

A TERMÁLIS INVERZIÓ VISELKEDÉSE A MOHOS-TÖBÖR MIKROKLÍMARENDSZERÉN BELÜL 2023 ŐSZÉN

DOBOS ANDRÁS – DOBOS ENDRE

THE BEHAVIOUR OF THE TEMPERATURE INVERSION
IN THE MICROCLIMATE SYSTEM
OF THE MOHOS SINKHOLE AT 2023 AUTUMN

Abstract

The sinkholes of the Bükk plateau appear as climatic anomalies. Due to the sinkhole's morphometry, their dish-like, concave geometry, they collect the cold air layers from their environment by gravity and further cool it by extreme radiation processes. Thus, they can be characterized by significantly lower minimum temperature compared to their surroundings, if the conditions of the build-up are given. Although, the build-up of the inversed air stratification is not regular in every case. Geomorphologic factors and the current surface coverage of the sinkhole influences the albedo of the surface, moreover it is directly exposed to solar radiation and external weather impact. The Institute of Geography and Geoinformatics of the University of Miskolc carries out measurements in the Mohos sinkhole of Zsidó meadow, which representatively provides an outstanding medium for the understanding of the microclimate of the sinkholes. The variety of the transitional seasons enables the observation of the presence of these extremities and their study for better understanding of these phenomenon. This article summarizes the results of the complex physical geographic and meteorological study carried out in the Mohos sinkhole in the fall of 2023. Based on the records of the National Meteorological Service, the investigated autumn season of 2023 had the highest national average temperature in Hungary since the beginning of the national measurements (1901). Despite of the extremely warm weather conditions, the minimum temperature in the sinkhole fell below zero 56 days (out of the 91 days of the season), and exceeded the -10°C on 11 days, -15°C three times, and reached the lowest recorded temperature at 19.9°C at the end of November. These numbers show the real extremity of the sinkhole's microclimate.

Keywords: sinkholes, microclimate, thermal inversion, cold air pool, nocturnal emission

Bevezetés

A Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézete által 2022.07.16-án a Mohos-töbörbe telepített meteorológiai mérőállomás a Bükk-fennsík egyik legnagyobb alapterületű töbrének összetett mikroklímarendszeréről hivatott adatokat gyűjteni. Ezen töbrök lehetnek az ország leghidegebb pontjai különleges, környezetükhöz képest hideg mikroklímájuknak köszönhetően (BÁRÁNY-KEVEI I. 1999; STEINACKER, R. et al. 2007; BÁTORI Z. et al. 2011). Megfelelő légköri körülmények között a töbrök a hosszúhullámú kisugárzás hatásaként létrejövő felszínközeli inverzió hideg légtömegeinek gyűjtőpontjaként viselkednek (ZÄNGL, G. 2005). Az inverzió térbeli, időbeli és minőségi kiépülése a domborzati (KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2011) és külső időjárási hatótényezők függvényében történik (WHITEMAN, C. D. et al., 2004; DORNINGER, M. et al. 2011). A potenciális kiépülési periódusban fennálló lamináris és turbulens áramlatok különböző módon, de akadályozzák a hideg légrétegek töböraljli nyugalomba kerülését (POSPICHAL, B. et al. 2003), a trendszerűen erősödő turbulens áramlatok pedig a már kiépült felszínközeli hőmérsékleti inverziót is képesen felszámolni (PETKOVŠEK, Z. 1992; RAKOVEC, J. et al. 2002; ZÄNGL, G. 2005).

A töbrök szempontjából releváns, hőmérsékleti inverzióra vonatkozó korábbi kutatások okaként Whiteman (1990) a töbrök védettségét és zártságát emelte ki. Kiemeli emellett a környezetükhöz képest autonóm viselkedésüket, melynek köszönhetően a helyi hatótényezők jobban elkülöníthetőek a nagytérségeiktől (WHITEMAN, C.D. 1990; STEINACKER, R. et al. 2007). A korai és közelmúltbeli töbör mikroklíma-kutatások egyik legjelentősebb helyszíne a Keleti-Alpokban található Grünloch-töbör (AIGNER, S. 1952; SAUBERER, F.–DIRMHIRN, I. 1954; EISENBACH, S. et al. 2003; POSPICHAL, B. et al. 2003) ahol az abszolút közép-európai minimumhőmérsékletet is rögzítették ($-52,6^{\circ}\text{C}$, AIGNER, S. 1952).

Szintén a Hetzkogel-fennsíkhöz köthető Whitemanék „*Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes*” című 2004-ben publikált tanulmánya, amely megállapítja, hogy a hasonló magasságban elhelyezkedő de különböző méretű és felszínalakotani adottságú töbrök minimumhőmérsékletei értékei eltérőek. Az eltérés okának legfontosabb kvantitatív mérőszáma kutatásuk szerint a *sky-view* (f_v) faktor, mely egy -1 – $+1$ közötti dimenzió nélküli indikátor és a terület égbolt felé való nyitottságának jellemzésére szolgál (WHITEMAN, C. D. et al. 2004). A kontextus végett, Whitemanék kutatása $0,91$ -es f_v -t állapít meg a Grünloch-töbör esetében. A cikk által vizsgált Mohos-töbör átlagértéke szintén $0,9$ felett van (2. ábra) ami a minimális erdősültséget is figyelembe véve rendkívül kedvező érték. A cikk által vizsgált terület, a Mohos-töbör és annak közvetlen hatókörnyezetében is jó adottságokkal bír, növelve a terület reprezentativitását a mikroklímarendszer érvényesülésének szempontjából.

A Mohos-töbör mikroklímarendszerének kisugárzási szempontból kedvező adottságaihoz annak alacsony erdősültsége is nagyban hozzájárul. A mikroklíma generálta növényzeti diverzitás egyik fő megjelenési formája a hideglevegő akkumulációs területeivel átfedő gyepes társulások jelenléte, melyek nyílt felszíneket alkotnak. A nyílt, gyepes töbrök területén a hőmérsékleti inverzió jelenléte egyértelműbb, mint az erdővel borított töbrök esetében (BACSÓ N.–ZÓLYOMI B. 1934; LEHMANN A. 1970).

A zárt medencék mikroklímájához kapcsolódó, lokálisan alacsony minimumhőmérsékleti értékeket nagyban befolyásolja a felszín pillanatnyi albedója. A szezonális hóborítottsággal jellemezhető területeken (amilyen a Bükk-fennsík is), hasonló kiindulási léghőmérséklet esetén jóval alacsonyabb a várható napi T-min. amennyiben a felszín hótakaró borítja (ZHANG, T. 2005; MACKIEWICZ, M.C. et al. 2012). A lég (T)- és talajhőmérséklet (T(s)) együttváltozásának mértéke és abszolút hőmérsékleti értékei hótakaró vastagsától függően változnak, kiváltképpen igaz ez a felszínközeli, kitett talajrétegekre, amely közvetlen kölcsönhatásban áll a léghőmérséklettel (GOODRICH, L. E. 1982; THORN, C. E. et al. 1999; BELTRAMI, H. 2001; SOKRATOV, S. A.–BARRY, R. G. 2001; DECKER, K. L. M. et al. 2003). A vastagabb hóréteg egységesebb kisugárzó felületet képez (homogenizálja a felszín és a növényzet változatosságát) hővezető képessége viszont alacsony. Így a várható napi legalacsonyabb léghőmérsékleti érték a hótakarómentes állapothoz képest alacsonyabb, a talajhőmérsékleti minimum érték pedig magasabban fog beállni, gyenge korrelációs érték mellett.

Kutatási módszertan

A felszínmodellek felépítéséhez szükséges adatokat a helyszínen, drónok segítségével lettek begyűjtve a Mohos-töbör tágabb mikroklímarendszerének területén. Az előre megadott területet berepülő *DJI Mavic 2*-es és *3*-as típusú drónok RGB+Infra tartomány-

ban készítettek koordinátahelyes légifelveleket, melyek a *PIX4D Cloud* (<https://cloud.pix4d.com/drive>) nevű, online elérhető feldolgozó szoftverrel lettek feldolgozva és digitális felszínleíró modellekké (*DSM*, *Ortomozaik*, *MESH*) konvertálva.

A Mohos-töbör mikroklíma-kutatás cikkben feldolgozott szakaszának mért meteorológiai adatait egy *iMETOS 3.3* típusú automata meteorológiai mérőállomás szolgáltatja. Az állomás a nemzetközi meteorológiai sztenderdek szerint lett telepítve. A léghőmérsékleti adatok felszín felett 2 méterrel, a mérőállomásba integrált árnyékolt hőmérő szenzor segítségével kerülnek rögzítésre.

