



## A 2022-2023-as téli szezon összefoglaló elemzése a Bükk-fennsíki Mohos-töbör és Vörösmeteor-töbör mérései alapján

**Dobos András, Kerékgyártó Róbert, Dobos Endre**

Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, dobosbandi@hotmail.com

DOI:10.56474/legkor.2024.1.5

A Bükk-fennsíki töbrök különleges, a környezetüknél jóval hidegebb mikroklimával rendelkeznek, a töbrökben kialakuló hideg-légmedence (inverziós légrétegződés) hatás miatt. Ezek a töbrök lehetnek Magyarország hidegpólusai. 2022 nyarán a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének közreműködésével új meteorológiai mérőállomással bővült a Bükk-fennsíki mérőhálózat, melyet a Zsidó-réti Mohos-töbörben helyeztek ki. A Kerékgyártó Róbert és csapata által a Vörösmeteor-töbörben üzemeltetett állomással együtt immár két automata, online állomás küldi az élő adatokat a töbrőaljakból. Az új adatok birtokában lehetőség nyílik az eltérő domborzati, geometriai és növényborítottsági adottságokkal rendelkező Mohos- és Vörösmeteor-töbrök összehasonlító elemzésére a 2022/23-as téli szezon viszonylatában.

### Summary analysis of the 2022-2023 winter season based on the measurements in the Mohos-sinkhole and Vörösmeteor-sinkhole in Bükk-plateau

The Bükk Plateau sinkholes have a special microclimate that is much colder than their surroundings, due to the cold-air pool (temperature inversion) effect that develops in the sinkholes. These sinkholes can be the cold poles of Hungary. In the summer of 2022, with the cooperation of Institute of Geography and Geoinformatics of University of Miskolc, a new meteorological station was installed in the measuring network on the Bükk Plateau, which was placed in the Mohos sinkhole in Zsidó-meadow. Along with the station operated by Róbert Kerékgyártó and his team in Vörösmeteor sinkhole, two automatic online stations send live data from the bottom of the sinkholes now. With the new data, it is possible to compare the Mohos and Vörösmeteor sinkhole areas of different topography, geometry and plant cover characteristics in the 2022/23 winter season.

Az Északi-középhegység legnagyobb átlagmagasságú területe a Bükk-fennsík, melyet fejlett karsztformakincs jellemez. Legmarkánsabb felszínalakítási megjelenései az oldásos töbrök és töbrősorok,

melyek tál alakú, homorú felszíni bemélyedésként jellemezhetők és különös, környezetükhöz képest szélsőségesen hideg, harmadlagos mikroklimájukról is ismertek (Wagner, 1964).

A tőbrök mikroklímáját a domborzat, mikrodomborzat, tengerszint feletti magasság, az adott tőbrő geometriai, geomorfológiai jellemzői, a növényzeti borítottság és a külső időjárási körülmények együttesen indikálják. Ezen fő paraméterek összessége és egymáshoz való viszonyulása adja meg az adott terület kisugárzási jellemzőit, amelyek kedvező fennállása esetén a felszín felett képződő hideg légrétegek, nagyobb fajlagos sűrűségüknek köszönhetően a tőbrőoldalakból a lefolyástalan tőbrőalj felé szivárognak. A tőbrőaljban megülve, majd kitöltve azt az inverziós légrétegződés egyfajta hideg légmedencét hoz létre, mely környezetének hőmérsékletéhez képest jelentős, akár több tíz fokok negatív anomáliaként jellemezhető (Bárány-Kevei, 2011).

A kisugárzási periódusokban képződött hőmérsékleti inverzió jellemzői a felszín felett két méterrel is eredményesen követhetők, így, a jelenlegi meteorológiai sztenderdek szerint is érdemes méréseket folytatni bennük. Több esetben (Olaszország, Szlovénia, Ausztria) a karsztfennsíkok töbrei adják az egyes országok mindenkori hőmérsékleti minimum értékeit, valamint a Közép-Európában detektált, hivatalos minimum értéket is (-52 °C, Grünloch-tőbrő, Ausztria) (Steinacker et al., 2007). A hazai tőbrök monitorozása így a nemzetközi trendekkel egyezik. A Bükk-fennsíkon jelenleg nagy mintavétellel történik adatgyűjtés, Kerékgyártó Róbert és csapata 14 ponton folytat méréseket, a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézete pedig 2022 júliusa óta üzemeltet automata meteorológiai mérőállomást a Mohos-tőbrőben.

