

## LIZIMÉTERES MÉRÉSI ADATOK FELDOLGOZÁSA

**Incze Dóra** <sup>(1)</sup> , **Barcza Zoltán** <sup>(1,2)</sup> , **Fodor Nándor** <sup>(3)</sup> 

<sup>(1)</sup> ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

<sup>(2)</sup> ELTE TTK Kiválósági Tudásközpont, 2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.

<sup>(3)</sup> MTA ATK, Mezőgazdasági Intézet, 2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.

e-mail: [incze.dora96@gmail.com](mailto:incze.dora96@gmail.com), [zoltan.barcza@ttk.elte.hu](mailto:zoltan.barcza@ttk.elte.hu), [fodor.nandor@atk.hu](mailto:fodor.nandor@atk.hu)

### Bevezetés

Az éghajlatváltozás kontextusában a hőhullámmal társult hosszú aszályos időszakok gyakoribbá válása jelentheti az egyik legnagyobb kihívást a szélsőséges események közül az egész társadalomra nézve (Teuling, 2018a). A Helmholtz Center for Environmental Research (UFZ) tudósai által vezetett nemzetközi kutatócsoport vizsgálatai alapján a 18. század közepe óta nem fordult elő olyan nagy területet lefedő és huzamosabb ideig tartó aszály Európában, mint azt a 2018-tól 2020-ig tartó időszakban tapasztalhattuk [1 – [ufz.de](http://ufz.de)]. A szárazság 2021-ben és 2022-ben is tovább folytatódott, és kimutatható volt a hatása a mélyebb talajrétegekben is (Rakovec et al., 2022). Az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján szintén több tanulmány jelent meg az elmúlt évek aszályairól. A legsúlyosabb szárazságok az Alföld középső és tiszántúli részét érintik [2 – [met.hu](http://met.hu)].

Mivel a jövőben valószínűleg gyakrabban fordulnak elő hosszan tartó aszályos időszakok (Manolis, 2019), az édesvízkészletek fenntartható használata iránti nemzetközi érdeklődés a növekvő élelmiszerigény kielégítése érdekében a vízmérleg-komponensek mérési és modellezési módszereinek tesztelését és fejlesztését szorgalmazza (Marek et al., 2014). A megfelelő és fenntartható növénytermesztés biztosításához jobban meg kell értenünk a növények teljes vízháztartását, különösen a talajban rendelkezésre álló vízmennyiséget és az ezzel szorosan összefüggő evapotranszpirációt.

Az itt bemutatott kutatás célja a szántóföldek vízmérleg-komponenseinek számszerűsítése egy olyan kísérleti platform alapján, amely referencia adatokkal szolgálhat a természetes folyamatok megértéséhez, ezen keresztül pedig különböző modell validálási és optimalizálási eljárásokhoz. A kutatáshoz felhasznált adatokat a Martonvásáron 2018-ban telepített liziméter állomás szolgáltatja. A mérések nagy pontossággal és finom időfelbontással készülnek, azonban a természetes környezetből adódóan hibával terheltek. A kutatás során alkalmazott minőségbiztosítási és minőségellenőrzési eljárások segítenek minimalizálni a liziméteres adatsorok feldolgozása során előforduló hibákat.