Az állomás a felszín felett 2 méterrel rögzíti a mért paramétereket, valamint –5 cm-en a talajhőmérsékletet. A mért adatok lekérdezési intervalluma 10 percen lett meghatározva, de az adatrögzítés szűkebb (5 perces) intervallumban történik. Az állomás így a 10 perces átlag, minimum és maximum értékeket közvetít tetszőleges időközönként a vevőoldal felé. A meteorológiai állomás gyártó által garantált mérési pontossága $\pm 0,2$ °C (iMETOS VWS 2022). A mért és számított paraméterek a következők (zárójelben a *FieldClimate* feldolgozószoftver által exportált angol nevek, mértékegységek): lég-hőmérséklet (*HC Air temperature*: °C), harmatpont (*Dew point*: °C), besugárzás (*Solar radiation* J/m²), gőznyomás-hiány (*VPD*: kPa), relatív páratartalom (*HC Relative humidity*:%), csapadék (*Precipitation*: mm), szélsébség (Wind speed (átlag, max.): km/h), napi evapotranspiráció (*Daily ETO*: mm), talajhőmérséklet (*Soil temperature*: °C) és az állomás állapotával kapcsolatos adatok. A mért adatokat az állomás a GSM-en keresztül, tetszőleges időpontokban a *FieldClimate* weboldalára közvetíti, ahol informatív táblázatok és diagramok segítségével értelmezhetőek.

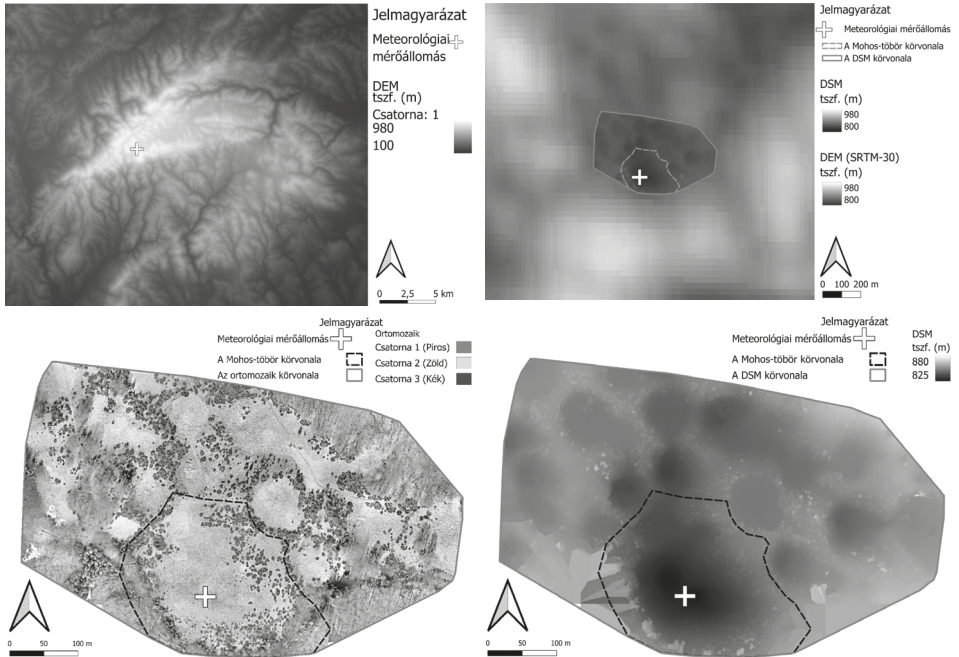
A vizsgált terület jellemzése

A kutatási terület a Bükk-fennsík nyugati harmadában, a Büszkés-hegy (tszf. 952 m) a Tar-kő (tszf. 949 m) csoportok és a Zsidó-rét találkozási zónájában található szélvédett környezetben, a Zsidó-rét nyitott kisugárzó felületeinek és a völgyoldalak hidegáramlatainak összefolyási zónájában (*1. ábra – 1/1*). Maga a meteorológiai mérőállomás a Mohos-töbör ikeraljzatának DK-i (mélyebben fekvő) tagjában található. A Mohos-töbör oldásos ikertöbörként jellemezhető, ikeraljzata további oldódás útján idővel egyesülni fog (VERESS M. 2018). A drónnal berepült, származtatott modellek alapterülete sötétpiros szaggatott vonallal, azon belül a Mohos-töbör kifolyási küszöbe (domborzati alapon, a további medencéktől elválasztó mikrogerincek és kifolyási pontok mentén jelölve), legbelsőbb gyűjtőmedencéje szaggatott lila vonallal lett feltüntetve a *DSM (1/2)* ábrán. A Mohos-töbör kellően nyitott a jó kisugárzási potenciál eléréséhez, azonban a környezetéhez képest meredekebb oldalalú, mélyebb, dupla töbörrel védett terület biztosít a hideg légtömeg számára. A töbörök jellemző fordított növényzeti rétegződés a Mohos-töbörben is megtalálható, jól elkülöníthető övezetekben. A töbörreljől felfelé követik egymást a gyepes, borókás, fenyves, a hőmérsékleti normalizálódást követően pedig a bükkös társulások (HORVAT I. 1952; EGLI, B. R. 1991; ÖZKAN, K. et al. 2010; BÁTORI Z. et al. 2014a/b)

Elhelyezkedés:

- Bükk-fennsík, Zsidó-rét, Mohos-töbör.
- Hosszúság: 20,463171, Szélesség: 48,065424, Magasság: tszf. 825,5 m

A szakirodalom által főkomponensként kezelt *sky-view* (*f_v*) faktor modellben a Mohos-töbör átlagértéke *f_v*=0,9 feletti. Negatív *f_v*-értékű tömeget csak a növényzet képez. A növényzet komolyan befolyásolja a valós hatótényezőket, szélvédettség, felszíni rövid hullámú energianyereség és hosszú hullámú (hő) veszteség tekintetében.



1. ábra A kutatási terület lehatárolása és a meteorológiai mérőállomás elhelyezkedése: 1: Bükk-fennsíkron belül, 2: a kutatási terület DSM modelljén belül. Forrás: Dobos 2023/a

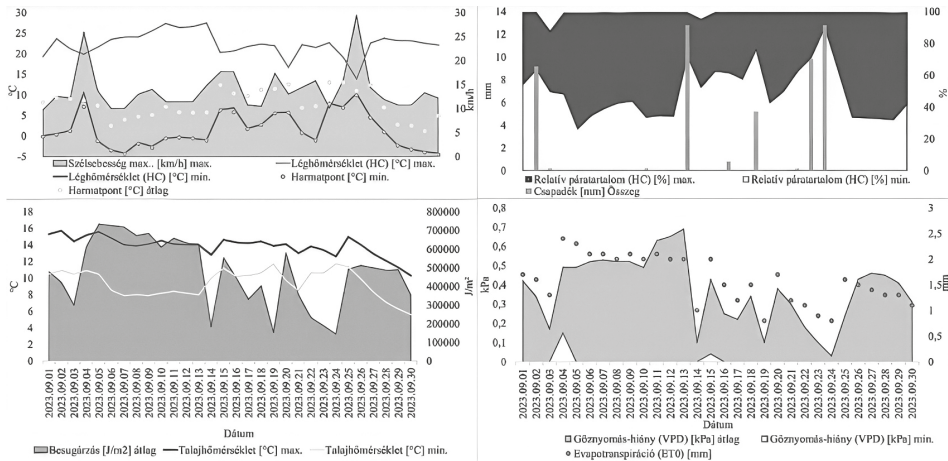
Figure 1 Delimitation of the research area and the position of the meteorological station in the Mohos sinkhole from the map view about the Bükk-mountain to the environment of the investigated sinkhole's DSM. Source: Dobos 2023/a

Eredmények

2023 szeptemberének összefoglaló elemzése

A 2023-as – jellemzően magas nyomású – légköri képződmények által alakított szeptember országos viszonylatban, így a Mohos-töbörben is késő nyáriás, nyugodt időjárás mellett telt el (2. ábra). Az országos középérték (átlag) $19,57^{\circ}\text{C}$, 1901 óta a legmelegebb volt (OMSZ).

