



SOPRONI  
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI  
KAR



# JANKÓ SÁNDOR DÍJ KONFERENCIA 2025

KONFERENCIAKIADVÁNY

Szerkesztők: Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán

Technikai szerkesztő: Zagyvainé Kiss Katalin Anita



# JANKÓ SÁNDOR DÍJ KONFERENCIA 2025

## KONFERENCIAKIADVÁNY

Jankó Sándor Díj Konferencia 2025, Sopron, Hungary, 2025. június 16.

**Szerkesztők: Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Gribovszki Zoltán**

**Technikai szerkesztő: Zagyvainé Kiss Katalin Anita**



**SOPRONI EGYETEM KIADÓ**

**SOPRON, 2025**

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet (SoE)

**Felelős kiadó: Prof. Dr. Fábián Attila**

**a Soproni Egyetem rektora**

Szerkesztők: Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anita, Prof. Dr. Gribovszki Zoltán

Technikai szerkesztő: Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anita

Lektorok: Benedek Judit, Prof. Dr. Gribovszki Zoltán, Dr. Herceg András, Megyer-  
Muraközy Lili, Szalai Áron, Szász Botond

Fotó: Dr. Herceg András

ISBN 978-963-334-567-2 (pdf)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-567-2>

Támogató: Jankó Péter

A konferencia kiadvány a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

## Tartalomjegyzék

A Jankó Sándor Díjról .....	5
Díjazott hallgatók munkáin alapuló publikációk.....	6
UAV LiDAR adatok erdészeti célú vizsgálata a Naszály-hegy északi oldalán.....	6
A talajvíz és a vegetáció kapcsolatának feltárása az Ohati-erdőben.....	14
Hidrológiai kutatások támogatása geodéziai mérésekkel .....	20
Az Intézethez kötődő további publikációk .....	26
Egy égeres növekedésének hidro-meteorológiai összefüggései a Hidegvíz-völgyben ..	26
A Soproni Botanikus Kertben létesített párosított parcella hidrológiai adatainak értékelése .....	31
A Bükk törzsátmérő változásának mérése újszerű módszerrel, a vegetációs időszak kezdetén .....	37
A Domic-barlang Ördöglik részében (Szlovákia) található sértetlen, de sérülékeny állócseppkő részletes vizsgálata hosszútávú földrengés-veszélyeztetettségre vonatkozó határértékek megállapítása céljából .....	43
Jankó Sándor Díj Emlékplakett .....	53
Jankó Sándor szobra a soproni Botanikus Kertben .....	54

## **A Jankó Sándor Díjról**

A konferencia keretében emlékeztünk meg Intézetünk, a Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, jogelődje az egykori Erdészeti Földméréstani Tanszék vezetőjéről Jankó Sándorról.

A Jankó Sándor díjat Jankó Péter egykori professzorunk unokája alapította. A Díj alapításának célja Jankó Sándor professzor emlékének megőrzése, az Erdőmérnöki Karon, a geomatika, az erdőfeltárás és a vízgazdálkodás területén jó tanulmányi eredményt elért hallgatók jutalmazásával. A kitüntetésre azok pályázhatnak, akik:

- mesterszintű vagy osztatlan képzésben, az adott tanulmányi évben fejezik be tanulmányaikat és diplomamunkájukat a Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézetben készítették;
- doktorjelöltként az adott tanulmányi évben védtek meg a geomatika, vagy erdőfeltárás vagy a vízgazdálkodás területén készített PhD értekezésüket.

A Jankó Sándor Díj nyertesei előadásaiból az említett szakterületek jelenlegi kutatási témáiról tájékoztatást kaptunk, fókuszálva természetesen azokra az eredményekre, amelyeket a díjazottak értek el.

## **A konferencia menete**

Köszöntő

A díjban részesülő végzős hallgatók előadásai:

Apli Áron: UAV LiDAR adatok erdészeti célú vizsgálata a Naszály-hegy északi oldalán

Kele Zsombor: A talajvíz és a vegetáció kapcsolatának feltárása az ohati-erdőben

Nagy Péter Márton: Hidrológiai kutatások támogatása geodéziai mérésekkel

A Konferencia-kiadvány nem titkolt célja az is, hogy minden évben bemutasson az Intézetben folyó munkákból egy-egy szeletet, ami ugyan nem reprezentatív, hiszen nem fedi le a szerteágazó tématerületeket, de felkeltheti mind a hallgatók, mind a szakma és az Intézet kutatásai iránt érdeklődők figyelmét. Az előbbieket szerint a kiadvány tartalmazza azon kutatások bemutatását is, amelyeket az adott évben folyó vizsgálatok közül az intézet kollégái érdemesnek találtak a konferenciakiadványban történő megjelentetésre.

# UAV LIDAR ADATOK ERDÉSZETI CÉLÚ VIZSGÁLATA A NASZÁLY-HEGY ÉSZAKI OLDALÁN

APLI ÁRON, BROLLY GÁBOR, KIRÁLY GÉZA

Soproni Egyetem, Erdőmérnöki kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

aron.apli@gmail.com

## **Bevezetés**

A korszerű erdőgazdálkodás egyre inkább támaszkodik a digitális adatokra és a precíziós technológiákra. A pilóta nélküli léggépjárművek (UAV) és a hozzájuk kapcsolt távérzékelési eszközök – így a LiDAR rendszerek is – napjainkra az erdészeti alkalmazások egyik legdinamikusabban fejlődő területévé váltak. A lézerszkenneléssel előállított háromdimenziós pontfelhők új lehetőségeket nyújtanak az egyes fák szintjén végzett vizsgálatokra, az állományok szerkezetének pontosabb megismerésére, valamint a változások nyomon követésére. A drónalapú LiDAR technológia ugyan még nem terjedt el széles körben a közép-európai régióban, de egyre több erdőgazdaság érdeklődik a gyakorlati alkalmazhatósága iránt. Kérdés azonban, hogy milyen pontosságot nyújtanak ezek a rendszerek, és milyen korlátokkal kell számolni használatuk során.

A távérzékelés olyan adatgyűjtési és feldolgozási eljárás, amely során a vizsgált objektummal az adatgyűjtő nincs közvetlen fizikai kapcsolatban. Az információszerzés különböző eszközökkel és módszerekkel, eltérő távolságokból történhet (KIRÁLY 2007). Alapját az elektromágneses sugárzás képezi, amely egymásra merőleges elektromos és mágneses komponensekből áll. Az elektromágneses spektrum hullámhossztartománya szerint gamma sugárzás, röntgen, ultraibolya, látható fény, infravörös, mikrohullámú és rádióhullám tartományokra osztható.

A LiDAR (Light Detection and Ranging – fény érzékelés és távmérés) egy aktív távérzékelési rendszer, amely az elektromágneses spektrum ultraviola, látható és infravörös tartományában működik. Működési elve, hogy a kibocsátott lézersugarak kölcsönhatásba lépnek az objektumokkal, majd visszaverődnek. A kibocsátás és visszaverődés idejének mérése, a hullámok terjedési sebessége, valamint a szenzor helyének ismerete alapján háromdimenziós pozíciók számíthatók (VERŐNÉ 2010). A LiDAR impulzus energiája több objektumról is visszaverődhet, így egyetlen kibocsátásból több visszaverődés is rögzíthető. Ez különösen előnyös az erdészeti alkalmazásban, mivel a visszaverődések a lombkoronáról, törzsről és a talajról is szolgáltatnak információt (LOHANI 2008).

A technológia gyors adatgyűjtést, nagy pontosságot és növekvő költséghatékonyságot kínál. Lehetővé teszi az állományok állapotának rögzítését, ami alapvető fontosságú az ökoszisztémák természetes és antropogén változásainak követéséhez. Használható egyedi kutatási helyszíneken, hosszú távú monitorozásban állandó mintaterületeken végzett időbeli vizsgálatokhoz és az erdőgazdálkodási gyakorlatban is (BELAND és mtsai. 2019).

A kutatás célja az UAV-alapú távérzékelési adatok erdészeti célú alkalmazhatóságának vizsgálata volt. Különböző időszakokban végzett adatgyűjtések kiértékelésén, valamint a terepi és távérzékelési adatok összevetésén keresztül törekedtünk az automatizált és a manuális módszerek megbízhatóságának értékelésére, továbbá az adatrögzítések között elvégzett beavatkozások kimutatására. A vizsgálat célja az UAV-alapú LiDAR adatgyűjtés lehetőségeinek és korlátjainak bemutatása volt, egyben tapasztalatok nyújtása a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából.

### *Anyag és módszer*

A terepi felvételek helyszíne az Ipoly Erdő Zrt. Váci Erdészeti területén, a Naszály-hegy északi oldalán található. A kijelölt 33,91 hektáros terület nagy részét a Vác 14 B jelű erdőrészlet (22,82 ha) teszi ki, a feldolgozás is erre a területre készült. Az erdőrészlet természetvédelmi rendeltetésű, része a Natura 2000 hálózatnak, üzem módja átmeneti. A terület 250–300 m tszf. magasságon, 10–15°-os, északi lejtésen fekszik, fafajösszetétele változatos. Főfafaja a kocsánytalan tölgy, elegyfajként előfordul a bükk, magas kőris, korai juhar, nagylevelű hárs, gyertyán, valamint több más lombos fafaj is. A szálalóvágással kialakított lékekben tölgy, bükk, kőris és hárs újulat figyelhető meg.

Az alkalmazott eszközpark középpontjában a DJI Matrice 350 RTK típusú drón állt, amelyet az adatgyűjtések során különböző szenzorokkal szereltünk fel: a LiDAR felmérésekhez Zenmuse L1 érzékelőt, míg a fotogrammetriai felvételekhez Zenmuse P1 kamerát használtunk. A felmérés három adatgyűjtési alkalommal történt: az első lombmentes időszakban, fakitermelés előtt, a második lombos állapotban, fakitermelés után, azonban ez utóbbi nem adott megfelelő adatminőséget, így egy harmadik, ismét lombmentes repülésre is sor került.

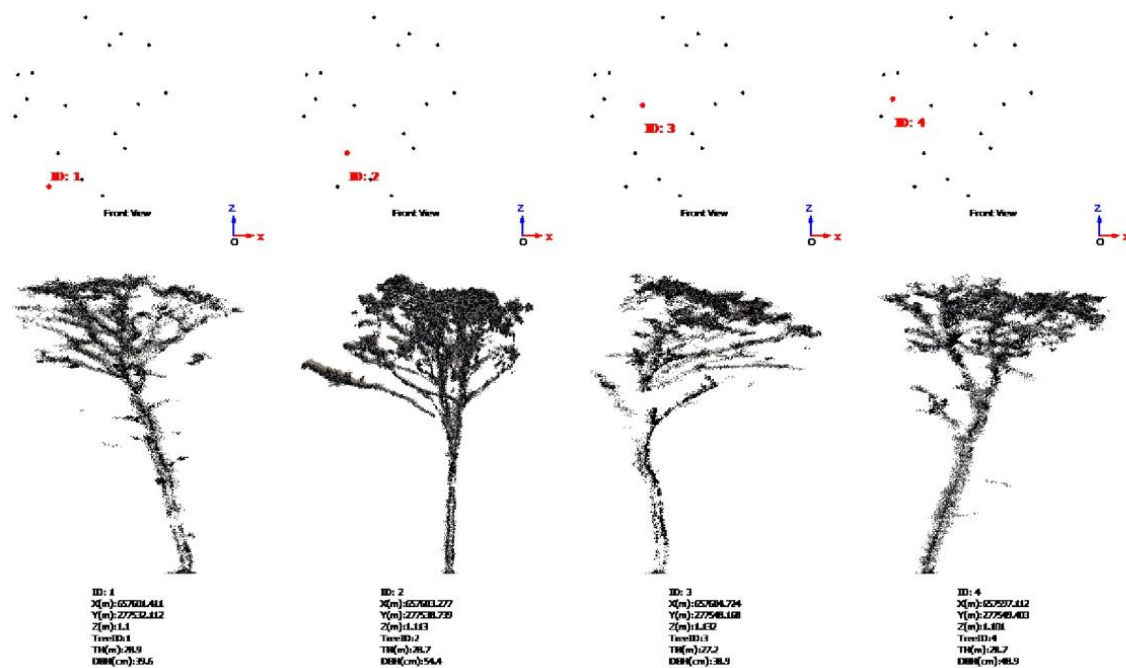
A kapott eredmények pontosságának ellenőrzése érdekében terepi méréseket végeztünk. Az előre meghatározott 1,5 hektáros mintaterületen három mintapontot jelöltünk ki, amelyek mindegyikében tíz fát rögzítettünk. A fák pozícióját GNSS vevő segítségével határoztuk meg, és dokumentáltuk azok átmérőjét, magasságát, fafaját, valamint a kiegészítő adatokat. Mintapontonként körlapösszeg-mérést is végeztünk.

Az adatfeldolgozást a DJI Terra szoftverrel kezdtük, amelyben a repülések során rögzített nyers adatokat georeferált pontfelhőkké alakítottuk. A pontfelhők feldolgozását a továbbiakban a LiDAR360 szoftverben végeztük. A DJI Terra szoftverből származó nyers pontfelhő adatokat importáltuk a programba, majd a különböző, egymásra merőleges repülések során rögzített pontfelhőket egyesítettük. Az adatokat a QGIS-ben előállított, a meghatározott területet 10 méteres ráhagyással ellátott poligonja alapján metsztük. Szabályos adatrítktást végeztünk 0,01 méter minimális ponttávolsággal, majd eltávolítottuk a kiugró pontokat. Ezt követően elvégeztük a tereppontok osztályozását.

A LiDAR360 moduláris felépítésű, dedikált erdészeti moduljában folytattuk a további adatfeldolgozást. Digitális domborzatmodell (DDM) és borított felszínmodell (BFM) állítottunk elő IDW interpolációval, 0,5 méteres felbontással, majd ezek különbségéből kiszámítottuk a normalizált borított felszínmodell (nBFM). A pontfelhő normalizálását a tereppontok alapján hajtottuk végre lombmentes időpontok adatai esetében. Lombos állapotban készült repülés és fotogrammetriai pontfelhők esetén a DDM-et használtunk.

A további elemzést először az 1,5 ha-os mintaterületen végeztük, ahol háromféle módszerrel generáltunk tőpontokat (seed point): nBFM alapján (Reverse Watershed), rétegezési módszerrel (Layer Stacking), valamint manuálisan, a mellmagassági átmérők körillesztéssel való meghatározásával. Ezt követően a pontfelhőket a tőpontok segítségével szegmentáltuk. A szegmentálás után pontosítottuk az eredményt (téves pontok eltávolítása, koronahatárok korrekciója), majd egyes faegyedekre vonatkozó jelentést generáltunk (1. ábra).

A nagyobb területre, a Vác 14 B erdőrészletre való kiterjesztés során a teljes feldolgozást kizárólag a pontosabb eredményt adó algoritmus alapú módszerrel, a rétegezési tőpontgenerálás alkalmazásával végeztük. Továbbá meghatároztuk egy méteres felbontásban az állomány záródását.



1. ábra A jelentés részlete

### Eredmények

A pontfelhők sűrűsége és minősége jelentősen eltért a felmérési módszer és a vegetációs állapot függvényében (1. táblázat).

1. táblázat A pontfelhők pontszáma és sűrűsége a különböző időpontokban

Pontfelhő	Időpont - állapot	Pont (db)	Sűrűség (db/m <sup>2</sup> )
LiDAR pontfelhő	Használat előtt - lombmentes	379 563 952	1 529
	Használat után - lombos	263 087 844	1 060
	Használat után - lombmentes	395 859 827	1 595
Fotogrammetriai pontfelhő	Használat előtt - lombmentes	29 325 010	118
	Használat után - lombos	79 926 919	322

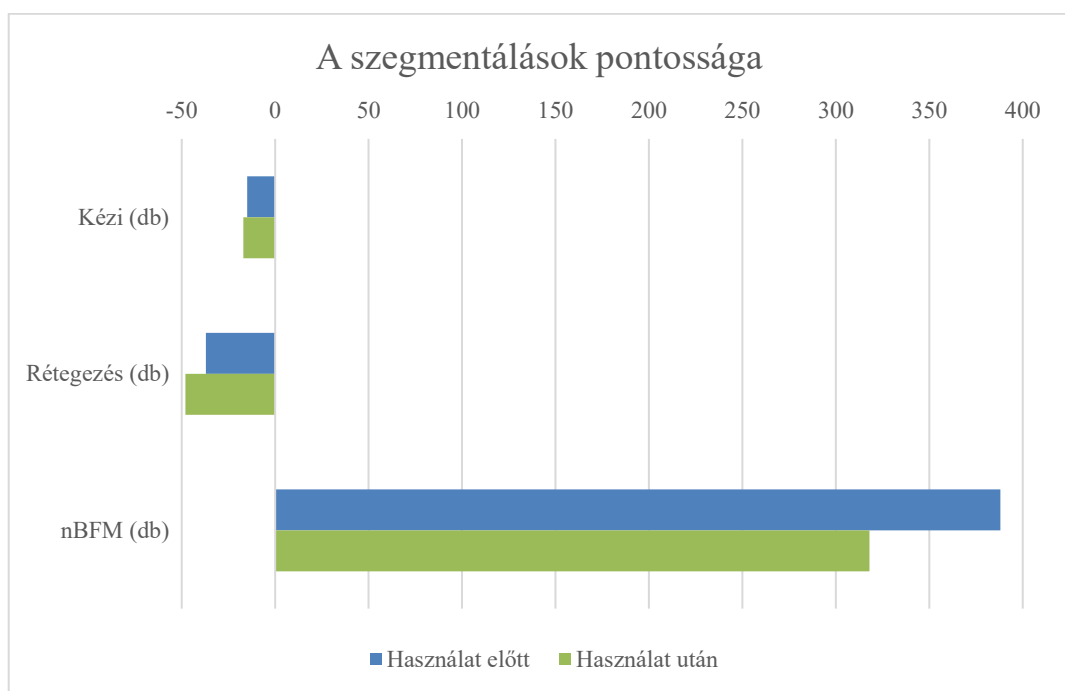
A lombmentes időszakban végzett LiDAR-felmérés sűrűsége meghaladta az 1500 pont/m<sup>2</sup>-t, a fotogrammetriai pontfelhők térbeli elhelyezkedése és teljessége, technikai és környezeti okok miatt nem bizonyult megfelelőnek. A lombos időszakban a sűrű lombzat tovább csökkentette az adatok használhatóságát. A LiDAR-pontfelhő sűrűsége több mint háromszorosa volt a fotogrammetriai eredményeknek, így a továbbiakban csak a LiDAR-alapú adatok elemzésének eredményeit ismertetjük.

