



## A MOSONI-SÍK TALAJHŐMÉRSÉKLETI VISZONYAINAK ELEMZÉSE AZ 1991-2020-AS ÉGHAJLATI CIKLUSBAN MÉRT ÉRTÉKEK ALAPJÁN

VARGA ZOLTÁN

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,  
Víz- és Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

### ÖSSZEFOGLALÁS

A talajhőmérséklet fontosságát és komplex jellegét jelzi, hogy alakulására egyaránt hat a felszín szerkezete és a talajban zajló folyamatok. A felszínhez közeli rétegek talajhőmérsékleti viszonyai, hasonlóan a felszín feletti léghőmérsékletéhez, elsődleges ökológiai jelentőséggel bírnak olyan ökológiai folyamatok szempontjából, mint a lebomlás, a talajlégzés és a párolgás, emellett a Föld energiamérlegének kulcstényezői közé tartoznak, s a globális éghajlatváltozás átfogó becslésének szintén meghatározó változói. Bár a lég- és talajhőmérsékletre vonatkozó eredmények akár számottevő különbségeket mutathatnak, de mivel hiteles talajhőmérsékleti adatok nem mindig állnak rendelkezésre a megfelelő mérési adatok hiánya vagy a mért adatok szakszerű feldolgozásának elmaradása miatt, nem ritka, hogy a lég- és talajhőmérséklet általában párhuzamos alakulására alapozva a léghőmérsékletre vonatkozó információkkal helyettesítik a különböző talajrétegek hőmérsékletét. Hasonlóképpen potenciálisan problematikus lehet a standardizált talajhőmérsékleti méréseket automatikusan növényállományok alatti talajhőmérsékletként használni. Megemlíthető még, hogy talajhőmérsékleti vizsgálatainkat az éghajlatváltozás lehetséges hatásainak jobb megértése érdekében is fontosnak tartottuk. Mindezek alapján a Mosoni-sík talajhőmérsékleti viszonyainak részletes és komplex, de egyszerű statisztikai módszerekkel történő elemzését tűztük ki célul.

A vizsgálatok alapját főként a térségre reprezentatív mosonmagyaróvári meteorológiai főállomás által mért napi adatok jelentették. Az új éghajlati normál értékekre fókuszáló kutatásainkhoz potenciálisan az 1991. január 1. és 2020. december 31. közötti adatokat tudtuk használni, de a talajhőmérsékleti mérések csak 1994. júniusban kezdődtek meg.

A talajhőmérsékletek alakulására vonatkozó eredményeink általában jó egyezést mutatnak a hasonló jellegű, más területek és korábbi időszakok adatai alapján végzett hazai vizsgálatok megállapításaival, miközben a komplexebb közelítésnek köszönhetően árnyaltabb képet kapunk azok idő- és térbeli összefüggéseiről, továbbá segítségükkel pontosíthatók az éghajlatváltozás regionális alakulásával kapcsolatos ismereteink.

Miközben a különböző rétegek talajhőmérsékletének éven belüli alakulása nem mutat jelentős változást, a vizsgált időszak folyamán a talajok jelentős melegedése következett be, de annak lefolyása szignifikánsan különbözik a léghőmérsékletnél kimutatott tendenciától, ezért hiba lenne a levegő melegedésével kapcsolatos ismereteinket automatikusan és kritika nélkül alkalmazni a fontos ökológiai szerepet betöltő felszíni talajrétegekre. Ugyanilyen félrevezető lehet a talajhőmérsékletek évi átlagos változási tendenciáira kapott eredményeket a különböző növények tenyészidőszakára vonatkoztatni.

Végezetül megállapítható, hogy a kukoricaállományban mért talajhőmérsékleti értékek jó egyezést - általában mindössze tized °C-okban kifejezhető eltéréseket - mutattak a meteorológiai főállomás fűfelszín alatt mért értékeivel, így az utóbbiak mezőgazdasági célú használata csupán kisebb hibák forrása lehet.

**Kulcsszavak:** talajhőmérséklet, léghőmérséklet, éghajlati normál érték, éghajlatváltozás, kukorica

## BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A talajhőmérséklet jelentőségét, valamint a talaj- és léghőmérséklet kapcsolatát befolyásoló tényezőket illető ismereteinket az alábbiakban foglalhatjuk tömören össze az utóbbi évek releváns kutatási eredményei alapján.

A talajfelszín feletti és alatti néhány centiméteres zóna elsődleges ökológiai jelentőséggel bír a csírázó magvak, az érzékeny fiatal növények miatt és az olyan

ökológiai folyamatok szempontjából, mint a lebomlás, a talajlégzés és a párolgás (Kennedy 1997, Kustas és Anderson 2009, Graae et al. 2012). A felszín-közeli légrétegek és a talaj hőmérséklete két olyan kulcsváltozó, amelyek befolyásolják a légkör-víz-növény-talaj rendszer biogeokémiai ciklusait (Nagler et al. 2005), a Föld energiamérlegének kulcs tényezői közé tartoznak, s a globális éghajlatváltozás átfogó becslésének szintén meghatározó változói.

A hőmérséklet hatással van a különböző növényi életfolyamatokra, beleértve a mag csírázását (Jaganathan és Liu 2014), a fotoszintézist (Sage és Kubien 2007) és a légzést (Atkin és Tjoelker 2003). A talajhőmérséklet alakítja a magok és gyökerek enzimikus aktivitását és légzését (Huang et al. 2005), ami az új fajok előfordulását befolyásolja (Seabloom et al. 1998), valamint a növények gyökér-hajtásrendszer közötti szénforgalmának egyensúlyát (Lyons et al. 2007), míg a léghőmérséklet közvetlenül hat a növények anyagcseréjére és növekedésére, továbbá a földfeletti légköri folyamatok fontos tényezője (Landsberg 1986). A mikroklíma a talajfaunára is hat (Robinson et al. 2018), minthogy a talajhőmérséklet és –nedvesség közvetlenül befolyásolja annak fajgazdagságát, egyedsűrűségét és reprodukciós rátáját (Arbea és Basco-Zumeta 2001).

Az alacsony talajhőmérséklet csökkenti a gyökérzet növekedését, a tápanyagok és a víz felvételét, és végső soron korlátozza a transzspiráció és a fotoszintézis sebességét (Bergh et al. 1998, Ambebe et al. 2009, Anda és Kocsis 2010). Mellander et al. (2006) kimutatták, hogy az alacsony talajhőmérséklet volt a legvalószínűbb korlátozó tényező a gyökerek vízfelvételi kapacitása szempontjából a vizsgált fenyőerdőben (Wu et al. 2012). A talajhőmérséklet területi és időbeli változékonysága még akkor is befolyásolja a növények előfordulásának lehetőségeit és a talajban élő szervezeteket, ha a léghőmérséklet esetén nem minden esetben okoznak hasonló mértékű változékonyságot (Dodonov et al. 2019).

A komplex talajfelszín és a nagy sűrűségű meteorológiai állomások telepítésének kivitelezhetetlensége ugyanúgy korlátozza a levegő és a talaj hőmérsékletének pontos becslését, mint ahogyan azok térbeli és időbeli változékonyságának reprezentatív leírását is (Evrendilek et al. 2012). Bár a talajhőmérséklet fontosságát az is jelzi, hogy alakulására egyaránt hat a felszín szerkezete és a talajban zajló folyamatok, területi változékonyságának előrejelzése a különböző felszínszerkezettel rendelkező területekre még nem igazából megoldott. Ez főként annak tulajdonítható, hogy ha egyáltalán mérik a talajhőmérsékletet, akkor sem igazából analizálják az adatait (Kang et al. 2000).

