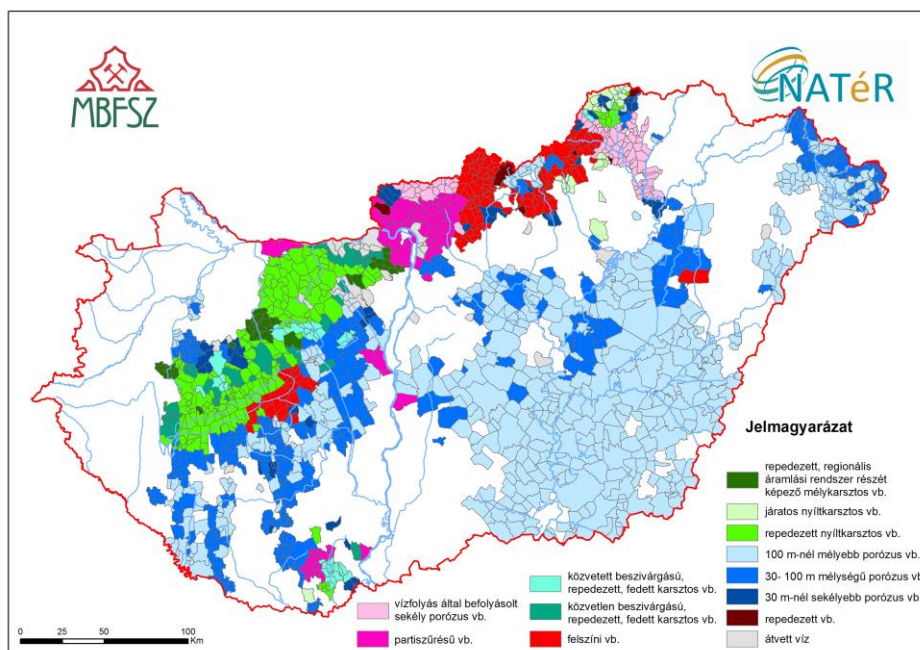
14. ábra. Vízbázisok másodlagos klíma-érzékenységi kategóriája



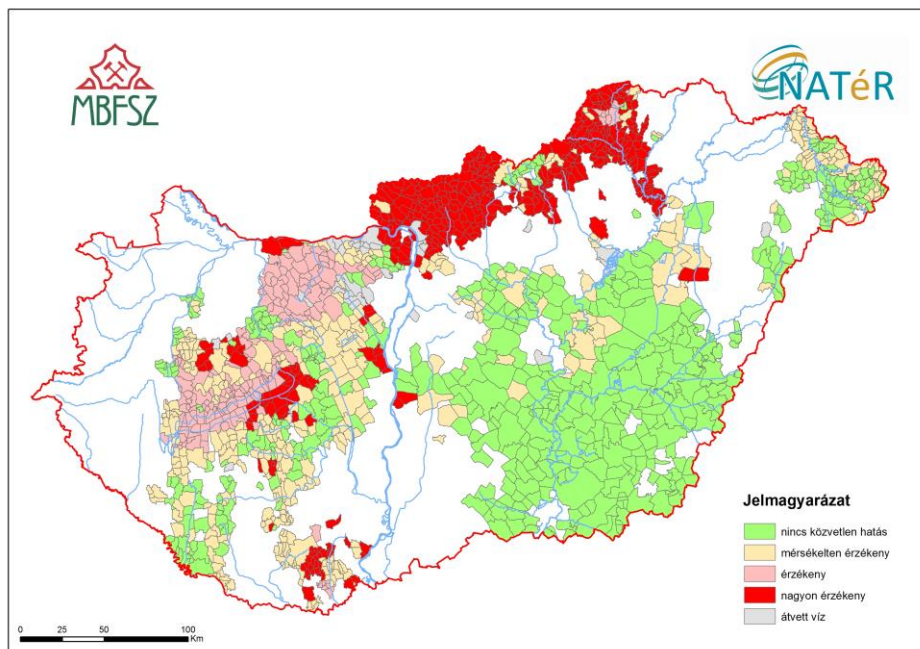
15. ábra. Klíma-érzékenység mértéke

A települések klíma-érzékenységét az ellátó vízbázisok klíma-érzékenységi kategorizálása alapján határoztuk meg. Amennyiben egy adott település vízellátása csak egy vízbázisról történik, besorolása egyértelműen megadható a vízbázis alapján. A településeket többségének vízellátását több vízbázisról biztosítják, amelyek gyakran különböző vízföldtani környezetben helyezkednek el, ezáltal a vízbázisok klíma-érzékenysége is sok esetben eltérő lehet. A település klíma-érzékenységi besorolása ekkor több szempont alapján is elvégezhető, olykor különböző eredménnyel. Fentiek figyelembevételével több szempont alapján is elvégeztük a települések klíma-érzékenységi kategorizálását.

Az egyik lehetőség a települések az összes ellátó vízbázis közül a legkedvezőbb klíma-érzékenységi jellemzővel rendelkező vízbázis alapján történő jellemezése (16. ábra). A vízbázisokhoz hasonlóan a települések klíma-érzékenységi kategóriáihoz is hozzárendeltük az érzékenység mértékét (17. ábra).

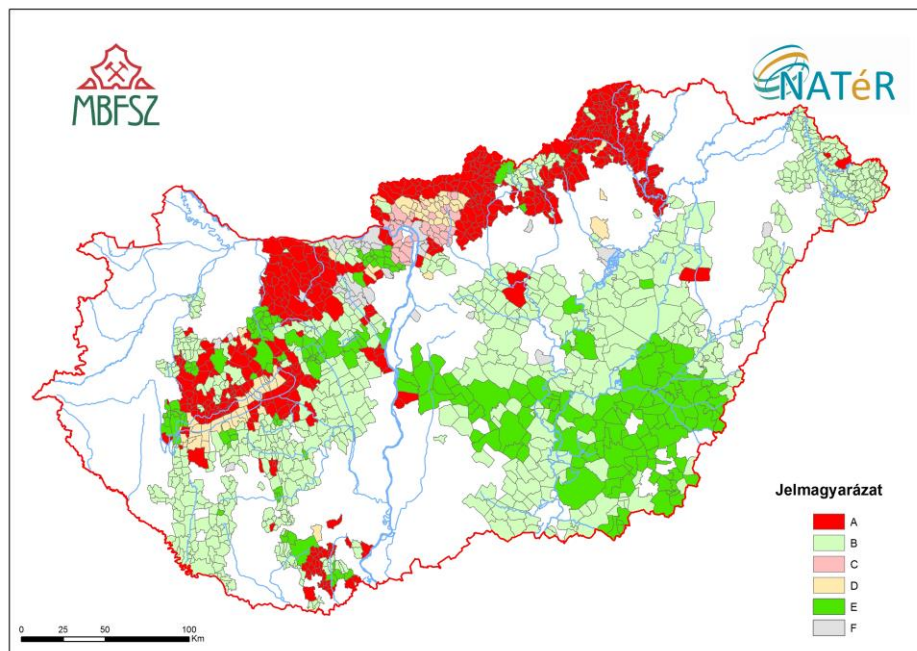


16. ábra. Települések klíma-érzékenységi kategóriái a legkedvezőbb vízbázis alapján