Az anticiklonok uralmát 4 frontális időszak törte meg, időben viszonylag kiegyenlített eloszlás mellett. Ezen időszakok dinamikus időjárása nem kedvezett a töbörben belüli hőmérsékleti inverzió, más néven hideg légtömeg kialakulásának, ellentétben a szeptember 6-14 és 27-30 időszakokkal. Utóbbiakban a napi széljárás szabályos volt, az éjszakai potenciális nettó kisugárzási periódusokban derült, szélcsendes idővel. A relatív páratartalom napi minimuma gyakran ment 50% alá, abszolút minimuma 26,22% volt. A főként frontális eseményekhez köthető hulló csapadék mennyisége $51,2\text{ mm}$, a legcsapadékosabb időszak a szeptember 23-25 közötti periódus volt. Értelemszerűen a párolgási veszteség is ezen időszakokban volt a legalacsonyabb, 25-én 0,1-es VPD (kPa) érték mellett állt be a napi maximum. Az összesített evapotranspiráció $48,2\text{ mm}$ volt. A hónap átlaghőmérséklete $11,16^{\circ}\text{C}$ volt $27,56^{\circ}\text{C}$ -os abszolút T-max. (2022-ben 25°C) és $-4,24^{\circ}\text{C}$ -os abszolút T-min. (2022-ben -7°C) mellett. A napi széljárás szabályossága is a frontális eseményekkor törik meg, a legnagyobb szélökés a töbörreljben $29,5\text{ km/h}$ volt a 25-i eseménykor, a havi



2. ábra 2023 szeptemberének napi összefoglaló diagramja a Mohos-töbörben, felszín felett 2 méteren és –5 cm-en (talajhőmérséklet) mért adatokból

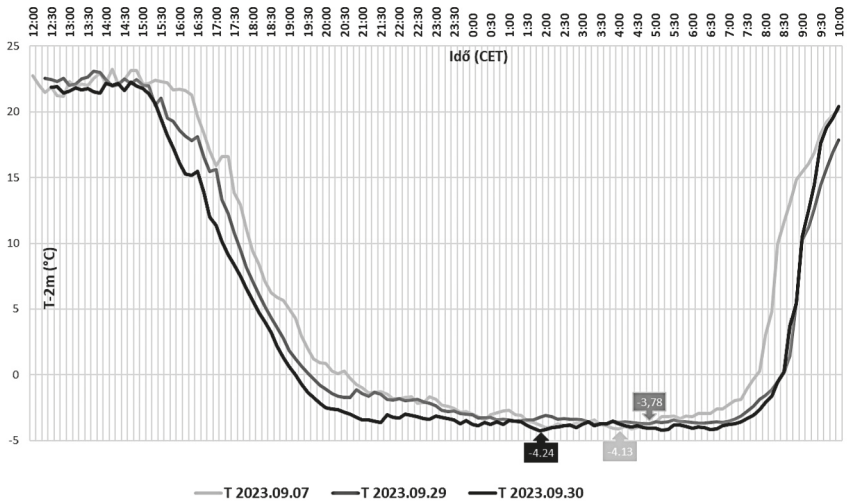
Figure 2 Diurnal summary of the data measured in the Mohos sinkhole at 2 m above the surface (soil temperature at –5 cm) in September of 2023

átlagszél sebessége 0,8 km/h. Az átlagos talajhőmérséklet (–5 cm) majdnem megegyezik a léghőmérséklettel, 11,4°C, amely a hónap végén lépcsőzetesen csökkent, köszönhetően a hónap elejéhez képest redukált besugárzásnak a töbör aljában és az éjszakai kisugárzás szempontjából kedvező légköri viszonyoknak. Talajfagy a felszín alatt –5 cm-en (mérési mélység) nem alakult ki.

A derült szélcsendes időjárás kedvez a töbör mikroklíma rendszer érvényesülésének. Ezt a cikkben vizsgált időszak is igazolja. A napi hőingás jellemzően meghaladta a 20°C-t, 12 alkalommal a 25°C-t. A legnagyobb hőingás 28,56°C volt, 09.13-án, 27,51°C és –1,05°C-os szélsőértékek mellett. A hónap abszolút hőingása 31,75°C volt, az átlagos várható hőingás értéke pedig több volt mint 20°C. 5 alkalommal fordult elő nyári és fagyos nap egyszerre, és minden (14) alkalommal 20°C feletti értékről hűlt a hőmérséklet 0°C alá. 14 alkalommal fagyott 2 m-en a Mohos-töbörben (2022-ben 12 db). A napi T-minimum értékek átlaga 1,47°C, a T-maximumoké 22,37°C. A leghidegebb napi középérték 5,2°C volt. Összességében 2023 szeptemberében majdnem minden második nap fagyott (46,7%). A vizsgált hónapban 5740 percig volt a hőmérséklet 0°C alatt, ami a teljes hónap 13%-a, 95,6 óra és majdnem 4 naptári nap hossza.

2023 szeptemberének leghidegebb napjai

2023 szeptemberének 3 legalacsonyabb T-minimum értéke 09.07. (1.), 09.29. (2.) és 09.30. (2.) hajnalán állt be –4,13°C (1.), –3,73°C (2.) és –4,24°C-on (3.). A kontextus végett a hivatalos országos mérőhálózat napi minimumértékei 2023 szeptemberében 8-án +6,4°C, 29-én +4,2°C és 30-án +5,3°C (OMSZ, Napijelentés kiadvány). Az OMSZ hivatalos országos mérőhálózata nem rögzített fagypon alatti hőmérsékletet 2 méteren a vizsgált hónapban (2023-ban), szemben a Mohos-töbör fagyuzágának 14 alkalomával. Ez a jelentős különbség azzal magyarázható, hogy a bükk-fennsík Zsidó-rét és a Mohos-töbör a töbrökre jellemző, saját, a környezeténél jelentősen hidegebb mikroklímával rendelkezik. Emellett a hivatalos mérőhálózatok kevésbé jellemző az ország természetföldrajzi, felszínborítottsági változatosságát (3. ábra).



3. ábra 2023 szeptemberének három leghidegebb napi T-minimum értéke a Mohos-töbörben, d.e. 12 és d.e. 10 közötti időszakban ábrázolva (Mohos-töbör, 2 m, °C)
 Figure 3 The three coldest daily T-mins. in September of 2023, represented on time scale from 12 A.M. to 10 A.M. (Mohos sinkhole, 2 m, °C)

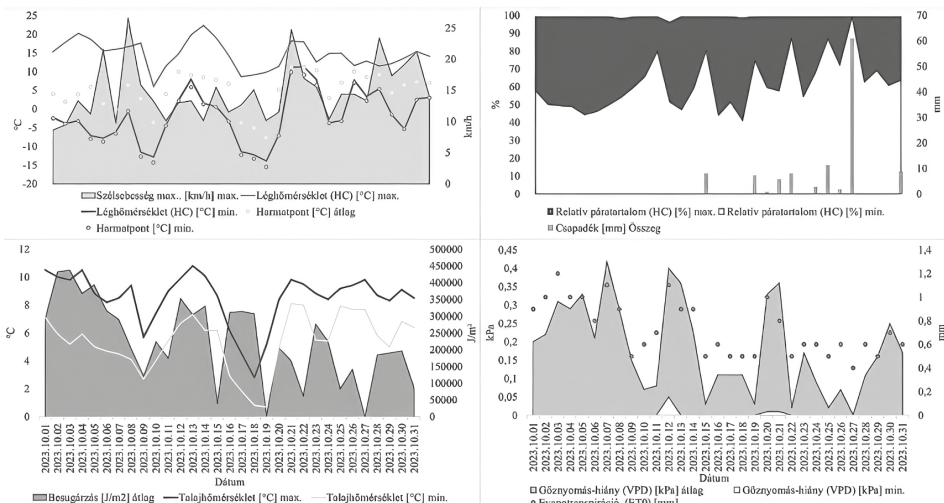
A három hőmérsékleti görbe egyaránt a felszín felett 2 méterrel uralkodó léghőmérsékleti viszonyokat prezentálja. Közös jellemzőjük, hogy mindhárom esetben adottak voltak az inverziós légrétegződés zavartalan kiépülésének (ang. *undisturbed evolution*, DORNINGER, M. et al. 2011) feltételei. Ez a derült, szélszendes időjárás és kellően alacsony páratartalom mellett az, hogy a gyorsan hűlő légtömeg ne lépje át a kondenzációs küszöbértéket (DORNINGER, M. et al. 2011; DOBOS A. – DOBOS E. 2023). Így példaértékű típusesetként jellemezhetőek a vizsgált hónap T-minimum értékei. A három esemény időtartama az éjszakai, nettó kisugárzási periódusok hosszabbodásával (nappalok rövidülése) növekszik a tendenciális léghőmérséklet csökkenés és növekedés között. Ennek oka, hogy a besugárzási periódus időtartama a téli napforduló felé haladva csökken, és zavartalan esetben ez szabályos eltolódást eredményez a hőmérsékleti görbékben. További azonosság a hirtelen hűlés kezdetét követő töréspont 15°C környékén, mely vélhetően a töböroldalban gravitációs úton nagy energiával meginduló légtömegek keverő hatásának eredménye (DORNINGER, M. et al. 2011). A töbör belső áramlási rendszerének hatása a görbe ellaposodásánál is jelen van, a relatíve hidegebb, sűrűbb és az év ezen szakaszában még melegebb pontszerű felületek által felmelegített légtömegek állandó cserélődéséből eredeztethető turbuláló mikroáramlatok miatt (DORNINGER, M. et al. 2011). A vizsgált időszakban az 1. eset hőingása 27,38°C, a 2. esetben 26,87°C, a 3. esetben 26,41°C volt. A minimumhőmérsékletek beálltának időpontja az 1. esetben 04:20, a 2. esetben 03:20 a 3. esetben 01:50 volt. A 3. esetben a minimumhőmérséklet beálltát állandó (töböráljai áramlatokból adódó) vibráció követte a görbében, viszonylagos stagnálás mellett. A leghidegebb, -4,23°C-os T-minimumot eredményező, 2023.09.30-i eset komplex elemzése zárja az esetfeldolgozást. A napi szélsőértékek 22,09°C, és -4,24°C voltak. Csapadék a nap folyamán nem hullott, az éjjel derült, szélszendes volt. A napi átlagszél 0,3 km/h volt, 12,2 km/h-s legerősebb szélökés mellett.