A felszín-közeli levegő hőmérséklete nagyobb változékonyságot mutat, mint a felső réteg talajhőmérséklete. Általában a levegő és a talaj hőmérséklete közötti különbségek nappal nagyobbak, mint éjszaka. Jelentős különbségek adódnak a levegő és a talaj hőmérséklete között, amelyek naponta és szezonálisan is változnak (Varga-Haszonits *et al.* 2006, Shati *et al.* 2018). A levegő és a talaj hőmérséklete is időfüggő, nem lineáris összefüggést mutat egymással. A felső réteg talajhőmérséklete érzékenyebb a talaj jellemzőire, mint a felszín-közeli léghőmérséklet (Shati *et al.* 2018). A talajok hőtani tulajdonságaiból következően a talajhőmérséklet tér- és időbeli változásaiban két sajátos jelenség ismerhető fel: a fáziseltolódás és az amplitúdó-csökkenés (Szász és Tőkei 1997).

Ashcroft és Gollan (2013) szerint a talaj és a levegő hőmérsékletének változékonysága (napi alakulása) nedvesebb körülmények között egyaránt csökkent. A növényzet jelenléte általában mérsékli a felmelegedés mértékét a növények árnyékoló hatása miatt. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a lombkorona hőmérsékletmódosító hatása a növényállomány szerkezetétől függ, amelyet a nedvességellátás határoz meg (Dióssy 2008).

Problémát jelent, hogy a standardizált – a meteorológiai állomásokon 2 méteres magasságban végzett, a léghőmérséklet alakulására vonatkozó - megfigyeléseket nem lehet automatikusan felszín-közeli hőmérsékletekké átszámítani. Ennek oka az, hogy a kettő közötti kapcsolatot olyan tényezők befolyásolják, mint a felhőzet, a napszak, az évszak, a szél, a növényzet borítása, a topográfiai kitettség és a vízfelületek közelsége (Geiger, 1971, Bond-Lamberty *et al.* 2005, Likso 2006, Ashcroft és Gollan 2013). Az éghajlat működésének és az éghajlatváltozás lehetséges hatásainak jobb megértése érdekében fontos, hogy a vizsgálatok a felszín-közeli lég- és a talajhőmérsékletre összpontosítsanak, nem pedig a standardizált megfigyelésekre (Graae *et al.* 2012). Nem szabad alulbecsülni a felszín-közeli viszonyok és a standardizált megfigyelések közötti különbségek nagyságát (Ashcroft és Gollan 2013). Ez azért is különösen fontos lenne, mivel a pontos, helyi szintű információk nyilvánvaló segítséget nyújthatnak a helyi gazdálkodóknak a várható változások káros hatásaival szembeni védekezés előkészítésében (Dióssy 2008).

A releváns kutatási előzmények áttekintéséből tehát az a következtetés vonható le, hogy miközben a talajhőmérsékleti viszonyok fontos és sokrétű befolyással bírnak a növények életjelenségeire és így természetességükre is, azok alakulása nem feltétlenül

egyezik meg a helyettük általánosan használt léghőmérséklet menetével. A léghőmérsékleti információk ilyen célú használatát leginkább az indokolja, hogy általában sem hely-specifikus, több évtizedes talajhőmérsékleti adatsorok, sem azokból származtatott, megbízható agrometeorológiai információk nem állnak rendelkezésre. Mivel Mosonmagyaróváron, - és így a mérési adatai által viszonylag jól reprezentált Mosoni-síkon - az 1991-2020-as három évtized jelentős részét lefedő időszakra rendelkezünk talajhőmérsékleti adatokkal, lehetővé vált azok agrometeorológiai szempontokat is figyelembe vevő elemzésével pontosítani e terület felszín-közeli rétegeinek hőmérsékletalakulására vonatkozó ismereteinket, aminek további aktualitást ad az éghajlati viszonyok utóbbi évtizedekben tapasztalható átrendeződése.

Mindezen megfontolásokat figyelembe véve kutatásaink során a Mosoni-sík talajhőmérsékleti viszonyainak részletes, többoldalú közelítést alkalmazó, de egyszerű statisztikai módszerekkel történő elemzésére vállalkoztunk. Komplex, hiánypótló vizsgálataink tartalmazták:

- az új éghajlati normálként szolgáló, 1991-2020-as időszakot nagymértékben lefedő, így lényegében arra vonatkoztatható, különböző mélységeket jellemző talajhőmérsékleti értékek meghatározását,

- ezek éven belüli és évek közötti alakulásának számszerűsítését, miközben a mezőgazdaságilag releváns időszakokra vonatkozó elemzésekre is kitértünk,

- a makro- és mikroklimatikus talajhőmérsékleti értékek viszonyának összehasonlítását,

- a felszíni és mélységi talajhőmérsékleti értékek egymással és más meteorológiai elemekkel való kapcsolatának elemzését, valamint

- a különböző éven belüli időszakok talajhőmérsékletének összefüggés-vizsgálatát egymással és az évi értékekkel.

Ilyen jellegű elemzéseinket az indokolta, hogy pontosítani kívántuk a vizsgált terület talajhőmérsékleti viszonyainak alakulására vonatkozó ismereteinket egy egyre inkább kibontakozó éghajlatváltozás időszakában. Mindez megalapozza, hogy a későbbiekben kutatni tudjuk e talajhőmérsékleti viszonyok hatását biológiai és fiziológiai folyamatokra. E hatásvizsgálatok viszont nem szerepeltek a mostani célkitűzéseink között.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A közelmúltban lezárult egy újabb évtized, ami számos meteorológiai elem vonatkozásában lehetőséget nyújt arra, hogy meghatározzuk a térségünk éghajlatát aktuálisan jellemző, ún. éghajlati normál értékeket, ami mindig a legutóbbi három lezárt évtized, jelenleg tehát az 1991-2020 közötti időszak adatain alapul. Erre a mosonmagyaróvári meteorológiai főállomás adatai által reprezentált Mosoni-sík térségében évtizedek, bizonyos elemek (például léghőmérséklet, csapadék) esetén pedig immáron másfél évszázad óta van lehetőség. Ugyanakkor az 1994. június 1. óta mért mosonmagyaróvári talajhőmérsékleti adatsorok is már kellően hosszúak ahhoz, hogy bár még nem teljesen fedik le az éghajlati normál értékek meghatározásához szükséges teljes időintervallumot, most már érdemes ezeket a talajfelszín körüli ökológiai folyamatok vonatkozásában kiemelt jelentőségű tényezőket éghajlati szempontból elemezni.

A vizsgálatok alapját főként az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Széchenyi István Egyetem által közösen működtetett mosonmagyaróvári meteorológiai főállomás által mért adatok napi értékei jelentették. A klimatológiában általánosan használt előfeltevéssel élve úgy tekintettük, hogy a főállomáson mért értékek jól reprezentálják a hasonló környezeti viszonyokkal jellemezhető Mosoni-sík meteorológiai viszonyait is, így a Mosonmagyaróvárra kapott eredmények – óvatosan interpretálva – kiterjeszthetők a Mosoni-sík tágabb térségeire is.

Az adatok gyűjtését az Országos Meteorológiai Szolgálatnál rendszeresített Vaisala Milos 500 automatizált adatgyűjtő eszköz végezte a Mosonmagyaróvár, Pozsonyi út 4. szám alatt található műszerkertben. Az adatok kezelését, ellenőrzését, szűrését illetően az Országos Meteorológiai Szolgálat előírásai érvényesültek. A talajhőmérséklet mérése a meteorológiai állomásokon szabványosított módon, rövid fűfelszín alatt, a térségre általánosan jellemző talajtípuson: gyengén humuszos öntéstalajban történt. A mérőállomás környezete érdemben nem változott a vizsgált időszakban.