17. ábra. Települések klíma-érzékenységének mértéke a legkedvezőbb vízbázis klíma-érzékenységi kategóriája alapján

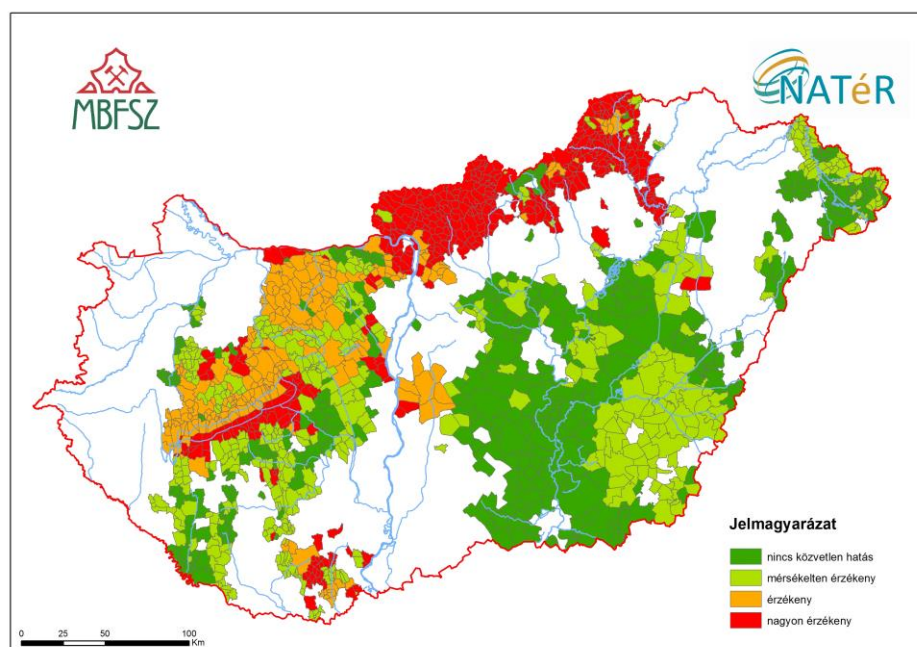
Mint láthattuk a települések klíma-érzékenysége nagymértékben függ az ellátó vízbázisok számától, illetve azok megegyező, vagy eltérő földtani-, vízföldtani környezetétől. Ennek érzékeltetésére kidolgoztunk egy kombinált klíma-érzékenységi kategóriát, amely mindkét szempontot figyelembe veszi. A kombinált klíma-érzékenységi besorolást a 18. ábra mutatja be.



18. ábra. Települések klíma-érzékenységi besorolása a vízbázisok számának, valamint a vízbázisok földtani-, vízföldtani környezetének eltérő, vagy megegyező jellegének figyelembe vételével

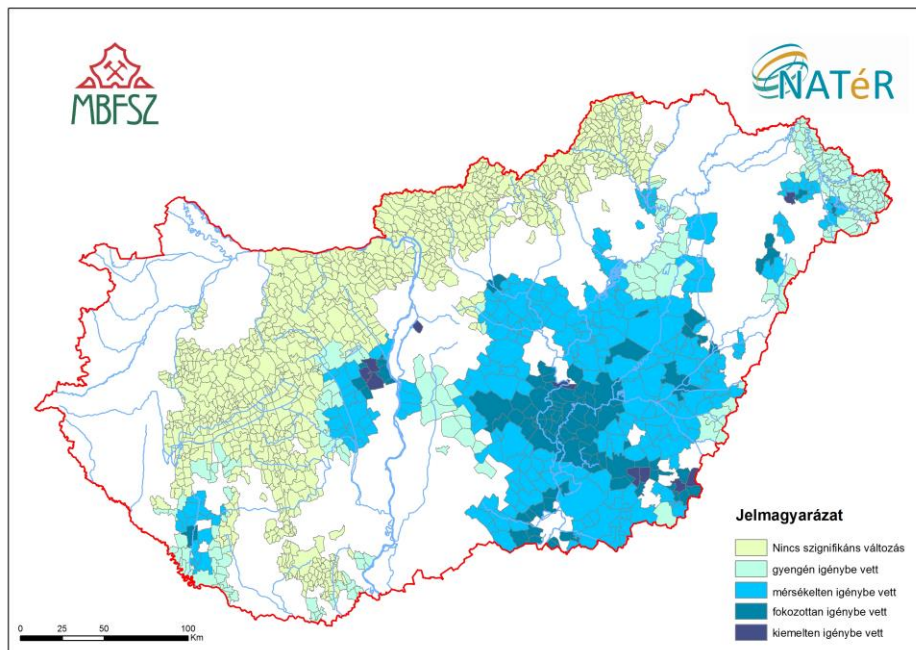
(A-egy vízbázis, ami klíma-érzékeny; B-egy vízbázis, ami kevésbé klíma-érzékeny; C-több vízbázis, ahol összes vízbázis azonos típus és klíma-érzékeny; D-több vízbázis, különböző vízbázis típus, de mindegyik klíma-érzékeny; E-több vízbázis, (több vízbázis típus,) de van olyan, amelyik kevésbé klímaérzékeny; F-ha az ellátó vízbázisnál más vízműtől átvett víz van)

A sérülékenység számításához a vízbázisok érzékenységét pontoztuk és a pontszámok átlagának értéke alapján jellemeztük adott település klíma-érzékenységét (19. ábra).

