

Az elkövetkező évtized éghajlati kockázatai Magyarországon

Kockázati helyzetkép 2026–2035,
2050-ig szóló kitekintéssel

ÉVTIZEDES ABLAK



2026

2035

KITEKINTÉS

2050

*Háttéranyag államigazgatási szakmai vezetők számára · Budapest,
2026. október*

Az elkövetkező évtized éghajlati kockázatai Magyarországon

Kockázati helyzetkép 2026–2035, 2050-ig szóló kitekintéssel

Háttéranyag államigazgatási szakmai vezetők számára · Budapest, 2026. október

CÍM	Az elkövetkező évtized éghajlati kockázatai Magyarországon – Kockázati helyzetkép a 2026–2035 közötti időszakról, 2050-ig szóló kitekintéssel. Háttéranyag államigazgatási szakmai vezetők számára.
SZERZŐK	Feiler József, Nemes Csaba, Kardos Péter, Szabó Péter
KIADÓ	a szerzők
ELSŐ KIADÁS	Budapest, 2026. október 20.
DOI	10.5281/zenodo.23430763
A KÉZIRAT LEZÁRVA	2026. október 17. Az ezt követően közölt adatokat a kiadvány nem tartalmazza.
©	Feiler József, Nemes Csaba, Kardos Péter, Szabó Péter, 2026
LICENC	A kiadvány a Creative Commons Nevezd meg! 4.0 Nemzetközi licenc (CC BY 4.0) feltételei szerint szabadon másolható, terjeszthető, átdolgozható és felhasználható, a szerzők és a cím megnevezésével. A licenc szövege: creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.hu . A más forrásból átvett adatok és ábrák a saját licencfeltételeik szerint használhatók, forrásukat az ábrák alatt és a D melléklet jegyzeteiben jelöljük.
AJÁNLOTT HIVATKOZÁS	Feiler J., Nemes Cs., Kardos P., Szabó P. (2026): Az elkövetkező évtized éghajlati kockázatai Magyarországon. Kockázati helyzetkép a 2026–2035 közötti időszakról, 2050-ig szóló kitekintéssel. Budapest: a szerzők kiadása. https://doi.org/10.5281/zenodo.23430763
FELELŐSSÉG	A kiadványban foglaltak a szerzők szakmai álláspontját tükrözik, és nem feltétlenül egyeznek meg azoknak az intézményeknek az álláspontjával, amelyekben a szerzők dolgoznak vagy korábban dolgoztak.
ADATFORRÁSOK	az elemzés a HungaroMet nyílt adatpolitikai portáljának, az Országos Vízügyi Főigazgatóság adatszolgáltatásának, a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszernek (NATÉR) és az európai Copernicus Éghajlatváltozási Szolgáltatnak az adataira épül; a modellalapú becslések az ELTE Meteorológiai Tanszékén fejlesztett FORESEE-HUN adatbázis (meteordata.elte.hu/FORESEE) hibakorrigált regionális futásaira, az Athéni Nemzeti Obszervatórium (NOA) által az Augures projekt keretében Magyarországra leskálázott évtizedes előrejelzésekre és az IPCC hatodik értékelő jelentésének regionális adatbázisára támaszkodnak. A pontos forrásokat a D melléklet sorolja fel. Contains modified Copernicus Climate Change Service information 2026. Neither the European Commission nor ECMWF is responsible for any use that may be made of the Copernicus information or data it contains. We acknowledge the E-OBS dataset and the data providers in the ECA&D project (ecad.eu).

Hogyan tájékozódjon az anyagban

Négy visszatérő jel segíti az olvasást. Ugyanazt jelentik minden oldalon.



Helyjelző sáv a lap alján

Összefoglaló, döntéshozói rész (D), I–IX. fejezet, mellékletek: a sötét mező az aktuális fejezet, a világosak a már olvasottak.

Új

Megállapítás-címke

A fejezetek elején álló kiemelt megállapítások mellett: honnan származik az állítás, és új-e a korábbi képhez képest (I. fejezet).

¹² (IV.2)

Jegyzet és kereszthivatkozás

A kék indexszám a D melléklet jegyzetére, a zárójeles jelzés fejezetre és szakaszra mutat. A PDF-ben mindkettő kattintható.

1

Számozott tennivaló

A IX. fejezet szakterületi ajánlásai: félkövér a teendő, utána az indoklás és a hivatkozott fejezet.

Az olvasási szabályokat a **B**, a fogalmakat a **C** melléklet foglalja össze; az ábrák olvasásáról a **G.4** szakasz szól. A jegyzeteket és forrásokat a **D** melléklet tartalmazza.

Tartalom

	Előszó	5
	Az anyag egy oldalon	6
Ö	Vezetői összefoglaló	7
1	DÖNTÉSHOZÓI RÉSZ	
D	Mit kell most eldönteni	16
2	HAZAI VESZÉLY	
	Elemző rész: hogyan olvassa a számokat	27
I.	Mi az újdonság?	29
II.	Fizikai veszély, 2026–2035	33
III.	Víz	65
3	HATÁSOK	
IV.	Kitettség és sérülékenység – a kockázat elfelejtett két tényezője	86
V.	Gazdasági transzmisszió	102
4	GLOBALIS KÉP ÉS KITEKINTÉS	
VI.	A globális kép és a hazai olvasat	107
VII.	Kitekintés 2050-ig	121
VIII.	A szemléletváltás szükségessége: fontos a nemlineáris változások, összekapcsolódó kockázatok és korai jelek helyes megértése	146
5	TEENDŐK	
IX.	Tervezési következtetések és tennivalók szakterületenként	167
	Köszönetnyilvánítás és szerzői közreműködés	191
	A szerzőkről	192

OLVASÁSI UTAK

Gyors út

Az anyag egy oldalon → Vezetői összefoglaló

Döntéshozói út

Vezetői összefoglaló → Döntéshozói rész: Ami nem várható, közös szabályok → a saját ágazati lap

Szakterületi út

IX.2–IX.12 közül a saját terület, onnan a hivatkozott fejezetek

Módszertani út

G melléklet → H melléklet → B és E melléklet

MELLÉKLETEK

A	A használt küszöbök	195
B	Olvasási szabályok	196
C	Fogalomtár	198
D	Jegyzetek és források	203
E	Az anyag korlátai és hatásuk a következtetésekre	232
F	A hazai tudás állapota	236
G	Mit jelent és miben más a kockázati elemzés	238
H	Honnan tudjuk, amit tudunk – és hol a határ	244

Előszó

Magyarországon az éghajlatváltozás hatásai ma már nem csupán a jövőt érintő elméleti kérdést jelentenek, hanem megjelennek a mért adatokban és az egyes közigazgatási ágazatok működésében is.

A 2026-os esztendő kíméletlenül rávilágított arra a kellemetlen tényre, hogy Magyarország jelenleg felkészületlen az éghajlatváltozás veszélyeinek kezelésére. A 2026-os nyár és az év első kilenc hónapja is 1901 óta a legszárazabb volt,²⁰⁸ a nyári telítési hiány, vagyis a levegő párabefogadó képessége pedig az 1970-es évek óta 39 százalékkal nőtt. Négy alapvető meteorológiai mutató esetében a megfigyelési soraink a ma használt hazai éghajlati projekciók futtatásainak tartományán kívül esnek. A meteorológia régóta mondja, hogy a múlt éghajlata nem jó közelítése a jövőnek, a tervezési gyakorlatban azonban még mindig gyakran ebből indulnak ki. Ez a megközelítés többé nem tartható. Ha nem tartható, akkor mire lehet alapozni a tervezést?

A kötet azt vizsgálja, hogy mire kell felkészülni a 2026 és 2035 közötti időszakban, és tartalmaz egy 2050-ig terjedő kitekintést is a klímaváltozás várható pályájáról. A kérdésre a rendelkezésre álló legjobb adatok alapján válaszol, emellett rámutat, hogy hol hiányoznak az adatok, és mindig szétválasztja, hogy mi az, amit tudunk, mi az, amit csak becsülni tudunk, és mi az, amiről jelenleg nincs megbízható ismeretünk.

Az ismeretek korlátozott volta miatt a tervezéshez kockázatelemzésen keresztül juthatunk el a legjobban. A kötet célja ezért nem a tudományos konszenzus összefoglalása, hanem a döntések szempontjából fontos veszélyek, azok nagyságának és a lehetséges tévedés árának bemutatása. Így a kedvezőtlen, de reálisan lehetséges kimeneteket is tárgyalja, és külön foglalkozik azokkal a kockázatokkal, amelyeket ma még nem tudunk számszerűsíteni.

Ez a tanulmány elsődlegesen az államigazgatás szakmai vezetőinek készült, nem pedig a nagyközönségnek. Mivel a célja specifikus, a szakmai pontosságot helyezi előtérbe, akár a közérthetőség rovására is. Közli a módszertani részleteket, a bizonytalanságokat és az adatforrások hiányosságait, mert a felelős tervezési döntéshez mindezekre szükség van. Mivel az anyag két hónap alatt készült és főképp nyilvános adatokra támaszkodott, nem próbál áttekintő, minden szektorra kiterjedő képet adni, hanem a leginkább kritikus területekre összpontosít.

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

Az anyag egy oldalán

A vezetői összefoglaló vezető mondatai. A részletek az összefoglalóban és a hivatkozott fejezetekben állnak.

MIT MUTATNAK A HAZAI MÉRÉSEK

- | | | |
|---|---|--------------------------------|
| 1 | Az ország a hivatalos éghajlati projekcióknál gyorsabban melegszik. | → II.1 · H.2 |
| 2 | A vízkészlet csökkenését nem az éves csapadékösszeg változása okozza. | → II.2 · III.1 · III.2 · VII.5 |
| 3 | A nyári szárazodás a levegő telítési hiányában látszik, nem a száraz időszakok hosszában. | → II.2 |
| 4 | A fagykockázat nem tűnik el, csak átalakul. | → II.3 · II.4 |
| 5 | Ugyanannyi csapadék, kevesebb és intenzívebb alkalommal. | → II.4 · III.3 · III.4 |
| 6 | Az erdők klímaosztályai már eltolódtak. | → II.6 |

A KÁROK MÉRLEGE

- | | | |
|----|--|---------------|
| 7 | A hőség halálozási terhe a haláloki statisztikában rejtve marad. | → IV.1 · IV.2 |
| 8 | A hivatalos kitettségi és sérülékenységi adatok egy évtizede nem frissültek. | → IV.2 |
| 9 | A mezőgazdaságban a kukorica a legérzékenyebb a hőségre és a vízhiányra. | → IV.3 · V.2 |
| 10 | Az energiaellátás és a víz ugyanazon nyár folyamán kerül bajba. | → IV.4 |
| 11 | Nincs hivatalos kárszámla. | → V.1 · V.2 |

Az összefoglaló további részei: A világ pályája és a 2050-es kitekintés, Miért kell másként tervezni, Mit kell tenni.

Vezetői összefoglaló

Ez az anyag kockázati elemzés. Azt vizsgálja, hogy a következő tíz évben, 2026 és 2035 között milyen, a tervezés szokásos feltevéseitől eltérő éghajlati veszélyek jelentkezhetnek Magyarországon, kiket és mit érintenek, illetve mely döntéseknél számítanak. Azt, hogy pontosan mi fog történni, kockázati elemzéssel nem lehet megmondani. Azt viszont igen, hogy mire kell felkészülni, továbbá melyik hiba a drágább: a fölösleges óvatosság vagy az elmulasztott felkészülés. A kitekintés 2050-ig terjed. Az elemzés a hazai mérési sorokra épül, a HungaroMet 1971 óta vezetett, homogenizált és rádspontokra interpolált napi adataira¹, a talajvíz-észlelőhálózat, illetve a vízmércék adatsoraira. Ezeket veti össze a két hazai éghajlati projekciós adatkészlettel (KLIMADAT, FORESEE-HUN), valamint egy nemzetközi évtizedes éghajlati előrejelzéssel. Ahol a modellek a mai mért állapotot sem érik el, a tervezés kiindulópontja a mért érték. A módszert a **G** melléklet, az adatokat és a számítások ellenőrzését a **G.6** pont írja le.

Mit mutatnak a hazai mérések

Az ország a hivatalos éghajlati projekcióknál gyorsabban melegszik. Két egyforma, húszéves időszakot összevetve az évi középhőmérséklet az 1971–1990-es 9,9 °C-ról 2006–2025-re 11,5 °C-ra, a nyári 19,3-ról 21,5 °C-ra emelkedett. A 35 °C-ot elérő forró napok száma ugyanekkor évi 0,3-ról 4,9-re, a trópusi éjszakáké (amikor a hőmérséklet éjjel sem süllyed 20 °C alá) 0,4-ről 3,6-ra nőtt. A legutóbbi öt évben (2021–2025) évente átlagosan 8,5 forró nap és 6,6 trópusi éjszaka volt. A két hazai éghajlati projekció egyetlen futtatása sem éri el a mért évi középhőmérsékletet: a futások mediánja 13–16 évvel később jut el arra a szintre, amelyet a mérés már elért. Ugyanez igaz a 30 °C-ot elérő napok (a HungaroMet szóhasználatában hőségnapok) számára, valamint a tavaszi fagyra és a nyári telítési hiányra. E kettőre csak a FORESEE-HUN ad adatot. Ezen a négy mutatón a modellek a változást alulbecslik, ezért a tervezés kiindulópontja a mért érték, a modellsáv alja pedig nem a legvalószínűbb, hanem a legkisebb még elképzelhető érték. A forró napok, a száraz időszakok hossza és az intenzív csapadék esetében ez a szabály nem érvényes, ott a modellek nem maradnak a mérés alatt (**H.2**, **II.1**).

A vízkészlet csökkenését nem az éves csapadékösszeg változása okozza.

Az éves csapadék 1971 óta gyengén, statisztikailag nem kimutathatóan nőtt. Két húszéves időszakot (1972–1991 és 2006–2025) összevetve a téli félév csapadéka 226-ról 255 mm-re nőtt, a nyári félévé 351-ről 355 mm-re változott, a nyári hónapoké (június–augusztus) 200-ról 191 mm-re csökkent. A nyári félév csapadéka csak a legutóbbi öt évben esett érdemben vissza, 2021–2025-ben 312 mm volt. A talajvíz ennek ellenére az országos törzskúthálózat 763, negyedszázados sorral rendelkező kútjából 721-ben süllyed, a Dunától keletre a kutak 98 százalékában, mediánban évtizedenként fél méterrel. 2026 augusztusában a kutak 79 százaléka saját sorának legalacsonyabb szintjén állt. Ebben valószínűleg két tényező játszik szerepet. Az egyik, hogy a talajvíz csak a bőséges csapadékú teleken töltődik fel érdemben, egy átlagos tél alig emel rajta, és ezt a téli csapadék gyenge növekedése nem ellensúlyozta. A másik tényező a párolgás: egy még nem lektorált Duna–Tisza közti vízmérleg-becslés szerint a csapadék és a párolgás különbségéből adódó utánpótlódás az 1950-es évek óta a töredékére csökkent. Hogy országosan a tényleges párolgás mennyit nőtt, arról csak modellbecslés van, és a párolgás súlyáról a kutatók véleménye eltér (II.2). Korábban a száraz évek okozta süllyedést a bőséges telek rendre visszapótolták. Ez a ciklus a Dunától keletre megszakadt: a kutak 84 százalékán a szint 2014 óta nem tért vissza a 2001–2013-as csúcshoz. A Dunántúlon a süllyedés lassabb, a Nyugat-Dunántúlon pedig nincs egyirányú süllyedés, vagyis a folyamat országosan egyenetlen. A Körösökön és a Maroson 2026 nyarán minden vizsgált vízmérce a 2000 óta rendelkezésre álló adatsor legkisebb vízhozamát mérte, míg a Dunán Paksnál a nyári minimum a 37 éves sor legalacsonyabb értéke, a szokásos érték fele volt. A mélyebb rétegvíz, az ivóvíz bázisa, 2019 óta süllyed. Azt, hogy ezt az aszály vagy a megnőtt kitermelés okozza, nem tudjuk eldönteni, mert a vízkivétel jelentős része méretlen (III.1, III.2, VII.5).

A nyári szárazodás a levegő telítési hiányában látszik, nem a száraz időszakok hosszában.

A telítési hiány a levegő párabefogadó képessége, a párolgási igény egyik fő hajtóereje. Hogy ténylegesen mennyi víz párolog el, azt azonban a talaj vízkészlete is megszabja. A telítési hiány nyári értéke 1971 és 2025 között évtizedenként 73 Pa-lal nőtt, 2021–2025-ben pedig 39 százalékkal haladta meg az 1971–1980-as átlagot. A növényeket már terhelő, 1500 Pa fölötti telítési hiányú napok száma ugyanezen időszakok között évi 19-ről 57-re emelkedett. Ez az elemzés legerősebb statisztikai jele, amelynek mai szintjét a 28 hazai modellfuttatás egyike sem éri el. Az egybefüggő csapadégmentes időszakok hossza 1971 és 2025 között nem nőtt (a HungaroMet 1901-től számított sorában nő, 1981 óta nem szignifi-

káns csökkenést mutat).²⁰⁹ 2026 tenyészidőszakában viszont a tíz, 1901 óta mérő állomás átlagában rekord született (30,2 nap, előzetes adat). Egy év nem trend, így ma nem dönthető el, hogy kiugrást vagy fordulatot látunk. A tározók és az öntözés méretezéséhez ettől függetlenül a 2026-os nyár a mértékadó esemény (II.2).

A fagykockázat nem tűnik el, csak átalakul. A fagyos napok száma az 1971–1990-es és a 2006–2025-ös időszak között évi 96-ról 80-ra csökkent. A csökkenés azonban a tél elejéről és végéről, a késő őszi és a kora tavaszi napokból ered, az április–májusi fagyos napok száma nem változott. A rügyfakadás közben tizenkét nappal előbbre tolódott, az utolsó tavaszi fagy időpontja viszont nem mozdult. A rügyfakadás és az utolsó fagy közötti kitett időszaknak nincs kimutatható trendje, a 2021–2025-ös öt év átlaga azonban magasabb volt bármelyik korábbi évtizedénél. Öt év évtizedes átlagokkal csak fenntartással vethető össze, ezért ez jelzés, nem trend. A fagyvédelem leépítése így korai. A kemény hideg ritkult, de nem tűnt el: az ország rácsának legalább egy pontján -20 °C alatti hőmérséklet 1971–1990-ben húsz évből 13-ban, 2006–2025-ben 7-ben fordult elő, a legutóbbi évtizedben 2017-ben, 2018-ban és 2021-ben is. 2026-ban ugyanabban az évben mértek $-18,3$ és $+42,0\text{ °C}$ -ot, így a hideg oldali felkészülést sem lehet elengedni (II.3, II.4).

Ugyanannyi csapadék, kevesebb és intenzívebb alkalommal. Az éves csapadékösszeg nem csökkent. A legalább 20 mm csapadékú napok száma és a legcsapadékosabb napokból (a nedves napok 95. percentilise fölötti napokból) származó csapadék viszont két, részben átfedő harmincéves időszak, 1971–2000 és 1996–2025 között 20 százalék fölött nőtt. A vilámárvíz veszélye a kis vízgyűjtőkön ezért nő. A Tiszán ugyanakkor a harmadfokú árvízi készültség napjai a 2000–2012-es és a 2013–2025-ös időszak között szinte eltűntek (Szolnokon évi 12-ről 1,5-re, Szegeden és Tokajnál nullára csökkentek), a Dunán nem. 2024 szeptemberében ugyanabban a hónapban volt a Dunán az évszázad egyik legnagyobb árvize, a Tiszán pedig tartós kisvíz (II.4, III.3, III.4).

Az erdők klímaosztályai már eltolódtak. A bükkös klímaosztály területaránya 5,5-ről 2,1 százalékra, a gyertyános-tölgyesé 28,9-ről 21,0 százalékra csökkent, az ország területének közel negyede egy osztállyal szárazabb besorolásba került, és a változás mindenütt a szárazabb irányba mutatott. Mindkét értékelés 2010-ben zárul, az azóta eltelt másfél évtized melegeése nincs benne. Egy újabb, még nem lektorált ELTE-elemzés a talaj vízkészletét is számításba vevő osztályozással (Thornthwaite) dolgozik. Eszerint a félszáraz éghajlatú terület aránya az 1972–1989-es 5 százalékról

1990–2007-re 16 százalékra emelkedett, 2008–2025-ben pedig 15 százalék volt²¹⁰ (II.6).

Kiket és mit ér a kár

A hőség halálozási terhe a haláloki statisztikában rejtve marad. A KSH napi halálozási adataiból saját számításunk szerint 2024-ben mintegy 2300 haláleset tulajdonítható a hőségnek, a haláloki statisztika ugyanabban az évben mindössze 27 esetben nevezte meg a hőséget halálokként. Az összes okú halálozásban a többlet más számítással is kimutatható: egy még nem publikált ELTE-elemzés szerint 2024 három leginkább hőhullámos hetén mintegy 1400 többlet-haláleset történt, országos átlagban 20 százalékos többlet, a napi középhőmérséklet 27 °C-os küszöbével (Szabó Péter, személyes közlés, 2026. október). Egy európai becslés szerint a terhelés szinte teljes egészében a 75 év felettieket éri: 2024 nyarán egymillió lakosra 1668 hőségnek tulajdonított haláleset jutott ebben a korcsoportban, a fiatalabbaknál 19. A 75 év felettiek hőségterhelése, vagyis a forró napok és a korcsoport létszámának szorzata, 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese. A sürgősségi ellátásban a hőhullámnapokon 2 százalékkal nő az esetszám, az alacsony jövedelmű és a háziorvoshiányos járásokban a hatás harmadával-felével nagyobb. A szociális intézmények 88 százaléka klimatizált helyiség nélkül működik. A hőségriasztási sor 2023-mal, a sürgősségi sor 2017-tel zárul, az idősek, a krónikus betegek, a várandósok és a szabadtéri dolgozók esetében pedig hiányzik a hazai nyomon követés (IV.1, IV.2).

A hivatalos kitettségi és sérülékenységi adatok egy évtizede nem frissültek. A hivatalos alkalmazkodási térinformatikai rendszer sérülékenységi rétege 2005–2014-es, népességvetítése 2011-es, klímarétege az előző modellgenerációra épül. Közben a 65 év felettiek száma 17 százalékkal nőtt, Csongrád-Csanád, Békés és Bács-Kiskun megyében pedig a forró napok száma az 1991–2020-as átlaghoz képest 2021–2025-re több mint háromszorosára emelkedett, Csongrád-Csanádban például évi 5,5-ről 18,2-re. A sűrű városrészekben a helyzet rosszabb, mint amit az országos rács mutat, mert a rács a városi hőszigetet nem adja vissza: Szeged belterületén évi 31 trópusi éjszakát mértek a külterület 9-ével szemben (IV.2).

A mezőgazdaságban a kukorica a legérzékenyebb a hőségre és a vízhiányra. 1990 óta hat évben maradt a kukorica termésátlaga több mint 20 százalékkal a hétéves gördülő medián alatt (az előző évhez mérve tíz ilyen év volt). A kiesés mindegyik évben szokatlanul forró nyárhoz kötődött, a termésátlag azonban a tenyészidőszak csapadékával ugyanolyan szorosan függ össze, mint a nyári hőséggel. Békés megyében a 2010–2019-

es 6,7 t/ha 2021–2025-re 4,6 t/ha-ra csökkent, Zalában ugyanekkor nőtt. 2026-ban Békésben az előzetes megyei átlag 1,4 t/ha volt; országosan a kukorica termésátlaga az előzetes becslés szerint 3 t/ha körül alakult, a 2022-es 3,4 és a 2025-ös 5,3 után (V.2). A kukorica betakarított területe közben országosan negyedével csökkent, helyére részben napraforgó került. A 2022-es aszály hat kultúrában mintegy 2,4 milliárd euró kárt okozott. A kárenyhítési kifizetések 2012 és 2024 között 162,8 milliárd forintot tettek ki, ennek 70 százaléka aszály, 14 százaléka tavaszi fagy után járt, 2022-ben pedig a jogos igényeknek csak 80 százalékát sikerült kifizetni. A másodlagos szikesedéssel veszélyeztetett terület nagyságrendje 400 ezer hektár, és a folyamat magától nem fordul vissza (IV.3, V.2).

Az energiaellátás és a víz ugyanazon nyár folyamán kerül bajba. 2026. július 29-én a nyilvános közlések szerint a paksi erőmű történetében először állt le teljes blokk kisvíz miatt, augusztus elején a négy blokkból kettő működött; a leállás legsúlyosabb szakaszáról a beszámolók eltérnek (IV.4). A hűtővíztől függő kapacitás hányadáról, valamint az importra és az árakra gyakorolt hatásról nincs összesítés. A vízügyi engedély a teljes megbízhatóságú vízellátásért nem vállal felelősséget, míg az energetikai tervezés ugyanezt megalapozottnak tekinti (IV.4).

Nincs hivatalos kárszámla.² Az éghajlati károk nemzetgazdasági összesítése hiányzik, az egyetlen hivatalos makrobeclés tizenhat éves. Az európai kársor szerint 1980 és 2024 között a hazai időjárási kár 12,8 milliárd euró volt, ennek 78 százaléka mindössze öt évre esett, biztosítva pedig 4,8 százaléka volt. Egy átlagos évre méretezett tartalék ezért nem elég. A közbeszédben forgó számok mögött, mint amilyen „a vízhiány a GDP 7 százaléka”, nincs magyar becslés (V.1, V.2).

A világ pályája és a 2050-es kitekintés

A bolygó az elmúlt évtizedben gyorsabban melegedett, mint bármikor a műszeres mérés kezdete óta. Az emberi eredetű melegedés üteme évtizedenként 0,27 °C, a természetes ingadozásoktól megszűrt megfigyelt melegedése 2013–2014 óta adatsortól függően 0,34–0,42 °C. A Föld energiamérlegének többlete, vagyis az éghajlati rendszer hőfelvételének üteme, két évtized alatt több mint kétszeresére nőtt. A megfigyelt melegedés az utóbbi másfél évtizedben a régebbi (CMIP5) globális modellgeneráció tartományának tetején, az újabbnak (CMIP6) a felső részén fut, bár a teljes 1970–2025-ös időszakon az újabb modellek átlaga mintegy negyedével túlbecsüli a melegedést.²²¹ A gyorsuláshoz hozzájárul, hogy a levegőtisztaság-védelem sikerével eltűnt a hűtőhatású aeroszolréteg egy része, és hogy a szárazföldi szénnyelők gyengébbek a feltételezettnél. A hazai pro-

jekciók alsó becslésnek tekintendők. Ezt a hazai mérés bizonyítja, nem a globális kép: a két hazai projekciós készlet, amely a régebbi, CMIP5-ös generációra épül, a már mért hazai melegedést sem éri el (H.2, VI).

2050-re a hazai tervezéshez három globális melegedési szintet javasolunk. A tervezési alap a mért melegedési ütem folytatása, mintegy 2 °C globális melegedés az iparosodás előtti szinthez képest. Ezt minden olyan létesítménynek ki kell bírnia, amely 2050-ig működik. A 2,5 °C a stresszpróba szintje: a hosszú élettartamú létesítményeket ezen a szinten is ellenőrizni kell. A 3 °C a szélső ág, amely a következmények forgatókönyv-szerű végiggondolására szolgál. A gyorsulás öt mért adatsoron látszik, ezért a 2 °C inkább optimista, mint óvatos feltevés. Magyarországon a három szint saját becslésünk szerint az 1991–2020-as normálhoz képest mintegy 1,9, 2,5 és 3,3 °C-os évi melegedést jelent, miközben a globális átlag ugyanehhez az alaphoz képest 1,1, 1,6 és 2,1 °C-kal melegszik. Egy 2,5 °C-os világban a 2026-os nyár legfeljebb átlagos nyárnak számítana (VII.1). Ha a melegedés 1,8 °C körül (kedvező eset) vagy 1,5–1,6 °C-on (kedvező szélső eset) megáll, az enyhíti a terhet, de a tervezés erre nem építhet, mert az 1,5 °C-hoz tartozó szénköltésgvetés a mai kibocsátás mellett három, az 1,7 °C-hoz tartozó tizenkét év alatt elfogy. Európa a globális ütem kétszeresével melegszik, a hivatalos hazai 2050-es hőmérsékleti értékek a projekciók késése miatt szintén alsó becslésnek tekintendők. A Duna alpesi gleccsertartaléka 2050-ig mintegy a felére csökken, télen több, nyáron bizonytalanabb víz várható. A Magyarországot érintő hét billenőpont közül öt küszöbe a 2–2,5 °C-os sávban vagy az alatt van, az atlanti áramlási rendszer gyengülése³ pedig a hazai teleket szélsőségesebbé teheti (VII).

Miért kell másként tervezni

A következmények nem az átlagok lassú elmozdulásából, hanem a küszöbök átlépéséből erednek. Az évi középhőmérséklet 1,2 °C-os emelkedése mellett például a forró napok évi száma 2,8-ról 8,5-re nőtt (1991–2020, illetve 2021–2025). A kár is néhány rendkívüli évben keletkezik. A romlás kétsébségű. A lassú erózió, például a talajvíz negyedszázados süllyedése vagy a hótakarós napok 22-ről 6-ra csökkenése, egyik évben sem látványos, különösen ha a jelent mindig a közelmúlthoz mérjük. A hirtelen fordulat pedig ezt a már meggyengült rendszert éri. Erre 2026 nyara a példa, amikor a nyári csapadék országosan 74 mm volt, a sokéves átlag alig több mint harmada, 27 mm-rel kevesebb az addigi legszárazabb, 1952-es nyárénál, a hőség, az aszály, a kisvíz, valamint az erőművi visszaterhelés pedig egyszerre jelentkezett. Az ilyen együttes eseménye-

ket a veszélyeket külön kezelő tervezés rendszeresen alulbecsüli. Mivel vízkészletünk 96 százaléka külföldről érkezik, a felvízi országok aszálya is közvetlenül hat ránk. Különösen veszélyes a kisiklási kockázat, amikor a sorozatos károk és a válságkezelés elvonják a pénzt és a figyelmet a megelőzéstől (VIII.1–VIII.3).

A tervezésnek ezért nem a legvalószínűbb jövőből kell kiindulnia, hanem abból, mi okozhat elfogadhatatlan kárt, illetve ebből mi kerülhető el. Ennek eszközei az ésszerű legrosszabb eset megnevezése, a fordított stresszpróba (milyen együttállás vezetne a rendszer kudarcához), az előre rögzített döntési pontok, valamint a tartalék, a sokféleség és a leválaszthatóság megőrzése, amelyek a költséghatékonyságra optimalizált rendszerekből elsőként tűnnek el (VIII.4, VIII.5).

A következő évtizedre három folyamattal számolunk. A tervezési alap az, hogy a melegedés folytatódik, a téli feltöltés az elmúlt negyedszázadhoz hasonlóan várhatóan nem pótolja a nyári fogyást, a készlet pedig lassan tovább csökken. A méretezés esete egy kevésbé valószínű, de elfogadhatóan lehetséges lefolyás, amelyben két vagy több egymást követő száraz tél után sorozatos hóhullám és kisvíz miatti erőművi visszaterhelés következik. Ugyanezekben az években, a száraz téltől független okból, tavaszi fagykár is érheti a mezőgazdaságot. Azt, hogy az évtized merre tart, 2027 és 2031 között tizenkét előre kijelölt figyelmeztető jel mutatja meg, a téli csapadéktól a kútminimumokon és a trópusi éjszakákon át a hőség és a halálozás kapcsolataig. Ezek azonban csak akkor használhatók, ha mindegyikhez előre rögzítjük, milyen döntést indít el az átlépésük (VIII.6, VIII.7). Az első évek jeleit a 2026 őszen kialakuló, várhatóan történelmi erősségű El Niño torzíthatja. A globális hőmérsékletet egyszeri lökéssel emeli, hazai hatása viszont előre nem jelezhető, ezért egyetlen El Niño-év alapján nem szabad a lefolyások között váltani (VIII.7).

Mit kell tenni

Három szabály minden szakterületre érvényes. (1) A hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napokon, a tavaszi fagyon és a nyári telítési hiányon a mért érték a kiindulópont, a modellsáv alja a legkisebb elképzelhető érték. (2) A méretezés nem a középértékre, hanem a kedvezőtlen, de reális esetre készül, vagyis két egymást követő aszályos évre hőséggel és kisvízzel, amelyhez független veszélyként tavaszi fagykár is társulhat. (3) A 2050 után is működő létesítményt legalább 2 °C-ra kell tervezni, 2,5 °C-os

stresszpróbával, ezt a szintet pedig jogszabályban kell rögzíteni (IX.1). A szakterületi tennivalók közül a legfontosabbak:

- **Vízgazdálkodás:** a vízkivétel mérhetővé tétele a legolcsóbb lépés és minden más döntés előfeltétele. A téli félév vizét a tájban kell visszatartani, a beavatkozások sorrendjét pedig térségenként, a vízhozam, a talajvíz és a természetlag együttes romlása alapján kell meghatározni. A tározók és az öntözés méretezésének mértékadó eseménye a 2026-os nyár (IX.2).
- **Mezőgazdaság:** a telítési hiány kerüljön a tervezési és támogatási mutatók közé, az öntözésbővítés feltétele a vízmérleg és a vízminőség, a fagyvédelmi kapacitás leépítése korai, emellett fel kell mérni, mekkora kárt bír ki a kárenyhítési rendszer két egymást követő aszályos évben (IX.3).
- **Erdészet:** a telepítés és a fafajválasztás a szárazabb klímaosztályra készüljön, a klímaosztály-térképet pedig 2011 utáni adatokkal kell frissíteni (IX.4).
- **Energia:** a kisvíz miatti teljesítménycsökkenés kerüljön be a rendszertervezés érzékenységvizsgálatába a mért vízhozamsor gyakoriságával, a csúcsigényt pedig a hőség és a kisvíz egyidejűségére kell tervezni (IX.5).
- **Egészségügy és szociális ellátás:** a hőségriasztás és az ellátás tervezése négy célcsoportra épüljön, elsődleges mérőszáma a 75 év felettiek hőségterhelése legyen, a hőség és a halálozás kapcsolatát folyamatosan mérni kell, a hőségkockázati térkép frissítése pedig gyors, olcsó lépés (IX.6).
- **Épületek és infrastruktúra:** kötelező nyári túlmelegedési követelmény az új és a jelentősen felújított épületekre, elsőként az időseket ellátó épületek hőségállóvá tétele, kötelező éghajlati kockázatértékelés minden tíz évnél hosszabb élettartamú, közpénzből épülő létesítménynél (IX.7).
- **Önkormányzatok és katasztrófavédelem:** települési hőségtervek elsőként a hőségterhelés és a hőhullámok idején mért többlethalálozás együttes mérlegelésével kijelölt megyékben, csapadékvíz-elvezetés a villámárvíz-veszélyes településeken, gyakorlat az összetett stresszévre (aszály, hőhullám, kisvíz és energiaellátási zavar ugyanabban az évben), valamint a tizenkét figyelmeztető jel évenkénti értékelése kijelölt felelőssel (IX.8).
- **Pénzügy:** hivatalos nemzetgazdasági kárszámla, költségvetési tartalék a ritka, nagy kárévekre, a pénzügyi stresszteszt kiterjesztése a fizikai kockázatra, kárfinanszírozási stratégia és a kötelező, pótdíjas katasztrófa-kár-biztosítás vizsgálata. Egy százéves árvíznél a hazai tartalék és a Szolidaritási Alap után mintegy 936 millió euró maradna fedezetlen (IX.9).
- **Adat és mérés:** a hivatalos alkalmazkodási térinformatikai rendszer (NA-TÉR) sérülékenységi rétegeinek frissítése, nyilvános lista azokról az ég-

hajlati küszöbökről, amelyek átlépését az államigazgatás el akarja kerülni, az évtizedes előrejelzés beépítése az 5–10 éves tervezési ciklusokba, a meglévő légnedvesség-mérés kiegészítése a határrétegben (a talaj fölötti néhány száz méteres légrétegben) és az ágazati mérőhelyeken, valamint országos gyökérváz talajnedvesség-mérőhálózat kijelölt adatgazdával (IX.10, IX.11).

- **Kormányzás:** az alkalmazkodási stratégia mellé ötéves végrehajtási program költségvetéssel és felelősökkel, ötévente nemzeti éghajlati kockázatjelentés, egységes tervezési hőmérsékleti szint minden ágazati tervben, valamint az éghajlati kockázat a többi veszéllyel közös nemzeti kockázati képben (IX.12).

Nemzetgazdasági aszálykár-bebecslést, visszatérési időket, teljes vízmérleget, egyes események attribúcióját, illetve összesített „tétlenségi költséget” ez az elemzés nem közöl. Az elemzés határait a H.4 pont és az E melléklet sorolja fel.



A RÉSZ TARTALMA

• Ami nem várhat	16
• Minden ágazatra érvényes szabályok	17
• Ágazati lapok	18

Mit kell most eldönteni

Ez a rész a vezetői összefoglaló után azt mutatja meg, melyik döntés nem várhat, és ágazatonként mi a teendő. Új adatot nem tartalmaz. A tennivalók a **IX.** fejezetből valók, ott olvasható az indoklásuk, és a fejezet elején álló táblázat mind a 66 tennivalót a döntés ideje és a mögöttük álló bizonyíték megbízhatósága szerint sorolja be. A besorolás a szerzők ítélete. A tennivalók mellett felelős intézményt nem nevezünk meg, a felelős kijelölése a kormányzat döntése.

Ami nem várhat

Hét döntés ablaka most nyitva van. Ha bezárul, a következő ciklusig nincs új lehetőség.

- **Az új és a jelentősen felújított épületekre kötelező nyári túlmelegedési követelmény kell.** Ablak: az épületenergetikai irányelv átültetésének határideje 2026. május 29-én lejárt, az átültetés folyamatban van (**IX.7**, 1.).
- **Az alkalmazkodási stratégia mellé ötéves végrehajtási program kell, költségvetéssel és tennivalónként kijelölt felelőssel.** Ablak: klímátörvény, az Országgyűlés döntése várhatóan 2026. november–decemberben (**IX.12**, 1.).
- **Ötévente nemzeti éghajlati kockázatjelentés készüljön, és a végrehajtási program ehhez igazodjon.** Ablak: klímátörvény, 2026. november–december (**IX.12**, 2.).
- **Egységes tervezési hőmérséklet-emelkedési szintet kell rögzíteni, amelyre minden ágazati terv és szabvány hivatkozik.** Ablak: klímátörvény vagy végrehajtási rendelete, 2026. november–december (**IX.12**, 3.).
- **Az éghajlati kockázatot a többi veszéllyel közös nemzeti kockázati képben kell értékelni, kijelölt összehangoló felelőssel.** Ablak: klímátörvény és a nemzeti kockázatértékelési rend (**IX.12**, 5.).

- A költségvetési tartalékok tervezése a ritka, nagy kárévekkel számoljon. Ablak: a 2027. évi költségvetés (IX.9, 2.).
- Az alkalmazkodást szolgáló költségvetési előirányzatokat meg kell jelölni. Ablak: a 2027. évi költségvetés (IX.9, 10.).

Tíz döntés évtizedekre köt: amit most építenek vagy telepítenek, évtizedekig működik. Ezeknél a tervezési szintet már most a IX.1 pont szerint kell megválasztani.

- A 2050 után is működő létesítményeket legalább 2 °C-os globális melegedésre kell tervezni, 2,5 °C-os stresszpróbával. (IX.1, 3.)
- A tározók és az öntözőrendszerek méretezésénél a 2026-os nyár a mértékadó száraz időszak. (IX.2, 4.)
- A vízkorlátozás törvényi sorrendjét a kapacitás- és beruházástervezésbe is be kell építeni. (IX.2, 6.)
- 2050-ig a Dunán télen több, nyáron bizonytalanabb vízjárással kell tervezni. (IX.2, 8.)
- A hűtővíztől függő új vagy bővülő kapacitásoknál a 2026-os nyári vízhozamot stresszpróbaként kell alkalmazni. (IX.5, 3.)
- A villámárvíz-veszélyes kisvízgyűjtők településein a csapadékvíz-elvezetést a mért változáshoz kell igazítani. (IX.8, 2.)
- A települési vízellátás tervezése vegye figyelembe az ivóvízbázisok éghajlati érzékenységét. (IX.8, 3.)
- Elsőként a 75 év felettieket ellátó épületeket kell hőségállóvá tenni, és a településeken hűtött közösségi helyeket kell kijelölni. (IX.7, 3.)
- A termesztett növények fajta- és kultúraválasztásánál a hőségűrést és a fagyűrést együtt kell mérlegelni. (IX.3, 4.)
- Az erdőtelepítés és a fafajválasztás a szárazabb klímaosztállyal számoljon. (IX.4, 1.)

A többi tennivaló közül 35 olcsó vagy költség nélküli lépés, amely a következő évtized minden lefolyásában helyes, és gyakran más döntések előfeltétele, például a vízkivétel mérése vagy az adatrétegek frissítése. Tíznek későbbi döntési ablaka van, négyről pedig most csak azt kell rögzíteni, milyen jel indítja el. A teljes lista a IX. fejezet elején található.

Minden ágazatra érvényes szabályok

- A négy legfontosabb mutatón a modell helyett a mért érték a kiindulópont. (IX.1, 1.)

- A felkészülést a kedvezőtlen, de reális esetre kell méretezni. (IX.1, 2.)
- A 2050 után is működő létesítményeket legalább 2 °C-os globális melegezésre kell tervezni, 2,5 °C-os stresszpróbával. (IX.1, 3.)
- A hideg oldali felkészülés leépítése korai. (IX.1, 4.)

Ágazati lapok

Mindegyik lap három kérdésre felel: mi a kockázat, melyik három szám mutatja, és melyek a legfontosabb teendők. A számok mellett megadjuk a fejezetet, ahol a módszer és a bizonytalanság olvasható.

Vízgazdálkodás

A KOCKÁZAT

A vízkészlet fogy, de nem azért, mert kevesebb az éves csapadék. A talajvíz csak a bőséges csapadékú teleken töltődik fel érdemben, a Dunától keletre 2014 óta ez a ciklus megszakadt. Az ivóvízellátás mintegy harmadának forrása, a mélyebb réteg-víz 2019 óta süllyed, és nem tudni, mennyi ebből az aszály és mennyi a kitermelés, mert a vízkivétel nagy része méretlen.

KULCSSZÁMOK

- a Dunától keletre a kutak 98 százalékában süllyed a talajvíz (III.1);
- 2026 augusztusában a kutak 79 százaléka saját sorának legalacsonyabb szintjén állt (III.1);
- a belvízcsatornák az aszályra hajlamos síkságokról évente átlagosan mintegy 1,77 milliárd köbméter vizet vezetnek el (IV.3).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 A vízkivételt mérhetővé kell tenni ott is, ahol ma nem mérik. (IX.2, 1.)
- 2 A téli félév vizét a tájban kell tartani. (IX.2, 2.)
- 3 A beavatkozások sorrendjét térségenként kell meghatározni. (IX.2, 3.)
- 4 A tározók és az öntözőrendszerek méretezésénél a 2026-os nyár a mértékadó száraz időszak. (IX.2, 4.)

További 4 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.2.

Mezőgazdaság

A KOCKÁZAT

A legérzékenyebb kultúra a kukorica. A nyári szárazodás legerősebb mért jele a levegő telítési hiánya, vagyis a párolgási igény növekedése. A fagykockázat nem tűnik el: az április–májusi fagyos napok száma nem változott, a rügyfakadás viszont tizenkét nappal korábbra tolódott.

KULCSSZÁMOK

- Békés megyében a kukorica termésátlaga a 2010–2019-es 6,7 t/ha-ról 2021–2025-re 4,6 t/ha-ra csökkent (III.1), 2026-ban előzetes megyei adat szerint 1,4 t/ha volt (V.2);
- a nyári telítési hiány 1971 és 2025 között évtizedenként 73 Pa-lal nőtt (II.2);
- 2022-ben a kárenyhítés a jogos igényeknek csak 80 százalékát fizette ki (IV.3).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 A telítési hiány (a levegő párabefogadó képessége) kerüljön az agrártervezés és a támogatási feltételek mutatói közé. (IX.3, 1.)
- 2 Az öntözésbővítés feltétele a vízmérleg és a vízminőség. (IX.3, 2.)
- 3 A fagyvédelmi kapacitás leépítése korai. (IX.3, 3.)
- 4 A termesztett növények fajta- és kultúraválasztásánál a hőségtűrést és a fagytűrést együtt kell mérlegelni. (IX.3, 4.)

További 2 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.3.

Erdészet

A KOCKÁZAT

Az erdők klímaosztályai már a szárazabb irányba tolódtak. A két hazai értékelés 2010-ben zárul, az azóta eltelt másfél évtized melegedése nincs benne.

KULCSSZÁMOK

- a hivatalos térinformatikai réteg rácscelláinak 23 százaléka egy osztállyal szárazabb besorolásba került (II.6);
- a bükkös klímaosztály területaránya 1961–1990 és 1981–2010 között 5,5-ről 2,1 százalékra csökkent (II.6).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 Az erdőtelepítés és a fafajválasztás a szárazabb klímaosztállyal számoljon. (IX.4, 1.)
- 2 Az erdészeti klímaosztály-térképet a 2011 utáni adatokkal frissíteni kell. (IX.4, 2.)

Indoklás: IX.4.

Energia

A KOCKÁZAT

Az energiaellátás és a víz ugyanazon a nyáron kerül veszélybe. A hűtővíztől függő kapacitás hányadáról nincs összesítés, a vízügyi engedély és az energetikai tervezés feltevései pedig eltérnek.

KULCSSZÁMOK

- a nyilvános közlések szerint 2026. július 29-én a paksi erőmű történetében először állt le teljes blokk kisvíz miatt (IV.4);
- Paksnál október 8-án a Duna napi átlagos vízhozama 613 m³/s-ra csökkent (előzetes, operatív adat) (VII.5);
- a tiszaujvárosi erőmű engedélyében a vízügyi hatóság a teljes megbízhatóságú vízellátásért nem vállal felelősséget (IV.4).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 A villamosenergia-rendszer tervezési vizsgálataiba be kell építeni a kisvíz miatti teljesítménycsökkenést. (IX.5, 1.)
- 2 A vízügyi engedélyezés és az energetikai tervezés feltevéseit össze kell hangolni. (IX.5, 2.)
- 3 A hűtővíztől függő új vagy bővülő kapacitásoknál a 2026-os nyári vízhozamot stresszpróbaként kell alkalmazni. (IX.5, 3.)
- 4 A csúcsigény-tervezés számoljon a hőség és a kisvíz egyidejűségével. (IX.5, 4.)

Indoklás: IX.5.

Egészségügy és szociális ellátás

A KOCKÁZAT

A hőség halálozási terhe a haláloki statisztikában rejtve marad, és döntően a 75 év felettieket éri. A többi veszélyeztetett csoportról nincs hazai nyomon követés.

KULCSSZÁMOK

- saját becslésünk szerint 2024-ben mintegy 2300 haláleset tulajdonítható a hőségnek, a haláloki statisztika 27 esetet rögzített (IV.1);
- a magyar városokban a hőségahalálok több mint fele (56 százalék) az ember okozta melegedés következménye, Budapesten 2025-ben 76 százalék (IV.1);
- a 75 év felettiek hőségterhelése (a forró napok és a korcsoport létszámának szorzata) 2,1 millióról 6,8 millió személy-forrónapra, 3,2-szeresére nőtt 1991–2020 és 2021–2025 között (IV.2);
- a hivatalos hőhullám-érzékenységi réteg 2005–2014-es adatokra épül (IV.2).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 A hőségre való felkészülés négy célcsoportra épüljön: az idősekre, a krónikus és fekvőbetegekre, a várandósokra és kisgyermekre, valamint a szabadtéri dolgozókra. (IX.6, 1.)
- 2 A hőségriasztási rendszer nem építhető le. (IX.6, 2.)
- 3 A hőség és a halálozás kapcsolatát folyamatosan mérni kell. (IX.6, 3.)
- 4 A hőségkockázati térképet frissíteni kell. (IX.6, 4.)

További 1 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.6.

Épületek és infrastruktúra

A KOCKÁZAT

Az épületállomány zöme 2050-ben is állni fog. Az uniós épületenergetikai irányelv az alkalmazkodást csak mérlegelendő szempontként írja elő, ezért a nyári túlmelegedés kezelésében a mozgástér a hazai átültetésben van. A sűrű városrészekben a helyzet rosszabb, mint amit az országos rács mutat, mert a rács a városi hőszigetet nem adja vissza.

KULCSSZÁMOK

- Szeged belterületén 2016 és 2025 között évente átlagosan 31 trópusi éjszakát mértek, a külterületen 9-et (IV.2);
- az Egyesült Királyság független értékelése szerint 2 °C-os melegedésnél a meglévő lakások 92 százaléka túlmelegedhet; hazai becslés nincs (IX.7);
- az első generációs európai szerkezettervezési szabványokat 2028 elejéig vissza kell vonni (IX.7).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 Az új és a jelentősen felújított épületekre kötelező nyári túlmelegedési követelmény kell. (IX.7, 1.)
- 2 A meglévő épületek felújítási támogatásában az árnyékolás, az éjszakai szellőztetés és a passzív hűtés is legyen támogatható elem. (IX.7, 2.)
- 3 Elsőként a 75 év felettieket ellátó épületeket kell hőségállóvá tenni, és a településeken hűtött közösségi helyeket kell kijelölni. (IX.7, 3.)
- 4 Az épület- és szerkezettervezés éghajlati adatait a mért értékekhez kell igazítani. (IX.7, 4.)

További 3 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.7.

Önkormányzatok és katasztrófavédelem

A KOCKÁZAT

A hőség, a villámárvíz és a vízellátás kockázata a településeken jelenik meg, és ott a legegyszerűsebb. 2026 nyara megmutatta az összetett stresszévet: aszály, hőhullám, folyami kisvíz és az energiaellátás zavara egyszerre.

KULCSSZÁMOK

- a forró napok évi száma Csongrád-Csanádban 5,5-ről 18,2-re, Békésben 5,1-ről 17,4-re, Bács-Kiskunban 4,4-ről 14,5-re nőtt 1991–2020 és 2021–2025 között (IV.2);
- az intenzív hőhullámos hetek többszörösödése viszont Tolna (35 százalék), Baranya (28) és Jász-Nagykun-Szolnok (26) megyében a legmagasabb, Bács-Kiskunban 25, Békésben mintegy 24, Csongrád-Csanádban mintegy 20 százalék (2015–2025) (IX.8);
- a hivatalos rendszer 2120 hegy- és dombvidéki vízgyűjtőből 367-et fokozottan veszélyeztetettnek minősít villámárvíz szerint (III.5);
- a tíz nagy víziközmű-szolgáltató területén az értékelt 1495 településből 421 a nagyon érzékeny kategóriába esik (III.5).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1** A települési hőségterveket elsőként a leginkább terhelt megyékben kell frissíteni. (IX.8, 1.)
- 2** A villámárvíz-veszélyes kisvízgyűjtők településein a csapadékvíz-elvezetést a mért változáshoz kell igazítani. (IX.8, 2.)
- 3** A települési vízellátás tervezése vegye figyelembe az ivóvízbázisok éghajlati érzékenységét. (IX.8, 3.)
- 4** A katasztrófavédelmi gyakorlatok vegyék alapul az összetett stresszévet. (IX.8, 4.)

További 2 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.8.

Pénzügy és költségvetés

A KOCKÁZAT

Nincs hivatalos kárszámla, és nincs eldöntve, ki fizeti a nagy kárt. A kár néhány rendkívüli évben keletkezik, ezért az átlagos évre méretezett tartalék nem elég.

KULCSSZÁMOK

- 1980 és 2024 között az időjárási és éghajlati kár 2024-es áron 12,8 milliárd euró volt, ennek 78 százaléka öt évre esett (V.2);
- a kár 4,8 százaléka volt biztosított (V.2);
- egy 2021-es európai modell szerint egy évi 1 százalék valószínűségű árvíznél mintegy 936 millió euró maradna fedezetlen (IX.9).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 Hivatalos nemzetgazdasági kárszámlát kell felállítani. (IX.9, 1.)
- 2 A költségvetési tartalékok tervezése a ritka, nagy kárévekkel számoljon. (IX.9, 2.)
- 3 Nemzetközi kárszámot csak hazai alappal vagy a forrásával együtt szabad használni. (IX.9, 3.)
- 4 A pénzügyi stresszteszteket a fizikai éghajlati kockázatra is ki kell terjeszteni. (IX.9, 4.)

További 6 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.9.

Adat, mérés és modellezés

A KOCKÁZAT

A hivatalos kitettségi és sérülékenységi adatok egy évtizede nem frissültek, a hazai projekciók pedig négy mutatón a mérés alatt maradnak. Országos talajnedvesség-trendet ma csak modellből lehet becsülni.

KULCSSZÁMOK

- a hivatalos alkalmazkodási térinformatikai rendszer sérülékenységi rétege 2005–2014-es, népességvetítése 2011-es (IV.2);
- a két hazai projekció futásainak mediánja 13–16 évvel később éri el a már mért évi középhőmérsékletet (H.2);
- a tizenkét figyelmeztető jel közül a gyökérzóna talajnedvességének mérésére nincs kijelölt adatgazda (VIII.7).

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 A kitettségi és sérülékenységi adatrétegeket frissíteni kell. (IX.10, 1.)
- 2 Az évtizedes éghajlati előrejelzést be kell építeni az 5–10 éves tervezési ciklusokba. (IX.10, 2.)
- 3 Nyilvános, megnevezett éghajlati küszöblistát kell elfogadni, vagyis rögzíteni kell, mely éghajlati határértékek átlépését akarja az államigazgatás elkerülni. (IX.10, 3.)
- 4 Ki kell jelölni a figyelmeztető jelek adatgazdáit. (IX.10, 4.)

További 5 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.10, IX.11.

Alkalmazkodási tervezés és kormányzás

A KOCKÁZAT

A tennivalók végrehajtásához kormányzási keret kell: ötéves végrehajtási program, ötvenkénti kockázatjelentés, egységes tervezési melegedési szint és közös nemzeti kockázati kép. A legtöbb ilyen döntés ablaka a klímátörvénnyel most nyitva van.

KULCSSZÁMOK

- a IX.1 pont szerinti tervezési alap 2050 körül mintegy 2 °C globális melegedés, 2,5 °C-os stresszpróbával (VII.1);
- a klímátörvényről az Országgyűlés várhatóan 2026. november–decemberben dönt.

A LEGFONTOSABB TEENDŐK

- 1 Az alkalmazkodási stratégia mellé ötéves végrehajtási program kell, költségvetéssel és tennivalónként kijelölt felelőssel. (IX.12, 1.)
- 2 Ötévente nemzeti éghajlati kockázatjelentés készüljön, és a végrehajtási program ehhez igazodjon. (IX.12, 2.)
- 3 Egységes tervezési hőmérséklet-emelkedési szintet kell rögzíteni, amelyre minden ágazati terv és szabvány hivatkozik. (IX.12, 3.)
- 4 A tennivalók sorrendjét nyilvános, előre rögzített szempontok szerint kell felállítani. (IX.12, 4.)

További 1 tennivaló és mindegyik indoklása: IX.12.



Elemző rész

AZ ELEMZŐ FEJEZETEK

I	Mi az újdonság?	29
II	Fizikai veszély, 2026–2035	33
III	Víz	65
IV	Kitettség és sérülékenységi – a kockázat elfelejtett két tényezője	86
V	Gazdasági transzmisszió	102
VI	A globális kép és a hazai olvasat	107
VII	Kitekintés 2050-ig	121
VIII	A szemléletváltás szükségessége: fontos a nemlineáris változások, összekapcsolódó kockázatok és korai jelek helyes megértése	146
IX	Tervezési következtetések és tennivalók szakterületenként	167

A következő fejezetek a fenti megállapítások és tennivalók bizonyítékait tartalmazzák, a módszerrel, az adatokkal és a bizonytalanság kezelésével együtt.

Hogyan olvassa a számokat

Az elemző fejezetek módszertani alapjait a G és a H melléklet tárgyalja. A számok helyes olvasásához az alábbi szabályok elegendők, mindegyik mellett megadjuk a melléklet pontját, ahol a részletek olvashatók.

- **A tervezési minimum szabálya:** ha a modellek legszélsőségebb tagja sem éri el a mért értéket, a modellsáv alja nem óvatos becslés, hanem alsó korlát, és a tervezési minimum a már megfigyelt érték. Ez az anyag legfontosabb módszertani döntése. A szabály mutatóként igazolandó: négy mutatón érvényes – a hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon (ez csak a mérsékelt forgatókönyv 14 futására áll) és a telítési hiányon –, több másikon nem. A szabály nem modellkritika: a modell és a mérés eltérése korrigálható (G.6, H.2).
- **A kockázat három tényezője:** a kockázat nem azonos a veszéllyel, hanem a veszély, a kitettség és a sérülékenységi szorzata. A beavatkozási pontok a sérülékenységi oldalon vannak, és ez a réteg hozzáférhető, frissítése olcsó és gyors (G.2).
- **Az elfogadhatóan lehetséges legrosszabb eset:** a méretezés alapja nem a legvalószínűbb kimenet, hanem a legrosszabb, amely a nagyon valószínű

nútlen változatok kizárása után marad. Ez nem előrejelzés, hanem az arányos tervezést lehetővé tévő forma (G.3).

- **A drágább hiba:** tervezési helyzetben az elmulasztás – nem készülünk fel arra, ami bekövetkezik – drágább, mint a vakriasztás, mert az elmaradt beruházás következménye évtizedes és részben visszafordíthatatlan. Ez értékválasztás, nem tudományos megállapítás (G.5).
- **Referenciaidőszak és küszöbindex:** minden szám a referenciaidőszakával és az ablakával együtt értelmes, két eltérő referenciájú szám közvetlenül nem hasonlítható össze. A küszöbindexek, például a forró napok száma, rácspontonként képződnek, és csak utána átlagolódnak (G.6, Melléklet B).
- **Szignifikancia:** „szignifikáns” minősítést csak az az eredmény kap, amely a tesztcsalád méretével korrigált küszöböt (Bonferroni-korrektúra) eléri. A többi eredmény a változás mértékével, a konfidenciaintervallummal és a p-értékkel, leíró alakban szerepel. A korrektúra szigorúbb a szükségesnél, ezért ami rajta elbukik, azt nem zajnak, hanem nem kellően bizonyított-nak kell tekinteni (Melléklet B).
- **Amit az anyag nem ad:** visszatérési időt, egyes események attribúcióját és összesített nemzetgazdasági kárszámot nem közöl, és nem mondja meg, milyen lesz egy adott év nyara (H.4).



Mi az újdonság?

A magyar közbeszéd éghajlati alaptételei – az IPCC AR6 kerete, a másfél fokos küszöb, a billenőpontok, a hőhullámok erősödése, a csapadék szélsőségesebbé válása – **túlnyomórészt helyes**. Ezeket az elemzésünk nem cáfolja. Ahol újat mondunk, ott az újdonság többnyire nem az irányban van, hanem a változás mértékében, az időzítésben vagy a kapcsolódó mechanizmusban, és leginkább a döntési következtetésben.

Az egyetértés pontjai a következők. A hőhullám-irány, a csapadék-átrendeződés és – kiemelten – az a hazai kutatói tétel, amely a párolgási-párolgotatási deficit növekedését azonosítja az aszály, a hőhullám és a hirtelen árvíz közös gyökereként, egybevágh saját eredményeinkkel. Ez utóbbinál ugyanakkor jeleznünk kell, hogy a telítési hiány (VPD, a levegő állapotát leíró, mérésből számított mennyiség) és a referencia-párolgásigény (ET₀, egy szabványos gyepfelületre számított mutató) nem ugyanaz, és növekedési ütemük is eltér. Ahol a párolgást tárgyaljuk, mindig rögzítjük, hogy a kettő közül melyikről van szó.

Az alábbi két táblázat ezt a különbséget teszi láthatóvá. Az első azt sorolja fel, ami közismert, mert az IPCC hatodik értékelő jelentése (AR6, 2021–2023) is megállapította, és amelyet ez az elemzés hazai adattal is alátámaszt.⁴² A második azt, ami az első táblázathoz képest új vagy érdeemi elmozdulás, a forrás típusának megjelölésével: az AR6 lezárása után megjelent nemzetközi szakirodalom, saját hazai mérésünk, illetve intézményi adathiány (hiányzó hivatalos kárszámla, elavult sérülékenységi adatok). A globális mutatók számszerű összevetése az AR6 olvasatával a VI.6 szakasz táblázatában található.

A tábla – Közismert: az AR6 is megállapította

	Tétel	Hol
A1	Az emberi eredetű melegedés folytatódik, és a szárazföld gyorsabban melegszik, mint az óceán	VI.1 (melegedés), VI.6 (szárazföld-óceán arány)

	Tétel	Hol
A2	A hőszélsőségek gyakoribbá és erősebbé válnak	II.1
A3	Az intenzív csapadék erősödik	II.4, III.4
A4	A növekvő párolgásigény a mezőgazdasági aszály egyik hajtóereje	II.2
A5	A hőség növeli a megbetegedéseket és a halálozást	IV.1
A6	A légszennyező aeroszolok a melegedés egy részét elfedték	VI.2
A7	A szén-dioxid-kibocsátás megszűnése után a globális hőmérséklet nagyjából megáll	VI.6
A8	Az atlanti átfordulási áramlás (AMOC) gyengülése valószínű, jövője nyitott	VI.5

B tábla – Új vagy érdemi elmozdulás

	Tétel	Forrás típusa	Hol
B1	A földi energiamérleg többlete két évtized alatt nagyjából kétszeresére nőtt, és a 2023-as értéknek a modellek csak mintegy felét adják; az éves értékek ugyanakkor a modelltartományon belül maradnak	AR6 utáni nemzetközi irodalom	VI.1
B2	Az emberi eredetű melegedés üteme a műszeres mérési sor legmagasabbja	AR6 utáni nemzetközi irodalom	VI.1
B3	A szárazföldi szénnyelő gyengébb a korábban nyilvántartottnál, és a melegedés tovább gyengíti	AR6 utáni nemzetközi irodalom	VI.3
B4	A nyugat-európai hőszélsőségek gyorsabban erősödnek, mint a modellekben; az eltérés egy részét a légköri áramlás adja	AR6 utáni nemzetközi irodalom	II.5

	Tétel	Forrás típusa	Hol
B5	Az európai nyári szárazodás jelentős része áramlásvezérelt – a modellezett talajnedvességnél a nagyobb, a telítési hiánynál a kisebb rész –, ezért a párolgásigényre épülő állítás a legrobustusabb	AR6 utáni nemzetközi irodalom	II.2
B6	A gyors kifejlődésű aszály (villámaszály) aránya világszerte nő, és a hazai mutatókészlet nem méri	AR6 utáni nemzetközi irodalom	H.4
B7	A hőségahalózás magyar értékei 2022–2024-re, korcsoportonként; a várható élettartam javulása elfedheti az éghajlati eredetű emelkedést	AR6 utáni nemzetközi irodalom	IV.1
B8	A légköri blokkolás jövőjéről a szakirodalom megosztott	AR6 utáni nemzetközi irodalom	II.5
B9	Évtizedes éghajlati előrejelzés áll rendelkezésre, mért készséggel	nemzetközi termék, hazai ellenőrzés	H.3 , II.1
B10	Négy mutatón – hőmérséklet, 30 °C-ot elérő napok, tavaszi fagy, telítési hiány – a hazai modellsáv alja alsó korlát, a megfigyelt érték a tervezési minimum	saját hazai mérés	H.2 , II.1–II.3
B11	A talajvíz-feltöltődés a csapadékban bővebb telekre korlátozódik; a beavatkozási pont a téli félév	saját hazai mérés	III.1
B12	A csapadékmentes időszakok hosszában 2025-ig nincs trend; 2026 tenyészidőszaka rekord (tíz állomás, 1901 óta)	saját hazai mérés	II.2
B13	A talajvíz az Alföldön és a Közép-Dunántúlon süllyed, a Nyugat-Dunántúlon nem; a Körösök és a Maros 2026-ban a mérési sor minimumán	saját hazai mérés	III.1
B14	Kétirányú szélsőség egy éven belül (2026: –18,3 °C és +42,0 °C), sőt egy hónapon belül (2024. szeptember: dunai árvíz és tiszai kisvíz)	saját hazai mérés	II.4

	Tétel	Forrás típusa	Hol
B15	A 75 év felettiek hőségterhelése 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese	saját hazai mérés	IV.2
B16	A hőség halálozási hatása azonnali, és nagyobb része nem csak előrehozott halál; 2024-ben mintegy 2300 haláleset tulajdonítható a hőségnek, a halálok-statisztika 27 hőhalált rögzített	saját hazai mérés	IV.1
B17	A hivatalos térinformatikai termékek évjárata és modellgenerációja elavult; a sérülékenységi adatok elavultabbak a veszélyadatoknál	intézményi hiány	III.2 , IV.2
B18	Nincs hivatalos magyar nemzetgazdasági kárszámla	intézményi hiány	V.1
B19	A standard uniós aszálybecslés enyhébb aszályt vetít, mint amit a megfigyelés mutat	forrásütközés	V.3

A táblázatban felsorolt tételek közül beruházási pénzt három tétel mozgat vagy takarít meg: a téli feltöltődés, a száraz időszakok hossza és a talajvíz térbeli képe (B11–B13). Legkönnyebben a sérülékenységi adatok helyzete javítható, frissítésükkel (B17).



Fizikai veszély, 2026–2035

A FEJEZET SZAKASZAI

II.1	Hőség	34
II.2	Szárazság – és ami 2025-ig nem nőtt: a száraz időszakok hossza	44
II.3	Fagy – a legkevésbé kézenfekvő fejezet	57
II.4	Kétirányú szélsőség	59
II.5	Légköri áramlás – ahol a bizonytalanság maga az információ	61
II.6	Független bizonyíték: az erdészeti klímaosztályok eltolódása	62

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Új – hazai mérés

Négy mutatón – a hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon és a telítési hiányon – a hazai regionális modellfuttatások egyike sem éri el a megfigyelt értéket; a hőmérsékleten és a 30 °C-os napokon ezt a FORESEE-HUN és a HungaroMet KLIMADAT-ja egybehangzóan mutatja; ezeken a megfigyelt érték a tervezési minimum, a modellsáv alja pedig alsó korlát.

Új – hazai mérés

A száraz időszakok hosszában 2025-ig nem volt trend (2026 tenyészidőszakában viszont a tíz, 1901 óta mérő állomás átlagában rekord született), az intenzív csapadék szintjén és a 35 °C-ot elérő napok számán a modell nem marad a mérés alatt; ott a mért trend az irányadó.

Új – nemzetközi termék, hazai ellenőrzés

Az évtizedes éghajlati előrejelző rendszer a nyári hőmérsékletet jól követi, ez azonban nagyrészt a melegedési trendből ered; a csapadékot nem jelzi előre.

Új adat

2026 nyara 1901 óta a legszárazabb volt, országos csapadékösszege a normál 36 százaléka.

A kockázati keretet és a módszert a G és a H melléklet mutatja be. A II–V. fejezet Magyarországról és a Kárpát-medencéről szól, ezt a globális kép követi a VI. fejezetben. Minden hazai állítás négy adatforrás egyikén vagy ezek összevetésén alapul. A G.6 és a H.1 szakaszban bemutatott adatforrásokat itt együtt tekintjük át, mert a II. és a III. fejezet állításai ezekre épülnek.

adatforrás	mit mond	időszak	fejezet
Megfigyelés: HungaroMet homogenizált napi rács, 0,1°, 1233 rácspon; ellenőrzésre E-OBS, a KLIMADAT megfigyelt rétege és 2015–2025-re a CERRA-reanalízis	ami ténylegesen történt; minden normál és trend innen	1971–2025	II.1–II.6 , III.3–III.4
Regionális projekció: FORESEE-HUN, hibakorrigált EURO-CORDEX, 14 tag RCP4.5 és 14 tag RCP8.5 alatt; HungaroMet KLIMADAT, két regionális modell négy futása RCP4.5 és RCP8.5 alatt	mit adnak a modellek ugyanarra a mutatóra; ehhez mérjük, hogy a modelltartomány lefedi-e a mérést	a méréssel átfedő évek és jövőbeli harmincéves ablakok	H.2 , II.1–II.4
Évtizedes előrejelzés: az Athéni Nemzeti Observatórium leskálázott napi mezői, HadGEM3-GC31-MM és NorCPM1, modellenként tíz tag	mi várható a következő évtizedben, ott, ahol van előrejelzési készség	2025–2034; a készséget 1980–2018-as indítású visszatekintő futtatások mérik	H.3 , II.1–II.2
Talajvíz és felszíni víz: talajvíz-észlelőhálózat: 763 kút országosan, ebből 111 kút hat tájegység részletes kútcsoportjában, nyugat-dunántúli ellenpárral; vízmércék vízhozam- és vízállásadatai; kiegészítésül műholdas gravimetria	mennyi víz van ténylegesen a tájban	2000–2026	III.1–III.2

Az összevetés szabálya röviden az, hogy mindig a megfigyelés az irányadó, a projekció pedig azt a tartományt adja, amelyhez a mérést viszonyítjuk. Az évtizedes előrejelzés csak ott kap szerepet, ahol a visszatekintő ellenőrzés készséget mutatott ki, vagyis a hőmérséklet esetében igen (ez a készség nagyrészt a melegedési trendből ered), a csapadék esetében nem. A talajvíz független adatforrás arra, hogy a légköri változás a vízkészletben is megjelenik-e. Ahol két adatforrás egymásnak ellentmond, ott nem átlagolunk, hanem rögzítjük az eltérést ([II.2](#)).

II.1 Hőség

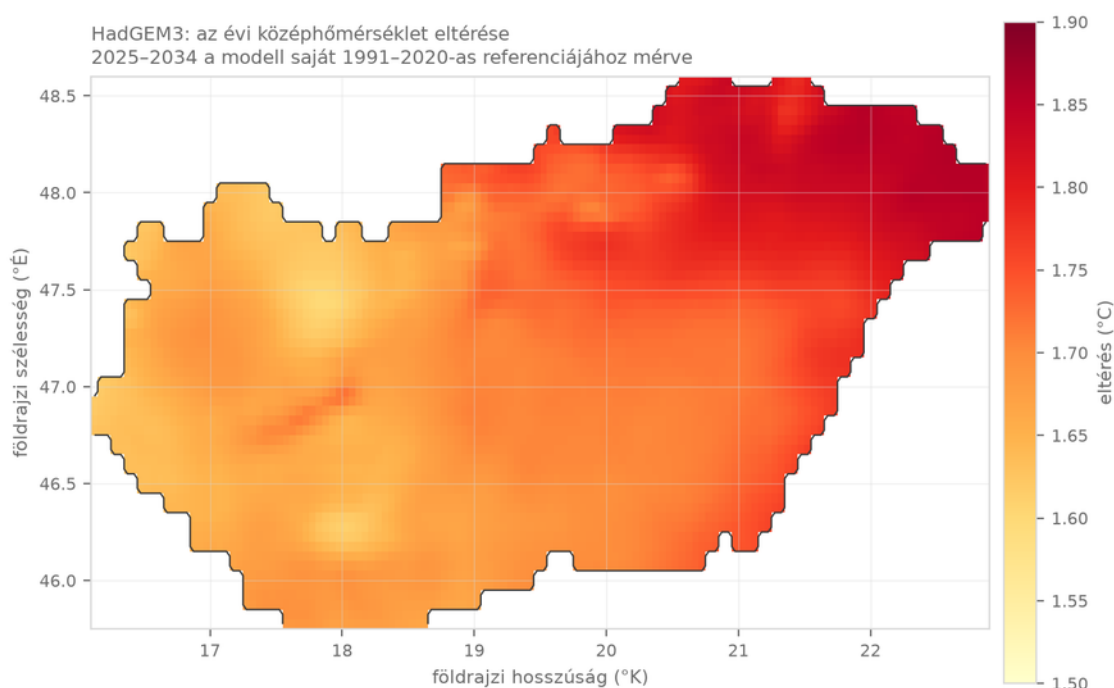
A megfigyelt melegedés a Kárpát-medencében gyorsabb az európai átlagnál, és **évszakonként egyenetlen**: a tél és a nyár melegszik leggyorsabban, a tavasz a leglassabban. Ez utóbbi fontos, mert a regionális modellek ennek az ellenkezőjét jelezték. A tavaszi lassulás a verifikáció egyik legvilágosabb eredménye, és mezőgazdasági következményei is nagyon eltérnek attól, amit a modellek alapján vártunk (l. [II.3](#)).

Az évtizedes előrejelzés két modellrendszeréből csak a brit HadGEM3-at használjuk, az itt közölt előrejelzési adatok mind ebből származnak. A másik rendszer, a norvég NorCPM1 nyári maximumhőmérséklete országos átlagban több mint négy fokkal a megfigyelt alatt marad. Saját referenciaidőszakában így évi 0,05 forró napot ad, vagyis a hőségkülbszöbök változásának becsléséhez lényegében nem járul hozzá. Egy ilyen tag beleátlagolása az összképet a valóságtól távolabb vinné.⁴³ A hiba nem a leskálázásból ered, a leskálázás előtti nyers modellmező is közel három fokkal alacsonyabb nyári középhőmérsékletet és gyakorlatilag nulla forró napot ad.⁴⁴

Ennek fontos következménye, hogy a dekadális előrejelzés alapján közölt értékek – az éves +1,3...+1,6 °C növekmény és „délen a +6 forró nap/év” – a két rendszer összevont átlagaiból származnak. Az itt közölt HadGEM3-értékek ezért magasabbak: az éves középhőmérsékletre a modell saját 1991–2020-as klimatológiájához mérve +1,7 °C, nyárra +1,9 °C a 2025–2034-es időszakra.

II/1. TÉRKÉP

A munkamodell (HadGEM3) évi középhőmérséklet-eltérése 2025–2034-re.



Eltérés, °C. Tíz tag átlaga, a modell saját 1991–2020-as referenciájához mérve.

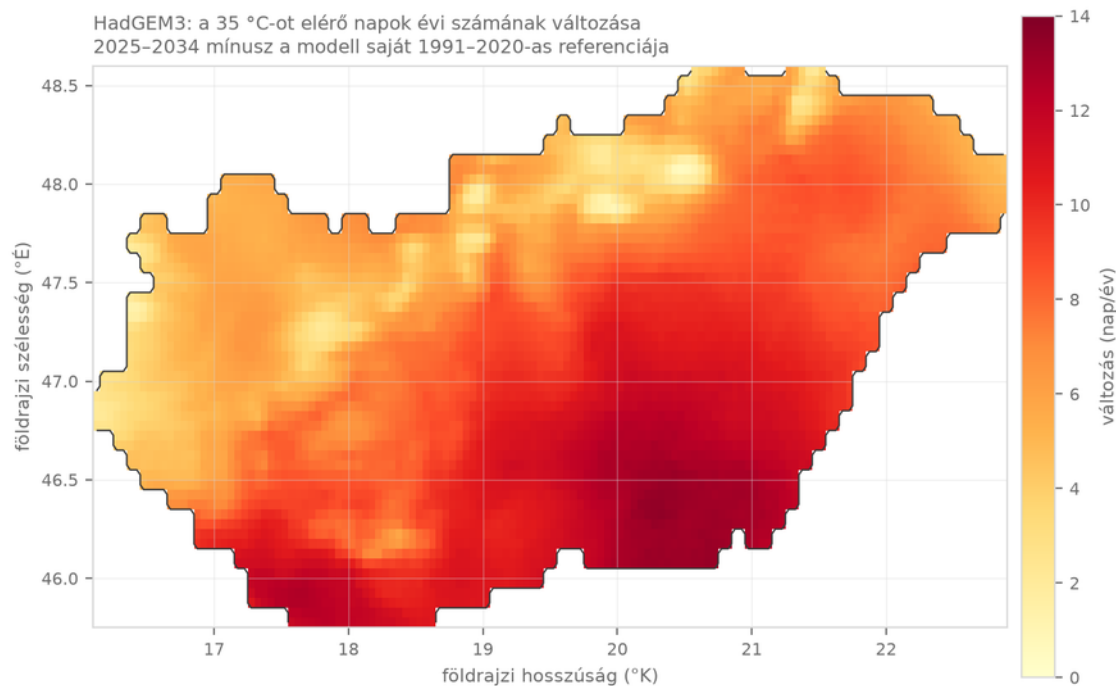
FORRÁS Saját számítás a leskálázott dekadális előrejelzés nyers napi mezőiből (dcppB-forecast, s2024 indítás), a modell saját 1991–2020-as hindcast-klimatológiájához mérve. Magyarország-maszk a hivatalos 0,1°-os megfigyelési rácsból: a modell téglalap alakú, az országhatáron kívüli cellák kihagyva.

MEGJEGYZÉS Az eltérés országosan +1,6 és +1,9 °C között mozog, tehát térben csaknem egyenletes: a hőmérséklet-emelkedés nem tájegységfüggő. Ez a mutató anomália-lineáris, ezért a modell abszolút torzítása kiejtődik – a térkép a HadGEM3 saját válasza, nem a két modell összevonása.

A forró napoknál a jel jobban kimutatható, és területi eloszlása egyenetlen. A 35 °C-os napi maximumot elérő napok számára a modell évi **+8,1 napot** ad országosan és **+10,1-et** az ország déli harmadában, a legmelegebb futásaiban +10–12 napot. Maga a hőmérséklet-emelkedés térben csaknem egyenletes, a küszöbátlépések gyakorisága viszont nem.

II/2. TÉRKÉP

A forró napok számának változása a munkamodellben (HadGEM3) 2025–2034-re.



Változás, nap/év. Küszöb: napi maximum ≥ 35 °C. Tíz tag átlaga, a modell saját 1991–2020-as referenciájához mérve.

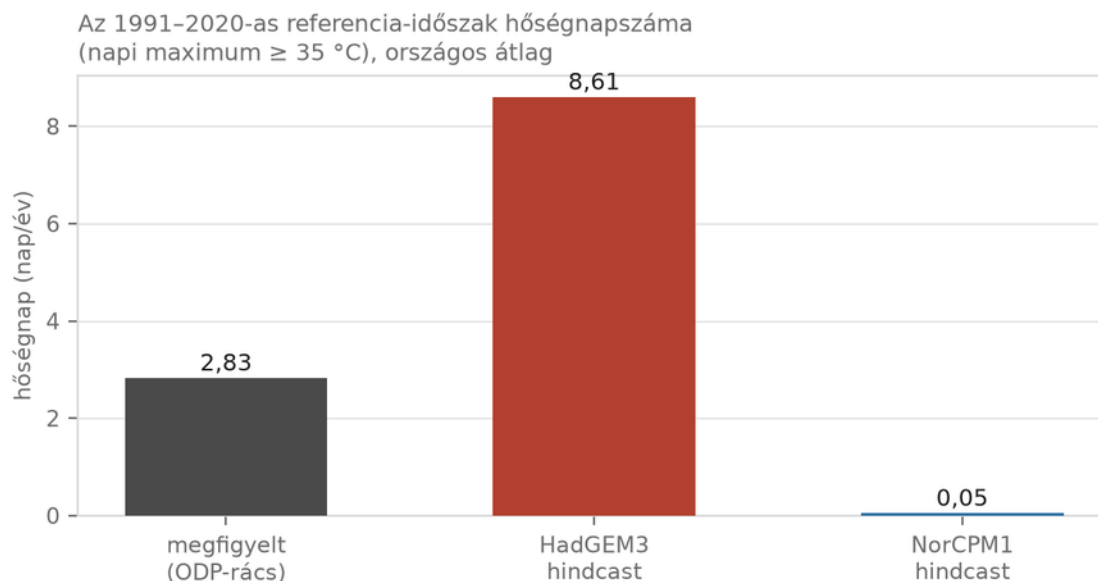
FORRÁS Saját számítás a leskálázott dekadális előrejelzés nyers napi mezőiből (dcppB-forecast, s2024 indítás), a modell saját 1991–2020-as hindcast-klimatológiájához mérve. Magyarország-maszk a hivatalos 0,1°-os megfigyelési rácsból: a modell téglalap alakú, az országhatáron kívüli cellák kihagyva.

MEGJEGYZÉS A hőmérséklet-emelkedés térben egyenletes, a küszöbátlépés viszont nem: a déli és délkeleti síkságon a növekedés két-háromszorosa az északi és nyugati peremen tapasztaltaknak. A küszöbmutató a domborzatra és a nyári alapszintre érzékeny, ezért itt válik szét az ország. FIGYELEM: ezek a napszámok NEM tervezési számok – a modell a megfigyelt referenciaidőszaki forró napok számát háromszorosan túllövi (l. II/3. ábra); csak az irány és a területi mintázat vehető át.

Tervezési következménye van azonban annak, hogy a modell a megfigyelt kiindulóhelyzetet nem adja vissza. A hazai homogenizált rácson 1991–2020-ban évi 2,8 forró nap adódik, a modell ugyanerre az időszakra 8,6-ot ad, vagyis háromszorosan túllő. A projekció forró napjainak abszolút száma ezért tervezési értéként nem használható, csak az irány és a területi mintázat vehető át belőlük. A túllövés zöme a globális modellből adódik, a többlet mintegy 85 százaléka már a nyers modellmezőben is jelen van, és csak mintegy 15 százaléka ered a leskálázásból.⁴⁴

II/3. ÁBRA

A két modell forró napjainak referenciaidőszaki száma a megfigyelthez mérve.



Nap/év. Küszöb: napi maximum $\geq 35^\circ\text{C}$. Időszak: 1991–2020, országos átlag.

FORRÁS Saját számítás: megfigyelt oldal a hivatalos homogenizált országos éves Tx-sorból; modelloldal a dcppA-hindcast napi mezőiből, indításonként az 1–10. lead-év, csak az 1991–2020-ba eső naptári évek (299 minta modelenként).

MEGJEGYZÉS A hazai homogenizált rácson évi 2,8 forró nap adódik. A HadGEM3 hindcastja 8,6-ot, a NorCPM1-é 0,05-öt. Az egyik háromszorosan fölé, a másik ötvenszeresen alá lő. Mindkét eltérés döntően a globális modellé, nem a leskálázásé (II.1). Ez az ábra indokolja, miért nem vehető át egyik modell forró napjainak abszolút száma sem tervezési számként, és miért a megfigyelt sor marad a méretezés alapja.

A megfigyelt sor ezt már meg is előlegezte: a 2021–2025-ös országos átlag **évi 8,5 forró nap**, szemben az 1991–2020-as 2,8-cal. A hőség küszöbmutatóinál tehát a megfigyelt trend a méretezés alapja, a modellprojekció pedig iránymutatás. A középhőmérsékletnél más a helyzet. Ott a modell értéke anomália, így a torzítás kiejtődik, és a $+1,7^\circ\text{C}$ -os éves eltérés tervezési értéként is használható – azzal, hogy ez nem alsó korlát. A munkamodell dokumentált történeti trendtorzítása miatt az érték a lehetséges sáv felső része felé eshet, ezt azonban az első megfigyelt év nem igazolta (H. 2).

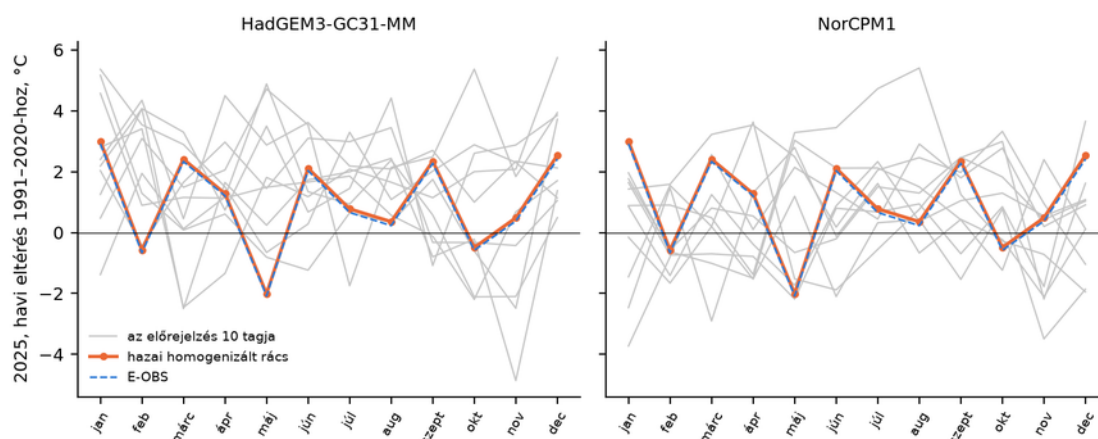
Az előrejelzés első naptári éve, 2025, már lezárult. A hazai rácson az évi középhőmérséklet $1,0^\circ\text{C}$ -kal volt az 1991–2020-as átlag fölött (az E-OBS szerint $0,9^\circ\text{C}$ -kal). Ez az érték a HadGEM3 tíz tagja között a negyedik, a NorCPM1 tíz tagja között a kilencedik helyre esne, a leghidegebbtől számolva (II/3a. ábra). A tizenkét hónapból tíz a HadGEM3, tizenegy a NorCPM1 tagjainak tartományába esik. A február és a május a HadGEM3 minden tagjánál hidegebb, a január a NorCPM1 minden tagjánál melegebb volt. Az előrejelzés bevalásának megítélésére egy év nem alkalmas

(H.3). A forró napoknál a 2025-ös év ugyanazt a torzítást mutatja, mint a referenciaidőszak: a hazai rácson 7,9 forró nap volt, a HadGEM3 minden tagja ennél többet (8 és 37 között), a NorCPM1 minden tagja kevesebbet (0 és 3 között) ad.⁴⁵

A 2020–2025-ös hat év átlaga a hazai rácson évi szinten 1,1 °C-kal, nyáron 1,3 °C-kal haladta meg az 1991–2020-as szintet (E-OBS: 1,0, illetve 1,2 °C; a 2020-as év a viszonyítási időszaknak is része). A hazai rács értéke a munkamodell 2025–2034-re előrejelzett +1,7, nyáron +1,9 °C-os eltéréseinek mintegy kétharmada, az összevont +1,3...+1,6 °C-os sávnak 70–86 százaléka (az E-OBS-é 64–79 százaléka). Az összevetés csak leíró jellegű (hatéves megfigyelt és tízéves előrejelzett átlagot állít egymás mellé), a hátralévő évek melegedési ütemére nem ad támpontot.

II/3A. ÁBRA

Az előrejelzés első éve: a megfigyelt 2025-ös hónapok a két modell tagjai között.



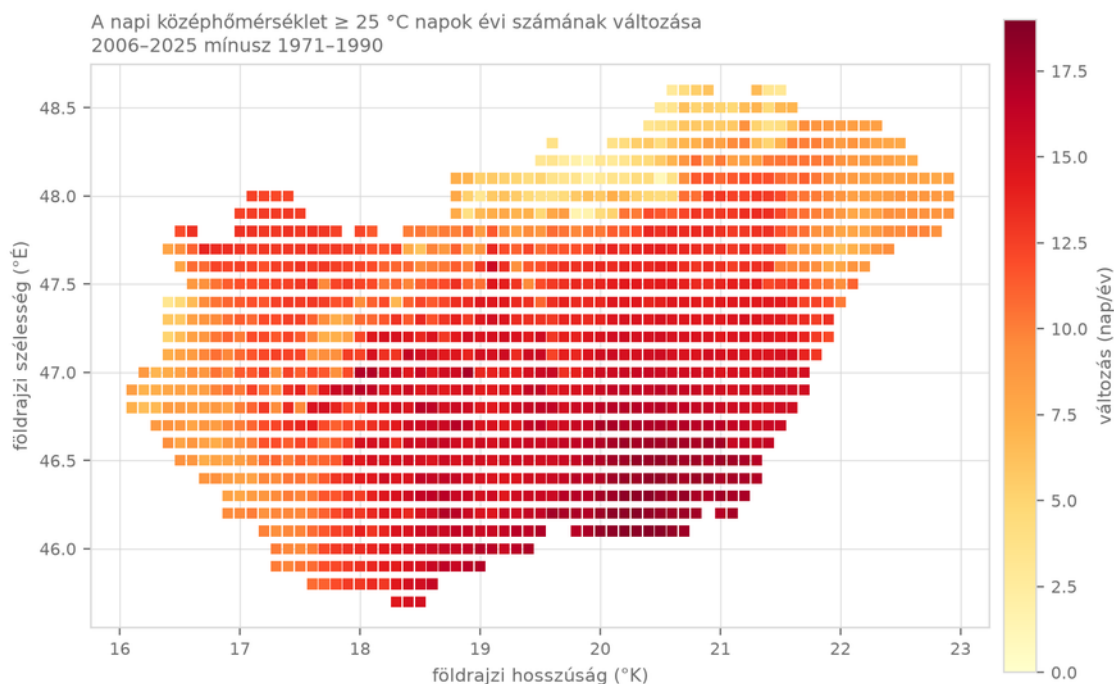
Havi eltérés 1991–2020-hoz, °C, napi maximum és minimum átlagából; országos átlag. Szürke: az előrejelzés egy-egy tagja; színes: a két megfigyelési adatbázis.

FORRÁS Saját számítás: a leskálázott dekadális előrejelzés napi mezői (dcppB-forecast, 2024. novemberi indítás, modellenként tíz tag), Magyarország-maszk; HungaroMet homogenizált napi rács; E-OBS v33.0e.

MEGJEJEGYZÉS Az évi érték a HadGEM3 tagjai között a negyedik, a NorCPM1 tagjai között a kilencedik helyen áll (1 = a leghidegebb, 11 elemű sor). A modelloldali eltérés a modell saját 1991–2020-as klimatológiájához mért. Egy év az előrejelzést nem minősíti.

Két küszöb számít igazán (K1, K2 a mellékletben). Az egészségügyi terhelés szempontjából nem a napi maximum a döntő, hanem a **napi középhőmérséklet** – a hazai hőségriasztási rendszer is erre épül –, valamint a **trópusi éjszakák száma**, mert az éjszakai lehűlés elmaradása akadályozza a regenerációt. Az egészségügyi és önkormányzati tervezésnek ezt a két küszöböt kell követnie, nem a rekordokat.

II/4. TÉRKÉP

Küszöbátlépési térkép: a K1 küszöb átlépéseinek területi átrendeződése.

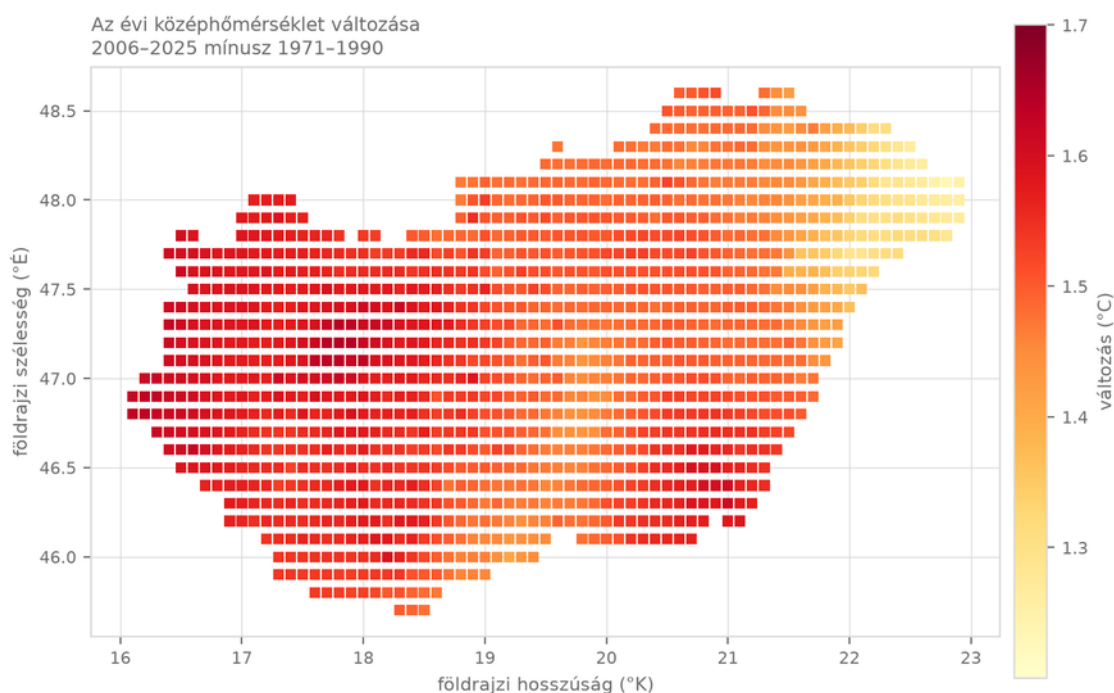
Változás, nap/év. Küszöb: napi középhőmérséklet $\geq 25\text{ °C}$. Ablakok: 2006–2025 vs 1971–1990.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált napi hőmérsékleti rácsból.

MEGJEGYZÉS A K1 küszöböt (napi középhőmérséklet $\geq 25\text{ °C}$) elérő napok évi számának változása, 2006–2025 az 1971–1990-es ablakhoz mérve, mind az 1233 rácsponton. Országos medián +12,9 nap/év, a tartomány +1,0 és +18,7 nap között. A növekedés mindenhol pozitív, de a lapos, délkeleti területeken két-háromszor nagyobb, mint a nyugati és északi peremen – a hőségterhelés tehát országosan egyenlőtlen, és a tervezésnek is így kell kezelnie.

II/5. TÉRKÉP

Az évi középhőmérséklet változása ugyanezen két ablak között: medián +1,51 °C, tartomány +1,23 és +1,64 °C.



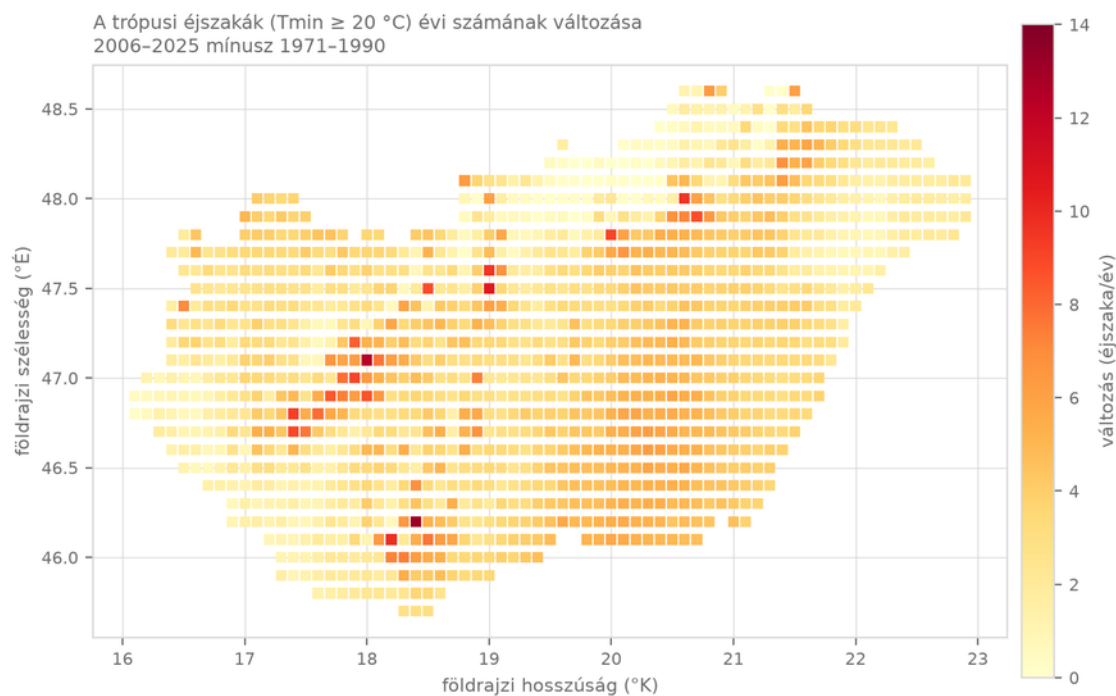
Változás, °C. Ablakok: 2006–2025 vs 1971–1990.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált napi hőmérsékleti rácsból.

MEGJEGYZÉS Ez a mennyiség térben jóval egyenletesebb, mint a küszöbnapok száma – és ez a különbség a kockázati elemzés lényege, hiszen az átlag egyenletesen emelkedik, a küszöbátlépések száma viszont nem. Egy egyenletes 1,5 °C-os melegedés helyenként tizennyolc további terhelt napot jelent, máshol egyet.

Töréspontvizsgálat szerint a hőmérsékleti sorok nem egyenletesen emelkednek, hanem **szintet váltanak**: az évi középhőmérséklet 2005 után 1,3 °C-kal, a nyári középhőmérséklet már 1991 után 1,8 °C-kal magasabb szinten áll. Az évtizedes átlagok ugyanezt mutatják – az évi közép 9,9 °C-ról (1971–1980) 12,0 °C-ra (2021–2025), a nyári 19,1-ről 22,4 °C-ra. Tervezési következménye kettős: a hosszú adatsor átlagára méretezett rendszerek **egy elmúlt rezsimre** vannak beállítva, és a legutóbbi, részleges évtized mindkét soron a legmelegebb. Ugyanezen a két ablakon a globális felszíni középhőmérséklet 1,0 °C-kal emelkedett (HadCRUT5, saját számítás)⁴⁶, vagyis a hazai elmozdulás a globálisnál nagyobb. Az arány csak erre az egy ablakpárra érvényes, és nem állandó, így nem ad szorzót a globális pálya hazaira váltásához (VI.6).

II/6. TÉRKÉP

A trópusi éjszakák ($T_{\min} \geq 20\text{ °C}$) évi számának változása.

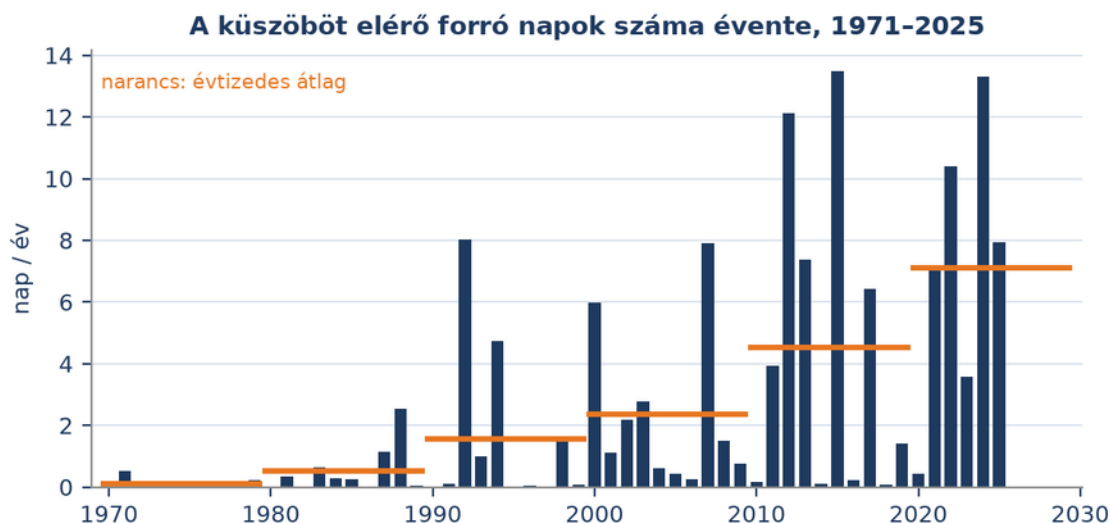
Változás, éjszaka/év. Ablakok: 2006–2025 vs 1971–1990.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált napi hőmérsékleti rácsból.