Az új éghajlati normál értékekre fókuszáló kutatásainkhoz potenciálisan az 1991. január 1. és 2020. december 31. közötti adatokat tudtuk használni az alábbi meteorológiai elemekre vonatkozóan: napi átlagos léghőmérséklet (°C-ban megadva), napi minimális léghőmérséklet (°C), napi maximális léghőmérséklet (°C), napi átlagos szélesség (m/s), napfénytartam napi összege (óra), napi csapadékösszeg (mm),

relatív nedvesség napi átlaga (%). A felszíni (5, 10 és 20 cm-es mélységben mért, °C) és mélységi (50 és 100 cm-es mélységben mért, °C) talajhőmérsékletek mérése 1994. június 1-én kezdődött meg a meteorológiai főállomáson, így azok napi átlagaira vonatkozóan valamivel rövidebb, de az éghajlati ciklus nagy részére kiterjedő adatsorok álltak rendelkezésre. A talajhőmérsékletek és más meteorológiai elemek kapcsolatának elemzésekor természetesen a lehető leghosszabb, de a rendelkezésre álló rövidebb adatsor által meghatározott időszakra vonatkozó vizsgálatokat végeztük el.

A napi adatokból kalkuláltuk a hosszabb naptári és természetes időszakokat jellemző értékeket, melyek az alábbiak voltak: havi, évszakos, az egynyári és az áttelelő növények vegetációs periódusa alatti (április-októberi, illetve szeptember-júniusi időszakok), évi, évtizedes átlagok és összegek.

A makro- és mikroklíma talajhőmérsékleti viszonyainak összehasonlítására a fentiekben túl rendszeresen kukorica állományba telepített mobil meteorológiai állomás által a növény vegetációs periódusában 20 percenként (2020-ban egy fejlesztés eredményeként már 10 percenként) mért talajhőmérsékleti adatokat is használtunk. A mikroklímát jellemző mérések a Széchenyi István Egyetem Tangazdaságának területén, a meteorológiai főállomás 2 km-es körzetén belül, kukoricaállomány sorközébe helyezett Boreas BSS-03-i típusú talajhőmérőkkel történtek a főállomással megegyező mélységekben és azonos talajtípuson. A különböző típusú műszerekkel történő mérések összehasonlíthatóságát a szenzoroknak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál történő kalibrálása biztosította. Az alkalmazott talajművelés évről-évre a Tangazdaságban szokásos művelési eljárásokat tartalmazta. Ezen elemzéseink során az összesen 10 vizsgálati év (2004-2005, 2007-2010, 2017-2020) mérései közül azokat használtuk fel, melyek esetén a napi átlagok kalkulálásához szükséges összes mérési adat hiánytalanul rendelkezésre állt. Így például a későbbiekben példaként kiemelten bemutatott szeptember hónapra vonatkozó vizsgálatban a 10 év alatt gyűjtött mindösszesen 229 napi adatpár képezte az összefüggés-vizsgálat alapját.

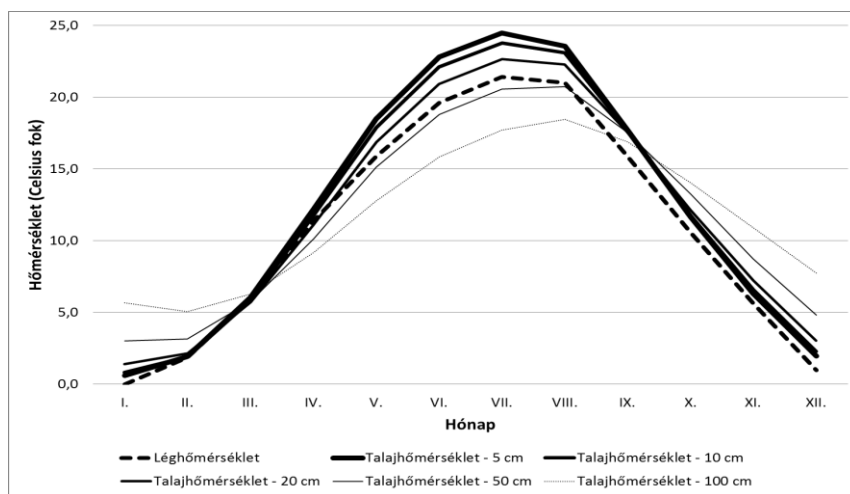
Elemzéseink során egyszerű statisztikai módszerek segítségével vizsgáltuk a Mosoni-síkra reprezentatív mosonmagyaróvári talajhőmérsékleti viszonyokat. Ennek keretében statisztikai jellemző értékeket határoztunk meg és hasonlítottunk össze, Spearman-féle rangkorreláció segítségével vizsgáltuk egyfelől a különböző talajrétegek hőmérsékletének kapcsolatát egymással és más meteorológiai elemekkel, másfelől egyazon felszíni talajhőmérsékleti elem évi átlagának kapcsolatát a különböző naptári

és mezőgazdaságilag meghatározott időszakok átlagos értékeivel, valamint egyváltozós lineáris összefüggés-vizsgálattal elemeztük a makro- és mikroklimát jellemző talajhőmérsékleti viszonyokat a Sváb (1981) által leírt módszerekkel.

## EREDMÉNYEK

Az 1. ábra a léghőmérséklet és az 5 különböző mélységben mért mélységi- és felszíni talajhőmérsékletek éven belüli alakulását szemlélteti. Az ábrán látható, hogy az évi minimum – a léghőmérséklethez hasonlóan – a felszíni talajhőmérsékleteknél is egyértelműen januárban tapasztalható, míg az 50 cm-es talajhőmérséklet esetén a január és február közelítőleg azonos hőmérsékletű, a 100 cm-es rétegben pedig a talajréteg már februárban a legalacsonyabb hőmérsékletű. Hasonló eltolódás figyelhető meg a maximumok vonatkozásában is: a légkört és a felszín-közeli talajrétegeket jellemző júliusi maximum az 50 cm-es és még inkább a 100 cm-es rétegben már augusztusra tolódik át. A januári minimális értékek a talajréteg mélységének növekedésével folyamatosan egyre magasabbak a léghőmérséklet minimumánál, a sekélyebb talajrétegekben a hőmérsékletkülönbség általában  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatti, de nem több mint  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a mélységi rétegekben viszont akár  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot közelítő hőmérsékletemelkedés is tapasztalható. A felszínhez közeli talajrétegek hőmérsékleti maximuma ellenben jelentősen meghaladja a léghőmérséklet maximális havi értékét, – az 5 cm-es rétegben akár  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal – de a talajréteg mélységének növekedésével ez a hőmérsékleti többlet fokozatosan csökken és a mélységi talajhőmérsékletek esetén már a léghőmérséklettel elmaradó maximumokat tapasztalunk. Az éves hőmérsékleti ingás – a legmagasabb és legalacsonyabb havi érték különbsége – a léghőmérséklet esetén  $21,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aminél az 5 cm-es talajrétegben mért érték  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal, a 10 cm-es hőmérsékleti ingás pedig  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal nagyobb. A 20 cm-es rétegre kapott érték közel hasonló a léghőmérsékletéhez, a mélységi talajhőmérsékletek ingása viszont jelentősen csökken: a 100 cm-ben tapasztalt  $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os ingás lényegesen kiegyenlítettebb éven belüli hőmérsékletalakulásra utal.