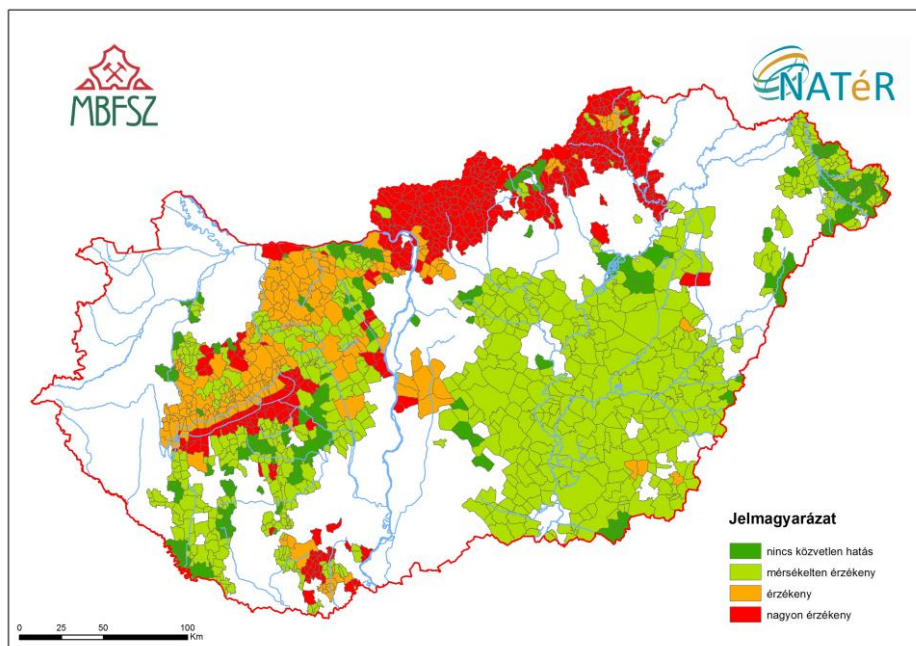


19. ábra. Települések klíma-érzékenységi besorolása az érzékenységi pontszámok átlagának értéke alapján

A módszertan ismertetése (3.3. fejezet) során említettük, hogy a földtani-, vízföldtani adottságok mellett a klíma-érzékenységhez hozzájárul a felszín alatti vizek kitermelése által eredményezett tartós rétegvízszint-csökkenés, azaz a felszín alatti vizek igénybevétele. Ez a hatás első sorban a lassabb, és kisebb mértékű utánpótlással rendelkező, mélyebb rétegvizekben jelentkezik (20. ábra). Az igénybevétel mértéke területileg nagy változékonyságot mutat. Az Alföld mély rétegvizeiben a legerőteljesebb, illetve kisebb mértékben a Dunántúl egyes területein figyelhető meg. A folyamatos utánpótlással rendelkező hegyvidéki területeken, a sekély rétegvizekben, valamint a parti szűrészű rendszerekben nem mutatható ki szignifikáns hatás.



20. ábra. Felszín alatti vizek igénybevétele



21. ábra. Komplex klíma-érzékenységi index településekre vonatkoztatott értéke

A földtani-, vízföldtani adottságok és a felszín alatti vizek igénybevételének együttes figyelembevételével határoztuk meg a komplex klíma-érzékenységi mutatót, amely az érzékenységi számítások alapját jelentette. A komplex index településekre vonatkoztatott értékét a 21. ábra mutatja be.

A különböző klíma-érzékenységi mutatók alkalmazásával a települések klíma-érzékenysége vonatkozóan kissé eltérő eredményeket kaptunk. Az eltérések ellenére általánosan megállapíthatjuk, hogy a mély (100 m-nél mélyebb) rétegvizek a legkevésbé klíma-érzékenyek. Az Alföld mély rétegvizeinek klíma-érzékenységet azonban jelentősen befolyásolja a több évtizedes folyamatos vízkivétel hatására bekövetkező készletcsökkenés. A leginkább klíma-érzékeny terület az Északi-középhegység térsége, ahol a közismerten klíma-érzékeny karsztos rendszerek mellett a felszíni vizekből történő vízellátás is szerepet kap. A Balaton déli parti települések kiemelt klíma-érzékenységet szintén a felszíni vízből történő vízellátás eredményezi. Erősen klíma-érzékenyek azok a települések is, ahol parti szűrészű rendszerekből biztosítják az ivóvízellátást, mint pl. a Dunakanyar térsége, vagy Ercsi és Mohácsi regionális vízellátó rendszerek területe.

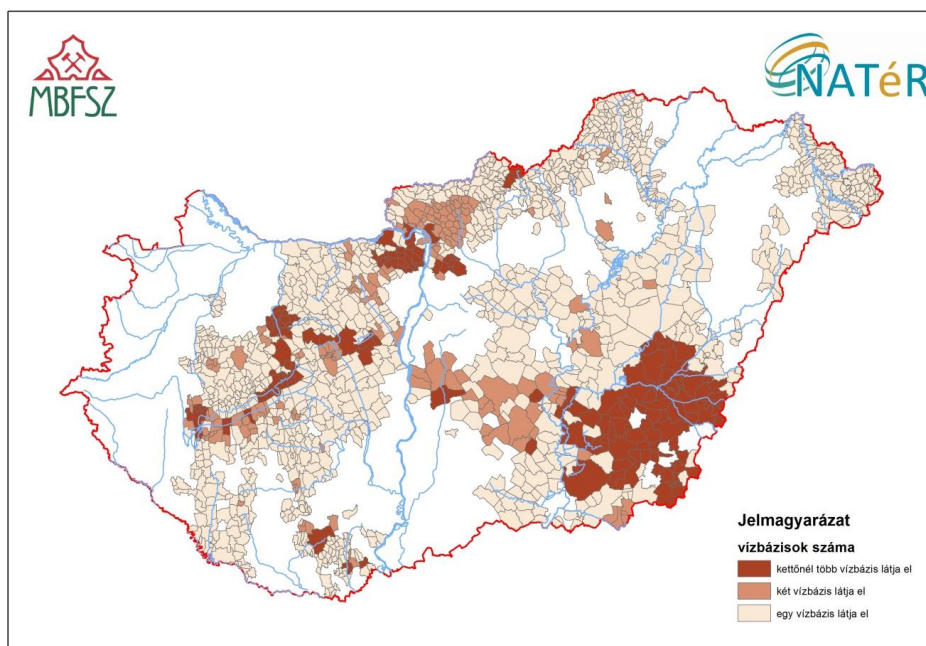
4.3 Ivóvízellátás alkalmazkodóképességének vizsgálata

Az ivóvízellátás alkalmazkodóképességét a 3.4 fejezetben részletezett módszertan alapján vizsgáltuk. A vizsgálat során megállapítottuk, hogy az alkalmazkodóképesség hatótényezőit két csoportba sorolhatjuk, megkülönböztethetünk infrastrukturális tényezőket, valamint társadalmi–gazdasági hatótényezőket.