### Liziméterek

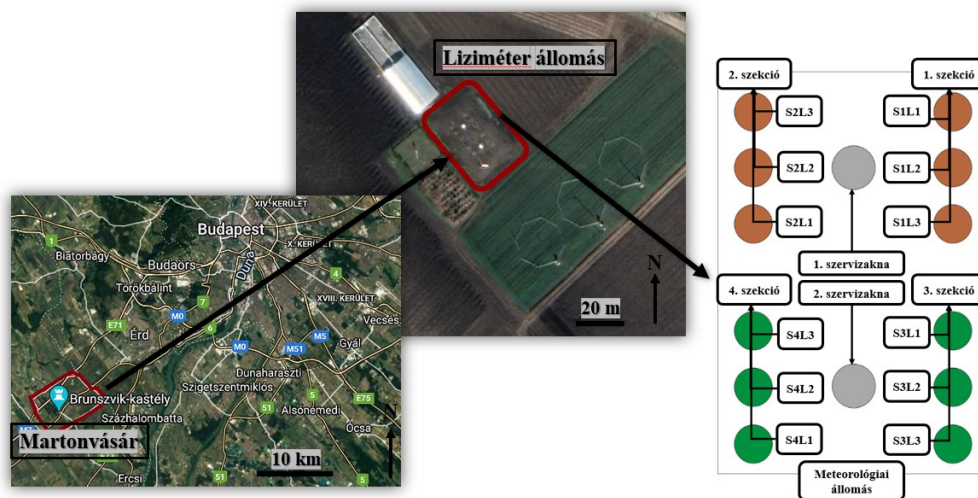
A talaj vízmérlegének vizsgálata és a számítási módszerek esetleges javítása komoly gyakorlati jelentőséggel bír a mezőgazdaságban (Alataway et al., 2019).

A vízmérleg-komponensek közül a tényleges evapotranszpiráció mérése világszerte liziméterekkel történik (Lanthaler, 2004; Evett et al., 2016). A „liziméter” szó görög eredetű, a „lysis” (megoldás) és a „metron” (mérés) szavakból származik. A lizimétert olyan eszközként definiálhatjuk, amely egy tartályban elkülönít egy adott térfogatú, növényi vegetációval borított (vagy épp csupasz) talajoszlopot a környezetétől (Howell et al., 1991). Ennek értelmében a liziméterekkel meghatározhatjuk egy porózus közegen átfolyó víz mennyiségét és összetételét, valamint a vízmérleg egyenlet bármely tagját, ha a többi tagja ismert (Lanthaler, 2004).

A liziméteres mérések alapján számított evapotranszpirációs értékeket széles körben elfogadott referenciának tekintik, amellyel gyakran összehasonlíthatják más módszerek (például az eddy-kovariancia módszer – Teuling, 2018b; Penman – Monteith FAO módszer – Doležal et al., 2018) evapotranszpiráció becslését. Néhány tanulmányban azonban az egyes módszerek eredményei szignifikánsan eltértek egymástól (Pütz et al., 2016). Az összehasonlíthatóság céljából a lizimétereknek a lehető legjobban kell reprezentálniuk a valós környezetet (Lanthaler, 2004). A természetes közegből adódóan azonban a liziméteres mérések hibával terhelték (Marek et al., 2014). Emiatt a mért adatokat további elemzésekre felhasználni kizárólag az utófeldolgozást, azaz a hibák kiszűrését követően lehet. Meg kell jegyezni, hogy mivel minden mérés egyedinek tekinthető, nincs a szakirodalomban egységes módszertan a liziméteres kutatások elvégzésére.

## Módszertan

Az AgroMo projekt keretén belül az Agrártudományi Kutatóközpont (ATK) és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar (ELTE TTK) által létrehozott konzorcium révén egy Integrált Modellrendszer valósulhatott meg, aminek a fejlesztését és tesztelését egy kísérleti platform támogatja [3 – agromo]. A kísérleti platform része a Martonvásáron található tizenkét darab tudományos célú szabadföldi liziméterből álló kutatóállomás, ami a szakirodalom alapján az egyik legkorszerűbb liziméter típusnak tekinthető (Marek et al., 2014; Pütz et al., 2016).



1. ábra: A Martonvásáron található tizenkét darab liziméterből álló kutatóállomás. A liziméterek szekció szerinti elnevezése és elhelyezkedése a jobb oldali ábrán látható. A liziméterek mellett egy meteorológiai állomást is működtetnek [4 – Google Earth].