MEGJEGYZÉS Országos medián +3,3 éjszaka, de a maximum +13,1 – és a mintázat itt a legegyszerűsebb az összes vizsgált mutató között. Ez a mennyiség az egészségügyi kockázat szempontjából fontosabb, mint a nappali csúcs: az éjszakai lehűlés kimaradása akadályozza a szervezet regenerálódását. A leginkább érintett területek a nagy sűrűségű, alföldi városi térségek – vagyis a kitettség és a veszély itt térben egybeesik.

II/7. ÁBRA

Küszöbátlépési ábra: a forró napok évi száma országos rácsátlagban.



Nap/év. Küszöb: napi maximumhőmérséklet ≥ 35 °C. Országos rácsátlag, 1971–2025; narancs vonal: évtizedes átlag.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált országos éves Tx-sorból (rácsátlag).

MEGJEGYZÉS Ez az ábra MÁS KÜSZÖBÖT használ, mint a II/4. térkép: ott a küszöb a napi középhőmérséklet ≥ 25 °C, itt a napi maximum ≥ 35 °C. Mindkettőt rácsponthonként számoltuk, ott térképen, itt országos átlagként mutatjuk. A két mennyiség különbözik, értékeik nem vethetők össze, és egyik sem olvasható a másik térbeli vagy időbeli vetületeként. Ebből a sorból származnak a II.1 és a VIII.1 pontban szereplő 2,8, 4,9 és 8,5 napos értékek, valamint a 231. jegyzet táblájának megfigyelt forrónap-értékei. A máshol szereplő 17,4 nap 266 állomás 2026-os összevont értéke, a 19,3 pedig VPD-küszöbnap-szám – egyik sem tartozik ehhez a sorhoz.

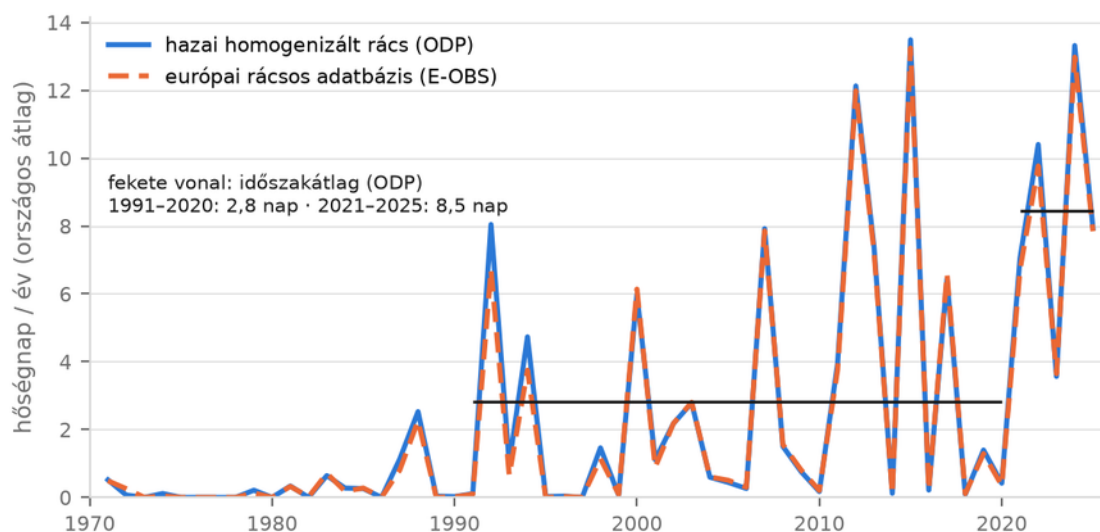
MÓDSZERTANI RÉSZLET

A forró napok számát egy második, európai adatbázis is visszaadja. Az európai meteorológiai szolgálatok állomásadataiból készülő, rácspontra képzett E-OBS adatbázis más interpolációs eljárással és ritkább hazai állomáshálózattal dolgozik, mint a hazai homogenizált rács. Ugyanarra a két időszakra mégis évi 2,7, illetve 8,2 forró napot ad a hazai 2,8 és 8,5 mellett. A két évenkénti sor 1971 és 2025 között szinte egybeesik (II/7a. ábra).⁴⁷ Az egyezés a feldolgozás robusztusságát igazolja, egy független mérőhálózatét nem, mert a két adatbázis részben ugyanazokra a hazai mérésekre épül.

A trópusi éjszakák abszolút számában a két adatbázis eltér. Az E-OBS az 1991–2020-as időszakra évi 2,6 éjszakát ad a hazai rács 1,9-ével szemben, és általában melegebb éjszakai minimumokat mutat. A 2021–2025-ös növekmény viszont mindkettőben négy és fél éjszaka körül van. A K2 (trópusi éjszaka) küszöbnél ezért nem az adatbázisfüggő abszolút szintre, hanem a változás mértékére épüljön a tervezés – a harmincéves átlaghoz képesti, mintegy +4,5 éjszakás 2021–2025-ös növekményre –, amelyet a két adatbázis egybehangozóan ad. Ez az érték időszakátlagok különbsége, nem trendbecslés.

II/7A. ÁBRA

A forró napok évi száma két, eltérő eljárással készült rácspontos adatbázisban szinte azonos.



Nap/év, a rácspontonként számolt forró napok (napi maximum $\geq 35^\circ\text{C}$) számának országos átlaga, 1971–2025; fekete vonal: a hazai rács időszakátlag.

FORRÁS Saját számítás: HungaroMet homogenizált napi rács (1233 pont) és E-OBS v33.0e ($0,25^\circ$), a hazai rácspontokra illesztve.

MEGJEGYZÉS A két adatbázis évenkénti sorának korrelációja 0,998. A II/7. ábrához hasonlóan a küszöböt rácspontonként alkalmaztuk, és a darabszámokat átlagoltuk (Melléklet B).

MÓDSZERTANI RÉSZLET

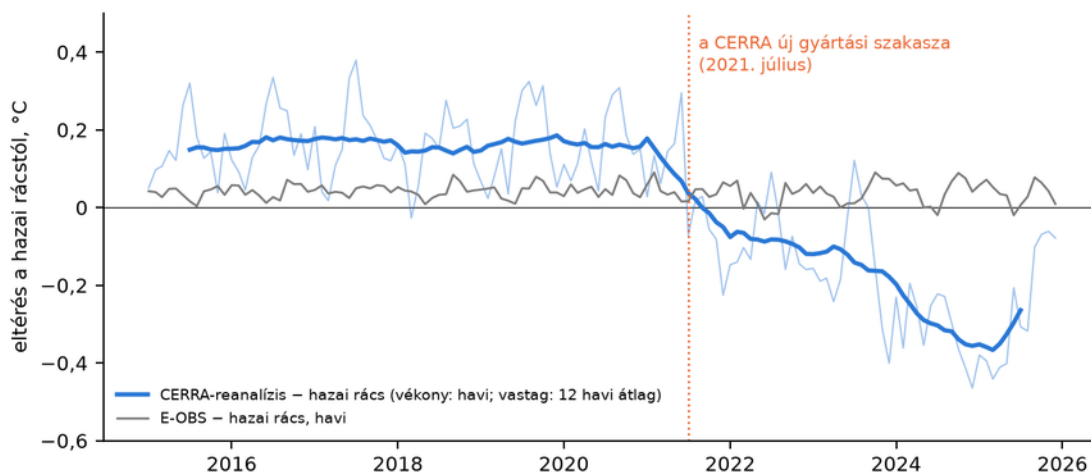
A független összevetést egy légköri reanalízis adhatná, ezért a 2015–2025-ös időszakot az európai regionális reanalízissel (CERRA, $5,5\text{ km}$) is megvizsgáltuk.⁴⁸ A reanalízis a méréseket egy időjárás-előrejelző modell fizikailag egységes mezőjébe dolgozza be, nem az állomásadatokat interpolálja. Szintben jól egyezik a hazai ráccsal: az évi középhőmérséklet eltérése $-0,30$ és $+0,18^\circ\text{C}$ között maradt.

A változásra viszont nem használható. A két adatbázis eltérése 2021 júliusában, a reanalízis új gyártási szakaszának kezdetén mintegy negyed fokkal elmozdul, majd 2025-ig további negyed fokkal csúszik, miközben az E-OBS és a hazai rács eltérése végig állandó (II/7b. ábra). Ezért a reanalízis 2015–2019 és 2020–2025 között csak $0,06^\circ\text{C}$ -os melegedést mutat, a hazai rács $0,32^\circ\text{C}$ -ával szemben. Az ok nem bizonyított, a közös állomásbázis miatt a hazai oldali változás sem zárható ki teljesen, a 2021-es időpont egybeesése a gyártási váltással azonban a reanalízis oldalára utal. A dekadális előrejelzés leskálázásának referenciaidőszaka (1991–2020) a váltás előtti szakaszra esik, ezt tehát nem érinti.

A tervezés szempontjából a két ellenőrzésnek (lásd a módszertani részleteket) az a következménye, hogy a 2020-as évek hazai melegedését ma két, egymástól nem független megfigyelési adatbázis, vagyis lényegében egyetlen állomásbázis mutatja. A mért jelet ez nem cáfolja, független megerősítése azonban egyelőre hiányzik.

II/7B. ÁBRA

A reanalízis és a hazai rács eltérése 2021 közepén elmozdul, az E-OBS-é nem.



Eltérés a hazai homogenizált rács országos napi középhőmérsékletétől, °C, 2015–2025; kék: CERRA-reanalízis (vékony: havi, vastag: középre igazított 12 havi mozgó átlag, amely az ugrást elkeni; a törés a havi vonalon látszik); szürke: E-OBS.

FORRÁS Saját számítás: CERRA-reanalízis, 2 m-es hőmérséklet (Copernicus Climate Change Service); HungaroMet homogenizált napi rács; E-OBS v33.0e; a reanalízis-cella a hazai rácsponthoz legközelebbi.

MEGJEGYZÉS A reanalízis napi középértéke a napi nyolc analízis-időpont átlaga. A 2021. júliusi határt a szolgáltató gyártási dokumentációja adja, nem az adatból választottuk; az elmozdulás vizsgálata utólagos és leíró.

II.2 Szárazság – és ami 2025-ig nem nőtt: a száraz időszakok hossza

A szárazsági kockázat nem ott nő, ahol keressük – erről szól ez a szakasz. A magyar közbeszédben az aszály képe a hetekig tartó, felhőtlen, repedezett tarló. Ezt a képet a mérésben a leghosszabb egybefüggő csapadékmentes időszak hossza képviseli – hány napig nem esik egyfolytában. Ez a mutató 1971 és 2025 között **nem nő**. A trend enyhén lefelé mutat, és a bizonytalansági sávja bőven átfogja a nullát.

Az állítás két megszorítással érvényes, ezek nélkül többet mond a kelleténél. (1) A mutató természete: a csapadékmentes időszak nem az aszályt méri, hanem a csapadék *hiányának folytonosságát*. Vegyünk egy nyarat, amelyben háromhetente lehullik két milliméter eső. A mérőszám szerint ebben nincs is hosszú száraz időszak, mert minden kis eső „megszakítja” a sort – a talajnak és a növénynek viszont a két milliméter semmit nem ad, az néhány óra alatt elpárolog. Egy ilyen nyár mezőgazdasági és hidrológiai értelemben végig aszályos, a száraz időszak hosszának mutatója mégsem jelzi.

(2) Az adatsor vége: a sor 2025-tel zárul, mert a homogenizált termékek – azok a rácsponthoz képzett adatbázisok, amelyekben az állomások mérési hibáit és áthelyezéseit már kijavították – a mérés után csak később

készülnek el. **2026 tehát nincs benne a táblázat trendjeiben, pedig épp olyan nyarat hozott**, amelyet a köznapi várakozás feltételez. Az évet a fejezet végén külön, állomási adatsoron vizsgáljuk.

A tervezési következtetés ezért nem az, hogy hosszú aszályok nem lesznek, hanem az, hogy a száraz időszak hossza nem az a mutató, amelyen a kockázat növekedése kimutatható. Önmagában a trendjére méretezni tévedés. A mérhető növekedés máshol van – a párolgási oldalon és a csapadék intenzitásában.

Eredmények, a hivatalos homogenizált rácson, 1971–2025:⁴⁹

mutató	1991–2020 normál	trend, 1971–2025 (95 % CI)	p
leghosszabb száraz időszak, éves	27,4 nap	–0,43 [–1,35; +0,49] nap/évtized	0,364
ugyanaz a tenyészidőszakra (IV–IX.)	18,8 nap	–0,01 [–0,61; +0,58]	0,962
nyári csapadékösszeg	203 mm	–3,2 [–12,4; +6,1] mm/évtized	0,504
éves csapadékösszeg	616 mm	+7,0 [–10,6; +24,6] mm/évtized	0,437
nyári száraz napok száma	66,5 / 92 nap	+0,80 [+0,07; +1,53] nap/évtized	0,037

A táblázat két olvasási szabállyal együtt értelmezendő.

Az első a küszöbre vonatkozik. „Száraz nap” itt azt jelenti, hogy a napi csapadék nem éri el az 1,0 millimétert – ez a nemzetközi éghajlati indexkészlet konvenciója. A választás érdemi, mert 0,1 milliméteres küszöbvel ugyanez a normál 27,4 nap helyett 19,0 nap, ezért ilyen érték csak a küszöbvel együtt idézhető.

A második a táblázat látszólag kiugró sorára vonatkozik. A nyári száraz napok trendje (+0,80 nap/évtized, $p = 0,037$) első ránézésre az egyetlen valódi jelnek tűnik a táblázatban, de nem az. Ugyanazon az adatsoron sok trendtesztet futtatva valamelyik pusztán a véletlen miatt is átlépi a küszöböt, ezért a küszöböt a tesztek számához kell igazítani. A korrigált küszöb nagyjából 0,0005 (G.6, Melléklet B 7. pont), a 0,037 ettől messze van. Irányjelzésként, a p -értékkel együtt idézhető, „szignifikáns” minősítéssel nem. A szigorú küszöb ugyanakkor könnyen elmulaszt egy valódi, de gyenge jelet (a G.5 pontban leírt második fajta hiba), ezért azt, hogy a száraz időszak nem nőtt, a konfidenciaintervallum mutatja meg, nem a küszöb. Az éves trend 95 százalékos sávja –1,35 és +0,49 nap/évtized közé esik (t-eloszlással számolva a felső határ +0,51), tehát évtizedenként mint-

egy fél napnál nagyobb hosszabbodás 95 százalékos biztonsággal kizárható. Ennél kisebb növekedést az adat nem zár ki.

Egy 2025-ös hazai tanulmány független adatbázison, más küszöbvel (3 mm) és más évszaki ablakban (július–szeptember) is ugyanide jut: a leghosszabb száraz időszak országos átlaga a két vizsgált alperiódus között enyhén csökkent, 23-ról 21 napra.⁵⁰ Ugyanakkor a térbeli maximumok szórása mintegy három nappal nő. Vagyis nem az ország szárad ki egyenletesen, hanem a legrosszabbul járó vidékek járnak egyre rosszabbul az átlaghoz képest. Tervezési szempontból ez nem megnyugtató, csak másfelé mutat.

MÓDSZERTANI RÉSZLET

A saját számítás ellenőrzésére a HungaroMet KLIMADAT-szolgáltatásának *megfigyelt rétegét* használjuk, amely ugyanezt a mutatót ugyanezzel a konvencióval közli. Öt egymást átfedő harmincéves ablakon a saját, nyers napi rácsból épített sorunk századnap pontossággal reprodukálja a hivatalos értéket: 1971–2000-re 29,07-et adunk 29,08 helyett, 1991–2020-ra 27,36-ot 27,37 helyett. Az egyezés azt jelenti, hogy az eredmény nem a mi eljárásunk műterméke.

A hatodik, legfrissebb ablakon (1996–2025) viszont 0,45 nappal magasabb az érték. A legvalószínűbb ok évjárat-különbség az utolsó egy-két évben, eldönteni azonban nem lehet, mert a hivatalos szolgáltatás éves réteget nem publikál.^{51,52}

A KLIMADAT projekciós rétege az éves leghosszabb száraz időszakokra a 2001–2030-as ablaktól kezdve mintegy négynapos rövidülést ad az 1971–2000-es szinthez képest (mediánban 3,8–4,6 nap a 2011–2040-es és a 2026–2055-ös ablakra). Ez az érték a század végéig alig változik. A mért érték ugyanebben a szolgáltatásban 1971–2000 és 1996–2025 között 2,1 nappal rövidült, vagyis a négy futás sávja fölött, a szárazabb oldalon van. Egyik eredmény sem olvasható éghajlati jelként. A szolgáltatás a csapadékos havi arányszámmal igazítja a megfigyeléshez, ami a havi összeget korrigálja, a csapadékos napok számát nem. A négy futásban a csapadékos napok száma már a 2001–2030-as ablakban mintegy 27 nappal több a mérténél, és a gyakoribb kis csapadék a száraz időszakokat megszakítja (H.2). Értékelésünk szerint a projekciós réteg ezért a száraz időszak hosszának irányáról nem bizonyító erejű. A hibakorrigált FORESEE-HUN-ban a csapadékos napok száma a mért közelében van, és a 28 futás sávja a mért értéket fedi. Ez tehát az a mutató, ahol a minimumszabály – a H.2 pontban kifejtett szabály, amely szerint a modellsáv alja nem óvatos becslés, hanem alsó korlát – nem érvényes. Ez az átlagra igaz, a 2026-os szélsőértékről a fejezet vége szól.

Az évtizedes előrejelzési termék⁵³ ezzel szemben Magyarországra +0,70 napos, tehát hosszabbodó száraz időszakot jelez a 2025–2034-es évtized közepére. Az eltérés értelmezéséhez négy megjegyzés szükséges.

- A bizonytalansági sáv átfogja a nullát, és szélesebb, mint maga a jel: –2,35 és +3,53 nap között.
- A horizont és a referenciaidőszak nem azonos a hazai projekciós készletekével, tehát az értékek közvetlenül nem összemérhetők.
- A csapadékjelre az évtizedes előrejelzés igazolt készsége alacsony – ez az eszköz a hőmérséklet tendenciáját jól becsüli, a csapadékmennyiséget lényegében nem.
- A Kárpát-medencére vonatkozó készségérték egyik termékhez sem áll rendelkezésre.

A mérleg tehát nem az, hogy „a források ellentmondanak, ezért nem tudunk semmit”. Két, egymástól független megfigyelésen alapuló számítás mond nemet az átlag hosszabbodására, és a FORESEE-HUN sávja ezzel összhangban van. Velük szemben egy alacsony készségű, széles sávú termék mond igent, olyan sávval, amely a nullát is tartalmazza. A hivatalos projekció ebben a kérdésben nem dönt. A két oldal súlya így nem azonos.

Az eloszlás széle más kérdés. Az idézett hazai tanulmány⁵⁰ projekciós része hat regionális modellszimuláció átlagában a július–szeptemberi, 3 mm-es küszöbű leghosszabb száraz időszak átlagára gyakran nem ad szignifikáns változást – kivéve a magas kibocsátású forgatókönyv század végét –, az eloszlás széle azonban a hosszabb időszakok felé tolódik. A legalább 40 napos időszak 2004–2023-ban az ország 32 %-án fordult elő 20 évből 2–5 alkalommal; a cikk a három jövőbeli ablakra (2041–2060, 2061–2080, 2081–2100) 39, 58, illetve 80 %-ot közöl. A közlés forgatókönyvet nem nevez meg, a magas kibocsátását a szöveggörnyezetből következtetjük. A 2026–2035-ös horizontra ebből erős jel nem következik, de a „nem nő” állítás az átlagra érvényes, az eloszlás szélére nem.

Az eredmény érvényességi határát a legutóbbi nyár ellenpróbája mutatja meg. 2026 nyarán elhúzódó blokkoló anticiklon ült a Kárpát-medence fölé: egy olyan magasnyomású képződmény, amely hetekre megakasztja a nyugatról érkező időjárási rendszereket, és amíg áll, sem front, sem eső nem jut be alá. A hőség és a szárazság egyszerre, hetekig tartott – pontosan az az időjárási helyzet, amely a fenti adatsorból hiányzik.

A HungaroMet 2026. szeptember 7-i nyárértékelése szerint a nyár országos csapadékösszege **74,1 mm** volt, az 1991–2020-as 203,3 mm-es normál 36 százaléka: **1901 óta a legszárazabb nyár**, 27,2 mm-rel az 1952-es, 101,3

mm-es korábbi rekord alatt. Ugyanez a nyár 1901 óta a második legmelegebb volt, 23,43 °C-os országos középhőmérséklettel, 2,59 °C-kal a normál fölött. Az adatgazda sajtóban idézett közlése szerint az ország területének 98 %-án közepes vagy súlyosabb, 47,1 %-án a legsúlyosabb fokozatú mezőgazdasági aszály állt fenn.⁵⁴

A száraz időszak hosszát erre az évre a homogenizált sor tíz, 1901 óta mérő állomásán is kiszámoltuk, az adatgazda 2026-os napi állomási adataival és ugyanazzal az 1,0 mm-es küszöbvel.⁵⁵ A tenyészidőszakban, április és szeptember között a tíz állomás átlagos leghosszabb száraz időszaka 30,2 nap volt: **1901 óta a leghosszabb**. Ez több mint két szórással haladja meg az 1991–2020-as 20,2 napos átlagot, az eddigi csúcst (1992: 29,0 nap) viszont csak 1,2 nappal. A nyári, június–augusztusi ablakban 25,7 nappal a második, 1992 mögött. A naptári év elejétől számítva viszont csak a tizennegyedik, mert az éves maximumot gyakran a téli és kora tavaszi száraz időszakok adják. Ezért nem látszik a rekord az éves mutatón, és valószínűleg ezért mond az éves mutató keveset a nyárról is (ezt következtetjük, külön nem vizsgáltuk). A kép térben egyenetlen: Szegeden 53 nap (az eddigi csúcs 41 nap), Debrecenben holtversenyben a második, Nyíregyházán a harmadik, Miskolcon holtversenyben az ötödik–hetedik leghosszabb a mérések kezdete óta, Sopronban, Szombathelyen és Keszthelyen átlagos érték. A rekordot nem előzte meg felfutás: a 2016–2025-ös évtized átlaga 19,2 nap, a normál alatt.

Egyetlen évjárat ez, és **nem cáfolja** az ötvenöt éves sor trenderedményét: egy blokkolással járó rekordnyár akkor is előfordul, ha a száraz időszak eloszlása nem tolódik el. Egy hosszú sorban a rekord előbb-utóbb változatlan eloszlás mellett is megdől. Egy évből nem dönthető el, hogy szélső kiugrást vagy fordulatot látunk. A **VIII.8** pont megnevezi, milyen megfigyelés döntené el. Ugyanakkor három tanulsággal szolgál.

(1) Megmutatja, hogy a hosszú, egybefüggő aszály fizikailag elérhető állapot a mai éghajlaton – nem a jövő kockázata, hanem a jelené. Megmutatja azt is, hogy a trend és a szélsőérték nem ugyanaz: aki a száraz időszak hosszának trendjéből azt olvassa ki, hogy hosszú aszályokra nem kell készülni, az a 2026-os nyárral fog vitatkozni. (2) A **II.5** pont ehhez teszi hozzá a másik felét: a blokkolás jövőbeli gyakoriságáról a szakirodalom megosztott, tehát a mai gyakoriságból kell kiindulni, és a felkészülést legalább erre kell méretezni. (3) A méretezés nem a trendre, hanem a tervezési eseményre épül, és azt 2026 eltolta. A tározó- és öntözésfejlesztés tervezési eseménye a 2026-ban az adott térségben mért leghosszabb tenyészidőszaki száraz időszak (a tíz állomás átlagában 30,2 nap, Szegeden 53 nap),

akár kiugrásnak, akár fordulatnak bizonyul. Ezt a javaslatot a 2026-os mérésre alapozzuk.

A párolgási oldal: a legerősebb megfigyelt jel

Eddig arról volt szó, mennyi víz érkezik, innentől arról, mennyit visz el a levegő. A telítési hiány – angol szakszóval a vapour pressure deficit, rövidítve VPD – azt méri, mennyi vízgőz férne még a levegőbe azon felül, amennyi éppen benne van. A mennyiség azért fontos, mert a párolgás üteme nemcsak a hőmérsékleten, hanem ezen a különbségen is múlik, így ugyanaz a 30 fokos nap eltérő párolgási terhelést ró a tájra aszerint, hogy a levegő mennyire telített. Párás időben a hiány alacsony, és a párolgás lassú, mert a gőznek „nincs hová távoznia”. Száraz levegőben a hiány nagy, és a párolgás gyors, ha van mit elpárologtatni – a talajból, a növényállományból és a szabad vízfelszínről egyaránt. Kiszáradt talajon a tényleges párolgás már nem követi a telítési hiány növekedését, ilyenkor a növény vízhiányt szenved. Mértékegysége a pascal.

A következő állítások az egész elemzés legerősebb statisztikai jelén alapulnak. A telítési hiány négy mutatón, ötvenöt éven át emelkedik, és a hosszú ablak mind a négy tesztje átlépi a legszigorúbb, a projekt egészére számított többszörös tesztelési küszöböt is – vagyis azt, amelyet az imént a nyári száraz napok trendje nem ért el.⁵⁶

mutató	trend, 1971–2025 (95 % CI)	1971–1980	2021–2025
évi VPD	+32,2 Pa/évtized [+23,9; +40,6]	644,5 Pa	823,9 Pa
nyári (JJA) VPD	+73,2 Pa/évtized [+53,6; +92,8]	1113,7 Pa	1545,4 Pa
≥ 1500 Pa napok	+6,91 nap/évtized [+5,12; +8,70]	18,7 nap	56,9 nap
≥ 2000 Pa napok	+2,91 nap/évtized [+1,91; +3,90]	0,9 nap	19,3 nap

Nagyságrendileg az éves telítési hiány 1971 óta +28 %-kal, a nyári +39 %-kal nőtt. Ezek a VPD értékei, nem a számított párolgásigényé (ET₀, lásd a módszertani részletet). A táblázat alsó két sora a leglátványosabb: a tartósan magas telítési hiányú napok száma megháromszorozódott, a legszélsőségesebbeké a hetvenes évekbeli évi egyetlen napról évi húsz körüli ugrott.

MÓDSZERTANI RÉSZLET

Három ellenőrzéssel vizsgáltuk, hogy ez a jel valódi-e:

(1) Adatút. A fenti sor egy olyan eljárásból származik, amely a levegő nedvességét a napi minimum-hőmérsékletből becsli – ez bevett közelítés. A ténylegesen mért légnedvesség-rácson ugyanez a trend +26,5 Pa/évtized [+18,3; +34,7], vagyis a szint alacsonyabb, az irány és a nagyságrend azonos, a jel tehát nem a közelítésből ered.

(2) Mechanizmus. Ha a telítési hiány emelkedése valódi, akkor annak a hőmérsékleti sorokban is nyomának kell lennie. Száraz talaj fölött ugyanis a beérkező napenergia kisebb hányada fordítódik párolgásra, és nagyobb a levegő melegítésére, ezért a nappalok gyorsabban melegsznek, mint az éjszakák – tágul a napi hőingás. A mért adatokban az éves hőingás az 1971–1980-as 9,64 °C-ról a 2021–2025-ös 10,85-re nőtt, a nyári 11,74-ről 13,79-re. A hőingás és a telítési hiány azonban ugyanannak a fizikai jelnek két nézete, nem két független bizonyíték, ezért összeadásuk kétszeres beszámítás volna.

(3) A számított párolgásigény és a telítési hiány összevetése. A telítési hiány a levegő vízfelvevő képességét méri, nem az elpárolgott vizet. A FAO-56 szabvány szerinti referencia-párolgásigény (ET₀) ugyanezen a rácson 2001–2010 és 2016–2025 között +5,8 %-kal, nyáron +8,4 %-kal emelkedett – érdemben lassabban, mint a telítési hiány. A kettő nem cserélhető fel, és a telítési hiány növekedéséből nem vezethető le arányos párolgásnövekedés.

A telítési hiány nem azonos az elpárolgott vízzel: a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) bugaci örvénykovariancia-állomásának publikálás előtt álló mérései szerint a tényleges párolgás a párolgásigény növekedését már régóta nem követi. A potenciális párolgás ezért a tényleges vízforgalomról keveset mond (Nagy Zoltán és Pintér Krisztina, MATE, személyes közlés, 2026. október). Ugyanott a 2003–2017-es mérések szerint aszályos nyarakon a párolgás a nyári csapadékat is meghaladta, a különbséget a tárolt vízkészlet fedezte.²¹¹ A hazai, komplementer elven számított országos becslések szerint a tényleges párolgás 1981 és 2020 között évi 1,6 mm-rel nőtt, lassabban, mint a referencia-párolgás (évi 2,2 mm).²¹² 2000 és 2022 között országosan kevésbé nőtt, mint a csapadék, a Nagyalföldön és a Duna–Tisza köze északi részén pedig csökkent.²¹³ A Duna–Tisza közére készült 1950–2024-es, még nem lektorált vízmérlegbecslés szerint viszont a csapadék és a párolgás különbségéből adódó utánpótlódás az 1950-es évek eleji mintegy 130 mm-ről 2024-re 14 mm-re csökkent.²¹⁴ A kétféle kép összeegyeztethető. Ahol a talajban van víz, tavasszal, ősszel, erdők és sekély talajvíz fölött, a melegedéssel a tényleges párolgás is nő. Ahol nincs, nyáron a kiszáradt homoki gyepen, ott csak a párolgási igény nő, a tényleges párolgás nem követi. Ez saját értelmezésünk, évszakos hazai méréssel még igazolni kell. A II/9. és a II/10. ábra is a telítési hiányt mutatja, nem a számított párolgásigényt.

Az aszály hajtóerejéről az irodalom nem egységes. Az Alföldön a megfigyelt aszályindex a nyári csapadékkal valamivel szorosabban függött össze, mint a nyári hőmérséklettel, a különbség azonban főként az index képletéből adódik.²¹⁵ A 2022-eshez hasonló nyugat- és közép-európai nyári talajnedvesség-aszályok gyakoribbá válását egy attribúciós vizsgálat va-

lószerűleg a regionális melegedésnek tulajdonítja, miközben a csapadékban nem talált egyértelmű trendet; magában a 2022-es eseményben a csapadékhiány is szerepet játszott, főként természetes változékonyságként.²¹⁶ Az Egyesült Államok nyugati részén²¹⁸ valamint Közép- és Dél-Európában²¹⁹ egyaránt a párolgási igény növekedését azonosították a kiszáradás jelentős hajtóerejeként. A hazai átmeneti évszázokról szóló két adat nem egy irányba mutat. A relatív páratartalom 1961 és 2020 között tavasszal és nyáron minden vizsgált állomáson szignifikánsan csökkent, ősszel és télen nincs egyértelmű trend.²²⁰ A Thornthwaite-féle vízmérleg tavasszal többletet, ősszel hiányt mutat, de 1971 óta egyik évszázokban sincs trendje, sem országos átlagban, sem a Balaton vízgyűjtőjén (Szabó Péter, saját számítás, személyes közlés, 2026. október).

A projekció a telítési hiány növekedését nem adja vissza

A regionális modellegyüttes nem egyetlen modellfutás, hanem több párhuzamos futás – a szakma ezeket nevezi *tagoknak* –, amelyek ugyanazt a jövőt számolják ki kissé eltérő kiindulásból. A modellegyüttes középértéke a futások átlaga, a tagok szórása pedig azt mutatja, mekkora bizonytalanságot ismer el maga a modell.

Az elérhető modellegyüttes a 2025–2054-es harminc évre évi **+0,8 Pa/évtizedet** ad a mérsékelt és +8,6-ot a magas kibocsátási forgatókönyv alatt, szemben a megfigyelt +32,2-vel. A modellegyüttes tehát gyakorlatilag nem vetít előre telítésihiány-növekedést.

Nemcsak a mértéket nem adja vissza, hanem a mechanizmust, a száraz talaj fölött táguló napi hőingást sem. A hőingást **szűkíti** (tagközépben $-0,085 \dots -0,123$ °C/évtized), miközben a megfigyelés tágulást mutat. A modellegyüttes közepén az eltérés tehát nem mértékbeli, hanem előjelbeli.

Tagszinten az előjelre vonatkozó állítás nem érvényes, mert a huszonnyolc tagból egy-egy eléri a megfigyelt trendet (+28,5, illetve +36,6 Pa/évtized). A modell tehát elő tudna állítani ilyen jövőt is, csak nem ez a legvalószínűbb kimenete.

A négy VPD-mutatón viszont még a legszélsőségesebb tag sem éri el a már mért értéket:

mutató	a modell legszélsőségesebb tagja	a megfigyelt 2021–2025-ös érték
évi VPD	815,9 Pa	823,9 Pa
nyári VPD	1516,0 Pa	1545,4 Pa

mutató	a modell legszélsőségebb tagja	a megfigyelt 2021–2025-ös érték
≥ 1500 Pa napok	54,9 nap	56,9 nap
≥ 2000 Pa napok	17,0 nap	19,3 nap

A fedés hiánya – vagyis az, hogy a modell teljes tartománya a megfigyelt érték alatt marad – nem először fordul elő az elemzésben (a [H.2](#) négy ilyen mutatót sorol fel), itt azonban a legszigorúbb összevetésben, mert nem két különböző adatforrást, hanem ugyanannak a modellnek a saját szélső tagját vetjük össze a méréssel (II/10a. ábra).

Ebből nem az következik, hogy a jövő biztosan rosszabb, hanem az, hogy erre a mennyiségre ma nincs használható projekciónk, és a tervezésnek a modellek helyett a megfigyelt trendre kell támaszkodnia.

A 28 futás telítési hiánya nem a regionális modellek saját légnedvesség-adatából készül. A projekciós adatbázis a hibakorrigált napi minimum- és maximumhőmérsékletből és a csapadékból számítja, ugyanazzal a minimumhőmérséklet-alapú becsléssel, amelyre a megfigyelt sor elsődleges adatútja is épül. A légnedvességet a hibakorrekció nem érinti.⁵⁶ A két oldal tehát azonos eljárással készült, ezért a modell és a mérés eltéréseinek nagyobbik része a modellek hőmérséklet- és csapadékjárásából ered, például a hőingás szűküléséből. A mért légnedvesség-rácson számolt trend is többszöröse a projektálnak. A becslés azonban a jel egy részét maga is elveszíti, mert a levegő tényleges vízgőztartalma nem követi az éjszakai minimumhőmérsékletet, így a mért légnedvességgel azonos alapon számolva a nyári emelkedésnek csak mintegy kétharmadát adja vissza. A veszteség a kiszáradt talaj fölötti, legalább három napja tartó 30 °C feletti hőségben a legnagyobb. Ilyenkor a levegő mért vízgőztartalma ötvenöt év alatt nem emelkedett, és a becslés a telítési hiány megfigyelt növekményének csak mintegy felét adja vissza. Az ilyen napok száma az 1970-es évekhez képest több mint háromszorosára nőtt, és a mérési sorban 2022 nyara adta a legtöbbet. A 2026-os nyár kritikus napjain a mért és a becsült telítési hiány különbsége minden korábbinál nagyobb volt. A megfigyelt légszárazodás tehát a fenti számoknál is erősebb. Nyitott kérdés marad, hogy a regionális modellek saját légnedvesség-számítása visszaadná-e a megfigyelt szárazodást – ehhez a telítési hiányt a modellek nedvességadatokból, mért referenciára korrigálva kellene újraszámolni ([IX.11](#)).

Az eltérés mögött álló mechanizmusra az elemzésnek eddig egyetlen megnevezett oka volt, az aeroszoltisztulás ([VI.2](#)). Egy 2026-os vizsgálat egy másodikat is ad hozzá: a modellek ismertén nem adják vissza a megfigyelt európai légköri áramlási változásokat, miközben a megfigyelt telíté-

sihiány-emelkedés 42 százaléka áramlásvezérelt.⁵⁷ Ez a két ok **nem független egymástól, és egymást megerősítő bizonyítékként nem idézhető.** A vizsgálat maga írja, hogy a délkelet-európai ciklonaktivitás csökkenése részben az aeroszolcsökkenést és az emelkedő szén-dioxid-szintet tükrözheti. A vizsgálat további megszorításai, hogy a részekre bontás egyetlen modellel készült, az eljárás kizárja a termodinamika visszahatását az áramlásra, és a tartomány Európa közepes szélességeit fogja át, nem a hazai területet, így a **VI.6** szabálya szerint kontextusnak és határfeltételnek tekintendő. A vizsgálat 10 centiméteres talajnedvesség-változója nem köthető az elemzés **III. fejezetének talajvízrétegéhez.**

Az öt érték, amelyet a vezetői összefoglaló ebből a vizsgálatból idéz, a következő. A vizsgálat a szárazodást két részre bontja: a melegedés közvetlen (termodinamikai) hatására és a légköri áramlás megváltozásának (dinamikai) hatására.

mennyiség	termodinamikai rész	áramlásfüggő rész	megjegyzés
a telítési hiány trendje	58 %	42 %	a 42 % a közölt érték, az 58 % ennek kiegészítője
a modellezett talajnedvesség csökkenése, a tartomány átlagában	45 %	55 %	az 55 % a közölt érték; a 45 % az elemzés saját számítása
a csapadék trendje	a csökkenést 6 %-kal ellensúlyozza	–	a termodinamikai tag itt nem semleges
a modellezett talajnedvesség csökkenése, regionálisan (Nyugat- és Kelet-Európa)	–	akár 80 %	felső érték

A számok forrása Dunkl, Bastos és Sippel (2026), *Nature Geoscience*. A vizsgálat részekre bontása egyetlen modellel (CESM2) készült, az 1980–2024-es nyarakra, Európa közepes szélességeire, és a talajnedvesség benne modellmennyiség, nem mérés.⁵⁷

A csapadék oldala: ugyanannyi víz, kevesebb alkalommal

Egy 2025-ös hazai modellezési tanulmány korrigált készleteken arra jut, hogy az éves csapadékösszeg nő – hegyvidéken akár +30 %-kal –, a csapadékos napok száma viszont 1–7 nappal csökken, és a napi maximumok épp nyáron nőnek a legerősebben.⁵⁸ Ugyanannyi vagy több víz érkezik tehát, kevesebb alkalommal és intenzívebben. A talaj és a készletek felől nézve ez valószínűleg kevesebb hasznosuló csapadékot jelent, mert a rövid, intenzív esőkből nagyobb hányad folyhat le, mielőtt beszívárogná. Ez

következtetés, az intenzív csapadék beszivárgó hányadára hazai mérés nincs (III.4).

A megfigyelések ugyanezt a képet mutatják. A 2022-es, a 2024-es és a 2025-ös nyár csapadéka a normál 68, 65, illetve 60 %-a volt, a 2021–2025-ös ötéves átlag 150 mm, a normál 74 %-a. Ugyanakkor a nyári összeg ötvenöt éves trendjének bizonytalansági sávja bőven átfogja a nullát ($p = 0,50$). A két állítás összeegyeztethető, hiszen az utolsó öt év kirívóan száraz volt, öt év azonban statisztikailag nem elég egy évtizedes trend igazolásához. Az első állítás önmagában túlzó, a második önmagában elhallgatja a legutóbbi öt évet.

A nemzetközi irodalom ugyanebbe az irányba mutat. A száraz térségek fölött a megfigyelt légnedvesség négy évtizede nem nőtt, miközben gyakorlatilag minden globális modellfutás növekedést ad. Az európai aszályok típusa pedig megváltozott, a rövid, meleg évszaki, párolgásvezérelt események váltak jellemzővé.⁵⁹ Ez nem a hazai eredmények független megerősítése – más térség, más adat –, hanem annak jelzése, hogy a modellek a légszárazodást máshol is alulbecslik. A hazai eltérés viszont nem bizonyítja ugyanezt a hibát, mert a hazai adatbázis a telítési hiányt nem a modellek légnedvességéből számítja.

Két további, 2024-es és 2021-es vizsgálat külön is megerősíti a párolgásigényre vonatkozó eredményt. Egy 45 helyszínes évgűrű-izotóphálózat négyszáz évre rekonstruálja a nyári telítési hiányt, és arra jut, hogy a mai légköri szárazodás az iparosodás előtti kontextusban példátlan, az emberi hatás valószínűségét pedig 98 százalék fölé teszi. **A formálisan attribuált négy régió egyike a kelet-közép-európai klaszter, tehát Magyarország térsége.**⁶⁰ Ez arra a mennyiségre, amelyre ez a fejezet épül, lezárja a „bellefér a természetes változékonyságba” olvasatot. Egy 1902 és 2019 közötti, három aszályindexen futó vizsgálat ugyanezt a szerkezetet adja kontinentális léptéken: Közép-Európa és a Mediterráneum szárad, Észak-Európa nedvesedik, és a hajtóerő a növekvő párolgásigény, valamint a középhőmérséklet, nem a csapadék. A szárazodást a két párolgásérzékeny index hordozza, a csak csapadékalapú nem.⁶¹ A vizsgálat párolgásigény-számításának azonban ugyanúgy bemenete a légnedvesség, mint e fejezet telítésihiány-rétegének, így módszertanilag rokon, nem független bizonyíték. Az elemzés saját, a mért telítési hiányra épülő érvét ez nem érinti.

A kétféle hiba ára a két mutatón

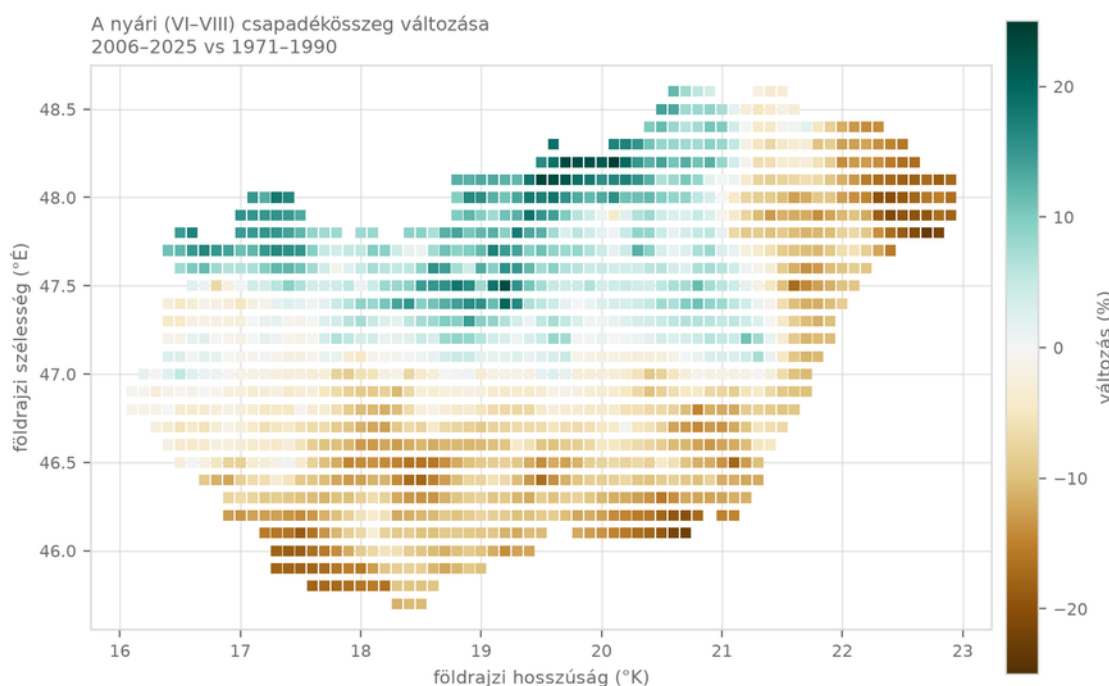
A két mutatón, amelyről ez a fejezet szól, a tévedés ára eltérő.

A csapadékmentes időszakok hosszánál a trend nem indokol felfelé korrekciót, mert az adat 2025-ig és a FORESEE-HUN sávja egyaránt azt mutatja, hogy a jel nincs ott, ahol keresnénk. A méretezés viszont nem a trendre, hanem a tervezési eseményre épül, és azt a 2026-os rekord eltolta. A tévedés ára itt is aszimmetrikus, mert a hosszabb száraz időszakra méretezett tározó a növekvő párolgási veszteség ellen is véd, ezért a túlméretezés kisebb része elvesztegetett költség, az alulméretezés viszont évtizedekre köt – ez a mi mérlegelésünk.

A telítési hiánynál fordított a helyzet, és itt az elmulasztás a drágább hiba. Ha a modell lapos pályájára tervezünk, és a megfigyelt emelkedés folytatódik, az ár alulméretezett tározó, alulméretezett öntözőkapacitás és alulbecsült aszálykár – épp abban a szektorban, ahol a támogatáspolitikai elköteleződések évtizedes távra szólnak, így a hiba évekig velünk marad. A fordított tévedés ára túlméretezett kapacitás, amely drága, de visszafordítható. A jelenlegi, modellalapú tervezés a súlyosabb kockázatot viseli.

II/8. TÉRKÉP

A nyári (VI–VIII) csapadékösszeg változása, 2006–2025 vs 1971–1990, rácspontonként.



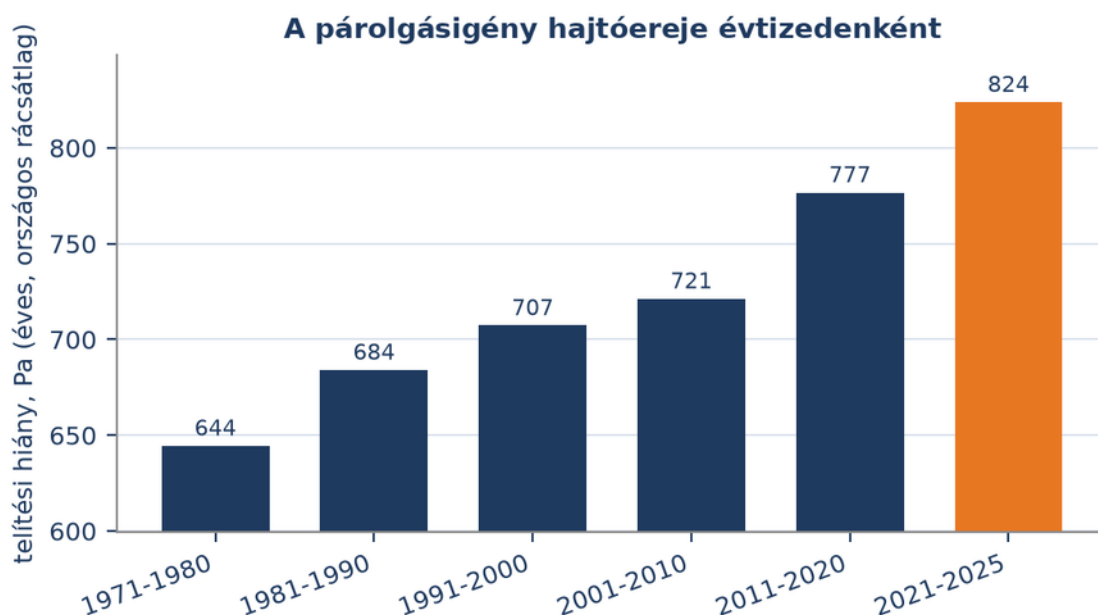
Változás, %. Nyár: VI–VIII. Ablakok: 2006–2025 vs 1971–1990.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált napi csapadékrácsból.

MEGJEGYZÉS Országos medián $-3,2\%$, de a tartomány -23% -tól $+24\%$ -ig terjed, vagyis a térbeli szórás nagyobb, mint a jel. Ez a térkép szándékosan a gyenge eredményt mutatja – ezen az ablakon nincs koherens országos nyári szárazodási jel, és aki ilyet olvas ki belőle, többet állít, mint amit az adat alátámaszt. Két olvasási figyelmeztetés: a késői ablakba beleesik a nedves 2001–2010-es évtized, amely hígítja a legutóbbi évek erős csökkenését (a 2021–2025-ös nyári átlag 150 mm , az ötvenöt éves sor legalacsonyabb értéke); és a rácspont-szintű szélsőségek nem országos állítások.

II/9. ÁBRA

A párolgásigény hajtóereje (telítési hiány, éves országos rácsátlag) évtizedenként.



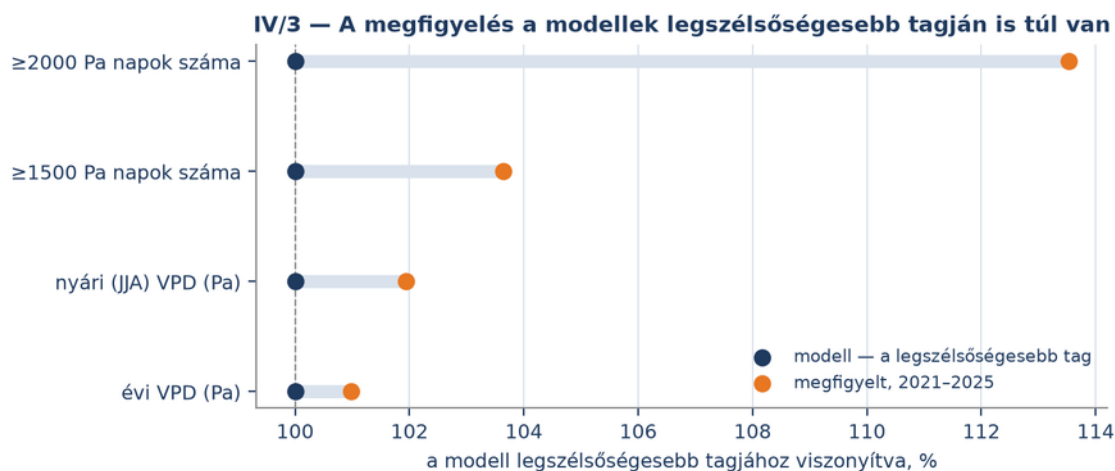
Telítési hiány, Pa. Évtizedes átlagok, 1971–2025; a legutolsó évtized részleges.

FORRÁS Saját számítás.

MEGJEGYZÉS A legutolsó, részleges évtized narancs.

II/10. ÁBRA

A megfigyelt 2021–2025-ös érték a 28 modellfuttatás legszélsőségeisebbikéhez viszonyítva, négy mutatón.



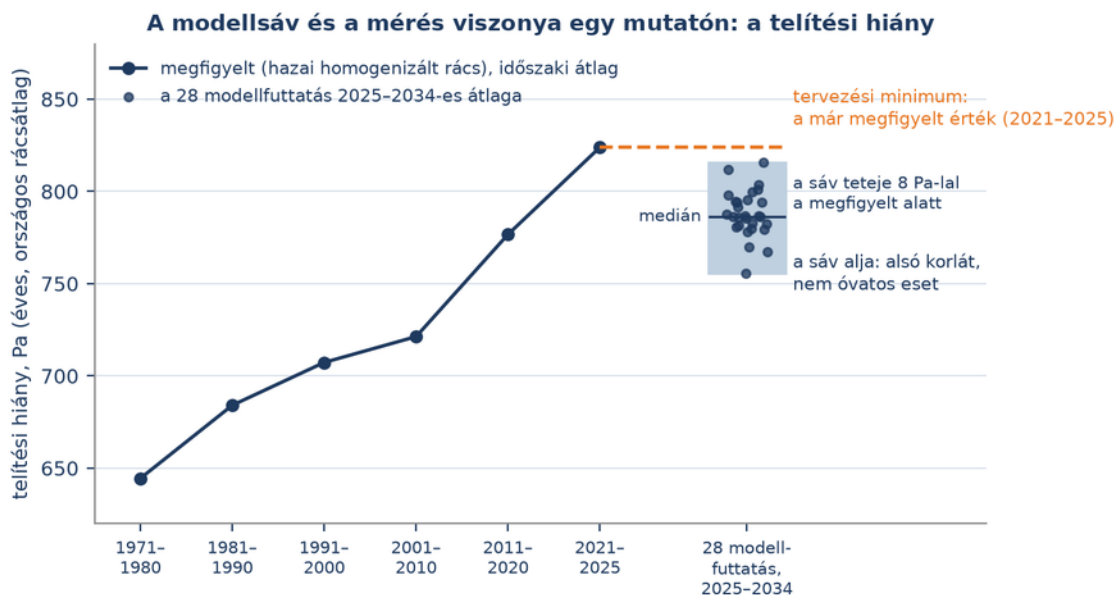
A modell tagmaximumának százalékában (100 % = tagmaximum). Mind a négy mutató VPD-alapú, nem hőmérséklet-alapú.

FORRÁS Saját számítás: a 28 modellfuttatás maximuma a megfigyelt 2021–2025-ös értékhez mérve, négy VPD-alapú mutatón (évi VPD, nyári VPD, ≥1500 Pa és ≥2000 Pa küszöbnapok).

MEGJEGYZÉS A 100 %-os vonal a modell legszélsőségeisebb tagja; a narancs pont a megfigyelés. Mind a négy mutató a megfigyelés a modelltartományon kívül van.

II/10A. ÁBRA

A modellsáv és a mérés viszonya egy mutatón: az éves telítési hiány országos rácsátlaga.



Pa. Bal oldalon a megfigyelt időszaki átlagok 1971-től; jobb oldalon a 28 modellfuttatás 2025–2034-es átlaga (pontok), a sáv (min–max) és a mediánja.

FORRÁS Saját számítás: megfigyelt VPD a FORESEE-HUN v1.4 megfigyelt ágából, MT-CLIM-becslés a HungaroMet homogenizált rácsából (1971–2025, időszaki átlagok); a 28 FORESEE-HUN futás (14 modellpár × RCP4.5 és RCP8.5) 2025–2034-es éves átlaga. Ábraadat: f1_vpd_sav_meres.csv, f1_vpd_sav_meres_obs.csv.

MEGJEGYZÉS A narancs szaggatott vonal a 2021–2025-ben már megfigyelt érték (823,9 Pa): ez a tervezési minimum. A 28 futás sávja 755 és 816 Pa között fekszik, teteje 8 Pa-lal a megfigyelt alatt; a sáv alja (755 Pa) alsó korlát, nem óvatos eset. Ugyanaz a tétel, mint a II/10. ábrán, a teljes sávval és az időbeli előzménnyel.

II.3 Fagy – a legkevésbé kézenfekvő fejezet

A fagyos napok száma egyértelműen csökken: az 1970-es évek 93,8 napjáról a 2021–2025-ös 77,8-ra, azaz tizenhat nappal. A trend $-4,21$ nap/évtized, a 95 %-os konfidenciaintervallum $[-6,67; -1,74]$ a nullát nem fogja át.⁶² A szakasz többszörös tesztelési küszöbét ez a trend sem éri el (lásd a módszertani részletet). Ebből azonban nem következik, hogy a fagykockázat csökken.

A csökkenés a tél két végéről ered, nem a tavaszból. Ugyanezen az adaton az április–májusi fagyos napok száma **semmilyen trendet nem mutat**. A konfidenciaintervallum **mindhárom vizsgált ablakon átfogja a nullát**, a **p-értékek 0,63 és 0,96 közé esnek**. Az eltérésnek szerkezeti oka van. A melegedés ott csökkenti a fagyos napok számát, ahol a hőmérséklet-eloszlás nagy tömege mozdul a nulla fok fölé – a tél elején és végén. A késő tavaszi fagy ellenben ritka, a légköri áramlás által vezérelt esemény: hideg advekció egy már felmelegedett tájra. Ennek gyakoriságát nem az évi középhőmérséklet dönti el, hanem az áramlás – vagyis pontosan az a mechanizmus, amelyről a II.5 pont szerint a szakirodalom megosztott.

A képet a fenológiai adatok egészítik ki. Hőösszegalapú rügyfakadás-közelítő mutató szerint – február 1-jétől halmozott hőösszeg, három küszöbön – a rügyfakadás **tizenkét nappal előbbre tolódott**: az 1990-es évek 96,7-es napjáról a 2021–2025-ös **84,6-ra** ($-1,95 \dots -2,10$ nap/évtized). Az utolsó tavaszi fagy ugyanezen az adaton 101,8-ról 101,5-re változott, azaz gyakorlatilag helyben maradt. A kettő közötti kitettségi ablak évtizedes átlagai: $12,0 \cdot 5,9 \cdot 5,4 \cdot 4,1 \cdot 9,2 \cdot 16,8$ **nap** (1971–1980-tól 2021–2025-ig).

Itt kell a leginkább vigyázni. Kézenfekvő volna azt írni, hogy „a fagyveszélyes ablak tágul”. **Trendként ez nem tartható, mert az ablak ötvenöt éves trendje $+0,22$ nap/évtized, $p = 0,82$ – azaz nincs trend. Az adat annyit mutat, hogy az évtizedsor legalacsonyabb értéke az 1991–2000-es (5,4 nap), a legmagasabb a legutóbbi, részleges évtized (16,8 nap), és a rügyfakadás utáni fagyos napok száma a 2021–2025-ös szakaszban mind a négy vizsgált mutatón a sor legmagasabb évtizedes értéke – a norma 1,6-szorosa az enyhe, 3,5-szerese a károsító (-2 °C alatti) fagyra. Ez ötéves megfigyelés, nem trend és nem előrejelzés. A tágulást ezért nem állítjuk, a legutóbbi öt év kiugró értékét viszont közöljük – mert tervezési szempontból ez a releváns, elhallgatása pedig ugyanolyan hiba volna, mint a trenddé léptetése.**

MÓDSZERTANI RÉSZLET

Két további megszorítás adódik a belső ellenőrzésből. (1) Az eredmény függ attól, **hogyan összegzünk**, és a különbség érdemi – az országos átlagok különbségeként számolt ablak 5,4-ről 16,8 napra, a konzervatívabb, rácpontonként számolt és nullára vágott mutatón 8,3-ról 17,1 napra nyílik. (2) A szakasz sok statisztikai tesztet futtat ugyanazon az adaton, és a közös tesztcsaládon (Melléklet B 7. pont) egyik trendje sem éri el a korrigált küszöböt – még az éves fagyos napok számának csökkenése sem, pedig ott a konfidenciaintervallum a nullát nem fogja át ($p = 0,0012$). Ezért a szakasz minden trendjét leíró alakban közöljük.

A modelloldali összevetés szerint a tavaszi fagy is olyan mutató, amelyen a modelltartomány nem fedi a megfigyelést (H.2), és az eltérés élesebb, mint várnánk. A regionális modellegyüttes tizennégy futása az éves fagyos napok számát jól visszaadja (tagközép 77,1 a megfigyelt 77,8 mellett) – a tavaszt viszont nem. A tagtartomány 0,84 és 2,03 nap között fekszik, a megfigyelt norma (2,39) és az utolsó öt év értéke (3,48) egyaránt kívül esik rajta. A legmagasabb tag is a norma alatt van. Ugyanez látszik az utolsó fagy dátumán is, ahol a tagtartomány felső vége (96,2) a megfigyelt norma (98,8) alatt marad, tehát a modell **korábban** teszi az utolsó fagyot, mint ami megfigyelhető.

Tervezési szempontból az a lényeges, hogy a rügyfakadás előbbre tolódik, a károsító fagy naptári helye nem húzódik vissza vele arányosan, és a legutóbbi öt év a rügyfakadás utáni fagyok tekintetében a sor legterhel-

tebb szakasza. Az éves fagyos napok számának csökkenése ültetvénytelepítési vagy fajtaválasztási döntéshez a rossz mutató. A fagyvédelmi kapacitás leépítése a következő évtizedben korai – de a mérték, amelyre méretezni kell, ebből az adatból nem adódik, és ezt nem is állítjuk. A lánc kitettségi és kárszakasza is hiányos. A fagnak kitett ültetvényterületről hazai összesítést nem találtunk, a kifizetett fagykár részarányát a **IV.3** közli (2012 és 2024 között a kárenyhítés 13,9 százaléka). A kétféle tévedés ára erősen eltér: a fenntartott fagyvédelmi kapacitás költsége évente látható, a leépítést egyetlen rossz tavasszal egy teljes évi termés lehet. Ezt az összevetést mi végeztük el.

II.4 Kétirányú szélsőség

2026-ban Magyarországon egyazon éven belül fordult elő $-18,3\text{ °C}$ és $+42,0\text{ °C}$, ez utóbbi Szécsényben, a június 20-án kezdődő hóhullámban, ezzel megdőlt az abszolút országos melegrekord.⁶³ Ez tervezési tétel, mert a melegedő éghajlat a hidegszélsőséget nem szünteti meg, csak ritkítja. A hálózati, egészségügyi és mezőgazdasági felkészülést mindkét végre kell méretezni, és a felkészülés leépítése a hideg oldalon a következő évtizedben korai. A hideg oldali láncot nem számszerűsítjük (a fűtési csúcsigényre és a hideghez köthető halálozásra nincs becslés, a **IV.1** halálozási modellje a hideg oldalt nem közli), a megállapítás ezért az irányt jelzi, méretezési értéket nem ad. Mérlegelésünk szerint itt is a leépítés a kockázatosabb hiba, mert a fenntartott téli kapacitás költsége ismert és visszafordítható, a hiánya viszont egy szélsőséges télen ellátási zavarként jelentkezik.

Ugyanez a kétirányúság a csapadékon is látszik, egyetlen ötéves szakaszon belül. A 2021–2025-ös pentád minden csapadékmutatón az átlag alatt van (éves összeg 551 mm) – de ebben a pentádban van az ötvenöt éves sor **harmadik legcsapadékosabb éve** (2023: 767 mm), miközben a másik négy év a rangsor alsó harmadában fekszik (43., 44., 42. és 52. helyen az 55-ből). Ez az ötéves szakasz „száraz időszakként” leírva a lényegét veszíti el, hiszen nem száraz, hanem szórt.

A szerkezet a hosszú soron is kimutatható, és ez a fejezet érdemi megállapítása. Rácspontonként képzett, országosan átlagolt indexeken, az első és az utolsó harmincéves ablakot összevetve:⁶⁴

mutató	1971–2000	1996–2025	változás
éves csapadékösszeg	582,5 mm	612,8 mm	+5,2 %
nedves napok (≥ 1 mm)	89,3 nap	90,0 nap	+0,7 %

mutató	1971–2000	1996–2025	változás
napi maximum (Rx1day)	33,5 mm	35,4 mm	+5,8 %
ötnapos maximum (Rx5day)	58,0 mm	63,4 mm	+9,3 %
≥ 20 mm-es napok	3,87 nap	4,67 nap	+20,6 %
a 95. percentilis fölötti csapadékmennyiség	116,8 mm	142,8 mm	+22,2 %

A táblázat két ablaka **öt évben átfed** (1996–2000), így a két minta nem független, és az eredmény ablakösszevetés, nem két elkülönült időszak összemérése. **Trendet ebből nem állapítunk meg** – a teljes soron egyik mutató sem éri el a szokásos szignifikanciaküszöböt (a legkisebb p-érték 0,070), és a konfidenciaintervallum mindegyiknél átfogja a nullát. A **szerkezet viszont megállapítható**: az éves összeg 5, a nedves napok száma 1 százalék körül mozdult, a szélsőséges napokra eső csapadékmennyiség több mint húsz százalékkal. Ugyanannyi esős nap mellett a csapadék egyre nagyobb hányada érkezik kevés, intenzív napon – és éppen ez a mennyiség határozza meg a lefolyást, a villámárvizet és a beszivárgási veszteséget, nem az évi összeg.

A mechanizmus megnevezhető, a következménye nem. A melegebb légkör nedvességtartó képessége mintegy 7 %-kal nő °C-onként, ami a **szélsőséges** intenzitást emeli, az évi összeget nem – ugyanaz a fizika, amely a **II.2** párolgásigény-rétegét is hajtja. A két látszólag ellentétes oldal tehát **egyetlen mechanizmus két következménye**.⁶⁵ Ebből azonban nem következik az az állítás, hogy „a modell alulbecsüli a hazai csapadékintenzitást”. Erre vonatkozóan ez az elemzés nem tesz megállapítást.

A modelloldal az intenzitásban egyöntetű, a gyakoriságban megosztott. A regionális modellegyüttes belső változása (ugyanaz a futás, ugyanazzal a hibájával, két ablakban) a 95. percentilis fölötti csapadékmennyiségre +14,3 %-ot ad, **14/14 tagban pozitívan**; a ≥ 20 mm-es napokra +13,6 %-ot, szintén 14/14; a nedves napok számára viszont csak 8/14 tag ad növekedést. Az intenzitás tehát nő, az esős napok száma nem.

A modell szintjét ezen a változón nem szabad a megfigyelthez mérni – ez az elemzés legfontosabb kikötése –, mert az átfedő 2022–2025-ös négy évben a tagközép **minden** mutatón nedvesebb a megfigyeltnél (éves összeg +12,5 %, nedves napok +12,9 %, napi maximum +14,9 %). Ez négy év, benne egy történelmi aszályal – figyelmeztetésnek tekintendő, nem torzításbecslésnek. Annyit azonban megalapoz, hogy a minimumszabály ezen a változón sem érvényes, mert itt a modell nem alul-, hanem felülbecsül.⁶⁶

EGY HÓNAP, KÉT SZÉLSŐSÉG – 2024. SZEPTEMBER

2024. szeptember 21-én hajnalban a Duna Budapestnél 830 centiméteren tetőzött, 61 centiméterrel a 2013. júniusi, 891 centiméteres legnagyobb vízállás alatt. Ugyanebben a hónapban a Tisza Szolnoknál egyetlen napon sem emelkedett –159 centiméter fölé, Vásárosnaménynál –176 centiméter fölé: az ország egyik nagy folyóján árvízvédekezés, a másikon kisvíz volt.⁶⁷ Az eset nem bizonyítja, hogy a kétirányú szélsőség gyakoribbá válik; azt mutatja meg, hogy egyazon időszakban kétféle felkészülésre lehet szükség.

II.5 Légköri áramlás – ahol a bizonytalanság maga az információ

A 2026-os nyári aszály közbeszédbeli magyarázata egy elhúzódozó blokkoló anticiklon volt. A megfigyelésre nézve ez helytálló, a jövőre vonatkozó következtetés azonban nem vonható le belőle.

A szakirodalom ezen a ponton **kétfelé válik**. A modellalapú vonal az európai blokkolás gyakoriságának csökkenését vetíti előre, a félempirikus, hullámrezonancia-alapú vonal növekedést. A kettő között az a dokumentált tény közvetít, hogy a modellek ismerten alulreprezentálják a blokkolást. Ezt a megosztottságot ez az elemzés sem oldja fel, és egyik vonal sem cáfolja a másikat.

Az eltérés kontinentális léptéken mérve is kimutatható. Nyugat-Európában a hőségsszélsőségek a globális melegedés minden fokára 3,4 °C-kal erősödnek, és ebből 0,8 °C [0,2; 1,4] áramlásváltozásból – a gyakoribbá vált déli áramlásból – származik. A vizsgált 32 modell 170 szimulációja közül egy sem ad a megfigyelthez fogható áramlásvezérelt trendet.⁶⁸ A lehetséges mechanizmus is ismert: az eurázsiai kettős futóáramlás-helyzetek egyre tartósabbak, és a tartósság növekedése a gyorsult nyugat-európai hőhullámtrend csaknem egészét magyarázza.⁶⁹ A szerzők maguk két olvasatot kínálnak, és egyik sem megnyugtató: vagy a modellek alulbecsülik az áramlás kényszerített válaszát – ekkor az európai nyárprojekciók túl óvatosak –, vagy az alacsony frekvenciájú természetes változékonyságot – ekkor a változás üteme mélyen bizonytalan. **Mindkét eredmény nyugat-európai, a Kárpát-medencére közvetlenül nem vihető át, a VI.6 szabálya szerint tehát kontextusként kezelendő, nem hazai bizonyítékként.**

Egy harmadik vonal módszertanilag másként jár el, mert nem vetíti előre, hanem a megfigyelt trendet bontja fel. Eredménye szerint a mediterrán és közép-európai anticiklonos rezsím gyakorisága **növekszik** ($p = 0,002$). Ennek a rezsímnek és egy másik, csökkenő gyakoriságú rezsímnek a megfigyelt trendje a száz tagot számláló modellegyüttes tartományán teljesen kívül esik, egy harmadiknál pedig a száz tagból hét ad a megfigyelt-

nél erősebb trendet.⁵⁷ Ez közvetlenül alátámasztja az alábbi tervezési következményt, és azt is jelzi, hogy a felkészülésnek legalább a ma mért gyakoriságot kell fedeznie.

Tervezési következmény: az áramlási oldalra épített érv (például „gyakoribb lesz a tartós blokkolás, tehát hosszabb aszályok jönnek”) **nem használható**. Ahol áramlásról beszélünk, ott megnevezzük az elemzés alapjául szolgáló újraelemzési terméket és az évszakot, és kerüljük a trendszerű megfogalmazást.

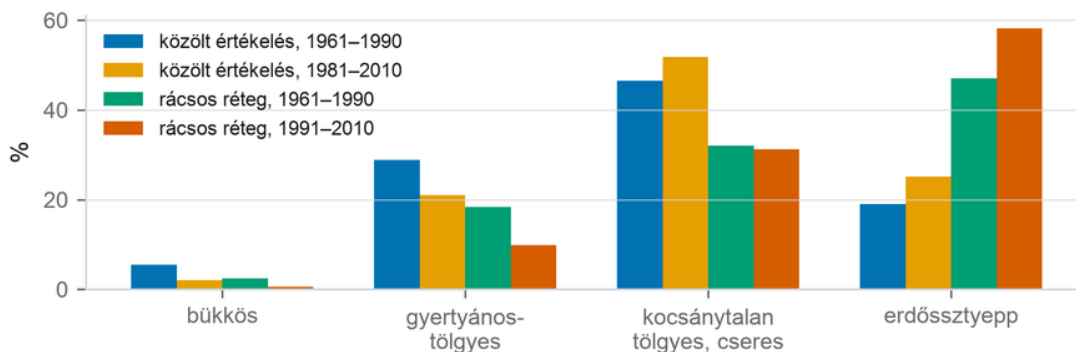
II.6 Független bizonyíték: az erdészeti klímaosztályok eltolódása

A szárazodást egy harmadik, az eddigiektől független mérce, az erdészeti klímaosztályozás is mutatja. A hazai erdészet négy klímaosztállyal dolgozik: bükkös, gyertyános-tölgyes, kocsánytalan tölgyes, illetve cseres, és erdőssztyepp. Az osztályokat az erdészeti szárazsági mutató határolja le. A mutató a július–augusztusi középhőmérsékletet osztja a május–augusztusi csapadékösszeggel, amelyben a július kétszeres súllyal szerepel.⁷⁰ Ugyanazt a nyári vízellátottságot méri tehát, amelyről a II.2 pont szól, de más adatokból és egy másik szakma eszközével.

Két hazai értékelés áll rendelkezésre, és mindkettő ugyanabba az irányba mutat. A közölt országos értékelés szerint az 1961–1990-es és az 1981–2010-es időszak között a bükkös klíma területi aránya 5,5-ről 2,1 százalékra, a gyertyános-tölgyesé 28,9-ről 21,0 százalékra csökkent. A kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klímáé 46,5-ről 51,8, az erdőssztyeppé 19,1-ről 25,1 százalékra nőtt. A szerző a változást elsősorban a hőmérséklet emelkedésének tulajdonítja.⁷⁰ A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer rétege más adatbázison, 0,1 fokos rácson veti össze az 1961–1990-es és az 1991–2010-es időszakot.⁷¹ Az 1104 rácscellából 256, tehát a cellák 23,2 százaléka egy osztállyal szárazabb kategóriába került. Cseres-tölgyesből erdőssztyepp lett 122, gyertyános-tölgyesből cseres 114, bükkösből gyertyános-tölgyes 20 cellán, nedvesebb irányú váltás pedig a rétegben nincs.

II/11. ábra. Mindkét hazai értékelés szárazabb erdészeti klímaosztályok felé tolódik, az arányokban viszont eltérnek.

Az ország területének, illetve a rácscelláknak a megoszlása klímaosztályonként, %.



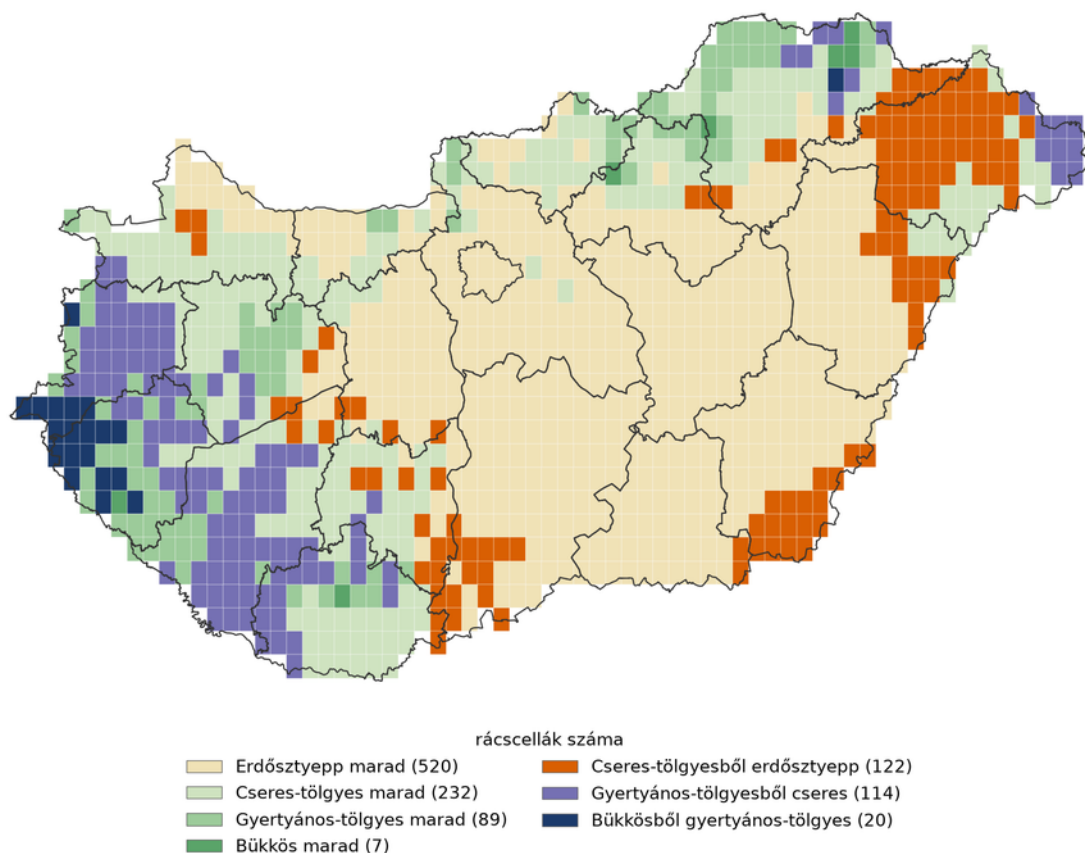
Megjegyzés: A két értékelés adatbázisa, térbeli felbontása és második ablaka eltér; az irány közös, az osztályarány forrásfüggő.

Forrás: Führer (2017), Erdészeti Lapok 152(6); a nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer rétege, saját összesítés 1104 rácscellából.

A két értékelés az irányban egyezik, az osztályok arányában viszont eltér. A rácsalapú réteg a rácscellák 47,1 százalékát már 1961–1990-re erdőössztyepp klímába sorolja, a közölt értékelés az országterület 19,1 százalékát. Az eltérés oka lehet az eltérő adatbázis, térbeli felbontás vagy az osztályhatárok eltérő alkalmazása, a réteg leírása a módszert nem nevezi meg. Tervezési célra ezért az irány és a területi mintázat használható, az osztályarány csak a forrás megnevezésével. A váltás térben nem szórt, hanem tömbös. A két legnagyobb összefüggő tömb a Nyírség és a Felső-Tisza-vidék, illetve a Délnyugat-Dunántúl (az utóbbi két, egymáshoz közeli tömbre válik szét); két kisebb tömb a Dél-Alföldön található, a Békés-Csanádi-háton és a Duna-Tisza köze déli részén. Az északi hegyvidék peremein ezzel szemben szórt a váltás, az ottani celláknak nagyjából a nyolcada váltott. Mindkét értékelés második ablaka 2010-ben zárul, így a 2011 utáni másfél évtized melegezését egyik sem tartalmazza. Az adatok eredetére vonatkozó megszorítás, hogy a rácsalapú réteg és az elemzés saját megfigyelési rácsa egyaránt a hazai meteorológiai szolgálat homogenizált-interpolált terméke. Ez a bizonyíték tehát a módszerében független az eddigi fejezetektől, az adata alapján valószínűleg nem – ez utóbbi feltevés, mert a réteg leírása az adatait nem közli teljesen.

II/12. TÉRKÉP

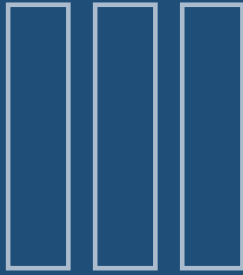
Az erdészeti klímaosztály-váltás tömbös: két nagy és két kisebb dél-alföldi összefüggő tömb rajzolódik ki.



Klímaosztály 1961–1990-ben és 1991–2010-ben, 0,1 fokos rácson; a jelmagyarázat a rácscellák számát közli.

FORRÁS A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer rétege, a térkép saját szerkesztés a lekérdezett nyers rétegből.

MEGJEGYZÉS Narancs: cseres-tölgyesből erdősztyepp; lila: gyertyános-tölgyesből cseres; sötétkek: bükkösből gyertyános-tölgyes. A halvány színek a változatlan osztályú cellák. A legnagyobb összefüggő tömbök (oldalszomszédság szerint): Nyírség–Felső-Tisza-vidék 70 cella, Délnyugat-Dunántúl 50 és 47, Békés–Csanádi-hát 17, a Duna–Tisza köze déli része 17.



Víz

A FEJEZET SZAKASZAI

III.1	A készlet fogy, de nem a csapadék összege miatt	65
III.2	Amit nem tudunk – és miért baj	79
III.3	Kisvíz a folyókban	80
III.4	Intenzív csapadék és árvíz	82
III.5	Ivóvízbázisok, beszivárgás, villámárvíz: amit a hivatalos térinformatikai rendszer hozzátesz	83

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Új – hazai mérés	A téli félévi csapadék nem csökkent (249 → 251 mm), a nyári félévi 367-ről 312 mm-re esett.
Új – hazai mérés	A talajvíz az országos törzskúthálózat 763 kútjának 94 százalékán süllyed, a Dunától keletre 98 százalékán, és a korábbi ciklikus visszatöltődés 2014 óta elmaradt; a Nyugat-Dunántúlon nincs egyirányú süllyedés.
Új – hazai mérés műholdas adatból	A műholdas gravimetria szerint a teljes víztárolás 2020–2025-ben mintegy 100 mm vízoszloppal maradt el a 2004–2009-es szinttől.
Új – hazai mérés	A Körösök és a Maros nyári vízhozama 2026-ban minden vizsgált víz-mércén a 2000 óta mért legalacsonyabb volt.
Intézményi hiány	A vízkivétel jelentős része méretlen, ezért a kivételi oldal ma nem rangsorolható.

III.1 A készlet fogy, de nem a csapadék összege miatt

Ez a fejezet fordítja meg leginkább a megszokott képet, mert a készlet fogyása és a csapadék alakulása itt szétválnak.

A téli félévi csapadék a mérési sor végéig **nem csökkent érdemben** (az 1991–2020-as normál 249 mm, a 2021–2025-ös ötéves átlag 251 mm). A talajvízkészlet mégis fogy. Az állítás két pontosítást kíván, mert enélkül erősebbnek hangzik, mint amilyen. (1) Az érték a téli félévre vonatkozik, nem az éves összegre és végképp nem a nyárra – a nyári félév ugyanezen a két ablakon 367 mm-ről 312-re esett. (2) Az adatsor 2025-tel zárul, tehát a 2026-os nyár, amelynek országos csapadékösszege a normál harmada volt (II.2), ebben az értékben nincs benne. A „nem fogyott a csapadék” te-

hát nem általános megnyugtató, hanem egy megnevezett szezon megnevezett ablakára vonatkozó mérés – és éppen azért fontos, mert így is fogy a készlet. Az országos törzskúthálózat 763, legalább huszonkét évi augusztusi méréssel rendelkező kútjából 721 süllyed, és 600-on 2026 augusztusa a kút saját sorának legalacsonyabb értéke; a hat részletesen vizsgált tájegység kútcsoportjában mind a 111 kút egy irányban süllyed.

A harmadik pontosítás a mondat szerkezetére vonatkozik, mert enélkül többet állít a kelleténél. **A változatlan csapadékösszeg nem jelent változatlan bemenetet.** A készlet felől nézve a bemenetnek három tagja van: a mennyiség, a halmazállapot és az intenzitás-időzítés. A fenti érték csak az elsőről szól. A halmazállapot mérten romlott (a hótakarós napokra később visszatérünk). Az intenzitás szerkezetéről a hazai projekció azt mondja, hogy a csapadékos napok száma csökken, a napi maximumok nőnek – ez modellezési eredmény, nem a mérési soron kimutatott elmozdulás (II. 2). A csendes, áztató eső és az intenzív zápor nem ugyanannyit ad a készletnek. **A lefolyó és a beszivárgó hányad eltolódása viszont hazai adaton nem mért,** talajtípusfüggő, és homoktalajon az irodalom kétirányú. Fél-száraz homokon a feltöltés éppen az intenzív eseményektől függhet, mert azok megkerülik a párolgási veszteséget (erre a III.4 pont három megszorítása érvényes). A tagolással tehát a téves olvasatot előzzük meg, mechanizmust nem emelünk ténnyé, hiszen az összegre vonatkozó állításból még nem következik a bemenetre vonatkozó.

A magyarázat lényege, hogy a feltöltés csak egy csapadékszint fölött indul el – és ez a szint **tájegységenként eltérő, nem országos.** A homokhátsági mérőhálózaton, huszonnégy tél adatán, a téli félévi csapadék és a talajvíztükör januári helyzete között közepes erősségű összefüggés áll fenn, és ebből a nettó nulla feltöltés **nagyjából 185 mm** körül adódik. Ugyanez a levezetés azt is megmutatja, hogy ott az átlagos téli félév 239 mm körül alakul, tehát e szint fölött van. Az átlagos telek középső harmadában a tükkör mediánja néhány centiméterrel emelkedik, nyolc télből ötben. Érdeemi emelkedést csak a **legbősegebb harmad** ad, ott viszont sokat – több mint húsz centimétert. A levezetés alapja, huszonnégy télre:⁷²

a téli félév harmada	okt–márc csapadék	a tükkör mediánváltozása aug. → jan.	emelkedő telek
alsó	121–209 mm	–7,8 cm (süllyed)	3/8
középső (a 239 mm-es helyi átlag körül)	212–255 mm	+2,5 cm	5/8
felső	272–385 mm	+24,0 cm	7/8

Vagyis nem az az állítás, hogy egy átlagos tél nem tölt vissza semmit, hanem az, hogy **a feltöltés a bőséges telekre koncentrálódik**, és egy átlagos tél a talajvízszintet alig emeli. Ez erősebb állítás, mert ha a készlet gyarapodása néhány kivételes szezonon múlik, akkor a visszatartásnak azokra a szezonokra kell irányulnia – és az elmulasztott bőséges tél nem hozható vissza egy átlagossal.

A 185 mm-es érték sávként értendő, mert az összefüggés közepes erősségű, és két tél kifejezetten kilóg belőle. Az egyikben 227 mm-ből is majdnem hetven centiméteres emelkedés lett, mert az előző év csapadékkordja a talajt előre átnedvesítette, egy másikban viszont 385 mm sem hozott emelkedést, mert havas, késői tél volt, és az olvadás a mérés után következett. A beszivárgást tehát **a talaj előzetes nedvességi állapota és az időzítés** legalább annyira szabályozza, mint a szezonösszeg. Egyetlen küszöbértékre méretezni ezért nem szabad.

Az országos csapadékkép a fentiekkel összeillik, de óvatosabban olvasható. A téli félévi csapadék országosan még emelkedett is: az évtizedes átlag a hetvenes évek 228 mm-éről a 2011–2020-as 258 mm-re nőtt. A nyári félév ezzel szemben 363 mm-ről 348 mm-re, majd a 2021–2025-ös részleges időszakban 312 mm-re esett, és a nyári csapadék ugyanebben az ablakban 150 mm – **az ötvenöt éves sor legalacsonyabb értéke**. Ez pontosan az az átrendeződés, amelyet a szakmai közbeszéd is leír, vagyis a csapadék a téli félévre tolódik, miközben a nyári félévben a párolgásigény nő.

A csapadékkoldalon azonban fegyelmezetten kell fogalmazni, és ezt vállaljuk. Töréspontvizsgálatot futtattunk hat országos soron. A hőmérsékleten a törés **kimutatható és robusztus**: az évi középhőmérséklet 2005 után lépcsőzetesen 1,3 °C-kal, a nyári középhőmérséklet 1991 után 1,8 °C-kal magasabb szintre került. A négy csapadéksor egyikén sem mutatható ki törés, mert a fenti átrendeződés érdemi része az utolsó öt évre esik, és öt év statisztikailag nem elég egy szintváltás igazolásához.

A két lehetséges hiba itt nem szimmetrikus. Ha megállapított áttolódásként közölnénk, olyat állítanánk, amit az adatok még nem igazolnának. Ha viszont elhallgatnánk, egy tervezés szempontjából releváns, minden évtizedes átlagban látszó jelet titkolnánk el. Ezért a periódusátlagokat közöljük, a 2021–2025-ös rekordértéket megnevezzük, és jelezzük, hogy szintváltásként még nem tesztelhető.

A feltöltésnek van egy második mechanizmusa is, és az romlott. A téli félévi csapadék mennyisége mellett az is számít, mennyi ideig marad a felszínen hóként, mert a lassan olvadó hótakaró ad időt a víznek a beszivárgásra. A vízügyi hidrometeorológiai hálózat alföldi állomásain a hótaka-

rós napok mediánja 2003–2014 és 2015–2026 között 22-ről 6 napra esett, és a vizsgált tizenhét állomás **mindegyikén** csökken.⁷³ Két megszorítást kell tenni:

- (1) A hálózat alföldi, nem országos, tehát ez az érték országos állításként nem idézhető – az érvhez viszont éppen elég, mert a talajvíz-feltöltés régiójáról van szó.
- (2) A hótakaró rövidülésének a beszivárgásra gyakorolt nettó előjele nincs megállapítva, a szakirodalom ugyanis kétirányú: a fagyott talaj a beszivárgást gátolja, tehát a fagyhatár visszahúzódása akár javíthat is rajta. A mért állítás (22 → 6 nap) ettől érintetlen, a mechanizmus pedig plauzibilis, de nem mért.

Egy hatóköri megszorítás az egész fejezetre érvényes. A 185 mm-es küszöb, a 239 mm-es helyi átlag és a fenti harmadolás **a homokhátsági mérőhálózatra vonatkozik**, 121 rácspontra és 57 kút adatán. Ez nem országos érték, és a Homokhátság nem is a legrosszabb helyzetű tájegység – a hat tájegységet azonos eljárással, egy futásban összevetve az ütem szerinti rangsorban a harmadik, az élen a Nyírség áll +66,8, utána a Duna-Tisza-Maros szög +61,4 cm/évtizeddel, a Homokhátság +60,9-et ad, a sor végén a dunántúli kontroll áll +37,4-del (a süllyedés üteme itt pozitív előjellel szerepel). A Homokhátságot ebben az elemzésben a hat vizsgált tájegység egyikeként kezeljük, nem kitüntetett példaként. A hat kútcsoporthoz közös az irány, mind a 111 kúton azonos előjellel süllyed a talajvízszint, a közép-dunántúli csoportot is beleértve; az ütembeli különbségek kisebbek (+37 és +67 cm/évtized között), mint amit bármelyik tájegység-központú leírás sugall.⁷⁴ Országos folyamatnak azonban nem nevezhető, mert a Nyugat-Dunántúlon, Zala és Vas megyében ugyanez az eljárás nem mutat süllyedést (lásd a szakasz végén). A Homokhátság saját, szigorúbb lefedettségű, 57 kutas csoportja más kútválasztással alacsonyabb ütemet ad: +44,3 cm/évtizedet (95 % CI [+24,5; +64,2]). A két érték két különböző kútkészletre vonatkozik, ezért nem vethető össze, a rangsor pedig az egységes futás értékére épül. Az 57 kutas csoportban mind az 57 kút süllyed. A 2026. augusztusi rekordmély szintet azonban nem ez a nyár okozta, hiszen a szezonális leszívás 2026-ban +27 cm volt, ezzel a huszonhat év rangsorában a 9. helyen áll, jóval a 2011-es (+90) és a 2024-es (+60) alatt. Már a januári szint rekordmély volt, tehát a hiány örökölt és felhalmozott.

A „Homokhátságon 2–3 méterrel süllyedt a talajvíz” alakban a szakmai közbeszédben terjedő érték a homokhátsági kutak vízszintjére átszámítva **2,4-szeres túllövés**: a regionális medián 1,15 m huszonöt év alatt, a 90. percentilis 2,62 m. A magasabb érték a felső decilist írja le, nem a régiót.

A hat tájegységi kútcsoportot szigorú adatteljeségi szabály szerint választottuk: mindegyik kút 2001 és 2026 között minden évben januárban és augusztusban is mért. A csoportok lefedik az Alföld fő tájait, köztük a Homokhátság és a Nyírség homokos beszivárgási területét és a Körös–Maros közét, valamint egy közép-dunántúli ellenőrző csoportot. Az adatteljeség így biztos, a földrajzi lefedettség viszont nem teljes, ezért a nyilvános törzskúthálózat egészét is feldolgoztuk: azt a 763 kutat, amelynek 2001 és 2026 között legalább huszonkét évben van augusztusi mérése (III/2b. térkép). A kutak 94 százalékán süllyed a talajvízszint, a medián ütem évtizedenként 41 cm, és a kutak 79 százalékán 2026 augusztusa a saját sor legalacsonyabb értéke. A Dunától keletre (580 kút) a süllyedő kutak aránya 98 százalék, a medián ütem 50 cm/évtized. A Dunántúlon (183 kút) ugyanez 82 százalék és 14 cm/évtized, a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 18 kútján pedig nincs egyirányú süllyedés: tíz süllyed, a medián ütem nulla közeli. A hat tájegységbe eső kutak a Dunától keletre fekvő többi kútnál valamivel gyorsabb süllyedést mutatnak (medián 56, illetve 45 cm/évtized), az irányuk azonban azonos, a tájegységi kép tehát a folyamatot nem torzítja, a mértékét kissé felülről közelíti. Adathiány is van: a Körös-vidéki és a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság kútjainak a nyilvános adatportálon nincs elég hosszú sora, a Közép-Duna-völgyi és az Észak-magyarországi igazgatóságé részleges.⁷⁴

A talajvízszint korábban ciklikusan mozgott: aszályos évek után a bőséges telek visszaemelték. Hogy ez a ciklus működik-e még, azt a hosszú sorú kutakon vizsgáltuk, azon a 495 kúton, amelynek 1975 és 2026 között mind a négy tizenhárom éves időszakban legalább kilenc évi átlaga van. Időszakonként a legmagasabb évi átlagszintet vetettük össze az előző időszakkéval (III/2c. ábra). A Dunától keletre (298 kút) a 2001–2013-as csúcs a kutak 23 százalékán maradt legalább 25 cm-rel az 1988–2000-es alatt, 29 százalékán viszont fölé emelkedett, a szint tehát még visszatért, például a 2010-es bőséges évben. A 2014–2026-os csúcs ezzel szemben a kutak 84 százalékán maradt legalább 25 cm-rel a 2001–2013-as alatt, és csak egyetlen kúton emelkedett fölé; a medián lemaradás 61 cm. A korábbi visszatöltődés tehát a Dunától keletre 2014 óta elmaradt. Az 1980-as évek aszályos időszakában is volt visszaesés (az 1988–2000-es csúcs a kutak 42 százalékán maradt el az előzőtől), ezt azonban a 2000-es évtized bőséges telei pótolták. A Dunántúlon (197 kút) ilyen törés nincs, minden időszakban a kutak 35–44 százalékán marad el a csúcs, vagyis a romlás ott fokozatos. Az összevetés leíró, a 25 cm-es határ önkényes, de a következtetés 10 és 50 cm közötti határral is ugyanez.⁷⁴

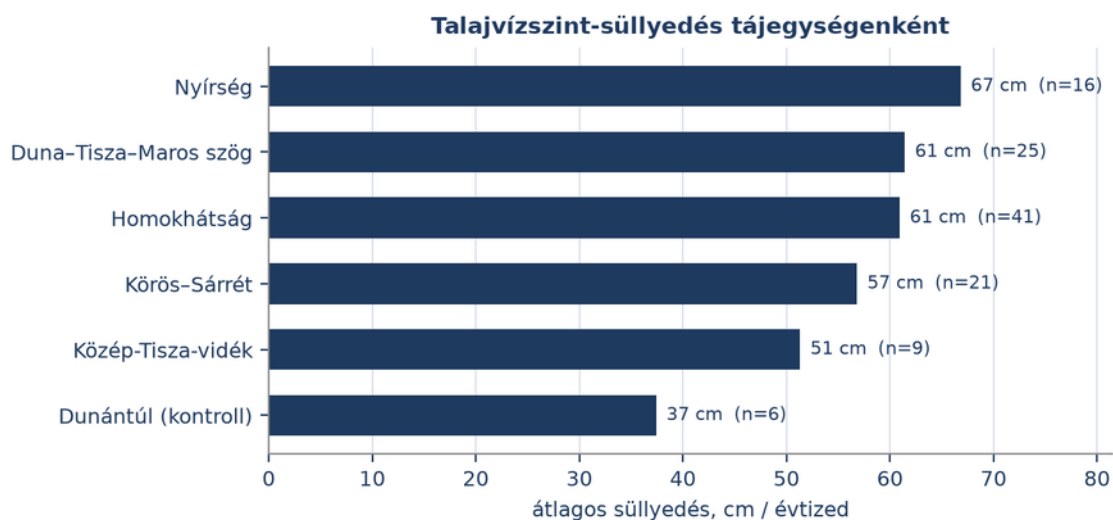
Van, amire ezek az adatok nem terjednek ki. A süllyedés okrendszere többtényezős: csapadékhiány és megnőtt párolgásigény **mellett** vízkivétel, csatornahálózat, erdősítés, felszínborítás. Az egyes tényezők súlyáról a hazai vizsgálatok nem egyeznek. A Duna-Tisza közti vízmérleg-bebecslés az utánpótlódás (a csapadék és a párolgás különbsége) erős csökkenését mutatja ki.²¹⁴ Egy homokhátsági erdészeti mintaterület mérései szerint viszont az erdők talajvízre gyakorolt hatása fafajonként és helyenként erősen eltér, és nem általánosítható.²¹⁷ A kútsorok mérése a jelenséget méri, nem az okát. A klímának tulajdonítható hányad ebből nem állapítható meg. Állításunk annyi, hogy a süllyedés szinte általános, és 2026-ban rekordmély szintre ért – bármi hajtja, a kockázat mértéke ettől nem függ.

Ebből következik a fejezet két fő szakpolitikai állítása. (1) **A bemeneti oldalon a beavatkozási pont a téli félévi visszatartás, mert a feltöltés a bőséges telekre koncentrálódik, és azokat csak visszatartással lehet kihasználni. A nyári leszívás a huszonhat év rangsorában nem kiugró, a hiány örökölt és felhalmozott.** (2) **A kivételi oldalon viszont rangsort a kivétel mérése előtt nem lehet felállítani.** A vízkivétel jelentős része méretlen, az engedély nélküli kutak kivétele ugyanis egyetlen hivatalos idősorban sem látszik, és jellemzően a sekély talajvizet csapolja – azt, amelynek a szintje süllyed. Erre közvetlen mérés nincs, a hivatalos idősorok hiányából és a süllyedés helyéből következtetünk rá. Az engedély nélküli kutak számáról és helyéről nyilvános hivatalos összesítés vagy térkép sincs. A fennmaradási engedély iránti kérelmek törvényi határideje 2023. december 31. volt, a bejelentések összesítését azonban nem tették közzé, és az engedélyezett kutak térbeli eloszlása sem nyilvános. Amíg ez így van, két lépés nem védhető: az öntözéskorlátozás leértékelése és az öntözés felszín alatti vízre alapozott bővítése. A vízkivétel mérhetővé tétele (IX.2) ezért nem kísérő ajánlás, hanem a kivételi oldal minden döntésének előfeltétele. A süllyedés terméshozam-oldali áráról a hazai irodalomban van mért becslés, ezt a IV.3 fejezet közli. A kivételi oldal térképi hátterét a III/2a. térkép adja. A süllyedő kutak zöme ott található, ahol a talajvíz nettó forgalma a hivatalos modellezés szerint kicsi, tehát a sekély talajvíz a kivételt lassan pótolja.

A rangsorral szemben statisztikai megszorítás is tehető. A „2026-os nyári leszívás csak kilencedik a huszonhat évből” érv **évjárat-anomáliát** mér, a krónikus kivétel viszont alapterhelés, amely minden év leszívásában benne van, ezért a rangsorban láthatatlan. A januári rekordérték a kivételi oldalt nem menti fel, mert az örökölt hiány maga is minden taggal együtt halmozódott.

III/1. ÁBRA

Átlagos talajvízszint-süllyedés tájegységenként, cm/évtized; n = a kútcsoport egyedi kútjainak száma.