Látható, hogy a paraméterek együvváltozása erős. A mért hőmérsékleti minimumérték kialakulásában több másik hatótényezőnek is szerepe van. Az ábrán jól látható, hogy a besugárzás (J/m^2) csökkenésével redukálódik a gőznyomás-hiány (VPD, kPa) és megin-

dul a hőmérséklet csökkenése is. Ennek alapfeltétele a besugárzás értékének mérséklődése majd megszűnése mellett a szélsébség csökkenése, majd a közelítő szélcsend beállta. A töbör áramlási rendszere ugyanis az esetek többségében felüliródik, befolyásolódik a nagytérségi légköri dinamika által a mikroklímarendszer szempontjából optimális körülmények beálltaig. A hőmérséklet csökkenésével együtt változik a harmatpont és a relatív páratartalom. A harmatpont korrelációja a zavartalan kisugárzási időszakban erős, napközben nem szignifikáns. A relatív páratartalom együttváltozása a 3. ábra által vizsgált időszakban szinte tökéletes. A légnedvesség közel telített a léghőmérsékleti görbe esés utáni ellaposodásakor. A hőmérséklet hosszú stagnálása figyelhető meg a T-min. beállta után, a harmatpont $-4,6^{\circ}\text{C}$ -os minimumértékét a léghőmérséklet nem „haladta meg”. A talajhőmérséklet járása minimális késéssel követi a léghőmérsékletét, szélsőértékei $10,3^{\circ}\text{C}$ és $5,6^{\circ}\text{C}$. 1:50-kor a lég (2 m) és talajhőmérséklet (-5 cm) különbsége $10,5^{\circ}\text{C}$. Ebből is látszik, hogy az évnek ezen szakaszában a talajban még komoly energiataralékok vannak, melyek a kisugárzási időszakban zavart okozhatnak a léghőmérsékleti görbében, még a felszín felett 2 méteren is.

2023 októberének összefoglaló elemzése

A 2023-as október országosan az átlagosnál melegebb, (30 éves átlag) légkörileg aktív hónap volt, főleg az időszak második felében (4. ábra). Az országos középérték (átlag) $30,3^{\circ}\text{C}$ és $-5,3^{\circ}\text{C}$ -os szélsőértékek mellett $14,09^{\circ}\text{C}$, 1901 óta a harmadik legmelegebb volt (forrás: OMSZ). A töbörben mért időszak leghidegebb periódusai megegyeztek az országosan átlag alatt alakuló periódusokkal. Ezek az október 8-9, illetve 15-20-as hidegelárasztások voltak, amikor a sarkvidéki eredetű hideg levegő részben nyugalomba jutott a Kárpát-medencében (4. ábra). Október első felében szinte minden nap fagyott a Mohos-töböráljban, majd huszadikától a csapadékosabbra forduló, magas légköri dinamikával jellemezhető időjárás fagyszegény időszakot eredményezett. Ennek ellenére a Mohos-töbör mérőállomás 2 méteren 5 darab zord napot rögzített, szemben a 2022-es 2-vel.



4. ábra 2023 októberének napi összefoglaló diagramja a Mohos-töbörben, felszín felett 2 méteren és -5 cm -en (talajhőmérséklet) mért adatokból

Figure 4 Diurnal summary of the data measured in the Mohos sinkhole at 2 m above the surface (soil temperature -5 cm) in October of 2023

A napi széljárás időszakosan volt jelen, a hónap utolsó harmadában egyáltalán nem volt jellemző. A relatív páratartalom minimumértéke ritkán alakult 50% alatt, minimumértéke 40,92%. A napi evapotranspiráció (*ETO*, mm) a hónap viszonylag szabályos napi széljárást és tiszta időt hozó első harmadában és a csapadékszegény szeles periódusokban volt a legmagasabb. A huszadikát követő, a töbör mikroklímarendszerének érvényesülése szempontjából nem kedvező időszakban az *ETO* érték a szeles időjárás ellenére is alacsony, a relatív páratartalom átlagosan magas volt. Így a 4. ábra által bemutatott időjárási kétarcúság fényében értelmezendő a hideg légtó (léghőmérsékleti inverzió) kiépülésének lehetősége vagy annak elmaradása. Tehát a töbör mikroklímarendszer érvényesülésének szempontjából megfelelő időszakként a hónap első 2/3-a jellemezhető. A talajhőmérséklet kizárólag a hidegöblítések alkalmával csökken 5°C alá.

2023 októberében a havi átlaghőmérséklet 7,3°C volt, ami 1,6°C-kal melegebb, mint a 2022-es októberi átlag. A legmelegebb mért havi hőmérséklet a Mohos-töbörben 22,3°C (2022.10: 22,5°C), míg a leghidegebb –14°C (2022.10: –12,8°C), a harmatpont minimuma –15,5°C volt. A négyzetméterre számolt, napsugárzásból származó rövidhullámú energianyereség 10 perces átlaga 226 567 J/m² (2023 szeptember: 476 114 J/m²), a hulló csapadék 116 mm, a párolgási veszteség 22,9 mm, a gőznyomás-hiány (VPD, kPa) pedig 0,18 kPa-s átlagértéket eredményezett a hónap tekintetében. Az időszak csapadékmérlege pozitív, még ha a fennsíkon a felszínre érkező csapadék a repedéshálózaton keresztül hamar a karsztvízbázis részévé is válik. A havi átlagszél meghaladta a 1 km/h-t, a legerősebb mért szellőkés a töböraljban 26,6 km/h volt.

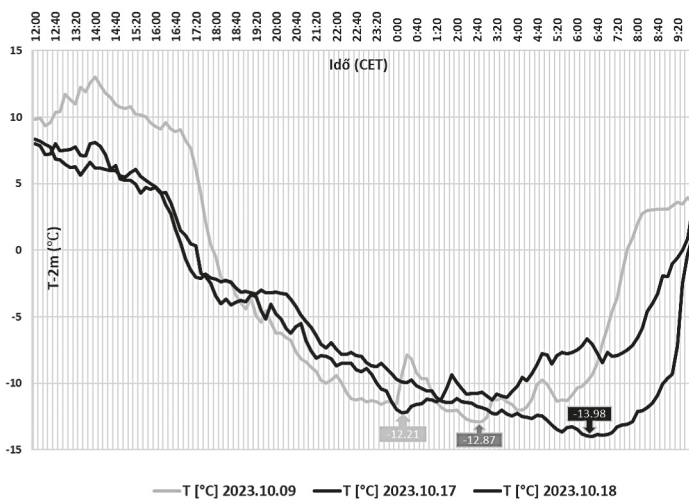
A havi T-minimumok átlaga –1,8°C, a T-maximumoké 14,6°C, az abszolút havi hőingás mértéke 36,3°C a legnagyobb napi hőingás mértéke pedig 25,9°C volt, ami egyáltalán nem kirívó érték a Mohos-töbör mikroklímátrendjeit figyelembe véve. A várható napi hőingás mértéke az egész hónapban viszonylag alacsony volt, 16,5°C. A napi középhőmérséklet több alkalommal is fagypont alatt maradt, a hónap leghidegebb napi középértéke a töböraljban –5,7°C. A fagyos napok száma 19 db, ami 6-tal kevesebb mint tavaly (2022) októberben és 5-tel több mint 2023 szeptemberében. A hőmérséklet 5 napon is –10°C alá süllyedt, ami 3-mal több mint tavaly, valamint 10 alkalommal lépte túl a –5°C-os értéket. Tette mindezt az országos mérések kezdete óta 3-ik legmelegebbként számoltartott, 2023-as év októberében. A vizsgált hónapban 8580 percig volt a hőmérséklet 0°C alatt, ami a teljes hónap 19,2%-a, 143 óra és majdnem 6 naptári nap hossza.