A martonvásári liziméterek monolitikusak, azaz bolygatatlan, humuszban gazdag erdőmaradványos csernozjom talajjal vannak feltöltve, ami megegyezik a környező talaj típusával. A liziméterek egyenként  $1 \text{ m}^2$  alapterületűek és 2 m magasságúak, illetve a peremmagasságuk 10 cm a talaj felszínétől számítva amiatt, hogy a felszíni el- és hozzáfolyás tagok elhanyagolhatók legyenek. A talajoszlopok tömegmérése precíziós mérleggel történik, amivel akár 0,01 mm pontossággal és nagy időbeli felbontással meghatározható az evapotranszpiráció értéke. A liziméterek több mélységben talajnedvesség és talajhőmérséklet érzékelő szenzorokat is tartalmaznak, továbbá a rendszer rögzíti a csurgalékvíz (a liziméter aljából kifolyó víz) mennyiségét is (Barcza & Fodor, 2018). A szántóföldi körülményeknek megfelelő feltételek elérése érdekében a talajoszlopban szilícium-karbid (SiC) porózus

szívógyertyák vannak beépítve. Ennek köszönhetően automatikusan szabályozhatóvá válik a liziméterekben a talajnedvesség az alapján, hogy a tenziométerek segítségével milyen mértékű mátrixpotenciál<sup>1</sup> értékeket mérünk a környező talaj és a liziméter talajoszlopának ugyanazon mélységeiben (Unold & Frank, 2008). A lizimétereket az adatgyűjtés szempontjából négy szekcióba sorolhatjuk, ahol a liziméterekre vonatkozó adatok napi bontású szöveges formátumú fájlokban tárolódnak. A liziméterek elnevezése a négy szekció (S1, S2, S3, S4) és a szekciókon belüli számozása alapján történt (L1, L2, L3). A liziméterek mellett még egy meteorológiai állomást is működtetnek (*1. ábra*).

A liziméterekben különböző gabonafajtákat termesztettek – a szántóföldi körülményekhez hasonlóan – vetésforgóban. Emellett bizonyos liziméterekben csupasz talaj kísérlet folyik, ami azt jelenti, hogy nincs vetés, és a gyomnövényeket időről időre eltávolítják. Ennek összefoglalását az *1. táblázat* tartalmazza.

*1. táblázat:* A liziméterekben termesztett gabonafajták évek szerinti összefoglaló táblázata.

Liziméter	2019	2020	2021	2022
S1L1	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi zab (MV Hópehely)	szója	őszi búza (MV Kolompos)
S1L2	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi búza (MV Kolompos)	szója	őszi búza (MV Ikva)
S1L3	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi búza (MV Ikva)	szója	őszi búza (MV Nádor)
S2L1	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi árpa (MV Initium)	szója	őszi búza (MV Kolompos)
S2L2	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi búza (MV Nádor)	szója	őszi búza (MV Nádor)
S2L3	csupasz talaj, kukorica (MV Tarján)	őszi búza (MV Nemere)	szója	őszi búza (MV Ikva)
S3L1	őszi búza (MV Ikva)	csupasz talaj	őszi búza (MV Kolompos)	csupasz talaj
S3L2	őszi búza (MV Nemere)	csupasz talaj	őszi búza (MV Nádor)	csupasz talaj
S3L3	őszi búza (MV Nádor)	csupasz talaj	őszi árpa (MV Initium)	csupasz talaj
S4L1	őszi búza (MV Kolompos)	csupasz talaj	őszi búza (MV Ikva)	csupasz talaj
S4L2	őszi zab (MV Hópehely)	csupasz talaj	őszi búza (MV Nemere)	csupasz talaj
S4L3	őszi árpa (MV Initium)	csupasz talaj	őszi zab (MV Hópehely)	csupasz talaj

<sup>1</sup> **Mátrixpotenciál** ( $\Psi_m$  [hPa]): A talajban a víz visszatartását kifejező mennyiség, értéke negatív előjelű (Zhang & Lu, 2019).