### A kutatás céljai

Célunk egyrészt feltárni a bükk-fennsíki tőbrök diverzitását és a környezeti tényezők változásának hatásait a tőbrőkön belül érvényesülő mikroklímára, másrészt felhívni a figyelmet a térség kiemelt természeti értékeire. A bükki tőbrök inverziós hajlama ugyanis különleges növényvilágot generál, olyan fajokból, amelyek klimatikusán a Bükknél jóval hidegebb területeken élnek meg, természetes közegükben. Érdekes továbbá a tőbrőkben megfigyelhető, hőmérsékleti inverziós légrétegekhez igazodó, fordított növényzeti rétegződés, amely a magashegységekhez hasonló fajösszetétellel, de fordított módon valósul meg a tőbrőoldalakon. A tőbrőalj felé haladva váltja egymást a bükkös, a fenyvesek (nem természetes a Bükkben, de a tőbrök északi kitettséggű oldalán különösen gyakori) és a borókások, melyek aztán hidegkedvelő társulásokban végződnek a tőbrőaljban (Bátori et al., 2014).



1. abra. Kerékgyártó Róbert és csapata meteorológiai mérőállomása a Vörösmeteor-tőbrőben.

A tőbrő mikroklíma jelenség tehát összetett tényezők hatására jön létre és összetett hatással jár a tőbrök ökológiai környezetére, amely visszahat annak mikroklimatikus trendjeire. Például azzal, hogy a takaratlan felszínek kisugárzási tulajdonságai jelentősen jobbakk az erdőszült területeknél (Bátori et al., 2014). A nagyobb kisugárzási potenciál viszont drasztikusan csökkent az átlag és minimum hőmérsékleti értékeket a tőbrőn belül, ezzel gátolva az erdőszülést.

A cikk most a Bükk-fennsík két, a hideg légmedence viselkedésének szempontjából érdekes tőbrének 2022/23-as téli szezonjában produkált eredményeit mutatja be, egymás tükrében. A tanulmány társszerzője (Kerékgyártó Róbert) komoly monitoring rendszert üzemeltet pusztán szakmai elhivatottságból a Bükk-fennsíkon. Az adatbázis értékét pedig tovább növeli annak reprezentativitása a tőbrő mikroklíma-rendszere által közvetlenül nem érintett kontrollterületek bevonásával. A Vörösmeteor-tőbrőben működő, saját fejlesztésű automata meteorológiai mérőállomás



2. abra. A Vörösmeteor-tőbrőbe zajló mérések leghidegebb reggele 2021.02.07-én.

(1. ábra) mért adatai valós időben bárki számára követhetők [1], ezzel értékes közérdekű adatokat szolgáltatva a szakma iránt érdeklődőknek.

A Kerékgyártó Róbert és csapata révén méltán közzismert, 2009 óta mérés alatt álló Vörösmeteor-töbör, 2021.02.07-én az országban eddig mért legalacsonyabb hőmérsékletet produkálta  $-35,5\text{ °C}$ -kal (2. ábra).

Az összehasonlító elemzés tárgyát képező másik töbör a Zsidó-réti Mohos-töbör, melynek monitoringja 2022.07.16-án kezdődött, a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének lebonyolításában (3. ábra). Szintén 2 méteren mérő, automata állomásunk sajnos nyilvánosan nem követhető élőben, így havi rendszerességgel adunk ki írásos kutatási összefoglalókat. A komplex mérőállomás talajhőmérsékleti és a töbör mikroklíma szempontjából kiemelkedő fontosságú felszínközeli léghőmérsékleti adatokat is gyűjt. A mérések ebben az esetben még túlságosan rövid ideje zajlanak ahhoz, hogy tendenciális megállapításokat vonhassunk le, de már ez a rövid mérési periódus is sok érdekes adattal szolgált, közte az első végigmért téli szezonjának országos minimum hőmérsékleti értékével.

Ezen első, összehasonlítható mérési eredményeket ismertetjük a 2022–2023-as téli szezon időszakában.



3. ábra. iMetos 3.3-as automata meteorológiai mérőállomás a Mohos-töbörben.

### A vizsgált töbrök rövid jellemzése

A Mohos és Vörösmeteor töbrök eltérő jellegű dolinák, így más-más hatótényezők befolyásolják mikroklímájuk alakulását. A szakirodalom által jelenleg

az egyik legjelentősebbnek tartott indikátor a töbör mikroklíma alakulásának szempontjából az úgynevezett sky-view faktor. Ez a töbör területének égbolt felé való nyitottságát jellemző mérőszám, amely a nettó kisugárzási energiaveszteség szempontjából lényeges (Whiteman et al., 2004). Ez az érték a töbröt esetlegesen körülvevő növényzettel együtt számolt mutató, mivel az erdőborítottság jelentősen redukálja az adott töbör kisugárzási potenciálját.