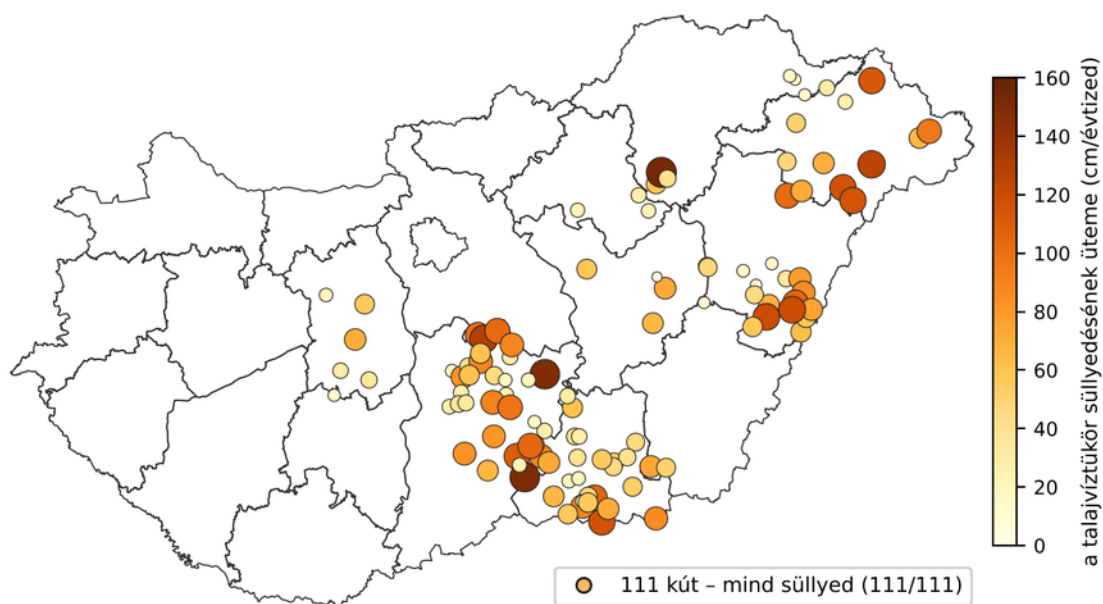
Cm/évtized. Hat tájegységi kútcsoport, 111 törzskút.

FORRÁS Saját számítás a törzskút-sorokból.

MEGJEGYZÉS Mind a hat tájegységen minden kút azonos irányban mozdul.

III/2. TÉRKÉP

A hat tájegységi kútcsoport 111 törzskútja, a talajvíztükör süllyedésének ütemével (cm/évtized).



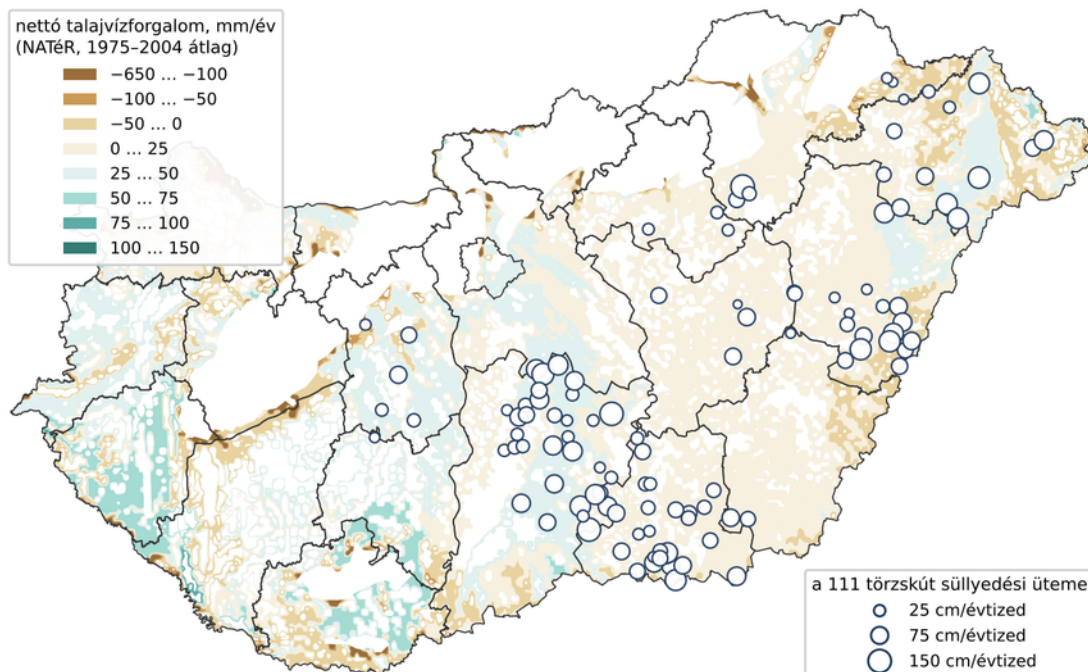
Cm/évtized. 111 törzskút; ország- és megyehatár: NATÉR.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos törzskút-sorokból.

MEGJEGYZÉS A pontok mérete és színe ugyanazt a mennyiséget hordozza, hogy a térkép szürkeárnyalatban és színlátászavarral is olvasható legyen. Mind a 111 kút azonos irányban mozdul.

III/2A. TÉRKÉP

A 111 sülyedő törzskút a talajvíz nettó forgalmának térképén.



Háttér: a NATÉR felszín alatti vízháztartási rétege – a CARPATCLIM-HU adatbázison, országos 3D-s áramlási modellben számított nettó talajvízforgalom 30 éves átlaga, 1975–2004, mm/év. Pontok: a hat tájegységi kútcsoport 111 törzskútja, a sülyedés ütemével (cm/évtized).

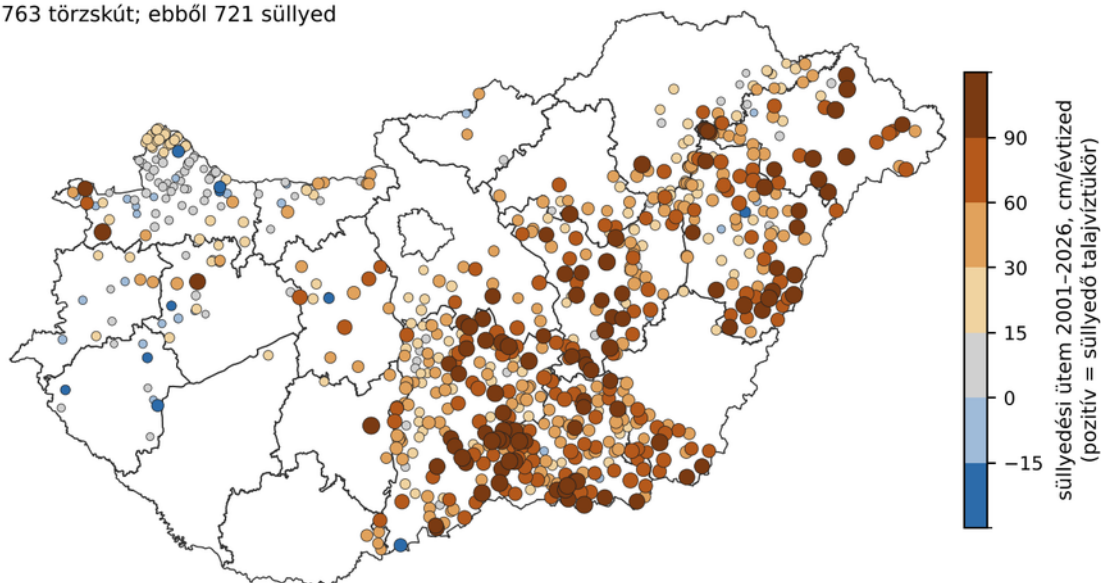
FORRÁS NATÉR (nater.mbfisz.gov.hu), felszín alatti vízháztartás, nettó talajvízforgalom rétege (TVF_CC_75_04); a kutak: saját számítás a hivatalos törzskút-sorokból (III/2. térkép).

MEGJEGYZÉS A barna osztályok nettó megcsapolási, a zöldek nettó utánpótlási területek; a fehér területeken a réteg nem ad értéket (az országterület mintegy ötöde, zömmel hegy- és dombvidék). A sülyedő kutak több mint fele (111-ből 62) a 0–25 mm/év osztályban, további negyede (25) a –50–0 mm/év osztályban, az Alföldön és a Mezőföldön áll: ott a sekély talajvíz forgalma kicsi, és a méretlen kivételt a rendszer lassan pótolja. A háttér egy 1975–2004-es modellátlag, nem a mai állapot, és nem a kivételt mutatja – az méretlen; a térkép a kivételi oldal állításának földrajzi keretét adja, nem a bizonyítékát.

III/2B. TÉRKÉP

A talajvíztükör süllyedésének üteme az országos törzskúthálózat 763 kútján, 2001–2026 (cm/évtized).

763 törzskút; ebből 721 süllyed



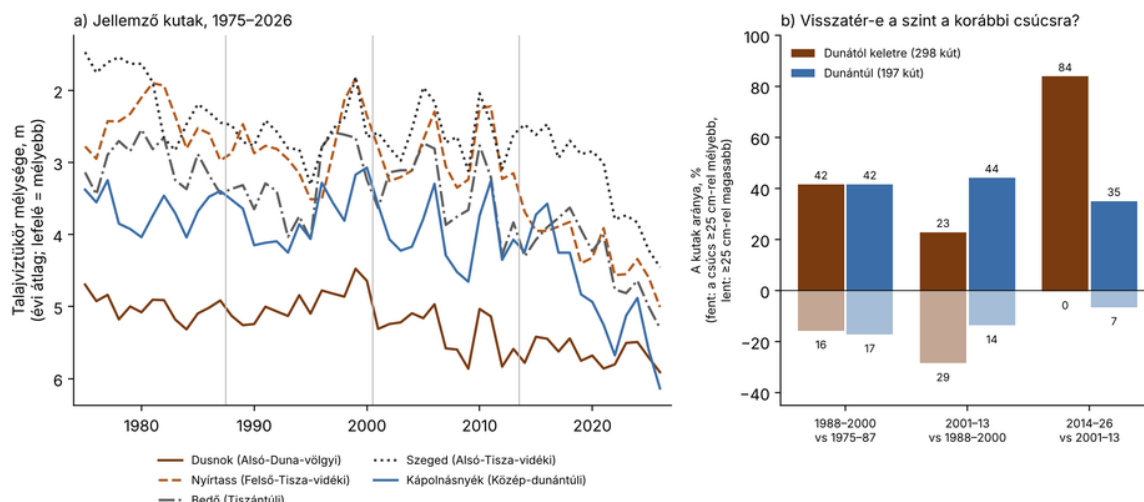
Cm/évtized, augusztusi szint, kutanként Theil–Sen-mereedség; legalább 22 év mérés, a 2026-os érték kötelező. Ország- és megyehatár: NATÉR.

FORRÁS Saját számítás a vízügyi szolgálat nyilvános törzskút-adataiból (data.vizugy.hu, lekérve 2026. október 12-én).

MEGJEGYZÉS Az üres foltok egy része adathiány, nem kúthiány: a Körös-vidéki és a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság kútjainak a portálon nincs elég hosszú sora. A barna árnyalatok süllyedő, a kékek emelkedő talajvíztükört jelölnek.

III/2C. ÁBRA

A talajvízszint ciklikus visszatöltődése a Dunától keletre 2014 óta elmaradt.



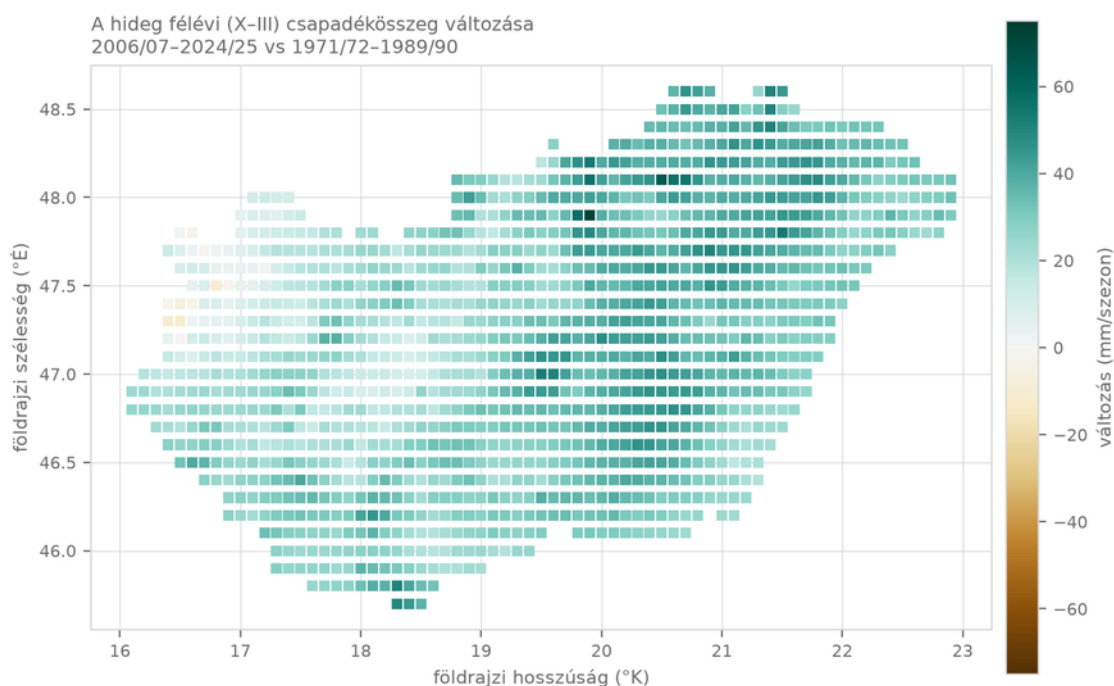
a) Öt jellemző kút évi átlagos talajvízszintje, 1975–2026 (mélység a terepszint alatt, lefelé mélyebb); a függőleges vonalak a tizenhárom éves időszakok határai. b) A kutak aránya, amelyeken az adott időszak legmagasabb évi átlagszintje legalább 25 cm-rel mélyebb (fent), illetve magasabb (lent) az előző időszakénál.

FORRÁS Saját számítás a vízügyi szolgálat nyilvános törzskút-adataiból (data.vizugy.hu, lekérve 2026. október 12-én).

MEGJEGYZÉS A jellemző kutakat igazgatóságokként rögzített szabály választotta ki: a teljes, 52 éves sorú kutak közül az, amelynek a 2014–2026-os lemaradása legközelebb esik az igazgatóság mediánjához. A b) panel 495 kútra épül, amelynek mind a négy időszakban legalább kilenc évi átlaga van.

III/3. TÉRKÉP

A téli félévi (X–III) csapadékösszeg változása, 2006/07–2024/25 az 1971/72–1989/90-es ablakhoz mérve, rácpontonként.



Változás, mm. Téli félév: X–III (október 1. – március 31.). Két egyenlő hosszú, nem átfedő ablak különbsége.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált napi csapadékrácsból.

MEGJEGYZÉS Két egyenlő hosszú, nem átfedő ablak különbsége – nem trendbecslés. Az emelkedés majdnem országos, és legerősebb az Alföld keleti felén: a bemeneti oldal ott javult a legtöbbet, ahol a készlet a legrosszabbul áll.

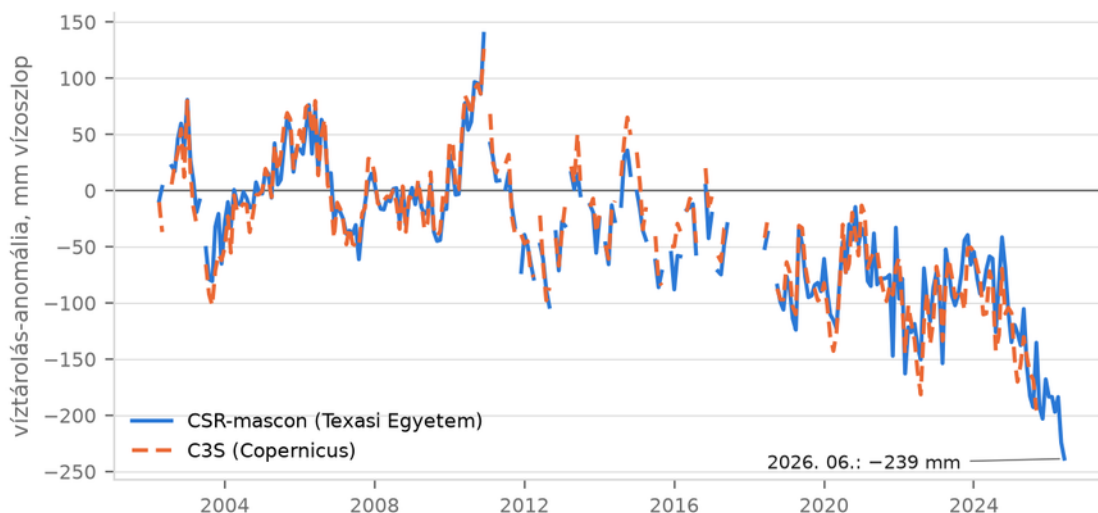
A kútszintek egy mérőhálózat pontjain mért adatok. Az ország egészére kiterjedő, tőlük független kép a GRACE és GRACE-FO műholdpár gravitációs méréseiből adódik, ugyanis a Föld nehézségi terének havi változásából a szárazföldi víztárolás – a talajnedvesség, a talajvíz, a felszíni víz és a hó együttes mennyisége – becsülhető.⁷⁵ Két, intézményileg független feldolgozás ugyanazt mutatja (III/1a. ábra). A 2004–2009-es szinthez mérve a sor első, a viszonyítási éveket is magában foglaló szakaszának (2003–2010) átlaga +3...+5 mm vízoszlop, a 2011–2019-eseké –26...–36 mm, a 2020–2025-ösöké –94...–100 mm. A sorban a törés 2014 (a Copernicus-soron 2016) után jelentkezik, a legalacsonyabb év 2025, és a 2026 közepéig érő feldolgozásban 2026 júniusa a teljes sor legalacsonyabb hónapja, –239 mm-rel. A Kárpát-medence tágabb területén a fogyás nagyobb: 2020–2025-ben –124...–125 mm.

A műholdas mérés két okból nem helyettesíti a kútsorokat. (1) Felbontása durvább az országnál, ezért a magyarországi érték a szomszédos területek jelét is tartalmazza. (2) A teljes víztárolást méri, a fogyás megoszlását a talajvíz, a talajnedvesség és a felszíni víz között nem mutatja. Nagyság-

rendben 100 mm vízoszlop az ország területén mintegy 9 km³ víz. A két mérési mód együtt azt mutatja, hogy a kutakban látott süllyedés a régió egészét érintő készletfogyás része.

III/1A. ÁBRA

A szárazföldön tárolt víz mennyisége Magyarország területén 2014 óta lépcsőzetesen fogy; 2026 júniusa a sor legalacsonyabb hónapja.



Havi víztárolás-anomália, mm vízoszlop, évszakos ciklus nélkül, a 2004–2009-es átlaghoz mérve; 2002–2026.

FORRÁS Saját számítás a CSR GRACE/GRACE-FO RL06.3 mascon és a C3S víztárolás-anomália v1.0 adataiból, a hazai rácspontra eső cellák átlaga.

MEGJEGYZÉS Két független feldolgozás: a Texasi Egyetem Űrkutatási Központjának mascon-megoldása (2026 júniusáig) és a Copernicus éghajlati szolgálat terméke (2025 szeptemberéig). A hazai érték a műholdas mérés felbontása miatt regionális jel.

Mintatárség: a Körös–Sárrét és a Maros, nyugat-dunántúli ellenpárral

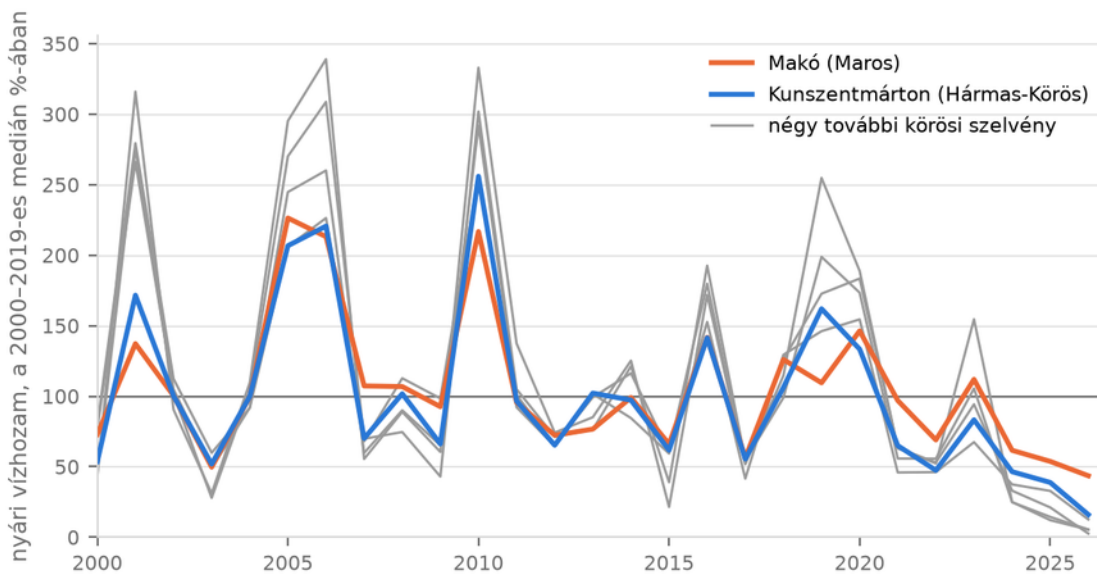
A fenti kép országos átlagokból és tájegységi kútcsoportokból áll. Egy térségen végigkövetve az is látszik, hogyan kapcsolódik össze a felszíni víz, a talajvíz és a termés. A mintatárség a Körös–Sárrét és a Maros alsó szakasza, mert itt 2024 és 2026 között mindhárom mutató egyszerre romlott. Ellenpárként a Nyugat-Dunántúl szolgál, Zala és Vas megye, az ország csapadékosabb, óceáni hatású része.

A felszíni vizeknél a vízhozam a döntő adat, vagyis a folyó keresztmetszélyén másodpercenként átfolyó víz mennyisége. A vízügyi szolgálat hat körösi és marosi vízmércéjét vizsgáltuk: Gyulát, Békést, Körösszakált, Gyomát, Kunszentmárton és Makót. A június–szeptemberi átlagos vízhozam 2026-ban mind a hat helyen a 2000 óta tartó, huszonhét éves sor legalacsonyabb értéke volt. 2023 óta minden évben kisebb volt az előző évinél (III/1b. ábra).⁷⁶ Kunszentmártonnál, a Hármas-Körös alsó szakaszán, a 2000–2019-es nyári medián 68,8 m³/s volt, 2026-ban 11,0 m³/s, vagyis a medián hatoda. A Maros Makónál 127,0 m³/s-ról 55,3 m³/s-ra esett, és a

vízállás ott 2026 nyarán öt napon át a vízmérce nyilvántartott legkisebb vízállása alatt maradt. A duzzasztóművel szabályozott szelvényeken, Gyulán, Békésen és Gyomán, a vízállás a vízhozam eséséhez képest alig változott, mert a műtárgy tartja a szintet, miközben a mederben egyre kevesebb víz halad át. Ezeken a pontokon ezért a vízállás nem mutatja a hiányt, a vízhozam igen. A Hármas-Körös nyári vízjárását a tiszai vízpótlás is alakítja: a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság 2026. júliusi tájékoztatása szerint a Hármas-Körösbe a legtöbb víz a Tisza-Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszeren (TIKEVIR) át, a Hortobágy-Berettyón keresztül érkezik, jellemzően a kiskörei duzzasztó felvizéből. A Körösök saját nyári vize régóta kevés, a rendszert ezért építették. A gyomai és a kunszentmártoni vízhozam így a vízpótlás üzemét is tükrözi, nem csak a vízgyűjtő lefolyását; a felső szakasz mércéi, Gyula és Körösszakál, ettől függetlenek, és ott is a sor legkisebb értékét mértük. A folyók nyári vízjárását a határon túli vízgyűjtő, a román oldali vízkormányzás, a duzzasztás és a vízkivétel együtt alakítja; a fenti értékek a hiányt mérik, nem az okát.

III/1B. ÁBRA

A Körösök és a Maros nyári vízhozama 2023 óta évről évre csökken; 2026 minden vizsgált vízmércén a 2000 óta tartó sor minimuma.



Június-szeptemberi átlagos vízhozam a 2000–2019-es medián százalékában, hat vízmérce, 2000–2026.

FORRÁS Saját számítás a vízügyi szolgálat napi vízhozamadataiból (data.vizugy.hu).

MEGJEGYZÉS A négy további körösi vízmérce: Gyula (Fehér-Körös), Békés (Kettős-Körös), Körösszakál (Sebes-Körös), Gyoma (Hármas-Körös). A 2026-os érték szeptember 27-ig tart.

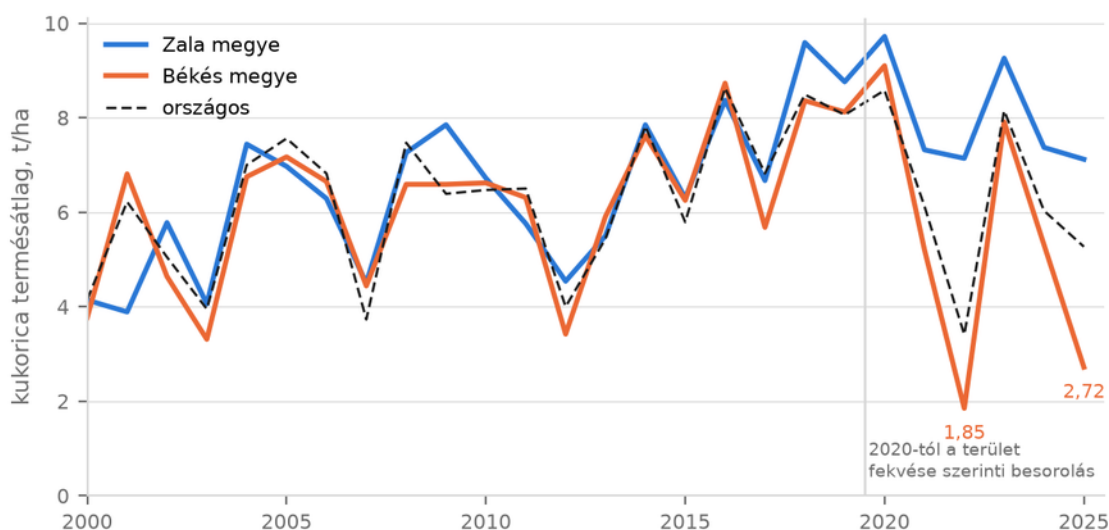
A talajvíz ugyanezt a képet adja. A Körös-Sárrét 21 kiválasztott kútjának mindegyikén süllyed a talajvízszint 2001 óta, a medián ütem 57,7 cm évtizedenként, és 21 kútból 15-ön 2026 augusztusa volt a huszonhat év legalacsonyabb értéke. Zalában ugyanez az eljárás mást mutat: 19 kútból 5

süllyed, a medián ütem $-5,4$ cm évtizedenként, vagyis a talajvízszint enyhén emelkedett, és 2026 augusztusa egyetlen kútnál volt a sor legalacsonyabb értéke. Zala és Vas együtt, 25 kúton ugyanezt adja.⁷⁷

A termésben a két térség 2021 óta különvált. A KSH megyei adatai szerint Békés megye kukorica-termésátlaga a 2010–2019-es évek 6,70 tonnájáról a 2021–2025-ös évek átlagában 4,60 tonnára esett hektáronként, Zaláé ugyanezen időszakok között 7,01-ről 7,64 tonnára nőtt. A 2022-es aszályévben a békési termésátlag 1,85 tonna volt, a zalai 7,14, 2025-ben pedig 2,72, illetve 7,12. 2026-ban Békésben az aratási bizottság előzetes adata szerint a megyei átlag 1,4 tonna volt; zalai megyei adat a kézirat lezárásáig nem állt rendelkezésre.²⁴⁸ Békés tehát a két rossz évben a zalai termésátlag negyedét, illetve valamivel több mint harmadát érte el, holott 2020-ig a két megye együtt mozgott (III/1c. ábra).⁷⁸ A termésátlag hektáronkénti érték, ezért a terület változása önmagában nem magyarázza a visszaesést: Békésben a kukorica betakarított területe ugyanezen időszakok között 19, az össztermés 43 százalékkal csökkent, a kiesés nagyobb része tehát hektáronkénti hozamkiesés. Zalában a terület 31 százalékkal csökkent, a termésátlag mégis nőtt (KSH STADAT 19.1.2.5. tábla). A búzánál kisebb a különbség, 2022-ben és 2025-ben Békés a zalai termésátlag kétharmadát adta.

III/1C. ÁBRA

Békés és Zala kukorica-termésátlaga 2020-ig együtt mozgott; 2021 óta a száraz években szétválnak.



Kukorica-termésátlag, t/ha, Békés és Zala megye, országos átlaggal, 2000–2025.

FORRÁS KSH STADAT 19.1.2.5. tábla, saját feldolgozás.

MEGJEGYZÉS 2020-tól a KSH a területi adatokat a használt terület fekvése szerinti megyéhez sorolja; korábban a gazdálkodó székhelye szerint. A különbség a száraz évekhez kötődik, 2023-ban szinte eltűnik.

Az ország két részében tehát ugyanaz az évtized két különböző vízmérleget hozott. A Körös–Sárréten a felszíni víz, a talajvíz és a termés együtt romlik, és 2026-ban a vízhozam és a talajvízszint a mérési sor legrosszabb értékén állt. Zalában és Vasban a talajvíz nem süllyed egyirányúan, és a kukoricatermés nem esett vissza. A beavatkozások sorrendje ezért térségenként határozandó meg, és a kiinduló adat nem önmagában a csapadék, hanem a vízhozam, a talajvízszint és a termésátlag együttes sora. Ezt a fenti mérések alapján ajánljuk.

III.2 Amit nem tudunk – és miért baj

A sekély talajvíz és a mélyebb rétegvíz eltérő képet mutat, és ez önmagában is eredmény. A sekély talajvíz a teljes negyedszázadon szinte mindennütt süllyed – lassú, folyamatos leürülés. A mélyebb rétegvíz szintsora ezzel szemben húsz éven át trendmentes, a süllyedés 2019 után jelenik meg, egyszerre széles körben. Egy szigorú, huszonhat évet végig lefedő, 102 kutas országos kútcsoporton:⁷⁹

ablak	változás	p	szint
2001–2019	+0,033 m/évtized (nincs elmozdulás)	0,48	–5,31 → –5,37 m
2019–2026	–1,672 m/évtized	0,0002	–5,37 → –6,55 m

A kutankénti egyetértés is ablakfüggő. 2001 és 2019 között 102-ből 56 kút süllyed, ami lényegében véletlenszerű megoszlás. 2019 és 2026 között 85, a medián elmozdulás –0,61 m. A felszínközeli készlet régóta fogy, a mélyebb rétegvíz szintjének süllyedése viszont a legutóbbi ablak fejleménye.

MÓDSZERTANI RÉSZLET

A törésév adatvezérelt, tehát a hozzá tartozó valószínűségi értéket a törésév-választással együtt kell idézni, és a 2019–2026-os szakasz a legszigorúbb küszöböt csak a 2026-os évjáráttal együtt teljesíti (nélküle $p = 0,0014$). A trendtörés léte viszont ettől független, minden vizsgált lefedettségű küszöbön fennáll, és a 85/102-es előjel-egyöntetűség sem évjáratfüggő.

A trendtörés oka viszont eldöntetlen, és ez a fejezet legfontosabb nyitott kérdése. Két olvasat áll szemben egymással, és mindkettő ugyanazt a görbét adja: (a) a 2021 utáni aszályos időszak a mélyebb rétegvizekre is áttért, vagy (b) megnőtt a rétegvíz-kivétel, amikor a felszíni és a talajvíz elapadt – a rétegvíz épp az a bázis, ahová a kényszer terel. Időzítési feszültség is van, mivel a törés 2019-es, az (a) olvasat aszályos időszaka pedig 2021/22-től indul. Ez nem cáfolja az (a)-t – késleltetett válasz lehet –, de a (b)-nek sem mond ellent. **Eldönteni nem tudjuk, mert kitermelési idősor nincs.** Ez adathiány, nem pedig elemzési hiányosság, hiszen az éghajlati

és a kivételi hatás azért nem különíthető el, mert a kivétel jelentős részben méretlen.

Az elmulasztás kockázata itt a nagyobb. Ha a döntéshozó a rétegvíz elmozdulását „nincs bizonyíték”-ként olvassa – akár a 2001–2019-es sík szakaszra hivatkozva –, egy olyan készletről dönt, amely az ivóvízellátás mintegy harmadát adja,²²⁸ és amelynél a tévedés helyreállítási ideje évtizedes.

Ebből adódik a legolcsóbb beavatkozási pontok egyike, az, hogy a vízkivétel ott is mérhető legyen, ahol ma nem az. Ez beruházás nélkül javítja minden későbbi elemzés minőségét.

III.3 Kisvíz a folyókban

A kisvízi helyzet a Tiszán mérhető és dokumentált. Itt egyetlen olvasási szabályt tartunk: minden kisvízi érték mellett szerepel az időablak, mert a nyári ablakra és a teljes évre számolt gyakoriságok érdemben eltérnek, és a kettő összekeverése a legkönnyebb hiba. 2026-ban az éves minimum januárban fordult elő, ami adatminőségi vagy üzemrendi kérdést vet fel, éghajlati jelként tehát nem olvasható.

A folyók felőli kép látszólag egyértelmű, és éppen ezért kell óvatosnak lenni vele. Nyolc dunai és tiszai vízmércén 2000 és 2026 között az évi maximum vízállás mindenütt csökken – Budapesten –43,9, Szegeden –105,4 cm/évtizeddel. Ezt három okból nem írjuk le trendként. (1) A tesztek száma. Nyolc mérce két mutatóval sok tesztet jelent, és a legkisebb valószínűségi érték sem éri el az elemzésben alkalmazott küszöböt. (2) A vízállás nem vízhozam, mert a mederbevégyődés azonos vízhozam mellett is csökkenő vízállást ad rögzített mércénél; mérten ez a Duna három vizsgált mércéjén (Nagymaros, Budapest, Dunaújváros) és Szolnoknál a csökkenés mintegy 10–25 százalékát magyarázza, Tokajnál, Vásárosnaménynél és Szegeden gyakorlatilag semmit. (3) A felső szélsőérték-tartomány. A 2024. szeptemberi dunai árhullám Budapesten 830 cm volt – a század negyedik legmagasabb évi maximuma.

MÓDSZERTANI RÉSZLET

A geometriai hányad mért érték, nem feltételezés. Közös időbélyegű vízállás–vízhozam párokból, korai és késői ablakra összevetve, a hivatalos összerendelés eltolódása mércénként –1 és –15 cm/évtized között mozog (Szegeden +2). Az évi maximum 40–105 cm/évtizedes csökkenéséből tehát a geometria a három dunai mércén és Szolnoknál mintegy 10–25 %-ot magyaráz, Tokajnál, Vásárosnaménynél és Szegeden gyakorlatilag semmit.

Egy hatóköri megszorítás szükséges, mert enélkül az érték félreérthető. Ez a geometriai hányad a vízmérce-olvasatok mérési korrekciója, nem a talajvízmérleg magyarázó tagja. A mederközeli megcsapolási szint süllyedése helyfüggő mechanizmus, amely a Duna–Tisza köze peremein értelmezhe-

tő, és országosan nem általánosítható. A fejezet talajvízre vonatkozó megállapításai a vízmércéktől független kútsorokra épülnek, tehát a geometriai korrekció azokat nem érinti.

A mért hányad két kérdést dönt el. (1) A „vízállás-csökkenés akár teljes egészében geometriai” olvasat **nem áll** fenn. (2) A fenntartás mégsem tűnik el, mert a mért hányad alsó becslés, hiszen ahol a vízügy egy mércén nem vizsgálta felül a vízállás-vízhozam összerendelést, ott a tényleges mederbe-vágódás a számításban nullaként jelenik meg.⁸⁰

A két folyó (Duna és Tisza) két történet, és ez tervezési szempontból fontosabb, mint a trendkérdés. A hivatalos árvízi készültségi szintekkel mérve, a 2000–2012-es és a 2013–2025-ös ablakot összevetve, az I. fokú készültségi napok száma mind a hét értékelhető mércén legalább felére esett. A III. fokú napok viszont **szétválnak**: a Tiszán gyakorlatilag megszűntek (Szolnok 12,1 → 1,5; Szeged 4,0 → 0; Tokaj 3,8 → 0 nap/év), a Dunán lényegében változatlanok (Budapest 1,0 → 0,8), Mohácson pedig emelkednek. Ez ablakösszevetésként értendő, nem trendként. Mindkét folyó vízgyűjtője nemzetközi, és Magyarország területének mintegy fele a Tisza vízgyűjtőjéhez tartozik. A különbség a táplálásban van: az alpesi hó- és jégkészletből is táplálkozó Duna árvízi tartaléka nem szűnt meg, míg a kárpáti, csapadékvezérelt, kisebb tehetetlenségű tiszai vízgyűjtő viselkedése illeszkedik a II.4 pontban leírt csapadékszerkezethez – kevesebb, de intenzívebb esemény inkább villámárvizet és belvizet ad, mint az egész vízgyűjtőt megemelő tavaszi árhullámot. Ez utóbbi saját értelmezésünk, amely a II.4 pont csapadékszerkezetéből és a két vízgyűjtő eltérő tehetetlenségéből adódik, vízhozamadaton pedig nem ellenőrzött. Azért közöljük, mert a két folyó árvízi kockázatának szétválása tervezési következménnyel jár akkor is, ha a mechanizmus igazolása még hátravan.

III/4. ÁBRA

Nyári minimum vízhozamok a Tiszán, Tiszapalkonyánál, 1996–2026, június 1. – augusztus 30. ablak.



Vízhozam, m³/s. Ablak: június 1. – augusztus 30.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos vízrajzi sorból.

MEGJEGYZÉS Az ablak megnevezése kötelező: a teljes évre számolt gyakoriságok érdemben eltérnek.

III.4 Intenzív csapadék és árvíz

Az aszályra összpontosító figyelem nem szoríthatja háttérbe a csapadék-szélsőség másik előjelét. Az intenzív csapadék intenzitása nő, a trend azonban a vizsgált ablakon nem éri el a szokásos szignifikanciaküszöböt – ezt így, kerekítés nélkül közöljük. Az árvízi kockázat a két nagy folyón **szétválí**, és a villámárvízi kockázat nem a nagy folyókon, hanem a kis-vízgyűjtőkön jelentkezik.

A hazai kutatás is hangsúlyozza, hogy az aszály, a hőhullám és a hirtelen árvíz közös gyökere a felszíni vízháztartás – a párolgásra elérhető víz hiánya. Ugyanaz a felszín, amely nem tud párologtatni, nem tud beszivárogtatni sem. Egy 2026-os, hazai társszerzőkkel készült nemzetközi attribúciós elemzés ugyanerre az eredményre jut a keleti országrészre nézve: a megnőtt párolgási igény **előbbre hozta az aszály kialakulásának küszöbét** – az a csapadékhiány, amely korábban nem okozott volna aszályt, ma aszályhoz vezet –, miközben a csapadék hathónapos ablakon alig változott.⁸¹

Van egy mechanizmus, amelyet nem írunk le, mert nincs rá mérés. Kézenfekvő volna azt állítani, hogy ha ugyanannyi víz egyre intenzívebb eseményekben érkezik, akkor a lefolyó hányad nő és a beszivárgóé csökken – ez kötné össze a II.4 csapadékszerkezetét a III.1 pontban leírt kész-

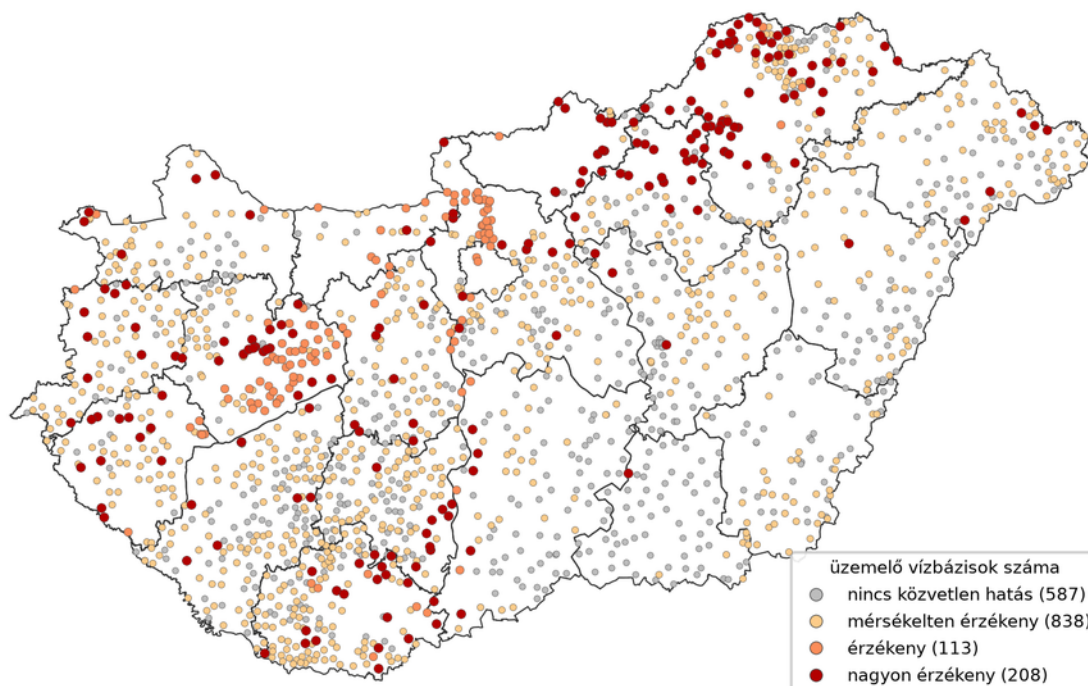
letfogyással. **Három megszorítás nélkül ez nem írható le, és mindhárom fennáll.** (1) Hazai adat nincs, a vízügyi talajnedvesség- és órás csapadék-hálózat a vizsgált időszakra üres. (2) A hatás talajtípusfüggő, és épp a homokos felszínen a legkevésbé várható – ott intenzív csapadék kell ahhoz, hogy egyáltalán felszíni lefolyás legyen. (3) Felsőszáraz, homokos térségben a talajvíz-utánpótlás épp a *szélsőséges* csapadéktól függhet, mert az intenzív eső a párolgási veszteséget megkerülve **több** feltöltést ad.⁸² A **lefo-lyás–beszivárgás arány változása tehát hipotézis, nem mért eredmény** – a mérésére szolgáló hálózat létezik, és üres.

III.5 Ivóvízbázisok, beszivárgás, villámárvíz: amit a hivatalos térinformatikai rendszer hozzátesz

A vízkészlet fogyása az ivóvízellátást is érinti, és erről a nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer ad országos képet. A rendszer 2029 ivóvízbázist sorol éghajlati érzékenységi kategóriába.⁸³ Az **1746 üzemelő vízbázisból 208, tehát 11,9 százalék nagyon érzékeny, további 113 érzékeny.** Mérsékelt érzékeny 838, közvetlen éghajlati hatás nélküli 587. A kategóriák a vízadó típusát követik, és az érzékenység a mélységgel csökken: a legérzékenyebb osztályban a harminc méternél sekélyebb porózus vízadók, a járatos karsztok és a felszíni vízkivételek állnak, a 100 méternél mélyebb porózus rétegvizek – mind a 651 ilyen vízbázis – a közvetlen éghajlati hatás nélküli osztályban. A 2020-as módszertani jelentés ugyan- ezt állapítja meg: a mély rétegvízkészletek a legkevésbé érzékenyek az éghajlati hatásokra. Egy ponton a jelentés és az országos réteg eltér egymástól, a jelentés táblázata ugyanis a parti szűrésű vízkivételt a legérzékenyebbek közé sorolja, az országos réteg viszont egy fokkal lejjebb, az érzékenyek közé. A teljes állományban a legnagyobb csoport a 30–100 méteres porózus vízadó (860 vízbázis), ezt a 100 méternél mélyebb követi (651), harminc méternél sekélyebb 219, parti szűrésű 90, nyílt karsztos 73. A fennmaradó 137 fedett karsztos (49), repedezett (29), járatos karsztos (26), felszíni (16) és egyéb (17) vízadón áll. A vízadótípus-réteg egy vízbázissal többet, 2030-at tartalmaz.

III/5. TÉRKÉP

A nagyon érzékeny ivóvízbázisok zöme sekély porózus vízadón áll, és a Dunántúlon meg az északi hegységvidéken sűrűsödik.



Üzemelő ivóvízbázisok éghajlati érzékenységi kategóriája; a jelmagyarázat a vízbázisok számát közli.

FORRÁS A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer rétege, a térkép saját szerkesztés a lekérdezett nyers rétegből.

MEGJEGYZÉS Az érzékenység a vízáadó adottsága, és lassan változik; az üzemállapot a felmérés idejét tükrözi. A 208 nagyon érzékeny üzemelő vízbázisból 169 sekély porózus, 25 járatos karsztos, 13 felszíni vízkivétel; egy vízbázis típusa a két térképi réteg összekapcsolásakor nem egyértelmű.

Településszinten a kép élesebb, de a hatóköre szűkebb, mert a felmérés a bevont tíz nagy víziközmű-szolgáltató ellátási területét fedi le, nem az országot. Az értékelt 1495 település közül (a jelentés táblázata 1498-at ír) 421 kerül a nagyon érzékeny kategóriába. Ugyanez a rétegcsoport a felszín alatti vizek igénybevételét is minősíti: 11 település kiemelten, 80 fokozottan igénybe vett; a minősítés a 100 méternél mélyebb porózus vízbázisok tartós vízszintsüllyedését jelzi. Ez tehát **mély rétegvízi, ivóvízcélú jelzés, nem a III.1 pontban tárgyalt, sekély talajvizet érintő kivételről szól, ezért a III.1 kivételi oldali tételét nem dönti el.** Azt viszont megmutatja, hogy a felszín alatti vizek igénybevételének településszintű minősítésére van hazai módszer. Két megszorítás szükséges. (1) Az érzékenység a vízáadó adottsága, és lassan változik. (2) Az igénybevétel és az üzemállapot viszont a felmérés idejét tükrözi, a jelentés szerint a 2018. októberi állapotot. Az alapmunka 2015-ben készült, a kiterjesztése 2020-ban, tíz víziközmű-szolgáltató bevonásával.⁸³

A rendszer a talajvízre modellezett alapállapotot is közöl: a számított beszivárgás harmincéves átlagát az 1975–2004-es időszakra.⁸⁴ A réteg szerint az ország területének 23,0 százalékán a beszivárgás évi 15 milliméter alatt marad, 56,5 százalékán évi 35 milliméter alatt. Ez modellezett érték, más mennyiség és más ablak, mint a III.1 pont mért adata. A kettő ezért nem adható össze, és egymás megerősítéseként nem idézhető. A réteg az országos nagyságrendet adja a mért tájegységi sorok mögé.

Az intenzív csapadék oldalán a rendszer 2120 hegy- és dombvidéki vízgyűjtőt minősít villámárvíz-veszély szerint. Közülük 367 fokozottan, 539 erősebben veszélyeztetett.⁸⁵ A minősítés a vízgyűjtők domborzati és felszíni adottságaira épül, tehát lassan változó réteg. Azt mutatja meg, hol okozhat villámárvizet a III.4 pontban leírt intenzívcsapadék-növekedés. A minősítés a veszélyt és a kitettséget jelzi, a villámárvizek kárát viszont nem számszerűsítjük, mert a nyilvános kársorokban nincs veszélymenkénti bontás (V.2).

IV

A FEJEZET SZAKASZAI

IV.1	Emberi egészség	86
IV.2	A sérülékenységi adatok elavultak	94
IV.3	Mezőgazdaság	97
IV.4	Energia és víz kereszteződése	101

Kitettség és sérülékenység – a kockázat elfelejtett két tényezője

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Közismert irány, hazai szám

A hazai sor szerint a hőség 2011 és 2023 között évente átlagosan 814 többlethalálozással járt, 28 és 1741 közötti szélsőértékekkel.

Új – nemzetközi irodalom és hazai mérés

A hőségnek tulajdonított halálozás szinte teljesen a 75 év felettiekre esik, és e korcsoport hőségterhelése 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese.

Intézményi hiány

A hivatalos sérülékenységi adatok 2005–2014-es, a népességvetítés 2011-es bázison áll.

IV.1 Emberi egészség

A hőség egészségügyi hatása a legjobban dokumentált magyar sérülékenységi lánc, és itt szerepel az elemzés egyik olyan értéke, amely lektorált hazai közleményből, nem saját számításból származik. 2011 és 2023 között az éves országos többlethalálozás átlagosan 814 fő, 28 és 1741 közötti szélsőértékekkel.⁸⁶ A hőhullámok alatt Európa-szerte 11–35 % közötti többlethalálozást regisztrálnak a bevezetett riasztási rendszerek ellenére. A hazai hőségriasztást 2005-ben dolgozták ki, és azóta évente egy-öt alkalommal vált szükségessé a kihirdetése.

Ez az érték két ponton félreidezhető. Az egyik a mennyiség. A többlethalálozás (összes ok) és a hőségnek tulajdonított halálozás két különböző mennyiség, a fenti szám az előbbihez tartozik, így attribúciós becslések-

kel közvetlenül nem vethető össze. A másik a forrás, mivel a hivatkozott közlemény összefoglaló jellegű, az érték pedig a benne idézett adatbázisból származik, amelynek elsődleges módszertani leírását külön be kell szerezni, ha a módszertant is idézni akarjuk.

Ugyanakkor 2026 nyaráról érkezett egy előzetes eredmény, amelyet csak jelzésként közlünk. Az adatgazda által előzetesnek jelölt halálozási adatokból a június végi, rekordot döntő hőhullám idejére jelentős többlethalálozás nem volt kimutatható. Ez az elemzés leggyengébben alátámasztott számszerű állítása, ezért itt minőségi jelzésként szerepel, az elsődleges, aktualizált idősor beszerzéséig pedig a kérdés nyitott. A két hiba nem szimmetrikus – egy téves „nem volt többlet” a felkészülés leépítését igazolná –, ezért ebből tervezési következtetést nem vonunk le.⁸⁷

A két megállapítás összeegyeztethető, de együtt kell olvasni őket. Ha az előzetes eredmény az elsődleges idősoron megerősítést nyer, háromféle magyarázatot enged meg, amelyek közül egyik sem zárható ki:

- 1 Az alkalmazkodás működik** – a hőségriasztási rendszer, a klimatizáció terjedése és a lakossági tudatosság csökkentette a hatást.
- 2 A mutató érzéketlen** – a többlethalálozás durva mérőszám, így csak a nagy eltérés látszik meg benne, a kisebb, valós hatás rejtve maradhat.
- 3 Az esemény szerkezete más volt** – rövidebb, más évszaki elhelyezkedésű, vagy a sérülékeny csoportokat kevésbé érintő lefolyás.

Az első magyarázathoz egy német vizsgálat ad fontos figyelmeztetést. Huber és munkatársai (2025) a 15 legnépesebb német város 1993–2022-es adatain azt találták, hogy a hőséghez köthető többlethalálozás a legtöbb városban csökkent, holott a nyarak melegek. Az ok a hőségérzékenység csökkenése volt, amely a várható élettartam javulásával járt együtt. Ha a várható élettartam nem javult volna, az éghajlatváltozás növekvő trendet okozott volna. A hőséghez köthető többlethalálozás éghajlatváltozásnak tulajdonítható hányada közben évtizedenként 5,6 százalékponttal nőtt (95 százalékos bizonytalansági sáv: 2,6–8,6), és a vizsgált időszakban átlagosan 53,6 százalék volt.⁸⁸ A csökkenő vagy stagnáló halálozási szám ezért nem jelenti az éghajlati hatás gyengülését, mert azt egy nem éghajlati javulás is elfedheti. A magyar helyzet ebben két irányban is eltérhet a némettől: a várható élettartam pályája más, és a 75 év feletti hőségterhelése 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese (IV.2), ami az elfedő hatással ellentétes irányba hat.

Magyar városokra egy 2026. októberi európai vizsgálat ad először becslést arról, hogy a hőségahalálozás mekkora része tulajdonítható az emberi te-

vékenység okozta melegedésnek. Barnes és munkatársai 854 európai város 2000–2025-ös nyarait modellezték, köztük azokat a magyar városokat, amelyekben az ország lakosságának mintegy 29 százaléka él.²⁴⁷ Ezekben évente átlagosan mintegy 390 haláleset tulajdonítható a hőségnek, ennek 56 százaléka (37–72) az ember okozta melegedés következménye, ami közel áll a fenti német 53,6 százalékhoz. Budapesten 2025-ben a becslés 210 hőseghalált ad, többet, mint 2003-ban, és ennek 76 százaléka tulajdonítható a melegedésnek. Európai átlagban ez az arány 2000 és 2025 között 39-ről 68 százalékra nőtt. A becslés modellszámítás, amely a megfigyelt halálesetek helyett a hőmérsékletből számolt terhet adja. A hőmérséklet és a halálozás kapcsolatát állandónak veszi, így a fent leírt alkalmazkodást figyelmen kívül hagyja, a szerzők szerint pedig az abszolút terhet inkább alulbecsüli. A 2025-ös budapesti érték iránya eltér attól, amit az országos heti halálozási adatok 2025-re mutatnak (lásd alább), az eltérés okának eldöntéséhez pedig ma hiányzik a hazai adat. A vizsgálat abszolút számai a városi mintára vonatkoznak, vagyis más körre, mint a fenti országos becslések.

A tervezési következtetés az, hogy a hőség–halálozás kapcsolat nem mechanikus hőmérsékleti függvény – ez a lektorált hazai soron is látszik, ahol az éves többlethalálozás 28 és 1741 fő között szór. Ha az alkalmazkodás számít, az egyszerre jó hír és figyelmeztetés, mert a védekezési rendszer leépítése azonnal visszaütne. A megfelelő mutató nem a rekordhőmérséklet, hanem a küszöb feletti napok terhelése és a valós idejű halálozási adat elérhetősége.

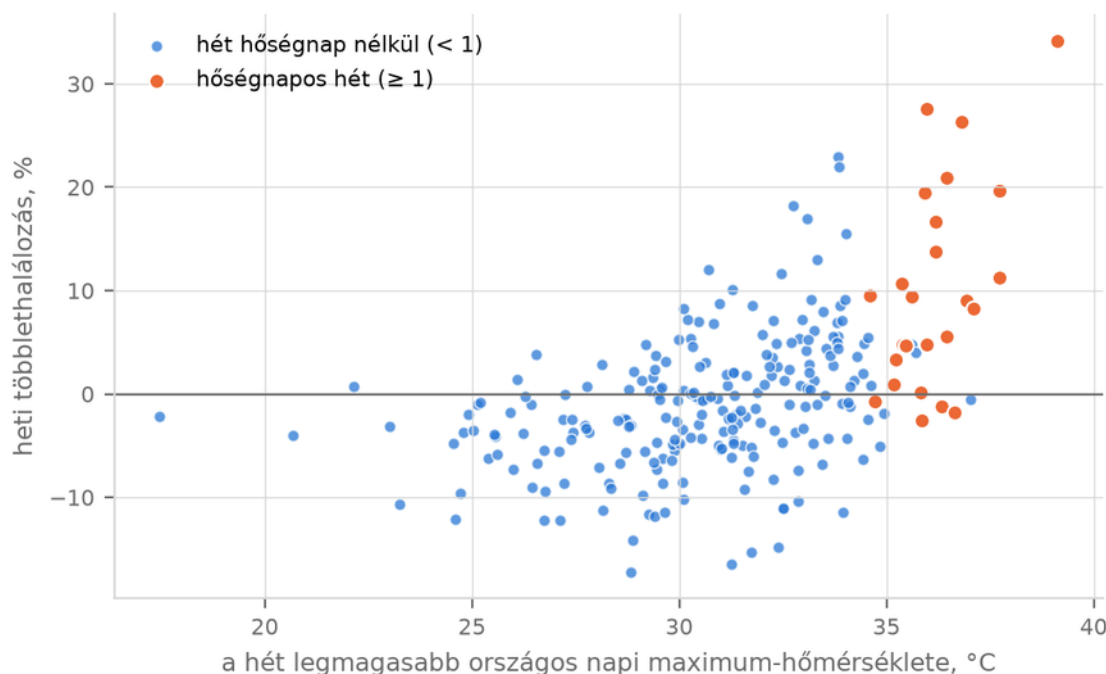
Az alábbi számítás az Eurostat heti halálozási idősorára épül, tehát a fentebb hiányolt elsődleges idősor előzetes közlésére, amelyben a 2025-ös és 2026-os hetek továbbra is előzetesek. Az idősor és a hazai hőmérsékleti rács összevetése a fenti képet számszerűen is alátámasztja.⁸⁹ A 2005 és 2025 közötti nyarakon, a járványévek (2020–2022) nélkül, a heti többlethalálozás és a hét legmagasabb országos napi maximum-hőmérséklete között közepesen erős kapcsolat áll fenn (Spearman-féle $\rho = 0,52$; IV/1. ábra). Azokon a heteken, amelyekre országos átlagban legalább egy forró nap esett, a halálozás átlagosan **10 százalékkal**, hetente mintegy 230 esettel haladta meg az előző évek azonos hetének szintjét, míg a forró nap nélküli nyári heteken többlet nem mutatkozott. A hatás tehát mérhető, és a forró napos hetekhez kötődik.

Az évek között viszont nagy a szórás. A forró napos hetek többlete 2015-ben mintegy 1400, 2024-ben mintegy 1450 eset volt, 2025-ben öt forró napos hét mellett gyakorlatilag nulla. 2026. június végén, a rekordot döntő

hőhullám hetén az előzetes adatok 5–6 százalékos többletet mutatnak, a forró napos hetek átlagának mintegy felét. A 2025-ös és a 2026-os érték egyaránt előzetes, és a késve beérkező adatok felfelé módosíthatják. Ha a két alacsony érték a végleges adaton is megmarad, az a fenti három magyarázat közül az alkalmazkodás és az eseményszerkezet felé billenti a mérleget, addig pedig a két év együtt azt mutatja, hogy a hőség halálozási hatása évről évre erősen változik. A két tévedés itt sem szimmetrikus. Egy alaptalan „a hatás elmúlt” olvasat a felkészülés leépítését igazolná, ezért ebből az adatból sem vonunk le tervezési következtetést. Egy független elemzés a KSH augusztus 30-ig terjedő adatain a második nyári hőhullám (július 29. – augusztus 17.) idején nem talált kimutatható többlet-halálozást. Lehetséges okként a késve beérkező adatot és az alkalmazkodást nevezi meg, valamint azt, hogy az első hőhullám a legsérülékenyebbek egy részének halálát előrehozta: az ezt követő elmaradást, a halálozási völgyet a második hullám többlete tölthette ki, ezért a többlet a heti adatban nem látszik. Ez az elemzés szerint a rendelkezésre álló adatból nem számszerűsíthető.²⁴⁹

IV/1. ÁBRA

A heti többlethalálozás a hét legmagasabb hőmérsékletével együtt nő; a forró napos hetek többnyire a többlet oldalán vannak.



Nyári hetek (a 22–35. naptári hét, nagyjából június–augusztus), 2005–2025, a 2020–2022-es évek nélkül; többlet az előző öt év azonos hetének mediánjához, %.

FORRÁS Saját számítás az Eurostat heti halálozási idősorából és a HungaroMet homogenizált napi rácsából.

MEGJEGYZÉS Narancs pont: országos átlagban legalább egy forró napos hét. Összes okú többlethalálozás, nem a hőségnek tulajdonított halálozás. A 2025-ös hetek előzetes adatok.

A harmadik forrás más mennyiséget mér, más módszerrel. A barcelonai ISGlobal kutatóintézet és partnerei (Janoš és munkatársai, 2025) az európai heti halálozási adatokból és a napi hőmérsékletből statisztikai modellel becsülik, hány haláleset tulajdonítható a hőségnek június 1. és szeptember 30. között. Magyarországra a becslés 2022-re 1013, 2023-ra 555, 2024-re 1443 hőségnek tulajdonított halálesetet ad, egymillió lakosra 105, 58, illetve 150 esetet; a 95 százalékos bizonytalansági sáv mindhárom évben széles (2024-ben 138 és 2542 között).⁹⁰ Ez a becslés más mennyiség, mint a fenti többlethalálozás. Az a riasztási napok megfigyelt többletét számolja, ez a teljes nyár modellezett hőséghatását, a mérsékelt meleg napokat is beleértve, ezért a kettő nem vethető és nem adható össze.

A becslés korcsoportonként is elkészült, és ebben a bontásban a legegyszerűbb a kép. A 75 év felettek körében a hőségnek tulajdonított halálozás egymillió lakosra 2022-ben 1158, 2023-ban 629, 2024-ben 1668 eset volt. A 0–74 évesek körében ugyanez 15, 7, illetve 19, a bizonytalansági sáv pedig mindhárom évben a nullát is magában foglalja. A hőség halálozási terhe tehát szinte teljesen a legidősebb korcsoportra esik. 2024-ben a 75 év felettekre jutó arány a fiatalabbakénak közel kilencvenszerese. A két korcsoport becslése külön készült, ezért összegük nem adja ki az országos számot, és arányuk nem olvasható a halálesetek megoszlásaként.

Ez adja a hőségterhelési mutató súlyát. A 75 év felettek forró napokban mért terhelése 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese (IV.2), és a fenti becslés szerint éppen ez a korcsoport viseli a hőség halálozási terhének döntő részét. Két hiány korlátozza a képet: a hazai, riasztási napokra épülő sor 2023-mal zárul, és 2025-re egyik forrás sem közöl országos becslést.

A heti adatnál pontosabb képet ad a KSH napi halálozási sora, amelyre saját számításunk épül.⁹¹ A Demográfiai évkönyv 2011 és 2024 között minden napra közli az országos halálozást. Ezt vetettük össze a hazai homogenizált rács napi országos középhőmérsékletével, a járványévek (2020–2022) nélkül. A módszer a hőség és a halálozás kapcsolatának vizsgálatában széles körben használt elosztott késleltetésű modell, amely a hőmérséklet hatását a hőséges nap után 21 napig követi (IV/2. ábra). Az elemzési tervet a futtatás előtt rögzítettük, az eredményeket pedig egy független újraszámítás más modellelcsaláddal, a nyers adatokból megismételte (G.6).

Három eredmény adódik:

Az első eredmény az időzítés. A hőség halálozási hatása azonnal jelentke-

zik, nem hetekkel később, a többlet a hőséges napon a legnagyobb, és négy-öt nap alatt lecseng.

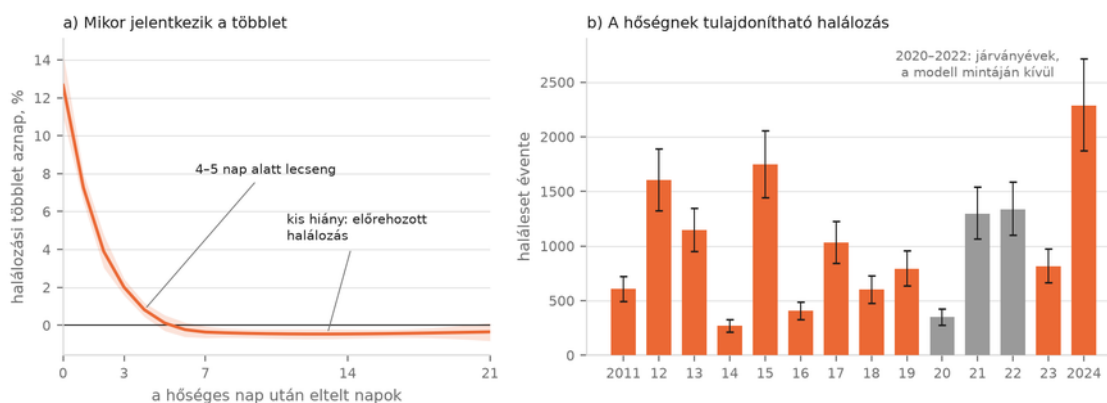
A második eredmény az előrehozott halálozás. Egy rövid távú többlet elvileg csak néhány nappal előrehozott halál is lehetne: olyanoké, akik a hőség nélkül is hamarosan meghaltak volna. Ennek jele a többletet követő napok halálozási hiánya, és ez a magyar adatokon kis mértékben látszik is. A legmelegebb napok – a napok legmelegebb 1 százaléka, 27 °C körüli országos napi középhőmérséklettel – rövid távú többletének azonban csak mintegy negyede-harmada egyenlítődik ki három héten belül, a többi pedig legalább háromhetes életveszteség. A nemzetközi irodalom szerint a napi elemzésekben a hőségnek tulajdonított halálesetek többsége legalább egy évvel rövidíti meg az életet.⁹²

A harmadik eredmény a nagyságrend. A 21 napos hatást összegezve 2011 és 2024 között, a járványévek nélkül, évente átlagosan mintegy 1000 haláleset tulajdonítható a hőségnek. A legmagasabb érték 2024-é: mintegy 2300 haláleset (95 százalékos bizonytalansági sáv: 1900–2700). Utána 2015 és 2012 következik. 2024. július 10. és 25. között a 16 nap mintegy 6100 halálesetéből a modell szerint mintegy 1060 tulajdonítható a hőségnek. Ugyanebben az évben a hivatalos halálok-statisztika 27 esetet rögzített hőhalálként.⁹³ A két szám más mennyiség, ezért arányuk nem mért adat, a nagyságrend azonban egyértelműen azt mutatja, hogy a hőség okozta halálozás döntő része nem hőhalálként, hanem más halálokok mögött jelenik meg. A hőség halálozási hatása tehát azonnal, de a halálok-statisztikában rejtve jelentkezik.

Ez a szám eltér a fenti 814 fős többlethalálozástól, és nem adható össze vele. Az a riasztási napok megfigyelt többletét méri, ez minden 21,9 °C feletti országos napi középhőmérsékletű nap modellezett hatását, a riasztás alatti, mérsékelten meleg napokat is beleértve. Az ISGlobal-beccsléssel egy családba tartozik, de attól is eltér, mert ez napi adathból és a teljes évre, az heti adathból és a június–szeptemberi időszakra számol. 2024-re a két beccslés bizonytalansági sávja átfed. Az eredmény három fenntartással érvényes. Az országos átlaghőmérséklet a területi különbségeket nem kezeli. A napi adat összes okú, mert okspecifikus napi halálozási adat nem nyilvános. Az előrehozott hányad beccslése érzékeny az időtrend kezelésére, ezért sávként közöljük.

IV/2. ÁBRA

A hőség halálozási hatása azonnali, és nagyobb része nem csak előrehozott halál; 2024-ben mintegy 2300 halálozást tulajdonítható a hőségnek.



a) A halálozási többlet napról napra egy, a napok legmelegebb 1 százalékába tartozó nap (27,2 °C országos napi középhőmérséklet) után, a minimális halálozású 21,9 °C-hoz képest. b) A hőségnek tulajdonítható halálozás évente, 21 napos késleltetéssel, 2011–2024.

FORRÁS Saját számítás a KSH Demográfiai évkönyv napi halálozási táblájából és a HungaroMet homogenizált napi rácsából.

MEGJEGYZÉS Sáv és hibaszám: 95 százalékos bizonytalansági tartomány. A 2020–2022-es évek (szürke) a modell mintáján kívül esnek, csak tájékoztatók. A hőségnek tulajdonított halálozás modellszámítás, nem a megfigyelt többlethalálozás.

Két újabb európai tanulmány ad magyar értéket, más kérdésre. Beck és munkatársai (2026) eseményattribúcióval vizsgálták a 2022-es nyarat, vagyis azt, hogy az emberi eredetű melegedés mennyivel tette valószínűbbé az akkori hőségahalálozást. A magyar régiókban a 2022-höz hasonló hőségahalálozási esemény valószínűsége az iparosodás előtti éghajlat-hoz képest 1,9–4,4-szeresére nőtt, a magyar régiók mediánja 3,0, az európai régióké 3,4, tehát kissé az európai alatt van, Dél-Európában viszont ugyanez a szorzó átlagosan 26,5.⁹⁴ A 2022-es nyár legtöbb halálesettel járó hetén a magyar régiókban a halálesetek 4,4–7,6 százaléka volt a hőségnek tulajdonítható. Az arány az Észak- és a Dél-Alföldön volt a legmagasabb, 7,6 és 7,1 százalék, a Közép- és a Nyugat-Dunántúlon a legalacsonyabb, 4,4 és 4,5 százalék. Wu és munkatársai (2025) a jövőre vetítenek, alkalmazkodás nélkül, a 2010–2019-es alkalmazkodási szintet változatlanul véve. Eszerint Magyarországon a hőségnek tulajdonított halálozás 1,5 °C-os globális melegedésnél évente egymillió lakosra 146, 4 °C-nál 1105 eset lehet, és a tanulmány Magyarországot a feltörekvő európai gócpontok közé sorolja.⁹⁵ Egyik érték sem vethető össze közvetlenül a fenti hazai és ISGlobal-értékekkel, mert más mennyiségre, más időszakra és más módszerre vonatkoznak.

A halálozáson túl: megbetegedés, ellátórendszer, célcsoportok

A halálozás a hőség egészségi terhének csak a legjobban mérhető része. Az egyetlen országos, lektorált hazai megbetegedési vizsgálat a népesség véletlen felének sürgősségi ellátási adatán (3,52 millió eset, 2009–2017) azt találta, hogy egy 25 °C fölötti napi középhőmérsékletű nap a következő tizenegy napban 1,6 százalékkal, egy hóhullámnapi 2,0 százalékkal növeli a sürgősségi esetek számát. Az 1950–1989-es szinthez mért melegezés 2009 és 2017 között mintegy 46 800 többletesetet okozott (95 százalékos sáv: 39 300–54 200). A hatás az alacsony jövedelmű járásokban 30–35, a háziiorvoshiányos járásokban 35–50 százalékkal nagyobb.⁹⁶ Ez sérülékenységi adat, amely azt mutatja, hogy a hőség az ellátórendszert ott terheli a legjobban, ahol az alapellátás a leggyengébb. A sor 2017-ben zárul, és hóhullám alatti kórházi felvételi és mentőszolgálati idősor nyilvánosan nem érhető el (Melléklet F), így az ellátórendszer hőségterhelését ma senki nem követi folyamatosan.

A nemzetközi irodalom és a hazai intézményi felmérések négy csoportot neveznek meg, amelyeknél a halálozási mutató önmagában nem elég jelzés:

- **Idősek.** Rájuk esik a halálozási teher döntő része (fent). A szociális intézmények 88 százalékában nem volt klimatizált helyiség, és 33,6 százalékuknak volt hőségterve (2019-es felmérés).⁹⁷
- **Krónikus betegek és fekvőbeteg-ellátásban lévő.** Vízhajtót, béta-blokkolót vagy antipszichotikumot szedő idős betegeknél hóhullám alatt 21–33 százalékkal több a hőség miatti kórházi felvétel (amerikai adat).⁹⁸
- **Várandósok és kisgyermek.** A rövid hóhullám is azonnal növeli a koraszülés és a csecsemőkori ártalom kockázatát: hóhullám alatt a koraszülés esélye 16 százalékkal nagyobb (70 vizsgálat összesítése). A várandósság és a korai gyermekkor tartós hőterhelése a növekedés lassulásával és a férállomány érésének elmaradásával jár.⁹⁹ A bölcsődék 79, az óvodák 72 százalékában nem volt klimatizált helyiség.⁹⁷
- **Szabadtéri dolgozók.** A munkahelyi sérülések száma fokként 1, hóhullám alatt 17,4 százalékkal nő (nemzetközi metaanalízis).¹⁰⁰ A hazai munkavédelmi szabályozás a hőségre vonatkozó kötelezettségeket rögzíti, hőséghez köthető hazai munkabaleseti statisztika azonban nincs.

A négy csoportot azért tárgyaljuk külön, mert a megbetegedés, a munkabaleset és a szülészeti ártalom több embert érint, mint a halálozás, és egyikről sincs hazai nyomon követés. A hőség egészségi terhe ezért nagyobb, mint amit a fenti halálozási számok mutatnak, de hogy

menyivel, azt hazai adatból ma nem lehet megbecsülni. Ez saját következtetésünk, hazai becslés nem támasztja alá.

IV.2 A sérülékenységi adatok elavultak

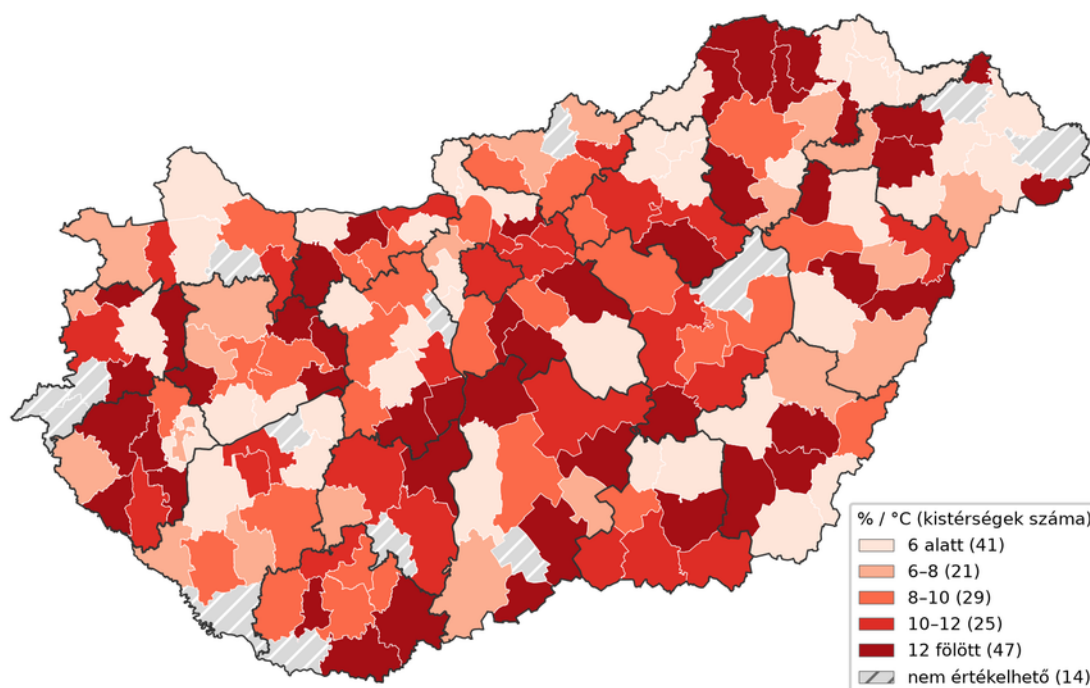
Itt következik az elemzés legkellemetlenebb intézményi megállapítása. A hivatalos nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer tartalmaz egy hőhullám-érzékenységi réteget – az egy fokra eső napi többlethalálózást kistérségi és megyei bontásban. Ez pontosan az a fajta adat, amelyre a kockázatelemzésnek szüksége van. **Az ablaka azonban 2005–2014, tehát több mint egy évtizede zárult.** Ugyanennek a rendszernek a klímarétege az előző modellgenerációra (CMIP5-kori regionális modellek) épül, 2021–2050-es és 2071–2100-as ablakokkal, három különböző referenciaidőszakkal, amelyek egyike sem azonos azzal, amit az újabb hivatalos termékek használnak.¹⁰¹

Az elavulás kézzelfogható. A rendszer alapját adó vizsgálat szerint az országos, hőségnek tulajdonítható éves többlethalálózás a 2005–2014-es ablakban mintegy 780 eset, és 2021–2050-re nagyjából 2000-re, 2071–2100-ra átlagosan 5800-ra emelkedik – **változatlan sérülékenységet és változatlan népességet feltételezve.** Éppen ez a feltevés a gyenge pont, hiszen a **hőségriasztási rendszer 2005 óta működik**, a klimatizáció terjedt, a lakossági tudatosság nőtt – a sérülékenység tehát a mérési ablak lezárása óta feltehetően mozdult, csak nem tudjuk, mennyit. Az egy évtizede zárult ablakra épülő sérülékenységi réteg így nem egyszerűen régi, hanem a mai kockázatra vonatkozóan irányában is bizonytalan, mert nem tudható, hogy felfelé vagy lefelé téved.

A rendszer megfigyelési rétege ennél többet is mond, és ez a rész lassabban avul (IV/3. térkép). A 2005–2014-es ablakban a hőhullámos napok küszöbhőmérséklete kistérségenként 22,3 és 25,4 °C között van.¹⁰² Az 1 °C többlethőmérsékletre eső napi többlethalálózás mediánja a 163 értékelhető kistérségben 9,5 százalék, a kistérségek középső nyolcvan százaléka pedig 2,9 és 16,2 százalék között szóródik. **A szóródás jó része kis esetszámból ered, ezért a réteg maga közöl megbízhatósági kategóriát:** a réteg 177 kistérségi egységéből 98 magas, 56 közepes megbízhatóságú, 9 tájékoztató jellegű, 14 nem értékelhető. Tervezési olvasatra ezért a megyei szint a biztosabb, ahol a tartomány 5,5 és 11,2 százalék között van, a legmagasabb érték pedig Budapesté.

IV/3. TÉRKÉP

A hőség halálozási hatása kistérségenként erősen szóródik, és tizennégy kistérségben nem értékelhető.



Az 1 °C többlethőmérsékletre eső napi többlethalálozás, %, 2005–2014; a jelmagyarázat a kistérségek számát közli.

FORRÁS A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer rétege, a térkép saját szerkesztés a lekérdezett nyers rétegből.

MEGJEGYZÉS A kistérségi értékek egy része kis esetszámon alapul, a réteg saját megbízhatósági kategóriája szerint 98 kistérség magas, 56 közepes megbízhatóságú.

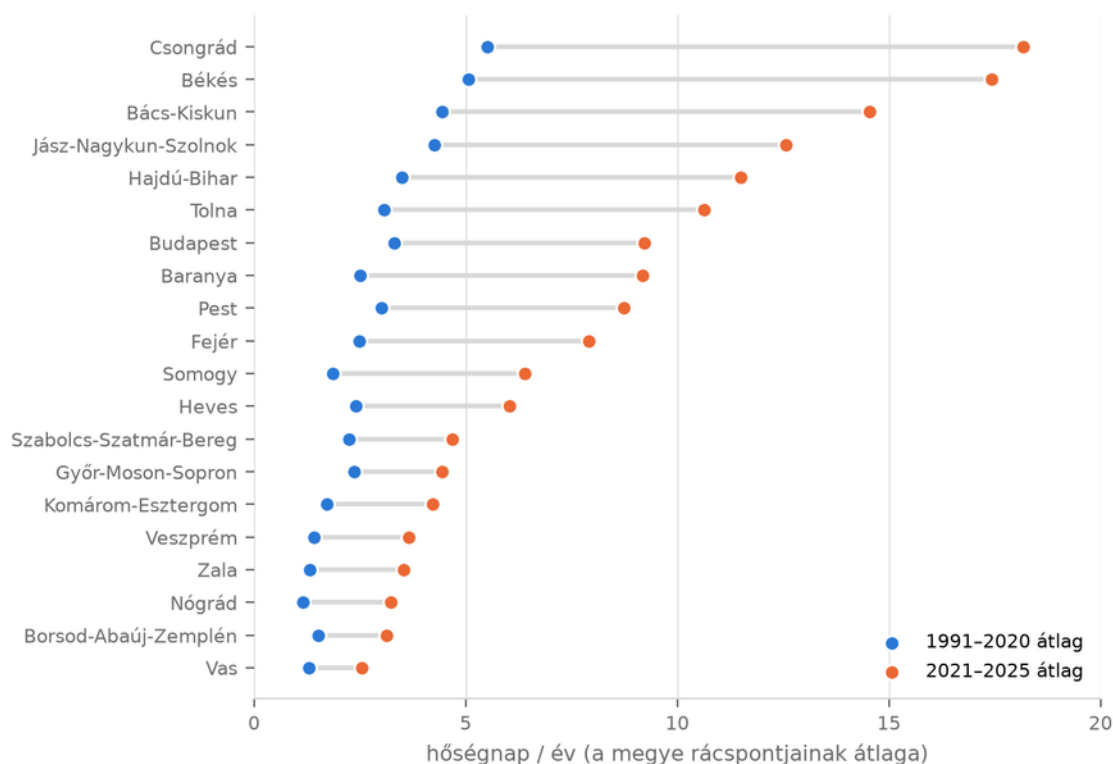
Miközben tehát a veszélyoldalt évente frissítjük, a kockázat másik két tényezője, a kitérttség és a sérülékenység, egy évtizede nem frissült. Ugyanaz a mintázat jelenik meg, mint a modellkonzervativizmusnál, csak a másik tényezőn – itt viszont a javítás olcsóbb, mert modellfejlesztés helyett adatfrissítést igényel.

A kitérttségi oldal ebben a kiadásban frissült.¹⁰³ A 65 évnél idősebbek száma a 2011-es népszámlálás 1,68 milliójáról 2022 elejére 1,96 millióra nőtt (+17 %), a 75 évnél idősebbeké 730 ezerről 795 ezerre (+9 %); a csak 65 év felettiekből álló háztartások száma 814 ezerről 907 ezerre. A veszélyoldal ennél sokkal gyorsabban mozdult: a forró napok (napi maximum ≥ 35 °C) megyei átlagos száma az 1991–2020-as és a 2021–2025-ös időszak között Csongrád-Csanádban 5,5-ről 18,2-re, Békésben 5,1-ről 17,4-re, Bács-Kiskunban 4,4-ről 14,5-re nőtt, a nyugati és északi megyékben jóval kevésbé (IV/4. ábra).

A kettő szorzata, a 75 év felettiak forró napokban mért terhelése (személy-forrónap) 2,1 millióról 6,8 millióra, 3,2-szeresére nőtt. A népességet a 2011-es népszámlálás és a 2022. január 1-jei népességadat (Eurostat), a forró napok számát a két időszak adja. A növekményt számtanilag részekre bontva 88 százaléka a veszély növekedéséből, 4 százaléka a népesség öregedéséből, a többi a kettő együttes hatásából adódik. Oksági arányként ez nem olvasható, és az ötéves időszakot a 2024-es szélsőséges nyár erősen emeli. Az irány azonban egyértelműen azt mutatja, hogy a hőség-terhelés gyorsabban nőtt, mint amit a 2005–2014-es sérülékenységi réteg feltételez, és hogy a növekedést elsősorban a hőség hajtja, nem a demográfia. A sérülékenységi réteg (az egy fokra eső többlethalálozás) frissítése továbbra is nyitott.

IV/4. ÁBRA

A forró napok száma minden megyében nőtt, legerősebben az Alföld déli és keleti részén.



Forró napok (napi maximum $\geq 35^\circ\text{C}$), nap/év, a megye rácsponjtjainak átlaga; kék: 1991–2020, narancs: 2021–2025.

FORRÁS Saját számítás a HungaroMet homogenizált napi rácsából; megyehatár: Eurostat GISCO NUTS 2021.

MEGJEGYZÉS Az ötéves időszakot a 2024-es szélsőséges nyár erősen emeli; a különbség időszakérték, nem trend.

A városi hősziget

A megyei átlag a városon belüli különbséget elfedi. A HungaroMet KLIMADAT 2.0 budapesti kerületi és szegedi rétege szerint a hősziget el-

sősorban éjszakai jelenség. A trópusi éjszakák (a napi minimum $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölötte marad) száma 1996 és 2025 között országos átlagban évi 2,8, Budapest egészén 8,0, a belső pesti kerületekben (V., VI.) 20–21, a budai hegyvidéki kerületekben (II., XII.) 4,0–4,3, Szegeden 6,6 volt. A $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot elérő napok számában a különbség kisebb: országosan 31,4, a budapesti kerületekben 21,7 és 35,2 között, Szegeden 43,7.¹⁰⁴ A réteg nem tiszta mérés, hanem a homogenizált rács és a SURFEX felszínmodellel számított hősziget összege (H.2), ezért a pontos értékek modellfüggők, az éjszakai különbség nagyságrendje és területi mintázata viszont megbízhatóbb.

Az állomási mérés a modellezett képet megerősíti, és a különbséget nagyobbak mutatja. Szegeden a belterületi állomáson 2016 és 2025 között évente átlagosan 31 trópusi éjszaka volt, a külterületin 9; 2026-ban október 9-ig 41, illetve 18. A belterület nyári éjszakai minimuma 2002 és 2025 között átlagosan $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal volt magasabb a külterületénél, a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os napokon $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal. Budapesten a belterületi (II. kerület), a lágymányosi (XI.) és az állatkerti (XIV.) állomáson 2016–2025-ben évi 28, 39, illetve 44 trópusi éjszaka volt, a kertvárosi pestszentlőrincin 15; az újpesti állomáson viszont csak 8, ami az állomás környezetének hatása is lehet. Nappal a kép fordított: a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot elérő napok száma a külterületen nagyobb, Szegeden 2016–2025-ben évi 57 a belterület 47 napjával szemben.¹⁰⁵ A modellezett kerületi réteg a mért állomási értékeknél kevesebb trópusi éjszakát ad, a II. kerületre 4-et a mért 28, a XI.-re 9-et a mért 39 helyett. Ennek egy része abból adódik, hogy a réteg kerületi átlag, az állomás egyetlen pont, és az időszak sem azonos. A különbség nagysága miatt azonban úgy ítéljük, hogy a modellezett hősziget inkább alsó becslés.

A veszély, a kitértség és a sérülékenység közül ez az adat a kitértséget írja le. Egy európai vizsgálat szerint a jövőbeli hőségáhalózás egyik fő hajtóereje a nappali és az éjszakai hőség együttes fellépése lesz,⁹⁵ és a belső kerületekben épp az éjszakai lehűlés marad el. A fenti, rácsátlagra épülő hőségterhelési számítás ezt nem veszi figyelembe, ezért a sűrűn beépített városrészekben a terhelést valószínűleg alulbecsüli, ezt azonban mérés még nem igazolta.

IV.3 Mezőgazdaság

A kitértség szerkezeti jegye, hogy a magyar mezőgazdaság **egyszerre** kénytelen együtt élni a téli hideggel, a tavaszi fagyokkal és a nyári forrósággal-aszályal. A feladat ezért nem oldható meg pusztán hőtűrő fajtákkal – a szélsőségek tartománya szélesedik, nem egyszerűen eltolódik.

A 2026-os nyár hozamoldali következményeiről a gyors attribúciós elemzés hazai számokat is közöl: búzából 4–4,4 t/ha a szokásos 5–5,5 helyett, őszi árpából mintegy 4,3 t/ha.⁸¹ Az AKI augusztusi összesítése szerint az őszi búza országos termésátlaga 4,3 t/ha lett, 22,7 százalékkal kevesebb a 2025-ösnél, a termés 4,2 millió tonna.²⁴⁸ **Lényeges megszorítás, hogy ezek jelentett hatások, nem attribuált hazai valószínűségek – a szerzők ezt kifejezetten jelzik, és a kettő összekeverése külön hibatípus.** A 2022-es aszályra vonatkozó, 2,4 milliárd eurós hazai termés kiesésről a forrás szerzői maguk állapítják meg, hogy az éves **bruttó hazai termék mintegy 1,4 százalékát** tette ki Magyarországon és Romániában. Ez az arány a szerzőktől származik, nem saját számításunk.¹⁰⁶

Az öntözésbővítésnek a mennyiségi mellett minőségi határa is van. A másodlagos szikesedéssel veszélyeztetett terület nagyságrendje 400 ezer hektár, zöme az Alföldön. A kockázat két úton áll elő: nagy sótartalmú öntözővízzel és a megemelkedő sós talajvízzel. A kútvíz alapú öntözés kockázata tájanként más, mert a talajvíz kémiaja is az: a Tiszántúlon és a Duna-völgyben jellemzően nátrium-hidrogén-karbonátos, tehát szikesítő, a Duna-Tisza közti homokon inkább kalcium-hidrogén-karbonátos. A folyamat magától nem fordul vissza, mert a talajkolloidokon megkötött nátrium a vízszint süllyedése után is ott marad, a talaj pedig tömörre és rossz vízáteresztővé, tehát aszályérzékenyebbé válik. **Az irodalom kétirányú** annyiban, hogy megfelelő vízminőség és vízrendezés mellett az öntözés kilúgzó is lehet. Mindezt másodközlésből ismerjük, elsődleges ellenőrzés előtt, ezért nagyságrendként kezelendő, nem küszöbértékként. **A IX.3 pontra nézve ebből mégis egyértelműen következik, hogy az öntözésbővítés feltételei közé a vízminőségi megfelelés is bekerül.**

A biztosítási és kárenyhítési oldal az elemzés legkevésbé kidolgozott része. A kárenyhítő juttatás veszélynemenkénti sora 2012-től az AKI éves értékeléseiből rendelkezésre áll. A juttatás összege 2012 és 2024 között 162,8 milliárd forint volt, ennek 70,4 százaléka aszálykár, 13,9 százaléka tavaszi fagykár; a 2022-es és a 2024-es aszályév nélkül 48,1, illetve 24,9 százalék.¹⁰⁷ A kifizetés nem azonos a kárral, hanem a jogosultsági szabályokon és a visszaosztáson átszűrt kártérítés. A 2022-es kárenyhítési évben például a jogos igényeknek csak 80 százalékát fizették ki.¹⁰⁸ A biztosítói oldal veszélynemenkénti sorát számszerűen nem közöljük.

Főbb hazai termés hozamok szakirodalmi láttelele

Eddig két kérdést nem kötöttünk össze: azt, hogy a talajvízkészlet fogy (III. 1), és azt, hogy ennek mi a termés hozam-oldali ára. A hazai lektorált iro-

dalom ezt a kapcsolatot már vizsgálta, három eredménye pedig közvetlenül erre a kérdésre vonatkozik.

A talajvízszint és a kukoricahozam kapcsolata mért és számszerű. Egy 283 kutas, 1961 és 2010 közötti vizsgálat szerint a sekély talajvíz huszonöt éves átlaga minden régióban és az év minden hónapjában alacsonyabb lett a második ablakban, mint az elsőben. A vizsgált kutak országos átlagában a süllyedés évi 2,24 cm volt. A kukoricahozamnál az augusztus-októberi vízszint adja a legszorosabb kapcsolatot: az Alföldön a hozam évek közti ingadozásának mintegy harmadát magyarázza, és az illesztés szerint egy méterrel magasabb vízszint 2,33 t/ha hozamtöbbletet jelentene. Az összefüggés gazdasági súlya a kukorica területének csökkenésével mérséklődik: a betakarított kukoricaterület a 2010–2019-es átlag 1,10 millió hektárjáról 2021–2025-re 0,85 millió hektárra (–23 százalék), 2025-ben 0,74 millió hektárra esett. Helyére részben napraforgó került (+78 ezer hektár, +13 százalék), a búza és a repce területe is csökkent, a fennmaradó terület sorsát a KSH növényenkénti táblái nem mutatják (KSH STADAT 19.1.1.12. és 19.1.2.11. tábla). A betakarított terület aszályos években nem tartalmazza azt a vetett területet, amelyről nem takarítottak be termést, ezért a csökkenés egy része aszályhatás, nem vetésszerkezet-váltás. Az Alföldön az augusztus-októberi vízszint két ablak közötti, 0,28 méteres süllyedésének becsült ára évi 0,65 t/ha, ami az időszak átlaghozamának 11,6 százaléka.¹⁰⁹ **Három megszorítás érvényes rá. A búzánál a kapcsolat gyenge. A szerzők ezt a búza mély gyökerezésének tulajdonítják, mivel a gyökérzet a tenyészidőszak nagy részében leér a talajvíztükör közelébe, és ezt a közvetlen kapcsolatot a regionális vízszint-ingadozás feltehetően nem érinti. Az eredmény tehát kultúrafüggő, nem általános. A vizsgálat statisztikai együttjárást mér, nem oksági mechanizmust, és nem bontja szét, hogy a süllyedésből mennyi az éghajlat és mennyi a kivétel. Magán a közleményen belül is eltérés van:** az összefoglaló a magyarázott hányadot 18 és 38 százalék közé teszi, a vitafejezet ugyanerre 10 és 38 közé. A felső érték mindkét helyen azonos, az alsó nem.

Ugyanez a vizsgálat a visszatartási ajánlásunkat is alátámasztja, még hozzá közvetlenül. A 42 600 kilométeres belvízcsatorna-hálózat a közleményben idézett adat szerint évente átlagosan 1,77 milliárd köbméter vizet vezet el aszályra hajlamos síkságokról, és ezt nemcsak belvizes időszakban teszi. A javasolt visszatartási helyszín a mezőgazdaságilag gyenge adottságú egykori ártér, amely az Alföld közel negyedét teszi ki. Ez független, lektorált alátámasztás a IX.2 pont visszatartási tételének.

Az emelkedő hozam nem cáfolja az éghajlati kockázatot, mert a kettő más kérdésre válaszol. Egy kilencven évet, három egymást nem átfedő harmincéves ablakot és négy bioklimatikus régiót átfogó vizsgálat szerint a regionális búza- és kukoricahozam átlaga az 1981–2010-es ablakban 3,3-szer, illetve 3,2-szer magasabb, mint 1921 és 1950 között. Az emelkedést a szerzők túlnyomórészt az agrotechnológiai fejlődésnek tulajdonítják. A hozam ingadozása viszont egyre inkább éghajlati eredetű, 1981 és 2010 között ugyanis az emelkedő átlaghőmérséklet és a csökkenő csapadék együtt a kukoricahozam varianciájának 46–75 százalékát magyarázza. Az első két ablakban, 1921 és 1980 között, a hőmérsékleti indexek a kukoricánál még kis magyarázóerőt sem mutattak.¹¹⁰ A kettő szétválasztása nélkül a hozamadat félreérthető – és a hazai vitában rendszeresen félre is értik.

Ugyanebből a vizsgálatból két további eredmény tervezési szempontból fontos. (1) A térbeli átrendeződés: a búzahozam nyári hőmérséklet-érzékenysége a század folyamán a hűvösebb dombságról a síkságra tolódott, és az Alföld búzahozam-átlaga 1981–2010-re a négy régió közül a legalacsonyabbá vált. (2) **Az ellenirányú, és ezért külön kiemelendő eredmény, hogy az emelkedő január–márciusi átlaghőmérséklet a nyári melegedés hozamcsökkentő hatását 16–34 százalékkal mérsékelte ugyanebben az ablakban – legkevesbé épp az Alföldön.** A kép tehát kétirányú. A vizsgálat eredményei két ponton óvatosan kezelendők: havi átlagokkal dolgozik, miközben néhány napnyi szélsőség többet magyarázhat (ez a H.4-ben nevesített hiány másik oldala), és a sora 2010-ben véget ér, tehát a 2022-es aszály nincs benne.

Van hazai becslés arra, mennyit lehet egyáltalán magyarázni. Egy 2000 és 2016 közötti, négy kultúrára futtatott statisztikai modell keresztvalidált magyarázott varianciája búzára 67, repcére 76, kukoricára 81, napraforgóra 68,5 százalék.¹¹¹ Két részeredménye az elemzés más fejezeteihez kapcsolódik. A búzánál a szokásosnál magasabb májusi telítési hiány csökkent a hozamot – ez a II.2 pontban kimutatott telítésihiány-növekedés hozamoldali megfelelője, és eddig hiányzott. A kukoricánál a júliusi és augusztusi talajnedvesség a döntő tényező. Ez részben átfed a fenti talajvíz-kapcsolat augusztus–októberi ablakával, a közös hónap az augusztus, a két eredmény pedig két független adatforrásból származik. Megszóritás, hogy a tizenhét éves ablak évek közti varianciát magyaráz, nem trendet ad, és a kettő nem cserélhető fel.

Kárszámlát ez a réteg nem ad. A fenti hozamszámok statisztikai és tényelentétes becslések – a megfigyelt és a modellezett hozam különbségén

alapuló számítások –, nem nyilvántartott veszteségek, így az V.1-ben leírt hiányt nem pótolják.

IV.4 Energia és víz kereszteződése

A víz–energia lánc 2026 nyarán elméleti kockázatból üzemi eseménnyé vált. A Duna rekordalacsony vízhozama és a visszabocsátott hűtővíz hőmérsékleti előírása miatt a Paksi Atomerőmű teljesítményét július 27-től fokozatosan csökkenteni kellett. Július 29-én a nyilvános közlések szerint az erőmű történetében először állt le teljes blokk kisvíz miatt. Augusztus 1-jén a négy blokkból csak kettő termelt, csökkentett teljesítménnyel, és az összteljesítmény 476 MW-ra esett. A leállás legsúlyosabb szakaszáról a beszámolók eltérnek.¹¹² A budapesti Vigadó téri vízmérce szeptember 9-én elérte a 0 cm-es alappontot, szeptember közepén pedig az alá süllyedt (–1 cm). Az apadás október elején is tartott.¹¹³

A lánc intézményi oldala a felelősségi hézag. A tiszaujvárosi erőmű egy-egy környezethasználati engedélyében a vízügyi-vízvédelmi hatóság rögzíti, hogy a bizonytalan kisvízi viszonyok miatt a 100 %-os megbízhatóságú vízellátásról nem nyilatkozik, és azért felelősséget nem vállal,¹¹⁴ miközben a forrásoldali tervezés ugyanazt a kapacitást megalapozottként használja.

Ez nem beruházási, hanem működtetési döntés. A rendszertervezés meglévő érzékenységvizsgálata kapjon egy **második feltételt**, a kisvízi visszaterhelést, a mért hozamsorból leolvasható gyakorisággal. A 2026-os nyár megmutatta, hogy ez nem hipotetikus feltételezés. A lánc kitettségi oldaláról hiányos az adat. A hűtővíztől függő hazai termelőkapacitás hányadáról és a kisvízi visszaterhelés importra és árra gyakorolt hatásáról nyilvános összesítés nincs, ezért ezt nem számszerűsítjük.



Gazdasági transzmisszió

A FEJEZET SZAKASZAI

V.1	A hiányzó nemzetgazdasági kárszámla	102
V.2	Ismert adatok, becslések	103
V.3	Az uniós aszálykár-modell és a megfigyelés ellentmondása	105
V.4	Az allokáció kiszámíthatósága	106

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Intézményi hiány

Hivatalos nemzetgazdasági kárszámla nincs; az egyetlen azonosított hivatalos makroszintű becslés tizenhat éves.

Új adat

1980 és 2024 között az időjárási és éghajlati szélsőségek kára 12,8 milliárd euró volt, ennek 4,8 százaléka volt biztosított.

Új – hazai mérés

A kukorica a legérzékenyebb nagy kultúra: a 20 százalékot meghaladó kiesések mind a normálnál melegebb nyarakra estek.