Az 1,5 hektáros mintaterületen végzett egyesfa szegmentálás során a kézzel meghatározott mellmagassági átmérők alapján történő feldolgozás esetében az első lombmentes repülés (1\_L1) kevesebb fát azonosított, mint a harmadik (3\_L1), annak ellenére, hogy időközben 25 egyedet kitermeltek. A két lombmentes pontfelhő (1\_3\_L1) összevonásával részletesebb adatokhoz jutottunk, és az összevont szegmentálás során már csak 15 fával sikerült kevesebbet felismerni. A lombos állapotban (2\_L1) készült felvételeken a sűrű lombkorona jelentős zajt eredményezett a pontfelhőben, ami rontotta a szegmentálás eredményét (2. táblázat).

2. táblázat Különböző szegmentálási eljárásokkal beazonosított fák száma

	1_L1	1_3_L1	2_L1	3_L1
<b>Tőpontok száma (db)</b>	253	253	228	228
<b>Szegmentálás:</b>				
<b>Kézi (db)</b>	199	238	40	211
<b>Rétegezés (db)</b>	216	-	199	180
<b>nBFM (db)</b>	641	-	478	546

Az nBFM-alapú szegmentálás a mintaterületen a valósnál lényegesen több fát azonosított, ehhez képest a rétegezéses módszer jóval pontosabbnak bizonyult. A kettő lombnélküli repülése esetén 15%-kal, illetve 22%-kal azonosított kevesebb fát (2. ábra).



2. ábra A beazonosított fák száma a használat előtt és után

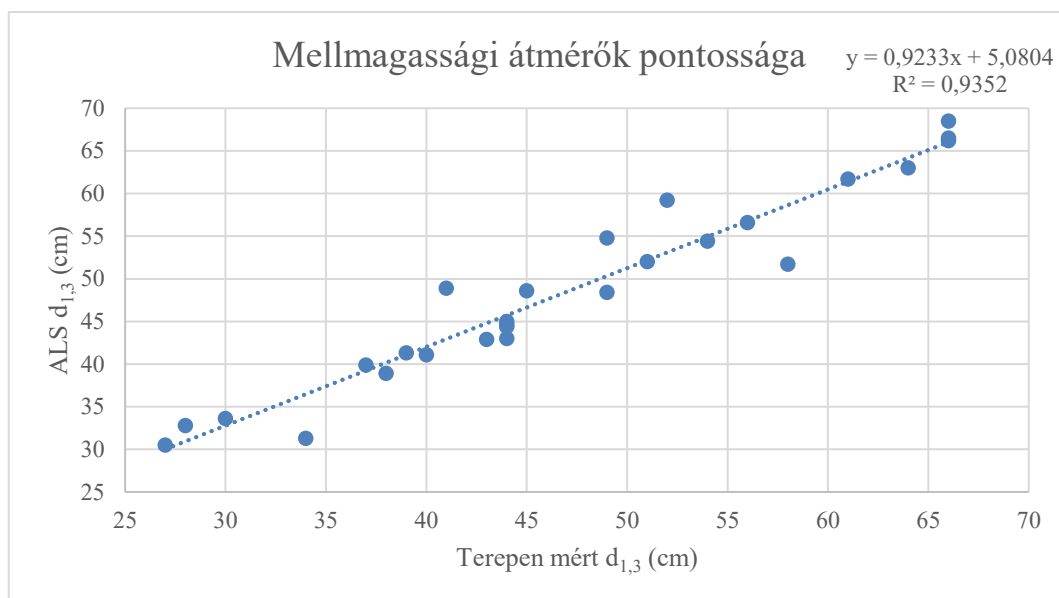
Az eredmények alapján megállapítható, hogy a pontsűrűség növelése önmagában javítja a szegmentálást, ugyanakkor a túl sok zajt tartalmazó pontfelhő rontja az azonosítás pontosságát.

A **mellmagassági átmérők** meghatározását, kézi kijelölés alapján tudtuk elvégezni, mivel az algoritmus nem talált elegendő pontot a körillesztéshez. Ennek következtében a különböző repülésekhez tartozó szegmentálásoknál az átmérőadatok megegyeztek, eltérések csak a beazonosított egyedek számában jelentkeztek. A mintaterületen belül három mintaponton ellenőriztük a pontosságot. A három mintaponton összesen 31 fát rögzítettünk, ezek közül az első repülésnél 7, a harmadiknál 6, az összevont pontfelhőnél pedig már csak 5 fát nem sikerült azonosítani. A hiányzó egyedek jellemzően alászorult, második lombkorona szintben lévő, vékonyabb vagy ferde fák voltak, illetve az esetenként sűrűbb aljnövényzet is nehezítette a mellmagassági átmérő meghatározását.

A két lombmentes állapotban végzett repülés pontfelhőjének összevonása után a meghatározott mellmagassági átmérők átlagos eltérése 5,5 cm-es túlbecslést eredményezett. Az átlagos abszolút eltérés 9,7 cm, a hibák négyzetes középértéke 13,2 cm lett. Kontrolláltabb mérésekkel, a körillesztések folyamatos térbeli ellenőrzésével is elvégeztük

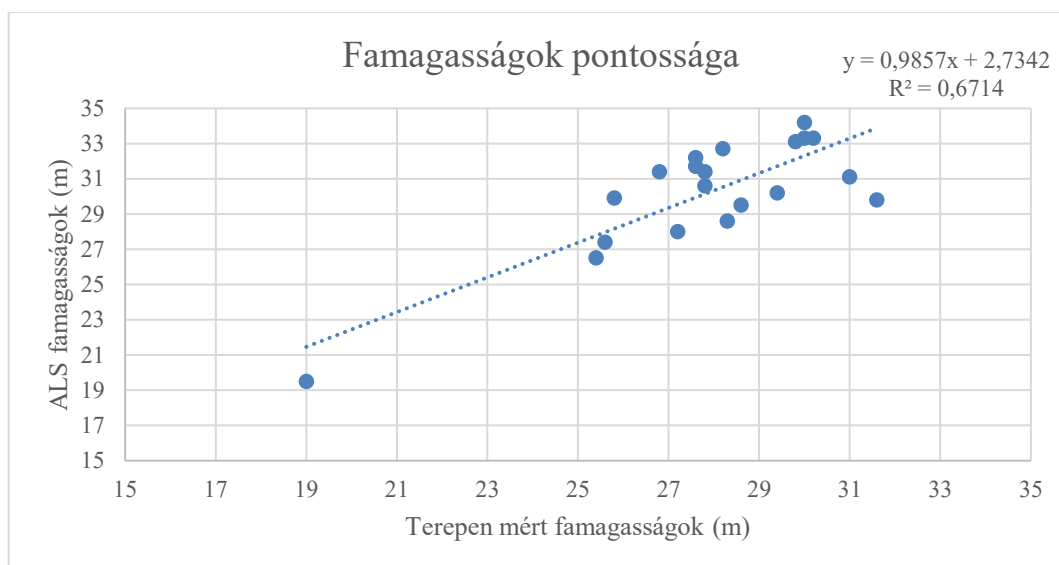
az átmérők beazonosítását, ekkor már csak 4 fát nem sikerült azonosítani, és a pontosság jelentősen javult: az átlagos eltérés 1,5 cm, az abszolút eltérés 2,3 cm, a hibák négyzetes középértéke pedig 3,2 cm lett.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy kontrolláltabb mérésekkel – vagyis több időráfordítással és manuális munkával – nagy pontosságú eredmények érhetők el (3. ábra), de alapvető feltétel a kiindulási adatok minősége.



3. ábra Pontosabb szegmentálással kapott  $d_{1,3}$  a terepi mérések függvényében

A **faegyedek magassági** értékei automatikusan meghatározásra kerültek a szegmentálás során. A magasságadatok pontossága döntően a szegmentálás minőségétől függött. Az átlagos eltérés 2,6 m, az átlagos abszolút eltérés 3,1 m, míg a hibák négyzetes középértéke 3,7 m lett. A kézi tőpont kijelölés nem hozott jelentős javulást a magasság meghatározásában.



4. ábra A szegmentálás famagassági eredményei a terepi mérések függvényében

A rétegzéses módszerrel végzett szegmentálás során keletkezett kisebb és konzisztens hibák arra utalnak, hogy ebben az esetben az egyértelműen azonosítható fák kerültek be, míg

a nehezen detektálható példányok – például az alsóbb lombkoronaszintben vagy sűrű aljnövényzetben lévők – gyakrabban kimaradtak.

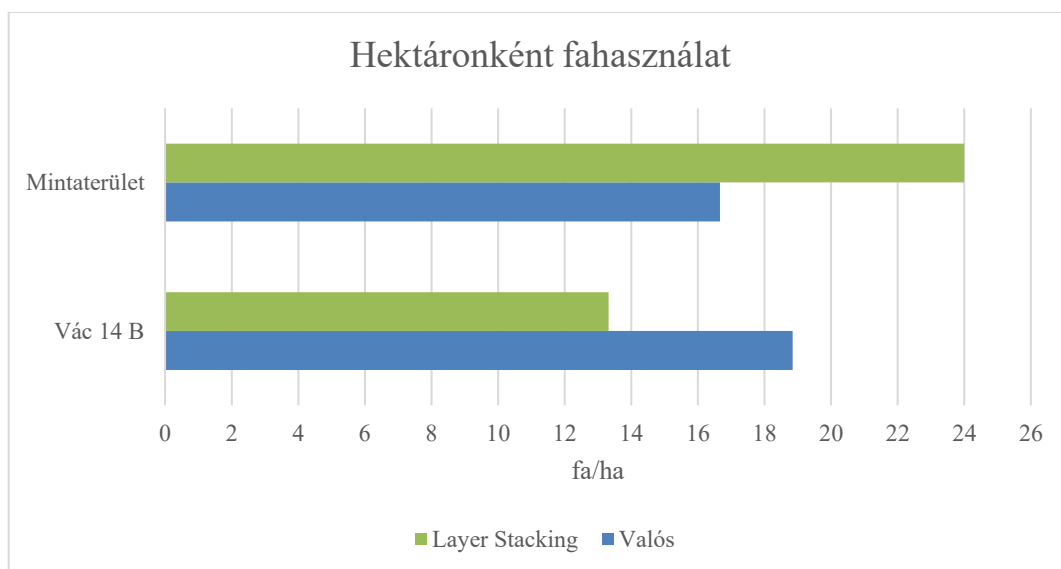
A terepi és pontfelhőalapú mérések közötti eltérések részben a terepi magasságmérés bizonytalanságából, részben pedig a szegmentálás hibáiból adódtak. A terepi mérések jellemzően alacsonyabb értékeket mutattak (4. ábra), ugyanakkor a feldolgozott pontfelhő lehetővé tette a nagy pontosságú magasságmeghatározást, főként a felső lombkoronaszint esetében. Összességében a kapott magassági adatok – a hibák konzisztens jellege és az alkalmazott mérési eljárások sajátosságai miatt – jól reprezentálják a valós állományt.

A **körlapösszeg** meghatározása során a pontfelhőből származó mellmagassági átmérőket az adott repüléshez illesztett trendvonal egyenletével korrigáltuk. A módosított átmérők alapján a körlapösszeg a használat előtt 30,4 m<sup>2</sup>/ha, használat után 26,5 m<sup>2</sup>/ha lett. Az eredmények validálására csak a használat utáni állapothoz álltak rendelkezésre adatok, ahol az 1,5 hektáros területen mért érték 27,7 m<sup>2</sup>/ha volt, ami 4%-os eltérést jelentett a feldolgozott adatokhoz képest. A körlapösszeg számítása kizárólag a beazonosított egyedek átmérőin alapult, így a szegmentálás során ki nem mutatott fák nem jelentek meg az összesített értékben, ennek következtében a számított körlapösszeg alacsonyabb lett.

A mintaterületen az egyes fák meghatározásához a két algoritmus alapú módszer közül a rétegezési eljárás bizonyult megbízhatóbbnak, így a teljes erdőrészlet feldolgozását is ezzel végeztük.

Bár a szálalóvágás nem egyenletesen érinti az erdőrészletet, az összehasonlíthatóság érdekében a kivágott fák számát hektárra vetítve értékeltük.

A mintaterületen hektáronként 7 darabbal több fát sikerült azonosítani, mint amennyi ténylegesen kivágásra került, míg a teljes erdőrészlet esetében a fatömegbecslési jegyzőkönyv alapján hektáronként 6 darabbal kevesebbet (5. ábra). Az ellentétes irányú eltérés hátterében a terület heterogenitása, sűrű aljnövényzete és az újulat áll, amelyek a kisebb mintaterületen nagyobb hatással vannak az eredményekre, míg nagyobb területen ezek hatása részben kiegyenlítődik.

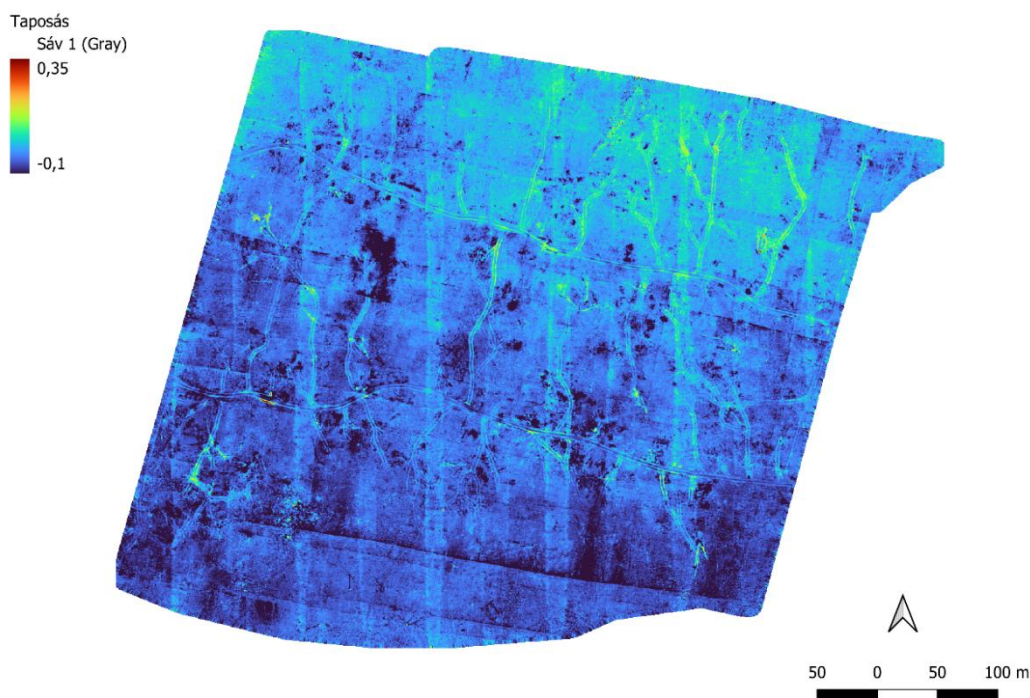


5. ábra A hektáronként kivágott egyedek száma

A **fakitermelés** hatásai a domborzatmodellek alapján jól kimutathatóak voltak. A digitális domborzatmodell pontossága a tereppontok mennyiségétől és egyenletes eloszlásától függött. Lombos állapotban, illetve fotogrammetriai pontfelhők esetében a pontsűrűség nem

volt elegendő, így a DDM-en kicsúcsosodások jelentkeztek. Lomb nélküli állapotban azonban részletes felületmodell volt készíthető. A használat előtti és utáni DDM-raszterek különbsége alapján jól azonosíthatóvá vált a talajbolygatás mértéke és a közelítőnyomok helye (6. ábra). A BFM és az nBFM segítségével kimutathatók voltak a lombkoronaszint változásai, illetve ez egyedek magassági tulajdonságai.

### A terep változása a használat után



6. ábra A taposás mértéke (méter)

A **záródás** egy méteres felbontású raszter alapján, a használat előtti 79,1%-ról 70,8%-ra csökkent. Ez a 8,3%-os záródáscsökkenés összhangban van a koronaszintben észlelt eltérésekkel, és jól tükrözi az állomány szerkezeti változását.

#### **Következtetések**

A Naszály-hegy északi oldalán végzett UAV-alapú LiDAR adatgyűjtés eredményei azt mutatják, hogy a technológia alkalmas egyesfa szintű erdészeti vizsgálatokra, azonban alkalmazása komoly szakmai felkészültséget és jelentős adatfeldolgozási erőforrásokat igényel. A vizsgált terület heterogén állománya miatt nem bizonyult ideálisnak, ami megnehezítette az adatfeldolgozást és csökkentette az eredmények megbízhatóságát.

A szegmentálás minősége kulcsfontosságú volt minden további paraméter pontossága szempontjából, legyen szó az átmérő, a magasság vagy a körlapösszeg meghatározásáról. Az automatikus eljárások fejlettsége ellenére a pontos eredmények eléréséhez elengedhetetlen az emberi kontroll és az utólagos kézi korrekció. A záródás vagy a fakitermelés utáni állapotváltozások, jól követhetőek voltak a több időpontban gyűjtött adatok segítségével.

A kutatás igazolta, hogy a légi lézerszkennelés alkalmas lehet az erdőgazdálkodási beavatkozások nyomon követésére, a természetvédelmi kezelések dokumentálására, valamint a hosszú távú állományváltozások monitorozására. Ugyanakkor az eredmények pontosságát alapvetően befolyásolja az alkalmazott szegmentálási technika, a pontfelhő

minősége, valamint az állomány szerkezeti sajátosságai. A jövőben a technológia további fejlődésével, a szoftveres eljárások finomodásával és a terepi adatokkal történő integrált feldolgozással az UAV-alapú LiDAR az erdőgazdálkodás egyik korszerű, megbízható eszközévé válhat.

### ***Irodalomjegyzék***

- BELAND, M. – PARKER, G. – SPARROW, B. – HARDIG, D. – CHASMER, L. – PHINN, S. – ANTONARKIS, A. – STRAHLER, A. (2019): On promoting the use of lidar systems in forest ecosystem research. 4-6, 15-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117484>
- KIRÁLY G. (2007). A távérzékelés erdészeti alkalmazása. Doktori (Phd) értekezés, 17-24. Sopron.
- LOHANI, B. (2008). Airborne Altimetric LiDAR: Principle, Data collection, processing and Applications. 3, 6, 7.
- VERŐNÉ W. M. (2010). Fotointerpretáció és távérzékelés 3.: A lézer alapú távérzékelés. 3-4. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. Székesfehérvár.