Az adatfeldolgozásra kutatómunkánk során nagy hangsúlyt fektettünk, mivel a megbízható eredményekhez elengedhetetlen a megfelelő minőségellenőrzés. Az adatfeldolgozás az alábbi részfolyamatokból tevődött össze, amik közül a számítási és ábrakészítési feladatokhoz az R programnyelvet [5 – R-project.org] használtuk:

- 1) adatgyűjtés;
- 2) adatkorrigálás a csurgalékvíz figyelembevételével;
- 3) kiugró értékek azonosítása és kezelése;
- 4) simítás mozgóátlag használatával;
- 5) az evapotranszspiráció meghatározása a talaj vízmérleg egyenletéből kiindulva.

Az adatgyűjtés automatikusan és folyamatosan – a megfigyelt környezeti változótól függően perces vagy 10 perces időközönként – történik. Az összegyűjtött fájlok rendszerezését követően a hibás mérések kiküszöbölése érdekében első lépésként a nyers adatok vizualizációjával foglalkoztunk.

Ezt követően a talajoszlopok tömegére vonatkozó értékek mellett vizsgáltuk a csurgalékvíz tömegét és annak változását is. A liziméter esetén ugyanis azzal a feltételezéssel élünk, hogy a rendszer zártnak tekinthető, vagyis a víz a talajoszlopból kizárólag az evapotranszspiráció és a csurgalékvíz formájában távozik. Mivel a csurgalékvíz a rendszerben nem csak a felszín alatti elfolyást, hanem a hozzáfolyást is jelentheti, ezért az evapotranszspiráció meghatározásához szükség van a talajoszlopok tömegének csurgalékvízzel történő korrigálására. Ahhoz, hogy egyedül az evapotranszspiráció miatti veszteséget detektáljuk, a korrigálás során napi szinten minden regisztrált időpontban a csurgalékvíz tömegét hozzá kell adnunk a talajoszlop tömegéhez (Gebler et al., 2015).

A kiugró értékeket az interkvartilis tartomány (interquartile range, IQR) módszer segítségével távolítottuk el az adatsorból (Araújo Neto et al., 2017). Emellett vizuális megfigyelés alapján is szűrtük a bizonytalan értékeket. A hiányzó adatokat lineáris interpolációs módszerrel pótoltuk, vagyis a szomszédos pontok átlagából származtattuk az új értékeket (Zhang et al., 2019).

A tapasztalat azt mutatja, hogy a szélsőesség (illetve a széllökésesség mértéke) összefügg a talajoszlop tömegének fluktuációjával (szélsőesség változás által okozott nyomásingadozás). A zaj csökkentése érdekében simítási eljárást alkalmaztunk. A nagyobb szélsőességekből adódó zaj általában a nappali órákban volt erősebb, míg a késő esti és reggeli órákban gyengébb. Zaj hiányában a simítási eljárás a kezdeti adatokkal szinte megegyező értékeket adott vissza. A zajcsökkentéshez 5 pontos (5 perces) mozgóátlagokat (MA) számítottunk (Marek et al., 2014):

$$Y_i = \frac{1}{5}(y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}) \quad (1)$$

ahol  $y_{i-2}$ ,  $y_{i-1}$ ,  $y_i$ ,  $y_{i+1}$  és  $y_{i+2}$  a nyers adatok és  $Y_i$  a hozzájuk tartozó MA érték. A nagy szélsőességek okozta zaj kiszűrése fontos a látszólagos liziméter tömegváltozások miatt. A szélhez kapcsolódó zaj jellemzően pozitív és negatív hatást is kifejt a tömegváltozásra, így az átlagolással a valósághoz közelebbi megoldást kapunk.