2023 októberének leghidegebb napjai

Ahogy már fentebb említésre került, a cikkben vizsgált periódus leghidegebb napjai a Mohos-töbörben, e hónap esetében időben megegyeztek az országosan átlag alatt alakuló időszakokkal (a töbörben folytatott mérések kezdete óta ez nem minden esetben volt így). A hónap legalacsonyabb léghőmérsékleti minimumértékeit hozó napjai október 9., 17. és 18. voltak. A napi középhőmérséklet mindhárom nap esetében 0°C alatt alakult és a T-min. –10°C (–12,9°C; –12,2°C; –14°C) alatt állt be. Ezutóbbi napkategóriát a meteorológia *zord napként* (T-min ≤ –10°C) osztályozza. A harmatpontot a hőmérséklet egyik esetben sem érte el, a legalacsonyabb páratartalom a havi T-min. napján állt be, 40,9%-kal, ami az egész hónapra vetítve jelenti a relatív páratartalom minimumértékét. Csapadék csak 17-én esett, 0,2 mm. Az átlagszél 0,2-0,5 km/h között változott a vizsgált napok esetében. Talajfagy a hónapban –5 cm-en nem volt.

A körülmények egyik esetben sem engedtek kialakulni szabályos, zavartalan kiépülésre jellemző hőmérsékleti görbét, így azok enyhe zavarással (ang. *mixing event*, DORNINGER, M. et al. 2011) jellemezhetőek. A 9, 17-i esetekben a töbörben kialakult hőmérsékleti

inverzió nem tartott ki a hosszú hullámú kisugárzási periódus végét jelentő napfelkelteig, a fokozatos felhősödésnek köszönhető reflektancia következtében. A hideg légtö a korahajnali órákban lassú, rétegenkénti erodáció útján felszámolódtott. A keverő hatás főleg a 9-i diagram esetében látványos, ahol a T-min. ($-12,9^{\circ}\text{C}$) beálltát egy komolyabb szélleőkés előzi meg, ezzel nagyjából 5°C -os ideiglenes melegedést okozva, melyet egy 6°C -os esés követ a hideg légtö lassú, fokozatos összeomlása előtt (DORNINGER, M. et al. 2011). A 18-i eset mind közül a leginkább szabályos görbét eredményezte, a T-min. beállta nagyjából megegyezik a potenciális kisugárzási időszak végével, azonban a zavartalan kiépülési dinamikától messze áll (5. ábra).



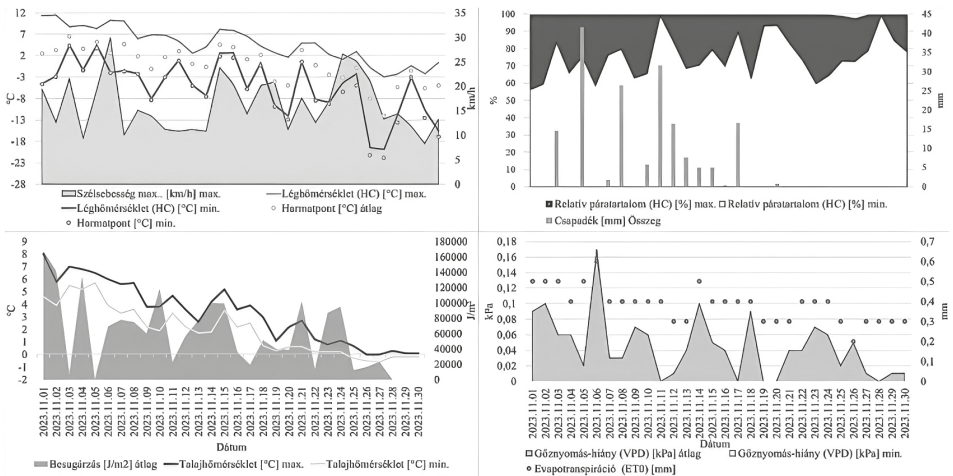
5. ábra 2023 októberének három leghidegebb napi T-minimum értéke a Mohos-töbörben, d.e. 12 és d.e. 10 közötti időszakban ábrázolva (Mohos-töbör, 2 m, °C)
 Figure 5 The three coldest daily T-mins. in October of 2023, represented on time scale from 12 A.M. to 10 A.M. (Mohos sinkhole, 2 m, °C)

A potenciális kiépülési időszak alatt adott a szélcsend, azonban a felhőzet esetenként a kisugárzás szempontjából zavaró hatást fejt ki. Az éjszaka folyamán a Bükk-fennsík felett még jelen van a K-ÉK-i irányba elmozduló fagyos levegő 850 hPa-n (forrás: Wetterzentrale.de). Az éjszaka túlnyomó részében derült, szélcsendes időjárás a 2023 októberi országos minimumot eredményezte, -14°C -ig ($-13,98^{\circ}\text{C}$) engedte hűlni a sajátos mikroklimarendszerrel rendelkező Mohos-töbröt (ugyanekkor a hivatalos napi országos T-min. $-5,3^{\circ}\text{C}$ Zabarban, ez az októberi T-min. is, forrás: OMSZ). A hőmérséklet 0:50-től egészen reggel 9-ig -10°C alatt maradt. A görbe hőmérsékleti inverzió kiépülésének enyhe zavaráról tanúskodik, futása nem hozza a zavartalan esetek zárt medencék esetében drasztikus hőmérsékletcsökkenését, szabályosságát (DORNINGER, M. et al. 2011; DOBOS A. 2023/b) (lásd a korábbi példákban).

2023 novemberének összefoglaló elemzése

A 2023-as november országos átlaghőmérséklete ($6,26^{\circ}\text{C}$) kevéssel a sokéves átlag felett, az északi-magyarországi-középhegység térségében átlag körül alakult. Az átlag alatti periódusok 17-e után voltak jellemzőek. A hónap átlaghőmérsékletének trendvonala szabályos és folytonos csökkenést mutat. A havi csapadékvizonyok országosan

átlag felett, ÉK-en ~200%-os anomáliával jellemezhetőek. A mérések kezdete óta a 9.-ik legcsapadékosabb november volt, ÉK-en jellemzően 120+mm-es havi csapadékösszeget regisztráltak az OMSZ meteorológiai mérőállomásai (OMSZ–Elmúlt hónapok időjárása). A Mohos-töbör mikroklímarendszerének érvényesülése a hónap dinamikájához igazodik (6. ábra), a 17-utáni periódusban gyakori és jelentős események mellett. Szabályos, több napos periódusok nem voltak, zavartalan mikroklímaesemény nem került rögzítésre a Mohos-töbörben. Az inverziós légrétegződés kiépülésének és élettartamának típusa minden esetben valamilyen jellegű zavarással jellemezhető. A mikroklimatikai szempontból optimális időjárási ablakok ennek ellenére teret engedtek a rövid ideig fennálló, intenzív eseményeknek a Mohos-töbörben belül. A mért adatok így reprezentálják a Mohos-töbörre jellemző, rövid időn belül bekövetkező drasztikus hőmérsékleti fluktuációt és a változottságot előidéző körülmények gyors, periódikus módosulását (6. ábra).



6. ábra 2023 novemberének napi összefoglaló diagramja a Mohos-töbörben, felszín felett 2 méteren és –5 cm-en (talajhőmérséklet) mért adatokból

Figure 6 Diurnal summary of the data measured in the Mohos sinkhole at 2 m above the surface (soil temperature –5 cm) in november of 2023

A novemberi átlaghőmérséklet a Mohos-töbörben (2 m-en) $0,92^{\circ}\text{C}$ volt (2022: $1,1^{\circ}\text{C}$) $11,49^{\circ}\text{C}$ -os havi T-max. (2022: 17,63) és $-19,88^{\circ}\text{C}$ -os T-min. (2022: $-17,1^{\circ}\text{C}$) mellett. A besugárzás (J/m^2) tíz perces átlagértéke a töbör téli félévben jellemző (ön)árnyékba kerülésének köszönhetően az októberi átlag ($22\,6567\ \text{J}/\text{m}^2$) $1/4$ -ére esett vissza ($57\,932\ \text{J}/\text{m}^2$). Az havi középhőmérséklet ($0,9^{\circ}\text{C}$) csökkenése és a gyakori csapadékesemények együttes hatásaként a relatív páratartalom havi átlagértéke $93,15\%$ volt. Az összehasonlíthatóság érdekében kerekített, 175 mm hulló csapadék a 2022-es mennyiség (46,8 mm) 371% -a, és 3 mm-el marad el a hivatalos országos maximumtól (OMSZ–Elmúlt hónapok időjárása). Az átlagos szélsébség $1,4\ \text{km}/\text{h}$, a legnagyobb széllokés $29,9\ \text{km}/\text{h}$ volt, utóbbi 2023 őszének legmagasabb értéke. A talajhőmérséklet havi átlagértéke $2,7^{\circ}\text{C}$ volt, 8 és $-0,6^{\circ}\text{C}$ -os szélsőértékek mellett. A hónap végén jellemző hótakaró hőszigetelő hatása jelentősen redukálta a talajtakaró felszínközeli (–5 cm) rétegeinek hőmérsékletcsökkenését és ingadozását, egyben csökkentette a felszín valós energianyereségét és növelte annak albedóját, segítve az érintett légrétegek hőmérsékletcsökkenését (kisebb elnyelő, nagyobb kisugárzó potenciál). A párolgási veszteség a csökkenő napfénytartam (és önárnyék) következtében a legalacsonyabb, $11,7\ \text{mm}$ -es értékkel jellemezhető a vizsgált hónapok közül.