# A TALAJVÍZ ÉS A VEGETÁCIÓ KAPCSOLATÁNAK FELTÁRÁSA AZ OHATI-ERDŐBEN

KELE ZSOMBOR, GRIBOVSZKI ZOLTÁN, KALICZ PÉTER

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Soproni Egyetem, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

G6N2IY@uni-sopron.hu

## **Bevezetés**

Az éghajlat változásából fakadóan Magyarországon – különösen az Alföldön – egyre gyakoribb és súlyosabb aszályok jelentkeznek. A meteorológiai elemzések az elmúlt évtizedekben jelentős szárazodást és melegedést mutattak, ami a jövőben várhatóan tovább erősödik (Pálfai, 2010). Az Alföld síkvidéki erdei különösen ki vannak téve a klímaváltozás hatásainak, fennmaradásuk sok helyen elképzelhetetlen a felszínközeli talajvíz folyamatos utánpótlása nélkül. Mivel a csapadék a vegetációs időszakban gyakran nem elegendő a zárt erdőállományok fenntartásához, a talajvíz és az erdők közötti kapcsolat kutatása kiemelt fontosságúvá vált. Ennek ellenére e témában még mindig hiányosak az ismereteink, és a meglévő eredmények is többnyire helyspecifikusak. Az utóbbi években ráadásul az emberi tevékenység és a klímaváltozás hatására folyamatosan süllyed a talajvízszint, így kulcskérdés megérteni, milyen szerepe van ebben a folyamatban az erdőnek, vagyis milyen mélységből és mértékben használja fel a rendelkezésére álló vízforrásokat.

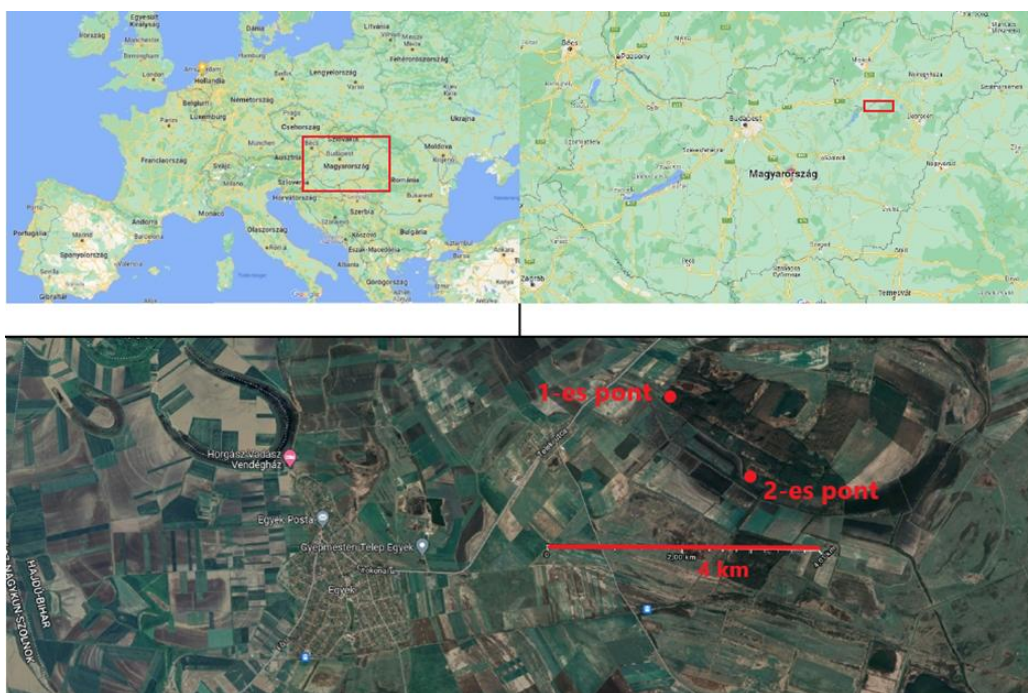
A jelen cikk a Hortobágy peremén található Ohati-erdő esetében vizsgálta a talajvíz és az erdei vegetáció közötti kapcsolatot. Az Ohati-erdő egy reliktum sziki tölgyes, amely egykor kiterjedt ártéri ligeterdők maradványa (Gencsi, 2008). Fontos kérdés, hogy a jelenlegi erdőállomány milyen mélyről képes vizet felvenni, illetve hogyan befolyásolja a meteorológiai helyzet (csapadék, hőmérséklet) a talajvízszint és a vegetáció kölcsönhatását. Az erdészeti termőhelyosztályozás jelenleg csak az áprilisi 220 cm-nél sekélyebb talajvizet tekinti hasznosítható többletvíz-forrásnak, ezért külön figyelmet fordítottunk arra, hogy az erdő vajon ennél jóval mélyebb talajvíz esetén is folytat-e jelentős vízfelvételt.

A kutatás célja az Ohati-erdő talajvíz–vegetáció kapcsolatának feltárása, különös tekintettel arra, hogy a talajvíz süllyedésével milyen változások figyelhetők meg az erdő vízfogyasztásában. E cél elérése érdekében a következő részcélok kerültek meghatározásra:

- A talajvízszint napi ingadozásának elemzésével megbecsülni, hogy az erdőállomány maximálisan milyen mélységből képes hatékonyan vizet felvenni.
- A talajvízszint és a növényzet vízfogyasztásának összefüggéseit vizsgálni különböző meteorológiai tényezők (hőmérséklet, csapadék) függvényében.
- Az erdő vízfogyasztásához kapcsolódó további paraméterek – különösen a talajvíz napi visszatöltődése (utánpótlódása) és a fajlagos hozam (Sy) – meghatározása a mérési adatok alapján.
- A talajvízszint-ingadozáson alapuló White-féle módszer alkalmazásával és különböző párolgásbecslési eljárások segítségével (Hamon-módszer, Varga–Haszonits-féle módszer, távérzékelte párolgásbecslés) megbecsülni a fajlagos hozam (Sy) értékét, és megvizsgálni, milyen pontossággal alkalmazhatók ezek a módszerek az adott területen.

## *Anyag és módszer*

Két darab megfigyelő talajvízkút létesült 2021 tavaszán a kutatási területen, egymástól ~1,5 km távolságra (1. ábra). A kutak 5 cm átmérőjű PVC csővel bélelték, utolsó 2 méterük szűrőzött. A kútvízszintek mérésére DA-S-LTRB 122 típusú adatgyűjtőket telepítettek, amelyek 10 percenként regisztrálták a pillanatnyi talajvízszintet (Kiss, 2022). Az adatrögzítők folyamatosan (néhány rövid kimaradástól eltekintve) üzemelnek, és 2021 óta folyamatos idősor áll rendelkezésre a talajvízszint napi ingadozásairól. A két kút nagyon hasonló erdőállományi és domborzati környezetben található, így a kapott adatsorok jól összehasonlíthatók egymással.



*1. ábra Az Ohati erdő és a kutak elhelyezkedése*

A meteorológiai adatokat az erdőhöz közeli egyeki automata aszálymonitoring-állomás szolgáltatta. Mivel ez utóbbi karbantartás híján bizonytalan adatminőségű lehet, az egyeki állomás napi csapadék- és hőmérsékleti adatsorait összevetettük a körülbelül 55 km-re lévő debreceni mérőállomás hosszú távú adataival. Az összehasonlítás alapján az egyeki állomás adatai megfelelően megbízhatónak bizonyultak, csak kisebb eltérések mutatkoztak a csapadék mérésekben a két hely között. A vizsgálat kiterjedt távérzékelte adatok felhasználására is: a NASA MODIS műhold 8 napos felbontású ET (evapotranszspiráció) és PET (potenciális evapotranszspiráció) termékeit töltöttük le az APPEARS platform segítségével, ami 500 m-es pixelmérettel szolgáltat párolgásadatokat. Mivel az Ohati-erdő nagy egybefüggő erdőtömb, ez a felbontás elegendő volt ahhoz, hogy az erdő egészére jellemző párolgási értékeket nyerjünk.

A talajvízből származó párolgás mennyiségét a White-féle módszerrel határoztuk meg (WHITE 1932). Ez a módszer a talajvíz napi színtingadozásait használja fel az erdő vízfogyasztásának becslésére. Alapfeltevése, hogy az éjszakai órákban (jellemzően éjfél és hajnali 4 óra között) a növények transzspirációja elhanyagolható, így ebben az időszakban a talajvízszint emelkedése a talajvíztér visszatöltődését mutatja. A visszatöltődés üteméből kiindulva kiszámítható, hogy 24 óra alatt mekkora vízszintemelkedés (24r) következne be, ha a növényzet nem fogyasztana vizet. Az erdő napi vízkivételét a módszer úgy adja meg,

hogy az így számított  $24r$  értéket korrigáljuk az egymást követő napok éjféli vízszintkülönbségével ( $s$ ), és figyelembe vesszük a talaj fajlagos vízleadó képességét, azaz a  $Sy$  (specific yield) paramétert. A White-képlet egyszerűen:

$$ET_{GW} = Sy \times (24r + / - s)$$

Ahol  $ET_{GW}$  a talajvízből származó napi párolgás (mm),  $24r$  a napi visszapótlódás elméleti magassága (mm),  $s$  pedig a két egymást követő éjféli vízszint különbsége (mm). A módszer alkalmazása során kulcsfontosságú a  $Sy$  értékének helyes meghatározása, mert ez határozza meg, hogy a talajvízszint ingadozásából mennyi vízfelvétel számítható.

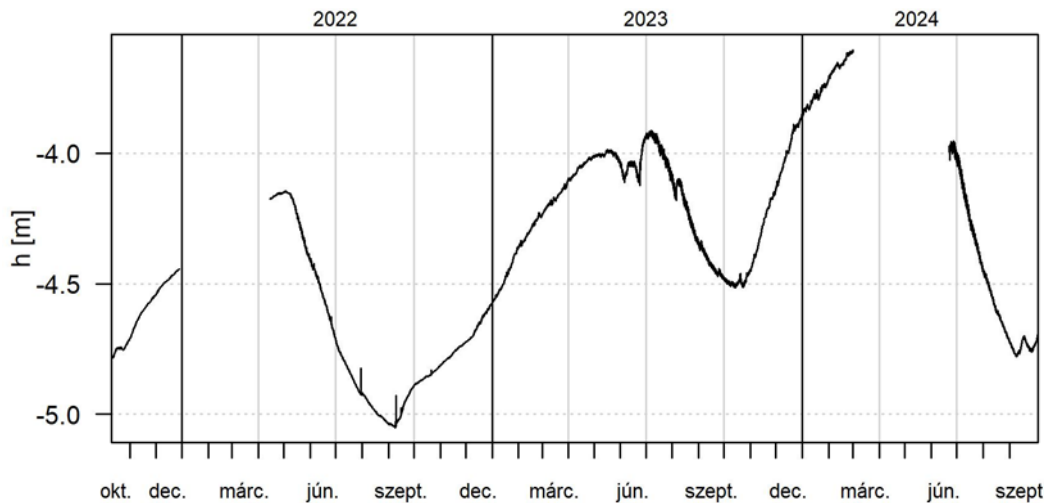
A fajlagos hozam ( $Sy$ ) becslésére több megközelítést alkalmaztunk párhuzamosan: (1) a kutak fúrásokor vett talajminták szemcseeloszlásának laboratóriumi elemzése alapján becsültünk  $Sy$  értéket, (2) a MODIS távérzékelte párolgási adatok és a White-módszer szerinti visszatöltődés hányadosából számítottunk  $Sy$ -t, továbbá (3) két hagyományos empirikus párolgásbecslő módszer (a Hamon-féle formula és a Varga-Haszonits-féle módszer) segítségével kapott evapotranszpirációs értékeket vetettük össze a talajvízszint visszatöltődésével. A Hamon-módszer (HAMON 1963) a potenciális evapotranszpiráció becslésére szolgál a hőmérséklet és a nappalok hosszának függvényében, míg a Varga-Haszonits-módszer (DUNAI et al. 1968, 1969) a napi átlaghőmérséklet és relatív nedvesség alapján ad közelítést a tényleges párolgásra. Ezen módszerekkel kiszámoltuk a vizsgált időszakok napi párolgásértékeit, majd elosztottuk őket a White-módszerrel számított napi talajvíz-visszatöltődéssel, így közvetetten meghatározhatóvá vált az  $Sy$  (ha a számított párolgás illeszkedik a talajvízszint emelkedéshez). Az így kapott  $Sy$  értékeket összehasonlítottuk a szemcseeloszlás alapján becsült  $Sy$ -vel, hogy felmérjük az egyes módszerek megbízhatóságát.

### ***A vizsgálat eredményei***

A talajvízszint alakulása az Ohati-erdőben erősen függött az éves csapadékviszonyoktól. A 2021 ősztől 2024 tavaszáig rögzített adatsorban a talajvíz mélysége 3,5 m és 5,2 m között változott. A téli félévekben a talajvízszint lassú emelkedést mutatott (ez a visszatöltődési periódus), míg a nyári időszakokban folyamatos süllyedés volt tapasztalható a növényzet párologtatása miatt. A két megfigyelőkút adatai nagyon hasonló trendeket mutattak, ezért a részletesebb elemzéseket a második kútra fókuszálva végeztük. A 2022 nyarán bekövetkezett rendkívüli aszály hatására a talajvízszint szeptemberre a mérési periódus legmélyebb szintjére, 5,2 m mélységbe süllyedt. Ezzel szemben a 2023-as év csapadékosabb volt: a 2022–23-as hidrológiai évben 1,0–1,1 m talajvízszint-emelkedés történt a téli csapadék hatására, szemben az előző év 0,4–0,6 m értékével. Sőt, 2023 nyarán az aktív vegetációs időszak ellenére jelentős visszatöltődés ment végbe a szokatlanul bőséges júliusi esőzések nyomán. Ennek eredményeként 2023 ősziére a talajvíz az utóbbi évek legmagasabb szintjére, kb. 3,5 m mélységbe emelkedett.

A talajvízszint napi ingadozásaiból számított erdővízfogyasztás jól mutatta, hogy az erdőállomány milyen mértékben képes hasznosítani a mélyebben lévő vízkészletet. 2022 tavaszán, amikor a talajvíz 4 m körüli mélységben volt, a napi talajvízszint-ingadozás amplitúdója elérte a 4–6 cm-t, ami jelentős napi vízfogyasztásnak felel meg. Ahogy azonban a nyár folyamán a vízszint egyre mélyebbre került, az amplitúdó fokozatosan csökkent, jelezve, hogy a fák vízfelvétele limitálódik a csökkenő hozzáférhetőség miatt. 2022 augusztus-szeptemberében, amikor a talajvíz 4,9–5,0 m mélységig süllyedt, a napi vízszint-ingadozás már csak néhány milliméter volt. Ez azt jelenti, hogy ebben az időszakban a növényzet napi vízkivétele mindössze tizede volt a korábbi, magasabb vízszintnél tapasztalt értéknek. E megfigyelés alapján az Ohati-erdő tölgyese hozzávetőleg 4,4–4,6 m mélységig

képes érdemben hasznosítani a talajvizet; ha a víz ennél mélyebbre süllyed, az erdő vízfogyasztása drasztikusan visszaesik. Ez a maximális gyökérmélység és vízhozzáférés szempontjából fontos eredmény, mivel a gyakorlatban eddig csak 2,2 m-ig vették figyelembe a talajvíz szerepét. Az eredmények rámutatnak, hogy az erdő vízfogyasztása szorosabban korrelál a talajvíz elérhetőségével, mint a hőmérséklettel. A vegetációs időszak során a növényi vízfelvétel nem nőtt folyamatosan a melegedéssel; sőt, nyár végére csökkent, hiába volt magas a léghőmérséklet, mert a mélyebbre kerülő talajvízből a fák már kevesebbet tudtak felvenni.



2. ábra Talajvíz-idősor a kettes kútban

A meteorológiai tényezők hatását is megvizsgáltuk a talajvíz–vegetáció rendszerre (2. ábra). 2022-ben, az extrém száraz nyáron a csapadékhány miatt a talajvíz folyamatosan apadt, és a napi párolgás jellemzően a tavaszi maximum után csökkenő trendet mutatott. 2023 nyarán viszont a szokatlanul sok csapadék több alkalommal is megszakította a talajvíz süllyedését, és átmeneti emelkedést okozott a vízszintben, amit a fák ki is használtak (ilyenkor a napi amplitúdó ideiglenesen ismét növekedett). A 2022–23-as csapadékdús tél hatása is megmutatkozott: a bőséges téli-tavaszi feltöltődés következtében 2023-ban az erdő jobb vízellátottsági alapállapottal indulhatott neki a nyárnak, ami késleltette a vízstressz kialakulását a fákban. Ugyanakkor 2023 végére a vízszint újból magasra került (3,5 m), ami arra utal, hogy a rendszer részben regenerálódni tudott az aszály után, feltéve, hogy elegendő csapadék érkezik.