Végül ismernünk kell a talaj vízmérleg-egyenletének komponenseit, amik közül az egyik legfontosabb az evapotranszspiráció (ET). A martonvásári liziméter kísérletben öntözés nélküli növénytermesztés zajlik. Ezenkívül a lizimétereket zárt rendszereknek tekintjük, ahol a felszíni el- és hozzáfolyási tagok elhanyagolhatók. A csurgalékvíz (a felszín alatti el-, illetve hozzáfolyás) mennyiségével szabályozható a talajoszlop víztartalma, ami így a környező talaj víztartalmával megegyező lesz. Az adatok minőségellenőrzése után az evapotranszspiráció becsléséhez a korrigált és simított liziméter tömegértékekkel dolgoztunk. Állandó

vízszűrűséggel ( $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ) számolva az  $1 \text{ m}^2$  alapterületű liziméterre a napi ET értéke (mm) a következőképpen becsülhető:

$$\Delta S = P + F \downarrow - F \uparrow - ET \quad (2)$$

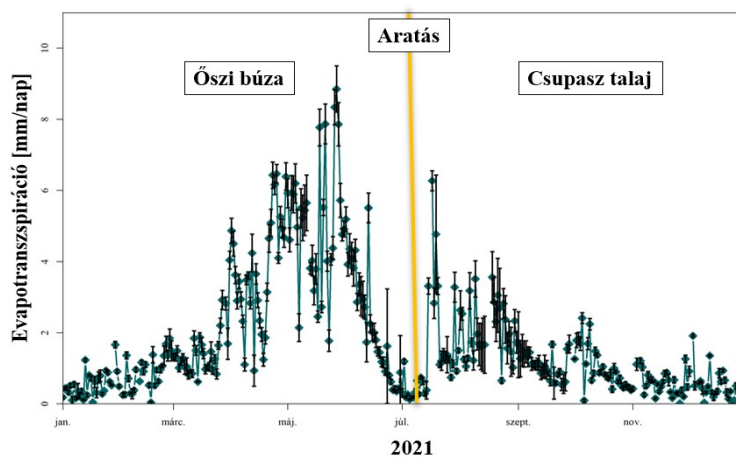
$$ET = P - \Delta(S + F) \quad (3)$$

ahol  $\Delta S$  az adott térfogatban tárolt vízmennyiség megváltozása,  $P$  a csapadékmennyiség,  $F \downarrow$  a felszín alatti hozzáfolyás és  $F \uparrow$  a felszín alatti elfolyás tömege, míg a  $\Delta(S + F)$  tag a korrigált talajoszlop tömegének két egymást követő éjféle értéke közötti különbség vízszlop mm-ben kifejezett értéke.

## Eredmények

Jelen tanulmányban elsősorban a 2021-es év mérési eredményeit mutatjuk be. Továbbá – hogy a korábbi évekkkel is összehasonlíthatók legyenek az eredmények –, főként az őszi búzát vizsgáltuk. A módszertani részben leírt folyamatok mentén haladva származtattunk napi szintű evapotranszspirációs értékeket. A vizsgált évben négy liziméterben természetkezelt őszi búzát. A hozzájuk tartozó átlagos napi tényleges evapotranszspirációs értékeket a 2. ábra demonstrálja. Az ábrán a fekete függőleges vonalak jelzik a napi bizonytalanságok mértékét. Az aratás időpontjáig (július 12.) az őszi búzára vonatkozó legnagyobb átlagos napi evapotranszspiráció majdnem elérte a  $9 \text{ mm/nap}$  ( $8,85 \text{ mm/nap}$ ) értéket.

2020 tavaszán hosszan tartó aszály sújtotta az országot [2 – met.hu], ezért referenciának azt az időszakot választottuk ki, amikor extrém szárazság jellemezte a térséget, és a csapadékmennyiség alig érte el összesen a  $10 \text{ mm}$ -t (2020. március 7. – 2020. május 12.). Ez alapján minden évre megvizsgáltuk, hogy ugyanebben az időszakban hogyan alakult az evapotranszspiráció az őszi búza esetén. Eredményül azt kaptuk, hogy a csapadékmennyiségtől függetlenül 2019-ben, 2020-ban és 2021-ben is  $215 \text{ mm}$  körüli volt az evapotranszspiráció értéke. Ezzel szemben ugyan 2022 áprilisában nagyobb csapadékmennyiség hullott ( $75 \text{ mm}$ ), előtte azonban a csapadékösszeg  $20 \text{ mm}$  volt a januártól márciusig tartó időszakban, ami kevesebb mint a fele a korábbi évek csapadékmennyiségeinek. Ennek megfelelően 2022-ben a referencia időszakunkban az evapotranszspiráció jóval elmaradt a korábbi évekhez képest: csupán  $145 \text{ mm}$  volt az összege.