4.3.1. Az alkalmazkodás infrastrukturális hatótényezői

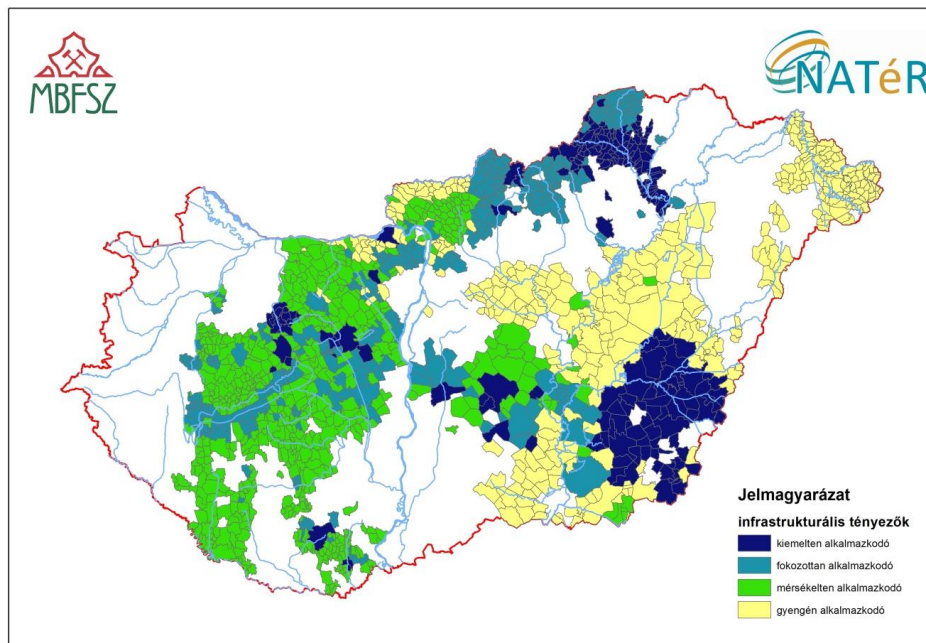
Az infrastrukturális alkalmazkodóképesség vizsgálata során olyan paraméterek kerültek számításba, mint: az egy adott települést közvetlenül ellátó ivóvízbázisok száma (db), az ivóvízbázis bővíthetősége és az ivóvízellátás kapacitásának növelhetősége (kategória), az értékesítési különbözet (m^3/m), valamint a tározási kapacitás ($\text{m}^3/\text{fő}$).

A 22. ábra az egyes településeket közvetlenül ellátó vízbázisokat jeleníti meg. Legszembetűnőbben Békés megye külön el, mely területének szinte egészét kettőnél több vízbázis látja el. Ez alól csak a megye déli határa menti területek képeznek kivételt, ahol egy vízbázis biztosítja az ellátást. Az Alföldön Hódmezővásárhely és Csongrád környéke rendelkezik még kettőnél több vízbázissal. Ugyanez elmondható a Dunakanyar, Északkelet-Balaton, Veszprém, Zirc, a Velencei-tó és Pécs térségéről. Kedvező még a Cserhát, a Balaton délnyugati területeinek és a Kiskunság északi területeinek ellátottsága, mivel ezeken a helyeken két vízbázis biztosítja a szolgáltatást.



22. ábra: A települések ivóvízbázis-ellátottsága

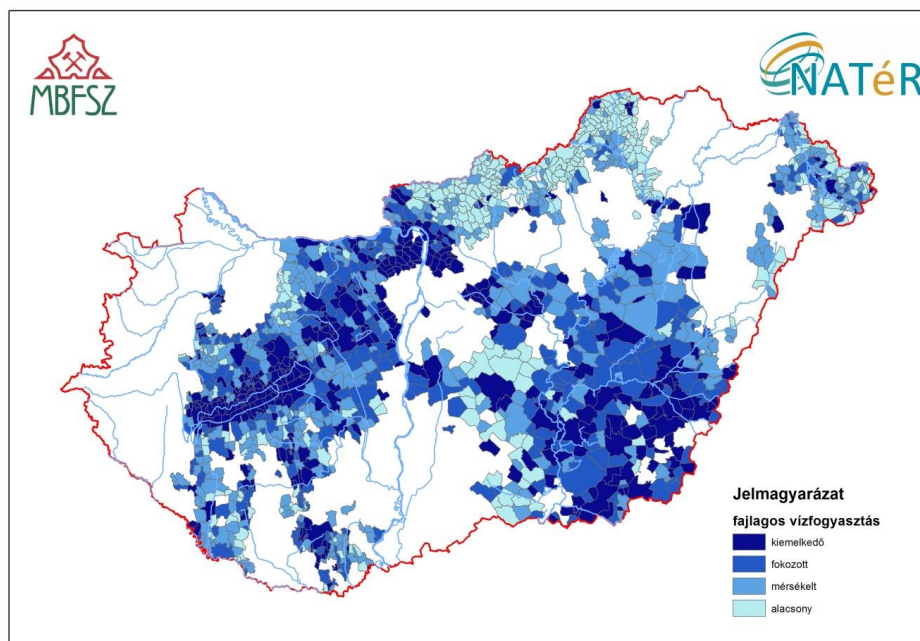
Az infrastrukturális hatótényezők összesítésének eredményeként (23. ábra) kiemelten alkalmazkodó területek közé tartozik Békés megye északi és középső térsége, valamint Veszprém, Zirc, Székesfehérvár, Kecskemét és Pécs területe. Az Északi-középhegység középső és keleti részein is kedvezőek az infrastrukturális feltételek, mivel a kiemelten alkalmazkodó és fokozottan alkalmazkodó kategóriába kerültek besorolásra.



23. ábra: Az infrastrukturális hatótényezők alapján számított alkalmazkodóképesség

4.3.2. Az alkalmazkodás társadalmi–gazdasági hatótényezői

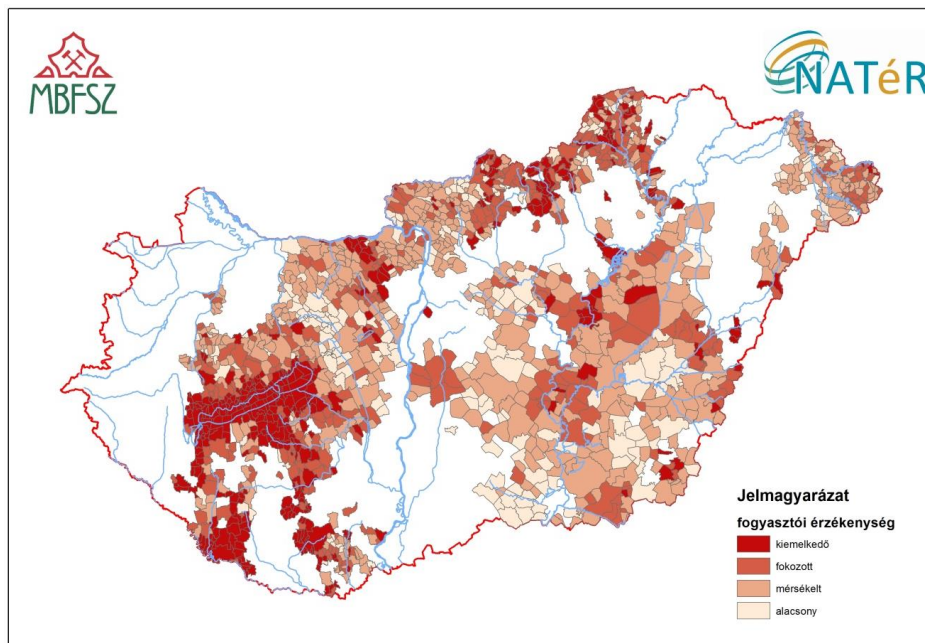
A kategorizálás során olyan paraméterek kerültek beszámításra, mint: az egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás (2013, m³/fő), az egy lakosra jutó összes belföldi jövedelem (2013, Ft/fő/év), valamint a fogyasztói érzékenység (%).