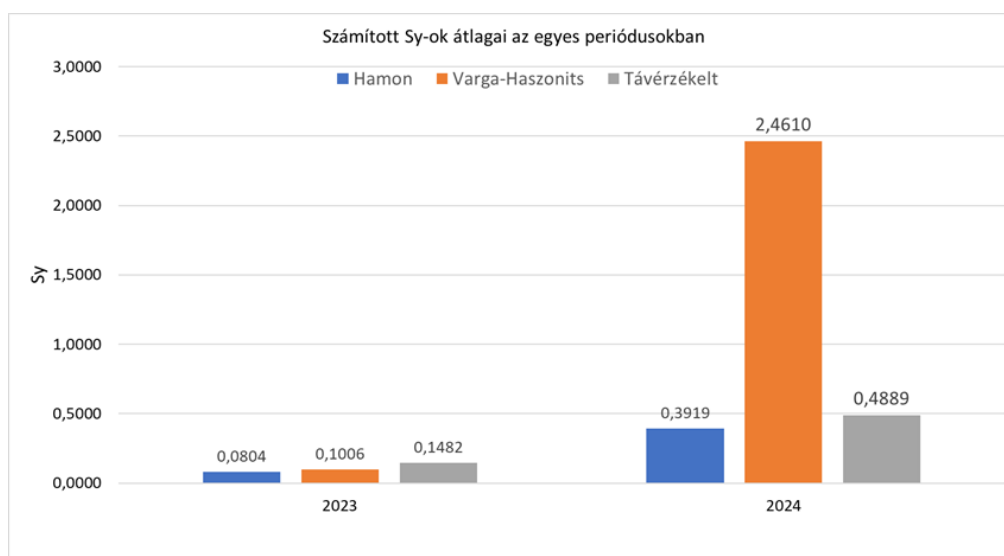
A fajlagos hozam ( $S_y$ ) meghatározása terén érdekes eredményeket kaptunk. A kutak talajmintáinak laboreredményei alapján az ohati talaj  $S_y$  értéke kb. 0,085 (azaz a talajtérfogat 8,5%-a tekinthető könnyen üríthető gravitációs víznek). Amikor a MODIS távérzékelte PET-adatok és a White-módszerrel számított visszatöltődés alapján kalkuláltuk az  $S_y$ -t, hasonló nagyságrendet kaptunk, és a Hamon-módszerrel becsült evapotranszpiráció is jó egyezést mutatott ezzel. Ezzel szemben a Varga–Haszonits-módszer alkalmazásával kapott  $S_y$  értékek gyakran szélsőségesen magasak lettek, és csak bizonyos időszakokban adtak reális eredményt. Ennek oka feltehetően az, hogy a Varga–Haszonits formula az ohati körülmények között (magas nyári hőmérséklet, időszakos száraz levegő) túlbecsüli a párolgást, így a talajvízszint emelkedéshez viszonyítva indokolatlanul nagy vízkivételt jelez. Ez a módszer tehát csak speciális esetekben alkalmazható megbízhatóan, míg a Hamon és a

műholdas adatok integrálása sokkal stabilabb becslést adott az erdő vízfogyasztására és Sy értékére.

### ***Vizsgált eredmények értékelése, következtetések***

Az Ohati-erdőben végzett vizsgálat eredményei rávilágítanak arra, hogy az alföldi erdők jelentős mértékben támaszkodhatnak a talajvízre vízforrásként, még hozzá sokkal mélyebbről is, mint azt a korábbi gyakorlat feltételezte. A kapott adatok szerint a tölgyes állomány akár 4,5–5 m mélységből is képes vízutánpótláshoz jutni, jóllehet 5 m körül a vízkivétel már erősen korlátozott. Ez jelentősen meghaladja a hazai erdőgazdálkodásban hagyományosan figyelembe vett 2,2 m-es talajvízmélységet, ami azt sugallja, hogy a talajvíz szerepét alulbecsüljük az erdők vízháztartásában. Különösen a klímaváltozás hatására várhatóan gyakoribbá váló hosszú aszályos időszakok esetén kritikus az a mélység, ameddig a faállomány még eléri a talajvizet. Ha a víz ennél mélyebbre süllyed és tartósan ott is marad, az idősebb fák nem tudnak utánonövekedni a gyökereikkel, így az állomány kiszáradhat vagy legyengülve kártevőknek, betegségeknek eshet áldozatul.

Kezelési szempontból eredményeink azt üzenik, hogy az erdők vízellátottságának fenntartása érdekében figyelemmel kell kísérni a talajvízszint alakulását, és szükség esetén beavatkozni. A talajvízszint napi fluktuációinak elemzése egyszerű, de hatékony eszköz lehet az erdei vízfogyasztás nyomon követésére. Ha a napi ingadozás lecsökken, az jelezheti, hogy a fák gyökerei kimerítették az elérhető vízkészletet. Ilyen esetben vízpótló intézkedéseket lehet fontolóra venni, hogy a talajvízszintet az ökológiai küszöbérték fölé tartjuk.



3. ábra Számított Sy-ok átlagai a 2023-as és 2024-es vizsgált periódusokban

A kutatási módszerek értékelése során megállapítottuk, hogy a White-féle napi ingadozás elemzés megbízhatóan becsli a vegetáció talajvízhasználatát, különösen, ha rendelkezésre áll pontos Sy érték. A fajlagos hozam helyszíni meghatározása nem minden esetben könnyű, de tanulmányunk igazolta, hogy egyszerű meteorológiai adatokra építő módszerek (pl. Hamon-képlet) vagy műholdas párolgásadatok felhasználhatók az Sy kalibrálására, ha megfelelő időszakot választunk ki arra, mint például történt a 3. ábrán látható 2023-as eredményeknél. Ezek az eredmények gyakorlati jelentőségűek, mert azt mutatják, hogy drága és bonyolult terepi mérések nélkül is becsülhető az erdő talajvíz-felhasználása, ha kombináljuk a talajvízszint monitorozást az elérhető meteorológiai és távérzékelt adatokkal.

A kapott  $S_y$  értékek és vízfogyasztási adatok beépíthetők vízháztartási modellekbe, így javítva az erdő-ökoszisztémák modellezésének pontosságát. Hangsúlyozni kell, hogy a talajvízre támaszkodó erdei vízfelvétel szerepének megértése a jövőben kulcsfontosságú lesz a kiszáradófélben lévő erdőtársulások megóvásában. Az ehhez szükséges monitoring és modellezés fejlesztése – beleértve a  $S_y$  távolról történő becslését – olyan eszköz, amely segítheti az alkalmazkodó erdőgazdálkodást a klímaváltozás kihívásai közepette.

Összefoglalva, az Ohati-erdő vizsgálata rávilágított arra, hogy a talajvíz és az erdei vegetáció kapcsolata komplex, de feltárható; eredményeink pedig nemcsak a vizsgált területen, hanem más hasonló adottságú alföldi erdők esetében is hasznosíthatók a fenntartható erdőkezelés és vízgazdálkodás tervezése során.

### ***Irodalomjegyzék***

- DUNAI S. – POSZA I. – VARGA-HASZONITS Z. (1968): Egyszerű módszer a tényleges evapotranszspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás. *Agrokémia és Talajtan*, 17(2), 299–318.
- DUNAI S. – POSZA I. – VARGA-HASZONITS Z. (1969): Egyszerű módszer a tényleges evapotranszspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. II. Tényleges párolgás. *Agrokémia és Talajtan*, 18(1), 129–140.
- GENCSI Z. (2008): Erdők a Hortobágyon. *Erdészeti Lapok CXLIII. évf. 7-8. szám*: 234-240.
- HAMON, W. R. (1963): Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 89(HY3), 107–120.
- KISS Cs. L. (2022): A vízviszonyok hatása az alföldi erdőkre az Ohati erdőtömb példáján, *Diplomamunka, Soproni Egyetem. Erdészeti Lapok LXXV. évf. 9–10. füzet*: 820–829.
- PÁLFAI I. (2010): A Duna-Tisza közti hátság vízháztartási sajátosságai. *Hidrológia Közlöny*, 90 (1):40-44.
- WHITE, W. N. (1932): Method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil – results of investigation in Escalante Valley, Utah. *US Geological Survey Water Supply Paper*, 659.

# HIDROLÓGIAI KUTATÁSOK TÁMOGATÁSA GEODÉZIAI MÉRÉSEKKEL

BAZSÓ TAMÁS, NAGY PÉTER MÁRTON

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Soproni Egyetem, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

nagy.petil129@gmail.com

## ***Bevezetés***

A hidrológiai kutatások területén a Soproni Egyetem jelentős eredményeket ért el. Ezekhez a kutatásokhoz jól kiépített felmérési környezet, pontos mérőműszerek, műtárgyak szükségesek. A kutatási környezet kialakításához, mérési adatok gyűjtéséhez és releváns eredmények felmutatásához több tudományág együttes munkájára van szükség.

Az eddigi kutatások kiegészítéseként egy hidromorfológiai (Baranya, 2017) felmérés indult a Soproni Egyetem Hidegvíz-völgyben elhelyezkedő "Égeres" kertnek nevezett kutatási területen. Ehhez a felméréshez készültek geodéziai eljárással térképezések (Ferenczi, 2022) (Brolly, Ferenczi és Mentés, 2023), valamint kapcsolódtunk mi is geodéziai mérések támogatásával. A geodéziai felmérések célja a megfelelő pontosságú, adott időközönként terepen beazonosítható ismétlődő mérések elvégzése, melynek segítségével monitorozható a vízfolyás és a meder változása, valamint a talajvízszinttel való kapcsolatuk.

A hidrológiai kutatások erdészeti szempontból is elengedhetetlenek (HOLIK 2022). A magyarországi erdőtenyészet szempontjából elsődlegesen a vízhatás a legmeghatározóbb.

## ***Keresztszelvények a Rák-patak mentén***

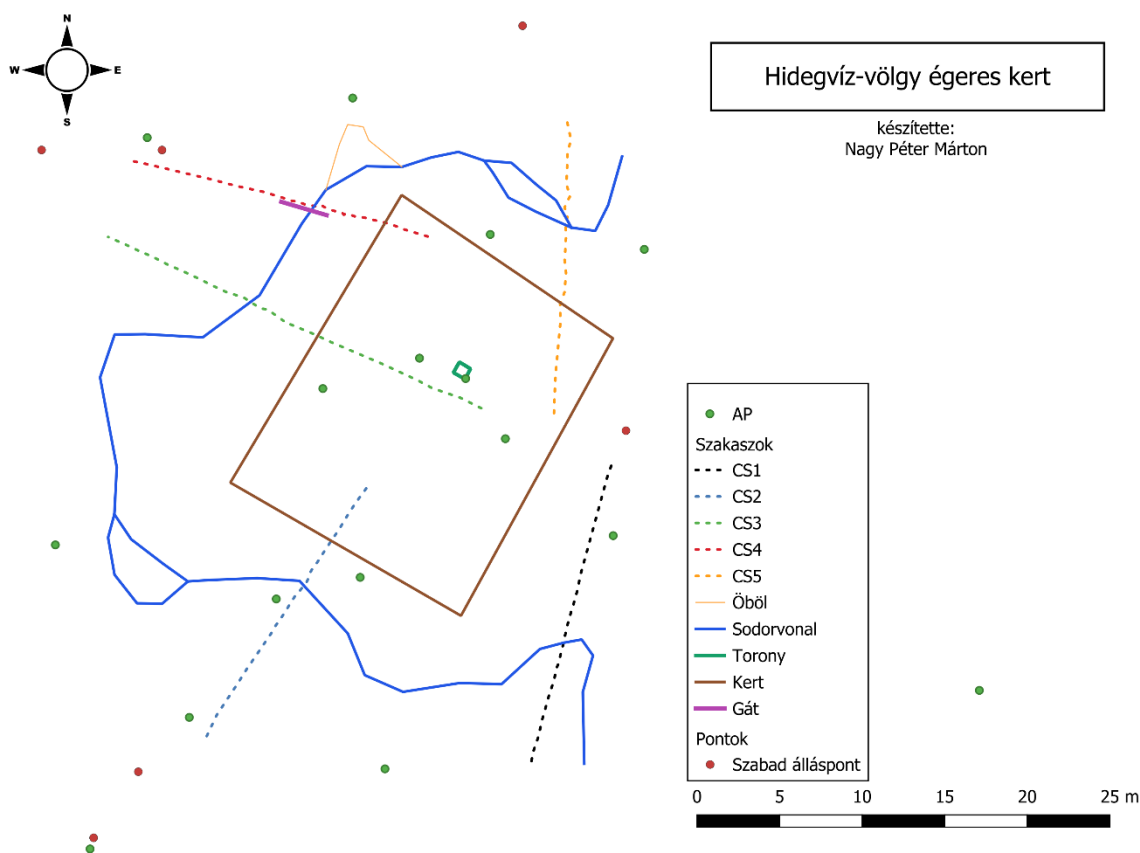
A Soproni Egyetem munkatársai a hidrológiai kutatások keretein belül a csapadék és a többletvízhatás mérése mellett a patak hidromorfológiai vizsgálatát is célul tűzték ki. A vizsgálatokhoz öt keresztshelvényt (elnevezésük: CS, mint Cross Section) jelöltünk ki hidrológiai szempontok alapján. Ezek a patak kanyarulataiban és egyenes szakaszaiban húzódnak, hogy vizsgálni lehessen a víz romboló és hordaléklerakó hatásait. A 2024-es felmérés során még nem volt kiépítve gát a területen. Kovács Júlia szakdolgozatában olvasható a gát helyének kijelölése és kialakítása. A duzzasztás hatására 2025. tavaszára változott a patakmeder és környezete. A vizsgálatához 2023-ban és 2024-ben geometriai magasságméréseket végeztünk, majd 2025-ben poláris pontmeghatározással ellenőrző mérést folytattunk.

## ***Keresztszelvények meghatározása***

A keresztshelvények úgy lettek meghatározva, hogy minden shelvény tartalmazzon egy hidrológiai mérőkutató is. A keresztshelvények végpontjait a kutatást vezető oktatókkal közösen jelöltük meg talajcövekkel, majd pozíciójukat mérőállomással határoztuk meg. A mérőállomással történő felmérés feltétele egy megfelelő sűrűségű alapponthálózat kialakítása volt. Ezután már a műszer tájékozással, vagy szabadállás alkalmazásával a karók pozíciója poláris méréssel meghatározható. Az általunk használt eszközök egy Leica FlexLine TS03 mérőállomás GPR111 körprizmával. Az mérést prizma módban – a prizmaról visszavert jelet mérve – végeztük, így akár a sűrűbb lombzaton is keresztül tudtunk mérni. Prizmára történő méréssel – ellentétben a prizmanélküli üzemmóddal – biztosak lehetünk benne, hogy a meghatározott távolság a prizmára vonatkozik, nem pedig egyéb akadályról verődött vissza a jel

Az alapponthálózat és megfelelő módon való rögzítése nagy szerepet játszik a további hidrológiai kutatásokban, monitorozásban. A pontok egységes felvétele, kijelölése lehetővé teszi, hogy a későbbi mérések kiértékelésénél könnyedén tudjunk összehasonlításokat

végezni. A keresztmetszvény végpontjainak rögzítésével pedig egységes, összehasonlítható, geodéziai pontosságú felméréseket tudunk elvégezni (1.ábra).



1. ábra A kutatási terület elkészült térképe QGIS szoftverrel

### **Keresztmetszvények felmérése**

A mérésekhez Leica NA532 szintezőt és CLR102 szintezőléceket használtunk, valamint egy 50 méteres fém mérőszalagot. A szintezőműszer egy kompenzátoros optikai szintezőműszer. Az optikai szintezővel az észlelő végzi el a leolvasást a szintezőlécről: a szintezőléc beosztásától függően olvassuk le a fő beosztásokat, majd becsüljük meg a tört részeket. A felmérés során az CLR102 szintezőléc milliméter beosztású oldalát használtuk, tizedmillimétert pedig nem becsültünk.

A szelvények mentén kifeszítettük a mérőszalagot, ügyelve arra, hogy a mérés során végig feszes, egyenes maradjon. A belógó, útban levő fák miatt figyelni kellett a műszer felállításánál arra, hogy a teljes szelvényre tisztán rá lehessen látni, elkerülve a plusz műszerállásokat, ezzel az esetleges plusz hibákat. A sűrű növényzet miatt így is előfordult, hogy a szelvény cserjéken keresztül futott, kitakarva a szabad rálátást a szelvény összes pontjára, ebben az esetben szintezőszaru használatával kötöttük össze az álláspontokat. A keresztmetszvény vonalában a szintezőlécet a lejtőátmeneti vonalak pontjain helyeztük el, hogy meghatározzuk a magasságot. Ha nem történt változás a terep vonalában, akkor méteres távolságokban határoztuk meg a magasságot. Az így kapott pontok alapján megrajzolt keresztmetszvény jól tükrözi a terepviszonyokat.

A mérésekből relatív magasságokat vezettünk le. Kiválasztottunk egy állandónak tekinthető pontot, amelynek definiálható egy legmagasabb pontja, amely a későbbi mérések során is könnyedén felhasználható. Ez a pont az "Égeres" kert közepén álló meteorológiai mérőtorony déli kúpos-talpcsavarja volt. A további mérések során minden szintezést ennek a csavarnak a magasságához viszonyítottunk. A poláris mérésekkel később meghatároztuk a

csavar tengerszint feletti magasságát, ebből számíthatóvá vált a szintezéssel meghatározott pontok tengerszint feletti magassága. A szintezési adatokat terepi jegyzőkönyvben rögzítettük, amit átvezettünk MS Excel táblázatba.