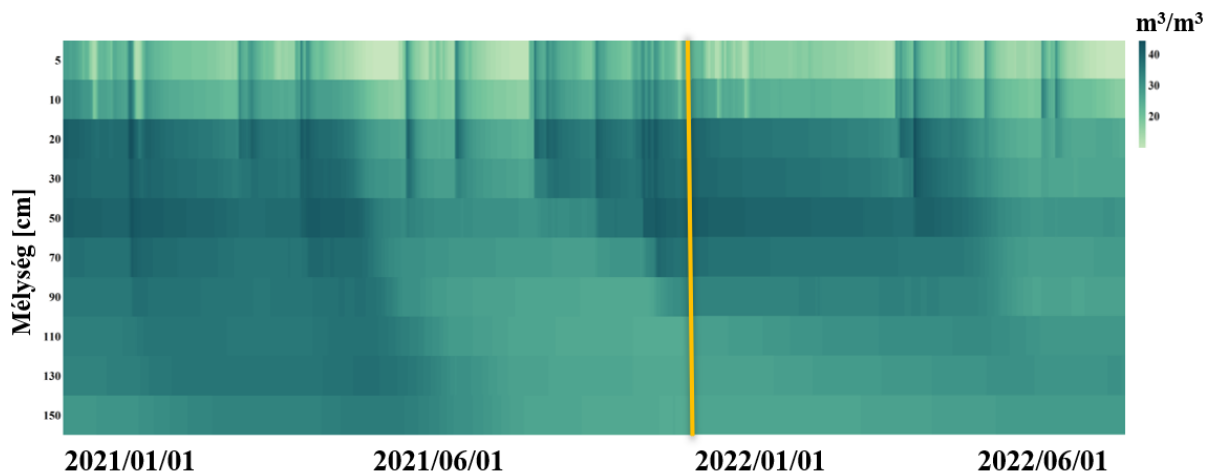


2. ábra: Az evapotranszspiráció átlagos napi értéke (mm/nap) 2021-ben az őszi búza esetén.

A fekete függőleges vonalak a napi bizonytalanságot szemléltetik.

Az aratás időpontját (2021. július 12.) egy függőleges narancssárga vonal jelöli.

Eddigi eredményeink alapján megállapítható, hogy a különböző évek csapadékviszonyai meghatározó szerepet töltenek be a talajnedvesség alakulásában. A 3. ábrán Hovmöller diagrammal szemléltetjük a 2021., valamint a 2022. évi őszi búzára vonatkozó átlagos napi talajnedvesség értékek idő szerinti (x tengely) és mélység szerinti (y tengely) változását. A két évet egy függőleges narancssárga vonallal különítettük el egymástól. A talaj felső rétegét (5–10 cm mélyséig) a vizsgált időszakban alacsonyabb nedvességtartalom ( $20\text{--}30\text{ m}^3/\text{m}^3$ ) jellemezte, ami az ábrán világosabb kék színnel jelenik meg. Emellett a talajba beszivárgott csapadék látványosan hirtelen nagyobb talajnedvességet eredményez a felső rétegekben, vagyis a talaj felső rétege jóval gyorsabban reagál a csapadékra (vagy annak hiányára), mint a mélyebb rétege. Lefelé haladva a mélységgel a sötétkék szín dominál, ami magasabb talajnedvesség tartalomra ( $30\text{--}50\text{ m}^3/\text{m}^3$ ) utal. Az őszi búza esetén megfigyelhető egy lassú csökkenés a talajnedvesség értékekben, ami a mélyebb rétegekből a gyökérzet fejlődése révén történő fokozatos vízfelvétellel magyarázható. 2021-ben a tél nem volt csapadékban szegény, azonban 2022-ben egészen ápriliséig nem hullott jelentős csapadékmennyiség, és ennek megfelelően mind a talaj felső rétegeiben, mind pedig az alsó rétegekben alacsonyabb volt a nedvességtartalom a korábbi évekhez képest. Ennek köszönhetően az idei évben a talaj mélyebb rétegeiben – ahol a növényzet általi vízfelvétel elsősorban történik – nem állt rendelkezésre elég nedvesség ahhoz, hogy az őszi búza kellő mértékben tudjon párologtatni. Ez összhangban van azzal, hogy az előző évekhez viszonyítva az evapotranszpiráció mértéke is kisebb volt.