24. ábra: A lakossági fajlagos ivóvízfogyasztás mértéke

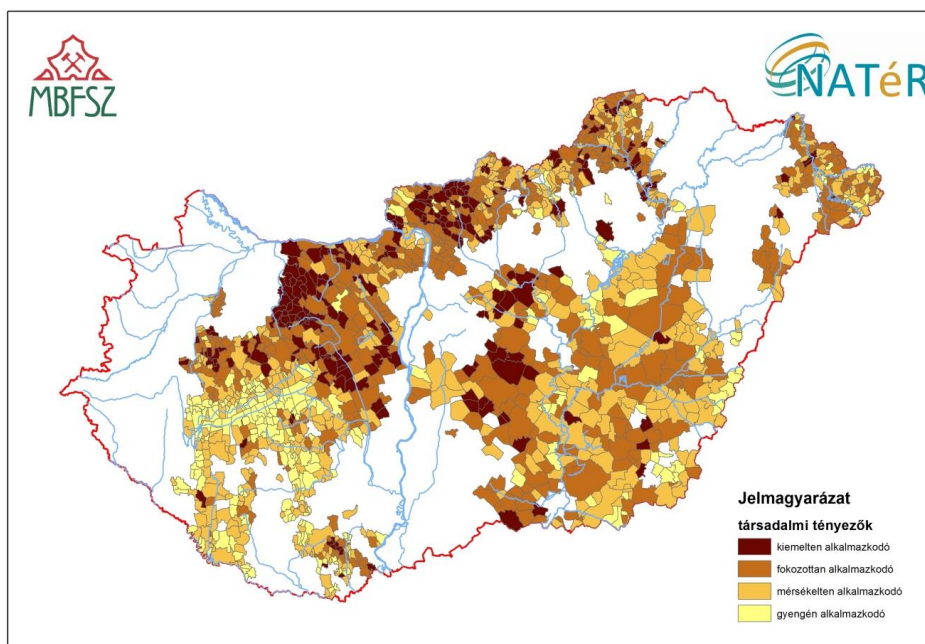
Az egy lakosra jutó ivóvízfogyasztás tekintetében kiemelkedő, valamint fokozott értékeket mutat a Tisántúl déli területeinek legnagyobb részén és a Dunántúli-középhegység mentén (24. ábra). Kiemelkedő értékek figyelhetők meg a Balaton térségében, mely nagy valószínűséggel a turizmus hatásának tudható be, és a budapesti agglomeráció északi területein, mely a főváros közelségével magyarázható.

A fogyasztói érzékenységet a 25. ábra mutatja be, melyen leginkább a Balaton térsége, valamint Pécs, Szigetvár és az Ormánság térsége tűnik ki. Ezeken a területeken a fogyasztói érzékenység, mely olyan paramétereken alapul, mint: a vízdíj mértéke, az egy főre jutó átlagos jövedelem, valamint a lakossági ivóvízfogyasztás mértéke, kiemelkedő értékeket mutat.



25. ábra: Fogyasztói érzékenység

A társadalmi–gazdasági hatótényezők együttes alkalmazkodóképességét a 26. ábra szemlélteti. Ezek alapján elmondható, hogy a Balaton térsége társadalmi–gazdasági szempontból a leggyengébben alkalmazkodni képes területek közé tartozik. Emellett megfigyelhető egy nyugat-keleti lejtő az országon belül, mely a sűrűn elhelyezkedő kiemelt alkalmazkodóképességű területektől irányul a mérsékelt és gyengén alkalmazkodó területek felé.



26. ábra: A társadalmi–gazdasági hatótényezők alapján számított alkalmazkodóképessége

4.3.3. A települések éghajlatváltozással szembeni komplex alkalmazkodóképessége

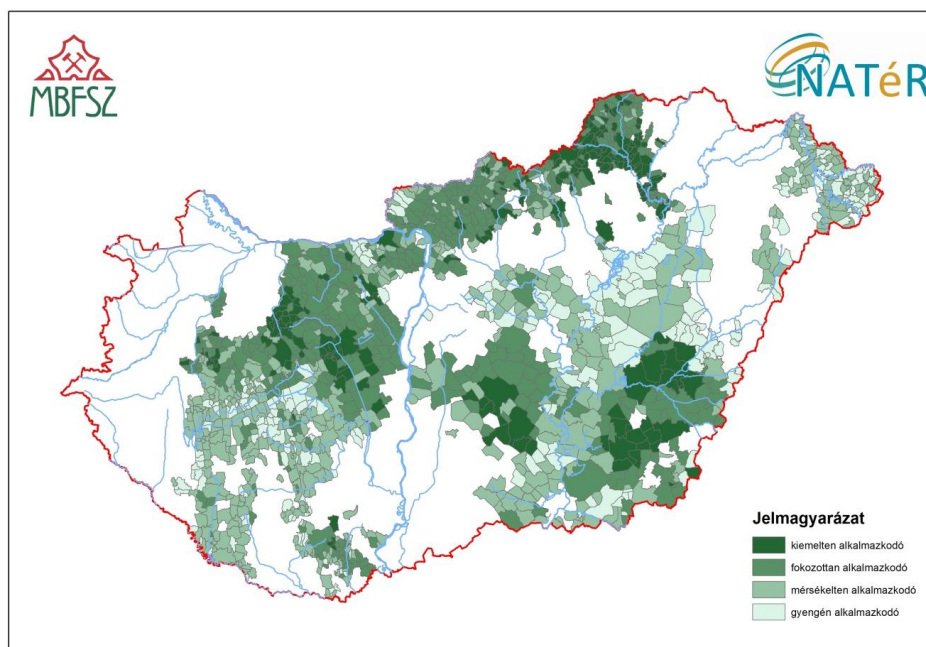
Az infrastrukturális és társadalmi–gazdasági hatótényezők együttes vizsgálata eredményeként határoztuk meg a települések éghajlatváltozással szembeni komplex alkalmazkodóképességét az ivóvízellátás tekintetében (27. ábra). Ennek során az infrastrukturális, valamint a társadalmi–gazdasági alkalmazkodóképesség kategóriaértékeinek összevonásával határoztuk meg a komplex alkalmazkodóképesség mértékét.