A novemberi hónap során a Mohos-töbörben a napi T-minimumok átlaga $-5,08^{\circ}\text{C}$ volt, a T-maximumoké pedig $4,68^{\circ}\text{C}$. A havi abszolút hőingás mértéke $31,37^{\circ}\text{C}$. A $-9,8^{\circ}\text{C}$ -os leghidegebb napi középhőmérséklet a 2023-as őszi szezon leghidegebbje is volt egyben. Napi statisztikai lebontás szerint a 30 napos hónapban 23 napon fagyott (2022 november: 28 fagyos nap) a Mohos-töbörben (felszín felett 2 m) ami a 76,7%-os arányt jelent. 12 napon esett a napi T-min. -5°C alá (40%), 6 alkalommal -10°C alá (20%) és 3 alkalommal -15°C alá (10%). A 2022-es novemberben a $T\text{-min} \leq -10$ napok száma szintén 6 db volt. 5 napon nem emelkedett a napi T-max. 0°C fölé (16,7%). A vizsgált hónapban 13 330 percig volt a hőmérséklet 0°C alatt, ami a teljes hónap 30,9%-a, 222,17 óra és 9,3 naptári nap hossza.

2023 novemberének leghidegebb napjai

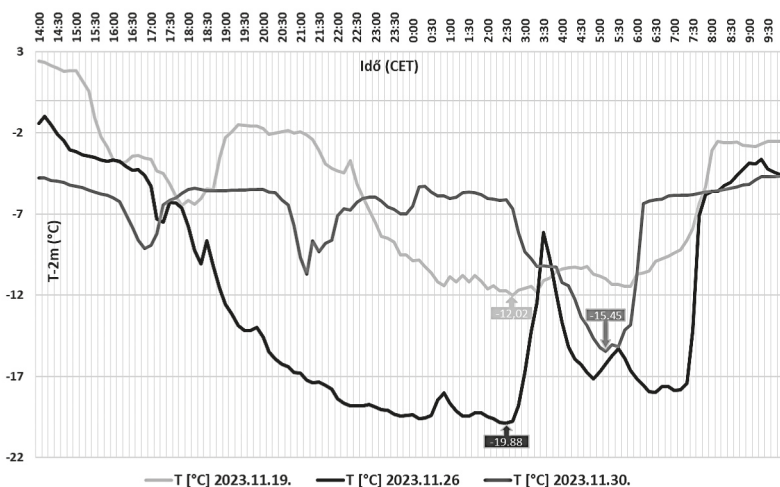
Az alfejezetben vizsgált három nap töböráljban mért hőmérsékleti görbéje eltérő időbeli kiépülésről tanúskodik. A hőmérsékleti inverzió kiépülése a Mohos-töbörben egyik esetben sem volt zavartalan. Mindhárom esetben -10°C alatt állt be a napi minimum hőmérséklet, amivel a meteorológia által használt „zord nap” kategóriába sorolhatóak. A 19-i (továbbiakban 1-es) görbe legalacsonyabb értéke $-12,02^{\circ}\text{C}$, a 26-i (továbbiakban 2-es) $-19,88^{\circ}\text{C}$, a 30-i eset (továbbiakban 3-as) legalacsonyabb értéke $-15,45^{\circ}\text{C}$ volt.

Az első esetben (7. ábra) a hideg légtömeg kiépülése a teljes várható potenciális periódust tekintve kései, erősen zavartként jellemezhető. A stagnálást követő vibráció a töböráljban végbemenő, hideg légtömegek töbörön belüli sűrűségkülönbségéből adódó cseréjéből adódik (DORNINGER, M. et al. 2011; DOBOS A. – DOBOS E. 2023).

A második esetben az inverzió enyhe zavarás mellett időben kiépült, majd korai összeomlást követően erős zavarás mellett újraépült. Hasonló esetekben a felszínközeli hideg légtömegek a töbör szélvédett oldalában megmaradhatnak és a periódikus zavar (szél, felhőzet mikroklímarendszert felülíró időszakos hatása) elállta után a visszahelyeződnek a töböráljba. Ilyenkor a már lehűlt felszín és a felszínközeli zavaros zóna állapothoz képest elmozdult, de a töbör kifolyási vonalán belül megmaradt hidegebb légtömegeknek köszönhetően a hideg légtömeg újabb kiépülés gyorsabb, a hőmérsékleti görbe esése meredekebb, mint a kisugárzási periódus eleji hidegfelhalmozódási szakaszban. A potenciális kiépülési perióduson belül így két kiépülést különíthetünk el, és erős keverő hatás (ang. *mixing event*) állapítható meg (DORNINGER, M. et al. 2011; DOBOS A. – DOBOS E. 2023). A közel -20°C -os napi T-min. egyben a 2023-as őszi szezon országos abszolút mért T-minimum értéke is, beleértve az amatőr méréseket (nem hivatalos adat).

A harmadik esetben a hideg légtömeg két alkalommal is összeomlott, ekkor a hőmérsékleti viszonyok normalizálódtak. A 3. eset diagramján jól elkülöníthetőek a Mohos-töbör mikroklímarendszerének, és a regionális légköri viszonyok töbörön belüli érvényesülésének időszakai. A görbe három, inverziós szempontból optimális időjárási ablakban (ang. *cold-air pool window*) létrejövő, két korai összeomlási (ang. *early breakup*; ~16:00-17:30, 20:00-22:30) és egy kései kiépülési (ang. *late buildup*) esetet (~2:30-6:00) szemléltet. Így összetett esetként jellemezhető. A 3. eset zérus besugárzási (J/m^2) értékének oka a szenzort borító hótakaró. Ennek esetleges mérést befolyásoló hatását a kettes esetben is figyelembe kell venni (7. ábra).

A november 26-i havi (és a vizsgált időszakot tekintve) abszolút T-minimum értéket eredményező mikroklímaeseményt a cikk a mért, releváns paraméterek tükrében elemzi. A $-19,88^{\circ}\text{C}$ -os napi T-min. (*HC Air temperature*: $^{\circ}\text{C}$) naptári napjának átlaghőmérséklete $-9,8^{\circ}\text{C}$ volt, mely hulló csapadéktól mentesen, $0,8\text{ km/h-s}$ átlagszél (*Wind speed*: km/h) és $13,3\text{ km/h-s}$ legnagyobb szélhőkés (*Wind speed max*: km/h) mellett telt el. A diagram



7. ábra 2023 novemberének három leghidegebb napi T-min-je a Mohos-töbörben, 12:00 és 10:00 közötti időszámban ábrázolva

Figure 7 The coldest three daily T-mins. in November of 2023, represented on time scale from 12 a.m. to 10 a.m.

által ábrázolt, a mikroklímaesemények szempontjából meghatározó optimumtartomány a besugárzási (*Solar radiation: J/m²*) időszak vége és a kezdete közötti időszak, mely a Mohos-töbör domborzati adottságainak (önárnyék, D-i hegykaréj árnyéka) köszönhetően jóval hosszabb lehet, mint egy elméleti vízszintes síkfelület ugyanezen földrajzi koordináták alatt elhelyezkedő pontján.

A töböráljban a mikroklímatikus optimumidőszakot szél és felhőzet okozta zavarok törték meg, melyek komolyan befolyásolták a hőmérsékleti görbe alakulását. A hőmérséklet meredek csökkenése nem a besugárzás megszűnésével, hanem a szél elálltával kezdődött meg, így innen számoljuk az optimumtartomány kezdetét. Az éjszakát viszonylagos szélcsend jellemezte, pontszerű szellőkések mellett és napfelkeltéig (CET, 07:41) nem alakult ki olyan erősödő, turbulens légmozgás, ami elegendő lehet egy, a töbörben kiépült hőmérsékleti inverzió felszámolására. Ennek feltétele az erősödő(!), az inverziót vertikális kiterjedésében érintő turbulens légmozgás lenne, melyről ebben az esetben nem beszélhetünk (PETKOVŠEK, Z. 1992; RAKOVEC, J. et al. 2002.). Az inverzió időszakos összeomlásának oka egy felhősebb időjárási ablak volt, mely során a felhőzet által képzett magasabb vízpáratartalmú légréteg visszaverte a felszín hosszúhullámhossz tartományú energiaveszteségét a földfelszín irányába. A felhőzet időszakos, enyhe zavarása a mikroklímaesemény végéig jelen volt, azonban mértéke változó volt, így a hőmérsékleti inverzió újból kiépült a töböráljban.