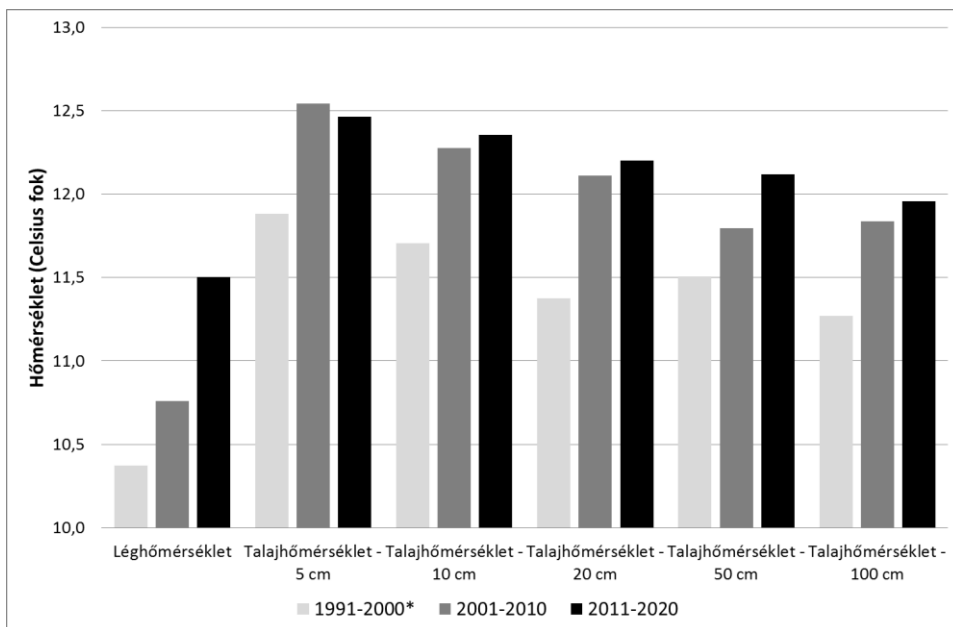


I. ábra. A léghőmérséklet és a különböző mélységekben mért talajhőmérsékletek havi átlagos értékei az 1991-2020-as időszak átlagában

Figure 1: Monthly average values of air temperature and soil temperatures measured at different depths in the average of the period 1991-2020.

Megjegyzés: a talajhőmérsékletek esetén 1994. júniustól állnak rendelkezésre az adatok

A 2. ábra a különböző rétegek hőmérsékletének a vizsgált évtizedek alatti változásait mutatja be. Látható, hogy a léghőmérséklet nem-lineárisan emelkedett a három évtized során – összességében több mint 1 °C-kal. A talajhőmérsékletek esetén a növekedés mértéke (0,6-0,8 °C) elmaradt ettől, s az egyenletesen melegedő 50 cm-es réteg kivételével a változás nagy része az első két évtized között realizálódott, a 2010-es években – szemben a léghőmérséklettel – már alig emelkedett a talajhőmérséklet a 2000-es évek értékeihez képest.



2. ábra. A léghőmérséklet és a különböző mélységekben mért talajhőmérsékletek évi átlagos értékei az 1991-2020-as időszak évtizedeiben  
 Figure 2 Annual average values of air temperature and soil temperatures measured at different depths in the decades of the period 1991-2020.

Megjegyzés: a talajhőmérsékletek esetén 1994. júniustól állnak rendelkezésre az adatok

Az 1. táblázat a mezőgazdaságilag releváns időszakokra, azaz az egynyári és az áttelelő növények vegetációs periódusára vonatkozó évtizedes lég- és talajhőmérsékleti átlagokat hasonlítja össze az év egészére vonatkozó ilyen jellegű statisztikai értékekkel. Azt tapasztaltuk, hogy a léghőmérséklet változási mintázata hasonló volt a különböző naptári és agronómiailag meghatározott időszakokban, mindeközben természetesen a legmelegebbnek az egynyári növények tenyészidőszaka, a leghűvösebbnek az áttelelő növények vegetációs periódusa bizonyult, de ezek mindegyike nem-lineárisan, gyorsuló mértékben, s összességében nagyjából 1 °C-kal, szignifikáns mértékben melegedett a vizsgált időszakban. A különböző lég- és talajhőmérsékleti elemekre vonatkozó alakulás jellege lényegében hasonlóképpen írható le mind az évi értékek, mind az áttelelő növények vegetációs periódusának értékei alapján.

*1.táblázat.* A léghőmérséklet és a különböző mélységekben mért talajhőmérsékletek átlagos értékei (°C-ban) az egész évre és a mezőgazdaságilag releváns időszakokban az 1991-2020-as időszak évtizedeiben

*Table 1:* Average values of air temperature and soil temperatures measured at different depths for the whole year and during agriculturally relevant periods in the decades of the period 1991-2020. (Temperatures are in degrees Celsius.)

Meteorológiai elem (1)	Évi átlag (2)		
	1991-2000***	2001-2010	2011-2020
Léghőmérséklet (5)	10,4	10,8	11,5
Talajhőmérséklet - 5 cm (6)	11,9	12,5	12,5
Talajhőmérséklet - 10 cm (7)	11,7	12,3	12,4
Talajhőmérséklet - 20 cm (8)	11,4	12,1	12,2
Talajhőmérséklet - 50 cm (9)	11,5	11,8	12,1
Talajhőmérséklet - 100 cm (10)	11,3	11,8	12,0
	Egynyári növények vegetációs periódusa* (3)		
Meteorológiai elem (1)	1991-2000***	2001-2010	2011-2020
Léghőmérséklet (5)	16,0	16,5	17,1
Talajhőmérséklet - 5 cm (6)	18,4	19,2	18,4
Talajhőmérséklet - 10 cm (7)	18,0	18,7	18,1
Talajhőmérséklet - 20 cm (8)	17,3	18,1	17,5
Talajhőmérséklet - 50 cm (9)	16,2	16,9	16,6
Talajhőmérséklet - 100 cm (10)	14,4	15,2	15,2
	Áttelelő növények vegetációs periódusa** (4)		
Meteorológiai elem (1)	1991-2000***	2001-2010	2011-2020
Léghőmérséklet (5)	8,3	8,7	9,4
Talajhőmérséklet - 5 cm (6)	9,5	10,1	10,1
Talajhőmérséklet - 10 cm (7)	9,4	9,9	10,1
Talajhőmérséklet - 20 cm (8)	9,2	9,9	10,1
Talajhőmérséklet - 50 cm (9)	9,7	9,9	10,4
Talajhőmérséklet - 100 cm (10)	10,1	10,5	10,7

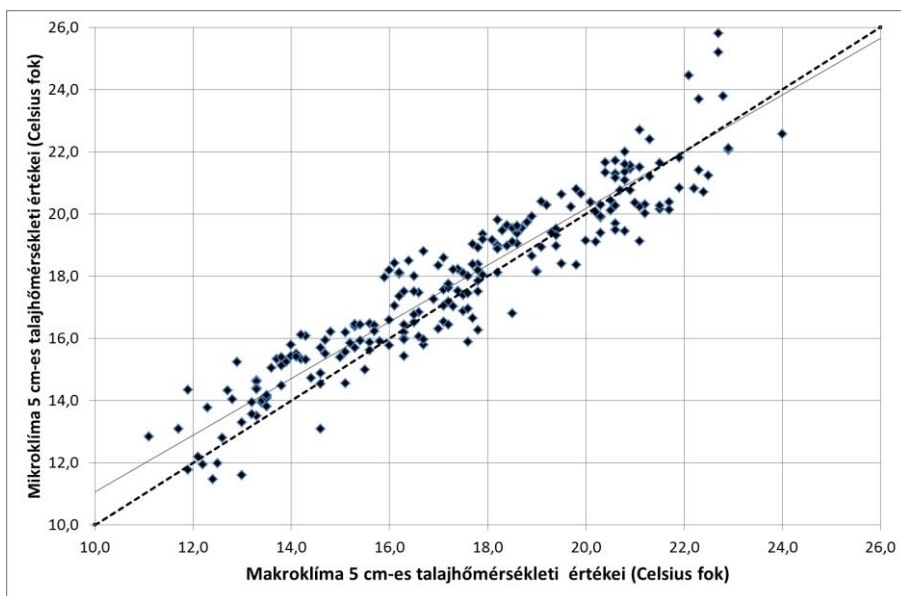
*Megjegyzés:* \*április-október, \*\*szeptember-június, \*\*\*a talajhőmérsékletek esetén 1994. júniustól állnak rendelkezésre az adatok

(1) Meteorological element, (2) Yearly average value, (3) Growing season of annual plants\*, (4) Growing season of overwintering plants\*\*, (5) Air temperature, (6) Soil temperature – 5 cm, (7) Soil temperature – 10 cm, (8) Soil temperature – 20 cm, (9) Soil temperature – 50 cm, (10) Soil temperature – 100 cm.