3. ábra: Az őszi búza átlagos napi talajnedvesség értékének ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) idő szerinti (x tengely) és mélység szerinti (y tengely) változása 2021 januárjától 2022 júliusáig. A két évet egy függőleges narancssárga vonallal különítettük el egymástól.

## Diszkusszió és konklúzió

Jelen munka rövid összefoglalója a doktori képzés során folytatott kutatásnak. Magyarországon régebben is végeztek liziméteres méréseket, azonban a Martonvásáron 2018-ban telepített korszerű technológiát használó liziméterek egyedülálló kísérleti környezetet nyújtanak számunkra, révén, hogy számos talajnedvesség szenzor is kiegészíti a klasszikus tömegméréseket.

A liziméterek által gyűjtött adatok feldolgozási folyamatában kulcsfontosságú a hibák minimalizálása, valamint a minél pontosabb vízmérleg-komponensek meghatározása. Munkánk során napi szinten meghatároztuk a vízmérleg-komponenseket, különös tekintettel a tényleges evapotranszpirációra és a talajnedvességre.

A csapadék mennyisége és a csapadékhullás intenzitása nagyban befolyásolhatja a talajnedvességet, ami hatással van a csupasz talaj párolgására, a növényi párolgotatásra, és így az evapotranszpiráció mértékére is. Eddigi eredményeink alapján elmondható, hogy a téli csapadék meglete kiemelt szerepet tölt be a vegetációs időszakban a rendelkezésre álló vízmennyiség szempontjából.

További célunk, hogy a különböző becslési módszereket és a biogeokémiai modellek eredményeit a minőségbiztosított evapotranszpiráció értékekkel teszteljük.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatások a GINOP-2.3.2-15-2016-00028 és az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projektek támogatásával valósultak meg.