Az 1. táblázat tartalmazza a vizsgált töbrök alapadatait és a becsült sky-view faktort. A töbrök területének meghatározása nem egzakt, így az adatok főként egymás tükrében informatívak. Az adatok a kifolyási pontok és a zárt erdőhatár (Mohos-töbör esetében) vonalára reprezentatívak.

Tulajdonság	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör
WGS koordináták	48° 3'55,11"É, 20°27'48,01"K	48° 4'49,36"É, 20°30'5,26"K
terület	48,400 m <sup>2</sup>	45,300 m <sup>2</sup>
kerület	917 m	778 m
töböralj t.sz.f. magassága	822,5 m	755 m
becsült sky-view faktor	0,92-0,94 (növényzettel)	0,78-0,8 (növényzettel)

1. táblázat. A Mohos és Vörösmeteor töbrök topográfiai és geometriai jellemzői

### Vörösmeteor-töbör

A Vörösmeteor-töbör a Bükk-fennsíki Nagymező északi peremterületén található. A töböralj 755 méter magasságban fekszik. Karakterisztikájában zártabb, mélyebb töbör, erdőszültsége jelentős. A Vörösmeteor egyébként erdészeti szempontból nézve a nyílt karszttól a zárt erdőig megy. Az erdőszülés és mikroklíma kölcsönhatásainak nyomon követése az egyik célja a mérésnek.

Mikroklimatikus jellemzője a relatíve alacsonyabb tengerszint feletti magasság és mélyebb fekvése lévén, hogy a Mohos-töbörrel összevetésben minden irányt figyelembe véve az átlagos szélről való védettsége nagyobb, így kevésbé kitett az esetlegesen az inverziós légrétegződést befolyásolni képes légáramlatoknak. A monitoringrendszer környezetkímélő módon az egykori sífelvonó állványzatára települt.

A felülnézeti felvételen (4. ábra) jól látszik az északi kitettségű oldal erdőszültsége. Ennek ellenére a töbör geometriai mutatói és elhelyezkedése kedvező a töbör mikroklíma érvényesüléséhez. Védettsége pedig az abszolút szélsőségekhez képest dinamikusabb



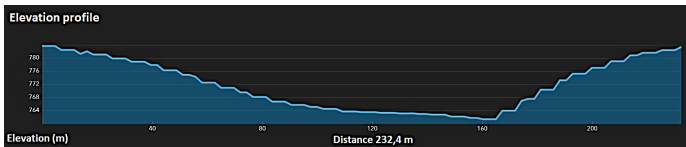
4. ábra. A Vörösmeteor-töbör felülnézeti képe.



6. ábra. A Mohos-töbör felülnézeti képe.

időjárási körülmények között is lehetőséget teremthet a hideg légmedence kialakulására.

Az 5. ábra a Vörösmeteor-töbör leghosszabb keresztmetszetének magasságprofilja. Összevetve a Mohos-töbör profiljával látható, hogy jóval zártabb.



5. ábra. A Vörösmeteor-töbör leghosszabb, É-D-i metszetének magasságprofilja.

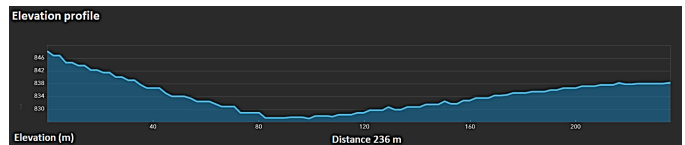
## Mohos-töbör

A Mohos-töbör a Bükk-fennsík délnyugati részén elhelyezkedő Zsidó-rét déli peremterületén található (6. ábra). A töböralj tengerszint feletti magassága 822,5 méter. A Vörösmeteor-töbörnél jóval kevésbé erdőszült.

Karakterisztikáját tekintve keleti, déli és részben nyugati irányokból egy, a töböraljtól számolva több mint száz méter magas hegygerinc övezi. Észak felé viszont teljesen nyitott. Miután a Kárpát-medence uralgó széljárása északnyugati, a téli félévben anticiklonális helyzetekben É-ÉK-K-i irányú, így ilyen esetekben, ha nincs a tökéleteshez közelítő szélcsend, a Mohos-töböralj hőmérsékleti diagramja kevésbé lesz szabályos, mint a Vörösmeteor-töböré. Északias nyitottsága miatt kevésbé szélvédett. Jól szemlélteti ezt a cikkben feldolgozott esettanulmány. Különleges fekvése leginkább az önárnyék szempontjából érdekes. Ugyanis a téli félévben a délről övező hegykaréj elnyújtja a kisugárzási periódusok hosszát.