#### ***Keresztszelvények változásainak bemutatása***

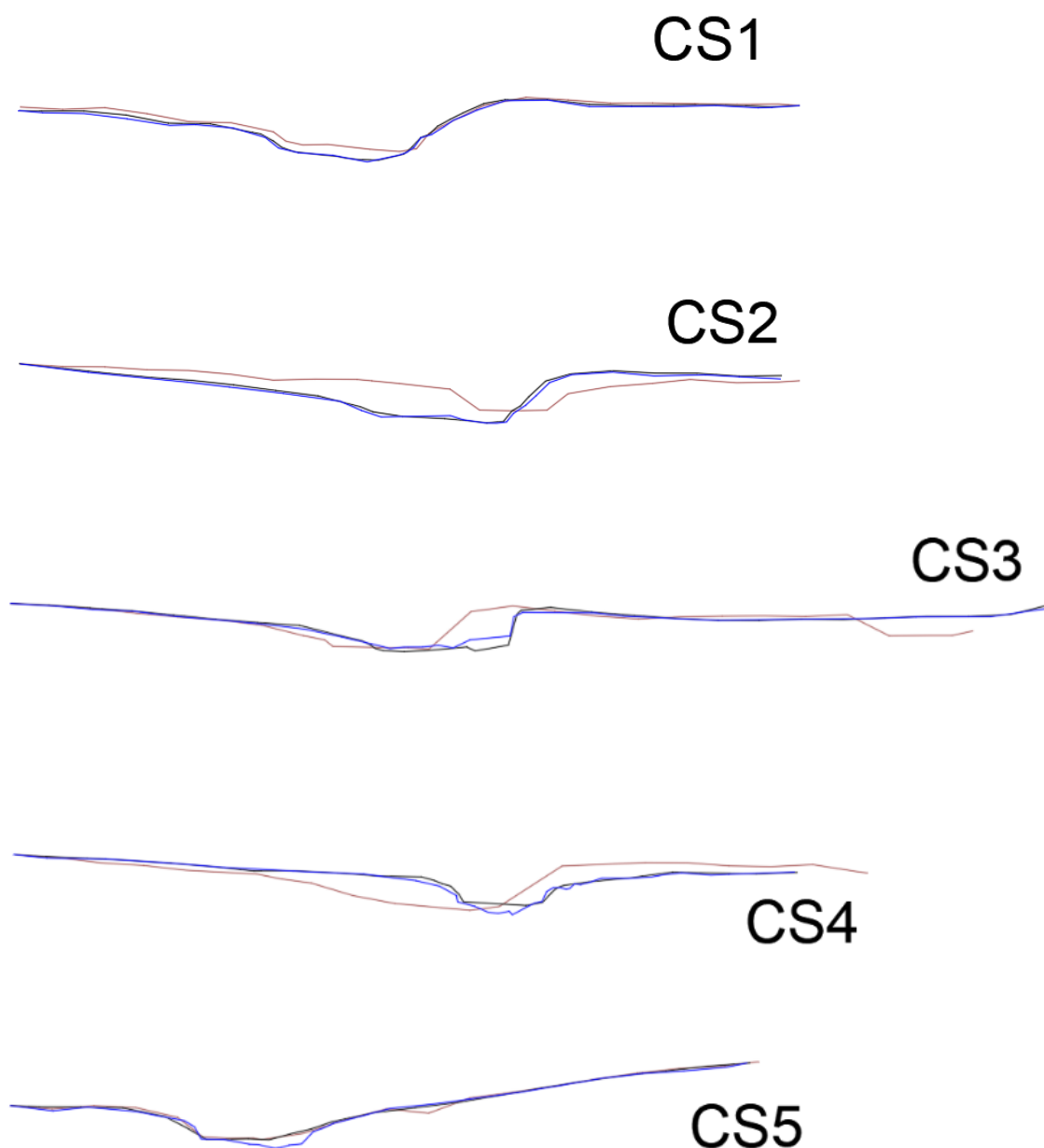
A CS1 esetében a korábbi és a jelenleg felmért szelvények jól illeszkednek egymásra, a vonalpár között kis magassági eltérések adódnak, a víz ereje nem változtatta meg a meder alját, ezek a kisebb változások egyéb környezeti tényező miatt is kialakulhattak. Emellett jól megfigyelhető a patakmeder jobb falán lévő változás. Ezt a talajeróziót feltehetően a víz romboló munkája okozhatta. Ilyen rézsűomlás látható a CS3 szelvényen is. A keresztszelvények szépen illeszkednek, egészen a patak jobb faláig, ahol az előző felmérés mutatja az erózió előtti állapotot. A későbbiekben feltehetően további rézsűomlás fog bekövetkezni (2.ábra).

A CS2 szelvény esetében nehéz következtetéseket levonni. A durva eltérések utalhatnak akár mérési hibára is, vagy arra, hogy a méréseket nem pontosan ugyanott végezték. Ennek elkerülésére szolgál a geodéziai pontossággal meghatározott, jól láthatóan jelölt végpontok. Továbbá nagy segítséget jelenthet a felmérés helyszínének rögzítése fényképekkel, ahol a drasztikus változások és ezek okai is jobban követhetők. Néhány esetben nem ugyanolyan hosszúak a keresztszelvények a régi és új felmérések között. A jövőbeli monitorozásnál fontos kritérium, hogy a keresztszelvényt jelölő pontok között pontosan vegyük fel a távolságokat. Ilyen mérési hibákat okozhat még a rosszul felállított műszer vagy mérőléc, ha nem hozzák vízszintes pozícióba a szintezőműszert, nem tartják függőlegesen a szintezőlécet, vagy nem kellő gondosságu léctartás is okozhat eltérést, ha a lécc belesüllyed a laza iszapba. Okozhat hibát, ha több álláspontból szinteznek kötőpontokkal, ekkor figyelni kell, a szintezőszaru stabil elhelyezésére. A terepi jegyzőkönyv készítése közben ügyelni kell az elírásokra, érdemes már a helyszínen ellenőrizni az értékeket, hogy az adatok reálisak-e.

A patak romboló hatásai mellett építő munkát is végez. A víz magával sodorja a hordalékot, amelyek általában talajszemcsék, görgetett kövek, növényi maradványok, elsodort fák. A heves csapadék hatására a vízfolyás sebessége megnő, ekkor a víz még több hordalékot szállít. A gyors szakaszokon így mélyül a patakmeder folyamatosan. A víz sebességének csökkenésével lerakódik a patak által sodort hordalék. A sodorvonalon a leggyorsabb a vízfolyás, ebből adódóan ott lesz a legnagyobb a vízmélység (KALICZKA 1998).

Ezeknek a kérdéseknek az eldöntése azonban már nem geodéziai feladat, viszont geodéziai mérések alapján ezek vizsgálhatók.

Hasonló a probléma a CS4 szelvény esetében. A szelvények nem metszik egymást, a magasságkülönbségek helyenként több, mint egy métereseek. Az ekkora szintű vízmosás megállapításához további mérések vagy hidrológiai kutatások, kimutatások szükségesek. A CS5 keresztszelvényen a két felmérés végig illeszkedik egymásra. Az eltérések 10 centiméter körüliek még a patakmeder területén is, a metszetek alakja majdnem megegyezik. Az eredmények, hogy hol teljesen megegyezik az új felmérés a régivel, hol pedig eltérő alakot vesz fel a patakmeder és környezete, akár méteres szintkülönbséggel, csak indokolja az odafigyelés, illetve a szakértelem szerepét a hidrológiai kutatásokban, felmérésekben.



2. ábra Keresztszelvények összehasonlítása Atuodesk AutoCAD szoftver alatt: piros szín jelöli az első szintezést, fekete szín a második szintezést, kék a kontrollmérést

### **Ellenőrző mérések**

A nagy eltérések a két szintezéssel történt felmérés között megmutathatja az emberi hibák mértékét a magasságmeghatározás során. Annak érdekében, hogy kiderüljön melyik szintezési munka hibás és melyik használható fel a kutatások során, újabb felmérést végeztünk. Ebben az esetben azonban nem szintezéssel lettek meghatározva a magasságkülönbségek, hanem mérőállomással mértük fel a szelvényeket, valamint a Rák-patak sodorvonalát, valamint az "Égeres" kert néhány jellegzetes pontját.

A mérést követően ugyanazokkal a módszerekkel értékeltük ki az adatokat, mint amiket a szintezés feldolgozásakor. A keresztmetszvények végpontjain lévő talajkarók állandó

pontoknak tekinthetők, ezért azonos pontból indítva lettek ábrázolva a három felmérés adataiból készült keresztmetszeti ábrák.

Általánosságban elmondható, hogy a kontrollméréshez jól illeszkedik a fekete színnel jelölt 2025-ben végzett szintezés. Helyenként vannak nagyobb, 10-30 centiméteres eltérések, amelyek a terepen is megmutatkoztak. Ezek a patakmedernek magasságbeli változásai a CS4 keresztmetszet előtti gát építése miatt alakultak ki.

A második szintezés és a kontrollmérés közötti változást a mérések között eltelt idő alatt bekövetkező mederállapot változás is okozza. Így a kontrollmérés már egyben monitoring mérésnek is tekinthető. A második szintezés alkalmával a gát még nem volt megépítve, a mérőállomással való felmérés során viszont már jól látszódik, hogy a gát hatására a CS3 szelvényen a patakmeder jobb oldalán 30 centiméteres iszaphordalék torlódott fel.

A CS4 keresztmetszeten, amely közvetlenül a gát után húzódik, mélyült a patakmeder a gáton átbukó, lezúduló víz hatására. A patak jobb partján is megfigyelhetők kisebb eltérések a szintezéshez képest, ezek a parton kijárt ösvények, amelyek a kutatókert bejáratának megközelítésére szolgálnak.

A CS5 keresztmetszelen előtt zátony alakult ki a felhalmozódott hordalékból, ennek a jobb oldalán nőtt meg a patak sodrása, tovább mélyítve ennek az oldalnak a medrét. Ennek a folyamatnak az eredményét lehet látni a szelvényen, ahogy a jobb part felé mélyül a patakmeder.

A kontrollmérések és a szintezések közötti centiméteres eltérések adódtak. Ez egyrészt indokolható lehet, hogy a szintezéssel meghatározott magasságok pontosabbak, mint a mérőállomással mért adatok, másrészt a felszín, valamint az avar mennyisége, tömörödöttsége is változik, és a patakmeder alja szintén nem állandó a két felmérés között eltelt időben. További eltéréseket okozhat az is, hogy a szintezőléc talpa egy sík lap, addig a prizmatoté egy hegyes végződésű kúp, így előfordulhat, hogy a prizmatot mélyebb pontot vesz fel a szintezőléchez képest. Ezen eltérések mértékei azonban hidrológiai szempontból elhanyagolhatók.

### **Összegzés**

A geodéziai mérésekkel kialakítottunk a hidegvíz-völgyi erdészeti kutatási terület "Égeres" kertjében egy olyan alapponthálózatot, melynek segítségével a továbbiakban pontos hidrológiai méréseket, kutatásokat egyszerűbben és gyorsabban lehet elvégezni. Az alapponthálózatra támaszkodva mérőállomással felmértük a kertet és környezetét, valamint elkészítettük a kert térképét. A patakmeder változását keresztmetszvények felmérésével, majd kontrollméréssel vizsgáltuk.

A patakmeder keresztmetszvény felmérésének több módja is lehet. A kívánt végeredmény eléréséhez választhatjuk ki a megfelelő módszert. Manapság a 3D modellezéssel látványos és rendkívül pontos adatokat, térmodelleket tudunk létrehozni, azonban ennek az előállítására rendkívül költséges. A LiDAR szkennerek, azaz a lézeres letapogató műszerek folyamatosan fejlődnek, azonban még mindig a legdrágábbak a geodéziai megoldások közül. A GNSS műszerekkel végzett műholdas helymeghatározás útján is kaphatunk centiméteres pontosságot, azonban az erdei, fedett területeken sok esetben korlátozott a korrekcióhoz való hozzáférés.

A szintezés módszertanilag az egyik legegyszerűbb mérési eljárás ezen feladatokhoz. A szintezőműszerek és a mérési módszer egyszerűsége miatt a mérési folyamat is rendkívül rövid, könnyedén elsajátítható.

Az eredményekben megjelenő szokatlan eltérések, pontatlanságok miuatt terepi kontrollméréseket végeztünk. A szintezések között mutatkozó eltérések néhány esetben a terepi változásnak voltak az okai, néhány esetben pedig mérési hibákra lehetett következtetni. Ennek a hibaforrásnak az elkerülésére megoldást jelenthetnek a patak közvetlen partjára elhelyezett pontok, így nem kettő, hanem négy ponton feszülne meg a mérőszalag. Ezzel elkerülhető lenne a szalag belógása.

A kontrollmérések során nem csak ellenőrizhetők a szintezési felmérések, hanem újra meghatározható az alapponthálózat. Ha a karók esetlegesen elmozdultak vagy megrongálódtak, akkor a mérés folyamán azok is felújíthatók. A későbbi felmérésekhez érdemes lenne nem csak fakarókat használni, hanem tartósabb módszerrel, betonnal, vascsövekkel megjelölni az alappontokat és a mederszelvényeket jelző pontokat.

### ***Köszönetnyilvánítás***

Köszönettel tartozunk a „Fás biomassza termesztési feltételeinek vizsgálata” (GINOP-2.3.3-15-2016-00039) projekt keretében beszerzett eszközök használatáért.

### ***Felhasznált irodalom***

- BARANYA S. (2017): Hidromorfológiai mérések. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. Budapest.
- BROLLY G. – FERENCZI N. – MENTES M. (2023): A Hidegvíz-völgyi hidro-meteorológiai mérőkert 3D modelljének elkészítése földi lézeres letapogatás adatai alapján. In: Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa. Soproni Egyetem Kiadó. Sopron. 49-53.
- FERENCZI N. (2022): A Hidegvíz-völgyi "Égeres" kísérleti mintaterület felmérése földi lézerszkennerrel. Szakdolgozat. Sopron.
- HOLIK B. (2022): Völgyfenéki erdőállományok és vízviszonyok kapcsolata. Diplomamunka. Sopron.
- KALICZ P. (2006): Hidrológiai folyamatok modellezése a Sopron melletti Hidegvíz- völgyben. Doktori értekezés. Sopron.
- KALICZKA L. (1998): Hegy- és dombvidéki vízrendezés. EKF. Baja.
- KOVÁCS J. (2024): Vízháztartás hatásai egy kisvízfolyáson a Hidegvíz-völgyben. Szakdolgozat. Sopron.
- LEICA GEOSYSTEMS. (2024. november 1.): Leica Geosystems. <https://leica-geosystems.com/>

# EGY ÉGERES NÖVEKEDÉSÉNEK HIDRO-METEOROLÓGIAI ÖSSZEFÜGGÉSEI A HIDEGVÍZ-VÖLGYBEN

BORSOS TAMÁS ZSOLT, GRIBOVSZKI ZOLTÁN, KALICZ PÉTER, NÉMETH TAMÁS MÁRTON

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Soproni Egyetem, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

borsostamas12@gmail.com

## **Bevezetés**

A növényzet fejlődésére számos környezeti tényező hatással van, ezek közül kiemelkedő szerepet játszanak az éghajlati és hidrológiai viszonyok. A fák növekedése érzékenyen reagál az évszakos vagy évek közötti klimatikus és vízháztartási eltérésekre, különösen, ha ezek tartósan megváltoztatják a vízellátottságot vagy a hőmérsékletet.

Az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb figyelmet kap a klímaváltozás, amely a hőmérséklet emelkedése mellett a csapadékeloszlás és a talajvízszintek ingadozását is fokozza. Ezek a változások hosszú távon átalakíthatják a természetes növénytakarót, és kihívás elé állíthatják a vízhez kötött erdőtársulásokat.

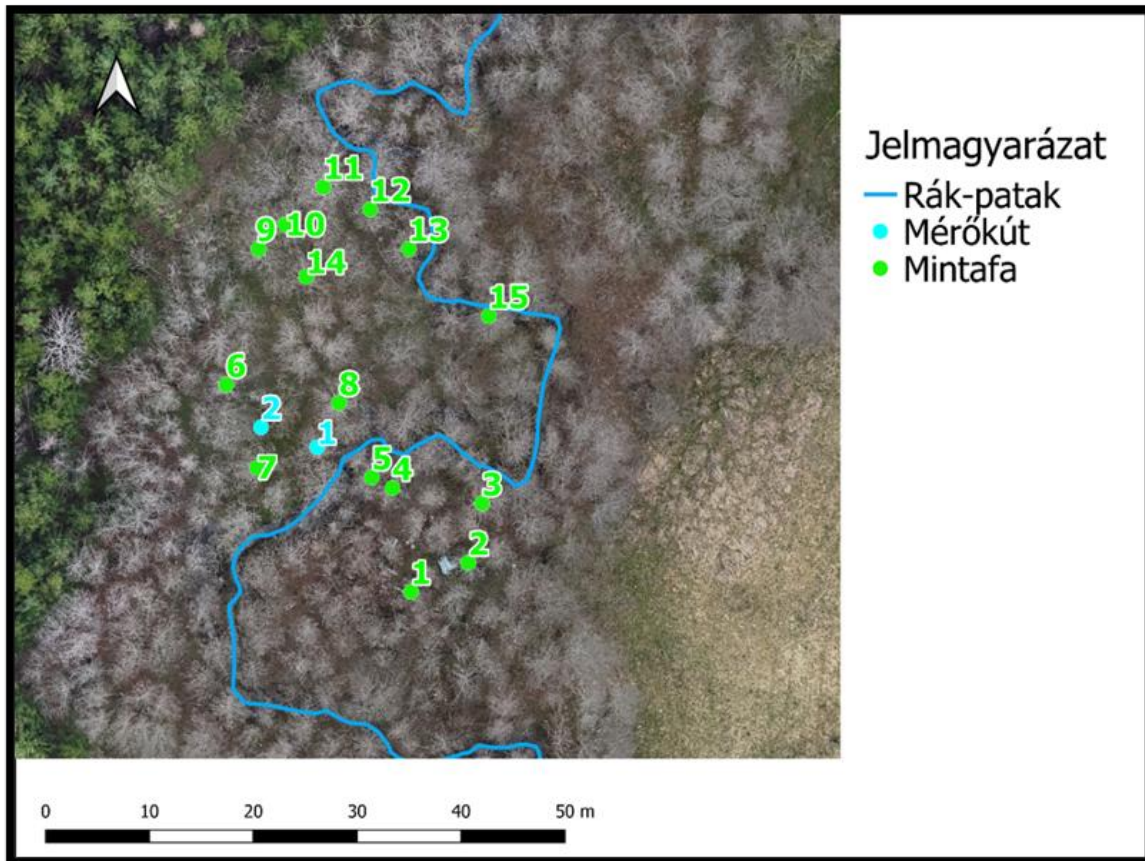
A fák évgyűrűképződése jó indikátora lehet a környezeti változásoknak. Az évgyűrűk vizsgálatával a múltbeli klimatikus és hidrológiai viszonyokra is következtethetünk. Erre alkalmas módszer a növedékfúrásos mintavétel, amely lehetővé teszi a törzsnövekedés részletes elemzését.

Célunk az volt, hogy feltárjuk az évgyűrűszélesség és a meteorológiai, valamint talajhidrológiai tényezők közötti kapcsolatot. Különösen arra kerestünk választ, hogy a patak menti vízhatás milyen mértékben befolyásolja a fák vastagsági növekedését.

## **Vizsgált terület és állomány**

Az általunk vizsgált terület a Soproni-hegység kistájunkon belül a Sopronhoz közeli Hidegvíz-völgyben helyezkedik el, a Hidegvíz-völgyi hidrometeorológiai állomáshoz tartozó lekerített részben és annak közvetlen környékén. A mintaterület egy völgyalji részen található, a Rák-patak mellett, ami többlett vízzel látja el a növényzetet és párasítja a mikroklímát.