\*April-October, \*\*September-June, \*\*\* data for soil temperatures are available from June 1994

Ellenben az egynyári növényeknek az év legmelegebb időszakát lefedő tenyészidőszakában a talajhőmérsékletek – elsősorban a felszíni talajhőmérsékletek - esetén jelentősen eltérően alakultak a termikus trendek. Az 1990-es évekhez képest a

2000-es évek felszíni talajhőmérsékletei jelentősen, 0,5-1,0 °C közötti mértékben emelkedtek, viszont a következő évtizedben csaknem ilyen mértékben csökkentek, aminek következtében a teljes éghajlati ciklus alatti változások közelítettek a nullához. Ez a némileg meglepő és további elemzésre szoruló trend is arra hívja fel a figyelmet, hogy az éves értékek alapján kimutatott változások nem alkalmazhatók kritika nélkül bármely gazdasági növény termesztési időszakára vonatkozóan.



3. ábra. Az 5 cm-es talajhőmérséklet makro- és mikroklimatikus alakulásának kapcsolata szeptemberben (2004-2020 közötti napi átlagok alapján)

Figure 3: Relationship between macro- and microclimatic values of 5 cm soil temperature in September (based on daily averages from 2004 to 2020).

Vizsgáltuk a meteorológiai főállomáson referenciaként használt fűfelszín alatt és a kukorica állomány alatt mért talajhőmérsékletek, mint a makro-, illetve a mikroklímát jellemző paraméterek viszonyát is. Mint említettük, erre a több éves agrometeorológiai kísérletsorozatunk keretében, a meteorológiai főállomáson folytatott mérésekkel megegyező mélységekben és talajtípus esetén végzett, párhuzamos talajhőmérsékleti adatgyűjtés adott lehetőséget. Az 5 cm-es talajrétegben, szeptemberben mért értékek kapcsolatát a 3. ábra szemlélteti – e tetszőlegesen kiválasztott példa esetén bemutatva az általánosan tapasztalt elrendeződést. Erről leolvasható, hogy a két, szoros lineáris

kapcsolatot mutató hőmérsékleti érték nagyjából 22 °C esetén egyezik meg. Ennél alacsonyabb hőmérsékleteknél a növényállományban mért érték tendenciózusan magasabb, de csupán néhány tized °C-kal. 22 °C felett várhatóan a főállomáson mért értékek lesznek néhány tized °C-kal magasabbak.

Hasonló törvényszerűségek megnyilvánulását tapasztaltuk a többi talajrétegben és hónapban végzett vizsgálatok alapján is. Az egyensúlyi hőmérséklet, azaz a kétféle hőmérséklet egyenlősége általában a 15-27 °C -os tartományban volt megfigyelhető, ennek legmagasabb értékei júniusban adódtak, amit július és augusztus egyensúlyi hőmérsékletei követtek, s a tavaszvégi és őszeleji értékek voltak a legalacsonyabbak. A felszíni talajhőmérsékletek egyensúlyi hőmérsékleti értékei és azok ingadozásai meghaladták a mélységi talajhőmérsékletekre kapott alacsonyabb, de kiegyenlítettebb ilyen jellegű értékeket.

A 2. táblázat a meteorológiai főállomáson mért különböző talajhőmérsékletek évi átlagainak kapcsolatát szemlélteti egymással és más meteorológiai elemek változásaival. Az elvégzett rangkorrelációk alapján kapott értékek azt mutatják, hogy a felszíni talajhőmérsékletek alakulása egymással volt a legszorosabb kapcsolatban, de szignifikáns összefüggést mutattak a mélységi talajhőmérsékletekkel és a léghőmérséklettel is. A relatív nedvességgel fordított arányosság szerint mutattak kissé gyengébb, de még szintén 0,1 %-os szinten szignifikáns kapcsolatot.

A mélységi talajhőmérsékletek alakulása is a legszorosabb összefüggésben egymással, a felszíni talajhőmérsékletekkel és léghőmérséklettel volt. A relatív nedvesség hatása ezekre gyengébbnek bizonyult a felszíni talajhőmérsékletekre gyakorolt befolyásánál.

2.táblázat. A különböző mélységű talajhőmérsékletek évi átlagainak kapcsolata egymással és más meteorológiai elemek átlagos értékeivel (rangkorreláció értékei, 1995-2020)

Table 2: Relationship between the annual average values of soil temperatures measured at different depths and their correlation with the average values of other meteorological elements (rank correlation values, 1995-2020).

Meteorológiai elem (1)	Átlaghőmérséklet	Minimumhőmérséklet	Maximumhőmérséklet	Napfénytartam	Átlagos szélesség	Csapadék-összeg
Átlagos léghőmérséklet (2)	<b>X</b>	<b>0,9364</b>	<b>0,9501</b>	0,1850	-0,3538	-0,1904
Léghőmérséklet minimuma (3)		<b>X</b>	<b>0,8496</b>	0,0010	-0,3764	0,0311
Léghőmérséklet maximuma (4)			<b>X</b>	0,3046	-0,4133	-0,2848
Napfénytartam összeg (5)				<b>X</b>	-0,0865	-0,4646
Átlagos szélesség (6)					<b>X</b>	0,0017
Csapadék-összeg (7)						<b>X</b>
Meteorológiai elem (1)	Talajhőmérséklet-5cm	Talajhőmérséklet-10cm	Talajhőmérséklet-20cm	Talajhőmérséklet-50cm	Talajhőmérséklet-100cm	Relatív nedves-ség
Átlagos léghőmérséklet (2)	<b>0,7846</b>	<b>0,8612</b>	<b>0,8421</b>	<b>0,7586</b>	<b>0,8338</b>	<b>-0,6547</b>
Léghőmérséklet minimuma (3)	<b>0,6937</b>	<b>0,7805</b>	<b>0,7703</b>	<b>0,7682</b>	<b>0,7853</b>	-0,4783
Léghőmérséklet maximuma (4)	<b>0,7149</b>	<b>0,7976</b>	<b>0,7586</b>	<b>0,7074</b>	<b>0,7648</b>	<b>-0,7162</b>
Napfénytartam összeg (5)	0,3176	0,2629	0,1973	0,0024	0,1432	<b>-0,5316</b>
Átlagos szélesség (6)	-0,0783	-0,1562	-0,1015	-0,1221	-0,1904	0,0318
Csapadék-összeg (7)	-0,2991	-0,2458	-0,3060	-0,1487	-0,2349	0,4851
Talajhőmérséklet - 5 cm (8)	<b>X</b>	<b>0,9774</b>	<b>0,9610</b>	<b>0,7422</b>	<b>0,9009</b>	<b>-0,6704</b>
Talajhőmérséklet - 10 cm (9)		<b>X</b>	<b>0,9733</b>	<b>0,7579</b>	<b>0,9371</b>	<b>-0,6779</b>