Alkalmazkodóképesség szempontjából pozitívnak tekinthető, ha

- több ivóvízbázis lát el egy települést,
- van lehetőség a meglévő ivóvízbázis bővítésére és termelőkapacitásának fejlesztésére,
- alacsony az értékesítési különbözet,
- magas a tározókapacitás,
- valamint alacsony a lakosság vízigénye,
- kedvező a jövedelmi helyzete,
- és alacsony a fogyasztói érzékenység.

E szempontokat figyelembe véve 4 kategóriát különítettünk el: kiemelten, fokozottan, mérsékelten és gyengén alkalmazkodó.

Kiemelten alkalmazkodó kategóriába sorolhatók Békés megye északi és középső területei, Kecskemét, Veszprém, Zirc, Székesfehérvár környéke, valamint az Északi-középhegység keleti térsége. A leggyengébb alkalmazkodóképességet a Tiszántúl középső területei mutatják, azon belül pedig a Tisza-tó környéke. A Balaton délkeleti területei hasonlóan gyenge alkalmazkodóképességűek, míg a Szamos mentén a mérsékelten és gyengén alkalmazkodó területek váltakoznak.



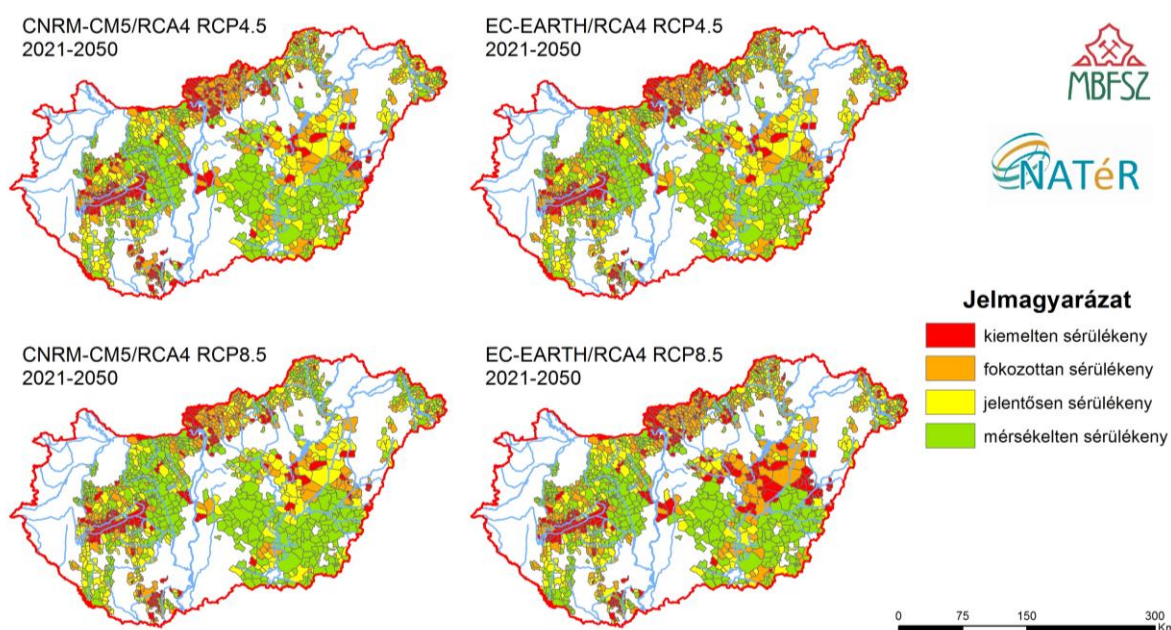
27. ábra: A települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén

4.4 Települések ivóvízellátásának klíma-sérülékenysége

Az ivóvízbázisok klíma-sérülékenységét a módszertan ismertetése során bemutatott (ld. 3.5 fejezet), kitettség, érzékenység és alkalmazkodóképesség együttes jellemzéséből vezettük le. A sérülékenységi kategóriaértékeket a települések közigazgatási területére vonatkoztatva határoztuk meg, ahol a kitettségi, érzékenységi és az igénybevételi paraméterből levezetett hatásértéket és alkalmazkodási tényezőket egyenlő súllyal, az egyes indexekből levezetett komplex indikátorokkal vettük figyelembe.

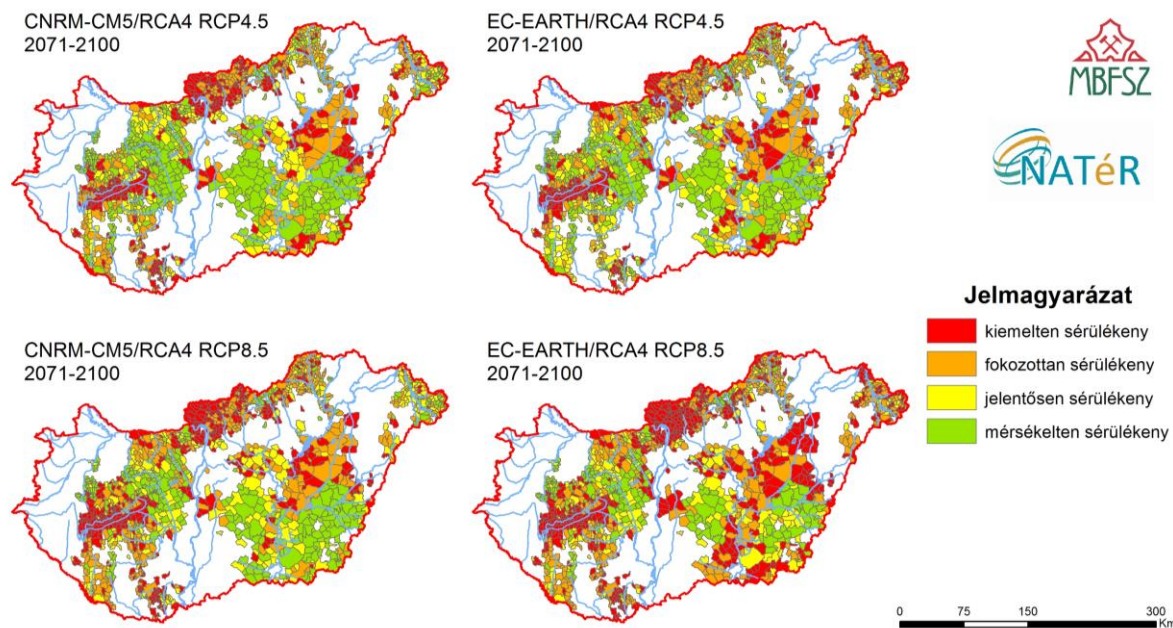
A vízbázisok klíma-sérülékenységét mind a két klímamoddellel (CNRM-CM5/RCA4 és EC-EARTH/RCA4), egy pesszimista (RCP8.5) és egy közepesen optimista (RCP4.5) kibocsátási forgatókönyvvel, a projekciókban szereplő mindkét klímaablakra (2021–2050 és 2071–2100) meghatároztuk (28–29. ábrák). Az ábrák jól szemléltetik, hogy mindkét modell esetében már a 2021–2050 időszakban is jelentkeznek fokozottan és kiemelten sérülékeny területek. Az idő előrehaladtával a 2071–2100 közötti időszakra tovább növekedik a sérülékenység mértéke.