A területen egy égeres állomány található. A mézgás éger (*Alnus glutinosa* L.) hazánk vízjárta területein elterjedt, friss oxigénben gazdag többletvízhatású termőhelyeket kedvelő fafaj. Állományai jellemzően patakok, lápok és árterek mentén fordulnak elő, ahol a vízellátottság biztosított. Gazdasági szempontból is fontos szerepet tölt be az ilyen többlettvízhatással rendelkező területeken (FRANK 2009). Egyetlen hátránya az volt a kutatás során, hogy a szórtlikacsú fafajok közé tartozik, így az évgyűrűpásztái nem különülnek el egymástól annyira látványosan, mint a gyűrűslikacsúaknál. De a szükséges pontosságú méréseket el lehetett rajta végezni.



1. ábra: Térkép a mintaterületről

### **Minták gyűjtése és feldolgozása**

Pressler-féle növedékfűrő segítségével 25 faegyedből vettünk mintát (VEPERDI 2011). Az így kapott növedékcsapokat előre elkészített tartókba ragasztottuk, majd a ragasztó száradása után a minták tetejét legyalultuk. A végeredményként kapott mintadarabokon így már szépen látszódtak az évgűrűk vonalai, mintázatai. Miután nagyfelbontásban digitalizálásra kerültek, alkalmassá váltak a szoftveres mérések elvégzésére.

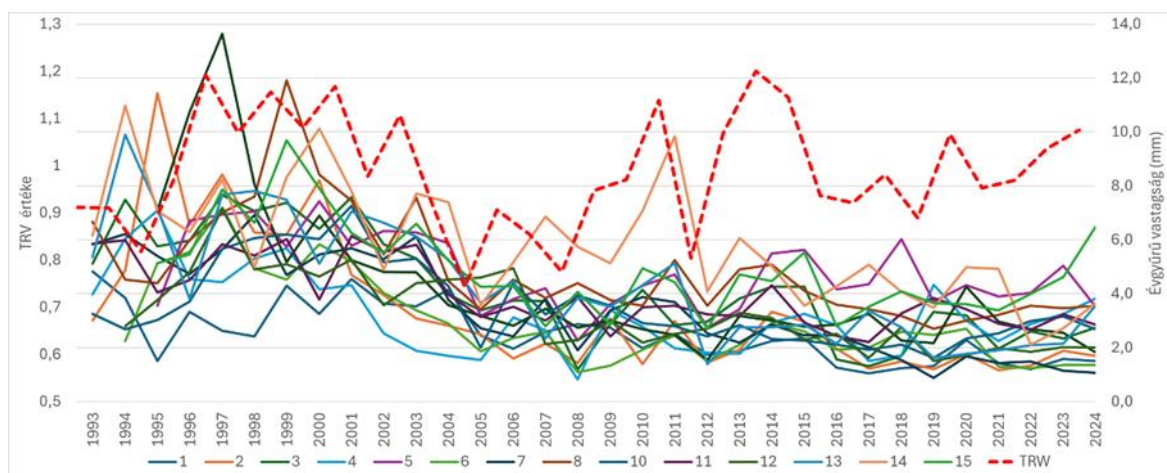


2. ábra Kész mintadarab

A szoftveres feldolgozáshoz első körben a WinDENDRO programot használtuk. Ez egy kifejezetten dendrometriai vizsgálatokhoz kifejlesztett szoftver. A segítségével meghatároztuk az adott növedékcsapok évgűrűinek a távolságait, ezáltal megkaptuk, hogy a faegyedeknek mekkora volt a vastagsági növekedése évekre lebontva.

A WinDendro szoftverrel végzett mérések eredményeit a korlási hibák kiszűrése és a hiányzó évgűrűk azonosítása érdekében a COFECHA programmal ellenőriztük (HOLMES 1983). Azokat a mintákat, amiknek a korrelációja nem mutatott megfelelő kapcsolatot az összes adat átlagából meghatározott alapkronológiával kihagytuk a további feldolgozásokból. Így a korábban gyűjtött 25 faegyed mintájából csak 15-öt használtunk a

továbbiakban. Az elegendő kapcsolattal rendelkező fák adatsoraiból elő tudunk állítani egy standardizált évgyűrűnövekedési adatsort (TRW) (COOK 1985).



3. ábra Faegyedek növekedése és TRW

### ***Hidro-meteorológiai adatok***

Az eredmények megfelelő kiértékeléséhez szükségünk volt a terület meteorológiai adatainak az ismeretére is. A térségről nem áll rendelkezésre megfelelően hosszútávú adatsor, ezért a hiányzó évtizedekre jellemző klimatikus értékek pótlásához a területhez közel fekvő Görbehalom vagy Sopron adatait használtuk. Az általunk végzett kutatáshoz elegendő volt a havi adatok ismerete.

A Hidegvíz-völgyben a lehullott csapadék mennyiségét 2010 a hőmérsékletet pedig 2002 óta mérik, de kutatáshoz ezekre 1990-ig visszamenőleg volt szükség. A csapadék esetében a görbehalmi, míg a hőmérsékletnél a soproni adatsorokat használtuk fel a hiányzó értékek pótlására. Mindkét esetben kapcsolati görbe segítségével a meglévő értékekből ki tudtuk egészíteni a Hidegvíz-völgy adatsorát. Valamint a már ismert csapadék és hőmérséklet viszonyok felhasználásával a területre tudtunk számolni FAI (egyszerűsített erdészeti szárazsági mutató) és kádpárolgási tényezőket is (FÜHRER 2018; NOVÁKY 1985).

A talajvízszint mérése a Hidegvíz-völgyi hidrometeorológiai állomás területén 2002-óta zajlik, jelenleg 21 darab mérőkút segítségével. A kutak közül kettőből származik a kutatáshoz megfelelő hosszúságú és rendszerességű adatsor, így ezekkel dolgoztunk. Kisebbséget okozott, hogy a kutak értékeiről az elmúlt pár év kivételével csak papíralapú jegyzőkönyv készült, ezért ezeket digitalizálni kellett.

### ***Korrelációs vizsgálat és eredménye***

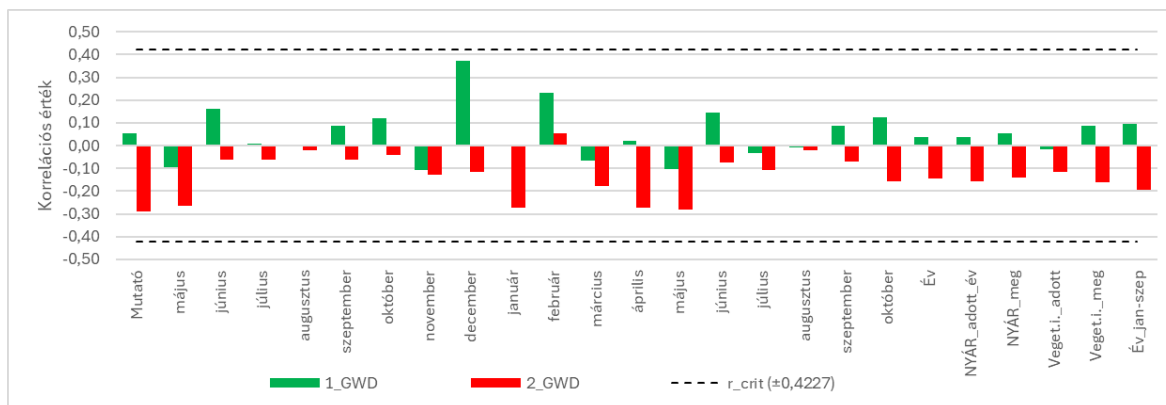
A standardizált évgyűrűnövekedési adatsor és az előzőekben leírt hidro-meteorológiai adatsorok között korrelációs vizsgálatot végeztünk. Ez arra szolgált, hogy meghatározzuk a köztük lévő összefüggés szorosságát (LÓKI és DEMETER 2009), vagyis az egyes tényezők mekkora mértékben befolyásolják a fák vastagsági növekedését.

A vizsgált tényezők közül csak egy érték érte el a minimális szignifikancia szintet ( $r_{crit}$ ) az adott év nyári csapadékmennyisége. Ennek hatása negatív előjelű, vagyis gyengén ugyan, de kedvezőtlenül befolyásolta a fák növekedését. Több meteorológiai tényező például a megelőző év vegetációs időszakának csapadéka, valamint az adott év augusztusi értékei megközelítik az  $r_{crit}$  értéket, ez utóbbiaknál szintén negatív hatás figyelhető meg.

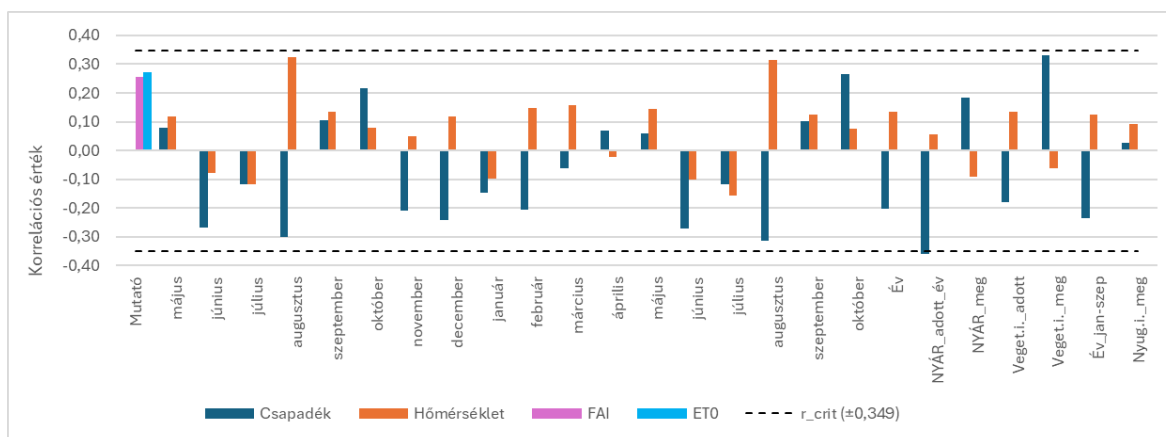
A talajvíz adatoknál a legmagasabb érték az 1-es kútnál mért decemberi talajvízszint, de ez is csak megközelíti az  $r_{crit}$  értéket, nem éri el. Továbbá még megfigyelhető, hogy a 2-es

kút talajvízmélységével általában szorosabb a kapcsolat. A negatív korreláció azt mutatja, hogy a talajvízszint süllyedése negatív hatással van a növekedésre, bár ez a hatás nem szignifikáns.

A faegyedek évgyűrűségeiből származó kronológiák és az éves, valamint évszakos klíma- és talajvízadatok közötti statisztikai összefüggések vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az egyes tényezők önállóan nem mutatnak erős és szignifikáns hatást a fák évgyűrűvastagságának növekedésére. Összességében elmondható, hogy bár a hidro-meteorológiai tényezők hatással vannak a vizsgált égeres állomány növekedésére, ezek hatása összetett és nem írható le egyszerű lineáris összefüggésekkel.



4. ábra Korreláció talajvíz adatok és TRW között



5. ábra Korreláció meteorológiai adatok és TRW között

### Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk mindenkinek, aki bármilyen mértékben is, de hozzájárult a kutatáshoz, főként Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anitának és Dr. Móricz Norbertnek.

A kutatás az 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat (NKFIH támogatás), a Slovenian Research and Innovation Agency (N2-0313) és a TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatásával valósult meg. A TKP2021-NKTA-43 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

### ***Felhasznált irodalmak***

- COOK, E. (1985): A Time Series Analysis Approach to Tree-ring Standardization, PhD értekezés, The University of Arizona, Tucson, 171.
- FRANK N. (2009): A mézgás éger (*Alnus glutinosa*) erdőművelési tulajdonságai, Erdészeti Lapok, 144. évfolyam, 10. szám, 306-307.
- FÜHRER E. (2018): A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai, Erdészettudományi közlemények, 8. évfolyam, 1. szám, 27-48.
- HOLMES, R. (1983): Computer-assisted quality control in treering dating and measurements, Tree-Ring Bulletin 43: 69–78.
- LÓKI J. ÉS DEMETER G. (2009): Geomatematika, Debreceni Egyetem, Természettudományi Kar, Földtudományi Intézet, 176-177.
- NOVÁKY B. (1985): A lefolyás éghajlati adottságai a Zagyva-Tarna-vízrendszerben, Vízügyi Közlemények 67., 78-93.
- VEPERDI G. (2011): Erdőbecsléstan, Oktatási segédanyag, Sopron, 15.

# A SOPRONI BOTANIKUS KERTBEN LÉTESÍTETT PÁROSÍTOTT PARCELLA HIDROLÓGIAI ADATAINAK ÉRTÉKELÉSE

OKRES BENCE, GRIBOVSZKI ZOLTÁN, ZAGYVAINÉ KISS KATALIN ANITA

Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet, Soproni Egyetem, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

9okres9@gmail.com

## **Bevezetés**

A klímaváltozás következtében világszerte egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a hidrológiai folyamatok kutatásai, különösen az olyan ökoszisztémák esetében, mint az erdők. Magyarországon az erdők vízháztartása az utóbbi években a kutatások fókuszába került, mivel a csökkenő csapadékmennyiség és az egyre gyakoribb aszályos időszakok jelentősen befolyásolják az erdőállományok fejlődését és fenntartását. A kutatás célja a Soproni Egyetem Botanikus Kertjében kialakított párosított mintaterület hidrológiai adatainak értékelése volt, különös tekintettel az intercepcióra és a feketefenyő (*Pinus nigra*) szerepére.

Az intercepció – vagyis a növényzet által visszatartott csapadék mennyisége – kiemelkedő szerepet játszik az erdei ökoszisztémák vízháztartásában. A csapadék jelentős része nem éri el a talajfelszínt, hanem a lombkoronán, fatörzsön vagy az avarszinten visszamarad, majd onnan – részben már a csapadékesemény alatt – elpárolog (HORTON 1919). Ennek mértéke különösen fontos a jövőben, amikor várhatóan csökkenni fog az éves csapadékösszeg, és megnövekszik a párolgás mértéke (GÁLOS – FÜHRER 2018). A mérési eredmények hozzájárulhatnak a hazai erdőgazdálkodási gyakorlat vízgazdálkodási szempontú átalakításához.

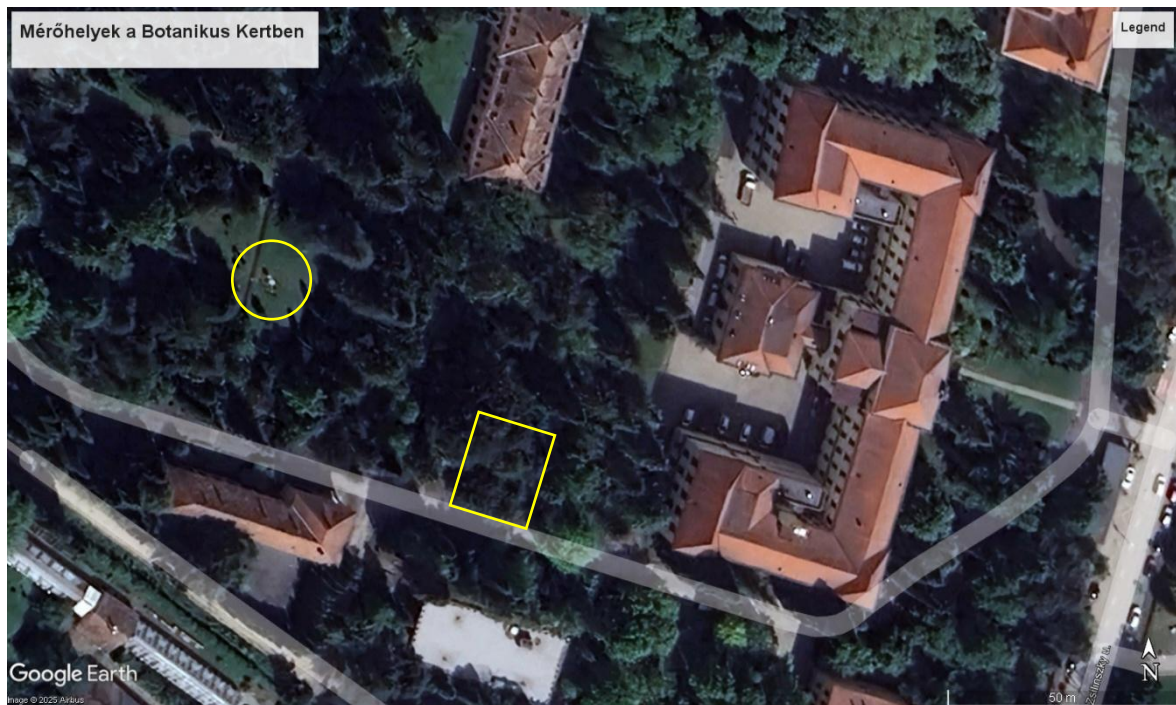
Az intercepció nagyságát elsősorban a meteorológiai paraméterek befolyásolják, mint a csapadék nagysága, időbeli eloszlása, másodsorban a fafaj (lombos vagy tűlevelű, ágszerkezete, törzs egyenetlensége stb.) és a faállomány jellemzői (kora, magassága, záródása, elegyaránya, színtezettsége stb) (FÜHRER 1992).

A koronaintercepció nagyságára a különböző hazai erdőállományokban az OEE Szaktudás Füzetek 3. számában találunk adatokat, amelyek mutatják, hogy hazai viszonylatban 20-45% körül van az értéke, fafajtól és kortól függően (GRIBOVSZKI – KUCSARA 2023), és a magasabb értékeket jellemzően a fenyő állományok esetén mérték. Feketefenyőre 35-40%-os értéket találunk fiatal és idős állomány vizsgálatára alapján (JÁRÓ 1980).

A Soproni-hegységben az ERTI által a nyolcvanas-kilencvenes években folytatott kutatások alapján lucos állományban 7% volt az avarintercepció a szabadtéri csapadékhoz képest télen és nyáron egyaránt (FÜHRER 1994).

## **Vizsgálati anyag és módszer**

A vizsgálatok helyszíne a Soproni Egyetem Botanikus Kertje, ahol két különböző mintaterület alakítottunk ki (1. ábra): egy fás területet, amelyet feketefenyő állomány borít, valamint egy nyílt, növényborítás nélküli referencia területet (2. ábra). A mérések célja a két terület vízháztartási viselkedésének összehasonlítása volt, különös tekintettel az intercepcióra, a talajnedvességre és a talajvíz alakulására.