V.1 A hiányzó nemzetgazdasági kárszámla

A legerősebb megállapítás ebben a fejezetben **negatív**. Friss, hivatalos magyar makroszintű becslés a tétlenség költségéről nem található, az egyetlen azonosított ilyen pedig tizenhat éves (évi 150–180 milliárd forint).¹¹⁵ Magyarországon stresszteszt készül, nemzetgazdasági kárszámla nem. A stressztesztekhez készült az egyetlen azonosított újabb hazai makrogazdasági modellszámítás: a Cambridge Econometrics 2021-ben a Magyar Nemzeti Bank megbízásából becsülte az éghajlatváltozás hatását a magyar gazdaságra.¹¹⁶ A becslés a fokozatosan erősödő fizikai hatásokat, elsősorban a munka és a mezőgazdaság termelékenységének romlását modellezi. Eszerint ezek 2050-re a GDP-t a 3,5–4 °C-os globális melegedési pályán 4,25 százalékkal, a 2 °C alatti pályán mintegy 1 százalékkal csökkentik az éghajlati hatásokat figyelmen kívül hagyó alappályához képest. A számítás a szélsőséges időjárási események kárát nem tartalmazza, és egyetlen, nemzetközi adatokon becsült hőmérséklet-termelékenység összefüggésre épül. Ez feltételes forgatókönyv-számítás, nem kárszámla, ezért az **V.2** soraival nem adható össze. Ágazati szinten a me-

zőgazdasági kárenyhítési és biztosítási kifizetéseket az AKI évente, járási és veszélynemenkénti bontásban közli, ez azonban a kártérítést méri, nem a teljes kárt (IV.3).¹⁰⁷

Ebből adódik, hogy a hazai közbeszéd olyan számokhoz nyúl, amelyek földrajzilag vagy fogalmilag nem vihetők át. Tanulságos példa erre a „vízhiány a GDP 7 %-át viheti el” típusú állítás, amelynek forrásláncát visszakövetve kiderül, hogy az eredeti becslés vízszűkös régiókra vonatkozik, illetve más mennyiséget mér (ökoszisztéma-szolgáltatási kockázatérték), és **magyar becslés nem áll mögötte**.¹¹⁷ Az ilyen szám használata rövid távon meggyőző, hosszabb távon a hitelességet rontja.

V.2 Ismert adatok, becslések

Ahol van védhető magyar érték, ott forrásonként külön közöljük, és nem adjuk össze őket, mert különböző mennyiségekről van szó (egyszeri esemény kontra évesített várható érték; termelői árbevétel kontra hozzáadott érték kontra GDP; kár kontra kárnövekedési ütem kontra fedezettségi arány).

A legjobb magyar viszonyítási alap a 2022-es aszályra vonatkozik: hat fő szántóföldi kultúra termés kiesésének értéke Magyarországon mintegy **2,4 milliárd euró** – a régióban ez a második legnagyobb tétel Románia után.¹⁰⁶ Az összeg négy fenntartással kezelendő: az árazás a 2022-es csúcsárakon felfelé torzít; az árbevétel-kiesés nem azonos a jövedelemveszteséggel és még kevésbé a GDP-veszteséggel; ez egyetlen év, nem évesített várható érték; végül a hat kultúra súlya a 2022-es vetésszerkezetet tükrözi, a kukorica betakarított területe azóta tovább csökkent.

A kár évről évre erősen ingadozik, ezért egyetlen rossz évből trend nem képezhető.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség által közzétett, a CATDAT-adatbázison alapuló kársor ezt az ingadozást számszerűen is mutatja.¹¹⁸ Magyarországon 1980 és 2024 között az időjárási és éghajlati szélsőségek összes kára 2024-es áron 12,8 milliárd euró. Ennek 78 százaléka öt évre esik (1986, 2022, 1992, 1999, 2010), a mediánév kára 14 millió euró, a károknak pedig mindössze 4,8 százaléka volt biztosított. A 2022-es 2,5 milliárd eurós érték nagyságrendben egyezik a fenti termés kiesési becsléssel, de más módszerrel készült, ezért a kettő nem adható össze. A sor halálzási adata hiányos, mert 2024-re minden veszélynemre együtt egyetlen halálesetet rögzít, miközben a heti halálozási adat szerint abban a nyárban a forró napos hetek többlete mintegy 1450 eset volt (IV.1).

A mezőgazdasági oldalon a kukorica a legérzékenyebb nagy kultúra. Termésátlagának eltérése a hétéves gördülő mediántól 1990 és 2025 között szorosan követi a nyári hőséget: a nyári forró napok számával $\rho = -0,68$, a nyári átlagos maximum-hőmérséklettel $-0,65$, az április–augusztusi csapadékkal $+0,67$ a kapcsolat, a búza és a napraforgó termésén viszont ilyen erős összefüggés nem mutatható ki (V/1. ábra).¹¹⁹ A 20 százalékos meghaladó kukoricakiesés mind a hat évben (2000, 2003, 2007, 2012, 2021, 2022) a nyári átlagos maximum-hőmérséklet legalább $27,8\text{ °C}$ volt, az 1991–2020-as $27,4\text{ °C}$ -os normál fölött; a forró napok száma közülük 2003-ban a normál körül maradt, a többi évben jóval fölötte. A számításból módszertani figyelmeztetés is adódik. A gördülő alapvonal a sor végén a rossz évek sorozatát beolvasztja, ezért a legutóbbi évek kiesését alulbecsli. A 2006–2020-as rögzített mediánhoz mérve a kukorica termésátlaga 2021 és 2025 között átlagosan 15 százalékkal maradt el, és az öt évből négyben a medián alatt volt.

A 2026-os év a sor végére a 2022-esnél is súlyosabb kiesést tesz. A kézirat lezárásakor hivatalos KSH-adat még nincs, az előzetes számok a következők. A kukoricát 589 ezer hektáron vetették; az agrártárca és a Gabona-termesztők Országos Szövetsége szeptemberi becslése szerint ebből mintegy 500 ezer hektár takarítható be szemesként, hektáronként mintegy 3 tonnával, az országos termés így mintegy 1,5 millió tonna. Ez a 2025-ös 3,9 és a 2022-es 2,8 millió tonna alatt van, és a KSH 2000 óta között országos sorának mélypontja volna; a hazai felhasználás több mint 3 millió tonna, a hiányt import pótolja, és az ország az első nyolc hónapban már nettó kukoricaimportőr volt. A 3 tonnás előzetes országos átlag a 2019–2025-ös hétéves medián ($6,1\text{ t/ha}$) felét sem éri el, vagyis a kiesés a 2022-es $3,4\text{ t/ha}$ -os mélypontot is alulmúlja (saját számítás a KSH sorai-ból). A napraforgót első ízben vetették nagyobb területen, mint a kukoricát (780 ezer hektár); termésátlaga mintegy $1,6\text{ t/ha}$, az ötéves átlagnál mintegy 20 százalékkal kevesebb. Békés megyében a kukorica megyei átlaga $1,4$, a napraforgóé $1,5\text{ t/ha}$ volt, és a megye kukoricaterülete a 2004-es 95 ezer hektárról 34 ezerre zsugorodott.²⁴⁸ Ezek a számok előzetesek, a fejezet 1990–2025-ös statisztikai elemzésében nem szerepelnek, és a fenti összefüggéseket nem gyengítik, hanem a sor végén megerősítik: a 2026-os nyár országos középhőmérséklete 1901 óta a második legmagasabb volt (II.2).

ciójából nem ellenőriztünk. Az uniós értéket ezért nagyságrendként kezeljük, nem magyar tervezési értéként.

V.4 Az allokáció kiszámíthatósága

A gazdasági fejezet tézise nem a kár nagyságáról szól, hanem arról, hogy a kockázat a vízhiány elosztásában van, amellyel a gazdasági tervezés nem számol. A vízgazdálkodási törvény rögzíti a vízigények kielégítésének sorrendjét, a korlátozás pedig ennek fordított sorrendjében történik, és a létfenntartási célú vízhasználat kivételével kártalanítás nélküli.¹²¹ A sorrend tehát ismert, a kapacitás- és beruházástervezés azonban nincs hozzáigazítva.



A globális kép és a hazai olvasat

A FEJEZET SZAKASZAI

VI.1	Erősebbé válik-e a veszély globális léptékben	108
VI.2	Miért alsó becslés a globális és a hazai projekció: az aeroszoltisztulás	111
VI.3	Rosszabb-e a globális pálya, mint a forgatókönyvek	114
VI.4	A szélsőségek amplitúdója	117
VI.5	Nyitott szélsőérték-tartományok	117
VI.6	Átvitel – mit módosít a hazai olvasatban, és mit nem	117

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Új – AR6 utáni frissítés

A 2016–2025-ös évtized globális melegedése 1,26 °C; az emberi eredetű melegedés üteme 0,27 °C évtizedenként, a műszeres mérési sor legmagasabbja.

Új – AR6 utáni irodalom

A földi energiamérleg többlete két évtized alatt több mint kétszeresére nőtt; egy vizsgálat szerint a modellek a 2023-as értéknek nagyjából a felét adják, egy másik szerint a megfigyelt értékek a modelltartományon belül maradnak (VI.1).

Olvasási szabály

A globális kép a hazai számok nagyságát nem kalibrálja: kontextus, nem bizonyíték (VI.6).

Az eddigi fejezetek a hazai méréseken alapszanak. Ez a fejezet azt vizsgálja, mit tesz hozzá ehhez a globális kép, vagyis merre és mennyivel mozgott el a hazai számok mögötti bolygósztintú háttér az IPCC hatodik értékelő jelentésének lezárása óta. A jelentés fő állításait nem vitatjuk. Azt vizsgáljuk, mit tudunk ma, amit akkor még nem, és ebből mi változtat érdemben a magyar olvasaton. A fejezet a mérések felől közelít, így minden tétel mögött megfigyelés áll, nem forgatókönyv.

A fejezet a hazai számokhoz egyetlen ponton, a záró VI.6 szakaszon keresztül kapcsolódik. Ott foglaljuk össze, mit módosít a globális kép a hazai olvasatban, és mit nem – a köztes szakaszokból hazai állítás nem vezethető le.

A globális mutatókban **egyszeri lépcsők és tartós trendek keverednek**, ezért ez a fejezet van leginkább kitéve a túlértelmezésnek. Egy szabályozási változás vagy egy El Niño egyszeri szintugrást okoz, a szén-dioxid-

kényszer viszont folyamatos emelkedést. A kettő összemérésével ugyanazt a melegedést kétszer számolnánk el. Ahol lépcsőről van szó, azt külön jelezzük.

VI.1 Erősebbé válik-e a veszély globális léptékben

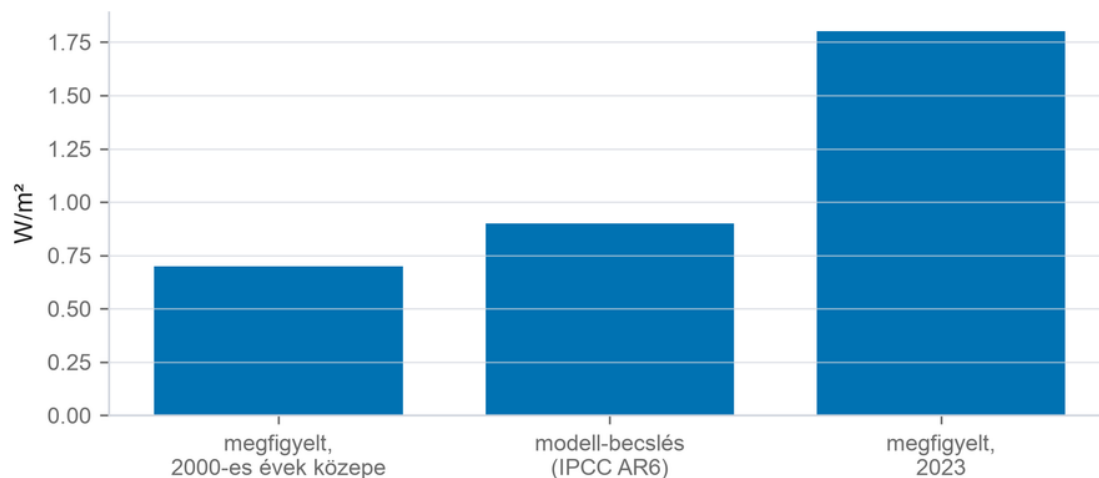
A hőmérsékleti oldal évente frissített mutatókészletből olvasható.¹²² A 2016–2025-ös évtized megfigyelt melegedése az 1850–1900-as bázishoz mérve 1,26 [1,13–1,36] °C, ebből emberi eredetű 1,24 [1,0–1,5] °C. A 2025-ös egyedi évre az emberi eredetű melegedés 1,37 °C. Az emberi eredetű melegedés üteme az elmúlt évtizedben 0,27 [0,2–0,4] °C/évtized – a mutatókészlet szerzői szerint ez megegyezik a műszeres mérési sor eddigi legmagasabb ütemével.

A tervezés szempontjából azonban a hőmérsékletnél beszédesebb mennyiség a földi energiamérleg többlete, vagyis az a nettó energiaáram (W/m^2), amennyivel a beérkező napsugárzás meghaladja a kisugárzott hőt, és amely a rendszerben felhalmozódik. Ez határozza meg az óceáni hófelvételt, a jégtömeg-veszteséget, a tengerszint-emelkedést és azt, mennyi további melegedést hordoz már magában a rendszer.

Az AR6 óta ezen a mennyiségen történt a legnagyobb elmozdulás. Egy negyvennégy szerzős, a nagy modellező- és megfigyelőközpontokat lefedő közlemény szerint az energiamérleg többlete a 2000-es évek közepi $\sim 0,7 \text{ W/m}^2$ -ről $1,8 \text{ W/m}^2$ -re nőtt 2023-ra, azaz nagyjából kétszeresére két évtized alatt. A modellek a 2023-as értéknek mintegy a felét adják.¹²³ Ezzel szemben egy 2026-os vizsgálat szerint minden megfigyelt éves érték, 2023 is, a modellek tartományán belül van, és 30 modellből 13 a 2001–2025-ös átlagos nagyságot is visszaadja. A növekedés ütemét azonban csak 10 modell követi, és a mérést a 3–5 °C egyensúlyi érzékenységgű modellek adják vissza a legjobban.²⁹ A két eredmény nem zárja ki egymást, mert az egyik a 2023-as rekordév nagyságát, a másik a teljes tartomány szélét veszi mércének. Mindkettőből arra következtetünk, hogy a modellek a növekedés ütemét alulbecsülik.

VI/1. ábra. A földi energiamérleg többlete: megfigyelés kontra modellvárakozás.

W/m². Műholdas sugármérés, óceáni hőtartalom-mérésekkel keresztellenőrizve.



Megjegyzés: A többlet két évtized alatt több mint kétszereződött, és 2023-ban a modell-becslés kétszeresén állt. A szerzők nem javasolnak mechanizmust – a közlemény megfigyelési állítást tesz, és kimondja, hogy az eltérés rendszeres, nem zaj. A magyarázatra több lehetséges ok van (aeroszoltisztulás, felhő-visszacsatolás, óceáni hőfelvétel), ezek közül a fejezet a következő pontban egyet bont ki.

Forrás: Mauritsen és mtsai (2025), AGU Advances; a modell-becslés az IPCC AR6 legjobb becslése.

Az energiamérleget kétféle mennyiségként szokás közölni, és a kettő keverése látszólagos ellentmondást szül. Az első megszorítás az időablakot érinti. Az 1,8 W/m² egyetlen év, 2023 műholdas értéke, míg ugyanez a mérleg **húszéves, egymást átfedő ablakokon** átlagolva alacsonyabb és egyenletesebb: 0,40 W/m² (1976–1995) → 1,04 W/m² (2006–2025) – ez is több mint kétszerezésére nő, csak zaj nélkül. A két érték nem mond ellent egymásnak, mert az egyik évjárat, a másik ablakátlag. A második megszorítás az ütemet érinti. A két mérési csatorna eltérő eredményt ad – 2001 és 2025 között az óceán melegedéséből számolt trend $0,30 \pm 0,1$ W/m² évtizedenként, a műholdas sugármérésből $0,44 \pm 0,13$. Mindkettő pozitív és gyorsuló, a mértékük viszont eltér. Az értelmezés is megosztott, a versengő olvasatok pedig összeférnek egymással: az üvegházgáz-koncentráció emelkedése, az aeroszolhűtés gyengülése (VI.2), a felhő- és jégvisszaverődés csökkenéséből eredő megnőtt napenergia-elnyelés, és – egy 2026-os elemzés szerint – kifejezetten az alacsony szintű felhőzet fogyása.¹²⁴

Ugyanez a közlemény államigazgatási szempontból is fontos, önálló figyelmeltetést fogalmaz meg, mégpedig azt, hogy a mérőképesség romlik. Az energiamérleget megfigyelő műholdakat pótlás nélkül vonják ki a szolgálatból – vagyis épp akkor veszítjük el a legbeszédesebb változó

megfigyelésének képességét, amikor az minden korábbtól eltérően viselkedik. Ezt az ügyet a nemzetközi egyeztetéseken a hazai környezetvédelmi diplomáciának is képviselnie kell, a saját súlyának megfelelően.

A felhalmozódó energiának csak kis része marad a levegőben. Az 1970-es évek óta az energiatöbblet **mintegy 90 %-a az óceánba került, a szárazföldre 5, a krioszférára 3, a légkörre 1 % körül jut. Ennek két következménye van, és mindkettő a tervezést érinti.**

Az egyik következmény, hogy a felszíni hőmérséklet rövid távon félrevezető mutató. Évtizedes léptékben az óceáni hőátrendeződés elválaszthatja a felszíni hőmérsékletet az energiamérlegtől – egy „hűvösebb” év nem jelenti, hogy a rendszer lassult. Az óceáni hőtartalom ezért robusztusabb jelzője a változás ütemének, mint a levegő hőmérséklete.

A másik következmény, hogy az óceáni melegedés **gyorsul**, 1960 óta nagyjából egyenletes ütemben, $0,15 \pm 0,05 \text{ W/m}^2$ évtizedenként, míg a szárazföld, a krioszféra és a légkör együttes gyorsulása $0,013 \pm 0,003$ – **egy nagyságrenddel kevesebb**. A melegedés emellett a mélyebb rétegekbe is lehatol. A 700–2000 méteres réteg az 1990-es évek óta mérhetően melegszik, és a XIX. század vége óta felhalmozott óceáni hőtartalom több mint fele az 1990-es évek után keletkezett.¹²⁵

A függőleges eloszlás viszont változik, és ez a felszínt érő hatások szempontjából lényeges. A felső óceán rétegzettsége erősödik. A melegedő, a sarki olvadákvíztől édesedő felszíni réteg és az alatta fekvő víztömeg közötti sűrűségkülönbség nő, a keveredési réteg vékonyodik, és ugyanaz az energiatöbblet kisebb víztömeget melegít – ebből ered a tengerfelszíni hőmérséklet szezonális ingásának mért erősödése (1983–2022 között $3,9 \pm 1,6 \%$) és a tengeri hőhullámok hosszabbodása.¹²⁶ A szakirodalomban ellentétes irányú bizonyíték is van, az utóbbi két évtizedben ugyanis éppen a mód- és köztes vízrétegek hőfelvétele gyorsult, a mélytenger pedig mérhetően melegszik – a lefelé irányuló átadás tehát nem állt le.¹²⁷ A 2025-ös évjárat mindkét oldalt mutatja. A 0–2000 méteres hőtartalom rekordot döntött, 2024-hez képest mintegy 23 ZJ-lal, miközben az éves átlagos tengerfelszíni hőmérséklet $0,12 \text{ °C}$ -kal alacsonyabb volt a 2024-esnél.¹²⁸ A 2026-os évjárat értékelése e kiadás lezárásakor még nem áll rendelkezésre, így az idei felszíni szélsőségek okainak szétválasztása nyitott kérdés.

A hazai olvasat szempontjából a felszín közeli rész fontosabb, mint a teljes hőtartalom, mert a Mediterráneum és az Atlanti-óceán **felszíni** hőmérséklete szabja meg a Kárpát-medencébe érkező nedvességet és a hőhullámok alatti tengeri háttérrel.

Miért számít ez egy tengertől távoli országnak? Nem közvetlen hatásmechanizmus, hanem a rendszer tehetetlensége miatt. Az óceánba került energia évtizedes-évszázados időskálán tér vissza a rendszerbe. Gyakorlati nyelvre fordítva az elkövetkező évtized hazai éghajlata nagyrészt már eldőlt – nem attól függ, mi történik a kibocsátással 2026 és 2035 között, hanem attól, ami már megtörtént, és attól, hogy a kibocsátás ezalatt fennmarad (a megkülönböztetést a **VI.6** fejt ki). Az állításunk az, hogy a 2026 és 2035 közötti kibocsátáscsökkentés az évtized pályáján keveset, a 2035 utáni pályán annál többet változtat. Az alkalmazkodás ezért nem helyettesíti a kibocsátáscsökkentést, mert az előbbi az évtized kockázatát kezeli, az utóbbi azt szabja meg, mekkora kockázathoz kell 2035 után alkalmazkodni. A kétféle hiba itt sem szimmetrikus, mert az elhalasztott kibocsátáscsökkentés hatása visszafordíthatatlanul beépül a későbbi évtizedek pályájába.

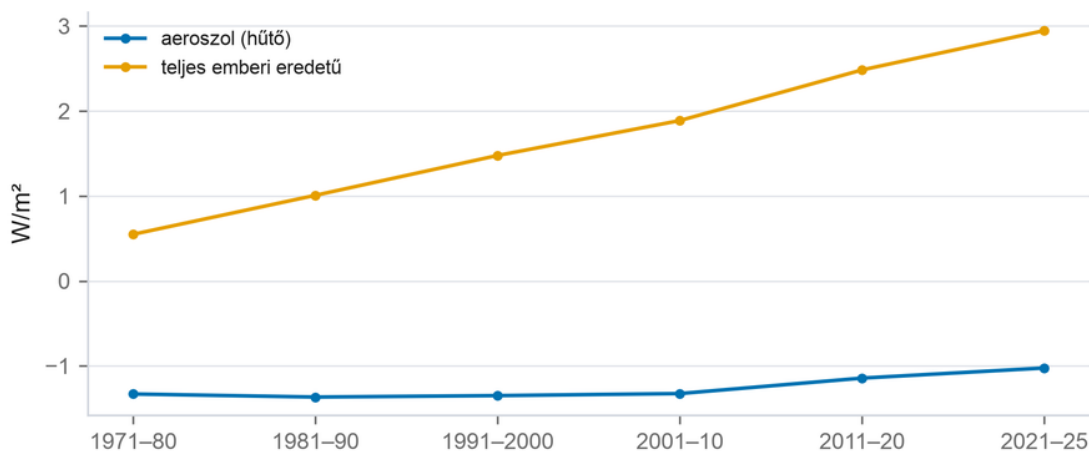
VI.2 Miért alsó becslés a globális és a hazai projekció: az aeroszoltisztulás

A légkörbe jutó kén-dioxid és korom hűt, mert visszaveri a napfényt, és növeli a felhők fényvisszaverő képességét. Ez a hűtő hatás évtizedeken át **elfedte** az üvegházhatás egy részét. A levegőtisztaság-védelem sikere ezért kétélű – ahogy a szennyezés csökken, lekerül a maszk.

A hivatalos kényszeridősort ezt évtizedes bontásban mutatja. ¹²⁹

VI/2. ábra. Az aeroszolhűtés és a teljes emberi eredetű kényszer, évtizedes átlagok.

Effektív sugárzási kényszer, W/m^2 , 1750-es referenciához mérve.



Megjegyzés: Az aeroszolmaszkolás a nyolcvanas években tetőzik, azután negyven évig alig mozdul – majd 2010 után gyorsan nyílik: a hűtő hatás 1,37-ről 1,03 W/m^2 -re gyengül. Ugyanebben az időszakban a teljes emberi eredetű kényszer 2,48-ról 2,95 W/m^2 -re nő. A két görbe együtt olvasandó: a melegedés gyorsulásához a kibocsátás növekedése ÉS a maszk lekerülése egyszerre járul hozzá.

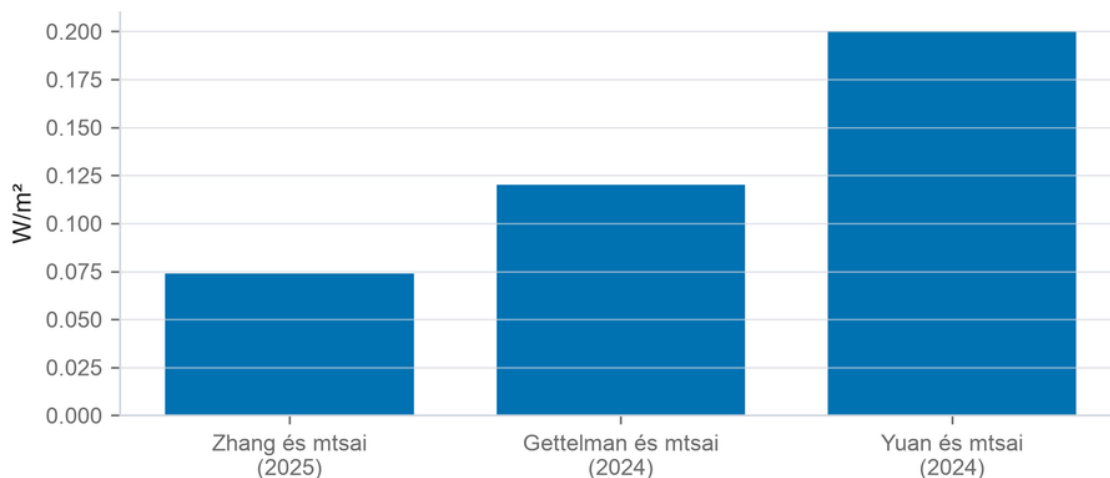
Forrás: IGCC 2025 effektív sugárzási kényszer idősor (Forster és mtsai), saját évtizedes átlagolással.

Két konkrét esemény áll a jelenség mögött. Az egyik Kelet-Ázsia levegőtisztulása. A kínai kén-dioxid-kibocsátás nagyjából 20 Tg/évvel csökkent 2010 óta. Többmodelles kísérletek a 2010 utáni melegedésgyorsulás jelentős részét ehhez kötik, és a melegedés térbeli mintázata – az északi félteke középső szélességeire, különösen a Csendes-óceánra koncentrálódva – is ehhez illeszkedik.¹³⁰ A másik a **hajózási üzemanyag kéntartalmának 2020-as korlátozása**, amely a hajókibocsátás kéntartalmát mintegy 80 %-kal csökkentette.

Ez utóbbinál a szakirodalom nem egységes:

VI/3. ábra. A 2020-as hajózási kénszabályozás sugárzási hatása: három becslés.

W/m^2 . Ugyanaz az esemény, három munkacsoport, csaknem háromszoros eltérés.



Megjegyzés: A közölt tartomány a teljes irodalomban nagyjából 0,02 és 0,2 W/m^2 között van – csaknem egy nagyságrend. A becslések térbeli hatóköre is eltér (globális óceáni átlag, illetve három hajóútvonal alacsonyfelhő-régiója), ezért közvetlenül nem is összemérhetők. A legmagasabb becslés szerzői a lépést nem szándékolt geomérnökség hirtelen leállításának nevezik; a legalacsonyabbéi azt hangsúlyozzák, hogy a jel a természetes felhőzet-változékonyság mellett alig kimutatható.

Forrás: Yuan és mtsai (2024); Gettelman és mtsai (2024); Zhang és mtsai (2025).

Ez **nem** azt jelenti, hogy a melegedés üteme tartósan megugrott. A szabályozási lépés kényszerhatása **egyszeri szintváltás**, nem az üvegházgáz-trend gyorsulása. Ha tartós gyorsulásként számoljuk, akkor ugyanazt a melegedést kétszer számoljuk el. Ugyanígy a 2023–2024-es rekordmeleg tengerfelszín is összetett jelenség, amelyben egy El Niño-lökés, az aeroszollépcső és a belső változékonyság rakódott a tartós melegedési trendre. Ezenfelül megmagyarázatlan maradék is van. Minden ismert tényezőt figyelembe véve a bolygó 2023-ban mintegy 0,2 °C-kal melegebb volt, mint amennyit a modellek az ismert tényezők – az El Niño, a hajózási kénkibocsátás csökkentése, a naptevékenység és a 2022-es tenger alatti vulkánkitörés – alapján vártak. A különbség okáról a szakirodalom még nem jutott egyetértésre, és ezt a különbséget nem töltjük ki feltételezéssel.¹³¹

Miért fontos ez a hazai olvasatban? Mert az aeroszoltisztulás **európai jelenség is**, és a hazai modell-alulbecslés (H.2) egyik lehetséges oka. Ha a kontinens fölött az aeroszolmaszk gyorsabban került le, mint ahogyan a regionális modellek számolnak vele, akkor a megfigyelt és a projektált melegedés közötti eltérés részben ebből származik – ez még nem bizonyított, hanem **vizsgálandó kérdés**.

Az egyensúlyi éghajlati érzékenység (ECS) azt mondja meg, mennyit melegszik a bolygó a légköri szén-dioxid megkétszereződésére. Az IPCC hatodik jelentése 3 °C-ot ad legjobb becslésként, 2,5–4 °C-os valószínű tartománnyal. Itt a szakirodalom nem egységes, és ez nem hallgatható el.

Az alacsony érzékenységet a megfigyelések egyre kevésbé engedik meg, mert a műholdas sugárzási mintázatokat a 2,5 °C alatti érzékenységű modellek nem adják vissza. Fölfelé viszont a bizonytalanság nagy. Paleoklimatológiai rekonstrukciók 4–5,3 °C-ra utalnak, Hansen és munkatársai pedig $4,8 \pm 1,2$ °C-ot állítanak.¹³² Ez érdemi ellentmondás az intézményes legjobb becsléssel, amely közép-re átlagolással nem oldható fel. A vita ugyanakkor **mindkét irányban nyitott**. A másik oldalon egy 2026-os, megfigyelési megszorításokra épülő becslés szerint a 2023–24-es rekordévekkel frissített adatok sem indokolják a tartomány felfelé módosítását – a szűkített melegedési pálya a modelltartomány alsó-középső részébe esik –, és érvényben van a „forró modell”-korrekció is, amely szerint a megfigyelt történeti melegedéssel szűrt modellegyüttes az évszázad közepére és végére 8–16 százalékkal alacsonyabb melegedést ad, mint a nyers modellátlag.²⁵ A középpont tehát mindkét irányból vitatott, és egyik oldalt sem tesszük magunkévá.

A vita mögött az a megoldatlan kérdés áll, hogy a 2015 utáni, mintegy 0,3 °C/évtizedes gyorsulás két, egymást kizáró módon is magyarázható. Vagy az aeroszolhűtés kifutása „leplezi le” a mindig is meglévő üvegházhatást – ekkor a modellek érzékenysége jó, a kényszerbecslésük volt rossz. Vagy az alapérzékenység magasabb a feltételezetténél – ekkor a modellek válasza rossz. A ma rendelkezésre álló adatok mindkettővel összeférnek.

Tervezési szempontból viszont megnyugtató, hogy a két olvasat ugyanabba az irányba mutat. Akár a kényszerben, akár a válaszban téved a modell, a megfigyelt pálya a modellközép fölött fut. Az elemzés minimumszabálya – ott, ahol mutatószinten igazolt – mindkét esetben érvényes. A különbség a 2050 utáni pálya meredekségében van, nem a következő évtized irányában.

VI.3 Rosszabb-e a globális pálya, mint a forgatókönyvek

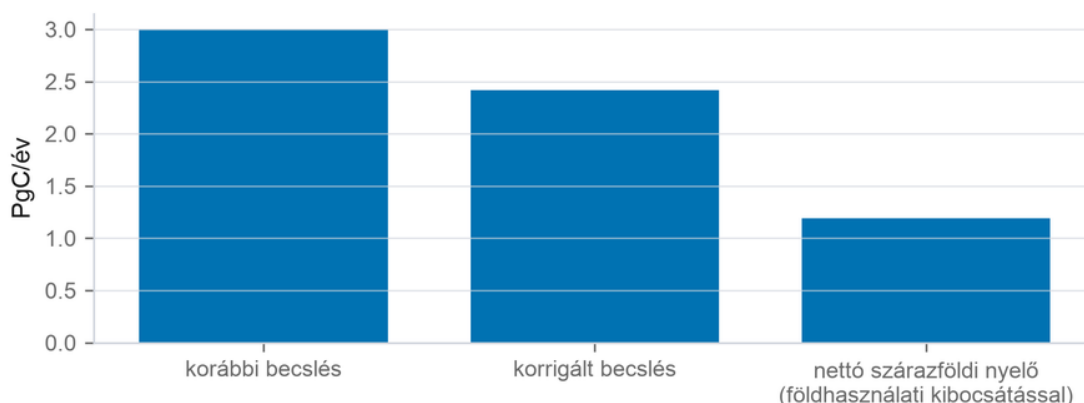
A kibocsátott szén-dioxid nagyjából felét elnyeli a szárazföldi növényzet és az óceán, az tehát nem marad a légkörben. Ez a nyelő eddig ingyenes szolgáltatásként működött a klímapolitika számára – és az AR6 óta két, egymást erősítő eredmény érkezett arról, hogy **gyengébb, mint gondol-**

tuk, és romlik. Ez a bekezdés a szén-dioxidról szól. A metánnal, amelynek csökkentése a rövid légköri élettartam miatt a következő két évtized pályáján a leggyorsabban ható mérséklési eszköz, e szakasz második felében külön foglalkozunk.

Az első eredmény módszertani. A szárazföldi nyelőt eddig olyan modell-futtatásokból becsülték, amelyek az **iparosodás előtti** felszínborítást használják – vagyis több erdővel számolnak, mint amennyi ma van. A korrekció a természetes szárazföldi nyelőt mintegy 20 %-kal csökkenti.¹³³ A második eredmény magát a folyamatot érinti. A konszolidált globális szénmérleg szerint az **éghajlatváltozás már ma csökkenti a nyelők hatékonyságát**, és ez 1960 óta $8,3 \pm 1,4$ ppm-mel növelte a légköri szén-dioxid-szintet. Délkelet-Ázsia és Dél-Amerika trópusi erdőinek nagy része az éghajlatváltozás és az erdőirtás együttes nyomása alatt **nyelőből forrássá vált**.¹³⁴

VI/4. ábra. A természetes szárazföldi szén-nyelő átértékelése.

PgC/év, 2015–2024. A korrekció a felszínborítási torzítást veszi ki.



Megjegyzés: A bizonytalanság rendre $\pm 0,94$, $\pm 0,77$ és $\pm 1,04$ PgC/év – a harmadik oszlopnál a bizonytalanság csaknem akkora, mint maga az érték. A korrigált nettó nyelő közel áll a légköri mérésekből független úton kapott értékhez, ami az átértékelést megerősíti. Tervezési következmény: ugyanaz a kibocsátás több légköri szén-dioxidot eredményez, mint amennyivel a korábbi mérlegek számoltak.

Forrás: O'Sullivan és mtsai (2026), npj Climate and Atmospheric Science; Friedlingstein és mtsai (2026), Nature.

A nyelő-átértékelés jelentős része a becslési módszer javításából ered, nem újonnan megfigyelt romlásból, hiszen a szárazföldi nyelő nem egyik évről a másikra lett kisebb, csak eddig rosszul becsültük. A romlásra vonatkozó állítás ettől független, és a $8,3$ ppm-es érték támasztja alá. A ketőt együtt idézni pontatlanság volna.

A metán a második legnagyobb emberi eredetű melegítő tényező, és a rövid légköri élettartama miatt az egyetlen, amelynél a beavatkozás hatása évtizedes időtávon is látszana.

mutató	érték	megjegyzés
léggöri koncentráció, 2024	~1922 ppb	az iparosodás előtti szint mintegy két és félszerese
éves növekmény, 2020–2022	13–18 ppb/év	a mérési sor rekordévei
éves növekmény, 2023–2024	7–11 ppb/év	érdemi lassulás a rekordévekhez képest
a lápok kibocsátásának hőmérséklet-érzékenysége	+24 ± 10 Tg/év °C-onként	megfigyeléssel szűkített becslés
a lápok kibocsátása a 2090-es években	+50–60 % a 2010-es évekhez képest	~5 °C szárazföldi melegedés mellett

A koncentráció szintje robusztus, az éves növekmény pontos értéke viszont adatterméktől függ, mert ugyanarra a 2023-as évre a különböző hivatalos feldolgozások 8,7 és 11,1 ppb közötti növekményt adnak. A lassulás iránya mindegyikben megjelenik, a mértéke viszont közvetlenül nem hasonlítható össze.¹³⁵

Az AR6 óta érkezett érdemi újdonság a visszacsatolást érinti, nem a koncentrációt. Egy hét modellből álló modellegyüttesre és 163 állomás-évnnyi közvetlen fluxusmérésre épített becslés szerint a lápok metánkibocsátása minden fok szárazföldi melegedésre lineárisan, évi 24 ± 10 Tg-mal nő, és a század végére a 2010-es évekhez képest 50–60 %-kal emelkedik.¹³⁶ A szakpolitika szempontjából a rövid távú következmény a lényeges. A 2030-as évekre várható növekmény 90 %-os valószínűséggel eléri az évi 10 Tg-ot – ez a globális metánvállalás által célzott csökkentés 8–10 %-a, 10 %-os valószínűséggel viszont 33–39 %-a. Vagyis a vállalás egy része tiszta csökkentés helyett a visszacsatolás ellensúlyozására megy el. A mérséklési oldalra ebből az következik, hogy a metáncsökkentés nem másodlagos tétel. A szén-dioxid-csökkentés hatása elsősorban a 2035 utáni, hosszabb távú pályán halmozódik, a metáncsökkentés hatása viszont a globális hőmérsékletben a leghamarabb, már 2035 és 2050 között kimutatható, és a hazai vállalásnak a visszacsatolás által elvett hányadot is pótolnia kell.

A becslés érvényességét szűkíti, hogy a szűkítést adó mérések zöme közepes és magas szélességekről származik, miközben a becsült növekmény mintegy kétharmada a trópusokra esik. A trópusi megfigyelési hiány a becslés legfőbb gyenge pontja, és ezt a szerzők maguk is jelzik.

VI.4 A szélsőségek amplitúdója

A globális kép legkevesbé közismert, tervezési szempontból viszont a legfontosabb eleme a szélsőségek viselkedése. Ezek gyakoribbá válnak, és a kiugrásuk mértéke is nő.

A gyakorisági oldal a könnyebben érthető. Az idei frissítés új mutatóként vezette be a tengeri hőhullámos napok számát, amely 1991 és 2025 között több mint megháromszorozódott, 2025-ben pedig 65 nap volt. Az emelkedő átlaghőmérséklet mellett ez várható, a mértéke viszont nem.

Az amplitúdóoldal a fontosabb. A rekorddöntő eseményekre vonatkozó szakirodalom szerint a melegedő éghajlatban több rekord dől meg, és a rekordok nagyobb ugrásokkal dőlnek meg – az eloszlás eltolódása mellett a hosszú távú átlagtól nagy távolságra eső eseményekre is megnő az esély.¹³⁷ Ehhez társul két, egymást erősítő eredmény: a szélsőcsapadék megfigyelt hőmérséklet-skálázását a **modellek rendszeresen alulbecslik**, és mérsékelt globális melegedés mellett is előfordulhatnak olyan térben összefüggő szélsőséges kimenetek, amelyek meghaladják a 3–4 °C-os többmodelles középértékeket.

Ez a lánc fogalmilag rokon a hazai csapadék [II.4](#) pontban leírt szerkezeti változásával és a 2026-os magyar nyárral [szintézis, nem forrás], mert mindegyik mögött az az állítás áll, hogy a tervezésnek nem az eltolódó átlagra, hanem az elnyúló szélsőérték-tartományra kell méreteznie. A mennyiségi átvitel viszont nem megengedett, mert a globális skálázási érték és a rekordugrási valószínűség közül egyik sem vihető át magyar méretezési értékre.

VI.5 Nyitott szélsőérték-tartományok

Végül három kérdést nyitva hagyunk, mivel ezek az AR6 óta sem tisztázódtak: az Atlanti Meridionális Áramlás (AMOC) jövője, a felhő-visszacsatolás erőssége és a 2023-as év mintegy 0,2 °C-os megmagyarázatlan maradéka. Az AMOC gyengülésének mértékéről és időzítéséről a szakirodalom megosztott. Ezek mindegyike olyan bizonytalanság, amelynek az eloszlása **mindkét irányban nyitott** – a kockázati keretben pedig a felső szélsőérték-tartomány a drágább.

VI.6 Átvitel – mit módosít a hazai olvasatban, és mit nem

A globális kép a hazai kockázati olvasatnak három elemet ad, és hármat nem. Ad **kiindulási osztályt**: azt a tágabb esethalmazt, amelyhez a hazai megfigyelt trendek mérhetők. Ad **irányt** a **bizonytalanság kezeléséhez**:

ahol a globális megfigyelés a modellvárakozás szélén áll, ott a hazai modellsáv sem középértékként olvasandó, hanem az alja alsó korlát, a tervezési minimum pedig a megfigyelt érték (H.2). Ad **szélsőérték-olvasatot**: a méretezés az eloszlás szélére vonatkozik, nem az átlagára. Nem ad viszont hazai veszteségbecslést, sem alapot a hazai hatásláncok közötti együttmozgásra, sem beavatkozási sorrendet – ezekről a hazai fejezetek (I–V. és VII–IX.) szólnak. Ahol a globális kép hazai kiindulási értéket nem ad, ott ezt jelezzük, és nem pótoljuk becsléssel.

- **Az elemzésben használt minimumszabálynak van globális megfelelője.** Az energiamérleg többletének növekedését a modellek többsége alulbecsüli (VI.1), a melegedés üteme pedig az utóbbi másfél évtizedben a CMIP5-ös modellek tartományának tetején, a CMIP6-osokénak a felső részén áll.²²¹ Egy 2026-os vizsgálat szerint a CMIP6-os modellek átlaga a 2011–2025-ös ütemet mintegy 28 százalékkal alulbecsüli.²²³ Az évente frissített globális mutatókészletből¹²² származik egy harmadik, kontinentális ország szempontjából lényeges részlet is, a megfigyelt szárazföld/óceán melegedési arány, amely 1,75 (szárazföld +1,81 [1,63–2,07] °C, óceán +1,03 [0,83–1,14] °C, 2016–2025, 1850–1900-as bázison). Mindez nem bizonyítja, hogy a hazai modellek alulbecsülnek – más mennyiség, más lépték, és az arány **globális középérték**, amely a Kárpát-medencére vonatkozó állítást nem alapoz meg –, de **azonos irányba mutat**, és ez a párhuzam az egyetlen olyan érv, amely nem hazai adatból származik.
- **Az aeroszoltisztulás egy lehetséges mechanizmus.** Ha az európai és hazai regionális modellek a maszk lekerülésének ütemét alulbecslik, az részben magyarázza a megfigyelés és a projekció közötti eltérést (H.2). Ez vizsgálendő, nem bizonyított.
- **A nyelőkérdés határfeltétel, nem magyar változó.** Magyarország kibocsátáspolitikája nem befolyásolja a trópusi erdők állapotát, a gyengülő nyelő viszont azt jelenti, hogy **ugyanaz a globális kibocsátás több légköri széndioxidot ad**, tehát a hazai tervezés mögötti globális pálya rosszabb, mint amivel a hivatkozott forgatókönyvek számolnak.
- **A metán-visszacsatolás a mérséklési oldal tétele, nem az alkalmazkodásé.** Ebben az elemzésben azért szerepel, mert a hazai klímapolitikai vitában a metánvállalás rendszeresen tiszta nyereséggént jelenik meg – a fenti értékek szerint nem az.

Négy következtetés adódik a fentiekből. (1) Az energiatöbblet felhalmozódása gyorsul, és a gyorsulás mért értéke, nem modellezett (VI.1). (2) A következő évtized éghajlati pályája nagyrészt eldöntött, ezért van értelme évtizedes horizontú alkalmazkodási tervezésről beszélni, a következő

bekezdésben pedig kifejtjük, mi dönti el, és mi nem. (3) Az érzékenységi vita a 2050 utáni pályát tágítja, nem a következő tízévest. (4) A nyelők gyengülése és a metán-visszacsatolás miatt a hazai tervezés mögötti globális pálya rosszabb, mint amivel a hivatkozott forgatókönyvek számolnak (VI.3).

Ehhez egy pontosítás szükséges, mert a kérdés a hazai szakmai vitában is visszatér. Az „elkötelezett melegedés” nem azt jelenti, hogy a rendszerben tárolt energia évtizedes léptékben további melegedést írna elő. A szén-dioxid-kibocsátás megszűnése után a globális hőmérséklet emelkedése a szakirodalom szerint nagyjából megáll. A nulla nettó szén-dioxid-kibocsátás utáni hőmérsékletváltozás (ZEC) legjobb becslése az AR6 szerint $0 \pm 0,3$ °C, a jel irányában alacsony megbízhatósággal.¹³⁸ A következő évtized pályáját tehát nem a fizikai tehetetlenség rögzíti, hanem az, hogy a kibocsátás ezalatt nem szűnik meg, mivel nulla nettó kibocsátás tíz éven belül csak a gazdasági rendszer drasztikus átalakításával vagy összeomlásával volna elérhető. Ezekről a helyzetektől eltekintve a tétel a 2026–2035-ös tervezésben **elvi jelentőségű. A kiváltó ok fennáll, így a mért melegedési ütem marad a tervezés kiindulópontja.**

Ehhez a képhez két megjegyzés szükséges:

(1) A ZEC a szén-dioxidra vonatkozik, az aeroszolkibocsátás megszűnése viszont ellenkező irányba, rövid távú melegedési lépcső felé hat (VI.2).

(2) A nulla közeli ZEC két nagy tag kioltásának eredménye. **Mintegy +0,2 °C még meg nem valósult óceáni melegedés** áll szemben mintegy –0,2 °C-kal, amelyet a szárazföldi és óceáni nyelők szén-dioxid-elvonása ad, a hőtag modellek közötti szórása pedig a szenciklustagénak több mint kétszerese.¹³⁹

Ha a VI.3 megállapítása érvényes – a nyelők gyengébbek a leltárakban nyilvántartott értéknél, és romlanak –, az éppen a kioltó tag ellen hat. Ez a fenti forrás és a VI.3 megállapításának összekapcsolásából adódó saját értelmezésünk. A kockázati keretben a nulla ZEC két bizonytalan, ellentétes irányú folyamat egyensúlya, nem nyugalmi állapot.

Négy következtetés viszont nem adódik a fenti képből. (1) Nem jelenti, hogy a hazai számok bármelyikét a globálisból lehetne levezetni – a Kárpát-medence melegedése a globális átlag fölött van (II.1), de az arány nem állandó, és ilyen szorzót nem közlünk. (2) Nem jelenti, hogy az elemzés minimumszabálya globálisan igazolt volna, mert a szabály változónként igazolandó, és a globális energiamérleg vagy a szárazföld/óceán arány egyetlen konkrét hazai mutatót sem igazol. (3) Nem jelenti, hogy a magasabb érzékenységi becsléseket magunkévá tennénk, hiszen a vitát bemu-

tatjuk, nem döntjük el. (4) Végül azt sem jelenti, hogy a globális bizonytalanság a hazai tervezést felfüggesztené – épp fordítva, a mért energia-többlet-felhalmozódás és a mért melegedési ütem kiszámíthatóbbá, nem bizonytalanabbá teszi a következő évtizedet.

Ez a fejezet kontextust ad, magyar attribúciót viszont nem, mert egyetlen hazai esemény, évjárat vagy trend sem vezethető le belőle. A globális kép **kontextus és határfeltétel**, a hazai állítások bizonyítéka az I–III. fejezet mérése marad.

A fejezet értékei évente frissülnek, és a frissítés érdemi lehet – ez a kiadás a 2025-ös évjáratot közli, 2026. júniusi állás szerint. Az elemzés hazai számai ötvenöt éves sorokra épülnek, ezek viszont nem. A kétféle érték élettartama különbözik, és a globális kép értékeit **nem szabad ugyanolyan tartósnak tekinteni, mint a hazai megfigyelési trendeket.**

mutató	az AR6-ciklus olvasata	mai olvasat	státusz
energiamérleg többlete	~0,9 W/m ²	1,8 W/m ² (2023)	megfigyelés; az éves értékek a modelltartományon belül, a növekedés ütemét a modellek többsége alulbecsüli (VI.1)
emberi eredetű melegedés üteme	–	0,27 °C/évtized (2016–2025)	évente frissített mutató
aeroszolhűtés	~–1,3 W/m ² , lassan gyengülő	–1,03 W/m ² (2021–25)	gyorsuló nyílás 2010 után
természetes szárazföldi nyelő	3,0 PgC/év	2,42 PgC/év	módszertani korrekció
a nyelők éghajlati romlása	kvalitatív	+8,3 ± 1,4 ppm 1960 óta	új mennyiségi becslés
lápi metán-visszacsatolás	széles, szűkítetlen tartomány	+24 ± 10 Tg/év °C-onként	megfigyeléssel szűkítve
2023–24-es tengerfelszíni rekord	–	összetett: El Niño + aeroszollépcső + maradék	okonként szétválasztandó, nem egyben idézendő

VII

Kitekintés 2050-ig

A FEJEZET SZAKASZAI

VII.1	A globális hőmérséklet 2050 körül: három tervezési szint	122
VII.2	A megállás szintje: 1,8 °C a kedvező eset, 1,5–1,6 °C a kedvező szélső eset	127
VII.3	A nettó zéró utáni hőmérséklet: az óceán és a nyelők szerepe	130
VII.4	Európa és a Kárpát-medence 2050-ig	132
VII.5	A Duna vízgyűjtője: az Alpok víztároló szerepének gyengülése	133
VII.6	A Magyarországot érintő billenőpontok	138
VII.7	Hogyan ér el a külső hatás az országhoz: öt csatorna 2050-ig	141
VII.8	Kockázati mérleg és tervezési olvasat 2050-re	143

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Tervezési alap

A tervezés 2050 körül legalább 2 °C-os globális melegedéssel számoljon. A stresszpróba szintje 2,5 °C, a szélső ág szintje 3 °C.

Kedvező eset

Az egyik legkedvezőbb értékelte pályán, ha minden vállalat és nettó zéró cél teljesül, a melegedés mintegy 1,8 °C-on tetőzik. Az 1,5 °C-os megállást a 2025-ben induló legszigorúbb pályák sem adják: ezek 50 százalékos eséllyel 1,6–1,8 °C-on tetőznek, az 1,6 °C ezek alsó széle. Egyik szint sem számolható el megtakarításként.

A nettó zéró utáni hőmérséklet

A kibocsátás megszűnése utáni hőmérséklet az óceán és a nyelők viselkedésén múlik. A megállás a legjobb becslés, nem garancia.

Duna

Az Alpok gleccsereinek térfogata 2050-ig mintegy a felére csökken, és a hótakaró is fogy. A téli vízhozam nő, a nyári tartalék kisebb lesz; a nyári átlag irányában a vizsgálatok eltérnek.

Billenőpontok

Magyarországra a légköri áramláson, a Duna vízjárásán, a globális melegedési pálya emelkedésén, hosszabb távon pedig a tengerszinten és az uniós gazdaságon keresztül hatnak. Az atlanti mélyáramlás gyengülése a hazai melegedést nem oltja ki.

Az évtizedes horizonton túl a hazai mérés már nem ad közvetlen támpontot, a hazai éghajlati projekciók pedig a **H.2** szerint négy mutatón alulbecsülnek. Ez a fejezet ezért a kockázatkezelés kérdéseit teszi fel: mire kell

2050-ig méretezni, mi kerülhető el kedvező esetben, és mit kell figyelni. A megközelítést a biztosításmatematikai (aktuáriusi) gyakorlatból vesszük át.¹⁴⁰ Az aktuárius a legvalószínűbb kimenet mellett azt is megkérdezi, mi lehetséges, és a tönkremenetelhez vezető forgatókönyvekből számol visszafelé, amit fordított stresszpróbának neveznek (VIII.5). Ahol két megalapozott becslés eltér, a kedvezőtlenebbre is stresszpróbát épít.

A fejezet a bekövetkezés esélyét három szóval jelöli. *Valószínűnek azt nevezzük, ami a források többsége szerint inkább bekövetkezik, mint nem. Lehetségesnek azt, amit megalapozott források reálisnak tartanak, de nem ez a központi kimenet. Kevésbé valószínűnek pedig azt, ami több feltétel egyúttállását igényli, de nem zárható ki.* A besorolás saját ítéletünk a fejezet forrásai alapján. Számított valószínűséget azért nem közlünk, mert a 2050-es horizonton a mérés helyét nagyrészt a modell és a szakértői értékelés veszi át, és az egyes kockázatok együttes valószínűsége megbízhatóan nem becsülhető (VIII.3).

VII.1 A globális hőmérséklet 2050 körül: három tervezési szint

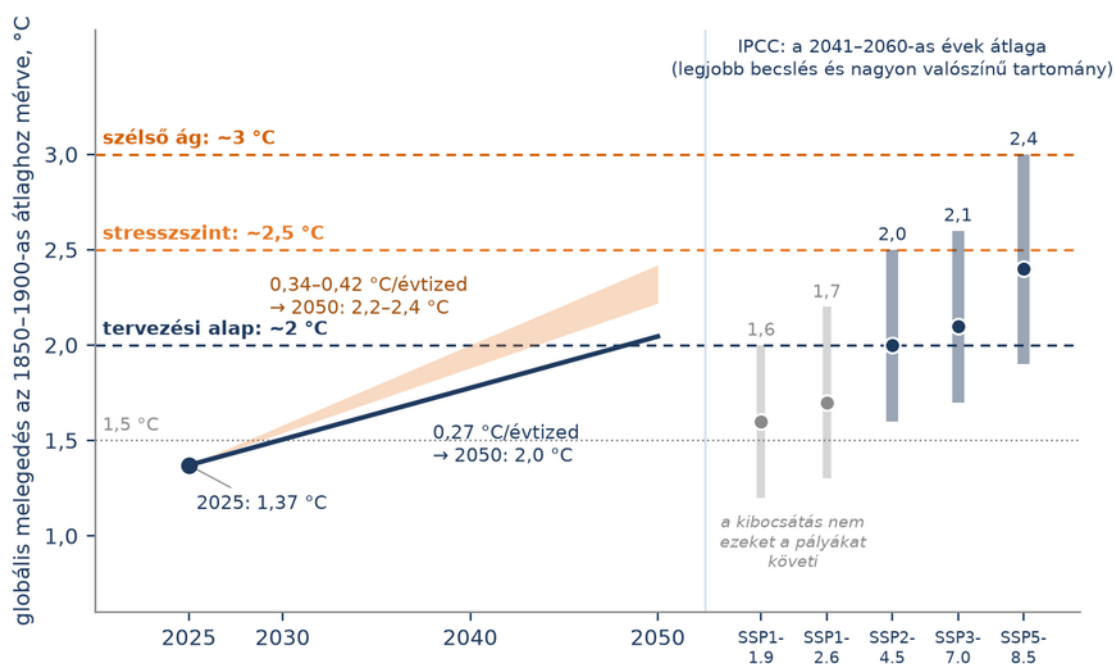
Az emberi eredetű melegedés 2025-ben 1,37 °C volt, üteme az elmúlt évtizedben 0,27 °C évtizedenként (VI.1). Egy 2026-os vizsgálat ennél gyorsabb ütemet mutat, miután a természetes ingadozások (az El Niño, a vulkánkitörések és a naptevékenység) hatását kiszűrte. Öt globális adatsoron 2013–2014 óta évtizedenként 0,34–0,42 °C-os melegedést talált, és a gyorsulást 98 százalék fölötti megbízhatósággal mutatta ki.¹⁴¹ Egy másik, 2026-os, véglegesítés előtt álló vizsgálat a természetes ingadozások kiszűrése nélkül, öt adatsoron 2011 és 2025 között évtizedenként 0,40 °C-os ütemet talált, kétszer akkorát, mint 1971 és 2025 között. Ennek egyenes továbbvezetésével a melegedés az 1,5 °C-os szintet az IPCC húszéves meghatározása szerint 2028 körül (2026–2031), a 2 °C-ost 2040 körül éri el. A gyorsulás ebben a vizsgálatban a 2024-es rekordév nélkül statisztikailag nem mutatható ki, és a szerzők szerint a továbbvezetés a 2 °C-os szintre kevésbé megbízható, mint az 1,5 °C-osra.²²³ Ha a 0,27 °C-os ütem folytatódik, a melegedés 2050-re 2,0 °C. Ha a gyorsult ütem marad fenn, 2,2–2,4 °C, a 0,40 °C-os ütemmel mintegy 2,4 °C (saját számításunk; VII/1. ábra). Mindegyik változat a 2,5 °C-os stresszszint alatt marad.

A két ütem együtt adja a tervezési sávot. A gyorsulás öt mért adatsoron kimutatható (lásd a fenti bekezdést és a 223. jegyzetet), statisztikailag azonban egyelőre a 2024-es rekordév hordozza. A tévedés költsége ugyanakkor aszimmetrikus: ha a tervezés figyelmen kívül hagyja a valós gyorsulást, a kár nagyobb és nehezebben javítható, mint ha egy átmenetinek

bizonyuló gyorsulásra is felkészül. A 2 °C ezért a tervezés alsó határa: a hosszabb távú ütem folytatódásából következik, és megegyezik az IPCC közepes pályájának becslésével. A 2,5 °C-os stresszszint azt az esetet fedi le, amikor a már mért gyorsult ütem 2050-ig fennmarad, és saját ítéletünk szerint ez legalább annyira valószínű, mint az alapszint. Hogy fennmarad-e, az azon múlik, milyen gyorsan szűnik meg a maradék aeroszolhűtés (VI.2), és mennyire gyengülnek a nyelők (VI.3). Ez ma nem dönthető el, ezért a magasabb ütem a stresszpróba alapja. A stresszszint a VI.2-ben leírt egyszeri szintváltást nem számolja el másodszor. Arra az esetre vonatkozik, amikor a maradék aeroszolhűtés 2050-ig folyamatosan fog, a nyelők gyengülnek, vagy az éghajlati érzékenység a feltételezettnél magasabb.

VII.1. ÁBRA

A globális felmelegedés 2050 körül: a mért ütem két továbbvezetése és az IPCC tartományai.



°C az 1850–1900-as átlaghoz mérve. Bal oldal: továbbvezetés a 2025-ös értékből. Jobb oldal: a 2041–2060-as évek átlaga öt kibocsátási forgatókönyvben.

FORRÁS Forster és mtsai (2026); Foster és Rahmstorf (2026); IPCC (2021), SPM.1 táblázat; a továbbvezetés saját számítás.

MEGJEGYZÉS A továbbvezetés egyszerű számtani művelet, nem előrejelzés. A 2050-es évre vonatkozik, ezért a húszéves átlaggal csak közelítőleg vethető össze. A két alacsony forgatókönyv azonnali, meredek kibocsátáscsökkentést feltételez, amely nem következett be (VII.2), ezért szürke.

Az IPCC hatodik értékelő jelentése a 2041–2060-as évek átlagára a közepes kibocsátási pályán 2,0 °C-ot ad, 1,6–2,5 °C-os nagyon valószínű tartománnyal. A magas pályán 2,1 °C (1,7–2,6), a nagyon magas pályán

2,4 °C (1,9–3,0) a becslés. A két alacsony pálya 1,6–1,7 °C-os értékeazonnali, meredek kibocsátáscsökkentést feltételez, amely nem következett be (VII.2).

Három intézményi értékelés mutat ugyanebbe az irányba. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) 2026-os előrejelzése szerint 75 százalék az esélye, hogy a 2026–2030-as évek átlaga meghaladja az 1,5 °C-ot. A brit Éghajlatváltozási Bizottság 2026-os kockázatértékelése a 2050-re elért 2 °C-ot minimális tervezési feltevésnek tekinti, és a 2100-ra elért 4 °C-ot sem zárja ki. A brit aktuáriusi szakmai testület kiadásában megjelent jelentés szerint a 2 °C fölötti melegedés 2050 előtt valószínű, ha a pálya nem változik. A 3 °C fölötti melegedés 2050-ig akkor lehetséges, ha magas éghajlati érzékenység és tartós gyorsulás együtt áll fenn, valószínűsége azonban alacsony.¹⁴²

tervezési szint	globális melegedés 2050 körül	alátámasztás	szerepe a tervezésben
alap	~2 °C	a mért ütem folytatódása; az IPCC közepes pályája; a brit minimális tervezési feltevés	minden 2050-ig működő eszköz és szabvány viszonyítási alapja
stressz	~2,5 °C	a gyorsult ütem fennmaradása (2,2–2,4 °C) ráhagyással; az IPCC közepes pályájának felső szélé	kötelező érzékenységvizsgálat a minimumszabály mutatóin és a hosszú élettartamú létesítményeken
szélső ág	~3 °C	az IPCC nagyon magas pályájának felső szélé; magas érzékenység és tartós gyorsulás együtt	történetiszál

Mit jelent a három szint a Kárpát-medencében

A három szint globális érték, amelyből hazai érték szorzással nem képezhető (VI.6). A hazai becslést az adja, hogy a globális éghajlati modellek a régióban mennyit melegszenek abban a húszéves időszakban, amikor a globális átlag az adott szintet eléri. Ezt az IPCC hatodik értékelő jelentésének nyilvános regionális adatbázisából számoltuk ki, 35 globális modell (CMIP6) futásaiból, az IPCC melegedésiszint-módszerével.²²⁹ Magyarország a nyugat- és közép-európai régió déli szélén, a mediterrán régió határán fekszik, ezért az alábbi táblázat mindkét régió szárazföldi értékét közli, az 1991–2020-as normálhoz mérve. A globális szintek viszont az iparosodás előtti, 1850–1900-as átlaghoz mérik a melegedést, és a globális átlag 1991–2020-ban már mintegy 0,9 °C-kal volt e fölött.²³⁰ Hogy a hazai és a globális érték azonos alapra kerüljön, a táblázat első oszlopa zárójelben azt is közli, mennyi a globális melegedés az 1991–2020-as globális át-

laghoz képest: 2 °C-os szintnél mintegy 1,1, 2,5 °C-nál 1,6, 3 °C-nál 2,1 °C. Azonos alapon mérve a régió tehát mintegy 1,4–1,5-szer olyan gyorsan melegszik, mint a globális átlag. Az iparosodás előtti alaphoz mérve a nyugat- és közép-európai régió 2 °C-os globális szintnél mintegy 2,7, 2,5 °C-nál 3,3, 3 °C-nál 4,0 °C-kal melegebb. A zárójeles tartomány a modell-futások középső kétharmada.

A modellekben ez a felerősödés kisebb, mint az elmúlt évtizedekben mért, alább ismertetett érték. A különbség egyik oka a kénszennyezés csökkenése: a kén-dioxid-kibocsátás Európában 1990 óta meredeken esett, Magyarországon 1990 és 2010 között 832 ezer tonnáról 30 ezer tonnára, a korábbi érték alig 4 százaléka.²⁴² A tisztuló légkör több napsugárzást enged a felszínre, és a modellvizsgálatok az 1980 óta mért európai melegedés mintegy negyedét, a nyári melegedésnek ennél nagyobb részét ennek tulajdonítják.²⁴³ Mivel ez a csökkenés nagyrészt lezajlott, egy 2025-ös vizsgálat szerint Európa nyári többletmelegedése a következő évtizedekben jelentősen kisebb lehet,²⁴⁴ ami a modellek kisebb jövőbeli felerősödésével összhangban van. Mégis alsó becslésként kezeljük, mert ugyanezek a modellek a múltbeli európai melegedést is alulbecsülték, elsősorban a légkörzés megváltozásából adódó részét, amelynek okáról és tartósságáról a szakirodalom nem egységes.²⁴⁵ Saját feltevésünk, hogy a lengyelországi és a nyugat-balkáni kénkibocsátás még hátralévő csökkenése a térségben tovább növelheti a melegedést.

globális szint az iparosodás

előtti átlaghoz (zárójelben az 1991–2020-as globális átlaghoz)	évi középhőmérséklet, °C (Nyugat- és Közép-Európa / mediterrán)	nyári középhőmérséklet, °C (Ny-K-Eu. / med.)	nyári és téli csapadék, % (Ny-K-Eu. / med.)
2 °C (+1,1 °C)	+1,7 (1,3–2,1) / +1,5 (1,2–1,9)	+1,9 (1,3–2,4) / +2,0 (1,4–2,4)	nyár –6 / –12; tél +5 / –3
2,5 °C (+1,6 °C)	+2,2 (1,8–2,7) / +2,1 (1,7–2,5)	+2,5 (1,9–3,2) / +2,7 (2,1–3,1)	nyár –8 / –17; tél +8 / –4
3 °C (+2,1 °C)	+2,9 (2,4–3,3) / +2,7 (2,3–3,0)	+3,3 (2,6–3,8) / +3,4 (2,8–3,8)	nyár –10 / –21; tél +10 / –5

A modellek a mért hazai melegedést eddig alulbecsülték. Az évi középhőmérséklet Magyarországon az 1971–1990-es és a 2006–2025-ös időszak között 1,51 °C-kal nőtt, a globális átlag 0,70 °C-kal, vagyis a hazai melegedés 2,2-szer gyorsabb volt.²³⁰ A modellek ugyanerre az időszakra a nyugat- és közép-európai régióban 1,9-szeres felerősödést adnak (1,6–2,3). Magyarországra külön modellérték a regionális adatbázisban nincs, ezért a mért hazai felerősödést a régió modellátlagához mérjük. Ez nem a VI.6-ban elvetett globális–hazai szorzó, hanem a modell és a mérés eltérésének ará-

nyos korrekciója. A különbséggel arányosan ($2,17/1,92 = 1,13$ -szorosán) korrigálva a hazai évi melegedés az 1991–2020-as normálhoz mérve 2 °C -os globális szintnél mintegy $1,9\text{ °C}$, $2,5\text{ °C}$ -nál $2,5\text{ °C}$, 3 °C -nál $3,3\text{ °C}$. Ez saját becslésünk, a tervezési minimum szabálya szerint (H.2) azonban az évi középhőmérsékletre a táblázat modellértékei helyett ez az irányadó.

A számokat a mért nyarakhoz mérve lehet a legjobban megérteni. A 2026-os nyár országos középhőmérséklete $2,59\text{ °C}$ -kal haladta meg az 1991–2020-as normált, és 1901 óta a második legmelegebb volt (II.2). A modellek szerint 2 °C -os globális szintnél a nyár átlagosan $1,9\text{–}2,0\text{ °C}$ -kal, $2,5\text{ °C}$ -nál $2,5\text{–}2,7\text{ °C}$ -kal, 3 °C -nál $3,3\text{–}3,4\text{ °C}$ -kal melegebb a normálnál. Egy $2,5\text{ °C}$ -os világban tehát a 2026-os nyár a modellek középértéke szerint átlagos nyárnak számít, a mért felerősődéssel arányosan korrigálva pedig inkább átlag alattinak. Egy 3 °C -os világban az átlagos nyár már korrekció nélkül is melegebb a 2026-os nyárnál. A forró napok 2021–2025-ös átlaga, évi 8,5 nap (II.1), már a 2 °C -os szinten is alsó határ, mert a 2020–2025-ös nyarak mintegy $1,3\text{ °C}$ -kal voltak melegebbek a normálnál, a 2 °C -os szint átlagos nyara pedig ennél is melegebb. Ezek a számok a modellek középértékei, a valós értékek a fenti alulbecslés miatt inkább magasabbak. Az összevetés saját értelmezésünk.

A hőségmutatókat a globális modellek regionális adatbázisa nem közli, ezeket a hazai FORESEE-HUN készlet 28 regionális futásából számoltuk ki. Minden futásnál azt a húszéves időszakot vettük, amikor a futást meghajtó globális modell eléri az adott szintet.²³¹ Az alábbi táblázat országos átlagot mutat, a megfigyelt értékek a HungaroMet homogenizált napi rácsából valók, amely ugyanennek az adatbázisnak a mért ágát is adja.

	hőségnap ($\geq 30\text{ °C}$), nap/év	forró nap ($\geq 35\text{ °C}$), nap/év	trópusi éjszaka ($\geq 20\text{ °C}$), éjszaka/év
mért, 1991–2020	28	2,8	1,9
mért, 2006–2025	36	4,9	3,6
2 °C (+1,1 °C)	39 (38–46)	7,7 (6,1–9,5)	7,6 (5,9–10,3)
$2,5\text{ °C}$ (+1,6 °C)	44 (39–48)	8,9 (6,2–10,7)	10,9 (7,7–13,4)
3 °C (+2,1 °C)	47 (43–52)	9,9 (8,6–12,7)	14,8 (12,5–18,4)

A regionális futások a hőség növekedését itt is alulbecslik. A 2 °C -os szintre évi 7,7 forró napot adnak, kevesebbet, mint amennyit a hivatalos rácsan 2021 és 2025 között átlagosan már mértek (8,5 nap, II.1), pedig az a globális melegedés $1,3\text{ °C}$ körüli szintjén történt. A H.2 minimumszabálya a forró napokra a következő évtizedre azért nem érvényes, mert ott a modellsáv fedi a mérést. A 2050-es szintekre saját következtetésünk, hogy a

mért 2021–2025-ös átlag alá tervezni indokolatlan, a táblázat 2,5 és 3 °C-os értékei pedig alsó becslésnek tekintendők. Az ötéves mért átlag és a húsz-éves modellablak összevetése a modell rovására torzít (H.2), ezért ez jelzés, nem bizonyíték. A trópusi éjszakáknál a futások már a 2 °C-os szinten az 1991–2020-as mért érték mintegy négyszeresét, a 2006–2025-ösnek kétszeresét adják (évi 7,6), a 2021–2025-ös mért átlagot (évi 6,6, II.1) azonban ez is alig haladja meg.

Ugyanezt mutatja a Copernicus éghajlati atlaszának EURO-CORDEX-adatbázisa is, amely a FORESEE-HUN-nál szélesebb modellkörből 71 regionális futást tartalmaz.²⁴⁶ Az évi középhőmérséklet ezekben 2 °C-os globális szintnél az 1991–2020-as normálhoz képest csak 1,0 °C-kal (0,8–1,4) emelkedik, 2,5 °C-nál 1,6, 3 °C-nál 2,1 °C-kal. 2021 és 2025 között viszont, 1,3 °C körüli globális melegedésnél, az ország már 1,2 °C-kal volt melegebb a normálnál. A forró napok száma, ha a futások változását a mért 1991–2020-as értékhez adjuk, 2 °C-nál évi 5,8 (3,5–11,3), 2,5 °C-nál 7,8, 3 °C-nál 10,8, a trópusi éjszakáké 8,8, 12,9 és 18,7. A forró napok 2 °C-os értéke itt is elmarad a 2021–2025-ös mért 8,5 naptól. Egy 2024-es vizsgálat szerint sok regionális modell állandó aeroszolterheléssel számol, ezért a kénszennyezés csökkenéséből adódó európai melegedést nem adja vissza.²⁴³ Ezért ezeket az értékeket is alsó becslésként kezeljük, és a hőségmutatókra a FORESEE-HUN táblázatát közöljük.

A nyári csapadék a modellek többségében mindkét régióban csökken. A téli csapadék viszont a nyugat- és közép-európai régióban nő, a mediterránban csökken. Magyarország a két régió határán fekszik, ezért a téli csapadék változásának előjele itt bizonytalan, a nyári csökkenés valószínűbb. A melegedés és a nyári csapadék csökkenése együtt a III. fejezetben leírt készletfogyást erősíti, a téli csapadék esetleges növekedése pedig csak akkor ellensúlyozza, ha a téli feltöltődést ténylegesen javítja (III.1). A táblázat évszámokat szándékosan nem közöl. Hogy melyik szint mikor következik be, azt a fenti globális ütem dönti el, nem a regionális modell.

VII.2 A megállás szintje: 1,8 °C a kedvező eset, 1,5–1,6 °C a kedvező szélső eset

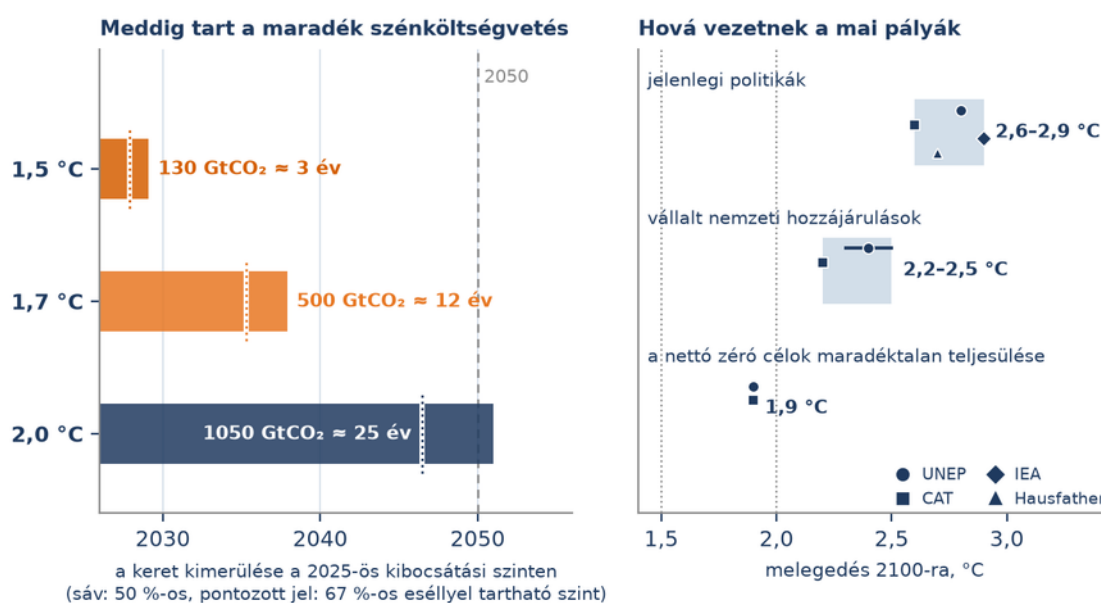
A melegedés azon a szinten áll meg, amelyet a nettó zéró szén-dioxid-kibocsátás eléréséig felhalmozott kibocsátás meghatároz. Azt a szén-dioxid-mennyiséget, amelynek kibocsátása után egy adott hőmérsékleti szint még tartható, maradék szénköltésvetésnek nevezik. Az 1,5 °C-hoz tartozó keret 2026 elején, 50 százalékos eséllyel, 130 milliárd tonna volt. A 2025-ös, évi mintegy 42 milliárd tonnás kibocsátási szinten ez három év

alatt elfogy. Az 1,7 °C-os keret 12, a 2 °C-os 25 évre elég (VII/2. ábra; az évek száma saját számításunk).¹⁴³

A megállás szintje a késlekedéssel emelkedik. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának (UNEP) 2026-os, a túllövésről, vagyis az 1,5 °C átmeneti át-lépéséről szóló jelentése szerint minden további öt évnél, mai szintű kibocsátás mintegy 0,1 °C-kal emeli a tetőzés szintjét. A 2015 óta kibocsátott több mint 400 milliárd tonna szén-dioxid a legalacsonyabb még elérhető szintet már mintegy 0,2 °C-kal megemelte.¹⁴³

VII/2. ÁBRA

A maradék szénköltésigvetés három év alatt elfogy az 1,5 °C-os szinten; a jelenlegi politikák és vállalások 2100-ra 2 °C fölé vezetnek.



Bal oldal: a keret kimerülésének éve változatlan kibocsátás mellett. Jobb oldal: négy értékelés 2100-as hőmérsékleti becslése három feltevés mellett.

FORRÁS Forster és mtsai (2026), 8. táblázat; UNEP (2025); Climate Action Tracker (2025); IEA (2025); Hausfather (2025). Az évek száma saját számítás.

MEGJEGYZÉS A négy értékelés kategóriái nem azonosak, ezért átlagot nem közlünk, csak a tartományt. Az UNEP-értékek 66 százalékos valószínűséggel tartható szintek, a többi középérték. Az IEA értéke a jelenlegi politikák forgatókönyve; NDC-alapú forgatókönyvet a WEO 2025 nem közöl, a nettó zéró forgatókönyve előíró jellegű pálya. Hausfather (2025) csak a jelenlegi politikákra közöl számot.

Az 1,5–1,6 °C-os megállás ezért olyan pályát feltételez, amelyen a globális kibocsátás néhány éven belül a töredékére esik. Az IPCC legalacsonyabb forgatókönyve, amely a 2041–2060-as évekre 1,6 °C-ot ad, 2015–2020-ban induló mély csökkentéssel, 2050 körüli nettó zéróval és azt követő nettó negatív kibocsátással számol. Az UNEP-jelentés szerint az ilyen korán induló pályák már nem megvalósíthatók. A 2025-ig tényleges kibocsátással számoló legszigorúbb pályák is 1,6–1,8 °C-on tetőznek, 50 százalékos eséllyel. A kibocsátás ezzel szemben 2025-ben is évi mintegy 42 milliárd

tonna volt. A tényleges vállalások ettől a csökkentéstől messze elmaradnak. A 2025 novemberéig benyújtott vállalások alapján a globális kibocsátás 2035-re mintegy 12 százalékkal lehet a 2019-es szint alatt. A 2 °C-os szinthez 35, az 1,5 °C-oshoz 55 százalékos csökkentés kellene.¹⁴³

A mai pályák ennek megfelelően magasabbra vezetnek. A jelenlegi politikák 2100-ra 2,6–2,9 °C-os, a vállalt nemzeti hozzájárulások 2,2–2,5 °C-os, a nettó zéró célok maradéktalan teljesülése az UNEP és a Climate Action Tracker szerint egyaránt 1,9 °C körüli melegedést ad (VII/2. ábra). Az UNEP 2026-os jelentése középértékekkel hasonló képet ad. A jelenlegi politikák mellett a melegedés 2100-ra mintegy 2,6 °C (1,9–3,6 °C). Az egyik legkedvezőbb esetben, minden vállalat és nettó zéró cél teljesülésével, mintegy 1,8 °C-on tetőzik (1,7–2,2 °C), és az 1,5 °C ekkor is csak mintegy 20 százalékos eséllyel tartható.¹⁴³ A társadalmi megvalósíthatóságot külön vizsgáló hamburgi értékelés szerint a 2050-ig tartó mély kibocsátáscsökkentést a vizsgált tíz társadalmi hajtóerő egyike sem támogatja. Az értékelés az 1,5 °C-os határ tartását ezért nem tartja hihetőnek. A jóval 2 °C alatti megállást akkor tartja elérhetőnek, ha a vállalások, a végrehajtás és a tudás hiányai megszűnnek.¹⁴⁴

A kedvező pályákat egy további kockázat is terheli. Az éghajlati hatások erősödése a kibocsátáscsökkentés és az alkalmazkodás képességét is gyengítheti, ami a kedvezőtlenebb pályák felé tol. A szakirodalom ezt kislási kockázatnak nevezi, működését a VIII.3 pont mutatja be.

A kockázati keretben ezért két kedvező szintet kell megkülönböztetni. Az 1,8 °C körüli tetőzés a kedvező eset: lehetséges, de minden vállalat maradéktalan teljesülését feltételezi, ami a mai politikákból nem következik. Az 1,5–1,6 °C-os megállás a kedvező szélső eset: kevésbé valószínű, mert a kibocsátás azonnali, példa nélküli ütemű csökkenését kívánja. Ilyen ütemű csökkenés a gazdasági rendszer drasztikus átalakítása vagy összeomlása nélkül nem képzelhető el. A VI.6 ugyanezt állapítja meg a tíz éven belüli nettó zéróról. Erre a következtetésre a szénköltségvetés és a vállalások számadataiból jutunk, és azért közöljük, mert a megállás szintje dönti el, mire kell az alkalmazkodást méretezni. A kedvező eset középértéke a tetőzés szintjéből következően 2050 körül a 2 °C-os tervezési alap alatt marad. A tervezés mégsem erre méretez, mert ez az eset a vállalatok teljes végrehajtásán múlik, a tervezési alap viszont a mért ütemen. A tervezési alap a 2050 körüli 2 °C, amely 2050 után tovább emelkedik, amíg a kibocsátás nem szűnik meg.

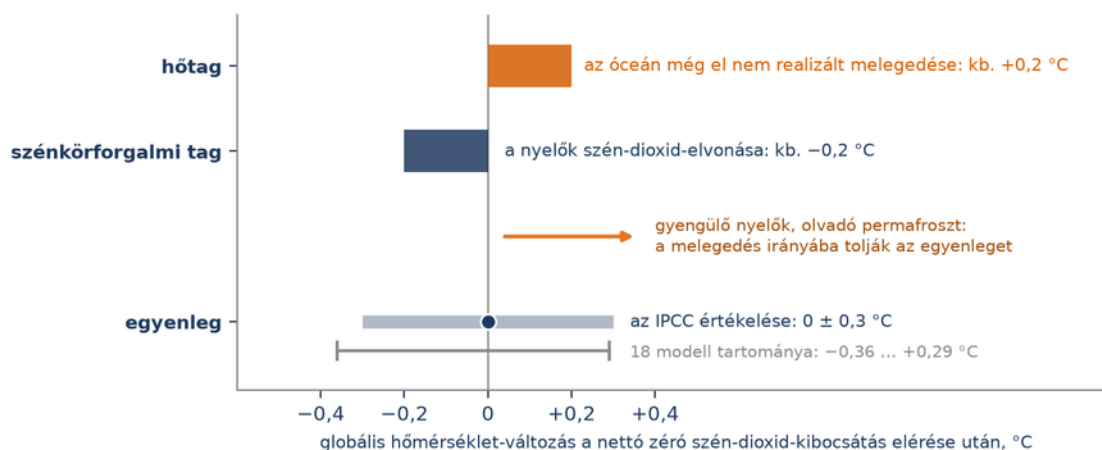
VII.3 A nettó zéró utáni hőmérséklet: az óceán és a nyelők szerepe

A VI.6 szerint a szén-dioxid-kibocsátás megszűnése után a hőmérséklet-változás legjobb becslése nulla, $\pm 0,3$ °C-os tartománnyal, és a jel iránya bizonytalan. Ezt a becslést gyakran úgy értelmezik, hogy a melegedés a nettó zéró elérésekor azonnal megáll. A kockázati olvasat négy okból óvatosabb.

- 1 A nulla két nagy, ellentétes hatás különbsége (VII/3. ábra). Egy lektorálás alatt álló, tízmodelles vizsgálat szerint az óceán még el nem realizált melegedése ötven év alatt mintegy $+0,2$ °C-ot, a nyelők szén-dioxid-elvonása mintegy $-0,2$ °C-ot ad – ez tájékoztató nagyságrend. Az egyenleg ezért a nyelők jövőjén múlik.
- 2 A nyelők a kibocsátás csökkenésekor gyengülnek. Egy 2026-os vizsgálat egyetlen földrendszermodellel végzett idealizált kísérletében a Déli-óceán, amely ma az óceáni szén-dioxid-felvétel 40–50 százalékát adja, a kibocsátás megszűnése táján nyelőből forrássá válik. Ugyanebben a kísérletben az óceán egésze nyelő marad, de a mainál jóval gyengébb. A permafroszt és a tőzeglápok szénvesztése a modellek többségében hiányosan szerepel, és az egyenleget valószínűleg a melegedés irányába tolja.¹⁴⁵
- 3 A megállás a szén-dioxidra vonatkozik. A hűtőhatású aeroszolok kibocsátása a fosszilis tüzelés megszűnésével együtt csökken, és ez rövid távon melegít (VI.2). A metán csökkentése külön feltétel (VI.3).
- 4 A megállás szintje és időpontja is számít. Minél magasabb hőmérsékleten éri el a világ a nettó zérót, annál több billenőpont küszöbét lépheti át addig (VII.6), és ezek hatása a kibocsátás megszűnésével nem fordul vissza. A jégtakarók olvadása és a tengerszint emelkedése a felszíni hőmérséklet megállása után is évszázadokig folytatódik.

VII/3. ÁBRA

A nettó zero utáni hőmérséklet-változás két nagy, ellentétes hatás különbsége.



°C. A nulla körüli egyenleg nem nyugalmi állapot: a nyelők gyengülése a melegedés irányába tolja.

FORRÁS IPCC AR6; MacDougall és mtsai (2020); Sanderson és mtsai (2026, előzetes közlemény); Palazzo Corner és mtsai (2023).

MEGJEGYZÉS A két tag értéke egy lektorálás alatt álló, tízmodelles előzetes közleményből származik, ezért tájékoztató nagyságrend. A tizennyolc modell tartománya (MacDougall és mtsai 2020) az ötven évvel a kibocsátás megszűnése utáni állapotra vonatkozik.

A szakirodalmi áttekintés szerint a nettó zero utáni további melegedés lehetősége valós – nem elhanyagolható az esélye, hogy a változás meghaladja a teljes melegedés 15 százalékát.¹⁴⁵ Ez 2 °C-os melegedésnél 0,3 °C (saját számításunk). A bizonytalanság kétirányú, de a tervezés szempontjából a melegedés irányába mutató ág a drágább (G.5).

A túllövés utáni visszahűlés ennél is lassabb és bizonytalanabb. Az UNEP-jelentés szerint a hőmérséklet 0,1 °C-os csökkentéséhez mintegy 220 milliárd tonna nettó szén-dioxid-eltávolítás kell. Évi 10 milliárd tonnás nettó eltávolítás, a mai kibocsátás mintegy negyede, évtizedenként csak mintegy 0,05 °C-os hűlést adna. Egy évtizednyi mai ütemű melegedés visszafordítása így legalább fél évszázadig tartana. A tartós szárazföldi eltávolítás az elmúlt évtizedben évi mintegy 2 milliárd tonna volt. A jelentés szerint optimista feltevések mellett is legfeljebb néhány tized fokos visszahűlés várható ebben az évszázadban, és az sem biztos, hogy az eltávolítás ugyanannyit hűt, amennyit az azonos mennyiségű kibocsátás melegített.¹⁴⁵

A 2050-es horizonton ebből három tervezési következmény adódik.

- 1 A melegedés a mai pályákon 2050-ig folytatódik, mert a világ addig nem éri el a nettó zérót (VII.2).

- 2 A nettó zéró utáni megállás a legjobb becslés, de nem garancia. A hosszú élettartamú létesítmények tervezése ezért megtakarításként nem számolhatja el.
- 3 Az alkalmazkodást a várható tetőzés szintjére kell méretezni, nem egy későbbi visszahúlásra. Az UNEP-jelentés is azt javasolja, hogy az alkalmazkodási döntések az 1,5 °C átlépése és a várható tetőzés közötti kockázatokra épüljenek, mert a visszafordulás évtizedekig tartana.

VII.4 Európa és a Kárpát-medence 2050-ig

A Copernicus és a WMO európai éghajlati jelentése szerint Európa az 1980-as évek óta kétszer olyan gyorsan melegszik, mint a globális átlag. Az ütem az 1990-es évek közepe óta évtizedenként mintegy 0,56 °C. A kontinensen belül Kelet- és Délkelet-Európa, valamint Közép-Európa egyes részei melegszenek a leggyorsabban.¹⁴⁶ A „kétszeres” arány szorozóként nem használható, mert az európai érték csak szárazföldre vonatkozik, a globális pedig szárazföldre és óceánra együtt, és a szárazföld globális átlagban is gyorsabban melegszik, mint az óceán (VI.6).

A hazai mérés ezzel egyező képet ad. Az évi középhőmérséklet az 1971–1980-as 9,9 °C-ról 2021–2025-re 12,0 °C-ra, a nyári 19,1-ről 22,4 °C-ra emelkedett (II.1). A hazai hivatalos projekció, a HungaroMet KLIMADAT-szolgáltatása, a 2021–2050-es időszakra az 1971–2000-es átlaghoz mérve országos átlagban 1,2–1,7 °C-os melegedést ad (a négy futás rácspontonkénti legkisebb és legnagyobb értékének országos átlaga; medián 1,3 °C).¹¹ Ugyanezen a szolgáltatáson, azonos referenciával a megfigyelt harmincéves átlag 1971–2000 és 1996–2025 között 1,0 °C-kal emelkedett. Ezt a szintet a futások mediánja csak a 2011–2040-es ablakban éri el: évi átlagban a projekció mintegy 15 évvel jár a mérés mögött, nyáron mintegy 24 évvel, télen viszont a mérés előtt (H.2). A minimumszabállyal együtt ez azt jelzi, hogy a hivatalos 2050-es évi és nyári hőmérsékleti értékek alsó becslésként kezelendők, a téli értékekre ez azonban nem mondható el.

A nyári csapadék irányában a hazai források eltérnek. A korábbi hazai összefoglalók a nyári csapadék csökkenését valószínűsítették. A HungaroMet 2024-es értékelése szerint viszont a változás iránya bizonytalan, és csak nagy kibocsátás esetén várható inkább csökkenés.¹⁴⁷ A mérés csökkenést mutat: a nyári félév csapadéka az 1991–2020-as 367 mm-ről 2021–2025-re 312 mm-re esett. Ez a változás szintváltásként statisztikailag még nem igazolható (III.1). A tervezés ezért a nyári csökkenést kockázati irányként kezelje. Ez a mérésből levont következtetésünk, amely a hivata-

los projekció bizonytalanságát nem oldja fel. Azért közöljük, mert a tévedés költsége a száraz irányban nagyobb (G.5).

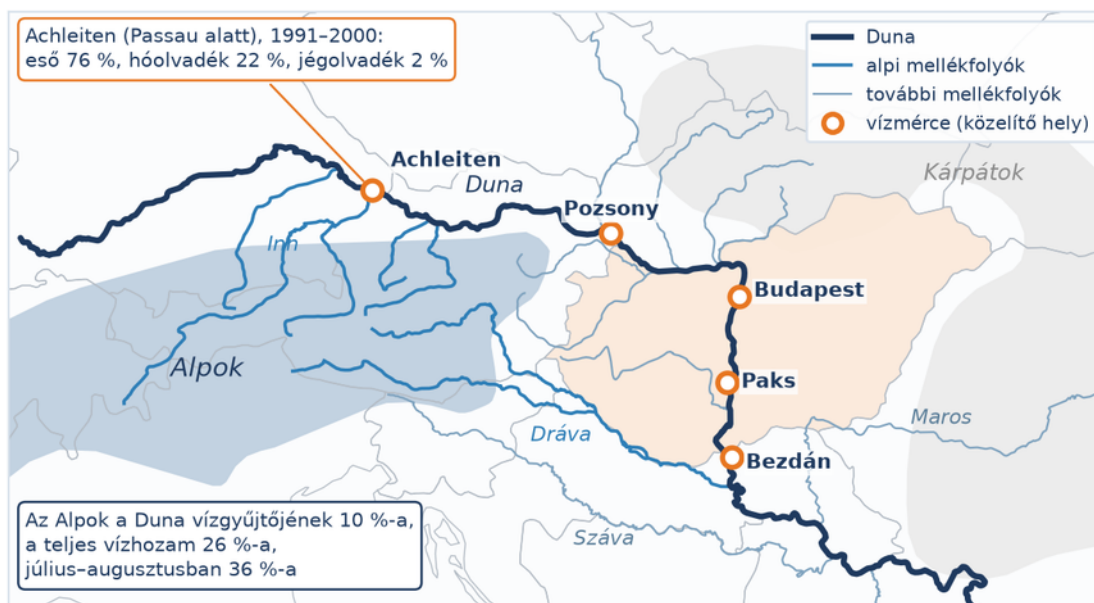
Az aszályra két intézményi forrás ad hazai támpontot. Az OECD 2026-os vízkormányzási jelentése szerint – egy 2014-es, az előző modellgenerációra épülő hazai vizsgálat alapján – az Alföld 96 százalékán 10–30 százalékkal nő az aszályveszély 2021 és 2050 között. A Magyar Nemzeti Bank 2026-os jelentése szerint 2021 és 2024 között négy évből háromban az ország legalább 70 százalékát sújtotta aszály, míg 2000 és 2020 között ez összesen hétszer fordult elő.¹⁴⁸ Az OECD ugyanitt rögzíti, hogy Magyarország édesvízkészletének 96 százaléka határon túlról érkezik. A hazai vízkészlet jövője ezért nagyrészt a felvízi országok éghajlatán és vízhasználatán múlik (VII.5).

VII.5 A Duna vízgyűjtője: az Alpok víztároló szerepének gyengülése

A Duna az Inn torkolata alatt alpesi jellegű folyó, nyári vízbőségét az alpesi mellékfolyók adják. Az Alpok a Duna teljes vízgyűjtőjének 10 százalékát teszik ki, a vízhozamának viszont 26, július–augusztusban 36 százalékát adják (VII/4. térkép). A hegység víztárolóként működik, a téli csapadékot hó és jég formájában visszatartja, és tavasszal, nyáron adja le. A Passau alatti achleiteni vízmércén egy hidrológiai modellszámítás szerint az 1991–2000-es években az éves lefolyás 76 százaléka esőből, 22 százaléka hóolvadékból, 2 százaléka jégolvadékból származott.¹⁴⁹

VII/4. TÉRKÉP

A Duna felső vízgyűjtője: az Alpok a vízgyűjtő tizedét, a nyári vízhozam több mint harmadát adják.



Szemléltető térkép a fő alpesi mellékfolyókkal és a szövegben említett vízmércékkel.

FORRÁS Hydrological Atlas of Switzerland, 6.4 tábla; Weber és mtsai (2010). Térképi alap: Natural Earth; saját szerkesztés.

MEGJEGYZÉS A vízmércék helye közelítő. Az alpesi részesedés a Duna teljes vízgyűjtőjére vonatkozik; a magyar szakaszra külön, hiteles részesedési adatot nem találtunk. A Tisza magyarországi szakaszát a térképi alap nem tartalmazza.

Ez a készlet fogy, és gyorsabban, mint amit a modellek várnak. Az Alpok gleccsereinek térfogata a modellszámítások szerint 2050-ig a 2017-es szinthez képest 47–52 százalékkal csökken, a kibocsátási pályától lényegében függetlenül. A mai jégtérfogat több mint harmada akkor is elvész 2050-ig, ha az éghajlat a mai állapotában maradna. Az alpesi állomásokon az átlagos hóvastagság 1971 és 2019 között évtizedenként 8,4 százalékkal csökkent.¹⁵⁰

A mérés ennél a pályánál előrébb jár. A svájci gleccsermegfigyelő hálózat 2026. október 1-jén közzétett mérlege szerint a 2025/26-os évben a svájci jégtérfogat több mint 5 százaléka tűnt el, a gleccserek átlagosan 2,5–4 méter vastagságot vesztek, a gleccsornyelveken helyenként 10 métert. Ez a 2022-es rekordév után a második legnagyobb éves veszteség, és több nagy gleccseren (Aletsch, Rhône, Allalin, Clariden) a saját mérési sor legnagyobb olvadását mérték. 2022 és 2026 között öt év alatt a svájci jég közel 20 százaléka olvadt el.¹⁵⁰ A 2050-re vetített, 47–52 százalékos fogyás 33 évre elosztva a 2017-es térfogat évi 1,4–1,6 százaléka, a mindenkori maradék jégtérfogatra vetítve évi 1,9–2,2 százalékos ütem; a 2022 óta mért ütem ennek nagyjából a kétszerese. Egyetlen forró évből nem adódik

ütem, 2024 pedig ennél kedvezőbb volt, a sorozat iránya azonban egyértelmű, így a 2050-es modellérték itt is alsó becslésnek tekintendő, nem várható esetnek (H.2). A Duna vízgyűjtőjét ráadásul nem a nagy valais-i gleccserek táplálják, hanem az Inn, a Salzach, az Enns és a Dráva kisebb, alacsonyabban fekvő osztrák és engadini jege, amely arányosan gyorsabban fogy, mint a svájci átlag. Erről a részkészletről egységes térfogatmérleg nem áll rendelkezésünkre, így a svájci sorból csak az irány vezethető le, a mérték nem.

A melegedési szint 2050-ig alig, utána viszont döntően számít. Egy 2025-ös globális vizsgálat szerint a gleccserek tömegének mintegy 39 százaléka akkor is elvész, ha az éghajlat a mai szinten marad, és minden további 0,1 °C nagyjából 2 százaléknyi további jégvesztést jelent. Az Alpokban a szerzők közlése szerint a mai melegedés hosszú távon már a jég felének elvesztésével jár, és tartósan 1,5 °C-os melegedésnél a jég 30, 2 °C-nál 15, 3 °C-nál mintegy 5 százaléka marad meg. Ezek az értékek az egyensúly beálltára vonatkoznak, nem 2050-re.²³² Egy másik vizsgálat szerint 2,7 °C-os melegedésnél a közép-európai gleccserek a század végére szinte teljesen eltűnnek.²³³

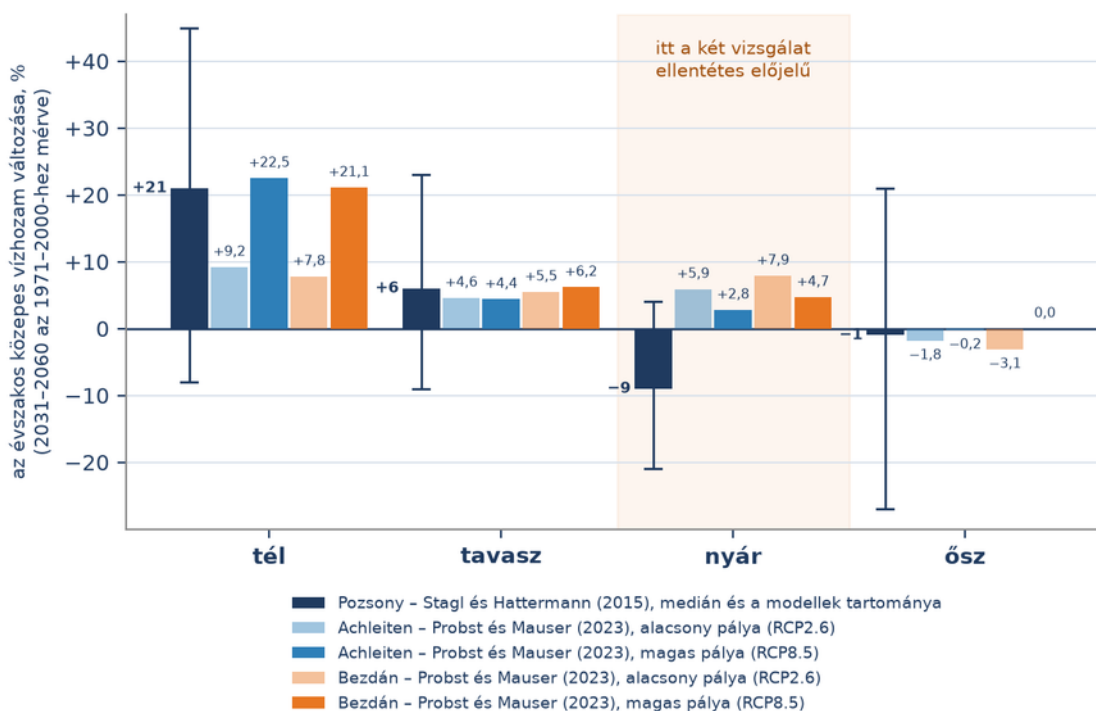
Ebből a tervezésre három következtetés adódik, mindhárom saját következtetésünk. (1) 2050-ig a 2 °C-os és a 2,5 °C-os szint között a dunai jégtartalék szempontjából kicsi a különbség, mert a jég nagy része a már bekövetkezett melegedés miatt mindenképpen elolvad, és a mért ütem a vetítettnek mintegy kétszerese. (2) 2050 után a szint dönt: hosszú távon 2 °C-nál az alpesi jég töredéke megmarad, 3 °C-nál gyakorlatilag eltűnik, és vele a forró, száraz nyarak gleccserből táplált vízhozam-tartaléka is. (3) A 2050 után is működő vízkivételi, hűtővíz- és hajózási létesítményeket a 2,5 °C-os stresszszinten jelentősen csökkent jégtartalékú Dunára kell méretezni.