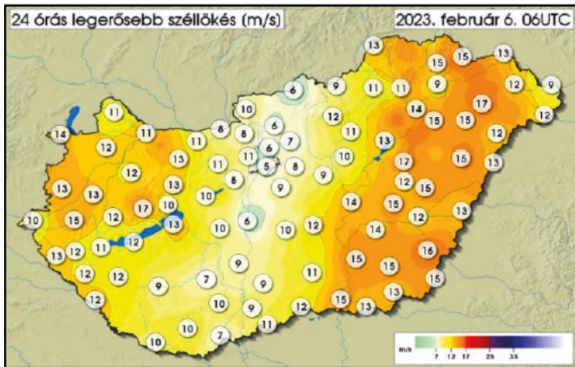
Nyugodt körülmények között érvényesülnek a Mohos-töbör jó sky-view faktor adottságai, ilyenkor 2–3 °C különbség is fennállhat a Vörösmeteor és a Mohos töbrök napi minimumértékei között a Mohos-töbör javára. Ellenben, ha az idő nem teljesen nyugodt, esetenként a teljes hideg légmedence képződés is kimaradhat a Mohos-töbörben, amíg a Vörösmeteorban kialakul az inverziós légréteg. Jó példa erre 2023 januárja, amikor a dinamikus légköri helyzetek sokasága nem engedte érvényesülni a Mohos-töbör nyitottabb jellegű adottságait, és a havi abszolút minimum hőmérséklet a Vörösmeteor-töbörben állt be -16,2 °C. Ez is bizonyítja, hogy mennyire komplex rendszerek befolyásolják a töbrök adott magasságokban mért hőmérsékleti görbéinek alakulását.

A Mohos-töbör magassági profilja (7. ábra) a Vörösmeteoréval összevetve jóval nyitottabb, amely egyrészt jobb kisugárzási adottságokat, másrészt mérsékeltbb védettséget biztosít az esetlegesen zavaró mértékű légáramlatokkal szemben.



7. ábra. A Mohos-töbör leghosszabb, Dk-Ény-i metszetének magasságprofilja.

A töböraljban az inverziós légrétegződés ellenálló képessége annak kiépülésével növekszik. A nagyobb fajsúlyú, sűrűbb, a töbörben megült hidegebb légrétegek felett ugyanis elsiklanak a lamináris áramlatok. Az inverziós légréteg eróziójának szempontjából a turbulens légáramlatok fejtik ki jelentősebb hatásukat. A lamináris áramlatokkal szemben a turbulens áramlatok



8. ábra. Magyarország 24 órás legerősebb szellőkés térképe, 2023.02.06-án. (forrás: OMSZ [2]).

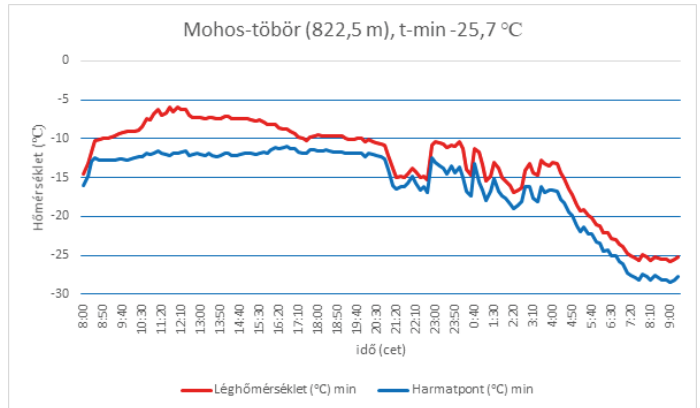
képesen a hidegebb légrétegekben keverő, homogenizáló hatást érvényesíteni, amely az inverziós légréteg részleges vagy teljes felszámolódását eredményezheti (Dorninger et al., 2011). A védettebb Vörösmeteor-töbör ezirányban is kevésbé érzékeny, mint a Mohos.

### Eseti példa a Mohos-töbör és a Vörösmeteor-töbör zavaró tényezőkre való reagálására 2023.02.07-én

A 9. és 10. ábrán a 2023. február 7-ére virradóan végbement időszakos zavaró esemény hideg légmedencére tett hatása figyelhető meg a Mohos és Vörösmeteor töbrökben. Ekkor a Kárpát-medence egy anticiklon szélén helyezkedett el, melynek keleti peremén fagyos levegő szivárgott le, egészen a Balkán-félsziget déli részéig. A hideg levegő északkeleti irányból tehát állandó mozgásban volt. Az északnyugati-Kárpátok szélármékában a Duna-Tisza közének jelentős területén nyugalomba került, azonban a Kisalföld és a Keleti-Alföld területén dinamikus maradt a légkör (8. ábra) (OMSZ Napijelentés kiadvány [2]).

