|  |  |
| --- | --- |
|  | **KLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATOK**Összegzés*Készült a* ***„Kritikus energetikai infrastruktúra elemek (villamosenergia-, gáz-, távhőrendszerek) éghajlati és földtani sérülékenységének értékelése”*** *c. projekt keretében**2023* |

**Készítette:**

az Energiastratégia Intézet Nonprofit Kft. megbízásából

Szabó Péter

Közreműködők: Ballabás Gábor, Müller Olga, Dr. Maigut Vera, Selmeczi János Pál, Taksz Lilla

**Közreműködő szakmai partnerek:**

FGSZ Földgázszállító Zrt. (FGSZ Zrt.)

Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal (MEKH)

Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége (MaTáSzSz)

Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR Zrt.)

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék

Országos Meteorológiai Szolgálat

# **1. Bevezetés**

Az épített környezet, így az energetikai infrastruktúra legtöbb eleme is érzékeny az éghajlatváltozás okozta szélsőségesebb vagy a jelenlegitől jelentősen megváltozott időjárási helyzetekre. Az ember jövőbeli gazdasági és társadalmi folyamatai csak hipotetikus forgatókönyvek mentén írhatók le, ugyanakkor globális klímamodellekkel számszerű választ tudunk adni arra, hogy a teljes földi éghajlati rendszer hogyan reagál egy megváltozott jövőbeli üvegházgáz-koncentrációra és az általa kiváltott extra sugárzási kényszerre. Ezek hazánkra vonatkozó eredményeit pedig regionális éghajlati modellek által érhetjük el. A kitettség-érzékenység-várható hatás rendszerében egyértelműen az éghajlati kitettség, azaz az adott földrajzi helyre jellemző éghajlatváltozás az, amely változó elemként az infrastruktúra rendszer sérülékenységet leginkább befolyásolja.

# **2. Módszertan**

A klimatológiai elemzés kidolgozása során a következő lépések mentén haladtunk:

* A „NATéR továbbfejlesztése” című, KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítószámú projektben megkezdett, a távhő-, földgáz- és villamosenergia-ellátás éghajlati sérülékenységét vizsgáló módszertan áttekintése.
* A nemzetközi szakirodalom összegyűjtése és átnézése, amely az energiatermelés mellett elsősorban az infrastruktúra élettartamának és a kapacitás időszakos vagy tartós csökkenését vizsgálta az éghajlatváltozás extrém eseményeinek tükrében.
* Indikátorlista összeállítása, amely során 32, hazánkban potenciálisan megjelenő és káros, illetve jelentős hatással bíró indexet definiáltunk.
* Az ehhez szükséges 11 napi és további napon belüli (3 vagy 6 órás) alapváltozó meghatározása.
* Az elérhető, különböző minőségű megfigyelési adatbázisok vizsgálata, a hibásak lehetséges szűrése – hiszen nem mindegy, hogy pl. az átlaghőmérséklet csak a minimum- és maximumhőmérséklet átlagaként van számítva; vagy a globálsugárzás csupán 2001-től elérhető részletes felbontással.
* Az elérhető regionális klímamodellek feltérképezése a Duna-vízgyűjtőjére, melyeknél figyelembe vettük a modellek függetlenségét (elkerülendő a két azonos családból származó modell várhatóan hasonló eredménye), az összes változó elérhetőségét és a szükséges két jövőbeli forgatókönyv meglétét.
* Az indikátorlista véglegesítése előtt több lépcsőben szükség volt az egyes szakterületek hazai képviselőit is bevonni, mellyel összeállt a villamosenergia átviteli hálózatára vett 9, a felszíni és nagynyomású földgázvezetékekre tekintett 3-3, a távhővezetékekre ható legfőbb 5 éghajlati indikátor. Az igényoldal esetében végül 5, a napenergiára vonatkozóan pedig 6 másik kitettségi indikátort tekintettünk.
* Mivel a klímamodellek szimulációi változónként kisebb-nagyobb hibával terheltek, ezért az ún. delta módszerrel hibakorrekció alkalmazása az indikátorokra, pl. korrigált2021-2050=szimuláció2021-2050/szimuláció1981-2010\*megfigyelés1981-2010**.**
* Az adott infrastruktúra elemeiben, illetve az igényoldal vonatkozásában várható hatás nagysága szerinti súlyozás meghatározása az egyes indikátorokra, majd ez alapján a komplex éghajlati kitettségek számítása. Mindezeket a skálázás módszerével egy [0-1] közötti számra hozva dimenziótlanítottuk, melyet egy háromosztatú skála szerint tovább kategorizáltunk.
* A hazánkra rácspontonként tekintett, legfeljebb 10 szimuláció alapján vett minimum-medián-maximum változás megjelenítéséhez szükséges volt azonos színskála és értékhatárok megadására is.
* A NATéR-be való integrálhatóság és a felhasználás könnyítése végett az adatok és térképek mögötti részletes háttérinformáció megadása a META-adatbázisban.

# **3. Adatok**

Az éghajlati indikátorokat a múltra vonatkozóan megfigyelésekből, míg a jövőre ún. regionális klímamodellekből származtattunk. Az 1981-2010 időszakra vonatkozó megfigyelések legnagyobb részét a hazai, homogenizált (minőségileg ellenőrzött), állomási adatsorokból 10 km-es rácsra interpolált, ún. HuClim adatbázisból vettük, melyet az előző hiányakor, a napon belüli változók és a globálsugárzás esetében kiegészítettünk kvázi-megfigyelésekkel, az ún. ERA5-reanalízissel – mely sokféle megfigyelést figyelembevéve, de modellek segítségével készül.