A területi különbségeket szemlélve jól kirajzolódik, hogy legmagasabb sérülékenységgel Északi-középhegység térsége, a Balaton térsége és az Alföld középső területe jellemezhető. A nógrádi térségben és a Balatonnál a magas sérülékenység elsődlegesen a jelentős érzékenységből, tehát az adott részben lévő vízbázisok jellemzőiből fakad. A vízfolyások által befolyásolt sekély porózus és parti szűrésű víztestek, a karsztos és a felszíni ivóvízbázisok jóval érzékenyebbek az éghajlatváltozás hatásaival szemben. Az Alföld középső területein a magas kitettség és gyenge alkalmazkodóképesség miatt magas a települések sérülékenysége.



28. ábra: A települések 2021–2050 közötti időszakokra vonatkozó klíma-sérülékenysége az ivóvízellátás terén, a CNRM-CM5 és az EC-EARTH globális klímamoddellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján, az 1971–2000 közötti referencia időszakhoz viszonyítva

Hússzú távra, az évszázad végéig előretekintve a kitettség mértékének további növekedése okán az ország egészére jellemzően növekvő sérülékenységre számítunk. Mérsékelten sérülékeny kategóriában marad a Dunántúl keleti területei, valamint a Dél-Alföld jelentős része (29. ábra).



29. ábra: A települések 2071–2100 közötti időszakra vonatkozó klíma-sérülékenysége az ivóvízellátás terén, a CNRM-CM5 és az EC-EARTH globális klímamodellel meghajtott RCA4 regionális klímamodell szimulációval, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján, az 1971–2000 referencia időszakhoz viszonyítva

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A klímamodellek eredményei, a vízbázisok földtani–vízföldtani adottságai, a víziközmű-szolgáltatás jellemző paramétereinek, valamint az alkalmazkodás lehetőségeinek technikai, társadalmi és szociális szempontjai áttekintésével jellemeztük a kiválasztott 10 regionális víziközmű-szolgáltató vízellátó rendszereinek klíma-sérülékenységét.

A klíma-sérülékenységi vizsgálat során 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 vizsgálat eredmény térképei alapján az éghajlatváltozás hatásai a legnagyobb mértékben a vízfolyások által befolyásolt sekély porózus és parti szűrésű (Északi-középhegység, Duna mente) víztesteket, a karsztos (elsősorban a Dunántúli-középhegység, Mecsek térsége) és a felszíni ivóvízbázisokat (Balaton térsége) érintik negatívan. Az alkalmazkodás tekintetében leginkább az ivóvíz szolgáltatók infrastrukturális jellemzői, az ivóvízellátás diverzifikálását lehetővé tevő adottságok megléte, valamint az adott település, illetve térség társadalmi–gazdasági adottságai befolyásolják.

Az éghajlati, hidrogeológiai és alkalmazkodási tényezők figyelembevételével a Balaton térsége, az Északi-középhegység térsége és az Alföld középső területei tekinthetők a leginkább sérülékenynek a klímaváltozás hatásaival szemben.

Az klíma-sérülékenységi elemzés, valamint az adatok feldolgozása és értékelése során a szolgáltatókkal folytatott konzultációk és műhelymunkák eredményeként az alábbi javaslatok kerültek megfogalmazásra:

- Jelen tanulmány részletes módszertani leírást tartalmaz a vízellátó rendszerek klíma-sérülékenységének jellemzésére, amelyet 10 víziközmű-szolgáltató területére történő feldolgozás és értékelés formájában mutat be. Célszerű a módszertan alkalmazását valamennyi víziközmű-szolgáltatóra kiterjeszteni, kiemelt fontossággal a regionális vízművek területeire.
- A vízellátás klíma-sérülékenységi vizsgálata számos, időben változó adat feldolgozásával készült. Mivel jelen tanulmány a 2018. októberben rögzített adatokat és állapotokat reprezentálja, célszerű rendszeres időközönként az aktuális adatokkal frissíteni az értékelést, és elkészíteni az új időpontra vonatkozó sérülékenységi térképeket. 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 rendszeres időszakonkénti értékelésével, a változások meghatározásával és jellemzésével lehetséges kialakítani a klímaváltozás hatásait mérséklő alkalmazkodási intézkedéseket.