A vízjárásra ennek két következménye van, és a kettő bizonyossága eltér. Az évszakos átrendeződésben a vizsgálatok egyeznek: a 2031–2060-as időszakra a téli vízhozam 7–22,5 százalékos növekedését adják, az éves átlag pedig nem csökken. Az újabb vizsgálat szerint a nagyvizek is gyakoribbá válnak. A nyári vízhozam irányában viszont a két fő modellvizsgálat ellentétes eredményre jut (VII/5. ábra). Az egyik Pozsonynál 9 százalékos csökkenést ad, augusztusra 14 százalékosat; a modellek tartománya –21 és +4 százalék között van. A másik, újabb vizsgálat Achleitennél és Bezánánál 3–8 százalékos növekedést ad, és szerinte a kisvizek ezen a szakaszon átlagos évben ritkábbá válnak.¹⁵¹ Az alacsonyabb nyári átlagos víz-

hozam ezért 2050-ig nem igazolt várakozás, a kockázati keretben stresszpróbával vizsgálandó eset.

VII/5. ÁBRA

A Duna téli vízhozama a vizsgálatok központi értékei szerint nő; a nyári változás előjele vitatott.



Az évszakos közepes vízhozam változása, %; 2031–2060 az 1971–2000-es időszakhoz mérve.

FORRÁS Stagl és Hattermann (2015), 2. táblázat; Probst és Mauser (2023), 3. táblázat.

MEGJEJEGYZÉS A pozsonyi oszlopokon a vonal a modellek legkisebb és legnagyobb értékét jelöli. A két vizsgálat más modellgenerációt és más vízmércét használ, ezért az eltérés nem dönthető el egyik javára sem.

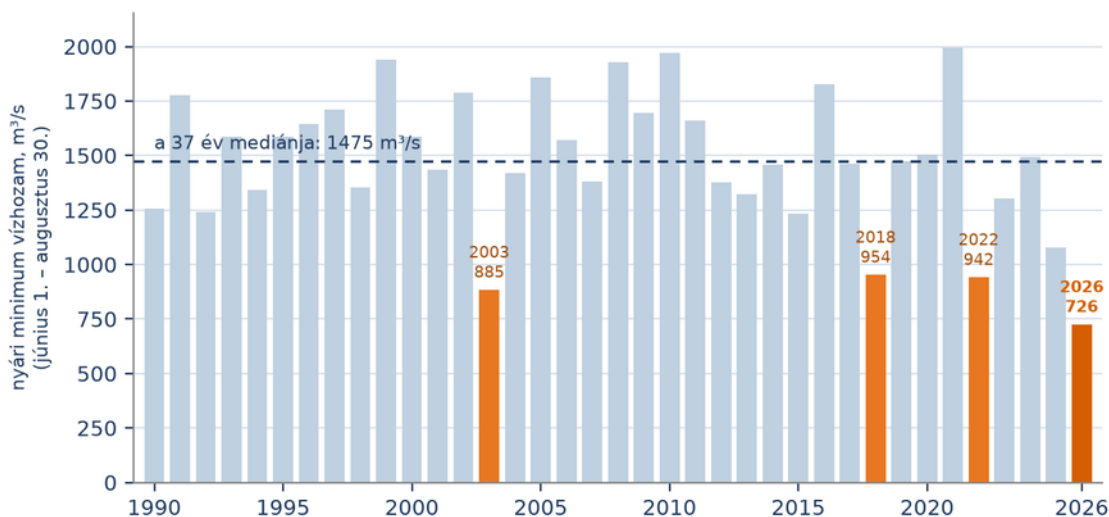
A jégolvadék kis éves részesedése megtévesztő. Aszályos, forró nyarakon, amikor az eső elmarad, a gleccserek adják a tartalékot. A 2003-as rendkívüli évben szeptemberben az Al-Duna vízhozamának 9 százaléka gleccserolvadékból származott, pedig a vízgyűjtőnek csak 0,06 százaléka eljegesedett. A forrás szerint a gleccserek visszahúzódása a nyári vízhiányt a kevésbé eljegesedett vízgyűjtőkön is erősíti.¹⁴⁹ Ebből az következik, hogy az átlagos év vízhozama alig változik, a legszárazabb nyaraké viszont csökkenhet. A hó- és jégkészlet nélkül a vízhozam közvetlenebbül követi az esőt, vagyis az egyes évek időjárását. A gleccser- és hóvizsgálatokból ezt minőségileg vezetjük le, számszerű becslést nem adunk, és azért közöljük, mert a tervezés a szélső évekre méretez (G.5).

A 2026-os nyár megmutatta a szélső év nagyságrendjét. Paksnál a nyári minimum vízhozam 726 m³/s volt, a harminchét éves mérési sor legalacsonyabb nyári értéke, az évek mediánjának (1475 m³/s) a fele (VII/6.

ábra). Október 8-án a napi átlag $613 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra csökkent (előzetes, operatív adat; IX.5). Ez a kisvíz vezetett az atomerőmű visszaterheléséhez (IV.4). Ez egyetlen év, amelyből trend nem olvasható ki, és az alpesi hó- és jégkészlét szerepét benne nem vizsgáltuk.¹⁵²

VII/6. ÁBRA

A Duna nyári minimum vízhozama Paksnál 2026-ban a harminchét éves sor legalacsonyabb értéke volt.



Vízhozam, m^3/s . Az év legkisebb napi átlaga a június 1. – augusztus 30. ablakban, 1990–2026.

FORRÁS Saját számítás a hivatalos vízrajzi sorból (Országos Vízügyi Főigazgatóság, Paks).

MEGJEGYZÉS Leíró ábra, trendeszt nélkül. Az ablak megnevezése kötelező: a teljes évre számolt minimumok eltérnek. A vízhozam szabályozott rendszer alatt áll (a felvízi vízlépcsők üzeme a napi átlagban részben kisimul).

A hazai és a kárpáti vízgyűjtőjű folyókon a modelleredmény kedvezőtlenebb. Az újabb vizsgálat a Tiszán az őszi vízhozam 9 százalékos, a Maroson a nyári és az őszi vízhozam 3–14 százalékos csökkenését adja a 2031–2060-as időszakra, mindkét vizsgált kibocsátási pályán.¹⁵¹ A 96 százalékos külső függés miatt a felvízi országok vízhasználata is a hazai kockázat része: aszályos években ott is nő a vízigény. Erre számszerű becslést a források nem adnak.

A tervezés számára a Duna 2050-ig három következménnyel jár.

- 1 Télen és kora tavasszal több a víz, és nagyobb az árvízi terhelés.
- 2 Nyáron az átlag iránya bizonytalan, a szélső kisvíz súlyosbodása lehetséges.
- 3 A hűtővíz, a hajózás és az ivóvízbázisok tervezésében a 2026-os év a stresszpróba mért alapesete.

VII.6 A Magyarországot érintő billenőpontok

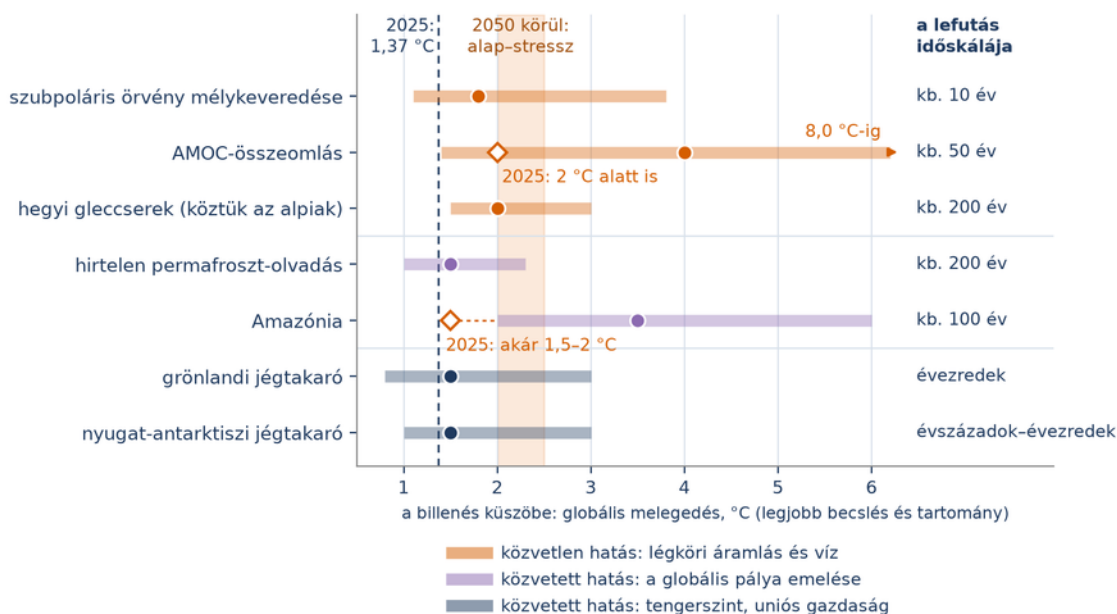
Billenőpontnak azt a küszöböt nevezik, amelynek átlépése után az éghajlati rendszer egy eleme önerősítő folyamatok révén új állapotba kerül. A változás a kiváltó hatás megszűnése után is folytatódik. A tervezés szempontjából két időpont különül el: a kiváltás, amikor a rendszer átlépi a küszöböt, és a lefutás, amíg az új állapot beáll. A kettő között évtizedek vagy évszázadok telhetnek el.

A billenőelemek mind Magyarország határain kívül vannak. Hatásuk három úton éri el az országot (VII/7. ábra).

- 1 A légköri áramláson és a vízjáráson keresztül közvetlenül hat az atlanti mélyáramlás, a szubpoláris örvény és az alpesi gleccserek változása.
- 2 A globális szénmérlegen keresztül, a melegedési pályát emelve hat a permafroszt olvadása és Amazónia átalakulása.
- 3 A tengerszinten és az uniós gazdaságon keresztül hat a két nagy jégta-
ró olvadása.

VII/7. ÁBRA

A Magyarországot érintő hét billenőelem közül ötnek a küszöbbebecslése a 2050-es tervezési alap és stresszszint közötti sávban vagy az alatt van.



A billenés küszöbe: globális melegedés, °C. Pont: legjobb becslés; sáv: a becslés tartománya; jobb oldalon a lefutás időskálája.

FORRÁS Armstrong McKay és mtsai (2022), 1. táblázat; Lenton és mtsai (2025).

MEGJEGYZÉS A küszöbök szakértői irodalomértékelésből származnak, nem egyetlen modellből; a széles tartomány a tudás bizonytalanságát jelzi. Az üres rombuszok a 2025-ös értékelés alacsonyabb küszöbjeleseit mutatják (atlanti mélyáramlás: 2 °C alatt is; Amazónia: akár 1,5-2 °C). A permafrosztnál a hirtelen olvadás küszöbe szerepel; a boreális permafroszt összeomlásáé 4 °C.

A küszöbök legtöbbet idézett értékelése alapján a Magyarországot érintő hét elem közül ötnek a legjobb becslése a 2050-re vonatkozó tervezési alap és stresszszint közötti, 2–2,5 °C-os sávba esik, vagy az alatt van. Ezek a szubpoláris örvény mélykeveredése (1,8 °C), a hegyi gleccserek (2,0 °C), a hirtelen permafroszt-olvadás (1,5 °C) és a két jégtakaró (1,5 °C). Az alpesi gleccserek a hegyi gleccserek csoportjának részei. A 2025-ös nemzetközi értékelés szerint az atlanti mélyáramlás már 2 °C alatt is összeomolhat, Amazónia átalakulása pedig akár 1,5–2 °C-on megindulhat; a 2022-es legjobb becslés 4, illetve 3,5 °C volt. Ezek szerint a sávba eső vagy az alatti elemek száma ötnél több is lehet.¹⁵³ A jégtakarók és a permafroszt lefutása évszázados–évezredes. Náluk 2050-ig a kiváltás a kockázat, a következmény pedig későbbi nemzedékeket terhel.

Az atlanti mélyáramlás (atlanti meridionális átforduló áramlás, AMOC) a felszínen meleg vizet szállít észak felé, amely Grönland közelében lehül és lesüllyed. A szubpoláris örvény az Atlanti-óceán északi, Labrador- és Irminger-tengeri része, ahol ennek a lesüllyedésnek (mélykeveredésnek) egy része zajlik. A források összevetéséből a 2050-es horizontra négy megállapítás adódik.¹⁵⁴

- 1** Az AMOC a 21. században gyengül – ebben az IPCC és a modellek egyeznek –, a 2050-ig várható mérték viszont vitatott.
- 2** A teljes összeomlás lefutása 2050-ig nem a központi kimenet, de nem zárható ki.
- 3** Egy később lefutó összeomlás kiváltása 2050 előtt lehetséges, vagyis reális, de nem a központi kimenet. Ez saját ítéletünk, amelynek alapja, hogy az egyetlen megfigyelésen alapuló statisztikai becslés a lefutást 2037 és 2109 közé teszi, a modellek többsége viszont ebben az évszázadban nem mutat összeomlást.
- 4** A szubpoláris örvény mélykeveredésének hirtelen leállása az újabb modellgeneráció legjobb modelljeiben legfeljebb 36,4 százalékos kockázattal jelenik meg, és évtizedes időskálán zajlik. Saját ítéletünk szerint 2050-ig lehetséges.

A 2025–2026-os szakirodalom két ponton pontosítja ezt a képet. Egy 2300-ig meghosszabbított modellfuttatásokra épülő vizsgálat szerint a nagyon magas kibocsátási pályán minden, a közepes és az alacsony pályán néhány modellben leáll az északi átforduló áramlás, de csak 2100 után; a leállást az évszázad közepén az észak-atlanti mélykeveredés összeomlása előzi meg. A mélykeveredés az elmúlt 5–10 évben minden megfigyelési adatsorban csökkent, bár a szerzők szerint ez természetes ingadozás is

lehet.²³⁴ A 2050-es horizonton tehát a mélykeveredés leállása a reális kockázat, nem a teljes leállás. Abban viszont nincs egyetértés, hogy az AMOC már gyengül-e: egy légkör-óceán hőcserén alapuló rekonstrukció 1963 és 2017 között nem talált évtizedes gyengülést, és kimutatta, hogy a fenti 2037–2109-es statisztikai becslés alapjául szolgáló felszíni hőmérsékleti ujjlenyomat az AMOC változását nem adja vissza megbízhatóan.²³⁵ A két irány között a szakirodalom ma nem dönt, ezért itt sem döntünk közöttük.

Kifejezetten a Kárpát-medencére vonatkozó hatásvizsgálat nincs. Az európai modelleredményekből három hazai következmény vezethető le. Ezek saját következtetéseink, és azért közöljük őket, mert a hazai kockázatértékelés ma egyikkel sem számol.

- 1** A hazai melegedés irányát a vizsgált kísérletek nem fordítják meg. A nagy lehűlési értékek Északnyugat-Európára és a teljes összeomlás utáni állapotra vonatkoznak. Ott a 2 °C körüli melegedési pályán a mérleg lehűlésbe fordulhat, a 4 °C-os pályán már nem. Az összeomlás a hideg szélsőségeket a melegedés mellett is élesítené. A kombinált kísérletben a nyár alig hűl, a tél viszont szélsőségesen hidegre fordulhat, és az évek közötti ingadozás nő.¹⁵⁵
- 2** A nyári szárazodás erősödne, ami a hazai párolgási kényszerre rakódna (II.2).
- 3** A téli csapadék egy modellkísérletben Közép-Európában csökken. Ez a talajvíz téli feltöltődése ellen hatna (III.1).¹⁵⁵

A tervezésben az AMOC-kockázat ezért a téli és a nyári szélsőség együttes méretezését indokolja (II.4), a melegedésre való felkészülést azonban nem teszi fölöslegessé.

A billenési kockázat a túllövés mértékével is nő, minden további 0,1 °C-kal emelkedik, és 2 °C-os tetőzés fölött erősen gyorsul. Modellszámítás szerint a jelenlegi politikák mellett 45 százalék (23–71) annak a kockázata, hogy a négy fő billenőelem közül 2300-ig legalább egy átbillen. Ez a kockázat akkor is fennáll, ha a hőmérséklet később 1,5 °C alá tér vissza.¹⁵⁶ Korai jelzésre is lehetőség van. Egy modellben a Golf-áramlás pályájának hirtelen északra tolódása mintegy 25 évvel megelőzi az összeomlást, és ez a jel műholdról követhető.

A gyorsuló melegedés és a billenőpontok a valóságban nem választhatók szét, a tervezési szintek csak elemzési okból kezelik őket külön. A nagy billenőelemek – a jégtakarók, a permafroszt, Amazónia – a globális hőmérsékletet 2050-ig saját értékelésünk szerint még kevésbé emelik, hatá-

suk elsősorban 2050 után nyitja tovább a lehetséges pályák ollóját. A kisebb rendszerek viszont gyorsan reagálnak: a 2025-ös nemzetközi értékelés szerint a melegvízi korallzátonyok küszöbe 1,2 °C körül van, vagyis a mai melegedés már átlépte.¹⁵³ Egy erős El Niño a melegedési trendre rákódva a küszöbök átlépését előbbre hozhatja; arról, hogy a melegedés magát az El Niño-t is erősíti-e, a szakirodalom nem egységes, és a 2026-os esemény erősségét eddig senki nem tulajdonította a melegedésnek.²³⁶ Sajat következtetésünk, hogy a 2 °C-os tervezési alap inkább optimista, mint óvatos feltevés, és már ez is olyan nyarakat jelent a Kárpát-medencében, amelyek ma a legmelegebbek közé tartoznak (VII.1).

VII.7 Hogyan ér el a külső hatás az országhoz: öt csatorna 2050-ig

A 2050-es kockázat nemcsak fizikai. Az éghajlati hatások gazdasági és társadalmi rendszereken keresztül érik el az országot, és ezek a rendszerek közben más okból is válságban lehetnek. Az egymást erősítő válságok általános mintázatait a VIII.3 pont tárgyalja, ez a pont a hazai csatornákat sorolja fel. Magyarország szempontjából öt csatorna azonosítható. A felsorolás saját összeállításunk, a tételek forrása a jegyzetben szerepel.¹⁵⁷

- 1 Határon túlról érkező víz. A vízkészlet 96 százaléka külföldről érkezik, ezért a felvízi országok aszálya és vízhasználata a hazai készletet közvetlenül érinti (VII.5).
- 2 Aszály és élelmiszerár. A 2022-es aszály hat fő szántóföldi kultúrában mintegy 2,4 milliárd euró termés kiesést okozott (V.2). A 2022-es európai nyári hőség az élelmiszer-inflációt Európában 0,43–0,93 százalékponttal növelte. Hatékony alkalmazkodás nélkül a globális élelmiszertermelés 2050-ig akár 14 százalékkal csökkenhet.
- 3 Műtrágya, energia és geopolitika. A műtrágya és a cseppfolyósított földgáz világkereskedelme kevés tengeri útvonalra összpontosul: 2024-ben a Hormuzi-szoroson haladt át a műtrágya-kereskedelem legfeljebb 30, az LNG-kereskedelem mintegy 20 százaléka. Egy ottani zavar az energia- és az élelmiszerrendszert egyszerre éri.
- 4 Pénzügyi rendszer. A Magyar Nemzeti Bank 2025-ös klímastressztesztje az átállási kockázatot vizsgálta, fizikai kockázati stressztesztet a 2026-os jelentés nem közöl. A bankok nem zöld agrárfinanszírozása (belföldi vállalati hitel és értékpapír) 1090 milliárd forint. Az MNB ezt átállási kockázati szempontból sorolja be, fizikai kockázati besorolás erre a körre nincs.

5 Népeségmozgás. A szélsőséges időjárás a kényszerű elvándorlás egyre fontosabb hajtóereje, de a mozgás túlnyomórészt országon és régióon belül zajlik; ezt az IPCC magas megbízhatósággal állapítja meg.²³⁷ A Világbank becslése szerint 2050-ig hat régióban akár 216 millió ember válhat országon belüli éghajlati migránssá; erős kibocsátáscsökkentés mellett ez a szám mintegy 80 százalékkal kisebb.²³⁸ A környezet hatása a migrációra az agrárfüggő, közepes jövedelmű országokban a legerősebb.²³⁹ Az Európai Unió felé irányuló éghajlati migrációs nyomásra nincs hivatalos uniós becslés; a legtöbbet idézett, de vitatott tanulmány a menedékkérelmek számának a melegedés mértékétől függően 28–188 százalékos növekedését vetíti a század végére.²⁴⁰ Magyarországot ez a tranzitútvonalakon keresztül közvetve érheti. Országon belül a Homokhátság a legközelebbi példa: a népesség évtizedek óta fogy és öregszik, és a 2017-es vizsgálat szerint beavatkozás nélkül a kedvezőtlen folyamatok néhány évtizeden belül visszafordíthatatlanná válnak. Az elvándorlás okaként a kutatások elsősorban a képzési és fejlettségi hátrányt nevezik meg, a szárazodást gazdasági és környezeti korlátként, nem azonosított okként kezelik.²⁴¹ Hogy a szárazodás az elvándorlást gyorsítja, saját feltevésünk, amelyet hazai vizsgálat még nem igazolt, és amelynek vizsgálatához a hivatalos népességvetítés is elavult (IV.2).

A kockázatkezelés szempontjából az a lényeges kérdés, hogy ezek a csatornák egyszerre nyílnak-e meg. Kiváltó okuk közös, hiszen ugyanaz a forró, száraz nyár egyszerre csökkenti a termés hozamot, a folyók vízhozamát és az erőművek hűtővizét, miközben növeli a villamosenergia-igényt és az egészségügyi terhelést. Az egyes kockázatok ezért nem kezelhetők független eseményekként (VIII.3), együttes bekövetkezésük valószínűsége ugyanis nagyobb, mint amit a függetlenség feltételezése adna. Ez saját következtetésünk a közös kiváltó okból, számszerű becslés nélkül. A 2026-os nyár ezt a helyzetet mutatta meg: a tenyészidőszak rekordhosszú száraz időszaka, a rekordalacsony dunai vízhozam és az atomerőmű visszaterhelése egy időben jelentkezett (II.2, IV.4).

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2024-es kockázatértékelése szerint a meglévő pénzügyi stresszteszt az összetett és továbbgyűrűző kockázatokat valószínűleg alulbecsülik. Az értékelés Közép-Kelet-Európát nem sorolja a kockázati gócpontok közé, de rögzíti, hogy az alacsonyabb alkalmazkodóképességű régiók Közép-Kelet-Európában és Dél-Európa egyes részein koncentrálnak.¹⁵⁷ A besorolás hiánya ezért alacsony kockázatként nem olvasható, annál kevésbé, mert a hazai sérülékenységi adatok elavultak (IV.2). A csatornákat a döntéshozatal szintjén a kisiklási kockázat kapcsolja össze (VIII.3).

VII.8 Kockázati mérleg és tervezési olvasat 2050-re

A VII/8. ábra a fejezet eredményeit kockázati mérlegben foglalja össze. Minden sor egy kockázatot nevez meg, a bekövetkezés szóbeli besorolásával, a hazai érintettséggel és a tervezésben betöltött szerepével. A hazai hatás nagyságát a mérleg nem számszerűsíti, mert erre friss hivatalos hazai becslés nincs (V.1).

VII/8. ÁBRA

Kockázati mérleg 2050-ig: mire kell méretezni, mit kell stresszpróbával vizsgálni, és mit kell figyelni.

Kockázat 2050-ig	Bekövetkezés	Mit érint itthon	Tervezési szerep
A globális melegedés eléri a 2 °C-ot	valószínű	minden hazai mutató háttere: hőség, párolgásigény, vízmérleg	tervezési alap
A globális melegedés eléri a 2,5 °C-ot	lehetséges	gyakoribb összetett stresszév (VIII.6, C sáv)	kötelező stresszpróba
A globális melegedés eléri a 3 °C-ot	kevésbé valószínű nem zárható ki	a 2070 utánig működő létesítmények méretezése	történetszál, korai jelzés
A melegedés 1,8 °C körül tetőzik	lehetséges kedvező eset: minden vállalat teljesül	-	megtakarításként nem számolható el
A melegedés 1,5–1,6 °C-on megáll	kevésbé valószínű kedvező szélső eset	-	megtakarításként nem számolható el
A melegedés a nettó zero után sem áll meg	lehetséges a nyelők gyengülése	hosszú élettartamú létesítmények	megtakarításként nem számolható el
A hazai hőség és párolgásigény a hivatalos projekció fölött alakul	valószínű	egészség, mezőgazdaság, vízkészlet	tervezési alap
A Duna vízjárása ártrendeződik: több téli víz, kisebb alpi tartalék nyáron	valószínű	hűtővíz, hajózás, ivóvíz, öntözés	tervezési alap
A Duna nyári kisvizei súlyosbodnak	lehetséges a modellek megosztottak	atomerőművi hűtés, hajózás	kötelező stresszpróba
A Maros nyári-őszi és a Tisza őszi vízhozama csökken	lehetséges egy vizsgálat szerint	alföldi öntözés, hűtővíz, ökológiai vízigény	kötelező stresszpróba
A szubpoláris örvény mélykeveredése leáll	lehetséges	téli és nyári szélsőségek, nagyobb változékonyság	történetszál, korai jelzés
Az AMOC összeomlása kiváltódik (lefutása 2050 után)	lehetséges	Európa időjárása, az uniós gazdaság	történetszál, korai jelzés
A jégtakarók vagy a permafroszt billenése kiváltódik	lehetséges lefutása évszázados	tengerszint, globális szénmérleg, uniós gazdaság	történetszál, korai jelzés
Egyidejű sokk: aszály, hőség, kisvíz és külső ár- vagy ellátási zavar	lehetséges közös kiváltó ok	költségvetés, élelmiszerárak, energiaellátás	kötelező stresszpróba
A nemzetközi kibocsátáscsökkentés megakad	lehetséges	a fenti sorokat a stresszszint felé tolja	figyelendő jelző

A besorolás saját ítéletünk a fejezet forrásai alapján, nem számított valószínűség.

FORRÁS Saját összeállítás a VII.1–VII.7 forrásai alapján.

MEGJEGYZÉS Valószínű: a források többsége szerint inkább bekövetkezik, mint nem. Lehetséges: megalapozott források szerint reális, de nem a központi kimenet. Kevésbé valószínű: több feltétel egyúttállását igényli, de nem zárható ki. A sorok nem függetlenek egymástól (VII.7, VIII.3).

A magyar hivatalos térinformatikai és éghajlati termékek 2021–2050-es és 2071–2100-as ablakokra adnak jelzést, két kibocsátási forgatókönyvre (RCP4.5 és RCP8.5), az előző modellgeneráció regionális modelljeivel. Ennél újabb hivatalos termék ma nincs, és a hazai tervezési dokumentumok 2050-re ezekre hivatkoznak.

A **H.2** minimumszabálya azokon a mutatókon, amelyeken igazolt, vagyis a hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon és a telítési hiányon, megítélésünk szerint 2050-re is érvényes. Ha a megfigyelt ütem és a modellsáv közti eltérés tartós, a különbség hosszabb ablakon nő – ez extrapoláció, nem mért eredmény. A jelenlegi bizonyítékok szerint alultervezést jelent, ha 2050-re ezeken a mutatókon a hivatalos sáv közepére tervezünk. A védhető eljárás az, hogy a sáv felső részére méretezünk, a sáv alját óvatos eset helyett alsó korlátként kezeljük, a tervezési minimum pedig a megfigyelt érték. A száraz időszakok hosszára és a csapadékinzintezés szintjére viszont a minimumszabály nem vihető át (**II.2**, **II.4**), hiszen ott a modell nem becsül alul.

A hazai mutatókon négy megállapítás látszik 2050-ig tartósnak, eltérő bizonyossággal. Ezek a VII/8. ábra hazai sorait egészítik ki:

- A hőségterhelés további növekedése valószínű, mértékének alsó korlátja a modellsáv alja.
- A csapadék évszakos átrendeződése, a téli többlet és a nyári hiány, a megfigyelésben a jelzetnél erősebbnek látszik, de a csapadéksorokon szintváltás még nem mutatható ki (**III.1**). Ez a négy közül a leggyengébb tétel.
- A telítési hiány növekedése a megfigyelt trendből extrapolálva erősebb kockázatot ad, mint a projekcióból – és a projekció erre a mennyiségre jelenleg nem használható.
- A talajvíz téli feltöltődése csak egy csapadékszint fölött indul el (**III.1**). Ez részben talaj- és területhasználati adottság, ezért úgy látjuk, hogy a visszatartás hatása 2050-ig nagyrészt a területhasználati döntéseken múlik.

A **G.5** szerint a tervezésben az elmulasztás a drágább hiba. A 2050-es horizonton ez az aszimmetria erősebb, mint az évtizedesen. A billenőpontok kiváltása és a túllövés idején bekövetkező kár nem fordítható vissza, a főleg felkészülés költsége viszont egyszeri és látható. A felkészülés nagy része ráadásul más okból is indokolt, hiszen a téli és a nyári szélsőség együttes méretezése és a vízkészlet külső függésének kezelése az atlanti mélyáramlástól függetlenül is a hazai kockázatkép része. Ez saját értékelésünk, és azért közöljük, mert a „nem biztos, ezért nem tervezünk vele” érvelés a visszafordíthatatlan kockázatokra nem alkalmazható.

Amit nem lehet 2050-re megmondani: a légköri áramlás alakulását (**II.5**), az egyes évek sorrendjét, a gazdasági kár nagyságrendjét magyar adatokból, valamint azt, hogy az atlanti mélyáramlás 2050-ben milyen állapotban lesz.

VIII

A szemléletváltás szükségessége: fontos a nemlineáris változások, összekapcsolódó kockázatok és korai jelek helyes megértése

A FEJEZET SZAKASZAI

VIII.1	Miért nem egyenes vonalú a változás	148
VIII.2	Lassú erózió és hirtelen fordulat	152
VIII.3	Összekapcsolódó kockázatok: együttes események, továbbgyűrűzés, egymást erősítő válságok	154
VIII.4	Miért nehéz ezt a megszokott gondolkodásnak és tervezésnek	157
VIII.5	Mit lehet tenni: az előrejelzéstől a felkészültségig	159
VIII.6	A következő évtized három lehetséges lefolyása	162
VIII.7	Tizenkét figyelmeztető jel: melyik lefolyás felé tart az évtized (2027–2031)	163
VIII.8	Mi cáfolná a következtetéseket	165

KIEMELT MEGÁLLAPÍTÁSOK

Küszöbök	Az átlag lassan mozog, míg a küszöb fölötti gyakoriság gyorsan. Az országos évi középhőmérséklet 1991–2020 és 2021–2025 között 1,2 °C-kal emelkedett, a forró napok száma ugyanezen időszakok között évi 2,8-ról 8,5-re, azaz a háromszorosára nőtt. A méretezés alapjául ezért a küszöb fölötti gyakoriságot kell választani az átlag helyett.
Két sebesség	A válság a lassú erózió és a hirtelen fordulat találkozásából születik. A lassú romlás egyik évben sem látványos, de fordulat esetén a legutóbbi rekord jelentősen is megdőlhét.
Összekapcsolódás	Ha a veszélyek közös okból együtt járnak, nem kezelhetők független eseményekként, mert az együttes bekövetkezésük esélye nagyobb, mint amit a függetlenség feltételezése adna. A kár a megelőzés képességét is gyengítheti: ezt hívjuk kisiklási kockázatnak.
Gondolkodási csapdák	A normalitástorzítás, az állandóságba vetett hit és az elkülönült tárcák miatt a tervezés a szakirodalom szerint gyakran elmegey a fontos mintázatok mellett.
Helyes megközelítés	A kockázat csökkentésének módja, hogy megnevezzük az ésszerű legrosszabb esetet, alkalmazzuk a fordított stresszpróbát, előre rögzítjük a döntési pontokat, tartalékokat képzünk és a társadalom egészére kiterjesztjük a felkészültséget. A következő évtized tervezéséhez három lehetséges lefolyás és tizenkét figyelmeztető jel ad keretet.

Az előző fejezetek azt mutatták be, hogy mi változott és mennyivel. Ez a fejezet gyakorlati oldalról közelíti meg, hogyan érdemes tervezés közben a mért változásról gondolkodni. Ugyanabból az adatból teljesen más döntés születhet, ha a tervező egyenletes, egymástól független változásokat feltételez, és más, ha küszöbökkel, összekapcsolódó hatásokkal és hirtelen fordulatokkal számol.

A brit kockázatértékelési gyakorlat tanulsága (G.3), hogy krónikus kockázatnál a valószínűségi keret önmagában kevés. A fejezet első öt pontja (VIII.1–VIII.5) ezt a hiányt pótolja. Bemutatja, miért nem egyenes vonalú az éghajlati változás, hogyan kapcsolódnak össze a kockázatok, és miért nehéz ezt a megszokott gondolkodással és tervezési módszerekkel kezelni, majd erre gyakorlati megoldásokat kínál. Az utolsó három pont (VIII.6–VIII.8) ezt a megközelítést alkalmazza a következő évtizedre, és ennek alapján három lehetséges lefolyást, tizenkét figyelmeztető jelet, valamint a következtetések cáfolási feltételeit mutatja be.

Az elméleti állítások a jegyzetekben megnevezett szakirodalomból származnak, a hazai példák a korábbi fejezetek méréseiből. A kettő összekapcsolása, vagyis az, hogy egy hazai mérés melyik elméleti mintázatot mutatja, nagyrészt az elemzés következtetése, és ahol ez nem nyilvánvaló, külön jelezzük.

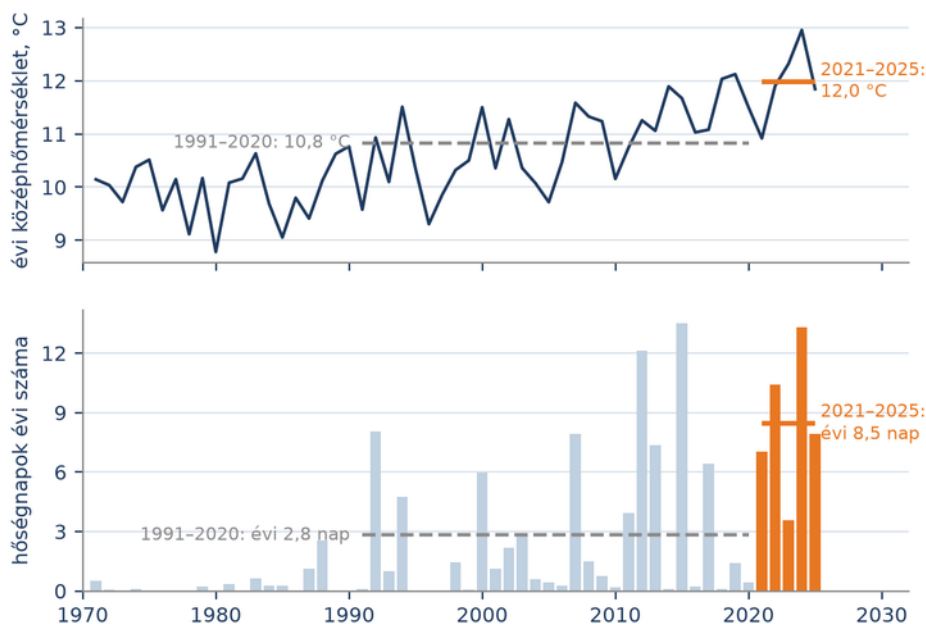
VIII.1 Miért nem egyenes vonalú a változás

Napjainkban a tervezés egyik hallgatólagos alapfeltevése, hogy a holnap nagyjából olyan lesz, mint a tegnap, csak egy kicsit melegebb. Ez a feltevés azonban négy ponton is megbukik.

A küszöbök hatása: az átlag lassan mozog, a küszöb fölötti gyakoriság gyorsan. Ha egy eloszlás egésze kissé eltolódik, a szélén lévő események gyakorisága ennél sokkal gyorsabban nő. Így a forró napok száma a 2021–2025-ös években évi 8,5 volt, az 1991–2020-as 2,8-del szemben, vagyis a háromszorosa (II.1, VIII/1. ábra). A kár azonban a küszöb fölötti napokon keletkezik, hiszen az egészségügyi terhelés, az erőművek hűtővízkorlátja és a növények hőstressze mind egy küszöb átlépésénél jelentkezik. A melegedő éghajlatban a rekordok ráadásul nagyobb ugrással dőlnek meg, és a rekordot jelentősen meghaladó események esélye nő (VI.4).¹⁵⁸

VIII/1. ÁBRA

Az átlag 1,2 °C-kal nőtt, a forró napok száma megháromszorozódott.



Felül: országos évi középhőmérséklet, °C. Alul: forró napok (napi maximum ≥ 35 °C) évi száma, országos rácsátlag. 1971–2025; szaggatott vonal: az 1991–2020-as, narancs vonal: a 2021–2025-ös időszak átlaga.

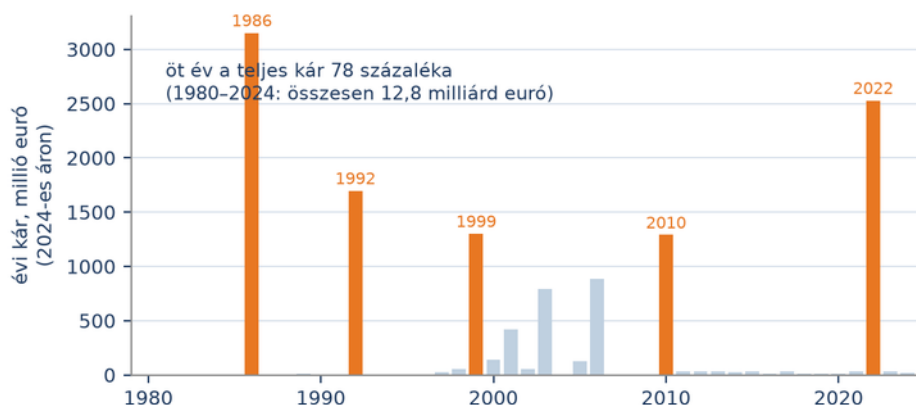
FORRÁS Saját számítás a hivatalos homogenizált országos sorokból (rácsátlag), ugyanabból az adatból, mint a II/7. ábra.

MEGJEGYZÉS Az 1991–2020-as átlag 10,8 °C és évi 2,8 forró nap, a 2021–2025-ös 12,0 °C és évi 8,5 forró nap; a kerekítetlen hőmérséklet-különbség 1,16 °C. Ugyanaz az eltolódás az átlagon 1,2 °C-os, a küszöb fölött háromszoros változásként jelenik meg.

A gyorsuló kár. Az éghajlati kár a melegedéssel gyorsulva nő, mert a melegedés élettani, tűrőképességi és méretezési határokat lép át (**G.5**). Felfelé görbülő kárgörbén a középértékre tervezés a várható kárt rendszeresen alulbecsüli. A közgazdasági szakirodalom ennél erősebb állítást is megfogalmaz. Ha a legrosszabb kimenetek valószínűsége lassan csökken a kimenet súlyosságával, a ritka katasztrofális esetek határozzák meg a várható költséget. Ezt a hatást a jövőbeli károk leszámítolása sem ellensúlyozza.¹⁵⁹ Az, hogy ez a feltétel a valóságban mennyire teljesül, vitatott. A tervezés szempontjából annyi következik belőle, hogy a ritka, súlyos kimenetek nem hagyhatók figyelmen kívül pusztán azért, mert ritkák. A hazai kártörténet ugyanezt a szerkezetet mutatja, hiszen 1980 és 2024 között az időjárási és éghajlati szélsőségek kárának 78 százaléka öt évre esett, a mediánév kára 14 millió euró volt (**V.2**, VIII/2. ábra). A várható kárt tehát itthon is néhány ritka év határozza meg. Ez a Weitzman-féle feltételt nem igazolja, csak azt mutatja, hogy az átlagos év rossz méretezési alap – ez az elemzés értelmezése.

VIII/2. ÁBRA

A kár néhány rossz évben keletkezik: öt év adta a 45 év kárának 78 százalékát.



Az időjárás és éghajlati szélsőségek évi kára Magyarországon, millió euró, 2024-es áron, 1980–2024. Kiemelve az öt legnagyobb kárév.

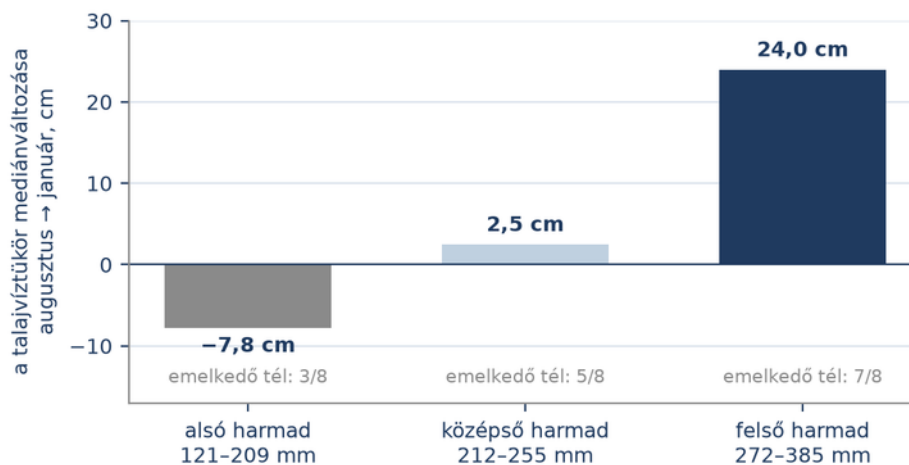
FORRÁS European Environment Agency, CATDAT-alapú kársor (2025. negyedik negyedéves revízió), országos éves bontás; saját ábrázolás.

MEGJEGYZÉS Az öt legnagyobb kárév 1986, 2022, 1992, 1999 és 2010; együtt a mintegy 12,8 milliárd eurós összes kár 77,8 százaléka. A sor halálózási adata hiányos, és a károknak csak kis része volt biztosított (V.2). Az 1980-as és 1990-es évek kis vagy nulla értékei részben a hiányosabb korai nyilvántartást tükrözhetik, ezért a koncentráció mértéke valamelyest felülbecsült lehet (saját értékelés).

A bemenet is küszöbhez kötött. A talajvíz a téli félév csapadékára nem arányosan reagál (III.1). A homokhátsági mérőhálózaton a telek alsó harmadában a talajvíztükör mediánja a nyár végéhez képest 7,8 cm-t süllyedt, a középső harmadban 2,5 cm-t emelkedett, a felső harmadban 24 cm-t (VIII/3. ábra). A készlet tehát csak néhány bőséges télen gyarapszik, és egy elmulasztott bőséges csapadéku tél egy átlagossal nem helyettesíthető. A változatlan átlagos csapadékból egyáltalán nem következik a változatlan feltöltés.

VIII/3. ÁBRA

A talajvíz a bőséges teleken töltődik fel, az átlagos tél alig emeli.



A talajvíztükör mediánváltozása augusztusról januárra, cm, a téli félév (október–március) csapadéka szerinti harmadokban. Homokhátsági mérőhálózat, 24 tél.

FORRÁS A III.1 pont harmadolási táblája; saját ábrázolás.

MEGJEGYZÉS Alsó harmad (121–209 mm): –7,8 cm, nyolc télből háromban emelkedés. Középső harmad (212–255 mm): +2,5 cm, ötben. Felső harmad (272–385 mm): +24,0 cm, hétben. A számok a homokhátsági hálózatra vonatkoznak, nem országosak (III.1).

Önerősítő folyamatok és a visszafordíthatatlanság. Egyes változások önmagukat erősítik. Kézenfekvő feltevés, hogy a kiszáradt felszín a lehulló vizet rosszabbul szívja be, így a lefolyó hányad nő. Ezt hazai adatsoron adathiány miatt nem tudtuk igazolni, ezért az állítások közé nem emeltük át (III.4). Globális léptékben a billenőelemek jelentik ugyanezt: olyan rendszerek, amelyek egy küszöb átlépése után önfenntartó módon válnak állapotot, és emberi időléptékben jellemzően akkor sem térnek vissza, ha a melegedés megáll.¹⁶⁰ A visszafordíthatatlanság hazai léptékben is megjelenik, bár ezt ma másodközlésből, elsődleges ellenőrzés nélkül ismerjük. A szikesedő talajon a megkötött nátrium a vízszint süllyedése után is ott marad, a talaj tömörre és aszályérzékenyebbé válik (IV.3). A rétegvíz helyreállítási ideje évtizedes (III.2). Ahol a visszaút hosszú vagy nincs, ott a „majd kijavítjuk, ha baj lesz” stratégia nem működik.

Végül egy emberi tényező is közrejátszik. Az exponenciálisan vagy gyorsulva növekvő folyamatokat az emberek rendszeresen alulbecsülik. Egy klasszikus kísérletsorozatban a résztvevők jelentős része a helyes érték töredékét becsülte, és a hiba a külön magyarázat és a növekedési folyamatokkal kapcsolatos mindennapi tapasztalat ellenére is megmaradt.¹⁶¹ A kísérlet kis mintán készült, ezért a hatás iránya idézhető, a mértéke nem.

MIT JELENT EZ A TERVEZÉSBEN

A méretezés alapja a küszöb fölötti napok, események és helyzetek gyakorisága legyen, ne az átlag változása. Minden hosszú élettartamú döntésnél külön kérdés, hogy hol vannak a rendszer küszöbei, és visszafordítható-e a kár, ha átlépjük őket. Ahol nem, ott a megelőzés értéke aránytalanul nagy (G.5).

VIII.2 Lassú erózió és hirtelen fordulat

A válságok jellemzően két különböző sebességű folyamat találkozásából születnek. A szakirodalom ezeket terhelésnek és kiváltó eseménynek nevezi. A terhelés lassú, évek–évtizedek alatt gyengíti a rendszert, és sokáig nem okoz látványos kárt, míg a kiváltó esemény gyors, napok–hónapok alatt zajlik. Válság akkor lesz, amikor a kiváltó esemény egy terhelés alatt meggyengült rendszert ér.¹⁶²

A két sebesség ugyanannak a folyamatnak két fázisa, de a tervezésnek mindkettőhöz más eszköz kell. Az alábbi két rész ezért külön tárgyalja őket.

Lassú erózió: a romlás, amely egyik évben sem látszik

A hazai mérésekben ilyen lassú terhelés a talajvíz negyedszázados süllyedése a Dunától keletre fekvő kutak szinte mindegyikén és az alföldi hótakarós napok mediánjának csökkenése 2003–2014 és 2015–2026 között 22-ről 6-ra (III.1). Ugyanilyen a népesség öregedése és a sérülékenységi adatok elavulása (IV.2).

A lassú eróziót három ok tartja rejtve. (1) Nincs egyetlen esemény, amely felhívna rá a figyelmet, hiszen a süllyedő talajvíz egyik évben sem okoz katasztrófát. (2) A viszonyítási alap csúszik. Ha a tervezés mindig az előző néhány évhez méri a jelent, a romló sor minden éve „normálisnak” tűnik. A kukorica termésátlaga 2021 és 2025 között átlagosan 15 százalékkal maradt el a 2006–2020-as szinttől (V.2). Egy csúszó, mindig az előző évekhez igazodó átlaghoz mérve ugyanez a romlás részben eltűnik, mert a rossz évek a viszonyítási alapba is bekerülnek. Az V.2 számítása is azt mutatja, hogy a gördülő viszonyítási alap a sor végén alulbecsüli a kiesést. (3) A statisztikai bizonyítás késik. Rövid sorból trend nem igazolható (H.2, III.1), ezért mire egy lassú változás statisztikailag kimutatható, addigra már régóta zajlik.

Ez utóbbi a kétféle hiba (G.5) közvetlen alkalmazása. Ha a tervezés csak a statisztikailag igazolt változásra reagál, a lassú romlást rendszeresen késve követi. A mérési szigor és a tervezési óvatosság ezért két külön kérdés.

A mérésben jogos a szigor, míg a tervezésben a bizonyítás hiánya nem jelenti a veszély hiányát.

Hirtelen fordulat: amikor a rendszer egyszerre vált állapotot

Kiváltó esemény volt a 2022-es aszály, a 2024. szeptemberi dunai árvíz és a 2026-os nyár (II.2, II.4, V.2). A hirtelen fordulat a hazai mérésekben három formában jelenik meg. A három forma elkülönítése saját besorolásunk.

Az első a kezelt rendszerek éles határa. A mérnöki rendszereket határértékekre méretezik, ilyen például a hűtővíz hőmérsékleti előírása, a gát koronamagassága vagy egy hálózati elem átviteli kapacitása. A határ alatt a rendszer teljes értékűen működik, fölötté a teljesítmény jelentős része egyszerre esik ki. A Duna nyári legkisebb vízhozama Paksnál évtizedek óta ingadozik. A 2026-os érték a harminchét éves sor minimuma volt, egyetlen évből azonban trend nem olvasható ki (VII.5). Amikor a vízhozam és a víz hőmérséklet a hűtővíz-előírás határát elérte, a hosszú ideig ingadozó állapotból egyetlen hét alatt üzemi esemény lett. Július 29-én a nyilvános közlések szerint az erőmű történetében először állt le teljes blokk kisvíz miatt (IV.4).

A második a korábbi rekordot nagy ugrással meghaladó szélsőség. A melegedő éghajlatban a rekordok nagyobb ugrással dőlnek meg (VIII.1, VI.4).¹⁵⁸ A 2026-os nyár országos csapadékösszege 74,1 mm volt, 27,2 mm-rel az 1952-es korábbi rekord alatt (II.2). Szegeden a tenyészidőszak leghosszabb száraz időszaka 53 nap volt, 12 nappal az addigi helyi csúcs fölött. Az országos kép mérsékeltebb. A tíz, 1901 óta mérő állomás átlagában az időszak 30,2 nap volt, több mint két szórással az 1991–2020-as átlag fölött, de az 1992-es csúcsot csak 1,2 nappal haladta meg (II.2). Az, hogy kiugrást vagy fordulatot látunk, egy évből nem dönthető el, a VIII.8 pont azonban megnevezi, milyen megfigyelés döntené el.

A harmadik az állapotváltás: a rendszer hosszú, stabil szakasz után új szintre vagy új irányba áll. A rétegvíz szintje húsz évig stagnált, 2019 után viszont egyszerre, széles körben süllyed. Hogy ezt éghajlati hatás vagy megnőtt kitermelés okozza, kitermelési adat hiányában eldöntetlen (III.2). Globális léptékben a billenőelemek jelentik ugyanezt (VIII.1). A hazai szempontból legfontosabbat, az atlanti átforduló áramlás gyengülését, a VII.6 pont tárgyalja. Bekövetkezésének időzítése erősen bizonytalan.

A hirtelen fordulat azért ér meglepetésként, mert a várakozást a múlt alakítja. A tervező és az üzemeltető a legutóbbi rekordot tekinti a lehetséges legrosszabbnak, és a tartalékot ehhez méri. A 2026-os száraz időszak előtt

a leghosszabb száraz időszak 2016–2025-ös átlaga a normál alatt volt, a közelmúlt tapasztalata tehát éppen az ellenkező irányba mutatott (II.2). A fordulat ritkán előzmény nélküli, mert a lassú terhelés készíti elő, és ez az a pont, ahol a lassú erózió láthatóvá válik.

MIT JELENT EZ A TERVEZÉSBEN

A lassú változókat rögzített viszonyítási alaphoz kell mérni, csúszó átlaghoz nem. Előre ki kell mondani, melyik szint átlépése indít döntést: így a döntés nem azon múlik, hogy a romlás statisztikailag mikor igazolható. A hirtelen fordulatnál két kérdést kell feltenni: hol vannak a rendszer éles határai, és mi történik, ha a következő szélsőség a legutóbbi rekordnál jóval nagyobb. A VIII.7 pont figyelmeztető jelei ilyen lassú változók és küszöbök.

VIII.3 Összekapcsolódó kockázatok: együttes események, továbbgyűrűzés, egymást erősítő válságok

A hagyományos kockázatelemzés egyszerre egy veszéllyel foglalkozik: külön az aszályal, külön a hőséggel, külön az árvízzel. Az összetett éghajlati eseményekről szóló szakirodalom egyik alapállítása, hogy ez a módszer a kockázatot rendszeresen alulbecsüli. Ha a veszélyek összefüggenek, az együttes kockázat sokkal nagyobb lehet, mint az egyes kockázatok független összegzése.¹⁶³ Ezért szerepel az egész anyagban az a szabály, hogy az együttes bekövetkezés valószínűsége nem becsülhető a veszélyek függetlenségének feltételezésével, vagyis az egyes események összeszorozásával, mert az így kapott érték alulbecslés (VII.7, VIII.6).

Az összetett események szakirodalmi tipológiája négy típust különböztet meg.¹⁶⁴ A hazai példákat az elemzés sorolta be.

típus	mit jelent	hazai példa
előfeltételes	a kár mértékét a rendszer előzetes állapota határozza meg	egy 227 mm-es tél az előző évi csapadékrekord után közel hetven centiméterrel emelte a talajvizet, mert a talaj már nedves volt; ugyanakkor egy 385 mm-es, késői, havas tél nem hozott mérhető emelkedést, de ott az olvadás időzítése döntött (III.1)
többváltozós	több veszély egyszerre éri ugyanazt a rendszert	2026 nyarán a hőség, az aszály és a dunai kisvíz egyszerre érte az áramellátást és a mezőgazdaságot (II. 2, IV.4)
időben halmozódó	egymást követő események, a rendszer két esemény között nem áll helyre	két egymást követő aszályos év a kimaradt téli feltöltéssel (VIII.6, C sáv)

típus	mit jelent	hazai példa
térben összetett	egyidejű események több helyen, amelyek ugyanazt a rendszert érik	a felvízi országok aszálya és a hazai aszály egyszerre, mert a vízkészlet 96 százaléka külföldről érkezik (VII.7); 2024 szeptemberében a Dunán árvíz, a Tiszán kisvíz egy hónapon belül, ugyanazt a vízügyi védekezési kapacitást terhelve (II.4)

A tipológia egyik, a tervezés számára különösen fontos megállapítása, hogy egy összetett esemény akkor is súlyos kárt okozhat, ha egyik összetevője sem szélsőséges statisztikai értelemben.¹⁶⁴ Két átlagosnál kissebb rosszabb nyár egymás után, vagy egy közepes aszály alacsony folyami vízszinttel együtt, külön-külön vizsgálva egyik sem minősülne kiemelt kockázatnak.

Az összetett esemény a veszélyek együttállása, a továbbgyűrűző kockázat pedig a hatás terjedése egyik rendszerből a másikba.¹⁶⁵ A határon átnyúló éghajlati hatások elemzési kerete négy lépést különít el: a kiinduló hatást valahol a világban, a terjedését kereskedelmi, pénzügyi, infrastrukturális vagy társadalmi csatornán, a fogadó ország kockázatát, végül a válaszlépések visszahatását.¹⁶⁶ A szakirodalom két jól dokumentált példája:

- A 2010-es oroszországi hóhullám és aszály után Oroszország betiltotta a gabonaexportot, ami a közel-keleti és észak-afrikai élelmiszerárakat is megemelte. A szerzők az áremelkedést a 2011-es arab tavasz hozzájáruló tényezői között említik.¹⁶⁶ Ezt a láncot óvatosan kell olvasni. A környezeti biztonsági szakirodalom szerint az éghajlat a fegyveres konfliktus kockázatának egyik hozzájáruló tényezője lehet, de nem egyedüli oka. Egy szakértői felmérés résztvevői egyetértettek abban, hogy az éghajlat befolyásolta a fegyveres konfliktusokat, de múltbeli szerepét a többi tényezőnél kisebbnek ítélik, és a hatás mechanizmusa bizonytalan. Az alacsony társadalmi-gazdasági fejlettség és a gyenge állami képesség lényegesen nagyobb súlyú. Az éghajlati katasztrófák elsősorban ott növelik a konfliktus kockázatát, ahol politikai kirekesztés és alacsony fejlettség is jelen van.¹⁶⁷ A példa tanulsága ezért a továbbgyűrűzés csatornájára vonatkozik, vagyis arra, hogy az élelmiszerár-sokk áttérjed a határon, és ott hat, ahol a társadalom már sérülékeny.
- A 2018-as európai hóhullám idején a Rajna alacsony vízállása egyszerre érintette az ipari szállítást, az energiatermelést és a mezőgazdaságot.¹⁶⁶

A hazai csatornákat a VII.7 pont sorolja fel: a határon túlról érkező víz, az élelmiszerár, a műtrágya és az energia, a pénzügyi rendszer, valamint a népességmozgás.

A továbbgyűrűzés ritka, de nagy hatású. Egy amerikai nagyváros mintájára épített, szintetikus, összekapcsolt villamosenergia- és vízellátási rendszer százhuszezer szimulációjában, egy-egy távvezeték kieséséből indulva, a zavarok túlnyomó többsége helyben maradt, és mintegy 4 százalékuk (3,69 %) terjedt át nagy kiterjedésű, rendszereken átívelő láncreakcióvá.¹⁶⁸ A tanulság a tervezés számára az, hogy a ritka esetre kell felkészülni, mert a gyakori, helyben maradó zavar kezelése nem bizonyítja, hogy a rendszer a láncreakciót is kibírja. Ezt a következtetést egy szintetikus modell eredményéből vesszük át, mert megfelelő hazai vizsgálat nincs.

Végül a válságok is összefonódhatnak. A szakirodalom polikrízisnek nevezi azt a helyzetet, amikor több globális rendszer válságai ok-okozati módon összefonódnak, és együtt jellemzően nagyobb kárt okoznak, mint külön-külön.¹⁶² A fogalom divatszóként is terjed, ezért itt a tudományos meghatározásnál maradunk. Eszerint a válságok három úton fonódnak össze:

- 1 Közös terhelés.** Ugyanaz a terhelés több rendszert gyengít egyszerre. Hazai példa: a nyári vízhiány egyszerre terheli a mezőgazdaságot, az energiatermelést és az ivóvízellátást.
- 2 Dominóhatás.** Az egyik rendszer válsága kiváltja a másikat. Hazai példa: a kisvíz erőművi visszaterheléshez, az pedig áramimporthoz és ár-emelkedéshez vezethet.
- 3 Rendszerek közötti visszacsatolás.** A válságok kölcsönösen erősítik egymást. Hazai példa: az aszály növeli az öntözési és ivóvízcélú vízkivételt, a többletkivétel tovább apasztja a felszín alatti készletet, és a megfogyott készlet a következő aszályt súlyosabbá teszi.

A három hazai példát az elemzés sorolta be. A rendszerek közötti visszacsatolás tervezési szempontból legfontosabb formáját a szakirodalom kisiklási kockázatnak (derailment risk) nevezi. Az éghajlati hatások erősödése kárt, válságkezelést és költségvetési terhet okoz. Ez figyelmet, pénzt és politikai támogatást von el a kibocsátáscsökkentéstől és az alkalmazkodástól, ami lassítja az átállást, és tovább erősíti a hatásokat (VIII/4. ábra). Minél több egyidejű válságot kell kezelni, annál kevesebb figyelem és forrás jut a megelőzésre. Így kapcsolja össze a kisiklás a VII.7 pont csatornáit a döntéshozatal szintjén. A kör fordítva is működhet, mert egy szélsőséges esemény a cselekvést gyorsíthatja is. Azt, hogy melyik irány kerül túlsúlyba, a források nem számszerűsítik. A brit aktuáriusi jelentés kockázatvállalási javaslatának hat tétele között a kisiklási kockázat is

szerepel.¹⁶⁹ A kisiklás a VII.2 pontban leírt kedvező kibocsátási pályák elérését is veszélyezteti.

VIII/4. ÁBRA

A kisiklási kockázat: az éghajlati hatások gyengíthetik a megelőzés képességét.



Mechanizmusábra; valószínűséget nem rendel a körhöz.

FORRÁS Laybourn, Evans és Dyke (2023); Laybourn és mtsai (2025) alapján saját szerkesztés.

MEGJEJYZÉS A kör megerősítő irányban is működhet: egy szélsőséges esemény a cselekvést gyorsíthatja. A két irány súlyát a források nem számszerűsítik.

A polikrízis-meghatározás szerzői maguk is leszögezik, hogy a polikrízis küszöbe minőségi kategória, és a rendszerhatárok kijelölése megállapodás kérdése. A keret tehát gondolkodási segédletnek tekintendő, mérőeszköznek nem.¹⁶²

MIT JELENT EZ A TERVEZÉSBEN

Minden kockázatnál meg kell kérdezni: mi romlik el ugyanakkor, ugyanattól az októl? A stresszpróba az együttes esetre készüljön, ne az egyes veszélyekre külön. A határon túli kiváltó okokat, például a felvízi aszályt vagy a nemzetközi műtrágyapiacot, ugyanúgy figyelni kell, mint a hazaiakat.

VIII.4 Miért nehéz ezt a megszokott gondolkodásnak és tervezésnek

Az előző pontok mintázatai jól ismertek. Hogy a tervezés mégis rendszeresen figyelmen kívül hagyja őket, annak két rétege van: az egyéni gondolkodás és az intézményi gyakorlat. Mindkettőre igaz, hogy a megszokott módszerek egy stabil világban jól működtek. A hiba ott kezdődik,

ahol a világ már nem stabil, a módszer viszont ugyanaz maradt – ez az elemzés értékelése.

Az egyéni gondolkodásban négy jól dokumentált mintázat érinti közvetlenül az éghajlati tervezést.

- *Normalitástorzítás.* A katasztrófakutatás így nevezi azt a hajlamot, hogy alulbecsüljük egy várható zavar valószínűségét vagy mértékét. A figyelemztetésre adott első reakció jellemzően a hitetlenkedés.¹⁷⁰ A tervezésben ez abban jelenik meg, hogy ami eddig nem történt meg, arra a terv nem gondol.
- *Az exponenciális növekedés alulbecslése.* A gyorsulva növekvő folyamatokat rendszeresen lineárisnak érzékeljük (VIII.1).¹⁶¹
- *Tervezési optimizmus.* Nagy nemzetközi infrastruktúra-mintákon a vasúti projektek költsége átlagosan 44,7, a hidaké és alagutaké 33,8, a közutaké 20,4 százalékkal haladta meg a tervezettet. A szerző két okot különít el: az önámító optimizmust és a szándékos félrevezetést. A kettőnek más az elenszere: az elsőnél a módszer, a másodikonál az elszámoltathatóság.¹⁷¹
- *Pszichológiai távolság.* Az éghajlati kockázatot sokan időben, térben és társadalmilag távolinak érzékelik. A félelemkeltő üzenet ilyenkor gyakran elfordulást vált ki, és a cselekvést nem segíti.¹⁷² Ezért beszélünk ebben az elemzésben a még elkerülhető kimenetekről (G.5).

A tudományos irodalom ezeket a mintázatokat eltérő erősségű bizonyítékkal támasztja alá. Az optimizmustorzítás laboratóriumi mérése vitatott, a kutatók egy része módszertani hibának tartja.¹⁷³ A projektköltségek szisztematikus túllépése viszont nagy mintán igazolt, és a mérés szerzője maga mutatja meg, hogy a túllépés egy része érdekeltségi okra vezethető vissza.¹⁷¹ A kognitív torzítások tehát önmagukban nem magyarázzák a tervezési hibákat, az intézményi gyakorlat legalább ennyit számít.

Az intézményi gyakorlatban egy 2024-es brit biztonságpolitikai elemzés négy szerkezeti hibát azonosított abban, ahogy a kormányok az éghajlati kockázatot kezelik.¹⁷⁴

- 1 *Elsőrendű torzítás:* a közvetlen hatásokra (árvíz, hóhullám) figyelnek, a továbbgyűrűző következményekre (ellátási lánc, költségvetés, politikai stabilitás) nem.
- 2 *A fokozatosság feltevése:* az éghajlatváltozást lassú, egyenletes folyamatnak tekintik, holott a hatások nemlineárisak.
- 3 *Elkülönült tárcák:* az éghajlati kockázat a környezetvédelmi, a biztonsági kockázat más tárcánál van, és senki nem kapcsolja össze a kettőt.

- 4** *Alacsony valószínűségként kezelt kockázat:* a billenőpontokat valószínűtlennek minősítik és háttérbe sorolják, akkor is, ha a becsült valószínűség semmilyen biztonsági mérce szerint nem alacsony.

Ehhez két szakmai beidegződés társul. Az első az állandóság feltevése: a vízügyi és műszaki méretezés évtizedekig abból indult ki, hogy a múlt statisztikája a jövőre is érvényes. A vízgazdálkodási szakirodalom 2008-ban állapította meg, hogy ez a feltevés az éghajlatváltozás miatt nem tartható.¹⁷⁵ A második a modellátlag kényelme: a modellek középértéke tervezési értéknek tűnik, holott négy mutatón a teljes modelltartomány a mérés alatt marad (H.2).

Végül a hivatali idő. A költségvetés éves, a ciklus négyéves, a lassú változás évtizedes. A lassú romlás így egyik tervezési időszakban sem jelenik meg sürgős feladatként. A brit nemzeti kockázati nyilvántartás ezt a dilemmát nyíltan kezeli, és a krónikus kockázatokat, köztük az éghajlatváltozást, 2020 óta a valószínűségi értékelésen kívül tárgyalja. Emellett rögzíti, hogy a krónikus kockázatok az akut kockázatokat valószínűbbé és súlyosabbá teszik.¹⁷⁶

gondolkodási csapda	hogyan jelenik meg a tervezésben	ellenszer
normalitástorztítás	ami eddig nem történt meg, arra nincs terv	ésszerű legrosszabb eset; előre megírt történetszálak (VIII.5)
exponenciális alulbecslés	lineáris továbbvezetés	küszöbhez kötött mutatók; rögzített viszonyítási alap (VIII.1, VIII.2)
tervezési optimizmus	alulbecsült költség és idő	külső viszonyítás hasonló korábbi projektekhez
egyszerre egy veszély	az együttes eset kimarad	együttes stresszpróba (VIII.3)
elkülönült tárcák	senki nem látja a láncot	közös kockázati kép, kijelölt felelős (IX.12)
állandóság feltevése	a múlt statisztikája a méretezés alapja	a mért trend és a minimumszabály (H.2)
modellátlag kényelme	a középérték tervezési szám	a sáv alja alsó korlát (H.2, VII.8)
a bizonyítás késése	csak az igazolt változásra reagál	előre rögzített döntési küszöbök (VIII.7)

A táblázat ellenszereit az elemzés állította össze a hivatkozott források és a korábbi fejezetek alapján.

VIII.5 Mit lehet tenni: az előrejelzéstől a felkészültségig

A gondolkodásváltás lényege egy kérdés megfordítása. A megszokott tervezés azt kérdezi: mi a legvalószínűbb jövő, és arra hogyan készülünk? A

kockázati szemlélet azt kérdezi: mi történhet, ami súlyos kárt okozna, és ebből mit lehet még elkerülni (G.1)? A második kérdésre nincs egyetlen helyes előrejelzés, de vannak bevált gyakorlatok. Az alábbiak mindegyike működik valahol a közigazgatásban, a magyar alkalmazás pedig az elemzés javaslata.

- 1 Az ésszerű legrosszabb eset és a történetyszálak.** A brit nemzeti kockázati nyilvántartás minden kockázatra megfogalmazza azt a legrosszabb esetet, amely a nagyon valószínűtlen változatok kizárása után marad, és erre méretezi a felkészülést (G.3).¹⁷⁶ Az éghajlati szakirodalom ugyanerre a történetyszálakat ajánlja: fizikailag következetes, konkrét lefolyású eseményleírásokat, amelyek a döntéshozó számára érthetőbbek a valószínűségi eloszlásnál.¹⁷⁷ Ebben az elemzésben a történetyszál a C sáv (VIII.6). A történetyszálnak akkor van haszna, ha konkrét: melyik hónapban, melyik folyón, melyik erőműnél, melyik megyében mi történik.
- 2 Stresszpróba és fordított stresszpróba.** A stresszpróba egy adott eseményre vizsgálja meg, kibírja-e a rendszer. A fordított stresszpróba a másik irányból indul, és azt keresi, milyen együttállás vezetne elfogadhatatlan kimenetre, és az mennyire valószínű.¹⁷⁸ A brit biztosításmatematikuskok szakmai testületének kiadásában megjelent jelentés az éghajlati kockázatot ezzel a logikával, a tönkremenetel elkerülésének szempontjából értékeli.¹⁷⁸ A VII. fejezet a 2050-es kitekintést erre a logikára építette. Közigazgatási gyakorlatra fordítva egy fordított stresszpróba kérdése például így szólhat: milyen egyidejű események esetén nem tudná egy alföldi megye két hétig biztosítani az ivóvizet és a hűtött helyiségeket a 75 év felettieknek? A kérdés az elemzés példája.
- 3 Előre rögzített döntési pontok és alkalmazkodási pályák.** Mély bizonytalanságban a merev terv helyett alkalmazkodási pályákat érdemes tervezni. A pálya rögzíti, melyik intézkedés meddig elégséges, melyik jelzés átlépésekor kell a következőre váltani, és melyik döntés zárna ki a későbbi lehetőségeket.¹⁷⁹ A holland Delta-programban minden térség ugyanazt a ciklust járja végig: stresszpróba, kockázati egyeztetés, végrehajtási program.¹⁷⁹ A VIII.7 pont tizenkét figyelmeztető jele ennek a módszernek a jelzőrendszere lehet. Egy jelzőnek akkor van értéke, ha előre rögzített, mi történik, amikor átlépik.

- 4 A feltevések ellenőrzése és az előzetes kudarcelemzés.** A hírszerzési elemzés módszertana több eszközt ad a saját feltevések próbára tételére. Az egyik a kulcsfeltevések ellenőrzése: minden terv mögé fel kell írni, mire épül, és melyik feltevés bukása döntené meg. A másik az előzetes kudarcelemzés: a csapat feltételezi, hogy a terv öt év múlva kudarcot vallott, és visszafelé keresi az okát.¹⁸⁰ Ezeknek az eszközöknek a hatásosságáról kevés a független bizonyíték, ezért mérsékelt várakozással érdemes használni őket.¹⁸⁰ Olcsók, és a vakfoltokat legalább láthatóvá teszik.
- 5 Rugalmas teherbírás.** Az ökológiában egy rendszer rugalmas teherbírása azt jelenti, hogy képes elnyelni a változást és a zavarokat úgy, hogy közben megőrzi a működését. Ez más tulajdonság, mint a stabilitás, vagyis a gyors visszatérés az egyensúlyi állapotba.¹⁸¹ A mérnöki irodalom négy jelentést különít el: a visszarendeződést, az ellenállóképességet, a váratlan helyzetekhez való rugalmas alkalmazkodást és a tartós alkalmazkodóképességet. Egy fontos megfigyelése, hogy ha egy rendszert egy irányban egyre teljesítőképesebbé teszünk, az más irányban törekenyebbé válhat.¹⁸¹

A közigazgatás számára ebből négy gyakorlati tulajdonság következik. A listát az elemzés állította össze a hivatkozott irodalom alapján.

- *Tartalék:* az a kapacitás, amely normál időben kihasználatlan, de zavar idején kéznél van. A költséghatékonyságra optimalizált rendszerből éppen ez tűnik el először.
- *Sokféleség:* ha egy szükségletet több, eltérő módon sérülő forrás elégít ki, egyetlen zavar nem bénítja meg az egészet.
- *Tagoltság:* a rendszer részei leválaszthatók egymásról, így a zavar nem terjed végig az egészen (VIII.3).

- *A csatolások ismerete:* tudni kell, melyik rendszer melyiktől függ. Amit nem ismerünk, azt nem tudjuk leválasztani.

6 A társadalom egészére kiterjedő felkészültség. Az Európai Unió felkészültségi jelentése szerint az uniónak minden veszélyre és fenyegetésre kiterjedő, átfogó kockázatértékelésre van szüksége. A jelentés a felkészültség beépítését javasolja minden szakpolitikai döntésbe, és azt, hogy a háztartások legalább 72 órán át önellátók legyenek.¹⁸² A jelentés az éghajlati, a járványügyi és a katonai fenyegetést egymással összefonódó kockázatként tárgyalja. A hazai tervezés számára ennek az a tanulsága, hogy az éghajlati felkészülés és az általános polgári felkészültség ugyanazokra a képességekre épül: tartalékra, működő helyi ellátásra, megbízható tájékoztatásra és gyakorlatra.

A gondolkodásváltás öt elmozdulásban foglalható össze. A táblázatot az elemzés állította össze.

a megszokott gondolkodás	a szükséges gondolkodás
az átlagra tervez	a küszöbökre és a szélsőségekre tervez (VIII.1)
egyszerre egy veszélyt vizsgál	az együttes eseményt és a láncot vizsgálja (VIII.3)
a legvalószínűbb jövőt jelzi előre	az elkerülendő kimenetből indul ki, és felkészül (VIII.5)
egyszer elfogadott, merev terv	előre rögzített döntési pontokkal váltható pálya (VIII.5, VIII.7)
ágazatonként tervez	a csatolásokat és a közös tartalékot kezeli (VIII.3, IX.12)

Ez a szemlélet nem a kétségbeesés tanácsa. A kockázati gondolkodás éppen azt mutatja meg, hogy a kimenetek egy része még elkerülhető, és melyik döntés mennyit számít (G.5).

VIII.6 A következő évtized három lehetséges lefolyása

A fejezet a fenti gondolkodásmódot a következő évtized három lehetséges lefolyására alkalmazza. A három lefolyást a továbbiakban sávnak nevezzük. A sávok nem új forgatókönyvek, hanem a korábbi fejezetek méréseit és az évtizedes előrejelzést rendezik három, megfigyeléssel egymástól elkülöníthető állapotba, amelyeket a VIII.7 pont figyelmeztető jelekké fordít.

A sávok három korábban bevezetett fogalomra épülnek. A téli félévi feltöltés az október és március közötti csapadék, amely a talajvízkészletet pótolja. A III.1 pont szerint a homokhátsági kutakon nagyjából 185 mm az a küszöb, amely alatt a talajvíz a télen nettó értelemben nem emelkedik. Más tájegységen a küszöb más. Az átlagos tél (ott 239 mm) e küszöb fölött

van, de a talajvizet alig emeli, a készlet ugyanis a bőséges, a csapadék szerinti felső harmadba eső teleken gyarapszik. Az évtizedes előrejelzés munkamodellje a HadGEM3 modell tíz futása a 2025–2034-es évekre, a modell saját 1991–2020-as referenciájához mérve, központi jelzése pedig a tíz futás átlaga (II.1). A minimumszabály (H.2) szerint a tervezés alsó határa a már megfigyelt érték: amit a mérés egyszer előállított, azt a tervezés nem kezelheti lehetetlenként, akkor sem, ha a modellek sávja alatta marad.

- **A sáv – kedvező.** Az évtized során a bőséges telek a mainál gyakrabban ismétlődnek, a nyári hőségterhelés a központi jelzés alsó felében marad. A készlet fogyása megáll, a kár kezelhető marad.
- **B sáv – tervezési alap.** A munkamodell központi jelzése teljesül: az éves középhőmérséklet mintegy 1,7, a nyári 1,9 °C-kal haladja meg a modell saját 1991–2020-as referenciáját, a forró napok száma pedig nő. A téli csapadék átlagosan a küszöb fölött marad, de a bőséges telek nem lesznek a mainál gyakoribbak. A feltöltés ezért – ahogy az elmúlt negyedszázadban – várhatóan nem pótolja a nyári fogyást, és a készlet lassan tovább fogy. **Ez a sáv hordozza a legnagyobb valószínűségi súlyt, és a minimumszabály miatt a tervezésnek innen kell indulnia.**
- **C sáv – összetett stressz.** Két vagy több egymást követő évben a téli félévi csapadék a küszöb alá esik, és a feltöltés kimarad. Erre nyári hőségtorlódás – több egymást követő hóhullám – rakódik, kisvízi visszaterheléssel az energiaoldalon. Ugyanezekben az években tavaszi fagykár is bekövetkezhet. Ez a száraz telekkel nem oksági kapcsolatban áll, hanem független veszélyként rakódik a többire. Ez nem a legvalószínűbb, de elfogadhatóan lehetséges lefolyás, ezért erre kell a felkészülést méretezni. A VIII.3 pont típusai szerint ez időben halmozódó és többváltozós esemény egyszerre: a rendszer két rossz év között nem áll helyre, és a veszélyek többsége közös okból, egy időben jelentkezik.

A sávokhoz **nem rendelünk számszerű valószínűséget**, mert az egyes elemek együttes valószínűsége megbízhatóan nem becsülhető, és a függetlenség feltételezése alulbecsülné az együttes bekövetkezést (VIII.3).

VIII.7 Tizenkét figyelmeztető jel: melyik lefolyás felé tart az évtized (2027–2031)

Ezek a jelek megfigyelésen alapulnak, előrejelzés helyett azt mutatják meg, melyik lefolyásban vagyunk, mielőtt a következmény beáll. A VIII.2 pont szóhasználatával a jelek lassú változók és küszöbök. Mindegyikhez előre rögzíteni kell, milyen döntést indít az átlépése, különben a jelzés

csak megfigyelés marad (VIII.5). Az első évek jeleit egy rendkívüli esemény torzíthatja. A 2026 őszen erősödő El Niño az amerikai éghajlati előrejelző központ október 8-i értékelése szerint 83 százalékos valószínűséggel október és december között erősebb lesz minden 1950 óta mért El Niño-nál.²²⁴ Ez a globális hőmérsékletet 2026–2027-ben egyszeri lökessel emeli, amelyet tartós gyorsulásként nem szabad elszámolni (VI.1). A hazai hatás bizonytalanabb: a Kárpát-medence az észak- és a dél-európai hatásmintázat határán fekszik,^{225, 226, 227} ezért saját következtetésünk szerint itt egy átlagos El Niño-hatásra nem lehet tervezni. A 2027-es téli csapadék (1. jel), a trópusi éjszakák (5. jel) és a rügyfakadás utáni fagy (7. jel) első évi értékét ezért az El Niño-év tudatában kell olvasni, és egyetlen év alapján nem szabad lefolyást váltani.

#	Jelző	Adatgazda
1	A téli félévi csapadék a homokhátsági kutakon mért 185 mm-es feltöltési küszöbhez képest – három egymást követő év; a többi tájegységen a küszöb külön mérendő. Figyelendő a bőséges, a helyi eloszlás felső harmadába eső telek gyakorisága is (III.1): az A és a B sáv ezen válik el.	HungaroMet (csapadékrács); vízügyi szolgálat (kútsorok)
2	Az országos törzskúthálózat augusztusi minimumainak iránya, és az, hogy a bőséges telek visszazemelik-e a szintet a korábbi csúcsokig.	vízügyi szolgálat
3	A mélyebb rétegvíz szintjében 2019-ben megtört trend magyarázata – feltéve, hogy az időszakra van kitermelési adat.	vízügyi hatóság (kitermelési adat)
4	A ≥ 25 °C napi középhőmérsékletű napok számának évtizedes menete.	HungaroMet
5	Trópusi éjszakák száma a nagyvárosokban.	HungaroMet
6	A többlethalálózás–hőségterhelés kapcsolat: erősödik-e vissza, vagy tartós az alkalmazkodási hatás (IV.1).	NNGYK; KSH
7	A rügyfakadás utáni fagykárak gyakorisága a következő öt évben – a 2021–2025-ös időszaki megfigyelés megerősítése vagy cáfolata.	HungaroMet (agrometeorológia); AKI (kárenyhítés)
8	A kisvízi küszöb alatti napok száma, nyári ablakra és teljes évre külön. A Körösökön és a Maroson 2026-ban a nyári átlagos vízhozam a 2000 óta tartó sor minimumán állt, Makónál a vízállás öt napon a nyilvántartott legkisebb érték alatt volt (III.1).	vízügyi szolgálat

#	Jelző	Adatgazda
9	Az évtizedes előrejelzés beválása : a 2026–2030-as tényadatok az előrejelzett sávon belül vannak-e.	HungaroMet (tényadat); az előrejelzés készítője
10	A hazai sérülékenységi adatrétegek frissülnek-e (IV.2) – ez intézményi, nem éghajlati jelző, de a kockázatkép minőségét ez határozza meg leginkább.	HungaroMet (NATÉR)
11	Épül-e pentád-léptékű, gyökérszónás talajnedvességsor , amelyen a gyors kifejlődésű aszály egyáltalán mérhető. Ez is intézményi jelző: amíg nincs, a növénytermesztési kár fő hordozójáról hazai adatunk nincs (H.4).	nincs kijelölt adatgazda
12	A tenyészidőszaki (április–szeptemberi) leghosszabb száraz időszak a tíz, 1901 óta mérő homogenizált állomás átlagában: a 2026-os rekord (30,2 nap) kiugrás volt-e vagy fordulat; döntési ablak: 2027–2031 (II.2 , VIII.8).	HungaroMet

VIII.8 Mi cáfolná a következtetéseket

Az alábbiak megcáfolhatják vagy jelentősen gyengíthetik a fenti következtetéseket. Az utolsó tétel iránya fordított, teljesülése ugyanis a kockázat súlyozásának mérséklését alapozná meg.

- Ha a következő öt évben a talajvízszintek a Dunától keletre fekvő kutakon átlagos telek mellett is tartósan emelkedni kezdenek – gyengül a **III.** fejezet két fő megállapítása. Az egyik, hogy a süllyedés ott egyirányú, a másik, hogy a feltöltés a bőséges telekre koncentrálódik.
- Ha a telítési hiány megfigyelt trendje megtörik, vagy kiderül, hogy a mérési rács szisztematikus hibát hordoz – megdől a **II.2** pont fő állítása, amely szerint a szárazodás legerősebb megfigyelt jele a telítési hiány növekedése.
- Ha egy új projekciós generáció (az új modellkör leskálázott termékei) reprodukálja a megfigyelt párolgási és hőmérsékleti trendeket – gyengül a minimumszabály, és a modellsáv középértéke visszanyeri a tervezési szerepét.
- Ha 2027 és 2031 között legalább két évben a tíz állomás átlagos tenyészidőszaki leghosszabb száraz időszaka eléri a 28 napot, a 2026-os rekord nem tekinthető kiugrásnak. Változatlan eloszlás mellett ennek esélye kb. 0,7 % (1901 és 2025 között három ilyen év volt: 1961, 1992, 2007). Ekkor a **II.2** pont állítását, hogy a száraz időszak hossza nem nő, a tenyészidőszak-

ra felül kell vizsgálni, és azt is meg kell vizsgálni, hogy a minimumszabály érvényes-e a száraz időszak hosszára. Egyetlen ilyen év nem dönt, mert változatlan eloszlás mellett öt évből kb. 12 % eséllyel előfordul.

- Ha a többlethalálozási adatok több éven át a 2026-os mintát követik erősödő hőségterhelés mellett – megerősödik a **IV.1** pont alkalmazkodási hipotézise, és az egészségügyi kockázat súlyozása lefelé módosítandó. A hipotézis szerint a hőségriasztás, a klimatizáció terjedése és a lakossági tudatosság csökkentette a hőség halálozási hatását.

IX

Tervezési következtetések és tennivalók szakterületenként

A FEJEZET SZAKASZAI

IX.1	Közös szabályok minden szakterületre	174
IX.2	Vízgazdálkodás	176
IX.3	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	177
IX.4	Erdészet	179
IX.5	Energia	179
IX.6	Egészségügy és szociális ellátás	180
IX.7	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	181
IX.8	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	183
IX.9	Pénzügy, költségvetés és uniós források	184
IX.10	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	186
IX.11	Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés	187
IX.12	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	188
IX.13	Áttekintés	190

Ez a fejezet az elemzés eredményeit az államigazgatás szakterületeire fordítja le, azaz bemutatja, hogy mit jelentenek az egyes területeken, és milyen tennivaló következik belőlük. A tennivalók saját javaslataink, amelyek a korábbi fejezetek mérési eredményeire épülnek, a mögöttük álló megállapítás pedig a zárójelben jelölt szakaszban olvasható. A fejezet költséget és ütemezést nem ad, és beruházásra sem tesz javaslatot. A tennivalók négyfélék:

- adat: hiányzó mérés vagy elavult adatréteg pótlása;
- szabály: méretezési szabvány, támogatási feltétel vagy eljárásrend módosítása;
- működtetés: egy meglévő rendszer üzemvitelének vagy vizsgálati feltételeinek kiegészítése;
- beruházás előkészítése: a méretezés alapjainak rögzítése egy későbbi döntés előtt.

A **IX.13** pont táblázata szakterületenként összefoglalja a legfontosabb tennivalót és annak jellegét. Több tennivalóhoz más európai országok működő gyakorlata ad mintát, ezeket a jegyzetek nevezik meg. A minta annyit

mutat, hogy maga a lépés megvalósítható, a hazai hatását ugyanakkor nem bizonyítja.

A tennivalók áttekintése a döntés ideje szerint

A fejezet 66 kiemelt tennivalóját az alábbi táblázat a döntés ideje szerint rendezi. A tennivalók sorrendjét az dönti el, mennyi ideig köt a döntés, és mikor lehet meghozni. A besorolás és a bizonyíték megbízhatósági foka a szerzők ítélete, nem az adatokból következik.

- **Most, megbánás nélkül:** olcsó vagy költség nélküli lépés, amely a következő évtized mindhárom kockázati sávjában helyes, és gyakran más döntések előfeltétele: adat, mérés, szabály, a meglévő kapacitás megtartása.
- **Döntési ablak:** a döntésnek rögzített ideje van (költségvetés, uniós ciklus, tervfelülvizsgálat, jogszabály-előkészítés). Ha az ablak bezárul, a következő ciklusig nincs új lehetőség. Ahol az ablak most nyitva van, azt külön jelöljük.
- **Hosszú élettartamú döntés:** beruházás vagy telepítés, amely 2050 után is működik. A döntés most születik, a következménye évtizedekig tart, ezért a IX.1 pont tervezési szintjei vonatkoznak rá.
- **Jelzéshez kötött döntés:** a döntést most nem kell meghozni, de most kell rögzíteni, milyen jel vagy esemény indítja (VIII.7).

A tennivalók mögötti bizonyíték megbízhatóságát háromfokú skálán jelöljük, a fokozatot a bizonyítékbázis jellege alapján rendeltük hozzá: hány független mérési vonal támasztja alá, milyen hosszú a sor, és előzetes-e az adat. A megbízhatóság a tennivaló alapjául szolgáló megállapításra vonatkozik, nem a tennivaló helyességére. Ahol a megállapítás egyik része erős, a másik gyenge, a jelölés mindkettőt megnevezi, például „a süllyedésre közepes, az okára alacsony”. A „hiányra magas” és az „elavulásra magas” jelölés azt jelzi, hogy az adathiány, illetve az adatok elavulása megalapozottan dokumentált.

- **Magas:** mért adaton álló megállapítás, amelyet több, egymástól független mérési vonal ugyanoda visz; a forrásadat nyilvános, a számítás megismételhető, és független újraszámítás ellenőrizte.
- **Közepes:** mért jel, amely rövid időszakon, egyetlen eseményen, részben előzetes adaton, modellen vagy szakértői értékelésen áll. Az irány meg-alapozott, a gyakoriság vagy a mérték nem.
- **Alacsony:** a jelenség mérhető, de az oka vagy a nagyságrendje hazai adatból nem különíthető el, mert a szükséges adat vagy idősor hiányzik.

- **Intézményi:** a tennivaló nem mérési megállapításon, hanem jogszabályon, intézményi hiányon vagy külföldi gyakorlaton alapul; mérési megbízhatóság itt nem értelmezhető.

A „Hol olvasható” oszlop első sora az elemző fejezet pontja, ahol a tennivaló alapjául szolgáló megállapítás a módszerrel és a bizonytalansággal együtt szerepel. A második sor a **IX.** fejezet pontja, ahol a tennivaló teljes indoklása olvasható. Ahol az első sor hiányzik, a tennivaló a **IX.** fejezetben megadott külső forráson, jogszabályon vagy intézményi döntésen alapul.

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
Most, megbánás nélkül (35)				
A négy legfontosabb mutatón a modell helyett a mért érték a kiindulópont.	Közös szabályok minden szakterületre	Alapszabály, költség nélkül azonnal alkalmazható; minden más méretezési döntés kerete.	 A hőmérsékletre és a 30 °C-os napokra magas, a telítési hiány mért növekedésére is magas, a modellek elmaradására és a tavaszi fagyra közepes	H.2 IX.1, 1.
A felkészülést a kedvezőtlen, de reális esetre kell méretezni.	Közös szabályok minden szakterületre	Méretezési elv; ott dönt, ahol hosszú élettartamú létesítmény épül.	 Közepes	G.5, VIII.6 IX.1, 2.
A hideg oldali felkészülés leépítése korai.	Közös szabályok minden szakterületre	A meglévő kapacitás megtartásáról van szó. Leépítése megítélésünk szerint a következő évtizedben korai.	 Alacsony	II.4 IX.1, 4.
A vízkivételt mérhetővé kell tenni ott is, ahol ma nem mérik.	Vízgazdálkodás	A legolcsóbb lépés és minden vízügyi döntés előfeltétele.	 A hiányra magas	III.1, III.2 IX.2, 1.
A beavatkozások sorrendjét térségenként kell meghatározni.	Vízgazdálkodás	Tervezési adatmunka; a VGT4 egyeztetésére (2026. dec.–2027. jún.) érdemes elkészíteni.	 Közepes	III.1 IX.2, 3.
A rétegvíz kitermelését mérni kell, és az ivóvízbázisok védelmét ehhez kell igazítani.	Vízgazdálkodás	A kitermelés mérése olcsó és sürgős. A vízbázisvédelem hosszú távú döntés, a mérés után.	 A süllyedésre közepes, az okára alacsony	III.2, III.5 IX.2, 5.
A fagyvédelmi kapacitás leépítése korai.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	A meglévő fagyvédelmi kapacitás megtartásáról van szó. A 2021–2025-ös jelzés ötéves megfigyelés, nem trend.	 Közepes	II.3 IX.3, 3.
Fel kell mérni, mekkora kárt képes fedezni a kárenyhítési rendszer.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	Felmérés, olcsó; eredménye a költségvetési tervezés bemenete.	 Közepes	IV.3 IX.3, 5.

Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
Mérni kell a néhány hét alatt kifejlődő aszályt.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	Mérési hiány pótlása.	 Alacsony	H.4, VIII.7 IX.3, 6.
Az erdészeti klímaosztály-térképet a 2011 utáni adatokkal frissíteni kell.	Erdészet	Adatfrissítés, a telepítési döntések előfeltétele.	 Az elavulásra magas	II.6 IX.4, 2.
A villamosenergia-rendszer tervezési vizsgálataiba be kell építeni a kisvíz miatti teljesítménycsökkenést.	Energia	Működtetési döntés, beruházást nem igényel.	 Közepes	IV.4, G.5 IX.5, 1.
A vízügyi engedélyezés és az energetikai tervezés feltevéseit össze kell hangolni.	Energia	Feltevések összehangolása, költség nélkül.	 Intézményi	IV.4 IX.5, 2.
A csúcsigény-tervezés számoljon a hőség és a kisvíz egyidejűségével.	Energia	Tervezési módszertani szabály.	 Közepes	VII.7, VIII.3 IX.5, 4.
A hőségre való felkészülés négy célcsoportra épüljön: az idősekre, a krónikus és fekvőbetegekre, a várandósokra és kisgyermekre, valamint a szabadtéri dolgozókra.	Egészségügy és szociális ellátás	Az ellátástervezés célcsoportjainak kijelölése, költség nélkül.	 Az idősekre közepes, a többi csoportra alacsony	IV.1, IV.2 IX.6, 1.
A hőségriasztási rendszer nem építhető le.	Egészségügy és szociális ellátás	Megtartási döntés; leépítése azonnal visszaütne.	 Alacsony	IV.1 IX.6, 2.
A hőség és a halálozás kapcsolatát folyamatosan mérni kell.	Egészségügy és szociális ellátás	Adatsor folytatása.	 Az adathiányra magas	IV.1 IX.6, 3.
A hőségkockázati térképet frissíteni kell.	Egészségügy és szociális ellátás	Adatfrissítés, gyors és olcsó.	 Az elavulásra magas	IV.2 IX.6, 4.
A riasztás és az ellátástervezés a napi középhőmérsékletet és a trópusi éjszakákat kövesse.	Egészségügy és szociális ellátás	Riasztási küszöb módosítása, költség nélkül.	 Közepes	II.1 IX.6, 5.
Az épület- és infrastruktúra-tervezési előírások éghajlati felülvizsgálatát határidővel és felelőssel kell elrendelni, mindkét szélsőségre.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	Az elrendelés azonnal megtehető, a felülvizsgálat maga ciklusokon át fut.	 Intézményi	IX.7, 7.
A települési hőségterveket elsőként a leginkább terhelt megyékben kell frissíteni.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Tervfrissítés; a sorrendet a hőségterhelés és a hőhullámos többlethalálozás együtt adja.	 Közepes	IV.2 IX.8, 1.
A katasztrófavédelmi gyakorlatok vegyék alapul az összetett stresszévet.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Gyakorlati forgatókönyv módosítása.	 Közepes	VIII.6, VII.7, II.4 IX.8, 4.
A települési alkalmazkodási terv alapja helyi stresszpróba legyen.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Helyi próba; a települési tervezési ciklus bemenete.	 Intézményi	IX.8, 6.
Hivatalos nemzetgazdasági kárszámlát kell felállítani.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Adat- és nyilvántartási feladat, minden pénzügyi döntés alapja.	 A hiányra magas, a nagyságrendre alacsony	V.1 IX.9, 1.

Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
Nemzetközi kárszámot csak hazai alappal vagy a forrásával együtt szabad használni.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Közlési szabály, költség nélkül.	 A hiányra magas	V.1 IX.9, 3.
A pénzügyi stresszteszteket a fizikai éghajlati kockázatra is ki kell terjeszteni.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Módszertani bővítés, a következő stresszteszt-körtől.	 Intézményi	VII.7 IX.9, 4.
Az egyidejű kockázatokat nem szabad egymástól függetlenül kezelni.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Módszertani szabály.	 Közepes	VIII.3 IX.9, 5.
A kárszámon túl kárfinanszírozási stratégia is kell, amely előre rögzíti, ki és miből fizeti a nagy kárt.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	A finanszírozást a nagy kár előtt kell eldönteni, utána már késő.	 Közepes	V.2 IX.9, 6.
Meg kell vizsgálni egy kötelező, egységes katasztrófakár-pótdíjas biztosítási rendszert állami viszontbiztosítással.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Vizsgálat; a rendszer bevezetése jogszabályi döntés.	 Intézményi	IX.9, 7.
A kitétségi és sérülékenységi adatrétegeket frissíteni kell.	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	Adatfrissítés.	 Az elavulásra magas	IV.2 IX.10, 1.
Nyilvános, megnevezett éghajlati küszöblistát kell elfogadni, vagyis rögzíteni kell, mely éghajlati határértékek átlépését akarja az államigazgatás elkerülni.	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	Elvi döntés, költség nélkül.	 Intézményi	Melléklet A IX.10, 3.
Ki kell jelölni a figyelmeztető jelek adatgazdáit.	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	Kijelölés, költség nélkül.	 A hiányra magas	VIII.7 IX.10, 4.
A légnedvesség mérését térben és időben bővíteni kell.	Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés	Mérési hiány pótlása.	 Közepes	II.2 IX.11, 1.
A gyökérszóna talajnedvességére országos mérőhálózat kell, kijelölt adatgazdával.	Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés	Mérési hiány pótlása.	 A hiányra magas	II.2 IX.11, 2.
A hatásvizsgálatok telítési hiányát a regionális modellek saját légnedvesség-adatából kell számítani.	Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés	Számítási eljárás módosítása.	 Közepes	II.2 IX.11, 3.
A két hazai projekciós készletet közös, nyilvános próbán, rendszeresen a méréssel kell összevetni.	Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés	Rendszeres összevetés, adatmunka.	 Magas	H.2 IX.11, 4.
Döntési ablak most nyitva (7)				
Az új és a jelentősen felújított épületekre kötelező nyári túlmelegedési követelmény kell.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	Az épületenergetikai irányelv (2024/1275) átültetési határideje 2026. máj. 29. lejárt, a Bizottság 2026. júl. 15-én felszólító levelet küldött; az átültetés még folyik, ezért a döntés most hozható meg. Az épület évtizedekig áll.	 Intézményi	IX.7, 1.

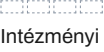
Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
A költségvetési tartalékok tervezése a ritka, nagy kárévekkel számoljon.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	A 2027. évi költségvetés benyújtása 2026 októberében várható.	 Közepes	V.2 IX.9, 2.
Az alkalmazkodást szolgáló költségvetési előirányzatokat meg kell jelölni.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	A 2027. évi költségvetés (benyújtás 2026. október).	 Intézményi	IX.9, 10.
Az alkalmazkodási stratégia mellé ötéves végrehajtási program kell, költségvetéssel és tennivalónként kijelölt felelőssel.	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	Klímatörvény (a 2020. évi XLIV. törvény módosítása vagy új törvény), parlamenti döntés várhatóan 2026. nov.–dec.; a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia felülvizsgálatáról nincs nyilvános ütemezés.	 Intézményi	IX.12, 1.
Ötévente nemzeti éghajlati kockázatjelentés készüljön, és a végrehajtási program ehhez igazodjon.	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	Klímatörvény, parlamenti döntés várhatóan 2026. nov.–dec.	 Intézményi	IX.12, 2.
Egységes tervezési hőmérséklet-emelkedési szintet kell rögzíteni, amelyre minden ágazati terv és szabvány hivatkozik.	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	Klímatörvény vagy végrehajtási rendelete, parlamenti döntés várhatóan 2026. nov.–dec.	 Intézményi	IX.12, 3.
Az éghajlati kockázatot a többi veszéllyel közös nemzeti kockázati képben kell értékelni, kijelölt összehangoló felelőssel.	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	Klímatörvény (2026. nov.–dec.) és a nemzeti kockázatértékelési rend.	 Intézményi	VIII.4, VIII.5 IX.12, 5.
Hosszú élettartamú döntés (10)				
A 2050 után is működő létesítményeket legalább 2 °C-os globális melegedésre kell tervezni, 2,5 °C-os stresszpróbával.	Közös szabályok minden szakterületre	A létesítmény 2050 után is áll. A tervezési szint jogszabályi rögzítése a klímatörvényhez köthető (IX.12, 3.).	 Közepes	VII.1, VII.2 IX.1, 3.
A tározók és az öntözőrendszerek méretezésénél a 2026-os nyár a mértékadó száraz időszak.	Vízgazdálkodás	Tározó és öntözőrendszer évtizedekre épül.	 Közepes, a fordulatra alacsony	II.2 IX.2, 4.
A vízkorlátozás törvényi sorrendjét a kapacitás- és beruházástervezésbe is be kell építeni.	Vízgazdálkodás	A beruházások élettartama alatt érvényes korlátozási sorrendhez kell igazodni.	 Intézményi	V.4 IX.2, 6.
2050-ig a Dunán télen több, nyáron bizonytalanabb vízjárással kell tervezni.	Vízgazdálkodás	Hűtővíz, hajózás, ivóvízbázis: 2050-ig működő rendszerek.	 Közepes	VII.5 IX.2, 8.
A termesztett növények fajta- és kultúraválasztásánál a hőségűtést és a fagyűtést együtt kell mérlegelni.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	Ültetvénynél évtizedes döntés; szántóföldi kultúránál évente változtatható.	 Közepes	IV.3 IX.3, 4.
Az erdőtelepítés és a fajjavítás a szárazabb klímaosztállyal számoljon.	Erdészet	Az erdő évtizedekre a helyén marad.	 Közepes	II.6 IX.4, 1.
A hűtővíztől függő új vagy bővülő kapacitásoknál a 2026-os nyári vízhozamot stresszpróbaként kell alkalmazni.	Energia	Új vagy bővülő hűtővízfüggő kapacitás évtizedekre.	 Közepes	VII.5 IX.5, 3.

Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
Elsőként a 75 év felettieket ellátó épületeket kell hőszállítóvá tenni, és a településeken hűtött közösségi helyeket kell kijelölni.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	Az intézmények átalakítása hosszú távú, a hűtött közösségi helyek kijelölése viszont azonnal megtehető.	 Közepes	IV.2 IX.7, 3.
A villámárvíz-veszélyes kisvízgyűjtők településein a csapadékvíz-elvezetést a mért változáshoz kell igazítani.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Csapadékvíz-elvezető hálózat évtizedekre épül.	 Közepes	III.5, II.4 IX.8, 2.
A települési vízellátás tervezése vegye figyelembe az ivóvízbázisok éghajlati érzékenységét.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Vízellátási rendszer és vízbázis hosszú élettartamú.	 Közepes	III.5 IX.8, 3.
Későbbi döntési ablak (10)				
A téli félév vizét a tájban kell tartani.	Vízgazdálkodás	VGT4 – társadalmi egyeztetés 2026. dec.–2027. jún., elfogadás 2027. dec. 22-ig; a KAP utódja (nemzeti és regionális partnerségi terv) 2028-tól, ha a jogszabályok időben elkészülnek. A művek évtizedekig hatnak.	 A süllyedésre magas, a visszatartás hatására közepes	III.1, IV.3 IX.2, 2.
A Dunán és a Tiszán eltérő árvízi felkészülés kell.	Vízgazdálkodás	Árvíz kockázat-kezelési terv 3. ciklusa, felülvizsgálat 2027. dec. 22-ig (a Duna-medencei terv 2028. jún.); a védművek hosszú élettartamúak.	 A mért eltérésre közepes, az okára alacsony	III.3, II.4 IX.2, 7.
A telítési hiány (a levegő párafelfogató képessége) kerüljön az agrártervezés és a támogatási feltételek mutatói közé.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	A KAP 2028 utáni keretének (a nemzeti és regionális partnerségi terv fejezete) hazai terve, tervezet 2027-ben; az indulás és az átmenet szabályai még nyitottak.	 Közepes	II.2 IX.3, 1.
A meglévő épületek felújítási támogatásában az árnyékolás, az éjszakai szellőztetés és a passzív hűtés is legyen támogatható elem.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	A felújítási támogatási programok következő kiírása; uniós források 2028-tól (a 2028–2034-es többéves pénzügyi keretről a megállapodás 2026 végére tervezett, csúszhat).	 A hazai nagyságrendre alacsony	IX.7, 2.
Az épület- és szerkezettervezés éghajlati adatait a mért értékekhez kell igazítani.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	Második generációs Eurocode-ok – nemzeti bevezetés 2027. szept. 30-ig, az első generáció visszavonása 2028. márc. 30-ig.	 Intézményi	IX.7, 4.
A településrendezésben csökkenteni kell a burkolt felületet, és növelni a zöld- és vízfelületet.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	A településrendezési eszközök felülvizsgálata; a beépítés évtizedekre szól.	 Közepes	IV.2 IX.7, 5.
A közpénzből vagy uniós forrásból épülő, tíz évnél tovább működő létesítményeknél kötelező legyen az éghajlati kockázatértékelés.	Épületek, településszerkezet és infrastruktúra	A 2028–2034-es uniós források programozása (partnerségi tervek 2027-ben).	 Intézményi	IX.7, 6.

Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Tennivaló	Ágazat	Döntési ablak, indoklás	Bizonyíték	Hol olvasható
Fel kell készülni arra, hogy az uniós alkalmazkodási forrás feltétele a nemzeti alkalmazkodási terv lesz.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	Az uniós klímareziliencia-keret rendeletjavaslata a lezáráskor 2026. okt. 20-ra várható; a nemzeti terv mint forrásfeltétel egyelőre csak várt tartalom.	 Intézményi	IX.9, 9.
Az évtizedes éghajlati előrejelzést be kell építeni az 5–10 éves tervezési ciklusokba.	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	Az 5–10 éves ágazati tervezési ciklusok.	 Közepes	H.3 IX.10, 2.
A tennivalók sorrendjét nyilvános, előre rögzített szempontok szerint kell felállítani.	Alkalmazkodási tervezés és kormányzás	Az első végrehajtási program összeállítása.	 Intézményi	IX.12, 4.
Jelzéshez kötött döntés (4)				
Az öntözésbővítés feltétele a vízmérleg és a vízminőség.	Mezőgazdaság és vidékfejlesztés	A bővítésről a vízkivétel mérése (IX.2, 1.) és a vízmérleg után lehet dönteni.	 Közepes	IV.3 IX.3, 2.
A tizenkét figyelmeztető jelet évente ki kell értékelni.	Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem	Maga a jelzőrendszer: a kiértékelés megszervezése most kell, a döntéseket a jelek indítják.	 Intézményi	VIII.6, VIII.7 IX.8, 5.
A kártérítés és a vis maior-támogatás feltétele a megerősített újjáépítés legyen.	Pénzügy, költségvetés és uniós források	A szabályt a nagy kár év előtt kell rögzíteni, alkalmazni a következő kár évben lehet.	 Intézményi	IX.9, 8.
A hivatalos hazai éghajlati termékeket az új modellgenerációra kell frissíteni.	Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis	Akkor esedékes, amikor az új modellgeneráció leskálázott termékei elérhetők.	 Közepes	VII.8, VII.4 IX.10, 5.

Bizonyíték:  magas ·  közepes ·  alacsony ·  intézményi

Forrás: a tennivalók a IX. fejezetből. A külső döntési ablakok állapota 2026. október 14-i: a Kormány 2026. őszi törvényalkotási programja; a 2027. évi költségvetés tervezett benyújtása (Pénzügyminisztérium, sajtóközlés); az Európai Bizottság 2026. július 15-i kötelezettségsszegési csomagja ((EU) 2024/1275 irányelv); az Országos Vízügyi Főigazgatóság VGT4-ütemterve; a 2007/60/EK irányelv 14. cikke; a második generációs Eurocode-ok JRC-ütemterve; a KAP 2027 utáni keretére és a 2028–2034-es többéves pénzügyi keretre vonatkozó bizottsági és tanácsi közlések; az Európai Parlament kutatószolgálatának 2026. szeptemberi tájékoztatója az uniós klímareziliencia-keretről. Az uniós ütemezések változhatnak.

IX.1 Közös szabályok minden szakterületre

Három tervezési szintet különböztetünk meg.

- A tervezési alap a legvalószínűbb lefolyás, amelyből a terv kiindul: a következő évtizedre a VIII.6 pont B sávja, ami 2050-re 2 °C-os globális meleget jelent.
- A méretezési eset az a kedvezőtlen, de reális helyzet, amelyet a létesítménynek és az ellátásnak ki kell bírnia: a VIII.6 pont C sávja.

- A stresszpróba azt vizsgálja, mi történik ezen túl, például 2,5 °C-os globális melegedésnél. A 2026-os nyár mért értékei kettős szerepet töltenek be: a száraz időszaki méretezésben mértékadó eseményként, a hűtővíztől függő kapacitásoknál stresszpróba-bemenetként (IX.2, IX.5).

A hármas felosztást az elemzés egészében következetesen ebben a jelen-
tésben használjuk.

Négy szabály minden olyan területen érvényes, ahol a tervezés éghajlati
adatra épül.

- 1 A négy legfontosabb mutatón a modell helyett a mért érték a kiinduló-
pont.** A hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon
és a telítési hiányon a hazai éghajlati modellek egyik futása sem éri el
azt, amit már megmértünk. A hőmérsékleten és a 30 °C-os napokon ezt
mindkét hazai projekciós készlet mutatja (H.2). Ahol egy szabvány vagy
támogatási feltétel a modellek tartományára hivatkozik, ott a tartomány
alja a legkisebb még elképzelhető érték. A tervezésnek azonban leg-
alább a mért értékekből kell kiindulnia. Az intenzív csapadékra, a szá-
raz időszakok hosszára és a 35 °C-ot elérő napok számára ez a szabály
nem vonatkozik, mert ott a modell nem becsül alul.
- 2 A felkészülést a kedvezőtlen, de reális esetre kell méretezni.** A közép-
értékre tervezés a várható kárt rendszeresen alulbecsüli, ugyanis az ég-
hajlati kár a melegedéssel gyorsulva nő (G.5). A méretezés alapja a VIII.6
pont C sávja, azaz két egymást követő aszályos év hőséggel, folyami kis-
vízzel és erőművi teljesítménycsökkenéssel, amelyhez a száraz télnél
független okból tavaszi fagykár is társulhat. Ez nem a legvalószínűbb,
de reálisan lehetséges eset.
- 3 A 2050 után is működő létesítményeket legalább 2 °C-os globális mele-
gedésre kell tervezni, 2,5 °C-os stresszpróbával.** Ez különösen a hosszú
élettartamú infrastruktúrára vonatkozik: a vízügyi művekre, az energe-
tikai és az egészségügyi létesítményekre (VII.1). A melegedés kedvezőbb
megállásával a tervezés megtakarításként nem számolhat (VII.2). A ter-
vezési szintet jogszabályban érdemes rögzíteni annak érdekében, hogy
minden ágazati terv és szabvány ugyanarra hivatkozzon. Franciaország
például 2026 januárjában rendeletben rögzítette a saját referenciamele-
gedési pályáját.¹⁸³

- 4 A hideg oldali felkészülés leépítése korai.** 2026-ban egy éven belül fordult elő $-18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+42,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (II.4). A melegedés a hideg szélsőséget ritkítja, de nem szünteti meg, ezért a téli és a fagyvédelmi kapacitás leépítése a következő évtizedben korai. A hideg oldali kitettséget és kárt nem számszerűsítjük, ezért ez a megállapítás csak az irányt adja meg, méretezési szabályként nem alkalmazható (II.4).

IX.2 Vízgazdálkodás

A talajvíz az országos törzskúthálózat kútjainak 94, a Dunától keletre 98 százalékán süllyed. 2026 augusztusában a kutak 79 százaléka saját sorának legalacsonyabb szintjén állt, és a bőséges telek 2014 óta nem emelik vissza a szintet a korábbi csúcsokig. A Nyugat-Dunántúlon ugyanakkor nincs egyirányú süllyedés (III.1). A téli félév csapadéka nem csökkent, a talajvíz mégis csak a bő csapadéku teleken töltődik fel. A Körösök és a Maros nyári vízhozama 2026-ban a 2000 óta mért legkisebb volt. A mélyebb rétegvíz szintje 2019 óta süllyed, oka pedig nem dönthető el, mert a vízkivétel jelentős része méretlen (III.2).

- 1 A vízkivételt mérhetővé kell tenni ott is, ahol ma nem mérik.** Ez a legolcsóbb lépés, és minden további vízügyi döntés előfeltétele. Amíg a kivétel ismeretlen, nem dönthető el, hogy a készlet fogyásából mennyi az éghajlaté és mennyi a vízfelhasználásé (III.1, III.2). Mérés nélkül az öntözéskorlátozás elvetése és a felszín alatti vízre alapozott öntözésbővítés egyaránt megalapozatlan.
- 2 A téli félév vizét a tájban kell tartani.** A talajvíz csak a bőséges csapadékot hozó teleken töltődik fel, és egy elmulasztott bőséges tél egy átlaggossal nem pótolható (III.1). A belvízcsatorna-hálózat az aszályra hajlamos síkságokról évente átlagosan mintegy 1,77 milliárd köbméter vizet vezet el, a belvizes időszakokon kívül is (IV.3). A visszatartás elsősorban területhasználati eszközökkel, alföldi léptékben szervezhető. Itt a vízgazdálkodás és a mezőgazdaság nem tervezhető külön, hiszen a művelési ágot váltó, szántóként tartósan nem gazdaságos területek a vízmegtartás elsődleges helyszínei (IX.3).
- 3 A beavatkozások sorrendjét térségenként kell meghatározni.** A sorrend kiinduló adata a vízhozam, a talajvízszint és a termésátlag együttes sora, nem önmagában a csapadék. A Körös-Sárréten mindhárom egyszerre romlik, a Nyugat-Dunántúlon egyik sem (III.1).

- 4 A tározók és az öntözőrendszerek méretezésénél a 2026-os nyár a mértékadó száraz időszak.** A tenyészidőszak leghosszabb száraz (1 mm alatti napokból álló) időszaka a tíz, 1901 óta mérő állomás átlagában 30,2 nap volt, Szegeden 53 nap (II.2). Akár kiugrásnak, akár fordulatnak bizonyul ez az év, a méretezésnek fedeznie kell.
- 5 A rétegvíz kitermelését mérni kell, és az ivóvízbázisok védelmét ehhez kell igazítani.** A rétegvíz adja az ivóvízellátás mintegy harmadát (III.2), és egy téves „nincs baj” olvasat következményeit itt csak évtizedek alatt lehetne helyrehozni (III.2). Az 1746 üzemelő ivóvízbázisból 208 nagyon érzékeny az éghajlatra, zömük harminc méternél sekélyebb vízádórétgen alapul (III.5).
- 6 A vízkorlátozás törvényi sorrendjét a kapacitás- és beruházástervezésbe is be kell építeni.** A vízgazdálkodási törvény rögzíti, milyen sorrendben elégíthetők ki a vízigények; a korlátozás fordított sorrendben történik, és a létfenntartási célú vízhasználat kivételével kártalanítás nélküli (V.4). A beruházások tervezése ma nem igazodik ehhez a sorrendhez, ezért a kapcsolódó kockázat a kiszámíthatatlan elosztásban rejlik.
- 7 A Dunán és a Tiszán eltérő árvízi felkészülés kell.** A legmagasabb, harmadfokú árvízi készültség napjai a Tiszán gyakorlatilag megszűntek, a Dunán lényegében változatlanok, Mohácson emelkednek (III.3). Mindkét vízgyűjtő nemzetközi, de a Dunát az alpesi hó- és jégkészlet is táplálja, a Tiszát a kárpáti csapadék. A Tisza vízgyűjtőjén a kevesebb, de intenzívebb csapadék inkább villámárvizet és belvizet okoz – ez saját következtetésünk. 2024 szeptemberében például egy hónapon belül a Dunán árvíz, a Tiszán kisvíz volt (II.4).
- 8 2050-ig a Dunán télen több, nyáron bizonytalanabb vízjárással kell tervezni.** Az alpesi gleccserek térfogata 2050-ig mintegy a felére csökken, így a forró, száraz nyarak tartaléka fogy (VII.5). A hűtővíz, a hajózás és az ivóvízbázisok tervezésében a 2026-os nyár a stresszpróba mért alapese.

IX.3 Mezőgazdaság és vidékfejlesztés

A nyári telítési hiány 2021–2025-ben 39 százalékkal haladta meg az 1971–1980-as átlagot, és a hazai projekciós adatbázis 28 modellfuttatása ezt a növekedést nem adja vissza (II.2). A tavaszi fagy veszélye nem csökken, mert a rügyfakadás tizenkét nappal előbbre került, az utolsó tavaszi fagy dátuma viszont nem mozdult (II.3). A kukorica a legérzékenyebb nagy kultúra: a 20 százalékot meghaladó termés kiesések mind a normálnál

melegebb nyarakra estek, a termésátlag pedig a tenyészidőszak csapadékkal ugyanolyan szorosan függ össze, mint a nyári hőséggel (V.2).

- 1 A telítési hiány (a levegő párabefogadó képessége) kerüljön az agrártervezés és a támogatási feltételek mutatói közé.** A hivatalos éghajlati mutatókészletben ma nem szerepel, holott ez a paraméter adja a legerősebb megfigyelési jelet. A mutatót pontosan kell megnevezni, mert a telítési hiány mérésből számított mennyiség, a számított párolgásigény (ET0) pedig számított mutató, és a kettő nem helyettesíti egymást (II.2).
- 2 Az öntözésbővítés feltétele a vízmérleg és a vízminőség.** A felszín alatti vízre alapozott bővítés a vízkivétel mérése előtt nem védhető (IX.2). Az Alföld nagy részén a talajvíz viszonylag magas sótartalmú, a másodlagos szikesedéssel veszélyeztetett terület nagyságrendje pedig 400 ezer hektár – ezt az adatot másodközlésből ismerjük (IV.3). Az öntözés emellett drága, és nyáron, a hiány kialakulása után működő, utólagos eszköz, amely a téli vízmegtartással szemben a készletet nem pótolja. Megítélésünk szerint tartósan a magas értékű kultúráknál térül meg, ezért az öntözésbővítés helyét ezek elhelyezkedéséhez kell igazítani, nem a mai szántóterülethez.
- 3 A fagyvédelmi kapacitás leépítése korai.** Az évi fagyos napok száma csökken, de ültetvénytelepítési és fajtaválasztási döntéshez ez alkalmatlan mutató. A rügyfakadás utáni károsító fagyok száma 2021 és 2025 között a mérési sor legmagasabb értéke volt – ez ötéves megfigyelés, nem trend (II.3).
- 4 A termesztett növények fajta- és kultúraválasztásánál a hőségűrést és a fagyűrést együtt kell mérlegelni.** A magyar mezőgazdaság egyszerre él együtt a téli hideggel, a tavaszi fagyokkal és a nyári aszályal, ezért a feladat pusztán hőűrő fajtákkal nem oldható meg (IV.3).
- 5 Fel kell mérni, mekkora kárt képes fedezni a kárenyhítési rendszer.** 2012 és 2024 között a kárenyhítő juttatás 162,8 milliárd forint volt, ennek 70 százaléka aszálykár; a 2022-es aszályévben a jogos igényeknek csak 80 százalékat fizették ki (IV.3). Megítélésünk szerint két egymást követő aszályos év (IX.1) a rendszer teherbírását próbára tenné. A kárenyhítést ezért a termőhelyi alkalmassághoz is kötni kell. Ehhez országos szinten ki kell jelölni, hol indokolt tartósan a szántóföldi termesztés, és ahol nem, ott az ismétlődő kár megtérítése helyett a művelési ág váltását kell támogatni. A szántóművelésből kivont területek a vízmegtartás helyszínei lehetnek (IX.2).

- 6 Mélni kell a néhány hét alatt kifejlődő aszályt.** A nemzetközi irodalom a gyorsan kialakuló talajnedvesség-hiányt a növénytermesztési kár fő hordozójaként azonosítja, a hazai mutatók azonban ezt nem mérik. Ehhez ötnaponkénti, a gyökérszónára vonatkozó talajnedvesség-sor kellene (H.4, VIII.7).

IX.4 Erdészet

Az erdészeti klímaosztályok szárazabb irányba tolódtak: a bükkös klíma területi aránya 5,5-ről 2,1, a gyertyános-tölgyesé 28,9-ről 21,0 százalékra csökkent (II.6). A rácspontra képzett értékelésben a cellák 23,2 százaléka egy osztállyal szárazabba került, nedvesebb irányú váltás nincs. A váltás összefüggő tömbökben jelentkezik: a Nyírségben és a Felső-Tisza-vídéken, a Délnyugat-Dunántúlon és két kisebb dél-alföldi területen.

- 1 Az erdőtelepítés és a fafajválasztás a szárazabb klímaosztállyal számoljon.** Mindkét hazai értékelés 2010-ben zárul, így az azóta eltelt másfél évtized melegedése még nincs bennük (II.6). Tervezési célra az irány és a területi mintázat használható, az osztályok arányában ugyanakkor a két értékelés eltér.
- 2 Az erdészeti klímaosztály-térképet a 2011 utáni adatokkal frissíteni kell.** A frissítés adatmunka, amely a telepítési döntéseket a mai állapotra alapozná.

IX.5 Energia

2026 nyarán a Duna rekordalacsony vízhozama és a visszabocsátott hűtővíz hőmérsékleti előírása miatt a Paksi Atomerőmű teljesítményét csökkenteni kellett. Július 29-én a nyilvános közlések szerint az erőmű történetében először állt le teljes blokk kisvíz miatt, augusztus 1-jén pedig az összteljesítmény 476 MW-ra csökkent (IV.4). Eközben a forró, száraz nyár a villamosenergia-igényt növeli (VII.7).

- 1 A villamosenergia-rendszer tervezési vizsgálataiba be kell építeni a kisvíz miatti teljesítménycsökkenést.** A meglévő érzékenységvizsgálat kapjon második feltételt: a kisvíz miatti visszaterhelést, a mért vízhozamsorból leolvasható gyakorisággal (IV.4). Ez működtetési döntés, beruházást nem igényel. A két lehetséges hiba ára nagyon különböző. Ha a feltétel fölöslegesnek bizonyul, ára csupán egy többlétszámítás. Ha viszont elmarad, a hiány a hőség és a kisvíz egyidejűségével járó csúcsigény idején blokkleállásként jelentkezhet (G.5).

- 2** A vízügyi engedélyezés és az energetikai tervezés feltevéseit össze kell hangolni. A tiszaujvárosi erőmű környezethasználati engedélyében a vízügyi hatóság rögzíti, hogy a kisvízi viszonyok miatt a teljes megbízhatóságú vízellátásért nem vállal felelősséget, miközben az energetikai tervezés ugyanazt a kapacitást megalapozottként kezeli (IV.4). Ezt a felelősségi hézagot meg kell szüntetni.
- 3** A hűtővíztől függő új vagy bővülő kapacitásoknál a 2026-os nyári vízhozamot stresszpróbaként kell alkalmazni. Paksnál a legkisebb nyári vízhozam $726 \text{ m}^3/\text{s}$ volt, a harminchét éves sor nyári minimumai mediánjának fele (VII.5). Október 8-án a napi átlag $613 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra csökkent (a legkisebb pillanatnyi érték $607 \text{ m}^3/\text{s}$), ami az 1990 óta tartó sor legkisebb napi értéke és az éves minimumok 1990–2025-ös mediánjának 56 százaléka (előzetes, operatív adat). 2050-ig a Duna nyári tartaléka az alpesi gleccserek fogyásával csökken.
- 4** A csúcsigény-tervezés számoljon a hőség és a kisvíz egyidejűségével. A közös kiváltó ok miatt a két kockázat nem független: együttes bekövetkezésük valószínűsége nagyobb, mint amit a függetlenség feltételezése adna (VII.7, VIII.3).

IX.6 Egészségügy és szociális ellátás

2011 és 2023 között a hőség évente átlagosan 814 többethalálózással járt, 28 és 1741 közötti szélső értékekkel (IV.1). Egy európai becslés szerint 2024-ben a 75 év felettek körében egymillió lakosra 1668 hőségnak tulajdonított haláleset jutott, a fiatalabbak körében 19 (IV.1). E korcsoport hőségterhelése 2021–2025-ben az 1991–2020-as szint 3,2-szerese, döntően azért, mert a forró napok száma nőtt (IV.2). A forró napok száma Csongrád-Csanád, Békés és Bács-Kiskun megyében nőtt a legnagyobb mértékben: Csongrád-Csanádban évi 5,5-ről 18,2-re.

- 1** A hőségre való felkészülés négy célcsoportra épüljön: az idősekre, a krónikus és fekvőbetegekre, a várandósokra és kisgyermekekre, valamint a szabadtéri dolgozókra. A halálozási teher döntő része a 75 év felettekre esik, ezért a riasztás és az ellátás elsődleges mérőszáma e korcsoport hőségterhelése legyen, ne a forró napok országos száma (IV.1, IV.2). A másik három csoportnál a kár elsősorban megbetegedésként, munkabalesetként és szülészeti ártalomként jelentkezik, és ezekről hazai monitoring nincs (IV.1). Ehhez szükséges a szociális, egészségügyi és gyermekintézmények hővédelme és hőségterve, az idős krónikus betegek gyógyszeres kezelésének nyár előtti felülvizsgálata, valamint a munkavédelmi hőszabályok ellenőrzése hőségriasztás idején.

- 2 A hőségriasztási rendszer nem építhető le.** Ha a halálozási hatás egyes években alacsony, az az alkalmazkodás eredménye is lehet, a védekezés leépítése pedig ilyenkor azonnal visszaütne (IV.1).
- 3 A hőség és a halálozás kapcsolatát folyamatosan mérni kell.** A riasztási napokra épülő hazai halálozási sor 2023-mal zárul. Folytatni kell, és a halálozási adatnak a hőhullám idején is elérhetőnek kell lennie (IV.1). A sürgősségi ellátás adatát is hőségmutatóként kell követni – az egyetlen országos vizsgálat sora 2017-ben zárul (IV.1).
- 4 A hőségkockázati térképet frissíteni kell.** A hivatalos hőhullám-érzékenységi réteg a 2005–2014-es időszak adataira épül, a népességvetítés 2011-es (IV.2). Ez adatfrissítés, nem modellfejlesztés, ezért gyors és olcsó.
- 5 A riasztás és az ellátástervezés a napi középhőmérsékletet és a trópusi éjszakákat kövesse.** Az egészségügyi terhelésben ez a két küszöb a döntő, nem a napi legmagasabb hőmérséklet (II.1). A 20 °C alá nem hűlő éjszakák száma 2021 és 2025 között évente mintegy négy és fél éjszakával haladta meg a harmincéves átlagot.

IX.7 Épületek, településszerkezet és infrastruktúra

Az épületek, a településszerkezet és a hálózatok ötven-száz évig szolgálnak, ezért a ma még ritka szélsőségeket is el kell viselniük. A forró napok (napi maximum ≥ 35 °C) országos átlaga 2021 és 2025 között évi 8,5 volt, az 1991–2020-as 2,8-del szemben (II.1). A legcsapadékosabb napokra eső csapadék húsz százaléknál többel nőtt, és 2026-ban egy éven belül fordult elő $-18,3$ °C és $+42,0$ °C (II.4). Egy európai összesítés szerint 2012-ben a magyar lakások 25,8 százaléka nem volt nyáron kellően hűvösen tartható, a jövedelemszegény háztartásokban 32,8 százaléka.¹⁸⁴

- 1 Az új és a jelentősen felújított épületekre kötelező nyári túlmelegedési követelmény kell.** Az uniós épületenergetikai irányelv az alkalmazkodást csak mérlegelendő szempontként írja elő, a túlmelegedési kockázat az energetikai tanúsítványban választható mutató.¹⁸⁵ A tényleges mozgástér ezért a hazai átültetésben van. Angliában 2022 óta kötelező követelmény korlátozza az új lakóépületek nyári hőnyerését, és gépi hűtés csak végső eszközként jöhet szóba.¹⁸⁶ A követelmény éghajlati be-
menete a IX.1 pont szerinti mért érték legyen.

- 2** A meglévő épületek felújítási támogatásában az árnyékolás, az éjszakai szellőztetés és a passzív hűtés is legyen támogatható elem. Az épületátlomány zöme 2050-ben is állni fog. Az Egyesült Királyság független kockázatértékelése szerint 2 °C-os melegedésnél a meglévő lakások 92 százaléka túlmelegedhet.¹⁸⁷ Hazai becslés nincs, ezért a hazai kitettség jelzéseként a fenti lakásadatot használjuk.
- 3** Elsőként a 75 év felettieket ellátó épületeket kell hőségállóvá tenni, és a településeken hűtött közösségi helyeket kell kijelölni. A kórházak, az időotthonok és a szociális intézmények azt a korcsoportot látják el, amelynek hőségterhelése a legnagyobb (IV.2). Spanyolország a középületek hőség elleni átalakítására és klímamenedékekre külön, a régiókon keresztül elosztott keretet működtet, és állami klímamenedék-hálózatot tervez.¹⁸⁸ A spanyol program hatásáról még nem ismert értékelés.
- 4** Az épület- és szerkezettervezés éghajlati adatait a mért értékekhez kell igazítani. A második generációs európai szerkezettervezési szabványok a hó- és szélterhelésnél előírják az éghajlatváltozás figyelembevételét. A tényező értékét a nemzeti melléklet rögzíti, az első generációt pedig 2028 elejéig vissza kell vonni.¹⁸⁹ Ez a döntés évtizedekre meghatározza a hazai méretezést, ezért a mért változásra kell épülnie.
- 5** A településrendezésben csökkenteni kell a burkolt felületet, és növelni a zöld- és vízfelületet. A beszivárgó felület egyszerre mérsékli a hőséget és az intenzív csapadék lefolyását, és a téli félév vizét is a tájban tartja (IX.2). Németországban 2024 óta minden közfeladat-ellátónak figyelembe kell vennie a hősziget-hatást és a villámárvizet, és törekednie kell a szükségtelen burkolatok eltávolítására.¹⁹⁰ A városi hősziget hazai mértékét állomási pontokon és a KLIMADAT modellezett városi rétegen vizsgáltuk: Szeged belterületén 2016–2025 átlagában több mint háromszor annyi trópusi éjszaka volt, mint a külterületen, a belső pesti kerületekben a modellezett érték az országos átlag több mint hétszerese (IV.2).
- 6** A közpénzből vagy uniós forrásból épülő, tíz évnél tovább működő létesítményeknél kötelező legyen az éghajlati kockázatértékelés. Az uniós taxonómia ehhez kidolgozott, háromlépéses módszert ad, amely szerint a tíz évnél hosszabb élettartamú eszközöknél a teljes forgatókönyvtartományra kell vizsgálni a kockázatot.¹⁹¹ A hazai alkalmazásban a belemenet a IX.1 pont két melegedési szintje legyen: legalább 2 °C, 2,5 °C-os stresszpróbával.

- 7 Az épület- és infrastruktúra-tervezési előírások éghajlati felülvizsgálatát határidővel és felelőssel kell elrendelni, mindkét szélsőségre.** Az utak, a vasutak, a vezetékek és a hálózatok méretezése egyszerre számoljon a nagyobb hőséggel, az intenzívebb csapadékkal és a megmaradó téli hideggel (IX.1). Spanyolország 2021-ben törvényben írta elő a tervezési előírások éghajlathoz igazítását, de határidő és felelős nélkül, az épületszabályzat pedig azóta csak kibocsátáscsökkentési célból változott.¹⁹²

IX.8 Önkormányzatok, településtervezés és katasztrófavédelem

A hőség, a villámárvíz és a vízellátás kockázata a településeken jelenik meg, és ott a leginkább egyenetlen. A forró napok száma az Alföld déli és keleti megyéiben nőtt a legnagyobb mértékben (IV.2), a villámárvíz a hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtőkön veszélyes (III.5), a vízellátás pedig a sekély vízadókra épülő településeken a legérzékenyebb.

- 1 A települési hőségterveket elsőként a leginkább terhelt megyékben kell frissíteni.** A forró napok száma Csongrád-Csanád, Békés és Bács-Kiskun megyében nőtt a legjobban, az 1991–2020-as átlag több mint háromszorosára (IV.2). Az intenzív hőhullámos hetek átlagos többethalálózása viszont egy 2015–2025-ös megyei elemzés szerint Tolna, Baranya és Jász-Nagykun-Szolnok megyében a legmagasabb (26–35 százalék), a forró napok szerint vezető három megyében 20–25 százalék.²²² A sorrendet ezért a két mutató együtt jelölje ki; a helyi felkészültség szerepét nem vizsgáltuk.
- 2 A villámárvíz-veszélyes kisvízgyűjtők településein a csapadékvíz-elvezetést a mért változáshoz kell igazítani.** A hivatalos rendszer 2120 hegy- és dombvidéki vízgyűjtőből 367-et fokozottan, 539-et erősebben veszélyeztetettnek minősít (III.5). A legcsapadékosabb napokra eső csapadék húsz százaléknál többel nőtt, miközben az esős napok száma alig változott (II.4).
- 3 A települési vízellátás tervezése vegye figyelembe az ivóvízbázisok éghajlati érzékenységét.** A tíz nagy víziközmű-szolgáltató ellátási területén az értékelt mintegy 1500 település közül 421 a nagyon érzékeny kategóriába esik (III.5).
- 4 A katasztrófavédelmi gyakorlatok vegyék alapul az összetett stresszévet.** A gyakorlat egyszerre kezelje az aszályt, a hőhullámot, a folyami kisvizet és az energiaellátás zavarát. 2026 nyara ezt az együttállást már megmutatta (VIII.6, VII.7). A felkészülésnek arra is ki kell terjednie, hogy egyazon hónapban árvíz és kisvíz is előfordulhat (II.4).

- 5** A tizenkét figyelmeztető jelet évente ki kell értékelni. A jelek 2027 és 2031 között megmutatják, hogy a következő évtized három lehetséges lefolyása közül melyik felé halad az ország, mielőtt a következmény beáll (VIII.6, VIII.7). Az értékelés felelősét ki kell jelölni.
- 6** A települési alkalmazkodási terv alapja helyi stresszpróba legyen. A próba a IX.1 pont szintjeivel és a 2026-os nyár mért adataival vizsgálja, hol éri a települést hőség, vízhiány vagy villámárvíz. Hollandiában a stresszpróba, a kockázati egyeztetés és a végrehajtási program mind a 45 munkarégióban lezajlott, Németországban pedig a tartományok kijelölik, ki készít kockázatelemzésen alapuló alkalmazkodási koncepciót minden település és járás területére.¹⁹³

IX.9 Pénzügy, költségvetés és uniós források

Hivatalos nemzetgazdasági kárszámla nincs, az egyetlen hivatalos makroszintű becslés pedig már tizenhat éves (V.1). 1980 és 2024 között az időjárási és éghajlati szélsőségek kára 12,8 milliárd euró volt, ennek 78 százaléka öt évre esett, és a kárnak csak 4,8 százaléka volt biztosított (V.2). A 2022-es aszály hat fő szántóföldi kultúrában mintegy 2,4 milliárd euró terméskiesést okozott.

- 1** Hivatalos nemzetgazdasági kárszámlát kell felállítani. Erre épülne a költségvetési tervezés, a kohéziós, a vidékfejlesztési és a Szolidaritási Alap-igénylések, valamint az ETS-bevételek felhasználásának indoklása (V.1).
- 2** A költségvetési tartalékok tervezése a ritka, nagy kárévekkel számoljon. A kár néhány szélsőséges évben koncentrálódik, a mediánév kára 14 millió euró (V.2). Az átlagos évre méretezett tartalék a nagy kárévben nem elég.
- 3** Nemzetközi kárszámot csak hazai alappal vagy a forrásával együtt szabad használni. A „vízhiány a GDP 7 százalékát viheti el” típusú állítások mögött nincs magyar becslés (V.1).
- 4** A pénzügyi stressztesztet a fizikai éghajlati kockázatra is ki kell terjeszteni. A Magyar Nemzeti Bank 2025-ös klímastressztesztje az átállási kockázatot vizsgálta, fizikai kockázati stressztesztet a 2026-os jelentés nem közöl (VII.7). Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség szerint a meglévő pénzügyi stressztesztet az egymást erősítő, továbbgyűrűző kockázatokat valószínűleg alulbecsülik.

- 5 Az egyidejű kockázatokat nem szabad egymástól függetlenül kezelni.** Az aszály, a hőség, a kisvíz és az energiaellátás zavarai közös okra vezethetők vissza, ezért együttes bekövetkezésük valószínűsége nagyobb, mintha független események volnának (VIII.3).
- 6 A kárszámon túl kárfinanszírozási stratégia is kell, amely előre rögzíti, ki és miből fizeti a nagy kárt.** A kár 4,8 százaléka volt biztosított (V.2). Egy 2021-es európai modell szerint egy évi 1 százalék valószínűségű (a forrás szóhasználatában százéves) árvíznél a hazai tartalék mintegy 175, az uniós Szolidaritási Alap mintegy 196 millió eurót fedezne, mintegy 936 millió euró pedig fedezetlen maradna.¹⁹⁴ Úgy látjuk, hogy a fedezetlen rész ma eseti költségvetési döntésre vár.
- 7 Meg kell vizsgálni egy kötelező, egységes katasztrófakár-pótdíjas biztosítási rendszert állami viszontbiztosítással.** Spanyolországban minden vagyonbiztosítás pótdíjat fizet egy állami kárfizetőnek, amely a 2024-es valenciai árvíz után 207 527 kárigényre 5,16 milliárd eurót fizetett ki vagy tartalékolta.¹⁹⁵ A francia rendszer 1982 óta hasonló elven működik, a lakások 97 százalékát fedi, és az állami garanciát egyszer kellett lehívni. A francia Számvevőszék 2026-ban mégis arra jutott, hogy az aszálykár miatt a viszontbiztosító tartalékai kimerültek, és középtávon évi mintegy egymilliárd eurós állami lehívás valószínű.¹⁹⁶ A két tapasztalat együtt azt mutatja, hogy a rendszer a kárt gyorsan kifizeti, de a növekvő aszálykárt csak akkor képes viselni, ha a díj és a megelőzés is igazodik hozzá. A spanyol rendszer az aszályt és a hőséget nem fedezi, ezért a hazai aszálykár (IX.3) kezelésére önmagában nem szolgálhat mintául.
- 8 A kártérítés és a vis maior-támogatás feltétele a megerősített újjáépítés legyen.** Franciaországban egy kísérleti program árvíz után sérülékenységi felmérést és a megerősítő munkák legfeljebb 80 százalékát finanszírozza, és a Számvevőszék a kiterjesztését javasolja.¹⁹⁷ Így mérsékelhető annak kockázata, hogy ugyanarra a sérülékenységre többször kelljen kárt fizetni.
- 9 Fel kell készülni arra, hogy az uniós alkalmazkodási forrás feltétele a nemzeti alkalmazkodási terv lesz.** Az Európai Parlament kutatószolgálatának 2026. szeptemberi összefoglalója szerint a készülő uniós keret a tagállami reziliencia-terveket az uniós forrásokhoz való hozzáférés feltételévé tenné.¹⁹⁸ Ez még javaslat, nem döntés. Az uniós Szolidaritási Alapból Magyarország eddig két árvíz után összesen 37,6 millió eurót kapott 1238 millió eurós kárra; az alap a közösségi helyreállítást fedezi, a magánkárt nem.¹⁹⁹

- 10** Az alkalmazkodást szolgáló költségvetési előirányzatokat meg kell jelölni. Így követhető, mennyi forrás jut az alkalmazkodásra, és a kár-számlával (1. pont) összevethető. Spanyolország törvényben írja elő a költségvetés éghajlati célú részarányát, és a kibocsátási egységek árverési bevételeinek egy részét a sérülékenységet csökkentő intézkedésekre engedi fordítani.²⁰⁰

IX.10 Statisztika, adatgazdálkodás és tudásbázis

A veszélyre vonatkozó adatokat évente frissítjük, a kockázat másik két tényezőjéről, a kitettségről és a sérülékenységről szóló hivatalos adatok viszont egy évtizede nem frissültek (IV.2). Néhány kulcsmennyiséget ma egyáltalán nem mérünk: a vízkivétel jelentős részét, a rétegvíz-kitermelést és a gyökérszóna talajnedvességét. A tényleges párolgást csak néhány kutatási célú állomás méri.

- 1** A kitettségi és sérülékenységi adatrétegeket frissíteni kell. A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer sérülékenységi rétege 2005–2014-es, népességvetítése 2011-es, klímarétege az előző modellgeneráción alapul, és az 1991–2020-as, már lezárt éghajlati normál nem szerepel benne (IV.2).
- 2** Az évtizedes éghajlati előrejelzést be kell építeni az 5–10 éves tervezési ciklusokba. A következő évtizedre ma már van ilyen termék. A nyári hőmérsékletet jól követi, nagyrészt a melegedési trend miatt, a csapadékot nem jelzi előre, ezért csak ott használható, ahol készsége kimutatható (H.3).
- 3** Nyilvános, megnevezett éghajlati küszöblistát kell elfogadni, vagyis rögzíteni kell, mely éghajlati határértékek átlépését akarja az államigazgatás elkerülni. Az államigazgatás ma nem nevezi meg, milyen éghajlati határokat akar elkerülni, ezért minden kockázatelemzés ki nem mondott értékválasztáson alapul. A Melléklet A tizenkét küszöbe ehhez javaslat. A tizenkettedik ma nem mérhető, és már a felvétele is jelzi, hogy a mutató hiányzik.
- 4** Ki kell jelölni a figyelmeztető jelek adatgazdáit. A tizenkét jel közül a gyökérszóna talajnedvességének mérésére ma nincs kijelölt adatgazda (VIII.7).

- 5** A hivatalos hazai éghajlati termékeket az új modellgenerációra kell frissíteni. A hivatalos rendszer ma az előző modellgeneráció regionális modelljeire, két kibocsátási forgatókönyvre és 2021–2050-es, illetve 2071–2100-as időszakokra ad jelzést (VII.8). Amíg a frissítés nem készül el, a hivatalos 2050-es hőmérsékleti értékek alsó becslésként kezelendők (VII.4).

IX.11 Meteorológiai mérés és éghajlati modellezés

A szárazodás legerősebb megfigyelt jele a telítési hiány növekedése (II.2), a mérési és modellezési lánc viszont éppen ezen a mennyiségen a leggyengébb. A telítési hiány trendjét mért légnedvességből ma egyetlen forrás, a hivatalos felszíni hálózat adatrácsa, igazolja. A határréteg nedvességét két rádiószondás állomás, Budapest és Szeged, méri, naponta kétszer.²⁰¹ A hatásvizsgálatokat kiszolgáló projekciós adatbázis a légnedvességet nem a modellekből veszi, hanem a hőmérsékletből becsli (II.2), a gyökérzóna talajnedvességét pedig nem mérjük (IX.10).

- 1** A légnedvesség mérését térben és időben bővíteni kell. A felszíni légnedvességet a HungaroMet állomáshálózata méri, és 1971-től jó minőségű rácsponti adat is elérhető (II.2). A bővítés ezért elsősorban a határréteget és az ágazati mérőhelyeket érinti. Az ágazati és önkéntes állomások nedvességérzékelőit a hivatalos állomásokkal párban kell hitelesíteni, mielőtt trendvizsgálatra felhasználnák őket. A határréteg nedvessége a meteorológiai drónok rendszeres, előre rögzített időpontú felszállásával sűrűbben, akár folyamatosan is monitorozható lenne. Ennek gyakorlati alkalmazhatóságát meg kell vizsgálni. A Meteorológiai Világszervezet 2024-es demonstrációs kampánya szabványos adatformátumot és valós idejű adattovábbítást próbált ki, egy svájci kampányban pedig a drónos hőmérsékletmérés a középső, a nedvességmérés csak a minimális pontossági követelményt teljesítette, bár az eszközök fejlesztése folyamatos.²⁰¹

- 2** A gyökérzóna talajnedvességére országos mérőhálózat kell, kijelölt adatgazdával. Országos talajnedvesség-trendet ma hivatalos mérésből nem lehet becsülni, csak modellből (II.2). A KITE közel 600 állomásos agrometeorológiai hálózata több mélységben mér talajnedvességet és légnedvességet, ezeknek a soroknak a hossza és minősége azonban ellenőrizetlen. A hálózat a néhány hét alatt kifejlődő aszály mérésének (IX.3) és a figyelmeztető jelek egyikének (IX.10) közös feltétele. A meglévő ágazati mérőhálózatokat (például a KITE hálózatát) országos rendszerbe kell integrálni, soraik minősítésével együtt. A tényleges párolgás méréséhez a meglévő örvénykovariancia-állomások hosszú távú fenntartása szükséges.
- 3** A hatásvizsgálatok telítési hiányát a regionális modellek saját légnedvesség-adatából kell számítani. A modellek nedvességadatát mért referenciára korrigálva kell a láncba bevonni, mert csak így dönthető el, hogy maguk a modellek is alulbecsülik-e a légszárazodást (II.2). Ha igen, a hazai regionális modellezés kutatási irányát felül kell vizsgálni, és ugyanebben a körben az évtizedes előrejelzést is a hazai modellezési gyakorlat részévé kell tenni (IX.10).
- 4** A két hazai projekciós készletet közös, nyilvános próbán, rendszeresen a méréssel kell összevetni. A FORESEE-HUN és a KLIMADAT a hőmérsékleten egybehangzóan a mérés alatt marad, a téli hőmérsékleten és a csapadékos napok számán viszont eltér egymástól (H.2). A tervezés akkor használhatja őket biztonsággal, ha az adatgazdák évente, azonos ablakokon és a saját megfigyelési sorukhoz mérve közlik, hol fedti a futások sávja a mérést. A KLIMADAT esetében ehhez a futásonkénti értékek közlése és a csapadékos napok számának korrekciója is szükséges, a FORESEE-HUN esetében a közeli évtizedre vonatkozó, rendkívül keskeny sáv indoklása. A két műhely közös próbája egyben azt is megmutatná, hol erősítik egymást a hazai éghajlati termékek. Az új modellgenerációra épülő regionális futásokra való áttéréskor ugyanezt a próbát kell megismételni, és ellenőrizni kell a regionális modellek aeroszol-kényszerének összhangját a meghajtó globális modellel (H.2).

IX.12 Alkalmazkodási tervezés és kormányzás

Az előző pontok tennivalói szakterületenként jelentkeznek, a végrehajtásuk azonban közös keretet igényel: felelőst, forrást, ütemezést és rend-

szeres felülvizsgálatot. Az alábbi elemek többségére van működő európai minta.

- 1 Az alkalmazkodási stratégia mellé ötéves végrehajtási program kell, költségvetéssel és tennivalónként kijelölt felelőssel.** Spanyolország első alkalmazkodási terve saját költségvetés nélkül készült, és a terv értékelése ezt a végrehajtás fő gyengeségeként nevezi meg. A 2021-es klímátörvény már ötéves munkaprogramokat ír elő. Németország célonként felelős minisztériumot, mérhető mutatókat, valamint kár- és kiadási adatgyűjtést ír elő.²⁰²
- 2 Ötévente nemzeti éghajlati kockázatjelentés készüljön, és a végrehajtási program ehhez igazodjon.** A spanyol klímátörvény legalább öt-évenként ír elő kockázatjelentést, az Egyesült Királyságban 2026-ban a negyedik független kockázatértékelés jelent meg.²⁰³ A jelentés a **IX.10** pont adatrétegeire és a figyelmeztető jelek éves értékelésére (**IX.8**) épülhet.
- 3 Egységes tervezési hőmérséklet-emelkedési szintet kell rögzíteni, amelyre minden ágazati terv és szabvány hivatkozik.** A francia rendelet a pályát az ország területére adja meg, ezért értékei a **IX.1** pont globális szintjeivel közvetlenül nem vethetők össze. A rendelet önmagában új kötelezettséget nem ír elő, kötelező erőt az ágazati szabályokba való fokozatos beépítése ad.²⁰⁴
- 4 A tennivalók sorrendjét nyilvános, előre rögzített szempontok szerint kell felállítani.** A spanyol munkaprogram a nemzeti kockázatértékelés legsürgetőbb tételeit egyszerű szempontlánc szerint rangsorolja: kulcs-hatás, sürgősség, súlyosság, lehetőség, jogi kötelezettség és költséghatékonyság.²⁰⁵ Hazai alkalmazásban a lánc bemenete ennek az elemzésnek a kockázati sorrendje lehet.
- 5 Az éghajlati kockázatot a többi veszéllyel közös nemzeti kockázati képben kell értékelni, kijelölt összehangoló felelőssel.** Egy brit biztonságpolitikai elemzés szerint a kormányok egyik szerkezeti hibája, hogy az éghajlati és a biztonsági kockázatot külön tárca kezeli, és a továbbgyűrűző láncot senki nem látja egészben (**VIII.4**).¹⁷⁴ Az uniós felkészültségi jelentés minden veszélyre és fenyegetésre kiterjedő, átfogó kockázatértékelést javasol (**VIII.5**).¹⁸² A hazai alkalmazás az elemzés javaslata.

IX.13 Áttekintés

szakterület	a legfontosabb tennivaló	jellege	alapja
minden szakterület	a négy fő mutatón a mért értékből kiinduló méretezés; 2050 után is működő létesítményeknél legalább 2 °C, 2,5 °C-os stresszpróbával	szabály	H.2, VII.1
vízgazdálkodás	a vízkivétel mérhetővé tétele; a téli félév vízének visszatartása térségenkénti sorrendben	adat; beruházás előkészítése	III.1, III.2
mezőgazdaság	a telítési hiány felvétele a tervezési és támogatási mutatók közé; az öntözésbővítés vízmérlegi és vízminőségi feltétele	szabály	II.2, IV.3
erdészet	telepítés és fajjaválasztás a szárazabb klímaosztályra	szabály	II.6
energia	a kisvízi teljesítménycsökkenés beépítése a rendszertervezés vizsgálataiba	működtetés	IV.4
egészségügy	a 75 év felettiek hőségterhelése mint riasztási és ellátási mérőszám; folyamatos halálozási adat	szabály; adat	IV.1, IV.2
épületek, településszerkezet, infrastruktúra	nyári túlmelegedési követelmény az új és a felújított épületekre; kötelező éghajlati kockázatértékelés a tíz évnél tovább működő közberuházásoknál	szabály	II.1, II.4, IV.2
önkormányzatok, katasztrófavédelem	települési hőségtervek a leginkább terhelt megyékben; helyi stresszpróba; gyakorlat az összetett stresszére	működtetés	IV.2, VIII.6
pénzügy	nemzetgazdasági kárszámla; kárfinanszírozási stratégia és kártérítési mechanizmus; fizikai kockázati stresszteszt	adat; szabály	V.1, V.2, VII.7
statisztika és adat	a sérülékenységi rétegek frissítése; küszöblista; az évtizedes előrejelzés beépítése	adat; szabály	IV.2, H.3
meteorológia	a légnedvesség-mérés bővítése; országos talajnedvesség-mérés; a telítési hiány számítása a modellek légnedvességéből	adat; működtetés	II.2, H.3
alkalmazkodási tervezés és kormányzás	ötéves végrehajtási program költségvetéssel és felelősökkel; ötévenkénti kockázatjelentés; közös, minden veszélyre kiterjedő kockázati kép	szabály; működtetés	IX.1, VIII.4, VIII.7

Köszönetnyilvánítás és szerzői közreműködés

Köszönjük az Athéni Nemzeti Obszervatórium (National Observatory of Athens, IERSD) évtizedes előrejelzési munkatársainak, hogy a Magyarországra leskálázott évtizedes előrejelzési adatsomagot és a hozzá tartozó visszatekintő futásokat az elemzés rendelkezésére bocsátották. Köszönjük az ELTE Meteorológiai Tanszékének, hogy hozzáférést adott a FORESEE-HUN adatbázis hibakorrigált regionális modellfuttatásaihoz. Az elemzés a HungaroMet nyílt adatpolitikai portáljának és a vízügyi szolgálat nyilvános adatainak felhasználásával készült. Köszönjük Vaszkó Csabának a vízgazdálkodási fejezetek szakmai átnézését és észrevételeit. Köszönjük Zlinszky Jánosnak a kötet szerkezetéhez és a döntéshozói rész kialakításához adott észrevételeit, Nagy Zoltánnak és Pintér Krisztinának (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) pedig a párolgásról szóló részek szakmai átnézését és a bugaci mérések publikálás előtt álló eredményeinek megosztását.

A szerzői közreműködés megoszlása: Feiler József – koncepció, elemzés, szövegezés, végső jóváhagyás; Nemes Csaba – meteorológiai szakmai ellenőrzés, a kötet több változatának tartalmi és nyelvi javítása; Kardos Péter – szakpolitikai szempontú tartalmi és nyelvi javítás, a légköri nedvesség méréséről szóló elemzés, amelyre a **IX.11** pont és a **II.2** telítésihiány-elemzésének pontosítása épül, valamint ábrajavaslatok; Szabó Péter – meteorológiai szakmai észrevételek és tartalmi javítás, különösen a párolgás, a csapadéktrendek és a hőség halálozási hatásának kérdésében. A feldolgozó kód, a számítások és a szöveg első változatai mesterségesintelligencia-támogatással készültek, emberi irányítással.

A szerzőkről

Feiler József a European Climate Foundation (ECF) délkelet-európai és magyarországi igazgatója. 2016 óta tizenkét ország energetikai és éghajlatpolitikai átállását támogató programokat irányít, munkájának ma kiemelt területei az éghajlatváltozás biztonságpolitikai következményei és a stratégiai előrejelzés. Pályáját a magyar klímapolitika intézményeinek felépítésével kezdte. A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium klímapolitikai osztályának vezetőjeként 2003 és 2008 között csapatával bevezette Magyarországon az uniós kibocsátáskereskedelmi rendszert. Ugyanebben az időszakban felépítette a Zöld Beruházási Rendszert, és kidolgozta a 2025-ig szóló nemzeti éghajlatváltozási stratégiát. Az ENSZ klímátárgyalásain a magyar delegációt vezette, 2006–2007-ben pedig az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye Végrehajtási Testületének (SBI) alelnöke volt, emellett a keretegyezmény szakpolitikákra és intézkedésekre szakosodott felülvizsgálati szakértője. A Nemzeti Fejlesztési Minisztérium klímapolitikai főosztályvezetőjeként irányította a 2011-es magyar uniós elnökség éghajlatpolitikai munkáját, később a ciprusi, a litván és a görög elnökség tanácsadója volt. Uniós csatlakozási programokban hét nyugat-balkáni ország és Törökország klímapolitikáját segítette, többek között Albánia és Montenegró párizsi vállalásának előkészítésében. Történész és régész (ELTE), mesterfokozatot szerzett környezettudományból (CEU) és nemzetközi kapcsolatokból (Columbia University).

Nemes Csaba meteorológus, az ELTE-n végzett és ott szerzett doktori fokozatot. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál kezdte pályáját, ahol az Éghajlati Tájékoztató Osztályt vezette. Az elmúlt három és fél évtizedben a környezetvédelemért, az éghajlatpolitikáért, a fejlesztéspolitikáért és az energetikáért felelős állami intézményekben töltött be vezetői és szakértői posztokat. Legutóbb a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal főosztályvezetője volt. A környezetvédelmi tárca főosztályvezetőjeként felügyelte az első Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia elkészítését és a kibocsátáskereskedelmi rendszer hazai bevezetését. Éveken át képviselte Magyarországot az ENSZ fenntarthatósági fórumain és az OECD környezetpolitikai testületeiben. Több tucat tudományos és több száz ismeretterjesztő cikk, valamint könyvek és könyvfejezetek szerzője. A L'Harmattan Kiadó „Környezet és társadalom – XXI. századi foratókönyvek”

című sorozatának szerkesztője. Munkáját a Környezetünkért díjjal és az energetikai Prometheus-díjjal ismerték el.

Kardos Péter meteorológus és közlekedésmérnök, negyedszázada dolgozik a meteorológia, az éghajlatpolitika és a környezeti fenntarthatóság határterületén. Részt vett az első Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia előkészítésében, és foglalkozott az uniós kibocsátáskereskedelmi rendszerrel. Vállalatok számára üvegházhatásúgáz-leltárakat és éghajlati kockázatértékeléseket készített. Vezetőként repülésmeteorológiai szolgáltatások fejlesztését, kutatás-fejlesztési programokat és új előrejelzési módszerek bevezetését irányította. Munkájában a tudományos eredményt a stratégiai tervezéssel és az operatív döntéshozatallal kapcsolja össze, és a komplex műszaki és környezeti kérdésekből szakpolitikai és vállalati döntéseket készít elő. A kötetben az ő kezdeményezésére készült el a légköri nedvesség mérésének hiányáról és a nyári légszárazodásról szóló elemzés.

Szabó Péter éghajlatkutató, az ELTE Meteorológiai Tanszékének végzős doktorandusza. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál éghajlati modellezőként dolgozott, majd a Nemzeti Alkalmazkodási Központ szakértője lett. Részt vett a hazai regionális klímamodellek eredményeinek elemzésében (RCMTÉR). A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) kritikus infrastruktúrákkal foglalkozó alprojektjében a módszertanért felelt. Kutatási területe a hazai éghajlatváltozás, a szélsőséges időjárási események és ezek társadalmi-gazdasági hatásai. Jelenleg éghajlati attribúciós projektet vezet, amely új elemzési módszereket és hatásmutatókat dolgoz ki, és az eredményeket közérthetően mutatja be a médiának és a nyilvánosságnak. Ismeretterjesztő elemzései, többek között a hőhullámok megynkénti halálzási hatásáról, a Másfélfok portálon jelennek meg.



Mellékletek

A – H

A	A használt küszöbök	195
B	Olvasási szabályok	196
C	Fogalomtár	198
D	Jegyzetek és források	203
E	Az anyag korlátai és hatásuk a következtetésekre	232
F	A hazai tudás állapota	236
G	Mit jelent és miben más a kockázati elemzés	238
H	Honnan tudjuk, amit tudunk – és hol a határ	244

A használt küszöbök

#	Küszöb	Alap	Valószínűség
K1	Napi középhőmérséklet $\geq 25^\circ\text{C}$ napok száma	megfigyelés	számszerűsíthető
K2	Trópusi éjszakák ($T_{\min} \geq 20^\circ\text{C}$)	megfigyelés	számszerűsíthető
K3	Forró nap ($T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$) kritikus fenológiai fázisban	megfigyelés + projekció	számszerűsíthető, fázisdefinícióval
K4	Fagyveszélyes ablak (rügyfakadás $\rightarrow$ utolsó fagyos nap, napi minimum $< 0^\circ\text{C}$)	megfigyelés	korlátozott – I. II.3
K5	Vegetációs időszak vízmérleg-hiány	megfigyelés	számszerűsíthető
K6	Téli félévi feltöltési küszöb (~ 185 mm, homokhátsági; tájégségenként mérendő)	megfigyelés	számszerűsíthető
K7	Folyami kisvízi küszöb (ablak megnevezve)	megfigyelés	számszerűsíthető
K8	Talajvízszint-küszöb (sekély kutak kiesése)	megfigyelés	számszerűsíthető, térben egyenetlen
K9	Hűtővíz-korlátozott napok	megfigyelés + üzemrendi adat	minőségi
K10	Kárenyhítési rendszer fedezeti határa	pénzügyi idősor	minőségi , adathiány miatt
K11	Aszály + hőhullám együttállás a vegetációs időszakban	megfigyelés	minőségi – együttes valószínűség nem becsülhető
K12	Pentád-léptékű gyökérszén talajnedvesség-zuhanás (40. $\rightarrow$ 20. percentilis a tenyészidőszakban)	megfigyelés, ma nem létező	nem becsülhető, amíg nincs hazai sor

- 1 Minden szám mellett szerepel a **referenciaidőszak** és az **ablak**. Két, eltérő referenciájú szám nem hasonlítható össze közvetlenül. A küszöb-indexek rácspontonként képződnek, és csak utána átlagolódnak. A fordított sorrend más eredményt ad.
- 2 Visszatérési időt nem használunk.
- 3 Rövid időablakra illesztett lineáris trendet nem közlünk tervezési értéként.
- 4 Ahol „minőségi” jelölés áll, ott számszerű valószínűség nem áll rendelkezésre – a leíró jelölés mögött nincs rejtett számérték.
- 5 Ahol a szakirodalom megosztott, középérték képzése helyett a megosztottságot közöljük.
- 6 A **modelloldali középhőmérséklet** a napi maximum és minimum átlaga, mert a szállított adatcsomag napi középhőmérsékletet nem tartalmaz. Eltérésként (anomáliaként) ez a közelítés kiejtődik, mert a viszonyítási klimatológia ugyanígy készül. Abszolút hőmérsékleti **szintként viszont ez a sor nem idézhető**. A II.1 modell-eltérései ezért eltérésként, nem hőmérsékleti értéként olvasandók.
- 7 **Többszörös tesztelés.** Ha sok trendtesztet futtatunk, néhány pusztán véletlenül is 0,05 alá kerül – száz tesztből nagyjából öt akkor is, ha sehol nincs valódi változás. Ezért a megfigyelési és hidrológiai trendteszteket egyetlen közös családba soroljuk, és a küszöböt a család méretével osztjuk (Bonferroni-korrektúra). A család 104 tesztből áll, a korrigált küszöb 0,05/104, nagyjából 0,0005. „Szigorított” minősítést csak az kap, ami ezt eléri. Ami nem éri el, azt leíró alakban közöljük: a változás mértékével, a konfidenciaintervallummal és a p-értékkel.

állítás	p	minősítés
telítési hiány (VPD), mind a négy mutató, 1971–2025	< 0,00001	eléri
napi hőingás, évi és nyári, 1971–2025	0,00002 / 0,00003	eléri
évi telítési hiány, 1991–2025	0,00012	eléri
talajvízszint augusztusi trendje	0,00011	eléri
rétvízszint, 2019–2026-os szakasz (adatvezérelt törésév, III.2)	0,0002	eléri, de csak a 2026-os évjáráttal (nélküle 0,0014)

állítás	p	minősítés
évi 1500 Pa fölötti telítési hiányú napok, 1991–2025	0,00062	nem éri el, leíró alak
éves fagyos napok száma, 1971–2025 (konfidenciaintervallum a nullát nem fogja át)	0,0012	nem éri el, leíró alak
rügyfakadás előbbre tolódása, hőösszeg-alapú mutató	0,0049	nem éri el, leíró alak
nyári száraz napok száma, 1971–2025	0,037	nem éri el, irányjelzés

A táblázathoz három megjegyzés szükséges. Az első a korrekció természetére vonatkozik. A tesztek nem függetlenek egymástól, mert ugyanazon a rácson, egymásba ágyazott ablakokon futnak, a telítési hiány és a hőingás pedig fizikailag egyetlen jel. A Bonferroni-korrekció ezért szigorúbb a szükségesnél, és a második fajta hiba irányába dolgozik (G.5). Ami rajta elbukik, azt nem valószínű zajnak, hanem nem kellően bizonyítottnak kell tekinteni. A második a tesztcsalád méretére vonatkozik. Két tétel tagsága becslés, ezért a család mérete nagyjából nyolc teszt pontossággal ismert. A táblázat minősítései ezen a sávon belül nem változnak, mert a tesztcsalád méretének nyolc tesztnyi bizonytalansága a korrigált küszöböt nem mozdítja el annyira, hogy bármelyik eredmény minősítése átbillenjen. A harmadik a család határára vonatkozik. Más adatgazdák számításai, például a hivatalos KLIMADAT-szolgáltatással végzett keresztpróba, nem tagjai a családnak. Az V.2 terméskár-összevetése külön, előre rögzített kilenctagú tesztcsaládra épül, saját korrigált küszöbvel.

Ez a melléklet az elemzésben előforduló szakkifejezéseket magyarázza. Ahol az elemzés szóhasználatát eltér a hivatalos meteorológiai konvenciótól, a szócikk ezt jelzi – ez az olvashatóság javára hozott, vállalt döntés, nem elírás.

Hőmérsékleti küszöbök

- **Hőségnap és forró nap:** a HungaroMet szóhasználatát szerint hőségnap az a nap, amelyen a napi maximumhőmérséklet eléri a 30 °C-ot, forró nap az, amelyen a 35 °C-ot. Az elemzés ezt a szóhasználatot követi. A Melléklet A K3 küszöbe a 35 °C-os határt a kritikus fenológiai fázisra szűkíti. A tervezési minimum szabálya (H.2) a hőségnapra érvényes, a forró napra nem.
- **Trópusi éjszaka:** éjszaka, amelyen a hőmérséklet nem süllyed 20 °C alá (K2). Egészségügyi szempontból ez fontosabb, mint a nappali csúcs, mert az éjszakai lehűlés elmaradása akadályozza a szervezet regenerálódását.
- **Napi közép, napi maximum:** az elemzés két különböző hőségmutatót használ, amelyek nem válthatók fel egymással. A K1 a napi középhőmérsékletre épül (≥ 25 °C, ez az egészségügyi tervezés mutatója), a forró nap és a K3 a napi maximumra (≥ 35 °C). Értékeik nem vethetők össze.

A számok olvasása

- **Eltérés (anomália):** különbség egy viszonyítási időszak átlagához képest, nem hőmérsékleti érték. A „+1,7 °C” azt jelenti, hogy ennyivel melegebb, mint a referencia – nem azt, hogy 1,7 fok van.
- **Referenciaidőszak:** az általában 30 éves ablak, amelyhez az eltéréseket mérjük (itt jellemzően 1991–2020). Két, eltérő referenciájú szám közvetlenül nem hasonlítható össze – ezért szerepel minden szám mellett.
- **Ablak:** a vizsgált időszak (pl. 2006–2025). Az ablak megválasztása a kapott értéket érdemben befolyásolja, ezért mindig ki van írva.
- **Rácspont, rácsátlag:** az ország területét szabályos pontháló fedi (1233 pont), a rácsátlag ezek átlaga. Egy rácsátlag elrejtetheti, hogy a terhelés térben egyenetlen – ezért ahol lehet, térképet is mutatunk.
- **Küszöbindex:** olyan mutató, amely az értékhatár átlépéseinek számát közli, nem magát az értéket: forró nap, trópusi éjszaka, fagyos nap, száraz nap. Mindig rácspontonként képződik, és csak utána átlagolódik or-

szágosan – a fordított sorrend a küszöb közelében lévő értékeket kiejti (Melléklet B/1.). A küszöbindex érzékeny a küszöbre (ugyanaz a mutató más értéket ad 1,0 és 0,1 mm-es „száraz nap” határ mellett), ezért az érték a küszöbével együtt idézhető.

- **Homogenizált adat:** olyan mérési sor, amelyből utólag kiszűrték az állomáshelyezésekből, műszercserékből eredő ugrásokat. Ez teszi a régi és az új méréseket összehasonlíthatóvá.
- **Medián:** a középső érték – a mérések fele alatta, fele fölötté van. Szélsőségekre kevésbé érzékeny, mint az átlag.
- **Visszatérési idő** („százéves esemény”). Az elemzésben nem használjuk. Az ilyen kifejezés azt feltételezi, hogy az éghajlat állandó – változó éghajlaton félrevezető, mert a „százéves” esemény valójában sűrűsödik.

Modellek

- **Előrejelzés, projekció, évtizedes előrejelzés:** a projekció feltételes állítás (ha adott kibocsátási pályán haladunk, akkor ez adódik), jellemzően harmincéves átlagokra. Az évtizedes (inicializált) előrejelzés a megfigyelt óceán- és légköri állapotból indul, ezért az első néhány évre a belső változékonyság egy részét is visszaadja. Egyik sem menetrend: az évtizedes előrejelzés is valószínűségi sávot ad, és készsége változónként más.
- **Modellegyüttes, tag:** ugyanazt a modellt kissé eltérő kiindulólélelyzetből többször lefuttatják. Minden futás egy tag, a futások összessége a **modell-együttes**. A tagok szórása mutatja, mennyire bizonytalan az eredmény. A modellegyüttes átlaga olyan érték is lehet, amelyet egyetlen futás sem ad – ilyenkor az átlag félrevezet.
- **Modelltartomány (modellsáv):** a modellegyüttes futásai közül a legkisebb és a legnagyobb érték közötti sáv. Ha a 28 tag közül a legóvatosabb +1,5 °C-os, a legszélsőségesebb +4,2 °C-os melegedést ad egy régióra, a modelltartomány +1,5 és +4,2 °C között van. A sáv a modellek szórását mutatja, nem valószínűséget, tehát nem jelenti azt, hogy a valóság adott eséllyel benne van – ahogy a II. fejezet eredményei mutatják, a mérés több mutatón a sávon kívül, annak kockázati oldalán fut.
- **Kibocsátási forgatókönyv (RCP):** a projekciók bemenete, a feltételezett jövőbeli sugárzási kényszerpálya. Az elemzés kettőt használ. Az **RCP4.5 mérsékelt** pálya – érdemi, de nem gyors kibocsátáscsökkentés, a század közepe után stabilizálódó kényszerrel. Az erős kibocsátáscsökkentést az RCP2.6 képviselné, amelyet a hazai hibakorrigált készlet nem tartalmaz. Az **RCP8.5 magas** kibocsátású pálya, amelyet ma jellemzően nem várható alapesetként, hanem a felső szélsőérték-tartomány lehatárolására hasz-

nálnak. A kettő nem valószínűséggel súlyozott, így együtt sávot adnak, nem eloszlást.

- **Visszatekintő futás (hindcast):** a modellt a múltra futtatják, ahol már tudjuk, mi történt. Ez az egyetlen becsületes módja annak, hogy megnézzük, van-e egyáltalán értéke a modell jövőre vonatkozó állításának. Az anyagban a szó az évtizedes előrejelző rendszer inicializált, visszatekintő előrejelzéseit jelöli. A regionális modellegyüttes múltra futtatott szakaszát nem nevezzük hindcastnak, mert az nem inicializált előrejelzés, hanem a múltra kiterjesztett projekció.
- **Készség:** azt méri, mennyivel jobb a modell a pusztá átlagnál. Ahol a készség nem igazolt, ott a modellérték tájékoztató jellegű, nem méretezési alap.
- **Leskálázás:** a durva felbontású globális modellmező finomabb, országos felbontásra alakítása. Részleteket ad, de hibát is behozhat, mert a leskálázott mező nem mérés. A leskálázás nem hibakorrektúra. Az elemzés által használt évtizedes előrejelzést neurális hálózat finomítja, amely megfigyelésszerű adatokon tanult; a globális modell szinhibáját ezért nem javítja, hanem továbbviszi. A visszatekintő futásokon a hőmérsékleti torzítás mindkét modellen döntően a globális modellből ered (II.1).
- **Történetszál (storyline):** egy fizikailag önkonzisztens, de nem valószínűséggel súlyozott eset – „így is alakulhat” típusú állítás. Nem olvasható úgy, hogy „ekkora eséllyel”.
- **Töréspont:** amikor egy idősor nem fokozatosan emelkedik, hanem szintet vált. Tervezési következménye, hogy a hosszú átlagra méretezett rendszer egy már elmúlt állapotra van beállítva.

Kockázati fogalmak

- **Kitettség:** ki és mi van ott, ahol a veszély jelentkezik – emberi közösség, infrastruktúra vagy egyéb gazdasági érték, termőterület, természetes közeg.
- **Sérülékenység:** mennyire viseli el a kitett rendszer a hatást. Azonos veszély mellett a kár nagyságát ez dönti el, ezért a döntéshozói beavatkozás rendszerint itt a leghatékonyabb. Ez foglalja magában az alkalmazkodási kapacitás alakítását is.
- **Nulla nettó kibocsátás utáni hőmérsékletváltozás (ZEC):** azt méri, mennyivel melegszik vagy hűl a bolygó azután, hogy az emberi szén-dioxid-kibocsátás nettó nullára csökken. A hatályos nemzetközi értékelés szerint nagyjából nulla, $\pm 0,3$ °C bizonytalansággal, a jel irányában alacsony megbízhatósággal (VI.6).

- **Felső óceáni rétegzettség:** a felszíni és az alatta fekvő vízréteg sűrűségkülönbsége. Erősödésével vékonyabb lesz a keveredési réteg, így ugyanaz az energiatöbblet nagyobb felszíni hőmérséklet-változást okoz (VI.1). Nem azonos a hőmérsékleti inverzióval, amely regionális, gátréteg-jelenség.
- **Tervezési minimum (minimumszabály):** az a szabály, hogy azokon a mutatókon, amelyeken a modelltartomány igazoltan a megfigyelés alatt marad, a már megfigyelt érték a tervezés legkisebb megengedhető értéke, a modellsáv alja pedig alsó korlát, nem az óvatos vagy jó eset (H.2). Változónként igazolandó.
- **Szélsőérték-tartomány:** az eloszlás széle, a ritka, nagy eltérésű események tartománya. A méretezés erre vonatkozik, nem az átlagra.
- **Párolgásigény:** a légkör nedvességelvonó képessége, amely a felszínre peremfeltételként hat. Pontosabb neve *párologtató kényszer volna, mert a rendelkezésre álló energia, a telítési hiány és a légáramlás együtt vonja el a vizet egy vízzel korlátlanul ellátott felszínről*. Nem „igény”, mert nem kielégíthető, és száraz talaj fölött is fennáll. Ennek ellenére az elemzés megtartja az elterjedt szót. A VPD a hajtóereje, a referenciapárolgás (ET₀, mm/nap) a mérőszáma. Száraz talajon a tényleges párolgás már nem követi, ezért a tényleges vízforgalomról keveset mond.
- **Telítési hiány (VPD):** a levegő szárazságának mérőszáma, amely megmutatja, mennyivel kevesebb nedvességet tartalmaz, mint amennyit az adott hőmérsékleten tartani tudna. A növény ezt párologtatási kényszerként érzékeli – magas érték mellett akkor is vízhiányt szenved, ha a talajban van víz.
- **Tényleges párolgás (evapotranszpiráció):** a talajból és a növényzetből ténylegesen elpárolgó víz. Örvénykovariancia-módszerrel mérhető. Víz korlátozta helyzetben a párolgásigénynél lassabban nő, vagy nem nő.
- **Kisvíz:** tartósan alacsony folyóvízállás. Hajózási, hűtővíz- és vízkivételi korlátozásokat egyaránt kivált.
- **Fenológiai fázis:** a növény fejlődési szakasza (rügyfakadás, virágzás, szemtelítődés). Ugyanaz az időjárási esemény más fázisban más kárt okoz – ezért több küszöb is fenológiai fázishoz kötődik, nem naptári dátumhoz.
- **Összetett esemény:** több, egymással összefüggő veszély vagy körülmény együttállása, amely együtt nagyobb kárt okoz, mint külön-külön. Egyik összetevőjének sem kell szélsőségesnek lennie (VIII.3).
- **Továbbgyűrűző kockázat:** a hatás terjedése egyik rendszerből a másikba, például a vízhiánytól az áramtermelésen át az árakig (VIII.3).

- **Polikrízis:** több rendszer válságainak ok-okozati összefonódása, amelyben a válságok együtt nagyobb kárt okoznak, mint külön-külön. Gondolkodási keret, nem mérőeszköz (VIII.3).
- **Kisiklási kockázat:** az a visszacsatolás, amelyben az éghajlati kár figyelmet és forrást von el a megelőzéstől, és ezzel a következő kárt növeli (VIII.3).
- **Normalitástorzítás:** hajlam egy várható zavar valószínűségének vagy mértékének alábecslésére; ami eddig nem történt meg, arra a terv nem gondol (VIII.4).
- **Ésszerű legrosszabb eset:** az a legrosszabb eset, amely a nagyon valószínűtlen változatok kizárása után marad. A felkészülés erre méreteződik (VIII.5).
- **Fordított stresszpróba:** a vizsgálat az elfogadhatatlan kimenetből indul, és azt keresi, milyen együttállás vezetne oda, és az mennyire valószínű (VIII.5).
- **Rugalmas teherbírás:** a rendszer képessége, hogy a zavart elnyelje, és közben megőrizze a működését. Más tulajdonság, mint a stabilitás, vagyis a gyors visszatérés az eredeti állapotba (VIII.5).

Az elemzés a hivatkozott forrásokra és saját, dokumentált számításokra épül. A jegyzetek egyetlen sorozatot alkotnak, amelyet a szövegbeli első előfordulás sorrendjében számozunk; forráshivatkozást és magyarázó megjegyzést egyaránt tartalmaznak. Ha a szöveg később ugyanarra a forrásra vagy megjegyzésre utal, a korábbi jegyzet számát ismétli, a jegyzetek közötti utalások pedig jegyzetszámra mutatnak. Ahol az elemzés saját számítást közöl, a jegyzet megnevezi a bemeneti adatforrást és a számítás lényegét. A számítások adatai, a forrásfájlok ellenőrző összegei és a levezetések a projekt belső dokumentációjában visszakereshetők.

1. A rácsponti adatok mérésekből képzett, interpolált értékek, nem egyedi állomásmérések. ↩
2. Kárszámla: a klímaváltozás által okozott vagy várható károk halmozott pénzügyi összege – a fizikai károk, az alkalmazkodási költségek és az átállási veszteségek együttes becslése. ↩
3. A Golf-áramlás és az AMOC viszonya a hazai vitában rendszeresen összemosódik, ezért a kettőt szét kell választani. A Golf-áramlás szubtrópusi szakasza nagyrészt szélhajtott, a szubtrópusi örvény része, és az AMOC – vagyis a mélyvízképződésre épülő átfordulás – leállása esetén is megmaradna. Gyengülhet, de más okból, a szubtrópusi szélöv gyengülése esetén. Amit Nyugat- és Észak-Európa enyhe tele köszönhet neki, az az áramlás északkeleti meghosszabbítása, az Észak-atlanti-áramlás, ez viszont az AMOC felszíni ágához tartozik, így az AMOC gyengülésével együtt gyengülne. Az elemzés állítása ezért az átfordulásra és ezen keresztül az északkeleti ágra vonatkozik, nem a Golf-áramlás egészére. Forrás: Wharton, J. H. és mtsai (2024): *Deeper and stronger North Atlantic Gyre during the Last Glacial Maximum*. Nature 632(8023): 95–100. DOI [10.1038/s41586-024-07655-y](https://doi.org/10.1038/s41586-024-07655-y); közérthető összefoglaló: UCL News, 2024. július 10. ↩
4. Stott, P. A., Lo, Y. T. E., Marsham, J. H., Obura, D., Oliver, T. H., Palmer, M. D., Ranger, N., Sharpe, S., Sutton, R. és mtsai (2026): *We need a global assessment of avoidable climate-change risks*. Nature 650(8103): 826–828. DOI [10.1038/d41586-026-00544-6](https://doi.org/10.1038/d41586-026-00544-6). Az előjelzés és a kockázatértékelés megkülönböztetése a szerzői kézirat 3. oldalán található. A tétel korábbi, részletes kifejtése: Sutton, R. T. (2019): *Climate Science Needs to Take Risk Assessment Much More Seriously*. Bulletin of the American Meteorological Society 100(9): 1637–1642. DOI [10.1175/BAMS-D-18-0280.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0280.1).
5. HM Government / Cabinet Office (2025): *National Risk Register 2025*. 187 o., megjelent 2025. január 16. Az „ésszerű legrosszabb eset” definíciója az 1. és 2. fejezetben, az akut/krónikus megkülönböztetés és a krónikus kockázati témalista a 2. fejezet végén.
6. Sharpe, S. (2019): *Telling the boiling frog what he needs to know: why climate change risks should be plotted as probability over time*. Geoscience Communication 2: 95–100. DOI [10.5194/gc-2-95-2019](https://doi.org/10.5194/gc-2-95-2019).
7. Shepherd, T. G. és mtsai (2018): *Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change*. Climatic Change 151(3–4): 555–571. DOI [10.1007/s10584-018-2317-9](https://doi.org/10.1007/s10584-018-2317-9).
8. Ahhoz, hogy egy trendet ebben az elemzésben „szignifikánsnak” nevezzünk, a p-értéknek a többszörös tesztelésre korrigált, rendkívül szigorú küszöb alá kell esnie – vagyis a 95 százalékosnál jóval szélesebb, mintegy 99,95 százalékos konfidenciaintervallum sem foghatja át a nullát.

9. HungaroMet Nyílt Adatpolitika portál (odp.met.hu), homogenizált, interpolált, rácspontra képzett napi adatbázis, 0,1°-os felbontás, 1233 magyarországi rácspontra, 1971-től. Valamennyi megfigyelési érték – hőmérséklet, csapadék, származtatott küszöbindexek – ebből a forrásból, saját számítással készült. A számítás rácspontonként képi az indexet, majd országosan átlagol (a fordított sorrend más számot ad, l. Melléklet B/1.).
10. Kern, A., Dobor, L., Hollós, R., Marjanović, H., Torma, Cs. Zs., Kis, A., Fodor, N., Barcza, Z. (2024): *Seamlessly combined historical and projected daily meteorological datasets for impact studies in Central Europe: The FORESEE v4.0 and the FORESEE-HUN v1.0*. Climate Services 33, 100443. DOI [10.1016/j.cliser.2023.100443](https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100443). Ez egyszerre a regionális modellegyüttes forrása (14 futás RCP4.5, 14 futás RCP8.5, hibakorrigált EURO-CORDEX) és annak a folytonossági korrekciónak a leírása, amelyre a fenti bekezdés hivatkozik. A modelloldali értékek ezen a készleten végzett saját számításaink. Kizárólag a FORESEE-HUN ágat használtuk: a projekció a v1.0, a megfigyelt sor a v1.4, amelynek bemenete a HungaroMet HUCLIM homogenizált rácsa; a közép-európai, E-OBS-alapú FORESEE v4.x ágból nem dolgoztunk.
11. HungaroMet: *KLIMADAT térinformatikai rendszer – felhasználói útmutató* (gis01.met.hu/klimadat/Felhasznaloi_utmutato.pdf) és a szolgáltatás ArcGIS-felülete (gis01.met.hu/server/rest/services/PROD_Klimadat), lekérdezve 2026. október 9-én és 10-én. A webalkalmazás és az útmutató 2026. július 14-i, 2.0 változat; a városi réteget a KEHOP-1.1.0–15 projekt 2020–2021-es SURFEX-beszámolóí írják le. A projekció négy futása: ALADIN-Climate és REMO, RCP4.5 és RCP8.5, 0,1°-os rács, harmincéves csúszó ablakok 2001 és 2100 között, referencia 1971–2000. Az útmutató szerint a hőmérsékletet a megfigyelt és a modellezett harmincéves napi átlag különbségével, a csapadékot a havi átlagok arányával korrigálják, a mutatókat a korrigált napi adatokból számítják. A szolgáltatás rácspontonként a négy futás legkisebb, középső és legnagyobb értékét közli, az országos értékek pedig ezek rácsátlagai (saját számítás). ↩
12. Masloumidis, I., Fragkoulidis, G., Kyros, G., Lagouvardos, K. (2026): *Projected Climate Changes in Hungary for 2025–2034 Relative to 1991–2020*. National Observatory of Athens, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, Athén. Megrendelésre készült dosszié; két szállítmány (összefoglaló, 17 o.; teljes térképes dosszié, 52 panel). Az alapja a WCRP dekadális előrejelzési kísérletének 2024. novemberi indítású futama (HadGEM3-GC31-MM és NorCPM1, modellenként tíz tag), CERRA-reanalízis 1991–2020-as referenciával. A II.1 szakasz értékei nem ebből a dossziéből származnak, hanem a mögötte álló, ugyanezen forrástól kapott leskalázott napi mezőkből, saját számítással – a dosszié közölt értékei a húsz tagot összevonják, mi pedig modelleszaládonként külön közöljük. A hindcast-csomag (s1980–s2018) ugyanebből a forrásból, a készség méréséhez.
13. Saját számítás; a megfigyelt oldal a 9. jegyzetben megnevezett homogenizált rácsból, a projektált oldal a 10. jegyzetben megnevezett készletből, a kényszeridősor pedig az RCP4.5-forgatókönyv koncentrációfájlból és a mért globális szén-dioxid-sorból. Három korlát határolja be az arányt: az arány egyetlen kényszerbecslőn belül értelmezhető (a becslők keverése tilos, mert az elszámolási határuk különbözik); a 2021–2025-ös rövid sor öt év, belső változékonysággal terhelt, ezért a hosszú soron adódó alacsonyabb érték a robusztusabb; és a válaszarány regionális és tranzien, tehát a globális éghajlati érzékenységgel közvetlenül nem vethető össze.

14. Saját számítás. KLIMADAT: a megfigyelt (1996–2025) és a projektált (2001–2030 ... 2071–2100) rétegek országos rácsátalga. FORESEE-HUN: a v1.0 hibakorrigált projekció 28 futása és a v1.4 megfigyelt sor; a mutatókat rácspontonként számoltuk, majd 1233 rácspontra átlagoltuk. A mutatók definíciója a KLIMADAT katalógusát követi: 30 °C-ot, illetve 35 °C-ot elérő nap: napi maximum ≥ 30 , illetve ≥ 35 °C; trópusi éjszaka: napi minimum > 20 °C (a II.1 rácsalapú értékei, a VII.1 táblázat és a Melléklet A a napi minimum ≥ 20 °C-kal számol; a két definíció országos átlagban évi 0,06 éjszakánál kisebb eltérést ad); fagyos nap: napi minimum < 0 °C; csapadékos nap: ≥ 1 mm; száraz időszak: a naptári év leghosszabb, 1 mm alatti napokból álló szakasza. A napi középhőmérséklet a KLIMADAT-ban a 0 és 24 UTC közötti átlag, a FORESEE-HUN-ban a napi maximum és minimum átlaga. A késés a futások mediánjának az az ablakközépidőpontja, amelyen a mért szintet eléri (az ablakok között lineárisan interpolálva), mínusz a megfigyelési ablak közepe; a két készlet ablakhossza eltér (30, illetve 10 év), ezért a késés tájékoztató jellegű. A KLIMADAT rácspontonkénti legnagyobb értékének országos átlaga legalább akkora, mint a legmelegebb futás országos átlaga, a próba tehát ezen a ponton is a modell javára torzít. A téli FORESEE-sáv kilenc tél átlaga, mert a 2022–2031-es ablak első teléhez nincs 2021. decemberi adat. A nyári napi maximum FORESEE-késését tartományként közöljük, mert a futások mediánjának ablaksora a mért szint közelében ellaposodik, és így a mért értéknek a naptárkezelésből eredő, 0,02 °C-nyi bizonytalansága az első átlépést 17,8 és 22,3 év között mozgatja. Ezt a számítások független, más modellcsaláddal végzett ellenőrzése tárta fel.
15. Megyeri-Korotaj, O. A., Bán, B., Suga, R., Allaga-Zsebeházi, G., Szépszó, G. (2023): *Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations*. Atmosphere 14(3), 448. DOI [10.3390/atmos14030448](https://doi.org/10.3390/atmos14030448). A szerzők a korrekció előtti modellkimenetet a CarpatClim-HU adatbázishoz mérik (1981–2000): „All four simulations slightly underestimated the dry periods of summer and overestimated wet days.” Az, hogy a szolgáltatás korrekciója a csapadékos napok számát nem igazítja, a felhasználói útmutatóból és a fenti, mintegy 27 napos eltérésből következik.
16. Saját számítás. KLIMADAT: a szolgáltatás grafikus adattáblája (PROD_Klimadat/data_tables/MapServer/7, 539 805 sor, letöltve 2026. október 10-én), amely egységenként a mért harmincéves átlagot és a négy futás legkisebb, középső és legnagyobb értékét közli. Egységek: 20 megye Budapesttel, 173 járás, 23 budapesti kerület. A próba előzetes nyilatkozatát a számítás előtt rögzítettük. A napi hőingás a napi maximum és minimum átlagának különbsége. FORESEE-HUN: a H.2 próbájának éves sorai, 2022–2060-as lineáris trend futásonként, a mért trend pedig a v1.4 megfigyelt soron.
17. Kis, A., Pongrácz, R. (2026): *Changes of diurnal temperature range in different climatic regions in Europe between 1971 and 2024*. Atmospheric Research 337, 108938. DOI [10.1016/j.atmosres.2026.108938](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2026.108938). Magyarországra a HuClim adatbázissal; az évi átlagos napi hőingás 9,8 °C-ról (1971–1990) 10,4 °C-ra (2005–2024) nőtt, a növekedés szignifikáns.
18. Megyeri-Korotaj, O. A., Bán, B., Suga, R., Allaga-Zsebeházi, G., Szépszó, G. (2023), I. 15. jegyzet (2. szakasz és 3.2.1. pont): az ALADIN5.2 az aeroszolatokat havi átlagként, tízéves szakaszokra adja meg, a múltra Tegen és mtsai (1997), a forgatókönyvekre Szopa és mtsai (2013) szerint; a REMO2015 aeroszolkezelése egyszerűbb, éves menet és időbeli változás nélküli (Tanré és mtsai, 1984). A szerzők a REMO-futások mérsékeltebb nyári melegedését Boé és mtsai (2020) nyomán a jövőbeli aeroszoltrend figyelmen kívül hagyásával magyarázzák.
19. Zelinka, M. D., Myers, T. A., McCoy, D. T., Po-Chedley, S., Caldwell, P. M., Ceppi, P., Klein, S. A., Taylor, K. E. (2020): *Causes of higher climate sensitivity in CMIP6 models*. Geophysical Research Letters 47, e2019GL085782. DOI [10.1029/2019GL085782](https://doi.org/10.1029/2019GL085782).
20. Hausfather, Z., Marvel, K., Schmidt, G. A., Nielsen-Gammon, J. W., Zelinka, M. (2022): *Climate simulations: recognize the „hot model” problem*. Nature 605: 26–29. DOI [10.1038/d41586-022-01192-2](https://doi.org/10.1038/d41586-022-01192-2). Az értékelte tartomány: IPCC (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*, A.4.4 pont.
21. Boé, J., Somot, S., Corre, L., Nabat, P. (2020): *Large discrepancies in summer climate change over Europe as projected by global and regional climate models: causes and consequences*. Climate Dynamics 54: 2981–3002. DOI [10.1007/s00382-020-05153-1](https://doi.org/10.1007/s00382-020-05153-1).

22. Schumacher, D. L., Singh, J., Hauser, M. és mtsai (2024): *Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes*. Communications Earth & Environment 5, 182. DOI [10.1038/s43247-024-01332-8](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01332-8).
23. Nordling, K., Fahrenbach, N. L. S., Lipponen, A. és mtsai (2026): *First crossings of global warming levels in CMIP6 in light of observed 1.5 °C exceedance*. npj Climate and Atmospheric Science 9, 120. DOI [10.1038/s41612-026-01401-z](https://doi.org/10.1038/s41612-026-01401-z). A legmagasabb érzékenyséű vizsgált modell a CanESM5, a mérsékelt magas érzékenyséű, jól illeszkedő példa az ACCESS-ESM1-5; az alacsonyabb érzékenyséű MIROC6 mintegy egy évtizeddel később lépi át a szintet.
24. Mann, M. E., Steinman, B. A., Fernandez, A., Christiansen, S. A., Li, X. (2026): *2024 global temperature record is consistent with model-predicted warming*. Proceedings of the National Academy of Sciences 123(20), e2600021123. DOI [10.1073/pnas.2600021123](https://doi.org/10.1073/pnas.2600021123).
25. Boardman, P. J. L., Clarke, J., Cox, P. M., Huntingford, C., Jones, C. D., Williamson, M. S. (2026): *Emergent constraints on climate sensitivity and recent record-breaking warm years*. Earth System Dynamics 17, 829. DOI [10.5194/esd-17-829-2026](https://doi.org/10.5194/esd-17-829-2026). · Tokarska, K. B., Stolpe, M. B., Sippel, S., Fischer, E. M., Smith, C. J., Lehner, F., Knutti, R. (2020): *Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models*. Science Advances 6, eaaz9549. DOI [10.1126/sciadv.aaz9549](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9549) – a szűrt medián 2050-re 16, illetve 14, 2090-re 14, illetve 8 %-kal alacsonyabb a nyers mediánnál a magas kibocsátási, illetve a mérséklési forgatókönyvön. · Hausfather, Z., Marvel, K., Schmidt, G. A., Nielsen-Gammon, J. W., Zelinka, M. (2022): *Climate simulations: recognize the 'hot model' problem*. Nature 605, 26–29. DOI [10.1038/d41586-022-01192-2](https://doi.org/10.1038/d41586-022-01192-2). ↩
26. Hausfather, Z. (2025): *State of the climate: 2024 sets a new record as the first year above 1.5C*. Carbon Brief, 2025. január 10. · Hausfather, Z. (2026): *State of the climate: 2025 in top-three hottest years on record as ocean heat surges*. Carbon Brief, 2026. január 14. Mindkét összevetés a 37 modellből álló SSP2-4.5 együttesel és az IPCC hatodik jelentésének értékelt melegedési pályájával készült. A 2022-es kiinduló értékelés: Hausfather és mtsai (2022), l. 20. jegyzet.
27. Hausfather, Z.: *Climate Dashboard – Models* (dashboard.theclimatebrink.com/#models; adatok: assets/data/models_trends_cmip6.csv), a 2026. október 3-i adatállás, letöltve 2026. október 10-én. CMIP6, SSP2-4.5, 40 tag, szűrés nélkül; öt megfigyelési adatsor mediánja. A 2001 óta mért ütem 0,26 °C, a modellátlag 0,28 °C évtizedenként.
28. Hodnebrog, Ø., Myhre, G., Jouan, C., Andrews, T., Forster, P. M. és mtsai (2024): *Recent reductions in aerosol emissions have increased Earth's energy imbalance*. Communications Earth & Environment 5, 166. DOI [10.1038/s43247-024-01324-8](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01324-8). Az idézett trend $0,47 \pm 0,17 \text{ W/m}^2$ évtizedenként, ebből az aeroszolcsökkenés $0,2 \pm 0,1$.
29. Bimpiri, K., Hocking, T., Mauritsen, T. (2026): *Climate models with moderate climate sensitivity best simulate the magnitude of Earth's energy imbalance*. Earth System Dynamics 17, 877–892. DOI [10.5194/esd-17-877-2026](https://doi.org/10.5194/esd-17-877-2026). ↩
30. Met Office: *New flagship climate models – UKESM1 and HadGEM3-GC3.1* (metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/new-flagship-climate-models), letöltve 2026. október 9-én: egyensúlyi érzékenység mintegy 5,5 °C, átmeneti érzékenység mintegy 2,7 °C. Az oldal a felbontási változatot (az anyagban használt MM) nem különbözteti meg.
31. Swaminathan, R., Schewe, J., Walton, J., Zimmermann, K., Jones, C., Betts, R. A. és mtsai (2024): *Regional impacts poorly constrained by climate sensitivity*. Earth's Future 12, e2024EF004901. DOI [10.1029/2024EF004901](https://doi.org/10.1029/2024EF004901).
32. Duffy, M. L., Simpson, I. R., Medeiros, B. és mtsai (2026): *Is the high ECS in CESM2 degrading transient climate change projections over the 21st century?* Journal of Advances in Modeling Earth Systems 18(1), e2025MS004967. DOI [10.1029/2025MS004967](https://doi.org/10.1029/2025MS004967).
33. Dittus, A. J., Hawkins, E., Wilcox, L. J., Sutton, R., Smith, C. J., Andrews, M. B., Forster, P. M. (2020): *Sensitivity of historical climate simulations to uncertain aerosol forcing*. Geophysical Research Letters 47(13), e2019GL085806. DOI [10.1029/2019GL085806](https://doi.org/10.1029/2019GL085806). A vizsgálat a HadGEM3-GC3.1 nagy együttesével, a jelenkori aeroszol-kényszer széles tartományán készült; -1 W/m^2 -nél erősebb aeroszol-kényszernél a század közepi lehülés is erősebb a megfigyeltnél.