A regionális klímamodellek a légköri folyamatokat a globálisnál pontosabban és a megfigyelésekkel közel azonos térbeli felbontással írják le, így azok kiválóan alkalmasak egy adott térség éghajlatának vizsgálatához. A felhasznált regionális klímamodellek historikus szimulációi nagy számban továbbra is csak 2005-ig állnak rendelkezésünkre, míg a jövőre vonatkozóan, 2006-tól azt szimulálják, hogy egy-egy feltételes üvegházgáz-kibocsátási forgatókönyvre hogyan reagál az éghajlati rendszer. A projekt során az emberi tevékenység figyelembevételére két forgatókönyvet tekintettünk: az antropogén kibocsátás-csökkentést 2040-től feltételező, ún. RCP4.5-ös forgatókönyvet, valamint a pesszimista, a 21. században mitigáció nélküli RCP8.5-öt.

A klímamodellek folyamatos fejlesztései ellenére, azok eredményei változótól függően kisebb-nagyobb hibával terheltek a megfigyelésekkel szemben, ezért a jövőre nem egyetlen modellszimulációt, hanem egy nagyobb, legfeljebb 10 RCM által lefedett modellegyüttest tekintettünk, melyből a legnagyobb, legkisebb és medián értékét is megjelenítjük az eredmények során. Mindkét forgatókönyvre ugyanazon hat-hat európai, az EURO-CORDEX együttműködés keretében futtatott szimulációt választottuk ki, melyet kiegészítettünk két-két hazai, ELTE-s és OMSZ-os szimuláció eredményével.

****

1. *táblázat: Az infrastruktúra elemeire vett éghajlati kitettségi indexek számítása során felhasznált 10 regionális klímamodell neve, a meghajtó globális modell, az adatok forrása és a belőlük számolt indikátorok száma.*

****

1. *ábra: Az éghajlati modelleredmények számítása során felhasznált hipotetikus RCP4.5 és RCP8.5 kibocsátási forgatókönyvek globális jövőbeli trendjei.*

# **4. Legfőbb eredmények**

A négy fő infrastruktúra-csoportra vett komplex éghajlati kitettség előtt röviden vizsgáljuk meg az azokhoz használt 11 alap indikátor súlyozás nélküli medián változását! Jól látszik, hogy az összes indikátor esetén a 2071-2100 időszakra és a pesszimista forgatókönyv szerint várhatjuk a legjelentősebb változásokat, míg minden esetben a közelebbi időszakban számíthatunk az 1981-2010 referenciaidőszaktól vett kisebb eltérésekre. A két kibocsátási forgatókönyv között a század végére jelentkezik a legnagyobb különbség is. Természetesen bármely indikátor esetében az országon belül jelentősebb eltérések is előfordulnak (ábra nélkül).



1. *táblázat: Az infrastruktúra elemeinél használt éghajlati kitettségi indikátorok és azok várható jövőbeli medián változása (+: növekedés, -: csökkenés, 0: kisebb változások) a két jövőbeli időszakra és a két forgatókönyv esetén. Referencia: 1981-2010.*

A komplex éghajlati kitettség számítása során a medián változásokat tekintettük minden egyes indikátorra, majd ezeket a megállapított súllyal egy 0-1 közötti skálára bontva dimenziótlanítottuk. A villamosenergia átviteli hálózatára 9 indikátort választottunk ki, melyek közül a legnagyobb súllyal az éves szélsebesség maximuma és az éves maximumhőmérséklet maximuma bírt, a legkisebbel pedig a 23 mm feletti csapadékú napok és a téli csapadékintenzitás. A 2021-2050 időszakra még csak az ország kis területén várható számottevő változás, a század végére azonban az ország nagy részén az RCP4.5 szerint is közepes változások valószínűek, míg az RCP8.5 szerint az ország nagy területén jelentős változásra kell felkészülnünk.

Hasonló eredményeket kapunk a nagynyomású földgázvezetékek és a felszíni földgáz-elemek komplex kitettsége esetében (ahol leginkább az erdőtűz veszély és az órás csapadékintenzitás maximuma számít legjobban): ezeknél elsősorban az ország déli részén lehet jelentős változás a század végére az RCP8.5 szerint, míg a század közepén szinte még közepes változás sem lehet (ábra nélkül). A távhővezetékek esetében pedig az 5 indikátorból képzett komplex kitettségi mutató azt jelzi, hogy ugyan kisebb lehet a különbség az egyes forgatókönyvek és időszakok eredményei között, a század végére és az RCP8.5-öt követve mégis nagyobb változások is lehetnek – kivétel ez alól az ország DK-i részét (ábra nélkül).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **RCP4.5** | **RCP8.5** |
| **2021-2050** |  |  |
| **2071-2100** |  |  |

1. *ábra: A villamosenergia átviteli hálózatának komplex éghajlati kitettsége a két jövőbeli időszakra és a két kibocsátási forgatókönyvre. Zöld: legfeljebb kisebb változás, sárga: közepes változás, piros: jelentős változás.*