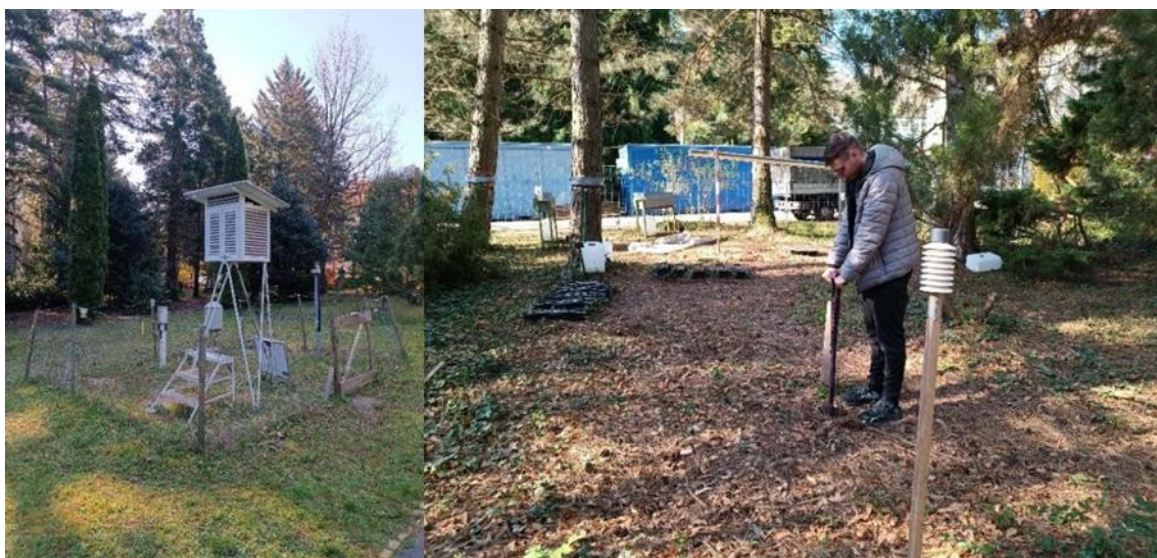


*1. ábra Párosított parcella Meteorológiai mérőállomás (körrel jelölve), és az interceptió kert (négyzettel jelölve)*

A mérések 2023-2024 között zajlottak. Az alábbi hidrológiai jellemzők kerültek rögzítésre:

- Csapadékmérés: klasszikus csapadékmérővel (Hellmann típusú csapadékmérő).
- Lombkorona-intercepció: esőgyűjtő kádakkal a fák alatt.
- Avarintercepció: avart tartalmazó hálós konténer és alatta csapadékfelfogó edényzet (virágláda) valamint avarkeretek súlyméréssel.
- Talajnedvesség: felszíni talajnedvesség-szondával.
- Talajvízszint: nyílt csöves kutakkal és vízállásmérővel.

A mérések jellemzően napi rendszerességgel történtek, azzal a kitételrel, hogy vasárnap nem történt észlelés, ezért itt a kurucdombi mérőállomás adatai alapján került szétosztásra a hétvégi csapadék a csapadékesemények meghatározásához.

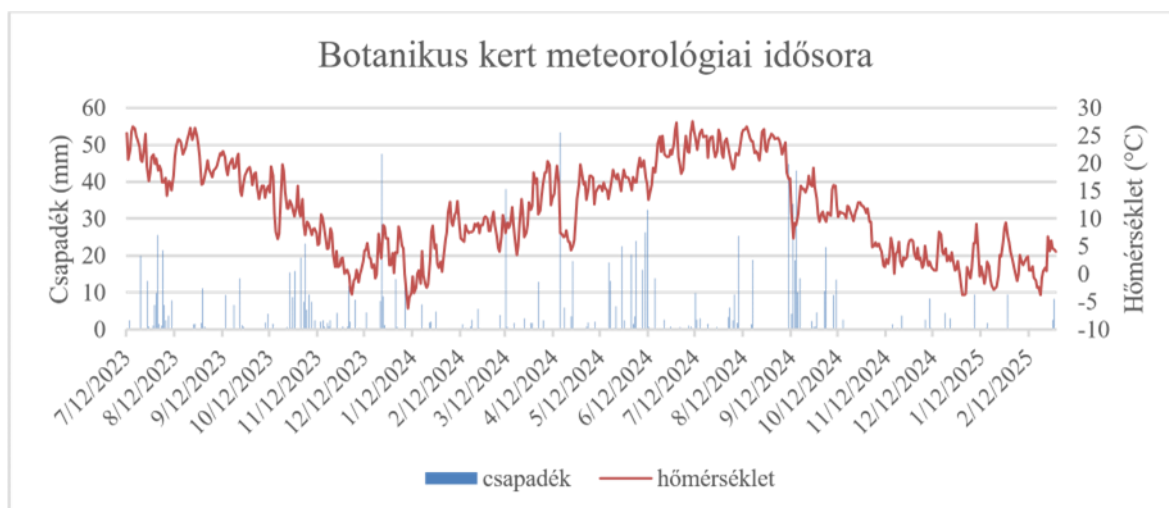


6. ábra Szabadtéri mérőállomás (bal oldali kép), interceptiós kert (jobb oldali kép)

### **Vizsgálati eredmények**

A mérési adatok alapján a fás területen jelentős interceptiós veszteségek voltak tapasztalhatók. A lombkorona és az avartakaró együttesen az éves csapadékmennyiség 20–35%-át is visszatarthatta, míg a nyílt területen ez az érték elhanyagolható volt.

A talajnedvesség a fás területen jelentősen kisebbnek bizonyult a csapadékesemények után, mivel a fák és az avar csökkentették a víz lejutását a talajba. A talajvízszint a fás területen mélyebb volt, ami a növények nagyobb vízfelhasználására utal. Különösen nagy eltérés volt a szabadterületi csapadék és a hatékony csapadék között a kisebb csapadékesemények esetében, ahol a lombkorona szinte teljes mértékben visszatartotta a csapadékot.



7. ábra Botanikus kert meteorológiai idősora

Az időszak alatt eltérő csapadékmagasságok jelentkeztek: voltak száraz időszakok és jelentős csapadékesemények is (3. ábra). 2023 aug.-okt. és 2024 jan.-már. között szárazabb időszak jelentkezett, 2024 novemberétől azonban észrevehető, hogy nem fordult elő jelentősebb csapadékesemény. A hőmérsékletben nem volt nagy ingadozás, ami szembetűnő, hogy 2024 április végén 22 °C-ról 6 °C-ra esett a hőmérséklet.



8. ábra Csapadékkategóriák (teljes időszak) és kategóriánkénti csapadékösszeg (teljes időszak)

A csapadék kategorizálása során 0-2 mm, 2,1-5 mm, 5,1-10 mm, 10,1-20 mm valamint 20 mm feletti kategóriákat határoztunk meg. Észrevehető, hogy kevés a 20 mm feletti csapadék és sok a 2 mm alatti, ami általában el sem éri a talajt (4. ábra). A kategóriánkénti csapadékösszeg ábrája alapján azonban láthatjuk, hogy a nagyobb számban előforduló kicsapadékok összege kisebb, mint a kiszámú nagycsapadékok összege, vagyis a csapadékösszegek sorrendje a fordítottja lesz a csapadékok darabszáma által meghatározott sorrendnek a vizsgált kategóriák esetén.

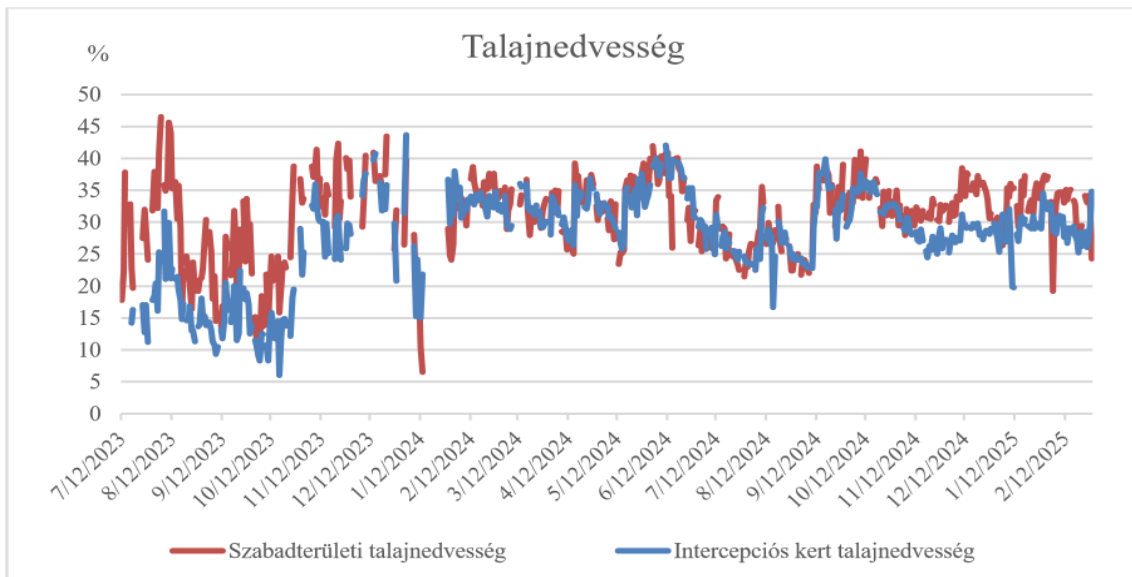
1. táblázat Intercepciós vizsgálat eredményeinek összegző táblázata

	Tározási kapacitás	Felfogott csapadék	$R^2$
P-Th (nyár)	2,6 mm	11,4%	0,985
P-Eff (nyár)	2,8 mm	19,4%	0,962
Th-Eff (nyár)	0,3 mm	14,5%	0,973
P-Th (tél)	2,4 mm	17,0%	0,982
P-Eff (tél)	2,2 mm	24,9%	0,990
Th-Eff (tél)	0,2 mm	12,5%	0,997
P-Th (teljes év)	2,0 mm	15,2%	0,984
P-Eff (teljes év)	2,5 mm	25,2%	0,966
Th-Eff (teljes év)	0,4 mm	11,5%	0,986

(P: szabadterületi-, Th: áthulló-, Eff: effektív/hatékony csapadék)

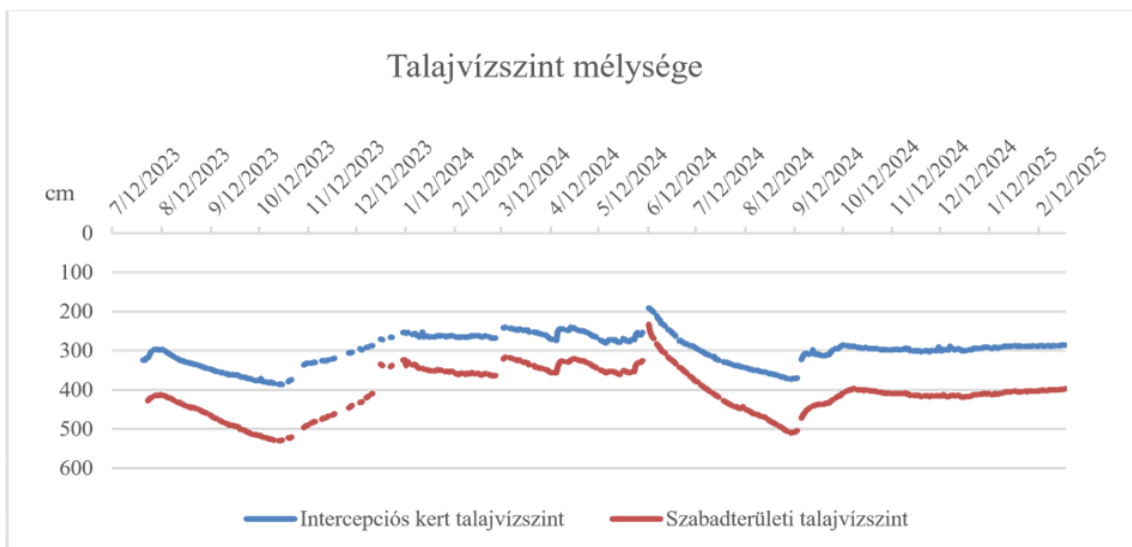
Az eredmények alapján (1. táblázat) a feketefenyves állomány esetén jelentős mértékű vízvisszatartás történt. A koronaintercepció nagyjából 11-17%-ra tehető, míg a teljes intercepciós veszteség átlagosan 20-25%-os volt a vizsgált időszakban. A lombkorona tározási kapacitása a kutatási periódus alatt 2-2,6 mm-re adódott, míg az avar és a lombkorona benedvesítődésére együttesen 2,2-2,8 mm fordítódott egy-egy csapadékesemény során. A nyílt területhez képest tehát az erdő alatti talajnál a bevételi oldalon szereplő csapadék kevesebb. Ez különösen aszályos időszakokban lehet fontos.

A talajnedvesség mérési eredményei alátámasztják az intercepció jelentőségét. A nyílt területen magasabb volt a felső 7,6 cm-es talajréteg nedvességtartalma. Ezzel szemben az erdő alatti talaj nedvesedése elnyújtottabb és mérsékeltebb volt. Észrevehető az is, hogy nyáron viszont az avar párolgásgátló hatása és a fák árnyékolása miatt nedvesebb marad a talajfelszín az állomány alatt (5. ábra).



5. ábra Talajnedvesség

A két mérőhelyen különböző mélységű kutakból származó talajvízszint mérések szintén alátámasztják a vízmozgás különbségeit (6. ábra). A talajvíz mélysége alapján következtetni lehet a víz áramlási irányára és dinamikájára. A feketefenyves alatt kisebb volt a talajvízszint változása, míg a nyílt területen jobban reagált a csapadékeseményekre.



6. ábra Talajvízszint mélysége

### ***Vizsgálati eredmények értékelés, megvitatás, következtetések***

Az eredmények rávilágítanak arra, hogy az intercepció, a feketefenyő esetében jelentős mértékben befolyásolja a talajvízháztartást és a víz hasznosulását. Mindez különösen fontos a klímaváltozás tükrében, mivel a csapadékeloszlás egyre kiszámíthatatlanabbá válik. Javasolt a kísérlet hosszabb távú folytatása, több fajfaj bevonásával, különböző korú állományok esetén is. Emellett célszerű lenne az intercepció modellezését is elvégezni a gyakorlatban használható vízmérlegszámításokhoz. A párosított parcella módszer alkalmasnak bizonyult a fajfaj-hatás vizsgálatára. A feketefenyő vízvisszatartó képessége előnyös lehet az erózióvédelem és az aszályos időszakokra való felkészülés szempontjából, ugyanakkor kihívást is jelenthet a talajvíz utánpótlása szempontjából.

### ***Köszönetnyilvánítás***

A kutatás a 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat (NKFIH támogatás), a Slovenian Research and Innovation Agency (N2-0313) és a TKP2021-NKTA-43 számú projekt támogatásával valósult meg. A TKP2021-NKTA-43 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

### ***Felhasznált irodalom***

- FÜHRER E. (1992): Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. Vízügyi közlemények, LXXIV. (3. füzet): pp. 281-294.
- FÜHRER E. (1994): Csapadékmérések bükkös, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. Erdészeti Kutatások, 84: pp. 11-35.
- GÁLOS B. – FÜHRER E. (2018): A klíma erdészeti célú előrevetítése, Erdészettudományi Közlemények 8. évfolyam 1. szám, DOI: [10.17164/EK.2018.003](https://doi.org/10.17164/EK.2018.003) 43-55. oldal
- GRIBOVSZKI Z. – KUCSARA M. (2023): Erdő és víz – Erdészeti vízgazdálkodás, OEE Szaktudás Füzetek 3., a 161 éves Erdészeti Lapok tematikus különszáma, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest
- HORTON, R. E. (1919): Rainfall interception.. Monthly Weather Review., 47: pp. 603-623.
- JÁRÓ Z. (1980): Intercepció a gödöllői kultúrerdei ökoszisztémában. Erdészeti Kutatások 73: 7–17.

# A BÜKK TÖRZSÁTMÉRŐ VÁLTOZÁSÁNAK MÉRÉSE ÚJSZERŰ MÓDSZERREL, A VEGETÁCIÓS IDŐSZAK KEZDETÉN

KÖKÉNY GERGELY<sup>1,2</sup>, KALICZ PÉTER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geomatikai És Kultúrmérnöki Intézet, Soproni Egyetem, Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.

<sup>2</sup>VERGA Veszprémi Erdőgazdaság Zrt. Veszprém Jutasi út 10.

[teltemeto@gmail.com](mailto:teltemeto@gmail.com)

## ***Kivonat***

Az erdőgazdálkodásban a változó klíma miatt, egyre fontosabb a faállományokat alkotó fafajok és egyedek vízgazdálkodási jellemzőinek az ismerete. A különböző vízgazdálkodási stratégiák eltérő hatékonyságúak az olyan stresszhatásokkal szemben, mint az extrém aszály. A vizsgálatot a Magas-Bakonyban végeztük, egy ebben a témában újszerű módszerrel. A vizsgált faegyedeknek a környezeti, meteorológiai és fenológiai okokból (rügypattanás, lombkorona építés, csapadék esemény, hőmérséklet) bekövetkező törzsátmérő változását követtük nyomon, amely szorosan összefügg a fa vízfelhasználásával és víztárolásával. A korábbi hasonló törzsátmérőméréseknél tapasztalható volt és a szakirodalomban is fellelhető egy napon belüli, egy napi és egy évszakos jelleg. A vizsgálat során a mérés automatizálása és a mért adatok tárolása is fontos szempont volt.