34. Boé, J., Terray, L., Moine, M.-P. és mtsai (2020): *Past long-term summer warming over western Europe in new generation climate models: role of large-scale atmospheric circulation*. Environmental Research Letters 15, 084038. DOI [10.1088/1748-9326/ab8a89](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8a89).
35. Saját számítás. Modelloldal: a Climate Impact Lab GIPCIR adatbázisa, ssp245 forgatókönyv, 23 globális modell, napi maximum- és minimumhőmérséklet, 0,25°-os rács, a modellek saját 1995–2014-es időszakához mért változással (Gergel, D. R., Malevich, S. B., McCusker, K. E., Tenezakis, E., Delgado, M. T., Fish, M. A., Kopp, R. E. (2024): *Global Downscaled Projections for Climate Impacts Research (GIPCIR): preserving quantile trends for modeling future climate impacts*. Geoscientific Model Development 17, 191–227. DOI [10.5194/gmd-17-191-2024](https://doi.org/10.5194/gmd-17-191-2024).) Mérés: HungaroMet homogenizált napi rács (Nyílt Adatpolitika portál), 1233 rácpont, országos átlag; a modellcellákat a beléjük eső mérési rácpontok számával súlyoztuk. 1995–2014-ben a mért nyári napi maximum 0,5 °C-kal melegebb a modellek mediánjánál. A számítást nyers adatból végzett független újraszámolás ellenőrizte. A 30 °C-ot elérő napokon a szint szerinti összevetés eredménye a súlyozás egy részletén múlik. A nyári napi maximumon és a 30 °C-ot elérő napokon a mért változást elérő modell a HadGEM3-GC3.1 szabványos felbontású (LL) változata, forgatókönyv szerinti futással. A modellnek több felbontási változata van (Roberts, M. J. és mtsai (2019): *Description of the resolution hierarchy of the global coupled HadGEM3-GC3.1 model as used in CMIP6 HighResMIP experiments*. Geoscientific Model Development 12, 4999–5028. DOI [10.5194/gmd-12-4999-2019](https://doi.org/10.5194/gmd-12-4999-2019).) Az évtizedes előrejelzés ugyanennek a modellnek a közepes felbontású (MM), a megfigyelt állapotból indított változatával készül. Megbízhatóságáról a visszatekintő ellenőrzés dönt (H.3), az itteni egyezésből erre nem lehet következtetni. Az egyezést a magas éghajlati érzékenység egymagában nem magyarázza, mert a készlet legmagasabb érzékenységű modellje (CanESM5) a mért változás alatt marad, és az érzékenység a modellenkénti hazai nyári melegedéssel gyengén függ össze (rangkorreláció 0,28, 23 modell).
36. Rybka, H., Leps, N., Mannig, B., Paxian, A., Dalelane, C., Winderlich, K., Steger, C., Früh, B. (2026): *Benchmarking Across Scales: Evaluating EURO-CORDEX CMIP6 Regional Climate Models over Germany*. EMS Annual Meeting 2026, EMS2026–476 (konferencia-összefoglaló).
37. Dunne, J. P., Hewitt, H. T., Arblaster, J. M., Bonou, F., Boucher, O. és mtsai (2025): *An evolving Coupled Model Intercomparison Project phase 7 (CMIP7) and Fast Track in support of future climate assessment*. Geoscientific Model Development 18, 6671–6700. DOI [10.5194/gmd-18-6671-2025](https://doi.org/10.5194/gmd-18-6671-2025).
38. van Vuuren, D. P., O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Sanderson, B. M., Chini, L. P. és mtsai (2026): *The Scenario Model Intercomparison Project for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7)*. Geoscientific Model Development 19, 2627–2656. DOI [10.5194/gmd-19-2627-2026](https://doi.org/10.5194/gmd-19-2627-2026). A forgatókönyvek ütemezése a cikk szerint: a földrendszer-modellek futásai 2026 tavaszán, további forgatókönyveké 2026 júniusában indulnak.
39. Ez természetes, mivel a hőmérséklet és a csapadék eltérő előrejelezhetőségének fizikai-meteorológiai okai vannak, és az eltérés más modellrendszerekben is megjelenik.
40. Yuan, X., Wang, L., Wu, P., Ji, P., Sheffield, J., Zhang, M. (2019): *Anthropogenic shift towards higher risk of flash drought over China*. Nature Communications 10, 4661. DOI [10.1038/s41467-019-12692-7](https://doi.org/10.1038/s41467-019-12692-7). Optimalis ujjlenyomat-módszeres attribúció, 1961–2005; a vizsgálat kínai adatokon és a szerzők saját gyorsaszály-definícióján alapul, ezért az arány más definícióra közvetlenül nem vihető át.
41. Yuan, X., Wang, Y., Ji, P., Wu, P., Sheffield, J., Otkin, J. A. (2023): *A global transition to flash droughts under climate change*. Science 380, 187–191. DOI [10.1126/science.abn6301](https://doi.org/10.1126/science.abn6301). Hatvannégy évet vizsgál. A gyorsulást a szerzők az emberi eredetű éghajlatváltozás párolgás- és csapadékanomáliáihoz kötik. Közép-Európát a térség nedvességi osztálya alapján mi soroltuk a kitett osztályba, a közlemény ezt nem állítja.
42. IPCC (2021): *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 3–32. DOI [10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001); IPCC (2022): *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, 3–33. DOI [10.1017/9781009325844.001](https://doi.org/10.1017/9781009325844.001). Az A tábla tételei az összefoglalók minőségi állításai, a számszerű AR6-értékek a VI.6 táblázatában és a hivatkozott szakaszokban találhatóak. A besorolás saját ítéletünk. ←

43. A modellválasztás indoklása saját számításon alapul: a NorCPM1 nyári maximumhőmérséklete a saját 1991–2020-as hindcast-klimatológiájában 4,3 °C-kal a megfigyelt alatt van, a napi maximumok térbeli szórása feleakkora, és a 35 °C-os küszöböt a referenciaidőszakban évi 0,05 alkalommal éri el. A rendszer tehát nem „hűvösebb előrejelzést ad”, hanem a küszöbmutatón nem mér. Az éves középhőmérsékleten a két rendszer tíz-tíz tagjának tartománya nem fed át (NorCPM1 +0,56...+1,19 °C, HadGEM3 +1,23...+2,04 °C), ezért az összevont átlag olyan érték, amelyet egyetlen futás sem ad. A teljes kétmodelles bontás a projekt belső dokumentációjában található, az elemzés a HadGEM3-at használja munkamodellként. ↩
44. Saját számítás, ugyanazon futás három alakjának összevetésével: a NOA leskálázott napi mezője, a nyers globális modellmező (CMIP6 DCP, dcppA-hindcast, a nemzetközi archívumból letöltve 2026. szeptember 29-én) és a HungaroMet homogenizált napi rácsa. Mindhárom a hazai rács 1230 pontjára vetítve, az r1 tag 39 indításán (1980–2018); a 2–10. előrejelzési év, 1991–2020-as célévek, modellenként 270 mintaév. A teljes torzítás a globális modell torzítására és a leskálázás hozzájárulására bomlik. NorCPM1, nyári középhőmérséklet: –2,96 °C, ebből a leskálázásé 0,00 °C; forró nap: 0,05 a mért 2,82 helyett, a leskálázás hozzájárulása +0,01 nap. HadGEM3, forró nap: 8,2 a mért 2,8 helyett, a +5,35 napos többletből a leskálázásé +0,73 nap. A 8,2 és a főszöveg 8,6-os értéke eltérő mintából származik (2–10., illetve 1–10. előrejelzési év). Az eredményt független ellenőrzés a nyers adatokból saját kóddal újraszámolta. ↩
45. Saját számítás a leskálázott dekadális előrejelzés napi mezőiből (National Observatory of Athens; HadGEM3-GC31-MM és NorCPM1, 2024. novemberi indítás, modellenként tíz tag), Magyarországmáskkal. Az eltérés a modell saját 1991–2020-as, előrejelzési hónap szerint rendezett klimatológiájához mért, a napi maximum és minimum átlagából; a HadGEM3 360 napos naptárában a hónapok egyenlő súlyúak, a forró napok száma 365/360-as szorzóval normált. A megfigyelt oldal ugyanígy képzett. A számítás előtt rögzítettük, hogy az első év csak a tagok közötti helyével közölhető. A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩
46. Met Office Hadley Centre és a University of East Anglia Climatic Research Unit: HadCRUT5 globális felszíni hőmérsékleti adatbázis, 5.1.0.0 elemzési változat (metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5): globális (NH+SH)/2 éves anomáliásor 1850-től, az 1961–1990-es bázishoz viszonyítva. Saját számítás: az 1971–1980-as és a 2021–2025-ös ablak átlagának különbsége. ↩
47. Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., Jones, P. D. (2018): *An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 123, 9391–9409. DOI [10.1029/2017JD028200](https://doi.org/10.1029/2017JD028200). A felhasznált változat: E-OBS v33.0e, átlagos (ensemble mean) változat, 0,25°, a Copernicus Climate Data Store-ból letöltve 2026. szeptember 27-én. Saját számítás: minden hazai rácpont a legközelebbi érvényes E-OBS-cella értékét kapta, a küszöbindex rácpontonként számolva. A számítás előtt rögzített egyezési feltételek (évenkénti korreláció legalább 0,9; a változás azonos előjele; a növekmény aránya 1/1,5 és 1,5 között) mind teljesültek. A számítást független ellenőrzés megismételte. Az E-OBS az elemzésben csak ellenőrző szerepű, megállapítás nem épül rá. ↩
48. Ridal, M., Bazile, E., Le Moigne, P., Randriamampianina, R., Schimanke, S. és mtsai (2024): *CERRA, the Copernicus European Regional Reanalysis system*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 150(763), 3385–3411. DOI [10.1002/qj.4764](https://doi.org/10.1002/qj.4764). Adatkészlet: Copernicus Climate Change Service: CERRA sub-daily regional reanalysis data for Europe on single levels from 1984 to present. Climate Data Store, DOI [10.24381/cds.622a565a](https://doi.org/10.24381/cds.622a565a); 2 m-es hőmérséklet, napi nyolc analízisidőpont, 2015–2025, letöltve 2026. szeptember 27–28-án. A gyártás 2021 júniusáig egy korábbi, 2021 júliustól egy új szerződés keretében, az ECMWF bolognai számítógépére átvitt rendszerrel folyik; a szolgáltató a folytatást a korábbi adatsorral konzisztensnek szánja (Copernicus Climate Change Service: *Regional climate reanalysis timely updates*, climate.copernicus.eu). Saját számítás: minden hazai rácpont a legközelebbi reanalízis-cellát kapta. A számítás előtt rögzített egyezési feltételek (évi eltérés $\pm 0,5$ °C-on belül, napi korreláció legalább 0,98, a nyári napi maximum eltérése negatív) mind teljesültek. A 2021-es elmozdulás vizsgálata utólagos, próba nélküli. A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩

49. Saját számítás a 9. jegyzetben megnevezett homogenizált napi csapadékrácson, 1233 rácspont, 1971–2025. A száraz nap definíciója a nemzetközi éghajlati indexkészlet (ETCCDI) konvenciója szerinti napi 1,0 mm. A leghosszabb száraz időszak rácspontonként képzett éves maximum, majd országos átlag – a fordított sorrenddel (előbb országos átlagcsapadék, azután küszöbölés) számolt érték más mennyiség, és a kettő keverése önálló hibaosztály. A naptári évre csonkolt időszak 27,4, az évhatáron átnyúló 28,3 nap. ↩
50. Kis, A., Pongrácz, R. (2025): *Scenario-Dependent Future Trends of Consecutive Dry Days From July to September: A Case Study for Hungary*. International Journal of Climatology 45(10), e8903. DOI [10.1002/joc.8903](https://doi.org/10.1002/joc.8903). A tanulmány 3 mm-es küszöbvel, július–szeptemberi ablakban, a HuClim 1971–2023-as során dolgozik – a küszöb, az ablak és az adatbázis is eltér a fenti saját számítástól, ezért a két érték egymásba nem vihető át, az egyezés a következtetés szintjén érvényes. A tanulmány projekciós része hat regionális modellszimuláció (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) átlagát közli, a számított indexen végzett hibakorrekcióval; a 2–5 éves gyakoriságú területarányok a cikk 3.2 szakaszából valók; a forgatókönyvhöz rendelésük a szöveggörnyezet alapján a mi olvasatunk. ↩
51. HungaroMet KLIMADAT éghajlati térinformatikai rendszer (klimadat.met.hu), megfigyelt és projektált rétegek. A küszöbkonvenció a felület mögötti konfigurációs szolgáltatásban közzétett napi 1,0 mm – azonos a saját számításával, ezért a keresztellenőrzés érvényes. A projekciós réteg négy futásra épül, 1971–2000-es referenciával; a korrekciós eljárást és a csapadékos napok számának összevetését a H.2 pont vége írja le. A mért és a projektált értékek a szolgáltatás saját rétegeiből, országos rácslagként, saját számítás, lekérdezve 2026. október 9-én. ↩
52. Ha ezt az ablakot bárhol idézik, a forrást és az évjáratot ki kell írni mellé. ↩
53. Az Athéni Nemzeti Obszervatórium (NOA) évtizedes előrejelzési terméke. ↩
54. HungaroMet Nonprofit Zrt. (2026): a 2026-os nyár hőmérsékleti és csapadékvizszoynainak értékelése, közzétéve 2026. szeptember 7-én, előzetes adatok alapján; a sajtó (Portfolio, Telex, Infostart) 2026. szeptember 7–8-án egybehangzóan idézi. Az aszályterületi arányok (98 %, 47,1 %) az adatgazda 2026. augusztusi, sajtóban idézett közlései, tehát közvetített forrás. **Helyesbítés:** az elemzés korábbi kiadásai saját, 266 állomásból összevont sort közöltek (2026. június 1. – augusztus 27.: 66,7 mm), ezt a hivatalos, teljes nyári érték váltja fel. ↩
55. Saját számítás. A HungaroMet nyílt adatportáljának homogenizált napi csapadéksora tíz állomásra (Budapest, Debrecen, Keszthely, Miskolc, Nyíregyháza, Pécs, Sopron, Szeged, Szombathely, Túrkeve), 1901–2025, kiegészítve ugyanezen állomások 2026-os napi, előzetes minőségellenőrzésű észlelésével (2026. szeptember 30-ig). Száraz nap: napi csapadék < 1,0 mm; a leghosszabb időszak az adott ablakon belül, állomásonként, majd a tíz állomás átlaga. Egy év kimarad, ha bármely állomáson az ablak napjainak több mint 10 %-a hiányzik (az április–szeptemberi ablakban 1901–2025-ből 115 év marad; az 1991–2020-as átlag 28 éven áll, 2013 és 2014 kimarad). A homogenizált sor 2021–2025-ben kilenc állomáson napra azonos az állomás nyers sorával, Pécsen 2021 júliusában hét nap eltér, a 2026-os érték tehát azonos alapon nyugszik. A 2026-os adat előzetes. Tíz állomás átlaga nem azonos a rácslapú országos átlaggal, a két érték egymásba nem vihető át. ↩

56. Saját számítás. A négy VPD-mutató elsődleges adatútja a FORESEE-HUN v1.4 megfigyelt ága (beme-
nete a HungaroMet HUCLIM homogenizált rácsa, 10. jegyzet), amely a levegő nedvességét a napi mi-
nimumhőmérséklettel közelíti. Az ellenőrző számítás a hivatalos nyílt adatportál mért relatívnedves-
ség- és hőmérséklet-rácsán készült. A közelítés iránya ismert, és az eredmény ellen dolgozik, mivel
száraz viszonyok között alulbecsli a telítési hiányt, így a közölt emelkedés alsó becslés. A hőingás és a
telítési hiány emelkedése nem két független bizonyíték, hanem egy fizikai jel két nézete. Az ET0-érté-
kek ugyanezen a rácson, FAO-56 Penman–Monteith szerint. A projekciós ág ugyanezzel az eljárással
(MT-CLIM) készül: a nappali telítési hiányt a hibakorrigált napi minimum- és maximumhőmérséklet-
ből és csapadékból becsli a teljes 1950–2100-as időszakra, a regionális modellek nedvesség- és sugár-
zásadatát nem használja, és ariditáskorrekciót nem alkalmaz (Kern és mtsai 2024, Climate Services
33, 100443, módszertani rész). A hibakorrekció a hőmérsékletre és a csapadékra vonatkozik, a lég-
nedvességre nem. Azonos rácson és azonos, napi átlagos definícióval a mért légnedvességből szá-
molt nyári telítésihiány-trend +61,9, a minimumhőmérsékletes becsléssel számolt +41,7 Pa/évtized. A
különbség a kritikus helyzetekben összpontosul. A legalább háromnapos, 30 °C feletti hőségben, ki-
száradt talaj fölött a mért vízgőznyomásnak 1971–2025 között nincs kimutatható trendje, és a becslés
a telítési hiány 1971–1990 és 2011–2025 közötti növekményének 43–54 százalékát adja vissza a talajál-
lapot- és hóhullám-definíciótól függően; az ilyen napok száma rácspontonként évi háromról tíz-tí-
zenháromra nőtt, és 2022-ben volt a legtöbb. A kiszáradt előzmény csapadékösszegből, illetve egysze-
rű talaj-vízmérlegből becsült állapot, nem talajnedvesség-mérés. A tíz folyamatosan mérő szinopti-
kus állomás nyers napi adatain (előzetes adatok, 2026. augusztus 28-ig) az ilyen napok mért telítési
hiánya 2026 nyarán átlagosan 1950, a becsült 1360 Pa volt, 2022-ben 1670, illetve 1260 Pa. ↩
57. Dunkl, I., Bastos, A., Sippel, S. (2026): *European summer drying largely driven by atmospheric circulation
changes since the 1980s*. Nature Geoscience 19, 914–921. DOI [10.1038/s41561-026-02050-w](https://doi.org/10.1038/s41561-026-02050-w). A részekre
bontás egyetlen modellel (CESM2) készült, és az eljárás kizárja a termodinamika visszahatását az
áramlásra; a tartomány Európa közepes szélességeit fogja át, nem hazai. A vizsgálat 10 cm-es talaj-
nedvesség-változója modellmennyiség, nem mérés. ↩
58. Simon, Cs., Kis, A., Torma, Cs. Zs. (2025): *Bias-korrigált EURO-CORDEX adatbázisok értékelése és a vár-
ható csapadékváltozás Magyarországon*. Science of the Total Environment. DOI [10.1016/j.scitotenv.
2025.180451](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180451). ↩
59. Simpson, I. R. és mtsai (2024): *Observed humidity trends in dry regions contradict climate models*. PNAS.
DOI [10.1073/pnas.2302480120](https://doi.org/10.1073/pnas.2302480120). · Markonis, Y. és mtsai (2021): *The rise of compound warm-season dro-
ughts in Europe*. Science Advances. DOI [10.1126/sciadv.abb9668](https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9668). ↩
60. Treydte, K. és mtsai (2024): *Recent human-induced atmospheric drying across Europe unprecedented in the
last 400 years*. Nature Geoscience 17, 58–65. DOI [10.1038/s41561-023-01335-8](https://doi.org/10.1038/s41561-023-01335-8). 45 helyszín tölgy- és fe-
nyő- $\delta^{18}\text{O}$ -hálózata; a formális attribúció négy régióra készült, ezek egyike a kelet-közép-európai
klaszter. ↩
61. Ionita, M., Nagavciuc, V. (2021): *Changes in drought features at the European level over the last 120 years*.
Natural Hazards and Earth System Sciences 21, 1685–1701. DOI [10.5194/nhess-21-1685-2021](https://doi.org/10.5194/nhess-21-1685-2021). Három
index (SPI, SPEI, scPDSI), 1902–2019; a szárazodó trendet a SPEI és az scPDSI adja. A potenciális pá-
rolgás a cikkben Penman–Monteith-számítás (CRU TS v4.04 alapon), tehát e fejezet telítésihiány-réte-
gével módszertanilag rokon, nem független bizonyíték. Az elemzés érve a mért telítési hiányon
alapul. ↩
62. Saját számítás a 9. jegyzetben megnevezett homogenizált napi hőmérsékleti rácson, annak a
FORESEE-HUN v1.4 megfigyelt ágában tárolt példányán; a rügyfakadás hőösszegalapú közelítő muta-
tó (február 1-től halmozott, 5 °C bázisú hőösszeg, 100/150/200 °C·nap küszöbön). A modelloldali
összevetés a 10. jegyzetben megnevezett készlet tizennégy tagján, a mérsékelt kibocsátási forgató-
könyv alatt. A fagyveszélyes ablak mutatójának aggregációs érzékenysége a projekt belső dokumentá-
ciójában található, a többszörös tesztelés eredménye pedig a Melléklet B 7. pontjában. ↩

63. Szécsény, 2026. június 30., 42,0 °C, a június 20-án kezdődő hóhullámban; a korábbi abszolút országos melegrekord 41,9 °C volt (Kiskunhalas, 2007. július 20.). Forrás: a HungaroMet 2026. június 30-i közlése, amelyet a szolgálat 2026. szeptember 7-i nyárértékelése megerősített. A korábbi kiadásokban szereplő +40,9 °C ezzel elavult. A -18,3 °C-os minimum a hivatalos mérési sorból. ↩
64. Saját számítás a 9. jegyzetben megnevezett homogenizált napi csapadékrácson, annak a FORESEE-HUN v1.4 megfigyelt ágában tárolt példányán (ennek naptára szökőévben a december 31-i értéket december 30-hoz adja); az indexek rácpontonként képzettek, a 95. percentilis küszöbe rácpontonként, az 1971–2000-es bázis nedves napjaiból. A modelloldali belső változás a 10. jegyzetben megnevezett készlet tizennégy tagján, 2022–2050 és 2071–2100 összevetésével – a torzítás azért esik ki, mert ugyanaz a tag szerepel mindkét ablakban. ↩
65. A nedvességtartó képesség hőmérsékletfüggése (Clausius–Clapeyron-összefüggés) itt **mechanizmus-hivatkozás, nem számszerű előrejelzés**. Három korlát: a modellek a megfigyelt skálázást alulbecslik; szubtrópusi szárazföld fölött a légköri áramlás tagja levon a termodinamikai várakozásból; száradó térségekben pedig a felszínközeli páratartalom nem nő az összefüggés szerint, ezért ott a telítési hiány a várakozásnál gyorsabban emelkedik (l. a II.2 nemzetközi hivatkozásának első tételét). ↩
66. Figyelmeztetés a mutatóválasztásról: ugyanezek a mutatónevek az országos átlagsoron képezve más számot adnak – a napi maximum 1971–2000-es szintje ott 19,8 mm a fenti 33,5 helyett –, és a p-értékek sorrendje is megfordul. Kizárólag a rácponti változatot használjuk, az átlagsor-index csak külön megnevezéssel idézhető. ↩
67. Vízügyi szolgálat (data.vizugy.hu), vízállás-idősorok: Budapest (Duna), Szolnok és Vásárosnamény (Tisza), 2013. június és 2024. szeptember; saját lekérdezés, lekérve 2026. augusztus 26-án. A 2013-as érték egyben a budapesti vízmérce nyilvántartott legnagyobb vízállása. ↩
68. Vautard, R., Cattiaux, J., Hapfé, T., Singh, J., Bonnet, R., Cassou, C., Coumou, D., D'Andrea, F., Faranda, D., Fischer, E., Ribes, A., Sippel, S., Yiou, P. (2023): *Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends*. Nature Communications 14, 6803. DOI [10.1038/s41467-023-42143-3](https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3). A 170 szimuláció 32 modellből áll, három nagy modellegyüttest is beleértve. ↩
69. Rousi, E., Kornhuber, K., Beobide-Arsuaga, G., Luo, F., Coumou, D. (2022): *Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia*. Nature Communications 13, 3851. DOI [10.1038/s41467-022-31432-y](https://doi.org/10.1038/s41467-022-31432-y); szerzői javítás: 14, 4560 (2023). Az európai hóhullámtrend a többi északi közepes szélességű térségénél három–négyeszer gyorsabb; a kettős futóáramlás-helyzetek a nyugat-európai hőmérséklet-változékonyság legfeljebb 35 %-át magyarázzák, tartósságuk növekedése pedig a nyugat-európai gyorsult trend csaknem egészét, a tágabb európai térségben mintegy 30 %-át. ↩
70. Fűhrer E. (2017): *Az erdészeti klímaosztályok új lehatárolása öko-fiziológiai alapon*. Erdészeti Lapok 152(6): 173–174. Az erdészeti szárazsági mutató (FAI) osztályhatárai: bükkös 4,75 alatt, gyertyános-tölgyes 4,75 és 6,00 között, kocsánytalan tölgyes, illetve cseres 6,00 és 7,25 között, erdőssztyepp e fölött. A mutató használhatóságát a szerző 94 hazai meteorológiai állomás adatsorán vizsgálta; a területi arányok az ország teljes területére vonatkoznak, az alapjukul szolgáló adatbázist a cikk nem nevezi meg. ↩
71. Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR), „Erdészeti klímaosztály változás 1961–1990 és 1991–2010 között CARPATCLIM-HU adatbázis alapján” réteg; a HungaroMet térképi szolgáltatásából lekérdezve 2026. szeptember 21-én. A cellaszámok saját összesítés a réteg 1104 ráccellájából. A réteg leírása a számítás módszerét nem közli; az osztályok megegyeznek az erdészeti szárazsági mutatóval lehatárolt négy osztállyal, ezért a módszertani azonosság valószínű, de nem igazolt. ↩
72. Saját számítás; a csapadékkoldal a 9. jegyzetben megnevezett rácsból, a Duna–Tisza közti homokháti dobozra (é. sz. 46,1–47,2 / k. h. 19,0–20,1, 121 rácpont), a talajvízoldal a hivatalos törzskút-hálózat 57 olyan kútjából, amelynek 2001 és 2026 között minden évben van januári és augusztusi értéke. Három korlát: az augusztus → január ablak a késő téli olvadást levágja; huszonnégy tél; és a doboz-csapadék-átlagot kútpanelhez rendeli. Az összefüggés közepes erősségű (Pearson $r = 0,53$), a nettó zéró feltöltés az illesztés metszetéből adódik. ↩

73. Saját számítás az Országos Vízügyi Főigazgatóság hidrometeorológiai törzsadatbázisának hóvastagság- és hóvízegyenérték-kódjain, a huszonnégy télből legalább huszonháromat lefedő állomások állandó csoportján (17, illetve 14 állomás). A téli feltöltés kitüntetett szerepének irodalmi alapja: Jasechko, S. és mtsai (2014): The pronounced seasonality of global groundwater recharge. *Water Resources Research* 50(11): 8845–8867. DOI [10.1002/2014WR015809](https://doi.org/10.1002/2014WR015809). Az ellentétes irányú hatásra (fagyott talaj, téli közí olvadás): Hyman-Rabeller, K., Loheide, S. P. (2023): Drivers of Variation in Winter and Spring Groundwater Recharge: Impacts of Midwinter Melt Events and Subsequent Freezeback. *Water Resources Research* 59(1), e2022WR032733. DOI [10.1029/2022WR032733](https://doi.org/10.1029/2022WR032733). ↩
74. Saját számítás a hivatalos törzskút-sorokból, hat tájegységi kútcsoportban. A csoportok 118 helyéhez **111 egyedi kút** tartozik (hét kút két doboz határán fekszik) – a „118/118 egyirányú” alak ezért nem idézhető, a helyes alak 111/111. A hatókör-korrektúra előzménye egy 2026. augusztus 30-i belső elemzés, amely megállapította, hogy a legsúlyosabb süllyedés nem a Homokhátságon koncentrálódik; a réteg 2026. augusztus 31-én független ellenőrzésen esett át, négy cellakorrekcióval. Az országos kép és a ciklikussági összevetés forrása a vízügyi szolgálat nyilvános adatportálja (data.vizugy.hu): a teljes talajvízkút-törzsadat (2030 kút, ebből 2003 üzemelő) és a kutak 1960–2026-os talajvízállás-sorai, lekérve 2026. október 12-én, havi mediánra sűrítve. Saját számítás: a 2001–2026-os augusztusi szintre kútként Theil–Sen-mereedség (legalább huszonkét év, a 2026-os érték kötelező); a ciklikussági összevetés négy tizenhárom éves ablakban (1975–1987, 1988–2000, 2001–2013, 2014–2026), ablakonként a legmagasabb évi átlagszinttel (legalább nyolc havi értékből képzett évi átlag, ablakonként legalább kilenc év). A 25 cm-es eltérési határ önkényes; 10 és 50 cm között a 2014–2026-os ablakban a Dunától keletre a kutak 60–96 százaléka marad a korábbi csúcs alatt, és legfeljebb 1 százaléka emelkedik fölé. A jellemző kutakat igazgatóságunként rögzített szabály választotta ki: a teljes, 52 éves sorú kutak közül az, amelynek a 2014–2026-os lemaradása legközelebb esik az igazgatóság mediánjához. Szignifikanciát nem állítunk, darabszámokat és mediánokat közlünk. ↩
75. Save, H., Bettadpur, S., Tapley, B. D. (2016): *High-resolution CSR GRACE RL05 mascons*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121, 7547–7569. DOI [10.1002/2016JB013007](https://doi.org/10.1002/2016JB013007); a felhasznált változat a CSR GRACE/GRACE-FO RL06.3 mascon-megoldás. Copernicus Climate Change Service (C3S): szárazföldi víztárolás-anomália műholdas gravimetriából, v1.0, 2002. április – 2025. szeptember (Climate Data Store, satellite-terrestrial-water-storage), letöltve 2026. szeptember 27-én. Saját számítás: közös 2004–2009-es bázis, a havi évszakos ciklus levonva, éves átlag legalább kilenc érvényes hónapból (2002, 2015, 2017 és 2018 ezért kimarad); töréspontvizsgálat Pettitt-próbával, négy sor, Bonferroni-korrektúrával ($p = 0,004-0,005$). A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩
76. Vízügyi szolgálat (Országos Vízügyi Főigazgatóság), vízrajzi adatszolgáltatás (data.vizugy.hu): napi vízhozam és vízállás, 2000. január 1. – 2026. szeptember 27., hét vízmérce: Gyula, Békés, Körösszakál, Gyoma, Kunszentmárton, Berettyóújfalu, Makó; lekérve 2026. szeptember 28-án. Saját számítás: a június–szeptemberi napi értékek évi átlaga, legalább száznapi lefedettséggel. Berettyóújfalu 2026-os vízhozama hiányzik, ezért a rangsor hat vízmércére épül. A nyilvántartott legkisebb vízállás a vízügyi törzsadat értéke. Gyománál a napi vízhozam egyes napokon negatív (visszaáramlás a duzzasztónál). Trendbecslés nem készült. 2026-ra a szeptember 27-ig tartó adat vonatkozik. ↩
77. A vízügyi szolgálat talajvízkút-adatai (data.vizugy.hu), január és augusztus havi átlagok 2001–2026, kútkénti lineáris ütem. A Körös–Sárrét 21 kútja a hat tájegységi összevetés kiválasztásából származik (minden évben mindkét hónapban mért kutak). A zalai 19 és a zalai–vasi 25 kút a teljes vízügyi kútjegyzékből való, legfeljebb két hiányzó havi értékkel; a hat tájegység szigorúbb kiválasztási szabályát Zalában csak négy kút teljesíti, és azok is ugyanezt mutatják (egy süllyed, a medián $-2,9$ cm/évtized). A városi kutak (Zalaegerszeg, Nagykanizsa) emelkedése a vízkivétel csökkenését is tükrözheti; okozati állítást nem teszünk. ↩
78. KSH STADAT 19.1.2.4. (búza, a durumbúzával és a tönkölyvel együtt) és 19.1.2.5. (kukorica) tábla, megyei és regionális bontás, termésátlag, 2000–2025, frissítve 2026. június 30. 2020-tól a KSH a területi adatokat a használt terület fekvése szerinti megyéhez sorolja, korábban a gazdálkodó székhelye szerint. A 2021 utáni különbség a száraz évekhez kötődik, és 2023-ban szinte eltűnik, ezért nem valószínű, hogy a módszertani váltás hozza létre. 2026-os megyei adat még nincs. ↩

79. Saját számítás a hivatalos törzskút-hálózat rétegvízszintet mérő kódján, azon 102 kút országos csoportján, amely mind a huszonhat évet lefedi. A lazább, 137 kutas csoport illesztése lefedettségi műtermék – a hiányzó évek az időszak elejére esnek –, ezért nem idézhető. ↩
80. Saját számítás a hivatalos vízrajzi törzsadatbázisból: a vízállás-vízhozam összerendelés eltolódása közös időbélyegű párokból, sávonként, a 2008-ig és a 2019-től számított ablakra; az árvízi készültségi szintek ugyanezen törzsadat hivatalos I–III. fokú mezőiből (1193 állomásból 149–151 kitöltött; a nyolc vizsgált mércéből hétben). A saját, korábbi közelítő küszöbszámítást ez a hivatalos mező kiváltotta. ↩
81. Kew, S., Zachariah, M., Schumacher, D. L., Lakatos, M., Kovács, A., Erdődiné Molnár, Zs., Cheval, S., Dumitrescu, A., Otto, F. és mtsai (2026): *Increasingly hot Europe faces more Severe Droughts*. World Weather Attribution No. 87. DOI [10.25560/131401](https://doi.org/10.25560/131401). Három HungaroMet-társszerzővel. Módszertani megjegyzés: az attribúciós becslés a párolgási igény valamely mérőszámán nyugszik, ezért a II.2 telítésihiány-rétegével **módszertanilag rokon**, nem független bizonyíték. ↩
82. Taylor, R. G., Todd, M. C., Kongola, L., Maurice, L., Nahozya, E., Sanga, H., MacDonald, A. M. (2013): *Evidence of the dependence of groundwater resources on extreme rainfall in East Africa*. Nature Climate Change 3, 374–378. DOI [10.1038/nclimate1731](https://doi.org/10.1038/nclimate1731). Félzsáraz, homokos tanzániai vízgyűjtő: a talajvíz-utánpótlás túlnyomó része a legcsapadékosabb évszakok szélsőséges esőiből származik. ↩
83. Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR), „Ivóvízbázisok érzékenysége” rétegcsoporthoz; a HungaroMet térképi szolgáltatásából lekérdezve 2026. szeptember 21-én, a darabszámok saját összesítés. Módszertan: Rotárné Szalkai Á., Homolya E., Selmeczi P. (2015): *A klímaváltozás hatása az ivóvízbázisokra*. Kutatási jelentés, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 2015. december 15.; Rotárné Szalkai Á., Fejes L., Selmeczi P. (2020): *A települések ivóvízellátásának klíma-sérülékenysége Magyarországon kiemelt víziközmű-szolgáltatói esetekben*. Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat. A 2015-ös jelentés feldolgozása cím- és tartalomjegyzék-szintű, a 2020-as jelentés teljes szövege feldolgozva (webes közzététel, 2026. szeptember 21-i lekérés); a darabszámok a térképi rétegből valók, és a szöveg jelzi, ahol a jelentés táblázata ettől eltér. ↩
84. NATÉR, „A CARPATCLIM-HU adatbázis alapján számított beszivárgási értékek 30 éves átlaga, 1975–2004” réteg; a HungaroMet térképi szolgáltatásából lekérdezve 2026. szeptember 21-én. A területarány saját számítás a réteg 15 161 poligonjából, gömbi közelítéssel (összterület 90 647 km²). ↩
85. NATÉR, „Minősített vízgyűjtők” réteg; a HungaroMet térképi szolgáltatásából lekérdezve 2026. szeptember 21-én, saját összesítés. A módszertanra: Turczi G., Homolya E., Mattányi Zs. (2016): *A magyarországi hegy- és dombvidéki területek villámárvíz veszélyeztetettsége*. In: a rendszer 2016-os tanulmánykötetete, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet; a tanulmány cím szerint azonosítva, a teljes szöveg nem olvasva. ↩
86. Páldy A., Bobvos J., Rudnai T. (2024): *A hőségriasztási rendszer felülvizsgálata és fejlesztése*. Egészségtudomány 67(1): 36–52. DOI [10.29179/EgTud.2024.1.36-52](https://doi.org/10.29179/EgTud.2024.1.36-52). Nyílt hozzáférésű, lektorált közlemény; a szerzők a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ munkatársai. **Forráskritika:** ez az érték nem intézményi adatközlésből, hanem lektorált közleményből származik – az „NNGYK-adat” attribúció, amely a sajtóban terjedt, pontatlan. A területi mintázatra és a nemzeti alkalmazkodási rendszer alapjául szolgáló vizsgálatra: Bobvos J., Málnási T., Rudnai T., Cserbik D., Páldy A. (2017): *The effect of climate change on heat-related excess mortality in Hungary at different area levels*. Időjárás 121(1): 43–62. ↩
87. A 2026. június végi hőhullámra vonatkozó megállapítás a hivatalos halálozási adatszolgáltatáson alapuló többlethalálozás-számításból származik; az adatok az adatgazda jelölése szerint előzetesek, és az elsődleges forrásból származó, aktualizált idősor beszerzése e kiadás lezárásakor még folyamatban van (l. Melléklet E). Ezért nem állítást, hanem minőségi leírást közlünk: az előzetes adatból jelentős többlet nem volt kimutatható, ez azonban nem bizonyítja a többlet hiányát. Nyugat-európai összehasonlító becslések ehhez az eseményhez e kiadásban nem szerepelnek, mert eltérő módszertanúak, és elsődleges forrásukat nem ellenőriztük. ↩

88. Huber, V., Breitner-Busch, S., Feldbusch, H., Frieler, K., He, C., Matthies-Wiesler, F., Mengel, M., Zhang, S., Peters, A., Schneider, A. (2025): *Improvements in life expectancy mask rising trends in heat-related excess mortality attributable to climate change*. Nature Communications 16, 11632. DOI [10.1038/s41467-025-66681-0](https://doi.org/10.1038/s41467-025-66681-0). ↩
89. Eurostat: *Deaths by week and sex* (demo_r_mwk_ts), letöltve 2026. szeptember 27-én; a 2025–2026-os hetek előzetes jelölésűek. Saját számítás: az alapvonal az adott naptári hét mediánja az előző öt, járványévnek nem számító évben; heti hőterhelés a hazai homogenizált rács országos napi maximumából. Az összefüggés névleges p-értéke igen kicsi, de egy nyár egymást követő hetei nem függetlenek, ezért a korrelációs együttható robusztus, a p-érték túlzó. A teljes nyári többlet az alapvonal megválasztására érzékeny, ezért hőségmutatóként nem használtuk. A forró napos hetek évenkénti összege utólagos, a számítás előtt nem rögzített, feltáró kiegészítés, a heti kapcsolat az előre rögzített eredmény. A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩
90. Janoš, T., Quijal-Zamorano, M., Shartova, N., Gallo, E., Méndez Turrubiates, R. F., Beltrán Barrón, N. D., Peyrusse, F. és mtsai (2025): *Heat-related mortality in Europe during 2024 and health emergency forecasting to reduce preventable deaths*. Nature Medicine 31: 4065–4074. DOI [10.1038/s41591-025-03954-7](https://doi.org/10.1038/s41591-025-03954-7). Országos értékek: 1. táblázat; korcsoportos értékek: kiegészítő táblázatok (Extended Data 3–4). A becslés a hőségnek tulajdonított, nem a megfigyelt többlethalálózást adja; a 2025. novemberi szerzői helyesbítés a számokat nem érinti. ↩
91. Központi Statisztikai Hivatal: *Demográfiai évkönyv*, 2011–2024, 6.2.6. tábla (A halálozások száma naponta); HungaroMet homogenizált napi középhőmérséklet-rács, 1233 rácpont országos egyszerű átlaga. Saját számítás: kvázi-Poisson regresszió elosztott késleltetésű nemlineáris taggal (Gasparrini, A., Armstrong, B., Kenward, M. G. (2010): *Distributed lag non-linear models*. Statistics in Medicine 29(21): 2224–2234. DOI [10.1002/sim.3940](https://doi.org/10.1002/sim.3940)); késleltetés 0–21 nap; időtrend 7 szabadságfok évente; a hét napja és a munkaszüneti napok kontrollja; 2011–2019 és 2023–2024, 3997 nap. A minimális halálozású hőmérséklet 21,9 °C. A 99. percentilisnél (27,2 °C) a 21 napos kumulált relatív kockázat 1,21 (95 %-os bizonytalansági sáv: 1,17–1,26), a 0–3 naposé 1,28. Az előrehozott hányad 0,23 (0,10–0,36), az időtrend 4 és 10 szabadságfokos változtatában 0,22–0,39. A hőségnek tulajdonított halálozás visszafelé számolt attribúció a 21,9 °C feletti napokra, 1000 szimulációból számolt empirikus bizonytalansági sávval; a mintabeli évek átlaga 1028, 2024-é 2287 (1876–2713). Az elemzési tervet a futtatás előtt rögzítettük. A független újraszámítás (más modellcsalád, saját kód, nyers adat) az előre rögzített elfogadási sávokon belül reprodukálta az eredményeket. A hideg oldali becslés nem tárgya az elemzésnek, ezért nem közöljük. ↩
92. Armstrong, B., Bell, M. L., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Leon Guo, Y. L., Guo, Y., Goodman, P. és mtsai (2017): *Longer-term impact of high and low temperature on mortality: an international study to clarify length of mortality displacement*. Environmental Health Perspectives 125(10): 107009. DOI [10.1289/EHP1756](https://doi.org/10.1289/EHP1756). 278 helyszín, 12 ország éves halálozási adatain. ↩
93. Központi Statisztikai Hivatal: *Demográfiai évkönyv 2024*, 6.2.27. tábla: X30 (természetes eredetű excesszív hőség által okozott ártalom), 22 férfi és 5 nő; 25 esetben boncolás állapította meg a halálokokot. ↩
94. Beck, T. M., Gudmundsson, L., Schumacher, D. L., Seneviratne, S. I., Achebak, H., Ballester, J. (2026): *Extreme event attribution for heat-related mortality due to anthropogenic climate change across Europe*. Nature Health, megjelent 2026. szeptember 7. DOI [10.1038/s44360-026-00193-z](https://doi.org/10.1038/s44360-026-00193-z). A magyar régiós (NUTS2) értékek saját kivonat a közlemény forrásadat-táblázatából (3. ábra: a 2022-es halálozási esemény valószínűségi aránya; 1. ábra d panel: a halálesetek hőségnek tulajdonítható hányada a 2022-es nyár legtöbb halálesettel járó hetén); a dél-európai 26,5 a közlemény összefoglalójából. A régiók mediánja nem országos becslés. ↩
95. Wu, X., Wang, J., Ge, Y., Lai, S., Zhang, D., Ren, Z., Wang, J. (2025): *Future heat-related mortality in Europe driven by compound day-night heatwaves and demographic shifts*. Nature Communications 16, 7420. DOI [10.1038/s41467-025-62871-y](https://doi.org/10.1038/s41467-025-62871-y). Az értékek az alkalmazkodás nélküli alapforgatókönyvre vonatkoznak. ↩

96. Hajdu, T. (2025): *Heterogeneous impacts of climate change on morbidity*. *Economics & Human Biology* 58: 101517. DOI [10.1016/j.ehb.2025.101517](https://doi.org/10.1016/j.ehb.2025.101517). A népesség véletlen 50 százalékos mintája, ambuláns sürgősségi esetek, 2009–2017; a hatás tizenegy napos kumulált értéke az 5–10 °C-os napokhoz képest. ↩
97. Páldy A., Rudnai T., Beregszászi T. (2024): Hőségtervek felmérése a hazai szociális, gyermekjóléti és gyermekvédelmi intézményekben (2019–2021). *Egészségtudomány* 67(1): 4–27. DOI [10.29179/EgTud.2024.1.4-27](https://doi.org/10.29179/EgTud.2024.1.4-27). Szociális intézmények (2052 intézmény): 2019-es felmérés; óvodák: 2021-es, bölcsődék: 2022-es felmérés. ↩
98. Layton, J. B. és mtsai (2020): Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic conditions. *PLoS One* 15(12): e0243665. DOI [10.1371/journal.pone.0243665](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243665). Idős Medicare-biztosítottak; a gyógyszer és a hőhullám között a szerzők szinergiát nem találtak. ↩
99. Chersich, M. F., Pham, M. D., Areal, A. és mtsai (2020): *Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: systematic review and meta-analysis*. *BMJ* 371: m3811. DOI [10.1136/bmj.m3811](https://doi.org/10.1136/bmj.m3811). A tartós kitettségre: Granés, L., Essers, E., Ballester, J. és mtsai (2024): *Early life cold and heat exposure impacts white matter development in children*. *Nature Climate Change* 14: 760–766. DOI [10.1038/s41558-024-02027-w](https://doi.org/10.1038/s41558-024-02027-w); Bonell, A. és mtsai (2024): Effect of heat stress in the first 1000 days of life on fetal and infant growth: a secondary analysis of the ENID randomised controlled trial. *Lancet Planetary Health* 8(10): e734–e743. DOI [10.1016/S2542-5196\(24\)00208-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00208-0) (Gambia, 12 hónapos kori növekedés, 90 napos kitettség); Adélaïde, L. és mtsai (2026): *Heat during pregnancy and reduced fetal growth*. *Environmental Science & Technology*. DOI [10.1021/acs.est.5c10602](https://doi.org/10.1021/acs.est.5c10602) (négy francia kohorsz, a terhesség 2–15. hete). Néhány napos hőség fejlődési hatását európai kohorsz nem igazolja. ↩
100. Fatima, S. H., Rothmore, P., Giles, L. C., Varghese, B. M., Bi, P. (2021): *Extreme heat and occupational injuries in different climate zones: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence*. *Environment International* 148: 106384. DOI [10.1016/j.envint.2021.106384](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106384). Hazai szabály: 3/2002. (II. 8.) SzCsM–EüM együttes rendelet 7. §, a 63/2023. (XII. 28.) GFM rendelettel módosítva. ↩
101. A nemzeti alkalmazkodási térinformatikai rendszer (NATÉR) és a HungaroMet KLIMADAT szolgáltatás adatrétegeinek metaadatai. A rendszer jogszabályi alapja a 94/2014. (III. 21.) Korm. rendelet. Az ablak- és referenciaidőszakok a szolgáltatás saját rétegleírásaiból. A 780 / 2000 / 5800 esetszám az alapul szolgáló vizsgálatból, változatlan sérülékenységi és népességi feltevés mellett. ↩
102. NATÉR, „1 °C-ra vonatkozó napi többlethalalozás kistérségi szinten, 2005–2014”, „Küszöbhőmérséklet kistérségi szinten, 2005–2014” és „Megbízhatósági kategória kistérségi szinten” réteg; a HungaroMet térképi szolgáltatásából lekérdezve 2026. szeptember 21-én, saját összesítés. A kistérségi rétegben a hiányzó értéket –888 jelöli, a statisztika ezek kizárásával készült. Az alapvizsgálat a 86. jegyzetben megnevezett hazai közlemény. ↩
103. KSH: *Népszámlálás 2022*, végleges adatok, 1.2.2.2. tábla (a háztartások korösszetétel szerint). • Eurostat: 2011-es népszámlálás, népesség korcsoport szerint, NUTS3 (cens_11ag_r3), és január 1-jei népesség korcsoport szerint, NUTS3 (demo_r_pjangrp3), letöltve 2026. szeptember 27-én. • Eurostat GISCO: NUTS 2021 határok, 1:1 millió. Saját számítás: a hazai rács minden pontja a tartalmazó megyéhez, a határvonalon kívül eső 129 pont a legközelebbi megyéhez rendelve; a személy-forrónap a megyei 75+ népesség és a forró napok megyei átlagos száma szorzatának országos összege; részekre bontás: népességhatás (népességváltozás × korábbi veszély), veszélyhatás (korábbi népesség × veszélyváltozás), kölcsönhatás. A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩
104. HungaroMet: KLIMADAT térinformatikai rendszer, 2.0 változat (2026. július 14.), városi réteg (SURFEX; Budapest kerületenként, Szeged); a szolgáltatás grafikus adattáblája (HungaroMet: KLIMADAT – grafikus adattábla, gis01.met.hu/server/rest/services/PROD_Klimadat/data_tables/MapServer/7), letöltve 2026. október 10-én. Megfigyelt harmincéves átlagok, 1996–2025, éves; mutatók: túl meleg éjszaka (napi minimum > 20 °C) és a KLIMADAT szóhasználatában hőségnap (napi maximum ≥ 30 °C). Az országos érték a szolgáltatás országos lehatárolású értéke. Saját kivonat. ↩

105. HungaroMet ODP, napi állomási megfigyelések (odp.met.hu/climate/observations_hungary/daily/, historical és recent), letöltve 2026. október 10-én. Állomások: Budapest belterület (44121, II. ker.), Lágymányos (44505, XI.), Állatkert (44167, XIV., 2016-tól), Újpest (44165, IV.), Pestszentlőrinc (44527, XVIII.); Szeged belterület (58102), Szeged külterület (58104, 58113, 58116: azonos helyszínen, állomászám-váltással). Trópusi éjszaka: napi minimum $> 20^{\circ}\text{C}$; 30°C -os nap: napi maximum $\geq 30^{\circ}\text{C}$; csak legalább 90 %-os nyári adatteljesességű évek; 2026: január 1. – október 9. Az állatkerti átlag 8, a szegedi belterületi 9 teljes évből áll (2024 hiányos). A 30°C -os napokra közölt különbség azokra a napokra vonatkozik, amelyeken a külterületen a napi maximum elérte a 30°C -ot (évenkénti átlagok átlaga). Pestszentlőrinc kertvárosi, nem vidéki állomás, ezért a budapesti különbség alsó becslés. Saját számítás. ↩
106. Pinke, Zs., Ács, T., Kalicz, P., Kern, Z., Jámbo, A. (2024): *Hotspots in the EU-27 and Economic Consequences of the 2022 Spring–Summer Drought*. EuroChoices 23(1): 28–33. DOI [10.1111/1746-692X.12423](https://doi.org/10.1111/1746-692X.12423). ↩
107. AKI Agrárközgazdasági Intézet: *A mezőgazdasági kockázatkezelési rendszer működésének értékelése sorozat*, 2013–2024 (a 2018-ig megjelent kötetek címe: *Az agrár-kockázatkezelési rendszer működésének értékelése*); a 2022–2024-es számok a 2024-es kötet 3. táblázatából (DOI [10.7896/ai2504](https://doi.org/10.7896/ai2504)), a korábbi évek a soron következő kötetek revideált értékei, MÁK- és KMTR-adatok alapján. 2012 és 2024 között a kifizetett kárenyhítő juttatás 162,8 milliárd forint. A kötetek a biztosítói kártérítés veszélynemenkénti bontását csak ábrán közlik. ↩
108. Állami Számvevőszék (2024): *Jelentés. A nemzeti agrárkár-enyhítés során megítélt támogatásokhoz kapcsolódó folyamatok megfelelőségének, a nemzeti agrárkár-enyhítési rendszer működésének ellenőrzése*. 24157. A jelentés szerint a mezőgazdasági kockázatkezelési adatbázisra épülő vezetői információs rendszer nem szolgálja a szakpolitikai döntések megalapozását, és a jogszabályban előírt éves, megyei és káreseménytípusonkénti összesítés nem készült el. A 2022-es kárenyhítési évben a jogosnak ítélt kárenyhítő juttatás 80 százalékat fizették ki. ↩
109. Pinke, Zs., Decsi, B., Kozma, Zs., Vári, Á., Lövei, G. L. (2020): *A spatially explicit analysis of wheat and maize yield sensitivity to changing groundwater levels in Hungary, 1961–2010*. Science of the Total Environment 715, 136555. DOI [10.1016/j.scitotenv.2020.136555](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136555). 283 talajvízkút napi sora, megyei hozam-adatok, két huszonöt éves ablak (1961–1985 és 1986–2010). A hozamsort első differenciás eljárással trendmentesítik, hogy az agrotechnológiai fejlődés hatását kivegyék, a regressziós együtthatókat bootstrap-újramintavétellel tesztelik. A közlemény önmagán belül eltér: az összefoglaló a magyarázott varianciahányadot 18–38 %-ra, a vitafejezet 10–38 %-ra teszi. Ezért a tartomány felső, mindkét helyen azonos végét nevezzük meg, az alsót bizonytalanul. ↩
110. Pinke, Zs., Decsi, B., Demeter, G., Kalicz, P., Kern, Z., Ács, T. (2024): *Continental lowlands face rising crop vulnerability: structural change in regional climate sensitivity of crop yields, Hungary (Central and Eastern Europe), 1921–2010*. Regional Environmental Change 24, 33. DOI [10.1007/s10113-024-02192-w](https://doi.org/10.1007/s10113-024-02192-w). Hat homogenizált állomási sor, rácsponti potenciális párolgás, megyei hozam; három egymást nem átfedő harmincéves ablak, négy bioklimatikus régió, első differenciás trendmentesítés, bootstrap-konfidenciaintervallum. A szerzők maguk jelzik a korlátot, hogy havi átlagokkal dolgoznak, miközben néhány napnyi szélsőség a hozamvariancia nagyobb részét magyarázhatja. ↩
111. Kern, A., Barcza, Z., Marjanović, H., Árendás, T., Fodor, N., Bónis, P., Bognár, P., Lichtenberger, J. (2018): *Statistical modelling of crop yield in Central Europe using climate data and remote sensing vegetation indices*. Agricultural and Forest Meteorology 260–261, 300–320. DOI [10.1016/j.agrformet.2018.06.009](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.009). Többszörös lineáris regresszió négy kultúrára, 2000–2016. Prediktorai a meteorológiai reanalízis havi mezői és a talajnedvesség, továbbá az éves műtrágya-felhasználás a trend kivételére. A magyarázott variancia keresztvalidált, tehát nem a tanulóhalmazon mért illeszkedés. A forrást csak a metaadatok és az összefoglaló szintjén dolgoztuk fel, a teljes szöveget nem olvastuk, ezért a számok csak ezzel a megszorítással idézhetők. ↩

112. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. közleményei (2026. július 27. – augusztus); sajtóban: Telex (2026. július 28.), bne IntelliNews az MTI alapján (2026. július 30.), Economx az Országos Atomenergia Hivatal adataival (2026. augusztus 1.), Economx (2026. augusztus 6. és 31.). A leállás legsúlyosabb szakaszáról a beszámolók eltérnek. Az augusztus 6-i cikk mind a négy blokk leállításáról, az augusztus 31-i három blokk leállításáról és egy blokk félteljesítményű üzeméről ír. Közvetített forrás, az elsődleges üzemi adatsor (OAH, MAVIR) alapján pontosítandó. ↩
113. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Vigadó téri vízmérce; sajtóban: a 2018. október 25-i 33 cm-es negatív rekord megdőlése (Pénzcentrum, 2026. július 29.), a 0 cm elérése (a Fővárosi Vízművek közlése, Economx, 2026. szeptember 9.); a –1 cm-es új mélypont és az október eleji további apadás az Országos Vízügyi Főigazgatóság közlése (Telex, 2026. október 2.). A mérce alappontja nem a meder alja, 3 cm-es vízállásnál is mintegy 695 m³/s víz folyt át Budapesten. ↩
114. Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kormányhivatal: BO/32/02197-47/2025. számú határozat az MVM TISZA Erőmű Kft. tiszaújvárosi telephelyének egységes környezethasználati engedélyéről (2025. április), 53. o. ↩
115. VAHAVA-jelentés (2010): *Klímaváltozás és Magyarország: a veszély mérséklése és a hatásokra való felkészülés*. MTA – Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium közös kutatási program zárójelentése. Azért nevezzük meg, mert ez az egyetlen azonosított hivatalos magyar makroszintű becslés, nem pedig azért, mert időszerű. ↩
116. Fazekas, D., Goldman, M., Kőműves, Zs., Pavelka, A. (2021): *Climate impact assessment: Impacts of climate change scenarios on the Hungarian economy*. Zárójelentés a Magyar Nemzeti Bank részére, Cambridge Econometrics, Budapest, 2021. május. A tanulmány a jegybank belső klímastressztesztjéhez készült bemenetként. A szélsőséges időjárási események hatása a tanulmány tárgykörén kívül esik (5. fejezet). ↩
117. A forráslánc visszavezetése a projekt belső dokumentációjában, 2026. augusztus 25-i és 27-i elemzés. Az eredeti becslés vízszűkös régiókra vonatkozik, illetve ökoszisztéma-szolgáltatási kockázattérket mér – a földrajzi hatókör és a mért mennyiség is eltér attól, amire a hazai idézetek használnak. ↩
118. European Environment Agency: *Economic losses from climate-related extremes in Europe, 1980–2024* (adatkiadás, 2025. negyedik negyedéves revízió), országos és éves bontás, 2024-es árak; az alapadat a CATDAT-adatbázisból származik. Letöltve 2026. szeptember 27-én. ↩
119. KSH STADAT 19.1.1.18. tábla: *Fontosabb szántóföldi növények termésátlaga*, kg/hektár, 1990–2025. Saját számítás: termésátlag-eltérés a centrált hétéves gördülő mediánhoz (a sor szélén legalább négy évből); nyári indexek a hazai homogenizált rácsból. A kilenc tesztből, Bonferroni-korrekcióval ($p < 0,0056$), a kukorica mindhárom kapcsolata $p \leq 0,00002$ értékkel teljesíti a küszöböt, a búzáé és a napraforgóé egyike sem. Az E-OBS adatbázissal számolva a kukorica-együtthatók –0,68, –0,65 és +0,61. A számítást független ellenőrzés megismételte. ↩
120. Az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontjának aszálykár-modellezése (PESETA IV, 7. feladat, 2020) és az Európai Aszálykockázati Atlasz (2024). Ezeket nagyságrendként kezeljük. Magyar tervezési értéként használva behoznák azt a modell-konzervativizmust, amelynek dokumentálására a H.2 pont épül. ↩
121. 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról (Vgtv.), 15. § (4)–(6). ↩
122. Forster, P. M. és mtsai (2026): *Indicators of Global Climate Change 2025: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence*. Earth System Science Data 18, 3889–3933. DOI 10.5194/essd-18-3889-2026. (Az elemzés korábbi kiadásai a vitaanyagot idézték, DOI 10.5194/essd-2026-287. A végleges cikk 2026. június 11-én jelent meg.) Az AR6 módszertanát követő, évente frissített mutatókészlet; a 2025-ös kiadás új tengeri hóhullám-mutatót vezet be, és a 2023–2025-ös rendkívüli meleget külön értékeli. A szerzők kifejezetten jelzik, hogy a mutatók mögötti megfigyelési infrastruktúra veszélyben van. ↩

123. Mauritsen, T., Tsushima, Y., Meyssignac, B., Loeb, N. G., Hakuba, M. és mtsai (2025): *Earth's Energy Imbalance More Than Doubled in Recent Decades*. AGU Advances. DOI [10.1029/2024AV001636](https://doi.org/10.1029/2024AV001636). Negyven-négyszerző, gyakorlatilag az összes érintett modellező- és megfigyelőközpont. A becslés műholdas sugárzásmérésből származik, óceáni hőtartalom-mérésekkel keresztellenőrizve – a két, egymástól független út egyezése adja az érték bizonyító erejét. A közlemény mechanizmust nem javasol, megfigyelési, nem pedig magyarázó állítást tesz. ↩
124. Loeb, N. G., Thorsen, T. J., Kato, S., Rose, F. G., Hodnebrog, Ø., Myhre, G. (2025): *Emerging hemispheric asymmetry of Earth's radiation*. PNAS. DOI [10.1073/pnas.2511595122](https://doi.org/10.1073/pnas.2511595122). · Ceppi, P., Wilson Kemsley, S., Andersen, H., Andrews, T., Kramer, R. J., Nowack, P., Wall, C. J., Zelinka, M. D. (2026): *Emerging low-cloud feedback and adjustment in global satellite observations*. Atmospheric Chemistry and Physics 26, 4153. DOI [10.5194/acp-26-4153-2026](https://doi.org/10.5194/acp-26-4153-2026). A húszéves ablakértékek és a két csatorna ütembecslése a 122. jegyzetben megnevezett mutatókészlethől (6. szakasz, 4. táblázat). ↩
125. von Schuckmann, K. és mtsai (2020): *Heat stored in the Earth system: where does the energy go?* Earth System Science Data 12, 2013–2041. DOI [10.5194/essd-12-2013-2020](https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020). · Cheng, L. és mtsai (2024): *New Record Ocean Temperatures and Related Climate Indicators in 2023*. Advances in Atmospheric Sciences. ↩
126. Cheng, L., Li, G., Long, S. M. és mtsai (2025): *Ocean stratification in a warming climate*. Nature Reviews Earth & Environment 6, 637–655. DOI [10.1038/s43017-025-00715-5](https://doi.org/10.1038/s43017-025-00715-5). · Liu, F., Song, F., Luo, Y. (2024): *Human-induced intensified seasonal cycle of sea surface temperature*. Nature Communications 15, 3948. DOI [10.1038/s41467-024-48381-3](https://doi.org/10.1038/s41467-024-48381-3). A mechanizmus az, hogy a vékonyodó keveredési réteg csökkenti a felső óceán hőtehetetlenségét, így ugyanaz a felszíni energiamérleg nagyobb felszíni hőmérséklet-változást ad. ↩
127. Li, Z., England, M. H., Groeskamp, S. (2023): *Recent acceleration in global ocean heat accumulation by mode and intermediate waters*. Nature Communications 14, 6888. DOI [10.1038/s41467-023-42468-z](https://doi.org/10.1038/s41467-023-42468-z). · Johnson, G. C., Purkey, S. G. (2024): *Refined estimates of global ocean deep and abyssal decadal warming trends*. Geophysical Research Letters 51, e2024GL111229. DOI [10.1029/2024GL111229](https://doi.org/10.1029/2024GL111229). ↩
128. Pan, Y., Cheng, L. és mtsai (2026): *Ocean Heat Content Sets Another Record in 2025*. Advances in Atmospheric Sciences. DOI [10.1007/s00376-026-5876-0](https://doi.org/10.1007/s00376-026-5876-0). A 2025-ös tengerfelszíni hőmérséklet a mérési sor harmadik legmelegebbje, a 2024-esnél alacsonyabb értéket a La Niña-viszonyok magyarázzák. ↩
129. Smith, C., Walsh, T., Gillett, N., Hauser, M. és mtsai (2026): *Indicators of Global Climate Change 2025 – effektív sugárzási kényszer idősor, 1750–2025* (ClimateIndicator/forcing-timeseries adatközlemény), a 122. jegyzetben megnevezett mutatókészlet kényszer-adatrétege. Zenodo DOI [10.5281/zenodo.20708818](https://doi.org/10.5281/zenodo.20708818). Az évtizedes átlagok saját számítás az aerosol és az anthro aggregátumból, az anthro aggregátum a napsugárzási és a vulkáni tag nélkül értendő. Egység W/m², referencia 1750. ↩
130. Samset, B. H. és mtsai (2025): *East Asian aerosol cleanup has likely contributed to the recent acceleration in global warming*. Communications Earth & Environment 6, 543. DOI [10.1038/s43247-025-02527-3](https://doi.org/10.1038/s43247-025-02527-3). Regionális aeroszol-modellösszehasonlítási kísérlet (RAMIP) többmodelles futásai. A címet e kiadásban tartalmi leírás helyettesíti, a hivatkozás DOI-szinten ellenőrzött. ↩
131. Az okok szétválasztásának forrásai: Yuan, T. és mtsai (2024): *Abrupt reduction in shipping emission as an inadvertent geoengineering termination shock produces substantial radiative warming*. Communications Earth & Environment 5, 281. DOI [10.1038/s43247-024-01442-3](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01442-3); Gettelman, A. és mtsai (2024): *Has Reducing Ship Emissions Brought Forward Global Warming?* Geophysical Research Letters 51(15), e2024GL109077. DOI [10.1029/2024GL109077](https://doi.org/10.1029/2024GL109077); Zhang, J., Chen, Y.-S., Gryspeerdt, E., Yamaguchi, T., Feingold, G. (2025): *Radiative forcing from the 2020 shipping fuel regulation is large but hard to detect*. Communications Earth & Environment 6:18. DOI [10.1038/s43247-024-01911-9](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01911-9). A magyarázatlan maradékra: Schmidt, G. (2024): *Climate models can't explain 2023's huge heat anomaly*. Nature 627: 467. DOI [10.1038/d41586-024-00816-z](https://doi.org/10.1038/d41586-024-00816-z). ↩

132. Hansen, J. E. és mtsai (2023): *Global warming in the pipeline*. Oxford Open Climate Change. DOI [10.1093/oxfclm/kgad008](https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008). Az IPCC AR6 hatályos legjobb becslése ezzel szemben 3 °C (valószínű tartomány 2,5–4). A vitát bemutatjuk, de nem döntjük el. A magasabb becslések a fő szöveg egyetlen értékét sem befolyásolják. E pontban két hivatkozási alap hiányzik, és ezt jelezzük: az alacsony érzékenységi műholdas kizárása a 124. jegyzetben megnevezett felhő-visszacsatolási munkákra épül, de a konkrét 2,5 °C-os küszöbhez tartozó elsődleges hivatkozás e kiadásban nincs megadva. A paleoklimatológiai 4–5,3 °C-os tartomány forrása és évjárata szintén hiányzik. Mindkettő a következő kiadásig pótolandó – addig a két állítás irodalmi utalás, nem hivatkozott érték. ↩
133. O'Sullivan, M. és mtsai (2026): *An improved approach to estimate the natural land carbon sink*. npj Climate and Atmospheric Science 9, 29. DOI [10.1038/s41612-025-01302-7](https://doi.org/10.1038/s41612-025-01302-7). A korrekció a 2015–2024-es időszakra $3,00 \pm 0,94$ -ről $2,42 \pm 0,77$ PgC/évre viszi a természetes szárazföldi nyelőt. ↩
134. Friedlingstein, P., Le Quéré, C., O'Sullivan, M., Hauck, J. és mtsai (2026): *Emerging climate impact on carbon sinks in a consolidated carbon budget*. Nature 649: 98. DOI [10.1038/s41586-025-09802-5](https://doi.org/10.1038/s41586-025-09802-5). Ugyaninnen: a légköri szén-dioxid 2024-ben 423 ppm; az óceáni nyelő mintegy 15 %-kal nagyobb a szárazföldinél. ↩
135. Koncentráció- és növekményadatok: NOAA Global Monitoring Laboratory, globálisan átlagolt tengerfelszíni mérési hálózat (gml.noaa.gov). **Forráskritika:** ugyanarra az évre a különböző hivatalos feldolgozások eltérő éves növekményt adnak (2023-ra 8,7, illetve 11,1 ppb) – más termék, más átlagolási eljárás. A szint robusztus, a növekmények viszont közvetlenül nem vethetők össze, ezért e kiadásban tartományt közlünk. ↩
136. Zhang, Z., Poulter, B., Wang, Z., Bruhwiler, L., Canadell, J. G. és mtsai (2026): *Emergent constraints on future methane emissions from global wetlands*. Nature Geoscience 19(6): 654–659. DOI [10.1038/s41561-026-01987-2](https://doi.org/10.1038/s41561-026-01987-2). Hét szárazföldi bioszféra-modell modellegyüttése, 163 állomás-évnvi közvetlen fluxusméréssel szűkítve. A szűkítés a 2090-es évekre 120–475-ről 218–388 Tg/évre viszi a tartományt. A címet e kiadásban tartalmi leírás helyettesíti, a hivatkozás DOI-szinten ellenőrzött. A szerzők maguk jelzik a korlátot, hogy a szűkítést adó mérések zöme közepes és magas földrajzi szélességről származik, a becsült növekmény mintegy 68 %-a viszont trópusi. ↩
137. Fischer, E. M., Sippel, S., Knutti, R. (2021): *Increasing probability of record-shattering climate extremes*. Nature Climate Change. DOI [10.1038/s41558-021-01092-9](https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9). · Kotz, M., Lange, S., Wenz, L., Levermann, A. (2023): *Constraining the Pattern and Magnitude of Projected Extreme Precipitation Change in a Multi-model Ensemble*. Journal of Climate. · Bevacqua, E., Fischer, E. M., Sillmann, J., Zscheischler, J. (2026): *Moderate global warming does not rule out extreme global climate outcomes*. Nature 651(8107): 946–953. DOI [10.1038/s41586-026-10237-9](https://doi.org/10.1038/s41586-026-10237-9). ↩
138. MacDougall, A. H. és mtsai (2020): *Is there warming in the pipeline? A multi-model analysis of the Zero Emissions Commitment from CO₂*. Biogeosciences 17, 2987–3016. DOI [10.5194/bg-17-2987-2020](https://doi.org/10.5194/bg-17-2987-2020). · Palazzo Corner, S. és mtsai (2023): *The Zero Emissions Commitment and climate stabilization*. Frontiers in Science 1. DOI [10.3389/fsci.2023.1170744](https://doi.org/10.3389/fsci.2023.1170744). Az IPCC AR6 értékelése: $0 \pm 0,3$ °C, a jel irányában alacsony megbízhatósággal. A tizennyolc modellt futtató ZECMIP-kísérletben az ötven év múlva várt hőmérsékletváltozás modellek közötti tartománya –0,36 és +0,29 °C. A fenti $\pm 0,3$ °C az AR6 értékelt tartománya, nem a kísérleti szórás. ↩
139. Sanderson, B. M. és mtsai (2026): *Decomposition of the Zero Emissions Commitment into thermal warming pipeline and carbon buffering components*. EGUsphere, DOI [10.5194/egusphere-2026-1875](https://doi.org/10.5194/egusphere-2026-1875). **Előzetes közlemény, lektorálás alatt** – a belőle idézett értékek tájékoztató nagyságrendek, nem lektorált hivatkozások. Tíz földrendszermodell a flat10 kísérletsorozatból, ezek közül nyolc szénciklus-vezérelt (negatív ZEC), kettő hővezérelt (pozitív). ↩
140. Trust, S., Saye, L., Bettis, O., Bedenham, G., Hampshire, O., Lenton, T. M., Abrams, J. F. (2025): *Planetary Solvency – finding our balance with nature*. Global risk management for human prosperity. Institute and Faculty of Actuaries és University of Exeter, 2025. január. A jelentés szerint a kockázatkezelés a tudományos megközelítéstől abban tér el, hogy a legvalószínűbb kimenet mellett a lehetséges legrosszabb esetet és annak esélyét is becsli. A becslések eltérése esetén azt tartja óvatosnak, ha a legmagasabb kárbecslés az irányadó, amíg bizonyíték nem igazolja, hogy az túlzó. ↩

141. Foster, G., Rahmstorf, S. (2026): *Global warming has accelerated significantly*. Geophysical Research Letters 53, e2025GL118804. DOI [10.1029/2025GL118804](https://doi.org/10.1029/2025GL118804). Az adatsoronkénti ütem: NASA 0,36, NOAA 0,36, HadCRU 0,34, Berkeley Earth 0,36, ERA5 0,42 °C/évtized. Saját számításunk: $1,37\text{ °C} + 0,27\text{ °C/évtized} \times 2,5\text{ évtized} \approx 2,0\text{ °C}$; a 0,34-es ütemmel $\approx 2,2\text{ °C}$, a 0,42-essel $\approx 2,4\text{ °C}$. A továbbvezetés az emberi eredetű melegedés szintjét viszi tovább, míg a két gyorsabb ütem a természetes ingadozásoktól megtisztított teljes melegedésből származik. A vegyes módszertan az elemzés egyszerűsítése. • IPCC (2021): *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, 3–32. DOI [10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001). A hőmérsékleti értékek a Table SPM.1 táblázatból, a forgatókönyvek leírása a Box SPM.1 keretes írásból. ↩
142. WMO (2026): *WMO Global Annual to Decadal Climate Update 2026–2035*. Meteorológiai Világszervezet, Genf, 2026. május 28. • Climate Change Committee (2026): *A Well-Adapted UK: The Fourth Independent Assessment of UK Climate Risk (CCRA4-IA)*. London, 2026. május 20.; a 2 °C-os tervezési feltevés és a 4 °C-ra vonatkozó figyelmeztetés a vezetői összefoglaló 14–15. oldalán. • Trust, S., Bettis, O., Orr, J., Abrams, J. F. és mtsai (2026): *Parasol Lost: Recovery plan needed. Global risk management for human prosperity*. Institute and Faculty of Actuaries, 2026. január. A jelentés szerint a 2 °C fölötti melegedés akkor valószínű, ha a pálya nem változik. A 3 °C fölöttihez 2050-ig magas éghajlati érzékenység és tartós gyorsulás együtt kellene. A jelentés a szerzők álláspontját közli. ↩
143. A szénköltésgvetés forrása a 122. jegyzetben megnevezett mutatókészlet (Forster és mtsai 2026) 8. táblázata: 1,5 °C-ra 130, 1,7 °C-ra 500, 2,0 °C-ra 1050 GtCO₂, 50 százalékos valószínűséggel. Saját számításunk: $130 / 42 \approx 3$, $500 / 42 \approx 12$, $1050 / 42 = 25$ év. • UNEP (2025): *Emissions Gap Report 2025: Off Target*. ENSZ Környezetvédelmi Programja, Nairobi; sajtóközlemény: 2025. november 4.; az értékek a jelentés vezetői összefoglalójából, 66 százalékos valószínűséggel tartható szintek. • Climate Action Tracker (2025): *Warming Projections Global Update, November 2025*. A vállalt hozzájárulások sora a CAT-nál a vállalások és célok (pledges and targets) forgatókönyve, a nettó zéró sor pedig az optimista forgatókönyv, amely minden bejelentett célt, a nettó zéró célokat is, teljesülőnek tekint. • IEA (2025): *World Energy Outlook 2025*. Nemzetközi Energiaügynökség, Párizs; a hőmérsékleti értékek forrása: Evans, S., Nam, H. W. (2025): IEA: Fossil fuel use will peak before 2030 unless stated policies are abandoned. Carbon Brief, 2025. november 12. Az ábrán a jelenlegi politikák (CPS) forgatókönyve szerepel. • Hausfather, Z. (2025): *An assessment of current policy scenarios over the 21st century and the reduced plausibility of high-emissions pathways*. Dialogues on Climate Change 2(1): 26–32. DOI [10.1177/29768659241304854](https://doi.org/10.1177/29768659241304854). A jelenlegi politikák mediánja (2,7 °C) a 27–28. oldalról, más kategóriára a cikk értéket nem közöl. • UNFCCC (2025): *2025 NDC Synthesis Report*. FCCC/PA/CMA/2025/8, 2025. október 28.; az új vállalások saját csökkentése 17 (11–24) százalék. A globális 12 százalék a 2025. november 10-i frissítésből, 113 fél vállalása alapján. A 2 °C-hoz és az 1,5 °C-hoz szükséges csökkentés az UNEP-jelentésből. • UNEP (2026): *Limiting Overshoot: Navigating exceedance of 1.5°C and pathways towards return*. ENSZ Környezetvédelmi Programja, Nairobi. DOI [10.59117/20.500.11822/49857](https://doi.org/10.59117/20.500.11822/49857). A tetőzés késlekedés miatti emelkedése az 1.1. pontból (14. o.); a megvalósíthatatlanná vált pályák, a 2,6 és az 1,8 °C, valamint a 20 százalékos esély az 1.2. pontból (17. o.); az 1,6–1,8 °C-os legszigorúbb pályák a 3.2. pontból (50. o.). A 2,6 és az 1,8 °C közéérték, az 1,6–1,8 °C 50 százalékos valószínűségre vonatkozik. ↩
144. Engels, A., Marotzke, J., Gonçalves Gresse, E., López-Rivera, A., Pagnone, A., Wilkens, J. (szerk.) (2023): *Hamburg Climate Futures Outlook 2023. The plausibility of a 1.5°C limit to global warming – Social drivers and physical processes*. Cluster of Excellence Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS), Universität Hamburg. DOI [10.25592/uhhfdm.11230](https://doi.org/10.25592/uhhfdm.11230). ↩

145. Palazzo Corner, S. és mtsai (2023): *The Zero Emissions Commitment and climate stabilization*. Frontiers in Science 1. DOI [10.3389/fsci.2023.1170744](https://doi.org/10.3389/fsci.2023.1170744); a 15 százalékos érték és a permafrosztra, tőzre vonatkozó megállapítás innen származik. Ugyanez a forrás jelzi, hogy a növényzet terjedése a permafroszt szénvesztését ellensúlyozhatja, és mindkét folyamat nagyon bizonytalan. · Lee, H., Kug, J.-S., Shin, Y., Lee, D.-G., Goris, N., Fröh, F., Tjiputra, J. F., Bourgeois, T., Schwinger, J. (2026): *Enhanced carbon loss in the Southern Ocean under mitigation scenarios*. Science Advances 12(36), eade9228. DOI [10.1126/sciadv.aee9228](https://doi.org/10.1126/sciadv.aee9228). Egyetlen földrendszermodell idealizált kísérlete, amelyben a kibocsátás 2050-ig a legmagasabb kibocsátási pályán (SSP5-8.5) nő, majd 2123-ra szűnik meg. Az óceán szénfelvétele a kibocsátás megszűnése után évi mintegy 0,5 milliárd tonna szén, a mai mintegy 2 milliárd tonnával szemben. · Frenger, I. és mtsai (2025): *Southern Ocean Heat Burp in a Cooling World*. AGU Advances 6(5), e2025AV001700. DOI [10.1029/2025AV001700](https://doi.org/10.1029/2025AV001700). Közepes bonyolultságú modellben a Déli-óceán több évszázadnyi nettó negatív kibocsátás után hirtelen adja le a felhalmozott hőt. A cikket a kiadói összefoglaló alapján dolgoztuk fel. · UNEP (2026), l. 143. jegyzet; a visszahűlés üteme és az eltávolítás mértéke az 1.4. pontból (20. o.), a néhány tized fok a vezetői összefoglalóból (6. o.), az alkalmazkodás méretezése az 1. fejezet bevezetőjéből (13. o.). ↵
146. Copernicus Climate Change Service, WMO (2026): *European State of the Climate 2025*. 2026. április. Az európai értékek csak szárazföldre vonatkoznak. ↵
147. Megyeri-Korotaj, O. (2024): *A jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálata és a 21. században várható változások Magyarországon*. Előadás, HungaroMet klímainformációs műhely, 2024. június 27. (előadás; bibliográfiai adata részlegesen ellenőrzött). A bemutató jelzi, hogy az 1–1,5 °C két időszakátlag különbsége, nem a 2050-re várható változás. · OMSZ, ELTE (2010): *Összefoglaló Magyarország éghajlatának várható alakulásáról*. Országos Meteorológiai Szolgálat és Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. ↵
148. OECD (2026): *Water Governance for Climate Resilience in Hungary*. OECD Publishing, Párizs, 2026. január. Az Alföldre vonatkozó becslés forrása Mezősi, G. és mtsai (2014): *Climate Change Impacts on Environmental Hazards on the Great Hungarian Plain, Carpathian Basin*. International Journal of Disaster Risk Science 5(2): 136–146. DOI [10.1007/s13753-014-0016-3](https://doi.org/10.1007/s13753-014-0016-3), az OECD-jelentésen keresztül idézve. · Magyar Nemzeti Bank (2026): *Zöld pénzügyi jelentés 2026*. Budapest. ↵
149. Hydrological Atlas of Switzerland, 6.4 tábla: *The Hydrological Significance of the European Alps*, magyarázó szöveg, 3. táblázat (hydrologicalatlas.ch; évszám nélküli webes forrás, bibliográfiai adata részlegesen ellenőrzött). · Weber, M., Braun, L., Mauser, W., Prasch, M. (2010): *Contribution of rain, snow- and icemelt in the upper Danube discharge today and in the future*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 33(2): 221–230. A szerzők szerint Passaunál a jégolvadék részesedése 2030 után elhanyagolható lesz. · Huss, M. (2011): *Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe*. Water Resources Research 47(7). DOI [10.1029/2010WR010299](https://doi.org/10.1029/2010WR010299). ↵
150. Zekollari, H., Huss, M., Farinotti, D. (2019): *Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble*. The Cryosphere 13: 1125–1146. DOI [10.5194/tc-13-1125-2019](https://doi.org/10.5194/tc-13-1125-2019). · Cook, S. J., Juvet, G., Millan, R., Rabatel, A., Zekollari, H., Dussaillant, I. (2023): *Committed Ice Loss in the European Alps Until 2050 Using a Deep-Learning-Aided 3D Ice-Flow Model With Data Assimilation*. Geophysical Research Letters 50(23), e2023GL105029. DOI [10.1029/2023GL105029](https://doi.org/10.1029/2023GL105029). · Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G. és mtsai (2021): *Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019*. The Cryosphere 15: 1343–1382. DOI [10.5194/tc-15-1343-2021](https://doi.org/10.5194/tc-15-1343-2021); több mint 800 állomás novembertől májusig számított átlaga. · GLAMOS – Glacier Monitoring Switzerland, SCNAT Krioszféramegfigyelési Bizottság (2026): *Annual mass balance of Swiss glaciers in 2025/2026*, közzétéve 2026. október 1. (glamos.ch). Az éves veszteség a svájci jégtérfogatra vonatkozik, amely az alpesi jég mintegy felét adja; a Duna-vízgyűjtő osztrák gleccsereire külön éves térfogatmérleg nem jelenik meg, az Alpenverein éves Gletscherberichtje hosszváltozást közöl. A 2022-es (mintegy 6 százalék) és 2023-as (mintegy 4 százalék) veszteség forrása a GLAMOS azonos sorozatú 2022-es és 2023-as jelentése. A „2017 óta” kumulált fogyás ebből a sorozatból évenként összeadható, a kötet ezt nem végzi el, mert a 2017–2021-es évek pontos értékeit nem ellenőriztük. ↵

151. Stagl, J. C., Hattermann, F. F. (2015): *Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios*. Water 7: 6139–6172. DOI [10.3390/w7116139](https://doi.org/10.3390/w7116139); 2. táblázat és 5. fejezet. · Probst, E., Mauser, W. (2023): *Climate Change Impacts on Water Resources in the Danube River Basin: A Hydrological Modelling Study Using EURO-CORDEX Climate Scenarios*. Water 15, 8. DOI [10.3390/w15010008](https://doi.org/10.3390/w15010008); 3. táblázat. A téli növekedés tartománya a két vizsgálat nyolc központi értékéből adódik (+7 és +22,5 százalék között). A törzsben idézett 9 százalékos pozsonyi nyári csökkenés a vizsgálat ENSEMBLES-együttesének átlaga, az ISI-MIP-adatokra épülő három futáscsoportban 10–13 százalék. Az éves átlag az elsőben változatlan, a másodikban 5–8 százalékkal nő. ↩
152. Saját számítás az Országos Vízügyi Főigazgatóság vízrajzi adatbázisának paksi vízhozamsorából (1990. január 1. – 2026. augusztus 31.); napi átlag a helyi naptári napra, az év minimuma a június 1. – augusztus 30. ablakban. A négy legalacsonyabb érték: 2026 (726), 2003 (885), 2022 (942) és 2018 (954 m³/s). A leolvasások sűrűsége az időszakban változik (napi egy-két leolvasástól negyedóránkéntiig), a rangsort ez nem módosítja. ↩
153. Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J., Lenton, T. M. (2022): *Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points*. Science 377(6611), eabn7950. DOI [10.1126/science.abn7950](https://doi.org/10.1126/science.abn7950). · Lenton, T. M. és mtsai (szerk.) (2025): *Global Tipping Points Report 2025*. Global Systems Institute, University of Exeter, 2025. október 13.; az atlanti mélyáramlásra és Amazóniára vonatkozó értékek a jelentés szövegéből. ↩
154. Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao, C. és mtsai (2021): *Ocean, Cryosphere and Sea Level Change*. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report, 9. fejezet. Cambridge University Press. · Ditlevsen, P., Ditlevsen, S. (2023): *Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation*. Nature Communications 14, 4254. DOI [10.1038/s41467-023-39810-w](https://doi.org/10.1038/s41467-023-39810-w); helyesbítés: Nature Communications 16, 7794 (2025), DOI [10.1038/s41467-025-63201-y](https://doi.org/10.1038/s41467-025-63201-y). A 2025-ös szerzői helyesbítés utáni központi becslés 2065, a 95 százalékos tartomány 2037–2109. · Baker, J. A., Bell, M. J., Jackson, L. C., Vallis, G. K., Watson, A. J., Wood, R. A. (2025): *Continued Atlantic overturning circulation even under climate extremes*. Nature 638: 987–994. DOI [10.1038/s41586-024-08544-0](https://doi.org/10.1038/s41586-024-08544-0); 34 modellben az AMOC szélsőséges kényszer mellett is gyengül, de nem omlik össze. · Swingedouw, D., Bily, A., Esquedo, C., Borchert, L. F., Sgubin, G., Mignot, J., Menary, M. (2021): *On the risk of abrupt changes in the North Atlantic subpolar gyre in CMIP6 models*. Annals of the New York Academy of Sciences 1504: 187–201. DOI [10.1111/nyas.14659](https://doi.org/10.1111/nyas.14659); a szubpoláris örvény mélykeveredésének hirtelen leállásával járó lehűlés kockázata az újabb modellgenerációban legfeljebb 36,4 százalék. · Van Westen, R. M., Dijkstra, H. A. (2026): *Abrupt Gulf Stream path changes are a precursor to a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation*. Communications Earth & Environment 7, 197. DOI [10.1038/s43247-026-03309-1](https://doi.org/10.1038/s43247-026-03309-1). ↩
155. Van Westen, R. M., Baatsen, M. L. J. (2025): *European temperature extremes under different AMOC scenarios in the Community Earth System Model*. Geophysical Research Letters 52(12), e2025GL114611. DOI [10.1029/2025GL114611](https://doi.org/10.1029/2025GL114611). · Van Westen, R. M., van der Wiel, K., Falkena, S. K. J., Selten, F. (2025): *Changing European hydroclimate under a collapsed AMOC in the Community Earth System Model*. Hydrology and Earth System Sciences 29: 6607–6630. DOI [10.5194/hess-29-6607-2025](https://doi.org/10.5194/hess-29-6607-2025). · Ionita, M., Nagavciuc, V., Scholz, P., Dima, M. (2022): *Long-term drought intensification over Europe driven by the weakening trend of the Atlantic Meridional Overturning Circulation*. Journal of Hydrology: Regional Studies 42, 101176. DOI [10.1016/j.ejrh.2022.101176](https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101176). · Bellomo, K. és mtsai (2023): *Impacts of a weakened AMOC on precipitation over the Euro-Atlantic region in the EC-Earth3 climate model*. Climate Dynamics 61: 3397–3416. DOI [10.1007/s00382-023-06754-2](https://doi.org/10.1007/s00382-023-06754-2). ↩
156. Möller, T., Högner, A. E., Schleussner, C.-F., Bien, S., Kitzmann, N. H., Lamboll, R. D., Rogelj, J., Donges, J. F. és mtsai (2024): *Achieving net zero greenhouse gas emissions critical to limit climate tipping risks*. Nature Communications 15, 6192. DOI [10.1038/s41467-024-49863-0](https://doi.org/10.1038/s41467-024-49863-0); a zárójeles érték a 10–90 százalékos tartomány, a négy elem a két jégtakaró, az AMOC és Amazónia. ↩

157. European Environment Agency (2024): *European Climate Risk Assessment*. EEA Report 01/2024, Koppenhága. · Kotz, M., Kuik, F., Lis, E., Nickel, C. (2024): *Global warming and heat extremes to enhance inflationary pressures*. Communications Earth & Environment 5, 116. DOI [10.1038/s43247-023-01173-x](https://doi.org/10.1038/s43247-023-01173-x). · Hebebrand, C., Glauber, J., Vos, R., Rice, B. (2026): *The Iran war's impacts on global fertilizer markets and food production*. IFPRI-blog, 2026. április 1.; szakpolitikai összefoglaló, nem lektorált. · Magyar Nemzeti Bank (2026), l. 148. jegyzet. · OECD (2026), l. uo. · UNEP (2026), l. 143. jegyzet; az élelmiszer-termelésre vonatkozó érték a 2.3. pontból (39. o.), ahol a jelentés Farah és mtsai (2025) vizsgálatára hivatkozik. ↩
158. Fischer, E. M., Sippel, S., Knutti, R. (2021): *Increasing probability of record-shattering climate extremes*. Nature Climate Change 11: 689–695. DOI [10.1038/s41558-021-01092-9](https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9). ↩
159. Weitzman, M. L. (2009): *On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change*. Review of Economics and Statistics 91(1): 1–19; a leszámítolásra vonatkozó megállapítás az 1. oldalon. A szerző a valószínűségi becsléseit maga is nagyon durva nagyságrendi becslésnek nevezi. ↩
160. Armstrong McKay, D. I. és mtsai (2022): *Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points*. Science 377(6611), eabn7950. DOI [10.1126/science.abn7950](https://doi.org/10.1126/science.abn7950). A billenőelemek hazai hatásait a VII.6 pont tárgyalja. ↩
161. Wagenaar, W. A., Sagaria, S. D. (1975): *Misperception of exponential growth*. Perception & Psychophysics 18(6): 416–422. DOI [10.3758/BF03204114](https://doi.org/10.3758/BF03204114). ↩
162. Lawrence, M., Homer-Dixon, T., Janzwood, S., Rockström, J., Renn, O., Donges, J. F. (2024): *Global polycrisis: the causal mechanisms of crisis entanglement*. Global Sustainability 7, e6, 1–16. DOI [10.1017/sus.2024.1](https://doi.org/10.1017/sus.2024.1). A meghatározás a 2. oldalon, a terhelés és a kiváltó esemény modellje a 4.1., a három összefonódási út a 4.2–4.5. pontban és a 6. és 9. ábrán. A szerzők a polikrízis küszöbét minőségi kategóriának, a rendszerhatárokat megállapodás kérdésének tekintik. ↩
163. Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B. J. J. M., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., Agha-Kouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., Wahl, T., Zhang, X. (2018): *Future climate risk from compound events*. Nature Climate Change 8(6): 469–477. DOI [10.1038/s41558-018-0156-3](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3); az alulbecslésre vonatkozó megállapítás a 469–470. oldalon. ↩
164. Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S. és mtsai (2020): *A typology of compound weather and climate events*. Nature Reviews Earth & Environment 1(7): 333–347. DOI [10.1038/s43017-020-0060-z](https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z). ↩
165. Pescaroli, G., Alexander, D. (2018): *Understanding Compound, Interconnected, Interacting, and Cascading Risks: A Holistic Framework*. Risk Analysis 38(11): 2245–2257. DOI [10.1111/risa.13128](https://doi.org/10.1111/risa.13128). ↩
166. Carter, T. R. és mtsai (2021): *A conceptual framework for cross-border impacts of climate change*. Global Environmental Change 69, 102307. DOI [10.1016/j.gloenvcha.2021.102307](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307). · Ringsmuth, A. K., Otto, I. M., van den Hurk, B. és mtsai (2022): *Lessons from COVID-19 for managing transboundary climate risks and building resilience*. Climate Risk Management 35, 100395. DOI [10.1016/j.crm.2022.100395](https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100395); a két példa a 2. táblázatban. ↩
167. Mach, K. J. és mtsai (2019): *Climate as a risk factor for armed conflict*. Nature 571: 193–197. DOI [10.1038/s41586-019-1300-6](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6); a tényezők súlyozása a kivonatban. · Ide, T., Brzoska, M., Donges, J. F., Schleussner, C.-F. (2020): *Multi-method evidence for when and how climate-related disasters contribute to armed conflict risk*. Global Environmental Change 62, 102063. DOI [10.1016/j.gloenvcha.2020.102063](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102063). · Buhaug, H. (2015): *Climate–conflict research: some reflections on the way forward*. WIREs Climate Change 6(3): 269–275. DOI [10.1002/wcc.336](https://doi.org/10.1002/wcc.336); a szerző szerint a mennyiségi irodalom az intézmények és a kormányzás minőségének szerepét alulbecsüli. · Lamain, C. (2022): *Conflicting securities: contributions to a critical research agenda on climate security*. Globalizations 19(8): 1257–1272. ↩
168. Hoff, R., Sparks, R., Chester, M. és mtsai (2025): *Cascading failure propagation and perfect storms in interdependent infrastructures*. ASCE OPEN: Multidisciplinary Journal of Civil Engineering 3(1): 04025001. DOI [10.1061/AOMJAH.AOENG-0045](https://doi.org/10.1061/AOMJAH.AOENG-0045). Phoenix mintájára épített szintetikus villamosenergia- és vízellátási modell. ↩

169. Laybourn, L., Evans, J., Dyke, J. (2023): *Derailment risk: A systems analysis that identifies risks which could derail the sustainability transition*. Earth System Dynamics 14: 1171–1182. DOI [10.5194/esd-14-1171-2023](https://doi.org/10.5194/esd-14-1171-2023). · Laybourn, L., Shread-Hewitt, B., Jonusas, D., De Meyer, K., Dyke, J. G. (2025): *Derailment risk: Why climate strategies might fail – and how to fix them*. Strategic Climate Risks Initiative, 2025. október. · A hat kockázati tétel: Trust, S., Saye, L., Bettis, O., Bedenham, G., Hampshire, O., Lenton, T. M., Abrams, J. F. (2025): *Planetary Solvency – finding our balance with nature*. Institute and Faculty of Actuaries és University of Exeter, 2025. január. ↵
170. Omer, H., Alon, N. (1994): *The continuity principle: A unified approach to disaster and trauma*. American Journal of Community Psychology 22(2): 273–287. DOI [10.1007/BF02506866](https://doi.org/10.1007/BF02506866); a normalitástorzítás meghatározása a kivonatban. · Drabek, T. E. (1986): *Human System Responses to Disaster: An Inventory of Sociological Findings*. Springer, New York. ↵
171. Flyvbjerg, B. (2006): *From Nobel Prize to Project Management: Getting Risks Right*. Project Management Journal 37(3): 5–15. A költségtúllépési arányok az 1. táblázatban, a két ok megkülönböztetése a 4–5. oldalon (a tanulmány arXiv-változatának lapszámozása szerint). ↵
172. Stoknes, P. E. (2014): *Rethinking climate communications and the „psychological climate paradox”*. Energy Research & Social Science 1: 161–170. DOI [10.1016/j.erss.2014.03.007](https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.007). · O'Neill, S. J., Nicholson-Cole, S. (2009): *„Fear Won't Do It”: Promoting Positive Engagement With Climate Change Through Visual and Iconic Representations*. Science Communication 30(3): 355–379. DOI [10.1177/1075547008329201](https://doi.org/10.1177/1075547008329201). ↵
173. Garrett, N., Sharot, T. (2016): *Optimistic update bias holds firm: Three tests of robustness following Shah et al.* Consciousness and Cognition. DOI [10.1016/j.concog.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.10.013). A szerzők Shah és munkatársai módszertani kritikájára válaszolnak, a vita nem zárult le. ↵
174. Laybourn, L. és mtsai (2024): *The Security Blind Spot: Cascading Climate Impacts and Tipping Points Threaten National Security*. IPPR, Chatham House, University of Exeter Global Systems Institute és SCRI, 2024. október. ↵
175. Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., Stouffer, R. J. (2008): *Stationarity Is Dead: Whither Water Management?* Science 319(5863): 573–574. DOI [10.1126/science.1151915](https://doi.org/10.1126/science.1151915). · Frank, A. B. és mtsai (2014): *Dealing with femtorisks in international relations*. Proceedings of the National Academy of Sciences 111(49): 17356–17362. DOI [10.1073/pnas.1400229111](https://doi.org/10.1073/pnas.1400229111); a szerzők szerint az állandó eloszlást és az elkülönült intézményi felelősséget feltételező kockázatkezelési módszerek ellentétesek azzal, amit egy összekapcsolt, változó világ megkövetel. ↵
176. HM Government / Cabinet Office (2025): *National Risk Register 2025*. London, 2025. január 16.; a krónikus kockázatok kezelése a 2. fejezet végén. ↵
177. Shepherd, T. G. és mtsai (2018): *Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change*. Climatic Change 151(3–4): 555–571. DOI [10.1007/s10584-018-2317-9](https://doi.org/10.1007/s10584-018-2317-9). ↵
178. Trust, S., Saye, L., Bettis, O., Bedenham, G., Hampshire, O., Lenton, T. M., Abrams, J. F. (2025): *Planetary Solvency – finding our balance with nature*. Institute and Faculty of Actuaries és University of Exeter, 2025. január. ↵
179. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., ter Maat, J. (2013): *Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world*. Global Environmental Change 23(2): 485–498. DOI [10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006). · Delta Programme Commissioner (2023): *Delta Programme 2024. Now for later*. Hága, 2023. szeptember; 5. fejezet. ↵
180. Heuer, R. J., Pherson, R. H. (2020): *Structured Analytic Techniques for Intelligence Analysis*. 3. kiadás, CQ Press / SAGE. ISBN 978-1-5063-6893-1. · Chang, W., Berdini, E., Mandel, D. R., Tetlock, P. E. (2018): *Restructuring structured analytic techniques in intelligence*. Intelligence and National Security 33(3): 337–356. DOI [10.1080/02684527.2017.1400230](https://doi.org/10.1080/02684527.2017.1400230); a szerzők szerint e technikák hibacsökkentő hatása nincs kellően igazolva. ↵

181. Holling, C. S. (1973): *Resilience and Stability of Ecological Systems*. Annual Review of Ecology and Systematics 4: 1–23. DOI [10.1146/annurev.es.04.110173.000245](https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245). · Woods, D. D. (2015): *Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering*. Reliability Engineering & System Safety 141: 5–9. DOI [10.1016/j.ress.2015.03.018](https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.018). ↩
182. Niinistö, S. (2024): *Safer Together: Strengthening Europe's Civilian and Military Preparedness and Readiness*. Az Európai Bizottság különleges tanácsadójának jelentése, 2024. október; az átfogó kockázater-tékelés és a beépített felkészültség a 17., a 72 órás önellátás a 20. oldalon. ↩
183. Franciaország (2026): *Décret n° 2026-23 du 23 janvier 2026 relatif à la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique*. JORF n° 021, 2026. január 25.; Code de l'environnement R. 229-1 – R. 229-3. A pálya a francia anyaországra +2 °C-ot ad 2030-ra, +2,7 °C-ot 2050-re és +4 °C-ot 2100-ra az iparosodás előtti szinthez képest. Ezek országos értékek, a IX.1 pont globális szintjeivel közvetlenül nem vethetők össze. · Ministère de la Transition écologique (2026): a referenciamelegedési pályáról kiadott sajtóanyag, 2026. január 27., 2. o. ↩
184. WHO Regional Office for Europe (2021): *Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention*. Koppenhága, ISBN 978 92 890 5540 6; 7. táblázat (EU-SILC, 2012). ↩
185. Európai Parlament és Tanács (2024): (EU) 2024/1275 irányelv az épületek energiahatékonyságáról (át-dolgozás); 7. cikk (6) bek., 8. cikk (3) bek., V. melléklet 2. pont h). ↩
186. HM Government (2021): *Approved Document O – Overheating*. 2021 edition, for use in England; hatá-lyos 2022. június 15-től, O1 követelmény. ↩
187. Climate Change Committee (2026): *A Well-Adapted UK: The Fourth Independent Assessment of UK Climate Risk (CCRA4-IA)*. London, 2026. május 20.; 14. o. ↩
188. MITECO (2026): *Programa de Trabajo 2026–2030 del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Tervezet, társadalmi egyeztetés 2026. június 12. – július 14., Madrid; az állami klímamenedék-hálózat a 47. és a 187. oldalon, a középületek és klímamenedékek 2023–2027-es kerete (PIMA Refugios climá-ticos) a 62–64. oldalon. · MITECO (2021): *Programa de Trabajo 2021–2025 del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Madrid, 19. o. ↩
189. Joint Research Centre (2025): *The second-generation Eurocodes: key changes and benefits through design examples*. JRC144386, Publications Office of the European Union, doi:10.2760/3056713; EN 1991-1-3 6.1(3), EN 1991-1-4 6.2(2). ↩
190. Németország (2023): *Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) vom 20. Dezember 2023*. BGBl. 2023 I Nr. 393, hatályos 2024. július 1-jétől; 8. § (1) és (3) bek. A 13. § szerint a törvényből közvetlen keresető-ség nem származik. ↩
191. Európai Bizottság (2021): (EU) 2021/2139 felhatalmazáson alapuló rendelet; HL L 442., 2021.12.9., I. melléklet, A. függelék, 140–141. o. ↩
192. Spanyolország (2021): *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. BOE-A-2021-8447, egységes szerkezet; 21. cikk (1) bek. c) pont. Az épületszabályzat 2022-es módosítása a közlönyszöveg szerint mitigációs tartalmú. Ez saját összevetésünk, a 2025-ös szabályzattervezet teljes szövegét nem vizsgáltuk. ↩
193. Delta Programme Commissioner (2023): *Delta Programme 2024. Now for later*. Hága, 2023. szeptem-ber; 5. fejezet. · Németország (2023): *Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) vom 20. Dezember 2023*. BGBl. 2023 I Nr. 393, hatályos 2024. július 1-jétől; 12. §. ↩
194. World Bank, European Commission (2021): *Economics for Disaster Prevention and Preparedness: Finan-cial Risk and Opportunities to Build Resilience in Europe*. Washington DC – Brüsszel; magyar országadat. A jelentés szerint a háztartások árvízi biztosítási fedezete gyakorlatilag hiányzik. A hazai lakásbiztosí-tások árvízi elemét nem ellenőriztük. ↩
195. Consorcio de Compensación de Seguros (2026): *Statistics: Extraordinary Risks. Data series 1971–2025*. Madrid; a fedezett események a 8., a legnagyobb károk a 127. oldalon. ↩

196. Cour des comptes (2026): *L'assurance des catastrophes naturelles: un enjeu de soutenabilité financière*. Párizs, 2026. április; a rendszer eredményei a 10–11., a tartalékok és a várható állami lehívás a 11–12. oldalon. ↩
197. Cour des comptes (2026): *L'assurance des catastrophes naturelles: un enjeu de soutenabilité financière*. Párizs, 2026. április; 13. o. ↩
198. Yougova, D. (2026): *European integrated framework for climate resilience*. EPRS Briefing, PE 791.469, Európai Parlament, 2026. szeptember 2. A bizottsági javaslat az anyag lezárásakor még nem jelent meg. ↩
199. Európai Bizottság (2026): az EU Szolidaritási Alap 2002–2025 közötti beavatkozásainak összesítője és a nagy katasztrófa 2026-os küszöbértékei. · A Tanács 2012/2002/EK rendelete az Európai Unió Szolidaritási Alapjának létrehozásáról, egységes szerkezet. ↩
200. Spanyolország (2021): *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. BOE-A-2021-8447, egységes szerkezet; 30. cikk (1) és (4) bek. ↩
201. Hadvári M. (2024): *Távérzékeléses megfigyelések*. Előadás, HungaroMet nyílt nap, 2024. április 16.: napi 4 rádiószonda, 00 és 12 UTC, Budapest és Szeged. · O'Sullivan, D., Pinto, J., Rivaben, N. (2025): *Preliminary results of World Meteorological Organization Uncrewed Aircraft Systems Demonstration Campaign (WMO UAS DC)*. EGU General Assembly 2025, EGU25-20826. DOI [10.5194/egusphere-egu25-20826](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-20826). · Hervo, M., Romanens, G., Martucci, G., Weusthoff, T., Haefele, A. (2023): *Evaluation of an Automatic Meteorological Drone Based on a 6-Month Measurement Campaign*. Atmosphere 14(9), 1382. DOI [10.3390/atmos14091382](https://doi.org/10.3390/atmos14091382). A hőmérséklet hibája (0,75 K) a Meteorológiai Világszervezet középső, „áttörési” követelményszintjét teljesítette, a fajlagos nedvesség (8,3 %) csak a minimális szintet. ↩
202. OECC (2019): *Informe de Evaluación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Oficina Española de Cambio Climático, LIFE SHARA, Madrid, 26. o. · Spanyolország (2021): *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. BOE-A-2021-8447, egységes szerkezet; 17. cikk (5) bek. · Németország (2023): *Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG)* vom 20. Dezember 2023. BGBl. 2023 I Nr. 393, hatályos 2024. július 1-jétől; 3–5. §. ↩
203. Spanyolország (2021): *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. BOE-A-2021-8447, egységes szerkezet; 18. cikk. · Climate Change Committee (2026): *A Well-Adapted UK: The Fourth Independent Assessment of UK Climate Risk (CCRA4-IA)*. London, 2026. május 20. ↩
204. Franciaország (2026): *Décret n° 2026-23 du 23 janvier 2026 relatif à la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique*. JORF n° 021, 2026. január 25.; Code de l'environnement R. 229-1 – R. 229-3. · Ministère de la Transition écologique (2026): a referenciamelegedési pályáról kiadott sajtóanyag, 2026. január 27., 5. o. ↩
205. MITECO (2021): *Programa de Trabajo 2021–2025 del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Madrid, 7–8. o. · MITECO (2026): *Programa de Trabajo 2026–2030 del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Tervezet, társadalmi egyeztetés 2026. június 12. – július 14., Madrid, 20. o. ↩
206. KSH: *Az aktív korúak és idősek aránya*. Fenntartható fejlődési célok, 4.19. mutató (ksh.hu/sdg/4-19-sdg-1.html), 2021-es adatközlés: „Az öregedési index a következő időszakban egy átmeneti stagnálást követően lendületesen tovább emelkedik majd, 2035-re várhatóan eléri a 150-et.” Az időskorúak eltarthatósági rátája a népesség-előreszámítás közepes változata szerint 2070-ben 61,2 %. Letöltve 2026. október 5-én. A 2011 és 2022 közötti tényleges változást a [IV.2](#) közli.
207. Copernicus Climate Change Service: *Development of C3S Decadal Prediction Service* (climate.copernicus.eu/development-c3s-decadal-prediction-service): a keretszerződés célja a világ több előrejelző rendszerével készülő, valós idejű évtizedes előrejelzések rendszeres előállítása és közzététele. Letöltve 2026. október 5-én. Az Augures-futtatás tervéről: a projekt közzététele, 2026. október.