Ezen két jellemző áramlási rendszer peremén helyezkedett el a Bükk-hegység, ahol egészen a hajnali órákig nem állt el teljesen a szél. A jellemzően gyenge, de konstans légmozgás hatása pedig élesen elkülönül a vizsgált két töbör esetében, azok eltérő mértékű szélvédettségének köszönhetően.

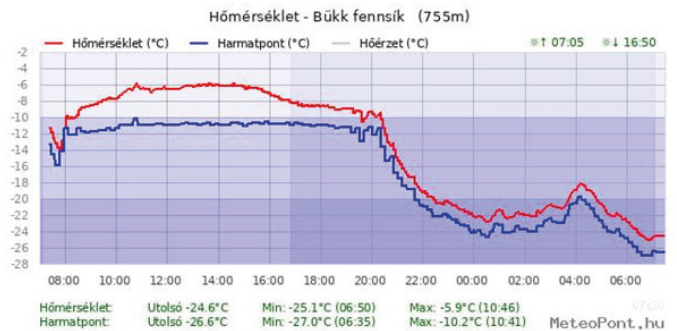
A Bükk-fennsíkot méréseink alapján ekkor közel fél méteres hótakaró borította. A vastag hótakaró pedig amellet, hogy az egyik legnagyobb kisugárzási potenciállal rendelkező természetes kisugárzó közeg, homogenizálja az alacsonyabb növényzetet és beborítva azt újabb egységes kisugárzó felszíneket hoz létre (növeli a pillanatnyi „sky-view” faktort).



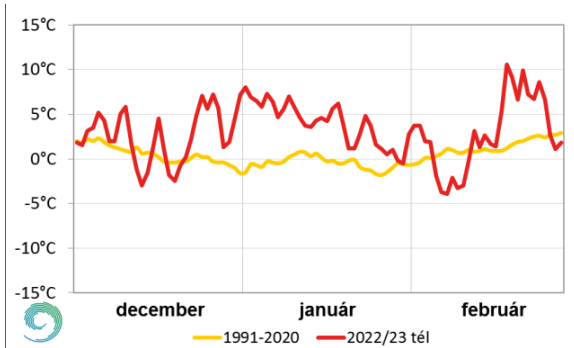
9. ábra. A Mohos-töbör felszín felett 2 méterrel rögzített hőmérsékleti és haramatpont görbeje 2023.02.06-07-en.

A Mohos-töbör (9. ábra) északkeleti irányba nyitott töbör, így az 5–8 km/h-s szellőkések állandó zavarást jelentettek a derült égbolt és vastag hótakaró mellett egyébként jónak mondható körülmények között. Nagyjából hatodikán este nyolc órától kezdett mérséklődni a légmozgás. Ezt a Mohos-töbörben gyors hőmérsékletcsökkenés követte, -10 °C-ról -16 °C-ra 20:40 és 21:10 között -5 °C-os esssel. Ezt követően a csökkenés megállt és körülbelül -10 °C és -16 °C között nagyokat ingadozva nem történt szabályszerű változás hetedike hajnali négy óráig, amikor a szélesebbesség és felszínközeli hideg légtömegek egyensúlya átbillent és elkezdődött az inverziós légrétegződés stabil kiépülése. Közben a légáramlás tovább mérséklődött és reggel 6 óra után teljesen elállt.

Reggel hatra a hőmérséklet már -22 °C-ig süllyedt és közeledett a napfelkelte. Az önárnyéknak köszönhetően azonban a kisugárzási periódus jóval a napfelkelte utánig tolódott a Mohos-töbörben, így a hajnali minimum hőmérséklet 9:00-kor -25,7 °C-on állt be.



10. ábra. A Vörösmeteor-töbör felszín felett 2 méterrel rögzített hőmérsékleti és haramatpont görbeje 2023.02.06-07-en, a Meteopont.hu felületén (forrás: Meteopont.hu [1]).



11. ábra. 2022/23 telének sokéves átlagtól való eltérése (forrás: OMSZ ([3]).

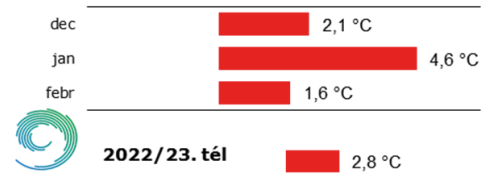
Ezzel szemben az ÉK-i irányból jóval védettebb Vörösmeteor-töbörben (10. ábra) hatodika este nyolc óráját követően szabályos, zavartalanhoz közelítő görbe mellett indult meg a hőmérséklet csökkenése. Nagyjából 2 óra alatt, 20:30 és 22:30 között 10 fokot csökkenve 11 óra előtt átlépte a  $-20\text{ °C}$ -ot. Ekkor a Mohos-töbörben  $-15\text{ °C}$  körül ingadozott a hőmérséklet.