- Jelen vizsgálat átfogó képet ad egy-egy víziközmű-szolgáltató vízellátó-rendszerének klíma-sérülékenységre. A részletes jellemzéshez azonban a vízbázisok környezetének egyedi vizsgálatára van szükség, ahol a földtani-vízföldtani adottságok fokozott mértékben figyelembe vehetők, a vízbázis klíma-érzékenysége tovább pontosítható.
- Napjainkban egyre gyakoribb szélsőséges időjárási helyzetek több vízbázis üzemeltetésében is rendszeres problémákat okoznak. A kedvezőtlen hatások csökkentésére a folyamatok megismerésére részletes vizsgálatok, kutatások elvégzése javasolt a fokozottan kitett vízellátási térségekben (pl. nyílt karsztos területekkel közvetlen kapcsolatban álló vízbázisok).
- Regionális vízellátó rendszerek, kialakítása, fejlesztése jelentősen csökkentheti az ivóvízellátás klíma-sérülékenységet, de egyben fokozott figyelmet kell fordítani a karbantartásra, a hálózati veszteség csökkentésére. A klíma-sérülékenység további csökkentéséhez hozzájárulhat a víziközmű-szolgáltatók között egymásnak átadott/átvett vizek, amely megteremti a regionális hálózatok összekapcsolási lehetőségét.
- A parti szűrésű vízbázisok vízkészletének megújuló jellege, valamint a készletek jelentős volumene miatt kiemelt fontosságúak. Ezek a vízkészletek távlati vízbázisaink jelentős részarányát képviselik. A klímaváltozás azonban nem csak a parti szűrésű rendszerekből kitermelhető vízkészletekre lehet hatással, hanem a kinyerhető víz minőségét is befolyásolja. Jelen vizsgálataink nem terjedtek ki a lehetséges vízminőségi változásokra annak sokrétűsége miatt. Azonban a jövőben különös figyelmet javasolt fordítani a parti szűrésű rendszerek vízkémiai változásaira, és ebben a klímaváltozás által érintett folyamatok tanulmányozására. A vizsgálatok számos víziközmű-szolgáltatót érintenek, amelyek napi feladataik ellátása mellett különböző mértékben van lehetőségük a kérdéskör részletes tanulmányozására. Javasoljuk a vízminőségi változások folyamatának pontosabb megismerésére, a változások kezelésére és a kedvezőtlen hatások mérséklésére irányuló tudományos kutatási projekt kialakítását, amely eredményei hozzájárulnának a megfelelő intézkedési tervek kialakításához.
- A parti szűrésű rendszerek utánpótlódását biztosító vízfolyások vízjárása alapvetően meghatározza a hasznosítható készleteket és hatással van a vízminőség alakulására. Ezért kiemelt fontosságú a vízfolyás vízjárásának ismerete, illetve ennek klímaváltozás hatására várható változás jellege és mértéke. A folyamatos ismeretéhez az érintett vízfolyások klímamodellekhez kapcsolt lefolyási modellezését is magába foglaló részletes vizsgálatok szükségesek. Mivel a vízfolyások klíma-kitettségét nem csak a helyi viszonyok határozzák meg, a vizsgálatokat és a kapcsolt lefolyás-modellezést a vízfolyás teljes vízgyűjtő területére javasolt elvégezni.
- Bár ivóvíz céljára felszíni vízkivétel részaránya összességében elenyésző, egyes térségekben (pl.: Balaton térségében és észak-magyarországi hegyvidéki területeken) meghatározó jelentőségű. Ezek a felszíni vízkészletek mind mennyiségi, mind minőségi szempontból az éghajlati változások által erősen befolyásoltak. Javasolt a felszíni vízkivételek felszín alatti vízbázisokból történő kiváltása, illetve helyettesítési lehetőségének biztosítása.

- A célzott felszín alatti utánpótlást biztosító módszerek (MAR rendszerek) hatékonyan hozzájárulnak a vízhiányos időszakokban a biztonságos vízellátáshoz, valamint a fontos eszközei lehetnek a vízminőség javításának, jó vízminőség megőrzésének. A MAR rendszerek szélesebb körű alkalmazására, a felszín alatti víztározás előnyeinek kihasználására további tudományos vizsgálatok végzése, a jelenlegi nemzetközi jó gyakorlatok áttekintése, valamint a szakpolitikai, szabályozási környezet felkészítése javasolt.
- Az adatfeldolgozás, illetve a víziközmű-szolgáltatókkal történő egyeztetések során meghatározásra került a tartalék vízbázisok fogalma. Ezek olyan érvényes vízjogi engedéllyel rendelkező vízbázisok, amelyek az üzemeltetésben nem, vagy csak rövid időszakokra vesznek részt, de üzemeltetésük biztosított. A tartalék vízbázisok akár időszakos üzemeltetését azonban nehezíti, hogy nem szerepelnek az országos nyilvántartásokban, valamint a vízbázis védőterülete nem biztosított. A klíma-sérülékenység csökkentésében a tartalék vízbázisoknak fontos szerepe lehetne. Javasoljuk a tartalék vízbázis jogszabályokba történő beillesztését, a fogalmának bevezetést a gyakorlatba, nyilvántartás létrehozását, valamint a vízbázisok védelmét a távlati vízbázisok mintája alapján.
- Javasolt a lakosság folyamatos tájékoztatása a klímaváltozás lehetséges forgatókönyveiről és ezek hatásairól az ivóvíz készletekre, vízellátó rendszerekre. A tájékoztatás keretében cél a lakosság ösztönzése a vízfogyasztási szokások megváltoztatására a tudatos és víztakarékos fogyasztás irányába.

HIVATKOZÁSOK

- Earman S. and Dettinger M. 2011: Potential impacts of climate change on groundwater resources - A global review. *Journal of Water and Climate Change*, 2(4), pp:213-229, DOI: 10.2166/wcc.2011.034
- Green T. R., Taniguchi M., Kooi H., Gurdak J. J., Allen D. M., Hiscock K. M., Treidel H., Aureli A. 2011: Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, Vol. 405, 3–4, pp: 532-560
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Stefanescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J.M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A.M.L., Christensen, J.H., van den Hurk, B., Jimenez, P., Jones, C., Kållberg, P., Koenigk, T., McGrath, R., Miranda, P., van Noije, T., Palmer, T., Parodi, J.A., Schmith, T., Selten, F., Storelvmo, T., Sterl, A., Tapamo, H., Vancoppenolle, M., Viterbo, P., and Willén, U. 2010: EC-EARTH: a seamless Earth system prediction approach in action. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 91: pp:1357-1375.
- Homolya E., Rotárné Szalkai Á., Selmeczi P. 2017: Climate impact on drinking water protected areas. *Időjárás*, vol. 121, No.4., pp. 371-392
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bøssing Christensen, O., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., De'que, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kro'ner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14., pp: 563–578.
- Kármán, K. (2009): Hydrogeochemical and stable isotope geochemical study on riverbank filtrated aquifers in the Szentendre Island (in Hungarian). M.Sc. Thesis, Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös University, Budapest, pp: 108.
- Kármán K. 2013: A parti szűrésű Vízbázisok és jelentőségük. *Magyar Tudomány*, 2013/11. pp:1300-1306
- Kovács Péter 2009: Vízjárastípusok és a vízjárás stabilitása a Duna vízgyűjtőterületén. Doktori Értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományi Doktori Iskola, Földrajz-Meteorológia Program, Budapest 2009
- 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
- Rotárné Szalkai Á., Homolya E., Selmeczi P. 2015: A klímaváltozás hatása az ivóvízbázisokra. Kézirat, MFGI Budapest, 2015.
- Rotárné Szalkai Á., Homolya E., Selmeczi P. 2016: Ivóvízbázisok klíma-sérülékenysége. *Hidrológiai Közöny*, 96. évf. 2. sz., pp 21-32
- Samuelsson, P., Jones, C. G., Willén, U., Ullerstig, A., Gollvik, S., Hansson, U., Jansson, E., Kjellström, C., Nikulij, G., Wyser, K. 2011: The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. Vol.63 – Issue 1. pp:4-23.

Selmeczi P., Pálvölgyi T., Czira T. 2016: Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elemzési-értékelés módszertana. In. Pálvölgyi T., Selmeczi P. (szerk.) 2016: Tudásmegosztás, Alkalmazkodás és Éghajlatváltozás. MFGI, Budapest 2016, pp.: 25-31

Voltaire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y Mélia, D., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., Déqué, M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine, M.-P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L., and Chauvin, F. 2012: The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. *Clim. Dyn.*, pp: 40.