Talajhőmérséklet - 20 cm (10)			<b>X</b>	<b>0,7908</b>	<b>0,9651</b>	<b>-0,6670</b>
Talajhőmérséklet - 50 cm (11)				<b>X</b>	<b>0,8147</b>	<i>-0,3921</i>
Talajhőmérséklet - 100 cm (12)					<b>X</b>	<b>-0,6315</b>
Relatív nedvesség (13)						<b>X</b>

*Megjegyzés:*

**0,1 %-os szinten szignifikáns**

**1 %-os szinten szignifikáns**

*5 %-os szinten szignifikáns*

(1) Meteorological element, (2) Average air temperature, (3) Minimum air temperature, (4) Maximum air temperature, (5) Actual sunshine duration, (6) Average wind speed, (7) Precipitation sum, (8) Soil temperature – 5 cm, (9) Soil temperature – 10 cm, (10) Soil temperature – 20 cm, (11) Soil temperature – 50 cm, (12) Soil temperature – 100 cm, Relative humidity.

Végezetül azt is elemeztük, hogy a különböző éven belüli időszakok talajhőmérsékleti viszonyai milyen kapcsolatban állnak egymással. A 3. táblázat az 5 cm-es talajrétegre kapott eredményeket mutatja be. Az évi átlagos értékek alakulására a tavasz és a nyár hőmérséklet alakulása volt jelentős hatással, mint ahogyan az egynyári növények vegetációs periódusának átlaghőmérsékletére is, míg az áttelelő növények tenyészidőszakának 5 cm-es talajhőmérsékletét főként a tavasz és a tél hőmérséklete befolyásolta. Az évi értékek jó egyezést mutattak mindkét mezőgazdaságilag releváns időszak hőmérséklet alakulásával, de azok egymással csak gyengébb kapcsolatban álltak.

3.táblázat. Az 5 cm-es talajhőmérséklet évi átlagának kapcsolata a különböző időszakok átlagos értékeivel (rangkorreláció értékei, 1995-2020)

Table 3: Relationship of the annual average of 5 cm soil temperature with the average values of different periods (rank correlation values, 1995-2020).

Időszak (1)	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél	Ápr-okt	Szept-jún	Év
Tavaszi (2)	<b>X</b>	<b>0,5084</b>	0,1275	0,2157	<b>0,8038</b>	<b>0,7504</b>	<b>0,7634</b>
Nyár (3)		<b>X</b>	-0,0168	-0,0126	<b>0,8332</b>	<b>0,5091</b>	<b>0,6896</b>
Ősz (4)			<b>X</b>	0,0003	0,1426	0,1234	0,3682
Tél (5)				<b>X</b>	-0,0085	<b>0,6841</b>	0,3757
Ápr-okt (6)					<b>X</b>	<b>0,5993</b>	<b>0,7949</b>
Szept-jún (7)						<b>X</b>	<b>0,8345</b>
Év (8)							<b>X</b>

Megjegyzés:

**0,1 %-os szinten szignifikáns**

**1 %-os szinten szignifikáns**

5 %-os szinten szignifikáns

(1) Time interval, (2) Spring, (3) Summer, (4) Autumn, (5) Winter, (6) April-October, (7) September-June, (8) Year.

## EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A talajhőmérsékletek átlagos éven belüli alakulására vonatkozó eredményeink jó egyezést mutatnak a hasonló jellegű, más hazai területek és korábbi időszakok adatai alapján végzett hazai vizsgálatokkal. A Szász és Tőkei (1997) és Anda és Kocsis (2010) által leírtakhoz hasonlóan mi is hasonló irányú és mértékű változásokat - fáziseltolódást, azaz a hőmérsékleti szélsőértékek egyre későbbre tolódását az év folyamán és amplitúdó csökkenést, azaz az évi hőmérsékleti szélsőértékek különbségének csökkenését – tapasztaltunk a mélyebb rétegek felé haladva. A léghőmérsékletnél tapasztalt januári minimum és júliusi maximum a felszíni (5-20 cm-es) talajrétegek hőmérsékletére is igaznak bizonyult, míg a mélységi talajrétegeknél ehhez képest 1 hónapos későbbre tolódást mutattunk ki. A talajréteg mélységének növekedésével a hőmérsékleti maximum és minimum különbségeként adódó érték, a hőmérsékletváltozások amplitúdója jelentősen csökkent. Fontos megjegyezni, hogy kapott eredményeink nem csupán korábbi hazai kutatások megállapításaival mutatnak



jó egyezést, hanem a határainkon túli, hasonló éghajlatú területeken végzett vizsgálatok (Ács és Mihajlovic 1983) következtetéseivel is jól egybecsengenek. Mindez arra utal, hogy **az éghajlati rendszer utóbbi évtizedekben tapasztalt változásai a talajhőmérsékletek éven belüli alakulását nem változtatták meg jelentősen a mi éghajlati viszonyaink között.**

Az 1991-2020-as időszak évi átlagos léghőmérséklete 10,9 °C. Ez jelentősen meghaladja az 1871-től datálódó mosonmagyaróvári hőmérsékletmérések alapján meghatározott 30 éves átlagok bármelyikét, melyek eddig 9,6 °C (1871-1900) és 10,3 °C (1981-2010) között változtak. Ráadásul e szélsőséges hőmérsékletalakulású időszak évtizedeit külön vizsgálva gyorsuló mértékű, azaz nem-lineáris jellegű melegedést tapasztaltunk: a 2001-2010-es időszak 10,8 °C-os értékénél a legutóbbi évtized átlaga már 0,7 °C-kal bizonyult magasabbnak. Viszont az utóbbi évtizedek adatainak elemzése azt mutatja, hogy a különböző talajrétegek utóbbi évekre jellemző anomáliái nem pontosan követik a léghőmérséklet esetén tapasztalt változásokat, ezért például **hiba lenne a levegő melegedésével kapcsolatos ismereteinket automatikusan és kritika nélkül alkalmazni a fontos ökológiai szerepet betöltő felszíni talajrétegekre.**

A különböző naptári időszakok hőmérsékletalakulását összehasonlító vizsgálataink alapján elmondható, hogy hasonlóképpen **téves következtetésekhez vezethet, amennyiben az évi átlagos talajhőmérsékletek változási tendenciáira kapott eredményeket az egynyári növények tenyészidőszakára próbáljuk vonatkoztatni.** Ugyanakkor az éves és az áttelelő növények vegetációs periódusa alatti hőmérsékletek utóbbi évtizedeket jellemző változásai lényegében párhuzamosan zajlottak.

A makro- és mikroklímát jellemző talajhőmérsékletek párhuzamos gyűjtésén, majd összehasonlításán alapuló vizsgálati eredményeink szerint a kukoricaállományban mért hőmérsékleti értékek jó egyezést mutattak a meteorológiai főállomás fűfelszín alatt mért értékeivel. Általában alacsonyabb hőmérsékleteknél a növényállományban mért érték, magasabb hőmérséklet esetén – feltehetőleg a tagoltabb növényállomány erősebb árnyékoló hatása miatt - a klímaállomáson rögzített érték a magasabb, de ezek különbsége rendszerint csupán néhány tized °C. **Az egyensúlyi hőmérsékleti érték, azaz a kétféle hőmérséklet egyenlősége függ a talajréteg mélységétől és az éven belüli időszaktól.**

A különböző talajhőmérsékleti és egyéb meteorológiai elemek évek közötti változékonyságára vonatkozó elemzéseink eredményei azt mutatják, hogy - nem

meglepő módon - az egymáshoz legközelebb elhelyezkedő 5, 10 és 20 cm-es felszín közeli talajrétegek hőmérsékletalakulása mutatja egymással a legszorosabb kapcsolatot. **Csaknem hasonlóan szoros e rétegek talajhőmérséklet alakulásának kapcsolata az alatta található mélységi talajrétegek és a felette elhelyezkedő levegő hőmérsékletével**, illetve a relatív nedvességgel is szignifikáns a kapcsolat, de ez esetben változásaik egymással ellentétes irányúak. A mélységi talajhőmérsékletek és a levegő hőmérséklete illetve nedvessége közötti kapcsolatok szorossága megközelíti a felszíni talajrétegeknél tapasztaltakat.