A Vörösmeteor zavart görbével, de tovább hűl  $-23\text{ °C}$ -ig, ahol egy nagyobb mértékű szél általi zavarás bár károsítja, de nem szünteti meg a töbörben kiépült inverziós légrétegződést. Hajnal négy után még rövid ideig kicsivel  $-20\text{ °C}$  fölé melegszik a 2 méteren rögzített hőmérséklet, de még ekkor is 4-5 fokos a negatív különbség a még mindig szabálytalan, ingadozó hőmérsékleti görbét produkáló Mohos-töbörrel szemben. A Vörösmeteor-töbör 2 méteren mért hőmérséklete a teljes szélcsend beálltával visszazuhan, és 7-én reggel 6:50-kor tetőzik  $-25,1\text{ °C}$ -on.

Ekkor a Mohos-töbör  $-23\text{ °C}$  körül áll és stabilan hűl az időközben optimálissá váló körülmények között. A töbrök környezetének domborzati különbségei ezen a ponton válnak látványosan mérhetővé. A Vörösmeteor-töbör északias védettsége védelmet nyújtott az ÉK-i irányú légáramlatoktól, így a kisugárási periódus túlnyomó hányadában minimális zavarás mellett érvényesülni tudtak az inverziós légrétegződés kiépülésének szempontjából releváns hatótényezők.

Ezzel szemben a Mohos-töbörben hajnal négyig csak rövidtávú beszakadásokat produkált a két méteren mért hőmérsékleti görbe, esetenként több, mint  $10\text{ °C}$ -os hőmérsékleti különbséggel a Vörösmeteor-töbör javára. A zárt geometria védelmet biztosított a nem tökéletes körülményekkel szemben.

Párhuzamosan a Mohos-töbör hajnali négy óra után, mikor a körülmények zavartalanná váltak, a derült, szélcsendes hajnalon  $-13\text{ °C}$ -ról  $-25,7\text{ °C}$ -ra hűlt, reggel 9-ig.



12. ábra. 2022/23 telének sokéves átlagtól való eltérése, havi lebontásban (forrás: OMSZ ([3]).

A két töbör hajnali minimumhőmérsékletének beálltában 2 óra 10 perc különbség volt. Végül  $0,6\text{ °C}$ -al a Mohos-töbörben volt hidegebb ezen a hektikus éjjelen.

Ez az esettanulmány jól szemlélteti a két Bükk-fennsíki fagykatlan sajátosságait. Ezek a Mohos-töbör esetében a kedvező „sky-view” faktor és a déli hegykaréj önárnyéka, és észak felőli kitétsége a légmozgásnak. Míg a Vörösmeteor-töbör esetében a zártabb geometria, szélvédettség, de kedvezőtlenebb „sky-view” faktor és rövidebb kisugárási periódus.

### A 2022-2023-as téli szezon meteorológiai jellemzése

Az 1901 óta országos átlagban második legenyhébb,  $+2,8\text{ °C}$ -os hőmérsékleti anomáliát hozó 2022/23-as téli szezon (11. ábra), és az azt eredményező meteorológiai viszonyok tükrében a Bükk-fennsík hideg légmedencéi megerősítik, miért olyan különlegesek ezek a fagyos katlanok.

Az Országos Meteorológiai szolgálat 2022/23-as téli szezont feldolgozó cikkéből ([3]) kiderül, hogy országos átlagban 2022 decembere  $2,1\text{ °C}$ , 2023 januárja  $4,6\text{ °C}$ , míg februárja  $1,6\text{ °C}$ -os pozitív anomáliával telt el, jelentős nyugatias áramlás mellett (12. ábra).

### A 2022-2023-as téli szezon mért adatainak statisztikai elemzése

Ahogy a 11. ábra is mutatja, hőmérsékleti szempontból országosan csak rövidebb periódusok alakultak a sokéves átlag közelében vagy az alatt. Az országos átlag természetesen nem értelmezhető egy az egyben egy hegyvidéki klímaövön belül elhelyezkedő mikroklimatikus területre. Mégis fontos trendeket közöl a Kárpát-medence időjárása, ezzel pedig a töbröket érő hatótényezők tekintetében. Láttható, hogy hosszú távú, nyugodt, hidegebb periódusról csak február első felében beszélhetünk. Valamint december első kétharmada tekinthető átlagközelinek. Ezen periódusokban alakultak ki a legalacsonyabb minimumhőmérsékletek országosan és töbör szinten is.