208. HungaroMet (2026): közlemény a 2026. január–szeptemberi csapadékösszegekről (251,7 mm, az 1991–2020-as 471,1 mm-es átlag mintegy 53 százaléka, 1901 óta a legszárazabb ilyen időszak), 2026. október 6.; idézi: Pénzcentrum, 2026. október 6. (penzcentrum.hu/utazas/20261006/most-kozolte-a-hungaromet-tortenelmi-szarazsag-sujtja-az-orsszagot-125-eve-nem-volt-pelda-ilyenre-1206806). Másodközlés. ↩
209. HungaroMet: Megfigyelt hazai változások – csapadékindexek (met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/csapadekindexek/), 1901–2025; Megfigyelt hazai változások – csapadékszélsőségek (met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homerseklet_es_csapadektrendek/csapadek_szelsosegek/), 1901–2020 és 1981–2020. ↩
210. Szabó P., Pongrácz R. (2026): Magyarország úgy válik szárazabb éghajlatúvá, hogy közben alig csökken az éves csapadékösszeg. Másfél fok, 2026. augusztus 19. (masfelfok.hu/2026/08/19/magyarorszag-ugy-valik-szarazabb-eghajlatuva-hogy-kozben-alig-csokken-az-eves-csapadekosszeg/). A Thorntwhaité-féle osztályozás módszere: Ács, F. és mtsai, Theoretical and Applied Climatology, DOI [10.1007/s00704-014-1103-5](https://doi.org/10.1007/s00704-014-1103-5). Ismeretterjesztő közlés, nem lektorált. ↩
211. Pintér, K., Kertész, P., Balogh, J., Nagy, Z. (2019): Long term evapotranspiration measurements at a semi-arid sandy grassland. EGU General Assembly 2019, EGU2019-16554 (konferencia-kivonat). ↩
212. Báder, L., Szilágyi, J. (2023): Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. Periodica Polytechnica Civil Engineering 67(4), 1028–1037. DOI [10.3311/PPci.21836](https://doi.org/10.3311/PPci.21836) ↩
213. Szilágyi, J., Báder, L., Józsa, J. (2025): A területi párolgás havi értékeinek becslése 2000 és 2022 között Magyarországon kilométeres felbontásban. Hidrológiai Közlöny 105(3), 4–12. DOI [10.59258/hk.20549](https://doi.org/10.59258/hk.20549) ↩
214. Szilágyi, J. (2026): Long-term water balance investigations in the Danube-Tisza Interfluvium of Hungary, Europe. Preprint, 2. változat, engrXiv. DOI [10.31224/7041](https://doi.org/10.31224/7041) (nem lektorált). ↩
215. Kis, A., Szabó, P., Pongrácz, R. (2025): Analysis of detected and future drought conditions – a case study for the Great Hungarian Plain. Theoretical and Applied Climatology 156, 303. DOI [10.1007/s00704-025-05510-2](https://doi.org/10.1007/s00704-025-05510-2). Az aszályindex (PaDI) és a nyári csapadék kapcsolata $r = -0,73$, a nyári hőmérsékleté $0,62$; a cikk társszerzője, Szabó Péter szerint (személyes közlés) a különbség főként az index képletéből adódik, amely a két tényezőt közel azonos súllyal kezeli. ↩
216. Schumacher, D. L., Zachariah, M., Otto, F. és mtsai (2024): Detecting the human fingerprint in the summer 2022 western–central European soil drought. Earth System Dynamics 15, 131–154. DOI [10.5194/esd-15-131-2024](https://doi.org/10.5194/esd-15-131-2024) ↩
217. Szabó, A., Gribovski, Z., Kalicz, P., Szolgay, J., Gács, Zs., Bolla, B. (2024): Az erdőállományok talajvíz-utánpótlódásra gyakorolt hatásának vizsgálata kecskeméti-méntelevi mintaterületen. Agrokémia és Talajtan 73(2), 133–150. DOI [10.1556/0088.2024.00168](https://doi.org/10.1556/0088.2024.00168) ↩
218. Zhuang, Y., Fu, R., Lisonbee, J., Sheffield, A. M., Parker, B. A., Deheza, G. (2024): Anthropogenic warming has ushered in an era of temperature-dominated droughts in the western United States. Science Advances 10, eadn9389. DOI [10.1126/sciadv.adn9389](https://doi.org/10.1126/sciadv.adn9389). Az Egyesült Államok nyugati részén 2000 óta a párolgási igény adja a meteorológiai aszály súlyosságának mintegy 62 százalékát. ↩
219. Ionita, M., Nagavciuc, V. (2026): From droughts to hotter droughts: Europe's changing hydroclimate. Journal of Hydrology: Regional Studies, 103684. DOI [10.1016/j.ejrh.2026.103684](https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2026.103684). Közép- és Dél-Európában 1902 és 2024 között a késő nyári kiszáradás nagyobb, mint amit a csapadék változása egymagában megmagyarázna. ↩
220. Juhász Cséplő A. (2024): A légkör és a talaj nedvességtartalmának hatása a ködképződésre. Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola, 51–54. o. ↩
221. Hausfather, Z. (2025): Comparing climate models with observations. The Climate Brink, 2025. december 6. (theclimatebrink.com/p/comparing-climate-models-with-observations). Blogbejegyzés, nem lektorált: 2001–2025 között a megfigyelés a CMIP5-ös tartomány felső szélén, a CMIP6-osnak nagyjából a közepén, az utóbbi mintegy 15 évben a felső részén van. ↩

222. Szabó P., Pongrácz R. (2026): Megmutatják a megyei adatok, hol növelik leginkább a halálozást a hőhullámok. Másfél fok, 2026. július 7. (masfelfok.hu/2026/07/07/megmutatjak-a-megyei-adatok-hol-novelik-leginkabb-a-halalozast-a-hohullamok/). Május–szeptemberi heti adatok, 2015–2025; ismeretterjesztő közlés, nem lektorált. ↩
223. Jin, Q., Pu, B. (2026): A recent doubling of global warming rate signals a 1.5 °C breach by 2028. npj Climate and Atmospheric Science, DOI [10.1038/s41612-026-01561-y](https://doi.org/10.1038/s41612-026-01561-y). Sajtó alatti („Article in Press”) változat. Öt globális adatsor (HadCRUT, NOAA, Berkeley Earth, GISTEMP, CMST), lineáris továbbvezetés; az 1,5 °C-os átlépés 2028 (2026–2031), a 2 °C-os 2040 (2036–2051), a hosszabb távú 0,20 °C/évtized ütemmel 2037, illetve 2062. ↩
224. NOAA Climate Prediction Center (2026): ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions / ENSO Diagnostic Discussion, 2026. október 8. (El Niño-figyelmeztetés; Niño-3.4 anomália mintegy +2,1 °C; a történelmi erősségű, legalább +2,5 °C-os relatív index valószínűsége október–decemberre 83 százalék) és 2026. augusztus 13. (az 1950 óta mért események erősségét meghaladó esemény lehetősége). cpc.ncep.noaa.gov ↩
225. Ineson, S., Scaife, A. A. (2009): The role of the stratosphere in the European climate response to El Niño. Nature Geoscience 2, 32–36. DOI [10.1038/ngeo381](https://doi.org/10.1038/ngeo381). Erős El Niño után a késő tél (január–március) Észak-Európában inkább hideg és száraz, Dél-Európában enyhe és csapadékos, ha a sztratoszférikus poláris örvény is meggyengül. ↩
226. Brands, S. (2017): Which ENSO teleconnections are robust to internal atmospheric variability? Geophysical Research Letters 44, 1483–1493. DOI [10.1002/2017GL073044](https://doi.org/10.1002/2017GL073044). A dél-európai jel a légkör belső változékonyságától alig különíthető el. ↩
227. King, M. P., Yu, E., Sillmann, J. (2020): Impact of strong and extreme El Niños on European hydroclimate. Tellus A 72, 1704342. DOI [10.1080/16000870.2019.1704342](https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1704342). A legerősebb eseményeknél a nyugat-európai hatás iránya meg is fordulhat. ↩
228. Ivóvízminőség 2011. Népegészségügyi jelentés, a Nemzeti Népegészségügyi Központ honlapján (nnk.gov.hu/attachments/article/726/Ivovizminoseg_2011.pdf), lekérve 2026. október 15-én. A hazai ivóvíz készlet 92 százaléka felszín alatti, 8 százaléka felszíni vízből származik; források szerint 46 százalék parti szűrésű, 35 százalék rétegvíz, 11 százalék védett karsztvíz, 8 százalék felszíni víz. Az arányok 2011-esek, újabb, forrástípus szerinti országos összesítést nem találtunk. ↩
229. Iturbide, M., Fernández, J., Gutiérrez, J. M. és mtsai (2021): Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WGI Atlas. Zenodo, DOI [10.5281/zenodo.3691645](https://doi.org/10.5281/zenodo.3691645) (github.com/IPCC-WG1/Atlas, regionális átlagsorok). · Iturbide, M. és mtsai (2020): An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data. Earth System Science Data 12: 2959–2970. DOI [10.5194/essd-12-2959-2020](https://doi.org/10.5194/essd-12-2959-2020). Saját számítás: 35 CMIP6-modell egy-egy futása, modellenként legfeljebb három pályán (SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5); 2 °C-on 98, 2,5 °C-on 85, 3 °C-on 76 futás. A szint elérésének éve a globális 20 éves mozgóátlag első átlépése az 1850–1900-as átlaghoz képest, a regionális érték az ehhez tartozó 20 éves időszak átlaga a Nyugat- és Közép-Európa (WCE), illetve a mediterrán (MED) referenciaregió szárazföldi részén. A tartomány a futások 17. és 83. percentilise. ↩
230. HungaroMet Nyílt Adatpolitika portál (odp.met.hu): a homogenizált napi hőmérsékleti rács (1233 rácspont) országos átlaga, 1971–2025; az évi középhőmérséklet 1971–1990-ben 9,95, 2006–2025-ben 11,45 °C. · NOAA National Centers for Environmental Information: NOAA GlobalTemp globális évi felszíni hőmérsékleti anomália (GCAG-sor, a github.com/datasets/global-temp tükörből). Saját számítás: a két húszéves időszak átlagának különbsége (hazai 1,51, globális 0,70 °C, arány 2,17). Ugyanebből a sorból a globális átlag 1991–2020-ban 0,90 °C-kal haladta meg az 1850–1900-as átlagot; a 2, 2,5 és 3 °C-os szint ehhez képest 1,1, 1,6 és 2,1 °C. A modellek saját 1991–2020-as átlagukhoz mérve 1,2, 1,7 és 2,2 °C-ot adnak (229. jegyzet). A modellek ugyanerre az időszakra vett felerősödése a 229. jegyzet adatházisából (34 modell, történelmi és SSP2-4.5 futás, a 17. és 83. percentilis közötti tartomány). A korrekció a modellértékek 1,13-szorosa (2,17/1,92). A modellérték a nyugat- és közép-európai régió átlaga, nem Magyarországé, a korrekció ezért közelítés. ↩

- 231.** Saját számítás a FORESEE-HUN v1.0 hibakorrigált projekció 28 futásából (10. jegyzet): országos rácsátlag, évi hőségnap (napi maximum $\geq 30^\circ\text{C}$), forró nap ($\geq 35^\circ\text{C}$) és trópusi éjszaka (napi minimum $\geq 20^\circ\text{C}$). A szint elérésének éve a meghajtó globális modell (CNRM-CM5, EC-EARTH, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-LR, NorESM1-M) globális 20 éves mozgóátlagából, a 229. jegyzet adatbázisa szerint; a regionális érték a 20 éves időszak átlaga, a 2022 előtti évek nélkül. 2°C -on 28, $2,5^\circ\text{C}$ -on 27, 3°C -on 17 futás; a tartomány a futások 17. és 83. percentilise. A 28 futás 14 regionális–globális modellpár két kibocsátási pályán, a 3°C -os szintet csak 17 futás éri el 2100-ig, így a minta szintenként eltér. Az EC-EARTH-alapú futásoknál a szint évét az r12i1p1 tagból vettük. A mért értékek saját számítás a HungaroMet homogenizált napi rácsából (1233 rácspont, országos átlag), a II.1 pont adataival egyezően. ↩
- 232.** Zekollari, H., Schuster, L. és mtsai (2025): Glacier preservation doubled by limiting warming to 1.5°C versus 2.7°C . *Science* 388. DOI [10.1126/science.adu4675](https://doi.org/10.1126/science.adu4675). A globális értékek a cikkből, az alpesi értékek a szerzők 2025. májusi közleményéből (International Cryosphere Climate Initiative) valók; mindkettő az egyensúly beálltakor érvényes, nem 2050-es vagy 2100-as érték. ↩
- 233.** Rounce, D. R., Hock, R., Maussion, F. és mtsai (2023): Global glacier change in the 21st century: Every increase in temperature matters. *Science* 379(6627): 78–83. DOI [10.1126/science.abo1324](https://doi.org/10.1126/science.abo1324). ↩
- 234.** Drijfhout, S., Angevaere, J. R., Mecking, J., van Westen, R. M., Rahmstorf, S. (2025): Shutdown of northern Atlantic overturning after 2100 following deep mixing collapse in CMIP6 projections. *Environmental Research Letters* 20(9), 094062. DOI [10.1088/1748-9326/adfa3b](https://doi.org/10.1088/1748-9326/adfa3b). ↩
- 235.** Terhaar, J., Vogt, L., Foukal, N. P. (2025): Atlantic overturning inferred from air-sea heat fluxes indicates no decline since the 1960s. *Nature Communications* 16. DOI [10.1038/s41467-024-55297-5](https://doi.org/10.1038/s41467-024-55297-5). ↩
- 236.** Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M. és mtsai (2014): Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change* 4: 111–116. DOI [10.1038/nclimate2100](https://doi.org/10.1038/nclimate2100). · Cai, W. és mtsai (2023): Anthropogenic impacts on twentieth-century ENSO variability changes. *Nature Reviews Earth & Environment*. DOI [10.1038/s43017-023-00427-8](https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8). A 2026-os El Niño erősségére 2026. október közepéig formális attribúciós vizsgálat nem jelent meg. ↩
- 237.** Cissé, G., McLeman, R. és mtsai (2022): Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report*, 7. fejezet. Cambridge University Press. ↩
- 238.** Clement, V., Rigaud, K. K., de Sherbinin, A. és mtsai (2021): Groundswell Part 2: Acting on Internal Climate Migration. Világbank, Washington, DC. hdl.handle.net/10986/36248. ↩
- 239.** Hoffmann, R., Dimitrova, A., Muttarak, R., Crespo Cuaresma, J., Peisker, J. (2020): A meta-analysis of country-level studies on environmental change and migration. *Nature Climate Change* 10: 904–912. DOI [10.1038/s41558-020-0898-6](https://doi.org/10.1038/s41558-020-0898-6). ↩
- 240.** Missirian, A., Schlenker, W. (2017): Asylum applications respond to temperature fluctuations. *Science* 358(6370): 1610–1614. DOI [10.1126/science.aao0432](https://doi.org/10.1126/science.aao0432). A 28 százalék a közepes (RCP4.5, 1986–2005-höz képest mintegy $1,8^\circ\text{C}$), a 188 százalék a magas (RCP8.5) pályára vonatkozik; a becslés a szakirodalomban vitatott. ↩
- 241.** Kovács, A. D., Hoyk, E., Farkas, J. Zs. (2017): Homokhátság – a special rural area affected by aridification in the Carpathian basin, Hungary. *European Countryside* 9(1): 29–50. DOI [10.1515/euco-2017-0003](https://doi.org/10.1515/euco-2017-0003). ↩
- 242.** Aas, W., Mortier, A., Bowersox, V. és mtsai (2019): Global and regional trends of atmospheric sulfur. *Scientific Reports* 9: 953. DOI [10.1038/s41598-018-37304-0](https://doi.org/10.1038/s41598-018-37304-0). · A magyarországi adat: HungaroMet (2025): Hungary Informative Inventory Report 1990–2023, a nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő levegőszennyezésről szóló egyezmény (EMEP/CEIP) szerinti hivatalos kibocsátási jelentés, ES.1 táblázat (legszenyezettseg.met.hu): kén-dioxid 1990-ben 832, 2000-ben 427, 2005-ben 42, 2010-ben 30, 2023-ban 11 ezer tonna. ↩

243. Nabat, P., Somot, S., Mallet, M. és mtsai (2014): Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. *Geophysical Research Letters* 41(15): 5605–5611. DOI [10.1002/2014GL060798](https://doi.org/10.1002/2014GL060798). · Schumacher, D. L., Singh, J., Hauser, M., Fischer, E. M., Wild, M., Senéviratne, S. I. (2024): Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes. *Communications Earth & Environment* 5: 182. DOI [10.1038/s43247-024-01332-8](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01332-8). · Glantz, P., Fawole, O., Ström, J., Wild, M., Noone, K. (2022): Unmasking the effects of aerosols on greenhouse warming over Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 127(22): e2021JD035889. DOI [10.1029/2021JD035889](https://doi.org/10.1029/2021JD035889). ↵
244. Dong, B., Sutton, R. T. (2025): Drivers and mechanisms contributing to excess warming in Europe during recent decades. *npj Climate and Atmospheric Science* 8: 41. DOI [10.1038/s41612-025-00930-3](https://doi.org/10.1038/s41612-025-00930-3). A szerzők a modellek légköri hiányossága miatt nagy bizonytalanságot jeleznek. ↵
245. Vautard, R., Cattiaux, J., Hap­pé, T. és mtsai (2023): Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. *Nature Communications* 14: 6803. DOI [10.1038/s41467-023-42143-3](https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3). · Yin, Z., Dong, B., Wei, W., Yang, S. (2024): Anthropogenic impacts on amplified midlatitude European summer warming and rapid increase of heatwaves in recent decades. *Geophysical Research Letters* 51(16). DOI [10.1029/2024GL108982](https://doi.org/10.1029/2024GL108982) (a légköri hozzájárulást üvegházhatású gázokhoz köti, ami tartósságot jelentene). · Roldán-Gómez, P. J., Donat, M. G., Marcet-Carbonell, G., Smith, D. M. (2026): Accelerated European summer warming driven by atmospheric circulation changes in response to aerosol forcing. *Geophysical Research Letters* 53(13). DOI [10.1029/2026GL122424](https://doi.org/10.1029/2026GL122424) (a légkörzés változását részben a kénszennyezés csökkenéséhez köti, ami átmenetiséget jelentene). ↵
246. Copernicus Climate Change Service (2024): Gridded dataset underpinning the Copernicus Interactive Climate Atlas. Copernicus Climate Data Store, DOI [10.24381/cds.h35hb680](https://doi.org/10.24381/cds.h35hb680), CC BY 4.0; EURO-CORDEX EUR-11, hibakorrekció nélkül, letöltve 2026. október 17-én. Saját számítás: 8 meghajtó globális és 12 regionális modell, RCP2.6, RCP4.5 és RCP8.5; országos átlag az ODP 1233 rácsponthoz legközelebbi atlaszcellákból. A szint éve a meghajtó globális modell 20 éves mozgóátlagából (229. jegyzet); az EC-EARTH r1 és r3, valamint az MPI-ESM-LR r2 és r3 tagnál az r12, illetve az r1 tag évével. 2 °C-on 93–96, 2,5 °C-on 90–93, 3 °C-on 78–79 futás-pálya pár; a tartomány a 17. és 83. percentilis. A forró nap (napi maximum ≥ 35 °C; az atlasz indexe a 35 °C fölötti napokat számolja, ami modelladatban ugyanazt adja) és a trópusi éjszaka (napi minimum > 20 °C) értéke a futás saját 1991–2020-as átlagához mért változás, a mért 1991–2020-as országos értékhez (2,8, illetve 1,9) adva. A 2021–2025-ös mért értékek a HungaroMet homogenizált napi rácsából valók (saját számítás). ↵
247. Barnes, C., Masselot, P., Xi, D., Clarke, B., Rayner, A., Chen, X., Wang, R., Raju, E., Theokritoff, E., Mistry, M., Gasparrini, A., Otto, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Konstantinoudis, G. (2026): Heat-related urban mortality attributable to human-induced climate change in Europe from 2000 to 2025. *Nature Health*, megjelent 2026. október 14. DOI [10.1038/s44360-026-00209-8](https://doi.org/10.1038/s44360-026-00209-8). A magyar városi értékek a közlemény 2. táblázatából (a mintában szereplő magyar városok összesen, 2,8 millió lakos; évi átlag 393 [247–575] haláleset, ebből 217 [127–316] tulajdonítható a melegedésnek), a budapesti 2025-ös érték a 4. kiegészítő táblázatból (210 [132–317], hányad 0,76 [0,55–0,89]), a 2003-as a 3. kiegészítő táblázatból (153). A zárójeles tartományok 95 százalékos empirikus bizonytalansági sávok. A modell az alap-halálozási rátát, a hőmérséklet-halálozás kapcsolatát és a népességet állandónak veszi, az alkalmazkodással nem számol. ↵

248. 2026-os előzetes terméseredmények. Kalászosok: Agrárközgazdasági Intézet (AKI): Tájékoztató jelentés a nyári mezőgazdasági munkákról, 2026. augusztus 13-i állapot (őszi búza 986,9 ezer hektár, 4,235 millió tonna, 4,3 t/ha; 2025: 5,5 t/ha). Kukorica és napraforgó: az Agrár- és Élelmiszergazdaságért Felelős Minisztérium és a Gabonatermesztők Országos Szövetsége tájékoztatója az Aratási Koordinációs Bizottság ülése után, 2026. szeptember 23. (Molnár János államtitkár, Petőházi Tamás elnök; Agrárszektor, Magyar Mezőgazdaság tudósításai); a tárca október 6-i állapotjelentése szerint a kukoricateület 68 százalékaról 1,2 millió tonna került tárolóba. Békés megye: a megyei aratási bizottság 2026. szeptember 29-i ülése (Bozó József elnök; BEOL, 2026. szeptember 30.) és a NAK Békés megyei igazgatóságának MTI-nyilatkozata (2026. október 16.). Korábbi évek: KSH STADAT 19.1.2.5. (2022: 3,41 t/ha, 2,8 millió tonna; 2025: 5,27 t/ha, 3,9 millió tonna). Az európai kitekintéshez a COCERAL szeptemberi előrejelzése Magyarországra 1,9 millió tonna kukoricát ad a 2025-ös 3,8 millió helyett. Minden 2026-os adat előzetes, a KSH végleges terméseredménye a kézirat lezárása után jelenik meg. ↩
249. Thüringer Barbara (2026): A statisztika szerint nem volt többlethalálozás a második nagy nyári hőhullámnál – de vajon miért? Telex, 2026. október 18. <https://telex.hu/techtud/2026/10/18/masodik-ho-hullam-tobblethalalozas-statisztika-ksh-ferenci-tamas>. Az elemzést Ferenci Tamás biostatistikus készítette a KSH 2026. augusztus 30-ig terjedő halálozási adatain, az EuroMOMO adataival ellenőrizve. Másodközlés, módszertanát nem ellenőriztük. Az előrehozott halálozás saját becslésünk szerint a hőséghez köthető rövid távú többletnek csak mintegy negyede (91. jegyzet). ↩



Az anyag korlátai és hatásuk a következtetésekre

Az elemzés a megnevezett adatforrások 2026. őszi állapotát tükrözi. A 2026-os adatok előzetesek. Ez a melléklet azt veszi sorra, hol tévedhet az elemzés, és milyen irányba. Egy hiányosság önmagában még nem gyengíti a következtetést. A kérdés az, hogy a hiba a kockázat alul- vagy felülbecslése felé hat. Azokat a kérdéseket, amelyeket ez az elemzés nem tárgyal – egyedi események tulajdonítása, visszatérési idő, összesített nemzetgazdasági kárszám –, a [H.4](#) sorolja fel. Ez a melléklet a közölt állításokat érintő fenntartásokra szorítkozik.

E.1 Korlátok, amelyek miatt a közölt kockázat inkább alsó becslés

- **A projekciós alap az előző modellgenerációé.** A hazai regionális modell-együttes és a hivatalos éghajlati termékek is az előző generáció modelljeire és két kibocsátási forgatókönyvre épülnek ([VII.8](#)). A hőmérsékleten mindkét hazai projekciós készlet a mérés alatt marad. A modellgeneráció kockázati következményeit a [H.2](#) pont vége tárgyalja. Egy statisztikailag leskalázott CMIP6-adatbázison végzett előzetes próba szerint a mért nyári melegedés az újabb generáció globális modelljeinek sávjában is a felső részre esik. Egyetlen ötéves ablakon az 1995–2014 óta mért változást a nyári napi maximumon és a 30 °C-ot elérő napok számán csak egy modell éri el, a 25 °C fölötti napokon öt ([H.2](#)). Az újabb generációra épülő hazai projekciókon a próba még nem készült el. Mivel mindkét hazai készlet a mérés alatt marad, a hivatalos 2050-es hőmérsékleti értékek alsó becslésként kezelendők ([VII.4](#)). A projekciókból az aeroszoltisztulás melegítő hatása is részben hiányzik ([VI.2](#)).
- **A légszárazodás becslése a legsúlyosabb helyzetekben veszít a legtöbbet.** A projekciós adatbázis a légnedvességet a minimumhőmérsékletből becsüli. A becslés a megfigyelt nyári telítésihiány-emelkedés mintegy harmadát, a kiszáradt talajra érkező hóhullámokban mintegy a felét nem adja vissza ([II.2](#)).
- **Ahol nincs mérés, ott a kockázat nem jelenik meg a számokban.** A vízki-vétel jelentős része, a rétegvíz-kitermelés és a gyökérzóna talajnedvessége méretlen ([III.2](#), [IX.10](#)). Ezeken a területeken kár vagy trend nem mutatható ki, ez azonban nem jelenti azt, hogy nincs.

- **A kockázat két tényezőjének, a kitettségnek és a sérülékenységnak az adatai elavultak.** A hivatalos sérülékenységi réteg 2005–2014-es, és változatlan népességgel számol (IV.2). A népesség öregedése viszont jól előre-
vetíthető: a KSH népesség-előreszámításának közepes változata szerint az
öregedési index (a száz gyermekkorúra jutó idős korúak száma) a 2021-es
139-ről 2035-re mintegy 150-re emelkedik.²⁰⁶ A réteg ezzel a növekedéssel
nem számol, ezért a kitett idős népesség számát, így a jövőbeli kockázatot
alulbecsüli. Ami ma valóban nem ismert, az a sérülékenység szintje,
vagyis az, hogy a hőségriasztás, a klimatizáció és a lakossági tudatosság
2014 óta mennyit változtatott rajta.
- **A gazdasági kár csak részben számszerűsíthető.** Hivatalos nemzetgazdasági
kárszámla nincs. Az egyetlen újabb hazai makrogazdasági modell-
számítás a fokozatos hatásokat becsüli, a szélsőséges események kárát
nem (V.1). A biztosítói kártérítések veszélynemenkénti sora csak ábra-
ként hozzáférhető, ezért számszerűen csak a kárenyhítő juttatásokat kö-
zöljük (IV.3).
- **Egyes ágazatokban a kockázati lánc a veszélynél vagy a kitettségnél megáll.** Az energiaellátásban, a települések és épületek hőterhelésében,
a fagynál, az erdőnél és a villámárvíznél az elemzés a veszélyt méri, a ki-
tettség és a kár azonban nem számszerűsíthető, mert a hűtővíztől függő
kapacitás hányada, az ültetvény- és erdőállomány kitettsége és a veszély-
nemenként bontott kárszám nem nyilvános (II.3, II.4, II.6, III.5, IV.4, IX.7).
Ezek a területek a rövidebb tárgyalás adathiányt jelez, nem kisebb
kockázatot.

E.2 Korlátok, amelyek miatt egyes állítások erősebbnek tűnhetnek a valóságosnál

- **A legutóbbi évek rövid sora belső változékonysággal terhelt.** A 2021–
2025-ös ötéves átlagok kirívóak, de öt év nem elég egy évtizedes trend igazo-
lásához. A nyári csapadék ötvenöt éves trendje például nem különbö-
zik a nullától (II.2). Ezért a rövid ablakot mindig a hosszú sorral együtt kö-
zöljük.
- **A 2026-os rekordok egyetlen év előzetes adataira épülnek.** A száraz idő-
szak 2026-os rekordja tíz állomás átlagára és előzetes minőségellenőrzésű
adatra épül, ez az átlag pedig nem azonos az országos rácsátlaggal (II.2).
Egyetlen év nem trend, így ma nem dönthető el, hogy kiugrást vagy for-
dulatot látunk.
- **A mérőhálózat változása torzíthatja a hosszú sorokat.** A mért légnedves-
ség rácsa mögött álló állomáshálózat 1999-ben 60-ról 107 állomásra bő-

vült. A légszárazodás kritikus helyzeteire vonatkozó állítások ezért az időszaki átlagokra, a kiszáradt és a nem száraz előzményű napok összevetésére és a 2002 óta változatlan műszerezettségű állomásokra épülnek (II.2).

- **A független ellenőrzés két adatbázisának közös az állomásbázisa.** A 2020-as évek melegedését a hazai rács és az E-OBS egyaránt mutatja, de mindkettő ugyanazokra az állomásokra épül. A reanalízissel végzett ellenőrzés a 2021-es gyártási váltás miatt erre az időszakra nem használható (II.1).
- **A minimumszabály két mutatója egyetlen projekciós készletre épül.** A tavaszi fagyot és a telítési hiányt a hivatalos KLIMADAT nem közli, ezért ezen a két mutatón az alulbecslést csak a FORESEE-HUN mutatja (H.2). A tavaszi fagyon a szabály ráadásul csak a mérsékelt kibocsátási forgatókönyv 14 futására áll (H.2, II.3).
- **A fagy trendjei a szigorú tesztkorrekciót nem érik el.** A tavaszi fagy változása ezért leíró alakban szerepel, és a szűkebb, mindkét összegzési módon igazolható állítást közöljük (II.3).

E.3 Korlátok, amelyeknek iránya nem ismert

- **Az évtizedes előrejelzés egyetlen forrásra épül.** Két modelles család futásai állnak rendelkezésre. A visszatekintő futások a nyári hőmérsékletet jól követik, ez a készség azonban nagyrészt a melegedési trendből ered, a trendtől megtisztított évtizedes készség nem igazolt; a csapadéokra készség nincs (H.3). A torzítás forrását csak a visszatekintő futások egyetlen tagján választottuk szét, és a szolgáltató frissített jelentését még nem dolgoztuk fel (II.1). Ez a megszorítás a közeljövőben enyhülhet. Az Athéni Nemzeti Obszervatórium az Augures projekt keretében a következő körben több modellrendszerrel készít hasonló előrejelzést, a Copernicus éghajlati szolgálata pedig több előrejelző rendszerre épülő, rendszeres évtizedes előrejelzési szolgáltatást fejleszt.²⁰⁷
- **A két hazai projekciós készlet a téli hőmérsékleten ellentétes irányba tér el a méréstől.** A KLIMADAT melegebb, a FORESEE-HUN hidegebb telet ad a mértnél (H.2), így a téli kockázat egyik készletből sem olvasható ki megbízhatóan.
- **A légköri áramlás jövőbeli változásáról a szakirodalom megosztott (II.5).** A blokkoló helyzetek gyakoriságának növekedése és csökkenése egyaránt lehetséges, a szárazodást pedig okai szerint egyetlen vizsgálat bontja részekre, egyetlen modellel (II.2).

- **A rétegvíz-süllyedés oka eldöntetlen.** Az éghajlati és a kivételi hatás ki-termelési idősor híján nem választható szét (III.2).
- **A 2026-os tengerfelszíni szélsőségek okainak szétválasztása még hátra-van.** Nem ismert, mekkora részük tartós melegedés és mekkora évjárat-i ingadozás, mert az évjárat hivatalos értékelése a lezáráskor nem állt ren-delkezésre (VI.1).
- **A 2050-es kitekintés forgatókönyv- és modellfüggő.** A nettó zéró utáni hőmérséklet két ellentétes tagjának értéke előzetes közleményből szár-mazik (VII.3), a billenőpontok időzítése bizonytalan (VII.6).
- **A 2025–2026-os halálozási adatok előzetesek.** A késve beérkező adatok módosíthatják őket, és a hivatalos adatgazdától származó, aktualizált idő-sor beszerzése a lezáráskor még folyamatban volt (IV.1).

E.4 Az elemzés belső ellenőrzésének korlátja

Az elemzés mesterségesintelligencia-támogatással készült, és minden fő változatát egy független újraszámítás ellenőrizte a nyers adatokból (G.6). Az újraszámítás a kódolási, adatkezelési és olvasási hibákat kimutatja, a közös módszertani szemléletből eredő vakfoltokat viszont nem feltétle-nül. Kivétel a IV.1 napi halálozási elemzése, amelyet más modellcsalád számolt újra. A fogalomtár (Melléklet C) szócikkei az elemzés saját szó-használatát rögzítik, nem szabványos szakszótári meghatározások.

E.5 Mit jelent ez a felhasználónak

A felsorolt gyenge pontok többsége a kockázat alulbecslése felé hat: az el-avult projekciós alap, a légnedvesség becslése, a méretlen mennyiségek és az elavult sérülékenységi adatok egyaránt. A felülbecslés kockázata fő-ként a legutóbbi évek egyes értékeire vonatkozik, ezért ezeket mindig a hosszú sorral együtt közöljük, és a tervezési szabályokat nem egyetlen évre építjük. Ebből azt a következtetést vonjuk le, hogy a közölt tervezési szintek inkább óvatosak, mint túlzók. Ez a mérlegelés saját értékelésünk, nem mért eredmény.

A hazai tudás állapota

Ez a melléklet azt foglalja össze, ki méri és ki kutatja Magyarországon az elemzés egyes területeit, mit használtunk ebből, és hol hiányzik a hazai adat. A táblázat nem teljes intézményi leltár, csak azokat a forrásokat nevezi meg, amelyekre az elemzés épül, vagy amelyek hiányát rögzítjük.

Terület	Ki méri, ki kutatja	Amit az anyag használ	Hiány
Hőmérséklet, csapadék	HungaroMet	homogenizált napi rács, 1971–2025 (G.6)	a hivatalos éghajlati szolgáltatás éves réteget nem közöl (II.2)
Regionális projekció	ELTE, HUN-REN ATK (FORESEE-HUN)	28 futás, két kibocsátási forgatókönyv (H.1, H.2)	futásonkénti hozzáférés korlátozott; a közeli évtized sávja rendkívül keskeny
Hivatalos regionális projekció	HungaroMet (KLIMADAT)	négy futás, két kibocsátási forgatókönyv, 24 mutató (H.2, II.2, VII.4)	futásonkénti érték nem közölt; a csapadékos napok száma korrigálatlan; tavaszi fagy és telítési hiány nem érhető el
Évtizedes éghajlati előrejelzés	nincs hazai műhely; Athéni Nemzeti Observatórium	két rendszer leskálázott futásai (II.1)	hazai készségértékelés nincs
Talajvíz, felszíni víz	vízügyi szolgálat (OVF, vízügyi igazgatóságok)	kútsorok 2001–2026, vízhozam 2000–2026 (III.1)	a vízkivétel időszora nem nyilvános; vízhozamgörbe-módosítások naptára nem ismert
Teljes víztárolás	nincs hazai termék; CSR, Copernicus	műholdas gravimetria (III.1)	–
Talajnedvesség, gyors aszály	KITE agrometeorológiai hálózat (közel 600 állomás, több mélységben); hivatalos országos sor nincs	–	a KITE-sorok hossza, minősége és szakmai hozzáférhetősége ellenőrizetlen; hivatalos, ötnapos felbontású gyökérzóna-sor nincs, így a növénytermesztési kár fő hordozója hivatalosan nem mérhető (H.4)
Tényleges párolgás (talaj és növényzet együtt)	MATE (Nagy Zoltán, Pintér Krisztina; Bugac, örvénykovariancia-állomás; az ICOS európai mérőhálózathoz csatlakozás folyamatban)	–	a bugaci sor és trendjei publikálás előtt állnak; az anyag a sorokat nem használja

Terület	Ki méri, ki kutatja	Amit az anyag használ	Hiány
Szabad vízfelszín párolgása (kádpárolgás)	korábban az agrometeorológiai állomások; a mérés megszűnt	–	nincs folyó hazai kádpárolgás-sor, a megszűnés időpontja nem ismert; a KITE agrometeorológiai hálózata (közel 600 állomás) párolgást nem mér
Hőség és egészség	NNGYK (Páldy Anna és munkatársai); KSH	országos többlethalálozási sor 2011–2023; napi halálozás és hőhalál-statisztika 2011–2024 (IV.1)	a riasztási napokra épülő sor 2023-mal zárul; okspecifikus napi halálozás és kórházi felvételi adat nincs; az egyetlen országos megbetegedési vizsgálat (sürgősségi ellátás) 2017-ben zárul (IV.1); a sérülékenységi réteg 2005–2014-es
Mezőgazdasági kár	AKI; KSH	kárenyhítési kifizetések, megyei termésátlag (III.1, V.2)	a kártérítés nem a teljes kár
Nemzetgazdasági kár	nincs hivatalos számla	EEA CATDAT-alapú kársor (V.2)	az egyetlen hivatalos hazai makrobeclés tizenhat éves; a 2021-es modellszámítás a szélsőséges események kárát nem tartalmazza (V.1)
Alkalmazkodási térinformatika	HungaroMet (NATÉR)	kitettségi és sérülékenységi rétegek (IV.2)	a rétegek 2019 óta nem frissültek



Mit jelent és miben más a kockázati elemzés

G.1 Fontos a kérdések sorrendje

Ugyanaz az adat, ugyanaz a modell, ugyanaz a szerző **mégis más választ ad** attól függően, melyik kérdést tesszük fel elsőnek.

Az **előrejelzés** először azt kérdezi: *mi várható, mi fog történni?* – és csak azután azt, *hogyan érinti ez a társadalom érdekeit?*

A **kockázatelemzés** fordítva indul: *mi történhet, ami hátrányosan érintené a társadalom érdekeit?* – és csak ezután vizsgálja a valószínűséget. Mivel az éghajlati kockázat időben nő, a második kérdés pontosan így hangzik: *hogyan változik a hátrányos kimenet valószínűsége az idő és az emberi cselekvés függvényében?*

Ez a megkülönböztetés nem szörszálhasogatás, ugyanis egy 2026 februárjában megjelent, vezető éghajlat- és kockázatkutatók által jegyzett *Nature*-kommentár épp arra mutat rá, hogy a nemzetközi intézményrendszer soha nem készített megbízatáson alapuló globális klímakockázat-értékelést. Az IPCC-jelentések tudományos értékelések, amelyek középpontjában a legnagyobb bizonyossággal tudható megállapítások állnak. Nem a jelentések hibájáról van tehát szó, hanem arról, hogy ezeket nem kockázatértékelésre tervezték.⁴

Ennek gyakorlati következménye, hogy egy tudományos anyag akkor jó, ha a legjobb becslést adja és a bizonytalanságot nyíltan vállalja, míg egy kockázati anyag akkor, ha a döntéshozó megtudja belőle, **mi az, amit még el lehet kerülni**, és mi az ára annak, ha nem tesszük.

G.2 A kockázat három tényezője

A kockázat nem azonos a veszéllyel. Három tényező szorzata:

- **Veszély** – a fizikai esemény vagy állapot (hőhullám, aszály, fagy, kisvíz).
- **Kitettség** – ki és mi van ott, ahol a veszély jelentkezik (népesség, termőterület, természeti terület, épületállomány, infrastruktúra).
- **Sérülékenység** – mennyire árt, ha bekövetkezik (kor- és egészségi szerkezet, épületminőség, a természetes és az épített környezet állapota, jövődelem, biztosítottság, tartalékok). Ennek része az alkalmazkodási kapacitás.

tás is, amelyre van emberi ráhatásunk, ezért a beavatkozási pontok mind itt találhatók.

Két csapdát igyekszünk elkerülni. Az egyik az, hogy az éghajlatváltozással foglalkozó magyar anyagok – a hivatalosak is – túlnyomórészt a veszélyt modellezik, a másik két tényezőt, a kitettséget és a sérülékenységet pedig legfeljebb illusztrálják. Ha csak a veszélyt frissítjük, a kockázat három tényezőjéből csak egyet frissítünk. A másik csapda abból ered, hogy a kitettség és a sérülékenység **nem klímaadat**. Demográfia, épületállomány, infrastruktúra, jövedelem, biztosítási lefedettség – ezek nem klímamodellből származnak, és nem romlanak el attól, ha a klímamodell konzervatív. Ez a réteg hozzáférhető és frissíthető, miközben a veszélyoldal bizonytalansága nagy marad, így itt a javítás olcsó és gyors. A sérülékenységi oldalon ráadásul kormányzati döntési pontok is vannak, az alkalmazkodási kapacitás kialakítása például ilyen beavatkozás.

G.3 Az „elfogadhatóan lehetséges legrosszabb eset”

Az államigazgatási kockázatértékelés bevett eszköze nem a legvalószínűbb, hanem a **legrosszabb elfogadhatóan lehetséges** forgatókönyv – miután a nagyon valószínűtlen változatokat kizártuk. A brit nemzeti kockázati regiszter minden kockázatot ilyen alakban értékel, és rögzíti, hogy ez nem előrejelzés, hanem az arányos tervezést lehetővé tévő forma.⁵

Ugyanebből a rendszerből egy Magyarországra közvetlenül átvihető tanulság is adódik. A brit gyakorlat megkülönbözteti az **akut** kockázatot (diszkrét esemény, katasztrófavédelmi válasz) és a **krónikus** kockázatot (folyamatos erózió a gazdaságon, a közösségen, az életmódon, a nemzetbiztonságon). A klímaváltozás ott krónikus kockázat. A krónikus kockázatokat 2020 óta kivették a valószínűségi nemzeti kockázatértékelésből, azaz az indoklással, hogy rendszerszintű és tartós kockázatoknál a hagyományos valószínűségi hatásértékelés kevésbé hatékony. Helyette jövőkutatási és rendszerszemléletű módszertant alkalmaznak. Ugyanez a dokumentum rögzíti, hogy a krónikus kockázatok az akutakat valószínűbbé és súlyosabbá teszik – példaként éppen az éghajlatot említve.

Ebből két következtetés adódik. Egyrészt egy évtizedes időhorizontú éghajlati anyagnál a tisztán valószínűségi keret nem elegendő, és a forgatókönyvek (VIII. fejezet) nem elhagyható kiegészítők, hanem módszertani szükségletek. Másrészt – és ez figyelmeztetés – ha a krónikus kockázat kikerül a nyilvános kockázati beszédből, az államigazgatás számára láthatatlanná válik. Megjegyzendő, hogy a brit krónikus kockázati elemzés

maga minősített, a nyilvános regiszter csak a témalistát közli. A brit példa tehát a módszertan forrása lehet, a nyilvánosságé nem.

G.4 Hogyan olvassa az ábrákat

Kétféle ábrát használunk, és a kettő nem keverhető.

(a) **Küszöbátlépési ábra.** Egy megnevezett, nem önkényes küszöb átlépésének gyakorisága vagy valószínűsége az idő függvényében. Ez az a forma, amelyet a biztosítási, mérnöki és munkavédelmi kockázatértékelés használ, és amely megmutatja, melyik a legnagyobb kockázat.⁶ Ahol ilyen lát, ott a küszöb a képaláírásban meg van nevezve.

(b) **Mechanizmusábra (történetszál).** Fizikailag önkonzisztens folyamat kibontása, **valószínűség hozzárendelése nélkül.** Ott használjuk, ahol a bizonytalanság mély és a mechanizmus a lényeg – például a légköri áramlás kérdéseinél. Nem azt mondja, hogy „ez fog történni”, hanem hogy „ez így működik, és ez elfogadhatóan lehetséges”.⁷

A küszöbválasztás értékválasztás, nem pedig tudományos megállapítás. A melléklet a tizenkét használt küszöböt táblázatban közli, azzal együtt, hogy megfigyelésből vagy modellből származik-e, és hogy az átlépés valószínűsége számszerűsíthető-e, vagy csak minőségi leíró tudunk adni.

G.5 A kétféle hiba – és melyik a drágább

Kétféleképpen lehet tévedni. **Vakriasztás:** felkészülünk valamire, ami nem következik be. **Elmulasztás:** nem készülünk fel valamire, ami bekövetkezik.

A tudományos gyakorlat hagyományosan a vakriasztást tartja a súlyosabb hibának, ezért óvatos. A kockázatkezelési gyakorlat ugyanakkor az elmulasztást, ezért a legrosszabb forgatókönyvet veszi alapul. Az idézett *Nature*-kommentár szerzői ezt maguk is megfogalmazzák: a tudósok jellemzően sokat foglalkoznak a vakriasztás elkerülésével, míg a kockázatkezelési szakembereket inkább az foglalkoztatja, hogy ne mulasszanak el pusztító eseményt.

Ez az elemzés a kockázatkezelési logikát követi, és ezt nyíltan vállalja. Tervezési kontextusban az elmulasztás a drágább hiba, mert az elmaradt beruházás következménye évtizedes és részben visszafordíthatatlan, míg a fölösleges felkészülés költsége egyszeri és látható. Ez **nem tudományos megállapítás, hanem értékválasztás.** Aki más súlyozást tart helyesnek, más következtetésre juthat ugyanezekből az adatokból – és ezt nem te-

kintjük hibának, azt viszont fontosnak tartjuk, hogy az eltérő súlyozás egyértelműen szerepeljen.

A súlyozásnak közgazdasági alapja is van. Az éghajlati kár a hőmérséklettel nem egyenletesen, hanem gyorsulva nő – minden további fok többbe kerül, mint az előző, mert élettani, tűrőképességi és méretezési küszöbök törnek át –, márpedig felfelé görbülő költséggörbén a lehetséges kimenetek költségeinek várható értéke nagyobb, mint a középső kimenet költsége. Ha a tervező a középértékre tervez és a felső sávot figyelmen kívül hagyja, akkor nem semlegesen egyszerűsít, hanem szisztematikusan alulbecsüli a várható kárt, és annál inkább, minél szélesebb a sáv. Ez a fenti források összevetéséből adódik.

Végül, mivel ez gyakran félreérthető, hangsúlyozzuk, hogy a kockázatelemzés nem a kétségbeesés tanácsa. Épp azt mutatja meg, mely kimeneteket lehet még elkerülni – vagyis az emberi cselekvési tér kiterjedését.

G.6 Az adatok és a módszer dióhéjban

A megfigyelési adatok egyetlen forrásból származnak: a HungaroMet nyílt adatportáljának homogenizált, interpolált, rácspontokra képzett napi adatbázisából. A rács 0,1 fokos felbontású, 1 233 magyarországi rácspontot tartalmaz, és 1971-től érhető el. A küszöbindexek a mért érték helyett a küszöbátlépések számát közlik. A forró napok száma a 35 °C-ot elérő napoké, a trópusi éjszakáké pedig a 20 °C alá nem hűlő napoké. Ezeket minden rácsponton külön számoljuk, és csak utána átlagolunk országosan. A fordított sorrend más eredményt adna, mert az átlagolás eltünteti a rácspontok közötti különbséget. Tegyük fel, hogy egy napon az egyik rácsponton 34,9 °C, a szomszédján 35,1 °C a napi maximum. Rácspontonként számolva a két pontból egy lépi át a küszöböt, a két pont átlagában tehát fél forró nap adódik. Ha előbb átlagolnánk, a 35,0 °C-os átlag egy teljes forró napot adna (Melléklet B).

A trendeket legkisebb négyzetes lineáris illesztéssel becsüljük, 95 százalékos konfidenciaintervallummal. Ellenőrzésképpen a Theil–Sen-féle robusztus becslést is alkalmazzuk. Mindkét eljárás évi aggregátumokra – országos középértékre, küszöbnapszámra – illeszt trendet, nem az egyedi szélsőértékek eloszlására. A normalitási feltevés tehát az aggregátum maradvéktagjára vonatkozik, és a nagy elemszám mellett itt megengedhető, máshol nem volna az. Ha maga a szélsőérték-eloszlás volna a kérdés – mondjuk egy adott csapadékintenzitás visszatérési szintje –, a lineáris illesztés nem állná meg a helyét, mert az ilyen mennyiségek aszimptotikusan általánosított szélsőérték-eloszlást (Gumbel–Weibull–Fréchet) követ-

nek. Ezért visszatérési szinteket nem közlünk, a szélsőségeket pedig illesztett eloszlás helyett küszöbátlépések gyakoriságaként kezeljük (Melléklet C). Mivel sok párhuzamos trendtesztet végzünk, a szignifikanciaküszöböt a tesztek számához igazítjuk (Bonferroni-korrektúra). A tesztek az egész elemzésre közösen, nem fejezetenként alkotnak egy családot. A megfigyelési és hidrológiai trendtesztek száma 104, a korrigált küszöb tehát $0,05/104$, nagyjából 0,0005. Ezért egy 0,05 alatti p-érték vagy egy nullát át nem fogó konfidenciaintervallum az elemzésben önmagában nem elég a „szignifikáns” minősítéshez⁸. Hogy melyik állítás éri el a korrigált küszöböt, és melyik nem, azt a Melléklet B 7. pontja tételesen közli. Ahol egy trend a korrigált küszöböt nem éri el, ott irányjelzésként, a p-értékkel együtt közöljük, „szignifikáns” minősítés nélkül.

A modelleredmények és a mérések összevetése az elemzés központi eljárása. A kérdés az, hogy a modellek teljes tartománya lefedi-e a mért értéket. Ha a legszélsőségebb modelltag sem éri el a mérést, azt nevezzük a fedés hiányának. Ilyenkor a modellsáv alja nem óvatos becslés, hanem alsó korlát, és a tervezési minimum a megfigyelt érték. Ezt nevezzük a tervezési minimum szabályának (H.2). A szabályt mutatóként igazoljuk: négy mutatón érvényes – a hőmérsékleten, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon és a telítési hiányon –, több másikon nem. A száraz időszakok hosszán, az intenzív csapadék szintjén és a 35 °C-ot elérő napok számán a modelltartomány lefedi a mért értéket, tehát ott nincs alsó korlát, és a mért trend az irányadó. Ezeken a mutatókon tehát a mérés és a modell összhangban van, a modelleredmények nem alulbecsültek. A „modell” az elemzésben három különböző terméket jelenthet, és a H.1 szakasz mindhármát megnevezi: a FORESEE-HUN regionális modell-együttesét, a HungaroMet hivatalos KLIMADAT-projekcióját és az évtizedes éghajlati előrejelzést.

A talajvízszint alakulását az országos törzskúthálózat minden olyan kútján vizsgáljuk, amelynek 2001 és 2026 között legalább huszonnégy évben van augusztusi mérése, ezen belül hat tájegység részletes kútcsoportján, egy nyugat-dunántúli ellenpárral. A ciklikussághoz az 1975-ig visszanyúló sorokat is felhasználjuk. A szint trendjét kutanként becsüljük, és országosan, vízügyi igazgatóságokként és tájegységeként összesítjük (III.1). A felszíni vizeket a vízügyi szolgálat vízmércéinek napi vízhozam- és vízállásadatain követjük.

Hogyan készült, és hogyan ellenőriztük

Az elemzés mesterségesintelligencia-támogatással készült, emberi irányítással és jóváhagyással. A feldolgozó kód, a számítások és a szöveg első

változatai a nyers adatokból készültek. Minden elemzési lépést és az anyag fő változatait ezután egy második, független ellenőrzés számolta újra. Az ellenőrzés külön munkamenetben futott, a szerzői számítások átvétele nélkül, a nyers adatokból saját, újonnan írt kóddal. A közölt értékeket számonként vetette össze a szöveggel. Az ellenőrzés csak eltérést jelez, a javításról és a változat jóváhagyásáról ember dönt. 2026 szeptemberében ezenfelül egy kifejezetten hibakereső szemléletű átvilágítás a teljes anyagot átvizsgálta, újraszámításokat is végezve. Ez mutatta ki például, hogy a tavaszi fagy egyik trendértéke csak az egyik országos összegzési módon igazolható, a másikon nem. A [II.3](#) ezért a szűkebb alakat közli.

Honnan tudjuk, amit tudunk – és hol a határ

H.1 Négy különböző dolog, amit gyakran egynek néznek

A NÉGY FOGALOM

- **Megfigyelés.** Hazai mérési adatokból készült homogenizált rácsponti adatok és állomási sorok, 1971-től. Ez az elemzés legrobosztusabb alapja. Hátránya, hogy a múltat mutatja meg, és a mérési sorokban vannak töréspontok, amelyeket kezelni kell. Az anyag megfigyelési számai egyetlen csatornából, a hivatalos nyílt adatportál 0,1°-os homogenizált napi rácásából állnak, 1 233 rácsponton.⁹
- **Regionális éghajlati modell (projekció).** Ez nem időjárás-előrejelzés, hanem azt mutatja meg, milyen 30 éves időszakra vonatkozó éghajlat lenne egy adott kibocsátási pályával. Nem tudja, hogy milyen lesz a 2029-es esztendő. A hazai hivatalos termékek zöme ebbe a kategóriába tartozik. Két hazai készlet áll rendelkezésre. Ahol az anyag „a regionális modellegyüttes” vagy „a 28 modellfuttatás” fordulatot használja, az ELTE és a HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont hibakorrigált EURO-CORDEX-készletéről, a FORESEE-HUN-ról van szó.¹⁰ Ahol „a hivatalos projekció” vagy „a KLIMADAT” szerepel, a HungaroMet szolgáltatásáról: két regionális modell (ALADIN-Climate és REMO) négy futásáról, két kibocsátási forgatókönyv alatt.¹¹ Mindkettő ugyanahhoz, az IPCC ötödik értékelő jelentését megalapozó modellgenerációhoz tartozik.
- **Évtizedes (dekadális) éghajlati előrejelzés.** Ez egy teljesen új megközelítést alkalmazó adatforrás. Az évtizedes éghajlati előrejelző rendszer nem egy időjárás-előrejelzést nyújt – hiszen tíz évre ennek nincs értelme –, hanem az éghajlat várható állapotát írja le a következő 10 évre vonatkozóan. Az anyag az Athéni Nemzeti Obszervatórium által az Augures projekt keretében készített, Magyarországra leskálázott futásokat használja. A modellt a megfigyelt óceán- és légköri állapotból indítják, így az első néhány évre a **belső változékonyságból** is megfog valamit, nemcsak a kényszerített trendet. A 2026–2035-ös ablakra ilyen termék tehát már létezik, és feldolgozott formában rendelkezésre áll.¹²
- **Előrejelző készség (skill).** Az, hogy egy előrejelzés létezik, nem jelenti, hogy jó. A készséget visszatekintő futtatásokkal (ún. hindcast) mérik: az elmúlt évtizedekre lefuttatják ugyanazt az eljárást, és összevetik a megfigyeléssel. Ahol az **előrejelző készséget nem sikerült igazolni**, ott ezt jelezzük, és az elemzés nem épít rá.

H.2 A tervezési minimum szabálya

A tervezési minimum szabálya (röviden: minimumszabály) az anyag legfontosabb módszertani döntése, és a legtöbb következtetés éppen ezen alapul.

Több, egymástól független ellenőrzés jut ugyanarra az eredményre:

- **Állomásszintű verifikáció.** Öt hazai regionális modellezési tanulmány 2021–2050-re szóló jelzéseit vetettük össze a 2021–2026-os tényleges mérésekkel tizenegy állomáson. Az irány helyes, a mérték ugyanakkor **egyirányúan alulbecsült**. Az évszakos szerkezet részben téves, a tavasz ugyanis a leglassabban melegedő évszaknak bizonyult, nem a leggyorsabbnak, ahogy a modellek jelezték. A csapadék évszakos átrendeződése erősebb a jelzettnél.
- **Négy mutató, amelyen a modelltartomány nem fedi a megfigyelést.** A hőmérsékleten és a 30 °C-ot elérő napok számán a két hazai projekciós készlet – a 28 futásos FORESEE-HUN és a HungaroMet négyfutásos KLIMADAT-szolgáltatása – egybehangzóan a mérés alatt marad (a próbát a szakasz végén közöljük). A telítési hiányon a 28 futás egyike sem éri el a megfigyelt értéket, mindkét kibocsátási forgatókönyvön. A tavaszi fagyot a mérsékelt kibocsátási forgatókönyv 14 futásán vizsgáltuk, és ezek egyike sem éri el a megfigyelt értéket (II.3). A magas kibocsátási forgatókönyv futásain egy ellenőrző számítás lefutott, kimenete azonban nem maradt meg. Rögzített eredménye szerint ott az április–májusi fagyos napok sávja (évi 0,33–3,35 nap) a megfigyelt normát (2,39) fedi, az utolsó öt év értékét (3,48) nem, ezért a tavaszi fagyon a szabályt a mérsékelt forgatókönyvre állítjuk. A telítési hiányt és a tavaszi fagyot a KLIMADAT nem közli. Ez nem egyetlen kilógó adat, hanem szerkezeti jegy.
- **Adatgazdai megerősítés.** Egy 2024-es hazai folytonossági korrekció maga rögzíti, hogy a modellek a térség 2000 utáni melegedését nem adják vissza (l. a 10. jegyzetet).
- **Kényszernormalizálás.** Kézenfekvő ellenérv volna, hogy a modell azért becsül alul, mert kevesebb üvegházgázt kapott bemenetként, mint amennyi ténylegesen a levegőbe került. Ez azonban kizárható, mert a modellegyüttes olyan koncentrációvezérelt pályán futott, amelytől a mért légköri szén-dioxid-szint 2015 és 2025 között átlagosan csupán 1,3 ppm-mel tért el. Ez sugárzási kényszerre átszámítva a teljes antropogén kényszer nagyjából egy százaléka. Azonos kényszernövekményre a **megfigyelt hazai hőmérsékleti válasz a projektált érték 1,7–2,1-szerese**. Az eltérés tehát nem a bemeneten van, hanem a válaszon.¹³

Ebből két, egymásra épülő olvasat következik. (1) A modellsáv alja alsó korlátnak tekintendő. Ha egy méretezési szabvány vagy támogatási kritérium a sáv aljára mint „óvatos” értékre hivatkozik, valójában a legvalószínűtlenebb jó esetre méretez. (2) **A tervezési minimum a már megfigyelt érték.** Amit a mérés egyszer előállított, azt az alkalmazkodási tervezés

nem teheti a lehetetlen tartományba; a sáv fölfelé nyitott. A két olvasat viszonyát a II/10a. ábra egy mutatón keresztül – a telítési hiányon – illusztrálja. A 28 futás 2025–2034-es sávja teljes egészében a 2021–2025-ben már megfigyelt érték alatt fekszik, vagyis a modell még a következő évtizedre sem ad akkora értéket, amekkorát az elmúlt öt évben már mértünk.

A minimumszabály ugyanakkor nem modellkritika, vagyis nem azt állítja, hogy „a modellek rosszak”. A telítési hiány esetében például az érvényes olvasat az, hogy az elérhető projekció olyan **származtatási úton** áll elő, amely nem adja vissza a megfigyelt mechanizmust. Ez egyben azt is jelenti, hogy az eltérés korrigálható.

Egy további megszorítás nélkül pedig a minimumszabályból dogma lenne, a szabály ugyanis változónként igazolandó, nem általános érvényű. Több olyan mutatót is közlünk, amelyekre a szabály nem érvényes. A száraz időszakok hosszán a FORESEE-HUN sávja a mérést fedi, és a megfigyelt trend 2025-ig nem mutat hosszabbodást (II.2). A KLIMADAT ugyanezen rétege módszertani okból erre a kérdésre nem használható (a szakasz végén). 2026 tenyészidőszakában viszont a tíz, 1901 óta mérő állomás átlagában rekord született, ezért a méretezésnél itt nem a modellsáv, hanem a megfigyelt szélsőérték a tervezési esemény. Az intenzív csapadék szintjén az átfedő években a modell a megfigyeltnél *nedvesebb* (II.4). A 35 °C-ot elérő napok, a 25 °C-os napi középhőmérsékletű napok és a trópusi éjszakák számán mindkét projekciós készlet fedi a mérést. A hőmérsékleti mutatókon, a 30 °C-ot elérő napok számán, a tavaszi fagyon és a telítési hiányon a modell alulmarad, ezekre alkalmazható a minimumszabály. A szabály a mutató megnevezése nélkül idézve többet állítana, mint amennyit az elemzés alátámaszt.

Egy kézenfekvő és komoly ellenvetés a fenti érveléssel szemben, hogy egy kis ország ötvenöt éves adatsorán vagy kiválasztott mutatóin talált eltérés regionális műtermék lehet, amelyet rácsfelbontás, tájhatás vagy a Kárpát-medence sajátosságai okoznak. Erre magyar adattal nem lehet válaszolni, globális léptéken viszont a VI. fejezet választ ad rá, a globális energiamérleg ugyanis ugyanezt a mintázatot mutatja, ott pedig a **régiókiválasztás és a rácsfelbontás kérdése fel sem merül**. Kontinentális léptéken ráadásul közvetlen analógia is található. A nyugat-európai hőségszélsőségek áramlásvezérelt trendjét a vizsgált modellszimulációk egyike sem mutatja (II.5). A globális jel és az a hazai megállapítás, hogy a modelltartomány nem fedi a megfigyelést, ugyanakkor eltérő mechanizmusra épül, így együttállásuk csak tágabb összefüggést jelez, bizonyítéknak nem tekinthető. A globális eredmény ezért a hazai értékek nagyságát semmi-

lyen módon nem kalibrálja. A négy globális folyamatot, amelyek ismerete nélkül a magyar értékek nem értelmezhetők pontosan, a VI. fejezet fejt ki.

A minimumszabály a két hazai projekciós készleten

Magyarországra két, egymástól független regionális projekciós készlet készült, és a tervezési minimumszabály csak akkor állja meg a helyét, ha mindkettőt ugyanazzal a próbával vizsgáljuk. Az egyik az ELTE Meteorológiai Tanszékének és a HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpontnak a FORESEE-HUN adatbázisa: tizennégy európai regionális modelllánc hibakorrigált futásai két kibocsátási forgatókönyv alatt, összesen 28 futás. A másik a HungaroMet hivatalos KLIMADAT-szolgáltatása: két regionális modell négy futása ugyanazon két forgatókönyv alatt, 10 km-es rácson.

A két készlet más célra készült, és ebből más erősségek adódnak. A KLIMADAT kész rétegeként huszonnégy éghajlati mutatót közöl, országos, megyei és járási bontásban, a hazai homogenizált megfigyelésre igazítva, így a hivatalos tervezés számára ez a közvetlenül használható termék. A FORESEE-HUN futásonként napi adatsort ad, ezért belőle olyan mennyiség is számolható, amelyet kész réteg nem tartalmaz, például a telítési hiány, és 28 futása a modellválasztásból eredő bizonytalanságot szélesebben mintázza. Mindkét készletnek vannak ismert gyenge pontjai. A négy KLIMADAT-futás két globális modellre épül, a szolgáltatás pedig rácspontonként csak a futások legkisebb, középső és legnagyobb értékét közli. A FORESEE-HUN 28 futásának a közeli évtizedre vonatkozó sávja rendkívül keskeny – az évi középhőmérsékletre 2022 és 2031 között 0,1 °C –, ami összhangban van azzal, hogy a futásokat a mérési sorhoz illesztették. Egyik készlet sem „a jobb”, a kérdés az, hogy ugyanazon a próbán mit mutatnak.

A próba mindkét készleten azonos szerkezetű, és szándékosan a modellek javára torzít. A KLIMADAT 2001–2030-as sávját az 1996–2025-ös megfigyeléssel, a FORESEE-HUN 2022–2031-es sávját a 2016–2025-ös megfigyeléssel vetjük össze. A modellablak mindkét esetben öt-hat évvel későbbi, így melegebb éghajlatban a modellnek eleve előnye van. Minden készletet a saját megfigyelési sorához mérünk, mert a két készlet a napi középhőmérsékletet eltérően képezi. A két oszlopcsoport abszolút értékei ezért csak a saját megfigyelésükkel vethetők össze, egymással nem. A késés azt mutatja, hány évvel később éri el a futások mediánja azt a szintet, amelyet a mérés már elért.¹⁴

mutató	KLIMADAT: mérés, 1996–2025	KLIMADAT: 4 futás, 2001–2030 (legkisebb – medián – legnagyobb)	KLIMADAT: késés, év	FORESEE-HUN: mérés, 2016–2025	FORESEE-HUN: 28 futás, 2022–2031 (legkisebb – medián – legnagyobb)	FORESEE-HUN: késés, év
évi középhőmérséklet, °C	11,07	10,51 – 10,67 – 10,99 ▲	15,5	12,08	11,69 – 11,73 – 11,79 ▲	13,5
nyári középhőmérséklet, °C	21,12	19,86 – 20,42 – 20,60 ▲	23,9	22,18	21,65 – 21,69 – 21,74 ▲	16,7
tavaszi középhőmérséklet, °C	11,23	10,97 – 11,10 – 11,22 ≈	9,8	11,65	11,50 – 11,55 – 11,65 ≈	8,2
téli középhőmérséklet, °C	0,74	–0,24 – 0,86 – 1,75 ○	–	2,23	1,24 – 1,46 – 1,98 ▲	18,4
nyári napi maximum, °C	27,71	25,35 – 26,43 – 26,85 ▲	46,0	28,84	28,20 – 28,25 – 28,30 ▲	17–22
30 °C-ot elérő napok, nap/év	31,4	19,8 – 22,8 – 28,1 ▲	37,3	40,0	33,2 – 36,5 – 38,9 ▲	16,1
35 °C-ot elérő napok, nap/év	3,8	1,6 – 2,8 – 4,8 ○	–	5,1	4,0 – 6,2 – 7,7 ○	–
legalább 25 °C napi középhőmérsékletű napok, nap/év	12,8	8,6 – 11,2 – 13,7 ○	–	18,0	15,2 – 18,0 – 21,1 ○	–
trópusi éjszakák, éjszaka/év	2,8	2,4 – 4,2 – 6,0 ○	–	4,4	3,6 – 5,6 – 7,3 ○	–
fagyos napok, nap/év	87,3	74,5 – 85,8 – 97,2 ○	–	77,3	69,7 – 78,9 – 89,3 ○	–
leghosszabb száraz időszak, nap	27,0	24,0 – 25,2 – 26,5 ×	–	27,4	20,6 – 27,3 – 30,6 ○	–
csapadékos napok (≥ 1 mm), nap/év	90,0	97,3 – 116,6 – 136,6 ×	–	86,1	83,3 – 90,3 – 99,5 ○	–

Jelmagyarázat: ▲ a mérés a futások teljes sávja fölött, a kockázati oldalon van; ≈ a mérés a sáv felső szélén van; ○ a sáv a mérést fedi; × a mutató a korrekciós eljárás miatt erre a próbára nem alkalmas (lásd lent). A késés csak ott szerepel, ahol a sáv nem fedi a mérést.

Az eredmény négy pontban foglalható össze.

(1) A hőmérsékleten és a 30 °C-os napokon a két készlet egybehangzóan a mérés alatt marad. Az évi és a nyári középhőmérséklet, a nyári napi maximum és a 30 °C-ot elérő napok száma mindkét készlet teljes sávja fölött van. Az évi középhőmérsékletben a futások mediánja a KLIMADAT-

on 15,5, a FORESEE-HUN-on 13,5 évvel később éri el a már mért szintet, nyáron 24, illetve 17 évvel. Két, egymástól függetlenül készült és eltérő eljárással korrigált készlet ugyanazt mutatja, ezért a hőmérsékleti minimumszabály nem a készletválasztás következménye. A HungaroMet szóhasználatát követve a 30 °C-os küszöbű napot hőségnapnak, a 35 °C-osat forró napnak nevezzük (Melléklet C).

(2) **A 35 °C-ot elérő napok számán mindkét készlet fedi a mérést.** Ugyanígy a legalább 25 °C napi középhőmérsékletű napokon, a trópusi éjszakákon és a fagyos napokon, a trópusi éjszakák számában pedig mindkét készlet mediánja a mért érték fölött van. A 35 °C-os napokra ezért a minimumszabály nem alkalmazható. A legutóbbi öt év átlaga (évi 8,5 nap) ugyan a FORESEE-HUN 2022–2031-es sávja fölött van, ötéves átlagot tízéves modellátlaghoz mérni azonban a modell rovására torzít, és az azonos hosszúságú ablakokon a mérés mindkét sávon belül marad. Ezzel pontosítjuk az anyag korábbi változatait, amelyek a minimumszabályt a 35 °C-os napokra is kiterjesztették.

(3) **A téli hőmérsékleten a két készlet ellentétes irányba tér el.** A KLIMADAT mediánja melegebb telet ad a mértnél, a FORESEE-HUN minden futása hidegebbet. A téli hőmérsékletre épülő tervezésnél – fűtési igény, téli és fagyvédelmi kapacitás (II.4) – a két készlet ellentétes irányba téved, ezért itt is a mért érték a kiindulópont. Tavasszal a mérés mindkét készleten a sáv felső szélén van, ami összhangban van azzal, hogy a tavasz a leglassabban melegedő évszak (II.1).

(4) **A száraz időszak hosszára a KLIMADAT projekciós rétege nem bizonyító erejű.** A szolgáltatás a csapadékot havi arányszámmal igazítja a megfigyeléshez, ami a havi összeget korrigálja, a csapadékos napok számát nem.¹¹ A négy futásban a legalább 1 mm-es csapadékú napok száma már a 2001–2030-as ablakban mintegy 27 nappal több, mint a mért érték, a mért változás 1971–2000 és 1996–2025 között viszont mindössze +0,6 nap. A HungaroMet munkatársainak 2023-as értékelése is azt rögzíti, hogy a négy szimuláció a csapadékos napokat túlbecsüli, a nyári száraz időszakokat pedig kissé alulbecsüli.¹⁵ A gyakoribb kis csapadék a száraz időszakokat mesterségesen megszakítja. Ezért a KLIMADAT száraz időszaki sávja – amely fölött a mért érték áll, és amely a jövőre mintegy négynapos rövidülést ad – a változás irányáról nem bizonyító erejű. Belőle csak annyi állapítható meg, hogy a mért érték a sáv fölött áll. A FORESEE-HUN-ban a csapadékos napok száma a mért közelében van, és a száraz időszak sávja a mérést fedi.

A KLIMADAT két mutatót nem közöl, amelyen a minimumszabály érvényes: a tavaszi fagyot (a fagyos napok száma csak éves bontásban érhető el) és a telítési hiányt. Ezen a két mutatón a szabály egyetlen készleten, a FORESEE-HUN-on érvényes (II.2, II.3).

A KLIMADAT 2026-os frissítése: megyei, járási és városi próba

A HungaroMet 2026 júliusában frissítette a szolgáltatást (2.0 változat).¹¹ A megfigyelési réteg 2025-ig bővült, a mutatók megyei és járási átlagban is elérhetők, és új városi réteg került be Budapestre, kerületenként, valamint Szegedre. A projekció alapja nem változott, továbbra is az a négy regionális futás, amelyet a 2023-as értékelés leír.¹⁵ A városi réteg a SURFEX felszínmodellel készült, amelyet ugyanez a négy futás hajt, és csak hőmérsékleti mutatókat közöl. A városi „megfigyelés” a homogenizált rács és a modellezett hősziget összege, nem tiszta mérés.¹¹

A frissítés lehetővé tette, hogy a fenti próbát minden megyén, járáson és budapesti kerületen megismételjük. A próba változatlan, vagyis a mért 1996–2025-ös átlagot a 2001–2030-as négy futás sávjához mérjük. Az utolsó két oszlop azt mutatja, hogy országos átlagban a mért változás (1971–2000 → 1996–2025) hány százalékát adja vissza a futások mediánja, illetve a futások rácspontonkénti legnagyobb értéke a 2001–2030-as ablakban.¹⁶

mutató	megye (20, Budapesttel): mérés a sáv fölött	járás (173): mérés a sáv fölött	budapesti kerület (23): mérés a sáv fölött	a mért változásból: medián	a mért változásból: legnagyobb érték
évi középhőmérséklet	15	123	5	59 %	92 %
nyári középhőmérséklet	20	172	21	51 %	63 %
nyári napi maximum	20	173	23	29 %	52 %
30 °C-ot elérő napok	16	136	21	40 %	77 %
nyári napok (napi maximum > 25 °C)	20	173	23	13 %	40 %
téli középhőmérséklet	0	0	0	115 %	235 %
trópusi éjszakák	0 (4-ben alatta)	1 (69-ben alatta)	0	163 %	245 %

Az eredmény három pontban foglalható össze.

(1) Az országos eredmény területi bontásban a nyári nappali mutatókon érvényes, és ott a legélesebb. A nyári napi maximum és a nyári napok mért szintjét a négy futás egyetlen megyében, járásban vagy kerületben sem éri el. A medián a nyári napi maximum mért változásának kevesebb

mint harmadát, a nyári napokénak nyolcadát adja vissza. A futások legnagyobb értéke – ez a modellnek kedvező mérce – a nyári napok 1996–2025-ös országos szintjét (évi 90 nap) csak a 2036–2065-ös ablakban éri el. A lefedetlenség tehát független a futás kiválasztásától, hiszen a legmelegebb futás sem éri el a mérést. Két mutatón a területi kép vegyes. Az évi középhőmérsékleten a mérés a megyék 75, a járások 71, a budapesti kerületeknek pedig csak 22 százalékában van a sáv fölött, a 30 °C-ot elérő napokon a járások 79 százalékában. Ez a számítás előtt rögzített 80 százalékos elfogadási küszöb alatt marad, ezért e két mutatón a területi általánosítást nem tesszük meg.

(2) **Éjjel és télen fordított a kép.** A trópusi éjszakák számában és a téli középhőmérsékletben a futások a mértnél nagyobb változást adnak, a fagyos napokon a sáv a mérést fedi. A modell tehát nem általában „hideg”, hanem a nappali és az éjszakai melegedés arányát téveszti el.

(3) **Ez a hiba mechanizmusra vezethető vissza, és mindkét hazai készletben megvan.** A mérés szerint a napi hőingás, vagyis a napi maximum és minimum különbsége, nő. A KLIMADAT saját megfigyelési rétegén 1971–2000 és 1996–2025 között évi átlagban 0,42, nyáron 0,63 °C-kal nőtt. Egy független ELTE-vizsgálat a HungaroMet homogenizált adatbázisán ugyanezt találta: 1971–1990 és 2005–2024 között a nyári napi maximum 2,6, a minimum 1,7 °C-kal emelkedett.¹⁷ A KLIMADAT futásainak mediánja a hőingást ezzel szemben szűkíti, nyáron 2001–2030-ra 0,14, 2021–2050-re 0,19 °C-kal. A FORESEE-HUN 28 futásából 27 szintén szűkülő hőingást ad 2022 és 2060 között (II.2). Ugyanitt a nyári napi maximum emelkedése a futások mediánjában évtizedenként 0,16–0,21 °C, a mért 1971–2025-ös trend 0,78 °C.¹⁸ A szűkülő hőingás és a gyenge nappali melegedés azzal a mechanizmussal egyezik, amelyet a nemzetközi irodalom a légköri kitisztulás hiányával magyaráz, vagyis azzal, hogy a modellben kevesebb nap-sugárzás éri el a felszínt, mint a valóságban (alább). Arra, hogy ez a két hazai készletben a hiány mekkora részét magyarázza, nincs számszerű becslésünk, ezért feltevésként kezeljük. A KLIMADAT két modellje ebben eltér egymástól. A HungaroMet leírása szerint az ALADIN-Climate időben változó aeroszolkényszerrel fut, a REMO állandóval, és a szerzők maguk is ezzel magyarázzák, hogy a REMO nyári melegedése mérsékeltebb.¹⁸ A négy futás rácspontonkénti legnagyobb értéke azonban a nappali mutatókon szintén a mérés alatt marad. Ezért a változó aeroszolkényszer egymagában valószínűleg nem magyarázza meg a különbséget.

Mi a HungaroMet-készlet sajátja, és mi nem. A nappali melegedés alulbecslése nem a HungaroMet futásainak hibája, hanem a CMIP5-ös alapú európai regionális modellezés közös vonása, és ezt a FORESEE-HUN is mutatja. A KLIMADAT-ra három sajátos megjegyzés vonatkozik. (1) A 2026-os frissítés a megfigyelést 2025-ig kiterjesztette, a projekciót nem, és a szolgáltatás nem jelzi, hogy saját grafikonjain a nyári mutatók mért 1996–2025-ös értéke a négy futás sávja fölött áll. (2) A négy futás két globális modellre épül, és rácspontonként csak a legkisebb, középső és legnagyobb érték érhető el, így tagonkénti ellenőrzés nem végezhető. (3) A hőmérsékleti korrekció a futások átlagát az 1971–2000-es szinthez igazítja, a változás mértékét viszont a modelltől örökli.¹¹ A küszöbalapú mutatók ezért a nappali trendhiányt teljes egészében átveszik. A FORESEE-HUN folytonossági korrekciója a szintet a mért sorhoz illeszti, ezért a közeli évtizedben magasabb szintről indul, a trendet azonban ez sem javítja.

Tervezési következmény. A KLIMADAT megyei, járási és kerületi rétegei a nappali hőmérsékleti mutatókon – nyári középhőmérséklet, nyári napi maximum, nyári napok, 30 °C-ot elérő napok – a következő évtizedre nem adnak tervezési értéket (a 30 °C-ot elérő napokon a megyék és a járások mintegy ötödében a sáv a mérést még fedi). Ezeken a mutatókon a minimum a mért 1996–2025-ös vagy frissebb érték. Az éjszakai és téli mutatókon (trópusi éjszakák, fagyos napok, téli középhőmérséklet) a réteg használható, mert a mérést fedi vagy a kockázati oldalon meghaladja. A budapesti kerületi réteg a hősziget térbeli mintázatának leírására értékes (IV. 2), a jövőbeli nyári szintet azonban ugyanaz a hiány terheli, mint a regionális réteget.

A modellgeneráció kérdése: CMIP5-ös alap, CMIP6-os világ

Mindkét hazai projekciós készlet az előző globális modellgenerációra épül. A KLIMADAT két regionális modelljét a CNRM-CM5 és az MPI-ESM-LR globális modell hajtja,¹⁵ a FORESEE-HUN tizennégy modellláncát szintén az IPCC ötödik jelentését megalapozó (CMIP5) globális modellek hajtják, RCP-forgatókönyvek alatt.¹⁰ Az itt használt évtizedes előrejelzés viszont már az újabb generációhoz (CMIP6) tartozik (II.1). Így egyszerre két modellgeneráció termékeit használjuk, és ennek kockázati következményei vannak.

Mi változott az új generációban. A CMIP6-modellek éghajlati érzékenysége szélesebb sávban szóródik, és a sáv felső része magasabbra került. A CMIP5-modellek 2,1–4,7 °C-os tartománya (átlag 3,3 °C) a CMIP6-ban 1,8–5,6 °C-ra szélesedett (átlag 3,9 °C), és kilenc modell meghaladja a korábbi

generáció legmagasabb értékét. Az emelkedést elsősorban a mérsékelt övi alacsony felhőzet erősebb visszacsatolása okozza.¹⁹ Egy másik összesítés szerint a modellek több mint negyedének érzékenysége meghaladja a legmagasabb CMIP5-értéket (4,7 °C), és mintegy ötödük legalább 5 °C-os melegedést ad a szén-dioxid megduplázódására.²⁰ Az IPCC hatodik jelentése ezért nem a nyers modellátlagot vette át, hanem a modelleket a megfigyelt történeti melegedéssel való egyezés alapján súlyozta, és egyszerűsített emulátorral dolgozott. Értékelt tartománya 2–5 °C (nagyon valószínű), a legjobb becslés 3 °C (VI.2).²⁰

Kockázati olvasat: mindkét irányban lehet tévedni.

- *Alulbecslési kockázat a CMIP5-ös alapon.* A hazai készletek nem tartalmazzák az új generáció magas érzékenységű tartományát, így az eloszlás felső széle bennük alulreprezentált. Ennél is súlyosabb egy regionális modellezési sajátosság, amely független a globális modell generációjától. Az európai regionális modellfuttatások többsége állandó emberi eredetű aeroszol-kényszerrel fut. Egy összevetés szerint ezért a regionális modellek Európa nagy részén a század végére 1,5–2 °C-kal kisebb nyári melegedést adnak, mint az őket meghajtó globális modellek, és ebben az időben változó aeroszolk hiánya meghatározó szerepet játszik.²¹ Egy 2024-es vizsgálat szerint Nyugat- és Közép-Európa nagy részén a nyári hőmérséklet 1980 óta háromszor gyorsabban emelkedett a globális átlagnál, és az aeroszolcsökkenésből eredő többletmelegedés keletebbre erősebb. Ezt a modellszimulációk többsége nem adja vissza, mert az állandó aeroszol-kényszerrel futó regionális modellekből hiányzik a légköri kitisztulás okozta besugárzás-növekedés és melegedés.²² A H.2 próbájában mért késés – a hazai futások mediánja nyáron 17–24 évvel jár a mérés mögött – ezzel a mechanizmussal összhangban van, a magyarázott hányadot azonban nem számszerűsítettük, így az összhang az okot nem bizonyítja.
- *Felülbecslési kockázat, ha a CMIP6 nyers átlagára váltunk – és ami ebből a mérés fényében megmaradt.* A „forró modellek” kritikája 2022-ben fogalmazódott meg, eszerint a magas érzékenységű modellek túlsúlya az együttes átlagát és bizonytalansági sávját felfelé torzítja.²⁰ Az azóta eltelt évek, amikor a modellpályák már a méréssel átfedő időszakban futnak, ezt a kritikát részben enyhítették. A CMIP6-projekciók átlagosan 3–7 évvel később lépik át az 1,5 °C-os globális szintet, mint ahogy a mérés 2024-ben átlépte. Az időzítést a gyorsabban melegedő, mérsékeltén magas érzékenységű modellek adják vissza a legjobban. A legszélsőségesebb modellek viszont továbbra is túl gyorsak, a legmagasabb érzékenységű vizsgált modell az átlépést 10–15 évvel korábbra teszi. A 2024-es átlépésben a belső változékonyság is szerepet játszott.²³ Egy másik vizsgálat szerint a

2024-es rekordév a CMIP6-együttes alapján nem rendkívüli, és ez a következtetés a forró modellek kiszűrésével is megáll.²⁴ A jövőre vonatkozó megfigyelési megszorítás ugyanakkor a 2024-ig tartó adatok alapján is a CMIP6 alsó-középső tartományába teszi a század közepi és végi melegedést.²⁵ A két eredmény eltér, ezért mindkettőt közöljük. A jelen évtizedben a mérés a mérsékelten magas érzékenységgű modellek felé mutat, a század közepére vonatkozó megszorítás pedig az alsó-középső tartomány felé. Ez ugyanaz a nyitott kérdés, mint a VI.2 két olvasata, vagyis hogy a gyorsulás az aeroszolhűtés kifutásából vagy a magasabb érzékenységből ered. A 2015 utáni összevetésben ráadásul a modellek forgatókönyvi kényszerrel futnak, a tényleges aeroszolcsökkenés pedig – megítélésünk szerint – ennél gyorsabb volt. A szakirodalom ezért változatlanul azt javasolja, hogy a hatásvizsgálatok idő helyett globális melegedési szintekre (1,5, 2, 3 és 4 °C) számoljanak, vagy a modelleket az átmeneti érzékenység 1,4–2,2 °C-os valószínű tartománya szerint szűrjék. A magas érzékenységgű részhalmaz a szélsőérték-tartomány vizsgálatára használható, de csak ott, ahol a hatás valóban a globális középhőmérséklettel skálázódik.²⁰ A következő évtized tervezésénél a mérsékelten magas érzékenységgű futások kizárása a fentiek alapján nem indokolt. A kép gyorsan változik, és a 2022 óta eltelt évek a mérést felfelé mozdították a modellek között. A megfigyelt globális középhőmérséklet 2008 és 2022 között jellemzően a nyers CMIP6-átlag alatt futott, 2024-ben kissé fölé került, 2025-ben pedig gyakorlatilag rajta volt. Az IPCC teljesítmény szerint súlyozott pályájának középértékénél a mérés 2023–2025-ben következetesen magasabban jár, de a sávján belül marad.²⁶ Egy naponta frissülő nyilvános összevetés szerint a 2011 óta mért melegedési ütem évtizedenként 0,39 °C, a szűretlen CMIP6-együttes átlaga 0,32 °C. 1970-től számítva viszont a mért 0,21 °C a modellátlag (0,24 °C) alatt van.²⁷ A földi energiamérleg többletének 2001 és 2019 közötti növekedését a modellek 10–40 százalékkal alulbecsülik, és ennek jelentős részét az emberi eredetű aeroszokok kibocsátásának csökkenése adja.²⁸ Egy 2026-os vizsgálat szerint ugyanakkor minden megfigyelt éves érték, a rekordot hozó 2023 is, a modellek tartományán belül van, és a mérést a 3–5 °C egyensúlyi érzékenységgű modellek adják vissza a legjobban.²⁹ Az eltérés ellenére a két eredmény ugyanarra a következtetésre vezet. Megítélésünk szerint a 2022-ben javasolt szűrés, amely a mérsékelten magas érzékenységgű modelleket is kizárta, a jelen évtizedre túl óvatosnak tűnik, a legszélsőségesebb modelleket viszont a mérés továbbra sem igazolja. A globális összevetés ráadásul elfedi a regionális különbségeket: Nyugat-Európában a hőszélsőségek trendjét a modellek nem adják vissza (II.5), a hazai készletek pedig a nappali és az éjszakai melegedés arányát tévesztik el (fent).

- *Az évtizedes előrejelzés munkamodellje: nem a címke, hanem a mérés dönt.* A HadGEM3-GC3.1 egyensúlyi érzékenysége a fejlesztő szerint mintegy 5,5 °C, az évtizedes léptéken mérvadóbb átmeneti érzékenysége mintegy 2,7 °C.³⁰ A magas érzékenység önmagában nem kizáró ok, mert a modellek minősége az érzékenységtől függetlenül is nagyon eltér. Egy 18 modellt vizsgáló elemzés szerint a regionális hatásokat a globális érzékenység gyengén határozza meg, ezért a modellek kizárólag érzékenység szerinti kiválasztása nem indokolt.³¹ Egy magas érzékenységgű amerikai modellről kimutatták, hogy átmeneti érzékenysége mérsékelt, és a 20. századi melegedést jól visszaadja, miközben a földtörténeti hideg és meleg időszakokat eltorzítja.³² A kérdés tehát az, mit mutat a HadGEM3 a méréssel szemben, és a válasz kétirányú. Egyrészt a modell 1850–2014-es történeti futásainak nagy együttesében az 1980 utáni melegedés tartósan túl erős, amit a szerzők valószínűleg az átmeneti érzékenység meleg torzításának tulajdonítanak.³³ Ez éppen az évtizedes trend szempontjából lényeges hiba. Másrészt az előrejelzést a megfigyelt állapotból indítják, a visszatekintő futások a nyári hőmérsékletet jól követik (ez a készség nagyrészt a trendből ered, H.3), és az első megfigyelt év, 2025, a tíz tag között a leghidegebbtől számítva a negyedik (II.1). Melegtorzítás tehát a hazai ellenőrzésben eddig nem látszik. A +1,7 °C-os éves eltérés ezért nem alsó korlát, és a dokumentált trendtorzítás miatt a lehetséges sáv felső része felé eshet. Ezt azonban az érzékenységi címke és az első év nem bizonyítja. A fenti összevetés alapján azt javasoljuk, hogy a tervezési minimum a megfigyelt 2020–2025-ös eltérés (+1,1 °C), a tervezési érték a +1,7 °C legyen, és az összevetést évente ismételjük meg.
- *A „modellek alulbecsülnek” nem általános törvény.* Az újabb generációs globális modellek az 1951–2014-es nyarakon Nyugat-Európában a megfigyeltnél kevésbé, Kelet-Európában viszont jobban melegedtek. A különbség nagy részét a légnyomás-trendek eltérése adja, és a belső változékonyság nagy.³⁴ Ezért a hazai állítást nem a nemzetközi irodalomból, hanem a H.2 hazai próbájából vezetjük le, mutatónként és készletenként. Hasonló próbát egy statisztikusan leskálázott CMIP6-adatbázis 23 globális modelljén is végeztünk, egyetlen ötéves ablakon, a 2021–2025-ös értéket az 1995–2014-es időszakhoz mérve. Az azóta mért változást a nyári napi maximumon és a 30 °C-ot elérő napok számán egyetlen modell éri el, a 25 °C fölötti napokon öt, a modellek mediánja pedig a mért változás 41–50 százalékát adja. Öt év alatt az egyes modellfuttatások erősen szórnak (a nyári napi maximum változása –1,4 és +3,1 °C között), ezért az eredmény előzetes. A szint szerinti összevetés a mért és a modellezett kiinduló szint különbsége miatt nem perdöntő.³⁵

Mit jelent ez a tervezésnek. A minimumszabály a kézben lévő készletek és a mérés viszonyára vonatkozik, ezért a modellgeneráció váltása nem teszi érvénytelenné. Az új generáció által meghajtott európai regionális együttes már készül, német értékelése pedig húsznál több regionális szimulációt vizsgál.³⁶ A következő globális generáció (CMIP7) első, értékelési célú futásai 2026 tavaszán indultak. A történeti kényszer 2021-ig tart, a fő újítás a kibocsátásvezérelt futtatás, és hét új forgatókönyv lép a régiók helyébe, 2100-ra nagyjából 1,5 és 3,5 °C közötti globális melegedéssel.^{37,38} Erre épülő európai regionális együttes az évtized második fele előtt nem várható. Véleményünk szerint ezért a CMIP6-os regionális együttes a következő évek legújabb elérhető alapja, és használatát nem érdemes egy későbbi modellgeneráció miatt halasztani. Ha a hazai termékek erre térnek át, ugyanazt a próbát kell rajtuk megismételni, és külön ellenőrizni kell, hogy a regionális modellek aeroszolkényszere követi-e a meghajtó globális modellét. A hosszú élettartamú létesítményeknél pedig a tervezési szintet célszerű globális melegedési szinthez kötni (IX.1: 2 °C-os alap, 2,5 °C-os stresszpróba), nem egy-egy modellgeneráció naptári évéhez.

H.3 Amit az évtizedes előrejelzésből leszűrhetünk és amit nem

A 2025–2034-es ablakra készült évtizedes előrejelzés **közölt** fő számai, az 1991–2020-as referenciaidőszakhoz viszonyítva (a két modellrendszer húsz tagjának összevont értékei nem keverendők össze a II. fejezetben használt számokkal):

- éves középhőmérséklet-eltérés +1,3 ... +1,6 °C, nyáron akár +1,8 °C-ig;
- forró nap (napi maximum ≥ 35 °C) többlet délen +6 nap/év, a szélső tagoknál +10–12;
- éves csapadék +5 ... +15 mm, de télen több, nyáron kevesebb; a legszárazabb tagok –60, illetve –35 mm/év.

A számok értelmezéséhez négy feltételt rögzítünk:

- Az **eltérések** egy konkrét referenciaidőszakhoz (1991–2020) képest értendők, és nem abszolút értékek. Ez a referenciaidőszak **nem azonos** azzal, amit a hazai hivatalos éghajlati projekciók egy része használ. Gyakori félreértést okoz a referenciaidőszakok keveredése.
- Hőmérsékleti oldalon az előrejelzési készség lényegesen jobb, mint a csapadék oldalán.³⁹ A hőmérsékleti készség azonban nagyrészt a melegedési trendből ered, a trendtől megtisztított évtizedes készség nem igazolt. A csapadékra vonatkozó értékeket a gyenge csapadékkészség miatt csak irányjelzésként, nem tervezési értéként kezeljük.

- A fenti értékek két, egymástól érdemben eltérő modellrendszer összevonásából állnak elő. A II. fejezetben ezért egyetlen, a hazai küszöbmutatókon használható rendszert viszünk végig, és annak az értékeit közzöljük.
- Az előrejelzés első éve (2025) már átfedésben van a megfigyelésekkel, és ennek jelentősége az idő előrehaladtával egyre nő majd. Egyetlen év ugyanakkor az évtizedes előrejelzés megítélésére nem elég, mert az évről évre változó időjárás egy évre sokkal nagyobb szórást ad, mint a tízéves átlagra. A megfigyelt évet ezért az előrejelzés tagjai között kell elhelyezni, nem az összevont átlaggal összevetni (II.1).

H.4 Mit nem tud ez az anyag

- Nem mondja meg, milyen lesz 2029 nyara.
- Nem ad visszatérési időt („százévente egyszer”) – ez a fogalom nem stacionárius éghajlatban ráadásul félrevezető.
- Nem attribuál egyes eseményeket.
- Nem ad összesített nemzetgazdasági kárszámot (I. V. fejezet).
- A légköri áramlás jövőbeli alakulására nem ad egyértelmű jelet – ezt a II.5 pont fejti ki, mert épp az egyértelműség hiánya a lényeges információ.
- **Nem méri a néhány hét alatt kifejlődő aszályt (villámaszály, az angol szakirodalomban flash drought), amelyet a nemzetközi irodalom a növénytermesztési kár fő hordozójaként azonosít.** A néhány pentád, vagyis néhány ötnapos időszak alatt kifejlődő talajnedvesség-összeomlás a csapadékmentes időszakok hosszában és a havi indexekben nem látszik. A mérésére szolgáló pentád-léptékű, gyökérszónás talajnedvesség-percentilis a hazai mutatókészletben nem szerepel. A jelenség korántsem csak hipotetikus. Kínai adatokon végzett formális attribúciós vizsgálat is megerősítette, hogy a gyors aszályok gyakoribbá válásának 77 ± 26 százaléka az üvegházgáz-vezérelt melegedésnek tulajdonítható.⁴⁰ A globális kép szerint pedig az aszályok kialakulása szubszezonális léptéken gyorsul. A gyors típusú aszály – amely éppen a nedves és félnedves éghajlatú térségekben a gyakoribb altípus – elterjedése a vizsgált régiók 74 százalékában kimutatható.⁴¹ Közép-Európa, és így Magyarország is, a nedvességi besorolás alapján a kitett zónában található. Ez a következtetés nem mért eredmény, mérési igazolása még elvégzendő feladat (II.2, VIII.7).

AZ ANYAGRÓL

Ez az anyag kockázati elemzés. Azt vizsgálja, hogy a következő tíz évben, 2026 és 2035 között milyen, a tervezés szokásos feltevéseitől eltérő éghajlati veszélyek jelentkezhetnek Magyarországon, kiket és mit érintenek, illetve mely döntéseknél számítanak. Azt, hogy pontosan mi fog történni, kockázati elemzéssel nem lehet megmondani. Azt viszont igen, hogy mire kell felkészülni, továbbá melyik hiba a drágább: a fölösleges óvatosság vagy az elmulasztott felkészülés. A kitekintés 2050-ig terjed. Az elemzés a hazai mérési sorokra épül, a HungaroMet 1971 óta vezetett, homogenizált és rácspontra interpolált napi adataira, a talajvíz-észlelőhálózat, illetve a vízmércék adatsoraira. Ezeket veti össze a két hazai éghajlati projekciós adatkészlettel (KLIMADAT, FORESEE-HUN), valamint egy nemzetközi évtizedes éghajlati előrejelzéssel. Ahol a modellek a mai mért állapotot sem érik el, a tervezés kiindulópontja a mért érték. A módszert a G melléklet, az adatokat és a számítások ellenőrzését a G.6 pont írja le.

DOI [10.5281/zenodo.23430763](https://doi.org/10.5281/zenodo.23430763)

CC BY 4.0 A kiadvány a Creative Commons Nevezd meg! 4.0 Nemzetközi licenc feltételei szerint szabadon felhasználható.

Feiler József · Nemes Csaba · Kardos Péter · Szabó Péter

2026. október