A gőznyomás-hiány (VPD: kPa) a zavaroktól eltekintve a nullához konvergált, a napi evapotranspiráció (ETO: mm) a töböráljban 0,2 mm volt. A relatív páratartalom (*HC Relative humidity: %*) szélsőértékei 73-97% voltak, ami kimondottan magas, a kondenzációs küszöbértéket (*Dew point: °C*) a hőmérséklet nem érte el. Az eseménykor a Bükk-fennsíkot vékony hótakaró borította, mely növelte a felszín albedóját, azonban hőszigetelő hatása vastagságából adódóan csak részben érvényesült. A talajhőmérséklet (*Soil temperature: °C, -5 cm*) változása tendenciálisan követte a léghőmérséklet menetét, minimumértéke $-0,6^{\circ}\text{C}$ volt, amely az első talajfagyot jelentette a 2023-as őszi szezonban.

Összefoglalás

2023 ősze reprezentatív időszaknak bizonyult, változatosságának köszönhetően a Mohos-töbör mikroklímarendszerének viselkedése jellemző és egyértelmű hatótényezők mentén vizsgálható. A vizsgált időszak során a szakirodalom által ismert minden mérhető hideg légtó kiépülési eset (WHITEMAN, C. D. et al. 2004; DORNINGER, M. et al. 2011) jelen volt, esetenként azok kombinációjaként is, amely tovább növeli a mért adatok értékét. A vizsgált periódus meteorológiatörténelmi jelentősége, hogy országos szinten 1901 óta a legmelegebb őszi szezonnként jellemezhető (OMSZ – Elmúlt évszakok időjárása). Az időszak elejét meghatározó anticiklonális és végét jellemző, átlag alatti hőmérsékleti tartományban futó (nagyterségileg értelmezendő) időszakok hatása egyértelműen nyomon követhető az inverziós légrétegződés kiépülési esetek típusain (a nagyterségileg átlagosnál hidegebb, de dinamikus időjárás nem minden esetben jelent mikroklímaeseményt a Bükk-fennsíki töbrökben). A releváns országos és inverziós hajlammal nem jellemezhető bükki mérési pontok szélsőértékeinek kontextusában elmondható, hogy a Mohos-töbör (egyben a Zsidó-rét) mikroklímarendszere egyértelmű anomáliaként van jelen a hivatalos és amatőr mérések ismeretében is, így a Bükk-fennsík nagy területen, inhomogén, de jelentős negatív hőmérsékleti eltéréssel jellemezhető. Ezt a hipotézist erősítik a Bükk-fennsíkon korábban és jelenleg zajló, intézetünk és magányszemélyek (Kerékyártó Róbert (Vörösmeteor-töbör és egyéb reprezentatív pontok): <http://buk.meteopont.hu/>) által folytatott kiterjedt mérések is.

A vizsgált periódus abszolút minimumhőmérsékleti értéke a Mohos-töbörben hóborítottság mellett állt be ($-19,88^{\circ}\text{C}$). Ez az érték jelentősen, több mint 4°C -al alacsonyabb, mint a 2023-as őszi szezon 2-ik legalacsonyabb napi minimumhőmérsékleti értéke. A hóborítottság lég- és talajhőmérsékletre tett hatása a vizsgált időszakon belül egyértelmű, a talajhőmérsékleti minimum érték nem a léghőmérsékleti minimum értékkel megegyező inverziós esemény alkalmával állt be (GOODRICH, L. E. 1982; THORN, C. E. et al. 1999; BELTRAMI, H. 2001; SOKRATOV, S. A. – BARRY, R. G. 2001; DECKER, K. L. M. et al. 2003; ZHANG, T. 2005; MACKIEWICZ, M. C. et al. 2012; DOBOS A. 2024).

A teljes elemzett időszak átlaghőmérséklete a Mohos-töbörben $6,5^{\circ}\text{C}$ volt, $27,5^{\circ}\text{C}$ -os abszolút T-max. és $-19,88^{\circ}\text{C}$ -os T-min. mellett, ami $47,4^{\circ}\text{C}$ -os hőingást jelent. A hivatalos országos T-min. a szintén jelentős, domborzat generálta medencehatás alatt álló Zabarban $-10,5^{\circ}\text{C}$ volt. A Mohos-töbörben a 2023 őszen a statisztikailag várható T-min. $-3,45^{\circ}\text{C}$, a leghidegebb napi középhőmérséklet pedig $-9,8^{\circ}\text{C}$ volt.

Az összességében országosan kirívóan meleg (periódikusan átlag alatti) időszakként jellemezhető 91-napos vizsgált időszakban *56 alkalommal lett fagyos nap* (T-min. $\leq 0^{\circ}\text{C}$) rögzítve és 5 napon nem emelkedett 0°C fölé a léghőmérséklet (T-max. $< 0^{\circ}\text{C}$) a Mohos-töbörben (2 m). -5°C alatti T-minimum értékkel (T-min. $\leq -5^{\circ}\text{C}$) 22 db, -10°C alatti napi minimumhőmérséklettel (T-min. $\leq -10^{\circ}\text{C}$) 11 db, -15°C alatti T-minimum értékkel (T-min. $\leq -15^{\circ}\text{C}$) 3 db, -20°C alatti T-minimummal (T-min. $\leq -20^{\circ}\text{C}$) pedig 0 db nap jellemezhető. Itt megjegyzendő, hogy a meteorológiai adatbázisokban gyakran használatos, egész számos elemzés esetén a kerekítés miatt 1 db T-min $\leq -20^{\circ}\text{C}$ értékkel kéne számolni.

Százalékos arányokat tekintve a Mohos-töbörben 2023 őszen a naptári napok 62%-án fagyott. -5°C -t elérő vagy annál alacsonyabb érték a napok 24%-ban, -10°C -ot elérő vagy annál alacsonyabb érték a napok 12%-ban, -15°C -t elérő vagy annál alacsonyabb érték a napok 3%-ban míg -20°C -t elérő vagy annál alacsonyabb érték (két tizedesjegy esetén (az állomás által rögzített adatok legnagyobb lekérhető felbontása)) az esetek

0%-ban fordult elő. A vizsgált három hónapban 27650 percig volt a hőmérséklet 0°C alatt (10 perces adatokkal számolva), ami a teljes időtartam 21,1%-a, 460,8 óra és 19,2 nap-tári nap hossza. –10°C alatt 2660 percig volt a léghőmérséklet, ami 44,3 óra és 1,8 nap. A rögzített fagyeseemények időtartamának 9,6%-a –10°C alatti értékek mellett telt el. Ez a fajta statisztikai elemzés azért releváns, mert jól mutatja, hogy a rövid időjárási ablakok kis időtartamú, de intenzív mikroklímaeseményekhez vezettek, jelentős hőingás mellett. Statisztikailag (napi alapon) a vizsgált 91 nap esetében 12%-ban süllyedt a hőmérséklet –10°C alá a Mohos-töbörben. Azonban a termális inverzió a gyakori külső zavarok miatt a potenciális mikroklimatikus optimum időtartomány vége előtt összeomlott, így a teljes 2023-as őszen belül a –10°C-ot elérő vagy azt alulmúló értékek percben számolt teljes időtartamának aránya 2,02%. Zavartalan kiépülések esetén, azonos számú zord nap ($T_{\min} \leq -10^\circ\text{C}$) mellett a példaként használt –10°C alatti hőmérséklet időtartalma jelentősen magasabb is lehetett volna. Így mikroklímaesemények vizsgálata esetén a napok kategorizálása és statisztikai feldolgozása mellett a teljesebb képhez szükségszerű az események minőségbeli, abszolút időtartam alapú elemzése. Ez a módszertan hosszútávon hasznos mérőszámokat indukálhat például mezőgazdasági, erdészeti, városi mikroklíma, valamint humánmeteorológiai kutatások, modellfejlesztések esetében is.