Mérési időszak	December	Január	Február	December	Január	Február
mérés helye	Mohos-töbör	Mohos-töbör	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör	Vörösmeteor-töbör	Vörösmeteor-töbör
havi középhőmérséklet, (5 perces átlag) °C	-2,4	-0,6	-4,7	-1,5	-0,5	-3,9
havi t-min °C	-27,5	-14,9	-28,2	-24,4	-16,2	-27,0
havi t-max °C	10,9	8,2	10,9	9,8	12,4	10,7
t-min átl. °C	-8,2	-5,5	-11,9	-7,0	-5,0	-10,1
t-max átl. °C	2,3	2,2	2,2	2,8	2,7	2,3
havi absz. hőingás	38,4	23,1	39,1	34,2	28,6	37,8
fagyos napok (db)	26,0	28,0	26,0	31,0	27,0	26,0
napi átlag ≤ 0 °C (db)	20,0	18,0	20,0	17,0	13,0	21,0
téli napok (db)	6,0	8,0	11,0	8,0	7,0	10,0
zord napok	11,0	7,0	13,0	6,0	6,0	12,0
t-min ≤ -15 °C	4,0	0,0	12,0	3,0	1,0	10,0
t-min ≤ -20 °C	4,0	0,0	7,0	2,0	0,0	4,0

2. táblázat. A 2022/23-as téli szezon mért, feldolgozott adatai a Mohos és Vörös-meteor töbrökben, havi lebontásban.

Az összehasonlító elemzés a Bükk-fennsíkron mért adatok értelmezhetősége végett statisztikai alapon referenciaként hozza az országos mérőhálózat OMSZ által publikált adatait. Így a töbröket érintő negatív hőmérsékleti anomália szemléletesebb módon érzékeltethető.

A 2. táblázat 13 kategóriában mutatja be a Vörös-meteor és Mohos-töbrök 2022-2023-as téli szezonjának mért adatainak egységesített mutatóit. Az adatok egymással összehasonlítható, ugyanazon mérési módszertan szerint, felszín felett 2 méterrel rögzített, feldolgozott értékek. A különböző módon számolt átlag és szélsőértékek mellett a 2., 3. és 4. táblázat a napok hőmérsékleti mutatói szerint szakmai nevezéktan alapján osztályozza a vizsgált időszak adott kategóriákban érintett naptári napjait.

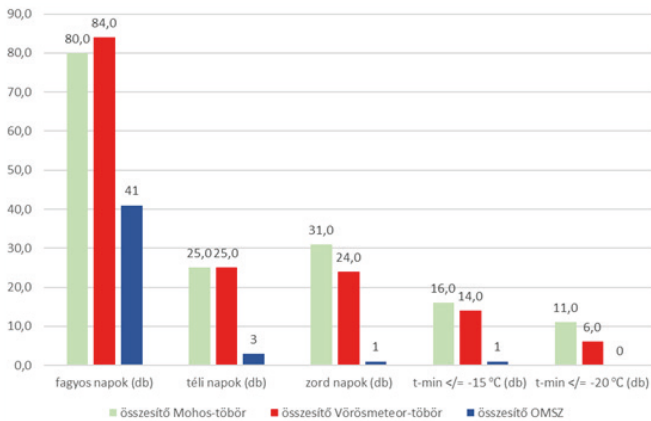
Jelentésük a következő: fagyos nap:  $t\text{-min} \leq 0 \text{ °C}$ , hideg nap: napi átlaghőmérséklet  $\leq 0 \text{ °C}$ , téli nap:  $t\text{-max} \leq 0 \text{ °C}$ , és zord nap:  $t\text{-min} \leq -10 \text{ °C}$ . Továbbá a t-min. az adott időintervallum legalacsonyabb, míg a t-max. a legmagasabb hőmérsékleti értékét jelenti.

A 3. táblázat a 2022/23-as téli szezon összesített értékeit tartalmazza a Mohos és Vörösmeteor-töbrökben mért értékek alapján, melyek a teljes periódus havi értékeiből számított mutatók. A vizsgált időszak legalacsonyabb rögzített hőmérséklete (2. táblázatban zöld háttérrel kiemelve) a Mohos-töbör esetében  $-28,2 \text{ °C}$  míg a Vörösmeteor-töbörben  $-27,0 \text{ °C}$  volt. Az országos

meteorológiai mérőhálózat által regisztrált abszolút minimumérték ugyanezen vizsgált időszakban  $-15,3 \text{ °C}$  volt Gagybátorban (OMSZ, Napijelentés kiadvány ([2])).

mérési időszak	2022-2023 tél	2022-2023 tél
mérés helye	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör
téli középhőmérséklet, (5 perces átlag) °C	-2,6	-2,0
havi t-min átl. °C	-23,5	-22,5
havi t-max átl. °C	10,0	11,0
t-min átl. °C	-8,5	-7,4
t-max átl. °C	2,3	2,6
t-min °C	-28,2	-27,0
t-max °C	10,9	12,4
abszolút hőingás °C	39,1	39,4
fagyos napok (db)	80,0	84,0
napi átlag ≤ 0 °C (db)	58,0	51,0
téli napok (db)	25,0	25,0
zord napok	31,0	24,0
t-min ≤ -15 °C	16,0	14,0
t-min ≤ -20 °C	11,0	6,0

3. táblázat. A 2022/23-as téli szezon összesített értékei a Mohos és Vörösmeteor-töbrökben mért értékek alapján.