A tavasz és nyár átlagos felszíni talajhőmérséklete nagyobb hatással van az évi átlagra és az egynyári növények tenyészidőszakának átlagos talajhőmérséklet alakulására, mint az év későbbi időszakai. Az áttelelő növények tenyészidőszakának talajhőmérsékletét főként a tél és a tavasz hőmérséklete befolyásolta. Így **mindhárom vizsgált időszak talajhőmérsékleti átlagára az adott időperiódus első felének viszonyai hatottak jobban, ami ezek jobb előrejelezhetőségéhez járulhat hozzá.**

## KÖVETKEZTETÉSEK

Mind az éghajlati változékonyság, mind az éghajlatváltozás regionális alakulásának pontosabb számszerűsítése céljából, továbbá potenciális és tényleges mezőgazdasági hatásainak elemzéséhez is fontos lenne a különböző talajrétegek hőmérsékletalakulását megismerni. Az ilyen jellegű, több évtizedes mérési adatsorok hiánya és a mért adatok szakszerű feldolgozásának elmaradása miatt viszont általánosan elterjedt az a gyakorlat, hogy – alapvetően párhuzamos alakulásukat feltételezve – léghőmérsékleti adatokat és abból származtatott információkat használnak olyan esetekben is, amikor valójában a talajhőmérséklet alakulásának ismeretére lenne szükség.

Lehetőségünk nyílt rá, hogy – mintegy modell jelleggel - a Mosoni-sík jelentős részére reprezentatív, a legutóbbi 30 éves éghajlati ciklus nagy részét lefedő, párhuzamos makro- és mikroklimatológiai jellegű, sokrétű mosonmagyaróvári adatgyűjtésre alapozott vizsgálatok segítségével kvantifikáljuk a fenti esetekben fellépő hibák nagyságát. A makro- és mikrometeorológiai jellegű adatgyűjtés helyének közelsége és környezeti viszonyainak nagymértékű hasonlósága egymással, illetve a térségre tipikus voltuk biztosítják a kapott eredmények összehasonlíthatóságát és viszonylagos kiterjeszhetőségét a Mosoni-síkra.

Vizsgálatainkból az alábbi következtetések vonhatók le:

1. A magok csírázása és a gyökérszom működése szempontjából kiemelt jelentőségű felszíni talajrétegek hőmérsékletalakulása alapvetően párhuzamos a léghőmérséklet évi menetével, az évi minimum és maximum előfordulási ideje megegyezik e rétegekben. Hiba forrása lehet viszont, hogy a felszín-közeli talajhőmérsékletek minimuma átlagosan kb. 1 °C-kal, maximumuk viszont akár több °C-kal meghaladja a léghőmérsékleti szélsőértékeket. Figyelembe véve az utóbbi évtizedek éghajlatváltozása közben fellépő hőmérsékletváltozás 1 °C körüli nagyságát, ezek az anomáliák számottevő bizonytalanságot okozhatnak a környezeti hatásvizsgálatokban. Tovább árnyalja a képet és növeli a hiba lehetőségét, hogy a mélyebben gyökerező növények szempontjából fontos mélységi talajhőmérsékletek mind a léghőmérséklettől, mind a felszíni talajrétegek hőmérsékletétől eltérő évi alakulással jellemezhetők.

2. Meghatároztuk az egyes talajrétegekre jellemző átlagos hőmérsékletemelkedés mértékét a vizsgált évtizedekben - mind az év egészére, mind a mezőgazdaságilag releváns időszakokra vonatkozóan. E vizsgálatok is alátámasztják, hogy a léghőmérséklet emelkedését jellemző kb. 1 °C-os érték nem alkalmazható automatikusan a különböző talajrétegekre, illetve hogy az év egészére vonatkozó hőmérsékletváltozás mértéke nem jellemzi hitelesen a növények tenyészidőszaka alatt tapasztalható módosulást. Az egynyári növények vegetációs periódusának hőmérsékletváltozása tér el leginkább az év egészét jellemző hőmérsékletalakulástól. Kisebb hibát követünk el, ha az éves változásokat az áttelelő növények tenyészidőszakára vonatkoztatjuk.

3. A makro-, illetve a mikroklímát jellemző paraméterek viszonyát illetően azt tapasztaltuk, hogy a fűfelszín és a kukoricaállomány alatti hőmérsékleti különbségek általában néhány tized °C-os nagyságrendűek – évszaktól és a talajréteg mélységétől függően. A felszíni talajhőmérsékletek egyensúlyi hőmérsékleti értékei és azok ingadozásai meghaladták a mélységi talajhőmérsékletekre kapott alacsonyabb, de kiegyenlítettebb ilyen jellegű értékeket. Összességében elmondható, hogy ezek az anomáliák is csekély, de szignifikáns mértékben növelhetik a mezőgazdasági hatásvizsgálatok esetén elkövetett hibákat. Kiemelhető az is, hogy a hasonló talajtípus hatása erősebbnek bizonyult a talaj hőgazdálkodására, mint az eltérő felszínborítás.

4. Az egymáshoz közeli talajrétegek hőmérsékletalakulása mutatta a legszorosabb kapcsolatot. Ez előnyös lehet abban az esetben, ha nem állnak rendelkezésre minden itt vizsgált mélységből talajhőmérsékleti adatok.

5. Végezetül hangsúlyozni szeretnénk, hogy bár elemzéseink során messzemenően tekintettel voltunk a mezőgazdasági hatásvizsgálatok lehetőségére, e munkában már csak terjedelmi okokból sem térünk ki az így megalapozott agrometeorológiai vizsgálatokra. A tervezett kutatás következő szakaszában szándékozunk megvizsgálni a tényleges talajhőmérsékleti viszonyok hatását a növények életjelenségeire. Reményeink szerint ez a közlemény – hiánypótló jelleggel - értékes adalékokkal gazdagítja a hazai talajhőmérsékleti viszonyokra vonatkozó ismereteinket.

## **ANALYSIS OF SOIL TEMPERATURE CONDITIONS IN THE MOSONI PLAIN BASED ON VALUES MEASURED IN THE 1991-2020 CLIMATE CYCLE**

ZOLTÁN VARGA

Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Food Sciences,  
Department of Water and Environmental Sciences, Mosonmagyaróvár

### **SUMMARY**

In many cases it may be necessary to quantify the temperature conditions of different layers below the soil surface due to its diverse ecological significance. However, accurate information on this is not always available owing to the lack of appropriate measurement data or because of the lack of professional processing of the measured data. Therefore, it is common to replace the data of temperature of different soil layers with information on air temperature that can be justified by the close relationship between air and soil temperatures and their generally parallel changes. However, the magnitude of the differences between the results of air temperature measurements performed at standardized meteorological stations and the results of soil temperature observations in plant stands should not be underestimated. Accurate information at the local level can be an obvious benefit for local farmers.