DOBOS ANDRÁS

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

DOBOS ENDRE

Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Miskolc
dobosendre@gmail.com

IRODALOM

- AIGNER, S. 1952: Die Temperaturminima im Gstettnerboden bei Lunz am See, Niederoösterreich (The minimum temperatures in the Gstettner basin near Lunz, Lower Austria).
- BACSÓ N. – ZÓLYOMI B. 1934: Mikroklíma és növényzet a Bükk-fennsíkon. – *Az Időjárás* 38. pp. 177–196.
- BÁRÁNY-KEVEI I. 1999: Microclimate of karstic dolines. – *Acta Climatologica* 32–33. pp. 19–27.
- BÁTORI Z. – GALLÉ R. – ERDŐS L. – KÖRMÖCZI L. 2011: Ecological conditions, flora and vegetation of a large doline in the Mecsek Mountains (South Hungary). – *Acta Botanica Croatica* 70. 2. pp. 147–155.
- BÁTORI Z. – CSIKY J. – FARKAS T. – E VOJTKÓ A. – ERDŐS, L. – KOVÁCS, D. – WRIGHT T. – KÖRMÖCZI L. – VOJTKÓ A. 2014a: The conservation value of karst dolines for vascular plants in woodland habitats of Hungary: refugia and climate change. – *International Journal of Speleology* 43. 1. pp. 15–26. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.2>
- BÁTORI Z. – FARKAS T. – E VOJTKÓ A. – MAÁK I. E. – VOJTKÓ A. 2014b: Veszélyeztetett növényfajok Magyarországon erdős és gyepek töbreinek lejtői mentén. – *Kanitzia* 21. 3-4. pp. 53–62.
- BELTRAMI, H. 2001: On the relationship between ground temperature histories and meteorological records: a report on the Pomquet station. – *Global and Planetary Change* 29. 3–4 pp. 327–348. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00098-4)
- DECKER, K. L. M. – WANG, D. – WAITE, C. – SCHERBATSKOY, T. 2003: Snow removal and ambient air temperature effects on forest soil temperatures in northern Vermont. – *Soil Science Society of America Journal* 67. 4. pp. 1234–1242. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1234>
- DOBOS A. 2023a: A légköri események és a domborzati viszonyok hatása az inverziós légrétegződés kialakulására a Bükk-fennsíki Mohos-töbörben <http://midra.uni-miskolc.hu:80/?docId=43397>
- DOBOS A. – DOBOS E. 2023b: Légköri események hatása az inverziós légrétegződésre a Bükk-fennsíki Mohos-töbör eseti példán keresztül. The impact of meteorological events on the development of temporal inversion in the Mohos sinkhole, Bükk Plateau. – *Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia* pp. 70–75.

- DOBOS A. 2024: A lég- és talajhőmérsékleti viszonyok együttlétezésének vizsgálata a hóborítottság és talajfagy mértékének alapján a Bükk-fennsík Mohos-töbörben: The correlation analysis of air and soil temperature based of the snow covering and the soil frost, at the Mohos sinkhole, Bükk plateau. – Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia pp. 57–63.
- DORNINGER, M. – WHITEMAN, C. D. – BICA, B. – EISENBACH, S. – POSPICHAL, B. – STEINACKER, R. 2011: Meteorological Events Affecting Cold-Air Pools in a Small Basin. – *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50. pp. 2223–2234. <https://doi.org/10.1175/2011JAMC2681.1>
- GOODRICH, L. E. 1982: The influence of snow cover on the ground thermal regime. – *Canadian geotechnical journal* 19. 4. pp. 421–432.
- POSPICHAL, B. – EISENBACH, S. – WHITEMAN, C. D. – STEINACKER, R. – DORNINGER, M. 2003: Observations of the Cold Air Outflow from a Basin Cold Pool through a Low Pass. – *International Conference on Alpine Meteorology*, Brig, Switzerland
- EGLI, B. R. 1991: The special flora, ecological and edaphic conditions of dolines in the mountains of Crete. – *Botanika Chronika* 10. pp. 325–335.
- EISENBACH, S. – POSPICHAL, B. – WHITEMAN, C. D. – STEINACKER, R. – DORNINGER, M. 2003: Classification of cold air pool events in the Gstettneralm, a sinkhole in the Eastern Alps. – In *Extended Abstracts, Int. Conf. on Alpine Meteorology and MAP-Meeting*, Brig, Switzerland, *MeteoSwiss, Publication* 66. pp. 157–160.
- HORVAT, I. 1952: Die Vegetation der Karstdolinen. – *Hrvatski geografski glasnik* 14. 1. pp. 1–22.
- KEVEINÉ BÁRÁNYI I. 2011: Néhány adat a bükki töbrök mikroklímájához. A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat, 82. kötet
- LEHMANN A. 1970: Tarvágás által okozott ökológiai változások az alabigeti karszton. – *Pécsi Műszaki Szemle* 25. pp. 15–21.
- MACKIEWICZ, M. C. 2012: A new approach to quantifying soil temperature responses to changing air temperature and snow cover. – *Polar Science* 6. 3–4. pp. 226–236.
- OZKAN, K. – GULSOY, S. – MERT, A. – OZTURK, M. – MUYS, B. 2010: Plant distribution-altitude and landform relationships in karstic sinkholes of Mediterranean region of Turkey. – *Journal of Environmental Biology* 31. 1. pp. 51.
- POSPICHAL, B. – EISENBACH, S. – WHITEMAN, C. D. – STEINACKER, R. – DORNINGER, M. 2003: Observations of the cold air outflow from a basin cold pool through a low pass. – *International Conference on Alpine Meteorology*, Brig, Switzerland
- PETKOVŠEK, Z. 1992: Turbulent dissipation of cold air lake in a basin. – *Meteorology and Atmospheric Physics* 47. pp. 237–245.
- RAKOVEC, J. – MERŠE, J. – JERNEJ, S. – PARADIŽ, B. 2002: Turbulent dissipation of the cold-air pool in a basin: Com-parison of observed and simulated development. – *Meteorology and Atmospheric Physics* 79. pp. 195–213.
- SAUBERER, F. – DIRMHORN, I. 1954: Über die Entstehung der extremen Temperaturminima in der Doline Gstettner-Alm. – *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B5*. pp. 307–326.
- SOKRATOV, S. A. – BARRY, R. G. 2001: Parameterization of an intra-seasonal variation in the thermo-insulation effect of snow cover on soil temperatures and energy balance. – *National Snow and Ice Data Center*.
- STEINACKER, R. – WHITEMAN, C. D. – DORNINGER, M. B. – POSPICHAL, S. – EISENBACH, A. M. – HOLZER, P. – WEIHS, E. – MURSCH-RADLGRUBER, A. – BAUMANN, K. 2007: A Sinkhole Field Experiment In The Eastern Alps. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 88. 5. pp. 701–716. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-5-701>
- THORN, C. E. – SCHLYTER, J. P. L. – DARMODY, R. G. – DIXON, J. C. 1999: Statistical relationships between daily and monthly air and shallow-ground temperatures in Kärkevagge, Swedish Lapland. – *Permafrost and Periglacial Processes* 10. 4. pp. 317–330. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1530\(199910/12\)10:43.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1530(199910/12)10:43.0.CO;2-S)
- VERESS, M. 2018: Karsztos mélyedéstípusok és elkülönítésük szempontjai. – *Földrajzi Közlemények* 142. 1. pp. 3–20.
- WHITEMAN, C. D. – HAIDEN, T. – POSPICHAL, B. – EISENBACH, S. – STEINACKER, R. 2004: Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. – *Journal of Applied Meteorology* 43. 8. pp. 1224–1236. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043%3C1224:MTDTRA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043%3C1224:MTDTRA%3E2.0.CO;2)
- WHITEMAN, C. D. 1990: Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain. – In: BLUMEN, W. (szerk.): *Atmospheric Processes over Complex Terrain*, *Meteorological Monographs* 23. 45. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 5–42.
- ZÄNGL, G. 2005: Dynamical Aspects of Wintertime Cold-Air Pools in an Alpine Valley System. – *Monthly Weather Review* 133. 9. pp. 2721–2740. <https://doi.org/10.1175/MWR2996.1>
- ZHANG, T. 2005: Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. – *Reviews of Geophysics* 43. 4. <https://doi.org/10.1029/2004RG000157>

Internetes források

- FieldClimate adattároló és feldolgozó szoftver elérhetősége: <https://www.fieldclimate.com/> (Legutóbb megtekintve: 2023.12.18)
- iMETOS 3.3 meteorológiai mérőállomás paraméterei: https://metos.at/wp-content/uploads/2023/02/iMETOS-3.3_short-manual_2022_ENGLISH.pdf (Legutóbb megtekintve: 2023.12.18)
- iMETOS 3.3 meteorológiai mérőállomás mérőegységeinek paraméterei: https://efesaro.com/catalogos/Catalogo_Pessl.pdf (Legutóbb megtekintve: 2024.02.29)
- iMETOS VWS 2022: https://efesaro.com/catalogos/Catalogo_Pessl.pdf (Legutóbb megtekintve: 2023.12.18)
- OMSZ – Napijelentés kiadvány: https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/ (2023.11.09)
- OMSZ – Elmúlt hónapok időjárása: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/ (Legutóbb megtekintve: 2023.12.18)
- OMSZ – Elmúlt évszakok időjárása: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idojarasa/ (Legutóbb megtekintve: 2023.12.08)
- Pix4Dcloud: <https://cloud.pix4d.com/> (Legutóbb megtekintve: 2023.12.18)
- Wetterzentrale: <https://www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr> (Legutóbb megtekintve: 2023.11.09)