## Hivatkozások

- Alataway, A., Al-Ghobari, H., Mohammad, F., Dewidar, A., 2019: Lysimeter-based water use and crop coefficient of drip-irrigated potato in an arid environment. *Agronomy*, 9: 756. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110756>
- Araújo Neto, C.L., Nóbrega, B.M.A., Sousa, R.B.A., Melo, M.C., Paiva, W., Monteiro, V.E.D., 2017: Statistical Modeling of Municipal Solid Waste Settlement from a Lysimeter. *Soils and Rocks*, 40: 51–59. <https://doi.org/10.28927/SR.401051>
- Barcza Z., Fodor N. (szerk.), 2018: Az AgroMo megközelítés: integrált biogeokémiai és mezőgazdasági modellrendszer kialakítása a hazai agroklimatológiai környezetben – modellfejlesztés és megfigyelőrendszer kapcsolata és együttműködése. White Paper, Martonvásár, 150.
- Doležal, F., Hernandez-Gomis, R., Matula, S., Gulamov, M., Miháliková, M., Khodjaev, S., 2018: Actual evapotranspiration of unirrigated grass in a smart field lysimeter. *Vadose Zone Journal*, 17: 170173. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.09.0173>
- Evelt, S.R., Howell, T.A., Schneider, A.D., Copeland, K.S., Dusek, D.A., Brauer, D.K., Tolk, J.A., Marek, G.W., Marek, T.M., Gowda, P.H., 2016: The Bushland weighing lysimeters: A quarter century of crop ET investigations to advance sustainable irrigation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 59: 163–179. <https://doi.org/10.13031/trans.58.11159>
- Gebler, S., Hendricks Franssen, H.-J., Pütz, T., Post, H., Schmidt, M., Vereecken, H., 2015: Actual evapotranspiration and precipitation measured by lysimeters: a comparison with eddy covariance and tipping bucket. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19: 2145–2161. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2145-2015>
- Howell, T.A., Schneider, A.D., Jensen, M.E., 1991: History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In *Lysimetry: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements* (szerk.: Allen, R. G., Howell, T. A., Pruitt, W. O., Walter, I. A., Jensen, M. E.), The American Society of Civil Engineers (ASCE), New York. 1–9.
- Lanthaler, C., 2004: Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe: Purpose, equipment, research results, future developments. Diplomamunka (témavezető: Dr. Johann Fank). School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz, Graz. 147p.
- Manolis, G.G., 2019: Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. *Science of The Total Environment*, 660: 1245–1255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.001>
- Marek, G.W., Evelt, S.R., Gowda, P.H., Howell, T.A., Copeland, K.S., Baumhardt, R.L., 2014: Post-processing techniques for reducing errors in weighing lysimeter evapotranspiration




- (ET) datasets. *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*, 57: 499–515. <https://doi.org/10.13031/trans.57.10433>
- Pütz, T., Kiese, R., Wollschlager, U., Groh, J., Rupp, H., Zacharias, S., Priesack, E., Gerke, H.H., Gasche, R., Bens, O., Borg, E., Baessler, C., Kaiser, K., Herbrich, M., Munch, J.-C., Sommer, M., Vogel, H.-J., Vanderborght, J., Vereecken, H., 2016: TERENO-SOILCan — A lysimeter network in Germany observing soil processes and plant diversity influenced by climate change. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1242. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6031-5>
- Rakovec, O., Samaniego, L., Hari, V., Markonis, Y., Moravec, V., Thober, S., Hanel, M., Kumar, R., 2022: The 2018–2020 multi-year drought sets a new benchmark in Europe. *Earth's Future*, 10, e2021EF002394: 1–10. <https://doi.org/10.1029/2021EF002394>
- Teuling, A.J., 2018a: A hot future for European droughts. *Nature Climate Change*, 8: 364. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0154-5>
- Teuling, A.J., 2018b: A forest evapotranspiration paradox investigated using lysimeter data. *Vadose Zone Journal*, 17: 170031. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.01.0031>
- Unold, G., Fank, J., 2008: Modular Design of Field Lysimeters for Specific Application Needs, *Water Air Soil Pollution. Focus*, 8: 233–242. <https://doi.org/10.1007/s11267-007-9172-4>
- Zhang, C., Lu, N., 2019: Unitary definition of matric suction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145: 02818004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002004](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002004)
- Zhang, Q., Wang, S., Yue, P., Wang, R., 2019: A measurement, quantitative identification and estimation method (QINRW) of non-rainfall water component by lysimeter. *MethodsX*, 6: 2873–2881. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.012>

### Internetes hivatkozások

- [1 – ufz.de] <https://www.ufz.de/>  
[2 – met.hu] [https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek\\_tanulmanyok/](https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/)  
[3 – agromo] <http://agromo.atk.hu/>  
[4 – Google Earth] <https://www.google.com/earth/>  
[5 – R-project.org] <https://www.R-project.org/>

---

### ORCID

- Incze D.  <https://orcid.org/0000-0003-0374-8842>  
Barcza Z.  <https://orcid.org/0000-0002-1278-0636>  
Fodor N.  <https://orcid.org/0000-0002-6460-1767>