Based on all these considerations, we aimed to analyze the soil temperature conditions of the Mosoni plain with detailed and complex, but at the same time simple statistical methods. The basis of the investigations was mainly the daily data measured by the meteorological station in Mosonmagyaróvár, which could be considered representative of the region. We were potentially able to use data from January 1, 1991 to December 31, 2020 in our research focusing on new climate normal values, but soil temperature measurements did not begin until June 1994 there.

Our results on soil temperatures are generally in good agreement with similar findings from other studies in other areas and earlier periods, while the more complex approach provides a more detailed picture of their temporal and spatial relationships and refines our knowledge of regional climate change.

While the intraannual course of the different layers' soil temperature does not show a significant modification, there is a significant warming of the soil during the period under review, and the interannual courses of soil layers' temperatures differs significantly from the warming trend of air temperature. Therefore, it would be a mistake to apply our knowledge of the increasing air temperature automatically and without criticism to surface layers of soil that play an important ecological role. It could be similarly misleading to consider the results obtained for trends in annual soil temperature values as changes during the growing season of different crops.

Finally, the soil temperature values measured in the maize stand showed a good agreement with the values measured below the grass-covered surface of the main meteorological station, so that the use of the latter for agricultural purposes can only be a source of minor errors.

**Keywords:** soil temperature, air temperature, climatic normal value, climate change, maize

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A cikk kutatásaihoz a „Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) – Nemzeti Kihívások alprogram – Komplex Precíziós Növénytermesztési Kutatások a Széchenyi István Egyetemen (TKP2020-NKA-14)” biztosított forrást.

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- Ács, F. - Mihajlovic, T.D. (1983): Calculation of soil thermal changes. *Időjárás*. 87 (4). 200-205.
- Ambebe, T.F. - Dang, Q.L. - Li, J., (2009). Low soil temperature inhibits the effect of high nutrient supply on photosynthetic response to elevated carbon dioxide concentration in white birch seedlings. *Tree Physiol.* 30. 234–243.
- Anda, A. - Kocsis, T. /szerk./ (2010): *Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Arbea, J.I. - Basco-Zumeta, J. (2001): Ecología de los Colembolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España). *Aracnet 7 -Bol. SEA* 28. 35–48.
- Ashcroft, M.B. - Gollan, J.R. (2013): Moisture, thermal inertia, and the spatial distributions of near-surface soil and air temperatures: Understanding factors that promote microrefugia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 176. 77– 89.
- Atkin, O.K. - Tjoelker, M.G. (2003): Thermal acclimation and the respiration dynamic response of plant to temperature. *Trends Plant Sci.* 8. 343–351.
- Bergh, J. – Mcmurtrie - R.E., Linder, S. (1998): Climate factors controlling the productivity of Norway spruce: a model-based analysis. *Forest Ecol. Manag.* 110. 127–139.
- Bond-Lamberty, B. - Wang, C. - Gower, S.T. (2005): Spatiotemporal measurement and modeling of stand-level boreal forest soil temperatures. *Agric. For. Meteorol.* 131. 27–40
- Dióssy, L. (2008): The influence of global climate change on air and soil temperatures in maize canopy. *Időjárás*. 112(2). 125-139.
- Dodonov, P. - Menezes, G.S.C. - Caitano, B. - Cazetta, E. - Mielke, M.S. (2019): Air and soil temperature across fire-created edges in a Neotropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 276–277. 107606
- Evrendilek, F. - Karakaya, N. - Gungor, K. - Aslan, G. (2012): Satellite-based and mesoscale regression modeling of monthly air and soil temperatures over complex terrain in Turkey. *Expert Systems with Applications*. 39. 2059–2066.
- Geiger, R. (1971): *The Climate Near the Ground*. Revised ed. Harvard Univ. Press, Cambridge.

*Graae, B.J. - De Frenne, P. - Kolb, A. - Brunet, J. - Chabrerie, O. - Verheyen, K. - Pepin, N. - Heinken, T. - Zobel, M. - Shevtsova, A. - Nijs, I. - Milbau, A. (2012):* On the use of weather data in ecological studies along altitudinal and latitudinal gradients. *Oikos* 121. 3–19.

*Huang, X. - Lakso, A.N. - Eissenstat, D.M. (2005):* Interactive effects of soil temperature and moisture on Concord grape root respiration. *J. Exp. Bot.* 56. 2651–2660.

*Jaganathan, G.K. - Liu, B. (2014):* Role of seed sowing time and microclimate on germination and seedling establishment of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) in a seasonal dry tropical environment – and insight into restoration efforts. *Botany*. 93. 23–29.

*Kang, S. - Kim, S. - Oh, S. - Lee, D. (2000):* Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature. *Forest Ecology and Management*. 136. 173–184.

*Kennedy, A.D. (1997):* Bridging the gap between general circulation model (GCM) output and biological microenvironments. *Int. J. Biometeorol.* 40. 119–122.

*Kustas, W. - Anderson, M. (2009):* Advances in thermal infrared remote sensing for land surface modeling. *Agric. For. Meteorol.* 149. 2071–2081.

*Landsberg, J.J. (1986):* *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press, London.

*Likso, T. (2006):* Estimation of air temperature at 5 cm above grassland at the Zagreb–Maksimir Observatory. *Theor. Appl. Climatol.* 85. 217–225.

*Lyons, E.M. - Pote, J. - Dacosta, M. - Huang, B. (2007):* Whole-plant carbon relations and root respiration associated with root tolerance to high soil temperature for *Agrostis* grasses. *Environ. Exp. Bot.* 59. 307–313.

*Mellander, P.-E. - Stähli, M. - Gustafsson, D. - Bishop, K. (2006):* Modelling the effect of low soil temperatures on transpiration by Scots pine. *Hydrol. Processes*. 20. 1929–1944.

*Nagler, P. L. - Scott, R. L. - Westenburg, C. - Cleverly, J. R. - Glenn, E. P. - Huete, A. R. (2005):* Evapotranspiration on western US rivers estimated using the enhanced vegetation index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. *Remote Sensing of Environment*, 97. 337–351.

- Robinson, S.I. - Mclaughlin, Ób. - Marteinsdóttir, B. - O'gorman, E.J.* (2018): Soil temperature effects on the structure and diversity of plant and invertebrate communities in a natural warming experiment. *J. Anim. Ecol.* 87. 634–646.
- Sage, R.F. - Kubien, D.S.* (2007): The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 30. 1086–1106.
- Seabloom, E.W. - Van Der Valk, A.G. - Moloney, K.A.* (1998): The role of water depth and soil temperature in determining initial composition of prairie wetland coenoclines. *Plant Ecol.* 138. 203–216.
- Shati, F. - Prakash, S. - Norouzi, H. - Blake, R.* (2018): Assessment of differences between near-surface air and soil temperatures for reliable detection of high-latitude freeze and thaw states. *Cold Regions Science and Technology.* 145. 86-92.
- Sváb, J.* (1981): *Biometriai módszerek a kutatásban.* Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Szász, G. - Tőkei, L. /szerk./* (1997): *Meteorológia mezőgazdákknak, kertészeknek, erdészeknek.* Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Varga-Haszonits, Z. - Varga, Z. - Lantos, Zs. - Enzsölné Gerencsér E.* (2006): *Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák.* Monocopy, Mosonmagyaróvár.
- Wu, S.H. - Jansson, P-E. - Kolari, P.* (2012): The role of air and soil temperature in the seasonality of photosynthesis and transpiration in a boreal Scots pine ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology.* 156. 85–103.

*A szerző levélcíme:*

Dr. Varga Zoltán, PhD  
egyetemi docens  
Széchenyi István Egyetem,  
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,  
Víz- és Környezettudományi Tanszék  
9200 Mosonmagyaróvár  
Vár tér 2.  
E-mail: varga.zoltan@sze.hu