13. ábra. A Mohos és Vörösmeteor töbrök összehasonlító ábrája az országos értékekkel, fagyos, téli, zord valamint -15, -20 Celsius fok alatti t-min-ek viszonylatában.

mérési időszak	összesítő	összesítő	összesítő
mérés helye	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör	OMSZ
fagyos napok (db)	80	84	41
téli napok (db)	25	25	3
zord napok (db)	31	24	1
t-min <= -15 °C	16	14	1
t-min <= -20 °C	11	6	0

4. táblázat. A Mohos és Vörösmeteor töbrök összehasonlító táblázata az országos értékekkel, fagyos, téli, zord, valamint -15, -20 Celsius-fok alatti t-min-ok viszonylatában.

A közösen értelmezendő 13. ábra és 4. táblázat a Vörösmeteor és Mohos töbrök 2022/23-as téli szezonjának fagyos, téli és zord napjainak számát mutatja be, kiegészítve a -15 °C és -20 °C alatti napi minimum hőmérsékleti értékek mennyiségével. Az összehasonlító ábrákat az országos mérőhálózat által regisztrált országos átlag és szélsőértékeket tartalmazó OMSZ által publikált „2022/23 telének időjárása” ([3]) című összefoglaló adatai színesítik, ugyanazon kategóriákban.

Az országos átlaggal való összevetést indokolja, hogy a mikroklíma rendszerek eredményezte adatok kontextusba helyezve informatívabbak. Hosszú távon az adatok klimatológiai feldolgozása is referenciapontok használatával lesz célszerű, ennek hiányában a töbör mikroklíma kevésbé értelmezhető anomáliaként.

### Összegzés

Összegzésképpen elmondható, hogy a Bükk-fennsíki töbrök negatív hőmérsékleti anomáliája egyértelműen kimutatható. A mérések felszínközeli kiterjesztése indokolt, hogy a hideg légmedence további tulajdonságai váljanak ismertté.

A vizsgált töbrök mikroklíma rendszerének reakciója a külső időjárási hatásokra azok domborzati, geometriai adottságai alapján változik. Az égbolt felé való nyitottság, erdősültség mértékének különbsége a mért adatokban nyomon követhető.

Következésképpen a Mohos-töbör mikroklíma indikátor adottságai tökéletes, zavartalan kisugárzási körülmények között érvényesülnek jobban, ezzel szemben a Vörösmeteor-töbör dinamikusabb légköri helyzetekben is képes teret biztosítani az inverziós légrétegződés kialakulásának.

### Irodalom

Bátori, Z. Vojtkó, A. Erdős L. and Vojtkó, A., 2014. A bükki erdős és gyepes töbrök növényzetének hőmérsékleti és talajnedvességi indikációja. *Kitaibelia*, 19(2),331–338.

Dorninger, S. Whiteman, C. D. Bica, B. Eisenbach, S. Pospichal, B. and Steinacker, R. 2011: Meteorological Events Affecting Cold-Air Pools in a Small Basin.. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 50, 2223–2234.

Bárány-Kevei, I., 2011: Néhány adat a bükki töbrök mikroklímájához *A Miskolci Egyetem Közleményei, Bányászat*, 82, 171–176.

Steinacker, R., Whiteman, C. D., Dorninger, M., Pospichal, B., Eisenbach, S., Holzer, A. M., Weihs, P., Mursch-Radlgruber, E., & Baumann, K., 2007. A Sinkhole Field Experiment in the Eastern Alps. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 88, 701–716.

Wagner, R., 1964: Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges. *Zeitschr. für Angewandte Meteorologie* 5(3-4), 192–199.

Whiteman, C.D., T. Haiden, B. Pospichal, S. Eisenbach, and R. Steinacker, 2004: Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 43, 1224–1236.

[1] <http://bukk.meteopont.hu/> (2023.04.26)

[2] [https://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelen-tes/](https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelen-tes/) (2023.04.26)

[3] [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_visszatekinto/elmult\\_evszakok\\_idojarasa/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idojarasa/) (2023.04.26)