## ***Bevezetés***

A transzspiráció a víz elpárolgása a növények érrendszeréből a légkörbe. Közben széndioxidból vízben oldódva szénhidrát lesz a sztóma üregben, mely beépül a szövetekbe, a folyamat velejáró része a párolgás. A különbség a vízfelülethez képest, hogy a növény szabályozni tudja a sztóma nyitást és zárást, ezzel együtt a víz kibocsájtást és a tárolt víz mennyiségét is tehát a saját vízellátottságát. Sztóma nyitást és zárást befolyásoló tényezők a fény (éjszak-nappal), a páratartalom (minél kisebb annál inkább zár), levélszövetek víztartalma (alacsony akkor zár), egyéb ismert és még kevésbé ismert folyamatok (Pl.: szél, CO<sub>2</sub> szint, hőmérséklet). A víznek azonban el kell jutni a lombzatig, akár 20-30 m, vagy még nagyobb magasságokba is, hogy a folyamat végbe menjen. A növények vízraktározása, a vízszállítási sebessége, valamint a szállított víz mennyisége folyamatosan változik térben és időben. A fák víztelítettségi állapotának egyik nagyon jó megfigyelési módszere a fa egyes részeinek – gyökérzet, korona, törzs – helyzetének, illetve átmérőjük változásának mérése az év egy adott időszakban (KÖCHER et al. 2013). A témában fellelt eddigi kutatások alapján, a radiális éves növedéktől függetlenül is szoros kapcsolat van a növények vízszállítása és a törzsátmérő változása között. A napon belüli átmérőváltozás is periodikus jellegűt mutat. Ismert a tartalék képzést is és azok időzített felszabadítása, amelynek segítségével még akár vízhiányos időszakban vagy lombtalan állapotban is zavartalan maradhat a xilém vízszállítása (SKELTON 2020). A témában elvégzett korábbi törzsátmérő változás mérési eredményekből, egy napi szinten is oszcilláló folyamat rajzolódik ki, reggeli maximummal és délutáni minimummal, majd újabb növekedéssel. Ez megfigyelhető volt tél végén nyugalmi, azaz lombtalan, transzspiráció nélküli állapotban és vegetációs időszakban, lombos állapotban egyaránt (KÖKÉNY et al. 2022). A korábbi mérés analóg módon történő leolvasás naponta átlagban két alkalommal, táblázatos formában dokumentálva. A további, sűrűbb és hosszabb időszakot felölelő mérésekhez szükségessé vált egy automatizálható mérési technika, amely nem igényel jelenlétet és az adatok tárolása is megoldott a későbbi kiolvasásokhoz. Jelen dolgozat célja, hogy ennek a jelenségnek a mérésére alkalmas, korábban még nem használt módszerét és mérését mutassa be. A módszer összeállításánál

további szempont volt, hogy egy könnyen és költséghatékonyan beszerezhető műszeregység jöjjön létre, amely megfelel a korszerű mérések és kutatási feltételek.

Jelen dolgozat célkitűzése, hogy bemutassa a fák vízszállításának egy újszerű mérési technikáját, amely a vízszállítás folyamatát egy olyan perspektívából mutatja be, amelyen keresztül jobban megérthetjük a folyamat egyes szakaszait elemeit és azok összefüggéseit.

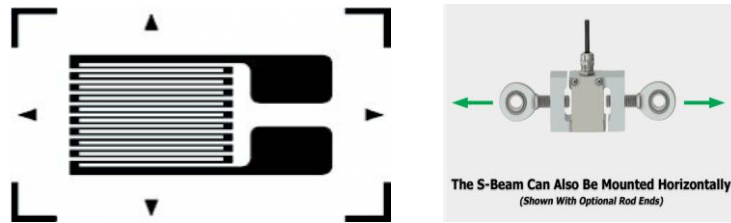
### ***Vizsgálati anyag és módszer***

A témában korábban használt műszerrel (1. ábra), a lombfakadással járó víz kibocsájtást sikeresen lehetett mérni, a vízfelhasználás miatt bekövetkezett törzsátmérő csökkenés kimutatható volt. (KÖKÉNY et al. 2022) A leolvasás naponta két-három esetben, reggel délben és este történt. A vizsgált alany egy szabad állásban álló, 20 éves és 13 méter magas király dió (*Juglans regia*) faegyed volt. A műszer két méter magasságban egy oldalágon mérte az átmérőcsökkenést, ahogy a fa kinyomja a vizet a szállító rendszeréből (TÖRÖK 2017).



*1. ábra: Fotó a korábban használt mérőműszerről, Lókút 2023. március 6.*

A mérés továbbfejlesztése szükségszerűvé vált oly módon, hogy a mérés sűrűsége növekedjen a napi menet jobb nyomon követése érdekében, illetve a mérések időszakos heti leolvasása között az adatok tárolásra kerülhessenek. A témában korábban még nem használt műszerfejlesztéssel sikerült mindkét megfogalmazott cél irányában előre lépni és megoldást találni. A műszer lényeges eleme egy nyúlásmérő bélyeggel ellátott mérőcella (2. a, b. ábra), amely gépészeti szakterületen anyagok deformációjának mérésére régóta alkalmazott technika. A műszerben egy elektromos szigetelt fólián elhelyezett vezető réteg van, amelyet közvetlenül, vagy mérőcellába szerelve rögzítenek a vizsgált testre. A test alakváltozásával együtt a nyúlásmérő bélyeg is deformálódik és közben megváltozik a vezető elektromos ellenállása, ami lehetővé teszi a mérést. Jelen esetben a törzsátmérő változás miatt bekövetkező húzóerő változást lehet detektálni, amit a nyúlásmérő bélyeg elektromos ellenállás formájában mA-ban mér. (KÖKÉNY et al. 2024)



2. ábra, a, b részlet: nyúlásmérő bélyeg (bal), s-mérőcella (jobb). Forrás: Prominens Kft.

A méréshez felhasznált H3 S-mérőcella egy 25 kg-ig, vagy 245 N feszítő és nyomó erőig mérő nyúlásmérő bélyeggel ellátott mérlegcella. Anyaga nikkelezett ötvözött acél, két azonos anyagú és teherbírású teherátadó szemes csavarral. A műszaki paraméterei szerint 3 tizedesjegy felbontással mér. A mérési hiba, beleértve a hőmérsékletváltozással kapcsolatos érzékenységet mindössze 1-1,5%/10 °C. A biztonságos mérés üzemi hőmérséklete -35 °C és 60 °C közötti. A táplálás 12 V-ról történik. Az adatátvitel négyeres AWG 22 vezetéken keresztül, egy digitális kijelzővel ellátott, TLUANA típusú, analóg kimenettel és kijelzővel rendelkező terheléskorlátozó eszközre történik, amely 4-20 mA közötti tartományba kalibrálja be automata kalibrációval méréshez használt 0-25 kg mérési értékeket. Manuális kalibrálás is megoldható speciális esetekben, illetve rendelkezik RS485 és RS232 kommunikációs porttal. ModBus RTU és ASCII Laumas protokoll használható a kommunikációhoz. Az analóg kimenetel lehetővé tette egy DA-S-I-(U) RC 227 áramerősség és feszültség regisztráló összekapcsolását a műszerhez. A tároló 1 másodperctől napi mérési intervallumra alkalmas, 120000 adat férőhellyel, hosszú élettartamú beépített lítium elemmel. Az adatkiolvasás USB porton keresztül PC vagy laptopra telepített Smart Admin szoftver segítségével lehetséges.

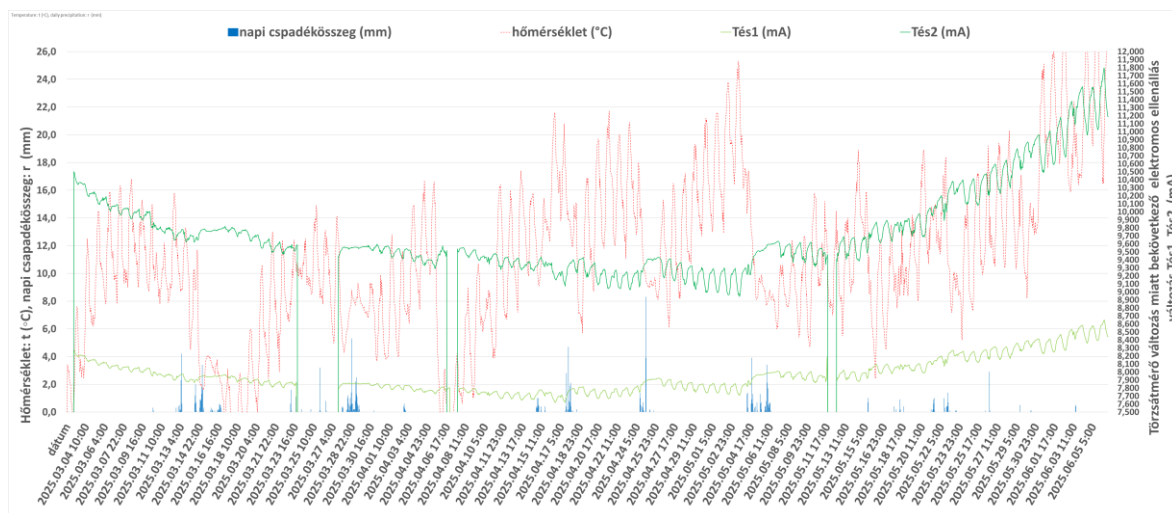


3. ábra, a, b részlet: fára szerelt S-cella kiolvasása Smart Admin szoftverben (bal), TLUANA kijelző (jobb)

Két bükk egyedre lett egy-egy műszer felszerelve 6 m magasságban a törzsön, helyileg a Magas-Bakonyban Tésén. Az egyik műszer egység a 2022. évi aszályban korai lombvesztéssel reagáló egyedre került, a másik műszeregység egy olyan szomszédos egyedre, amely a teljes vegetációs időben lombos maradt a stressz ellenére is. Az fa egyedek 102 évesek, 47 cm és 43 cm mellmagassági átmérővel rendelkeznek. A mérőcella egy 2,5 mm-es átmérőjű és 650 kg szakítószilárdságú horganyzott huzallal, teherátadó talpak furatain keresztül öleli körbe a törzset és az átmérőváltozás miatt bekövetkező húzóerőt méri (3. a, b. ábra).

A mérés 2025 márciusában kezdődött, rügyattanás előtt. A mérés folyamatos, de a mért adat regisztrálása óránként történik. A tárolt adatok és a tápellátás cseréje heti rendszerességgel valósul meg. A mérés a fatörzsben tárolt víz mennyiségének változását (amely a törzsbe beérkező és távozó vízmennyiségek előjelhelyes összege) vagyis ennek a törzsátmérőre gyakorolt hatását vizsgálja. Az így keletkezett törzsátmérő változás adatsor,

összevetve a térségre jellemző, a mérési időszakra vonatkozó óránkénti hőmérséklet, valamint csapadék adatsorokkal (OMSZ. 2025) elemezhető (4. ábra).

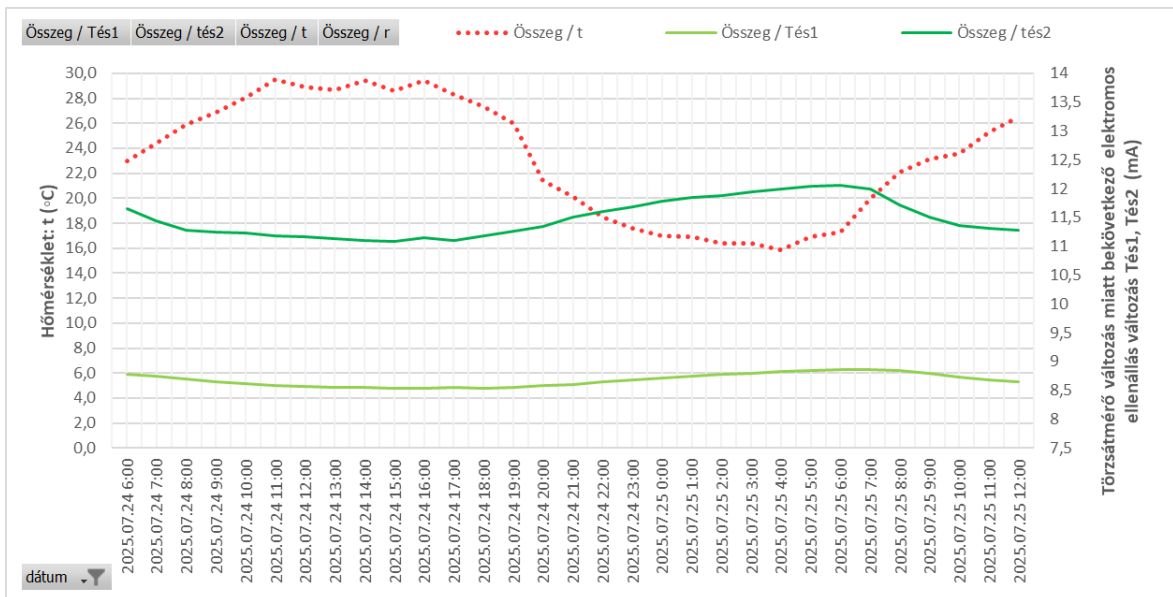


4. ábra: törzsátmérő változás miatt bekövetkező húzóerő értékek a kért mért faegyeden (világoszöld és sötétzöld vonal), a napi középhőmérséklet (piros pontvonal) és a napi csapadék (kék oszlop) a mérési időszakban

A vizsgálat helyszínén terepi megfigyelések fényképek formájában folyamatos, tekintettel a vízszállítással kapcsolatos fenológiai és meteorológiai eseményekre. A rügyattanás pillanata, a lomblevelek fejlődésének kezdete és fejlettségének maximuma, így az aktuális évi évgyűrű növekedés kezdete is fényképpel dokumentálásra került (5. ábra a, b. részlet). Ezek az élettani jelenségek szoros összefüggésben vannak a törzsátmérő csökkenéssel, ugyanis kora tavasszal, amikor a nedváraamlás vagy az élet beindul a növény kinyomja a vizet a szállítórendszeréből, ami egyesül a mellette lévő szőlőcukorral, így biztosítva az új hajtás létrejöttét (TÖRÖK 2017). Ezt követően pedig annak érdekében van intenzív víztranszport, hogy a szénhidrátok a fenológiai szakasznak megfelelő –energiatárolásra vagy növekedésre szánt– helyekre kerüljenek (VISINÉ 2008).



5. ábra, a, b részlet: a rügyattanás ideje Tés, 2025. április 15. (bal) és a kifejlett lombzat Tés, 2025. április 28. (jobb)



6. ábra: törzsátmérő változás miatt bekövetkező húzóerő értékek napi menete a két mért faegyeden (világoszöld és sötétzöld vonal), óránkénti hőmérséklet (piros pontvonal)

### Vizsgálati eredmények

A 4. ábrán az látszik, hogy az átmérőváltozás a hőmérséklet változással nem korrelált, a tavaszi felmelegedésnél még csökken a törzsátmérő azonban a nyári erőteljes felmelegedéssel párhuzamosan határozott növekedés látható a törzsátmérőben. A 6. ábrán a hőmérséklet és a törzsátmérő változás között negatív korreláció figyelhető meg. A növekedési trend ebben az időszakban már az éves évgyűrű tavaszi pászttájának fejlődésével magyarázható. A napi ciklikus ismétlődése is megfigyelhető, kivéve a csapadékos napokat, ahol az adott időszakokban hosszabb periódusú törzsátmérő maximumok jöttek létre, felül írva az általános napi ingást. Valószínűleg a csapadék hatására elkezdte a fa betárolni a rendelkezésre álló vizet. A vizsgált időszak végén jelentős növekedési tendencia látható az átmérőben, a lombkorona teljesen kifejlődött, valószínűleg ennek következtében a fa a tavaszi pászttát elkezdte fejleszteni. A 6. ábrán az látható, hogy a törzsátmérő napi maximuma reggel 6 órakor, a minimuma pedig délután 16 óra környékén van, ez a teljes mérési időszakban és mindkét vizsgált egyed esetében megfigyelhető volt. A mért értékek amplitúdójában három szakasz különül el az ábrázolt időszakban. Március 4. és április 16. közötti időszakban, tehát a rügyfakadásig 0,08-0,09 mA az amplitúdó. Ezt követően a rügyfakadástól a teljes levélfejllettségi állapotig, azaz április 28-ig 0,10-0,12 mA között alakul, majd a tavaszi pászta, azaz a víz szállításért felelős edények fejlődésével 0,125-0,180 mA közötti értékeket kaptunk. Április közepe és május eleje között lehetett megfigyelni a legmarkánsabb csökkenést a törzsátmérőben, amikor – a rügyattanást követően – a fa jelentős vízmennyiséggel elkezdte aktívan szállítani a szénhidrátokat a lombkoronába.

### Vizsgálati eredmények értékelése, megvitatása, következtetések

A bemutatott műszerrel és mérési technikával sikerült detektálni a környezeti és fenológiai okokból (rügyattanás, lombkorona építés, csapadék esemény) bekövetkező törzsátmérő változást, amely szorosan összefügg a fa víz kibocsajtásával és víztárolásával. A korábbi méréseknél tapasztalható és szakirodalomban is fellelhető napi jelleget is sikerült megfigyelni. A műszer kalibrálása miatt, működés közben mérőszalagos törzskerület mérés is történt, de ez hosszabb időt felölölő méréseket kíván, évgyűrű vizsgálattal kiegészítve. A mért értékek automatikus leolvasásának és az adatok tárolása sikeresen megtörtént.

### ***Köszönetnyilvánítás***

A publikáció a 2023-2.1.2-KDP-2023-00013 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, A KDP-2023 Pályázati Program finanszírozásában valósult meg. A szakmai támogatásért és a műszerbeszerzésért a VERGA Veszprémi Erdőgazdaság Zrt.-nak, mint munkáltatómnak.

### ***Irodalomjegyzék***

- KÖCHER, P.-HORNA, V.-LEUSCHNER, C. (2013): Stem water storage in five coexisting temperate broad-leaved tree species: significance, temporal dynamics and dependence on tree functional traits. *Tree Physiology*, Volume 33, Issue 8, August 2013, Pages 817–832, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt055>
- SKELTON, R. (2020): Stem Diameter Fluctuations Provide a New Window into Plant Water Status and Function, *Plant Physiology*, Volume 183, Issue 4, August 2020, Pages 1414-1415, <https://doi.org/10.1104/pp.20.00897>
- KÖKÉNY G.- TÖRÖK A.- GRIBOVSKY Z.- KALICZ P. (2022): A fák nedvkeringése és amit üzennek vele. SOE EMK publikációs kötet 2022.
- KÖKÉNY G.- SZEKRÉNYES T.- KALICZ P. (2024): A fák törzsátmérő változásának mérése újszerű módszerrel, a nedváramlással és a meteorológiai adatokkal összefüggésben. Erdészettudományi konferencia 2024.
- TÖRÖK A. (2017): A fák vízszállításának új elmélete. Forest Press 2017. január.
- VISINÉ RAJCSI E. (2008): Bükk (*Fagus sylvatica* L.) extraktanyagok képződése, akkumulációja és megoszlása. Doktori (Ph.D.) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron, 98 p.
- OMSZ. (2025): Napi meteorológia adatok. <https://odp.met.hu/>

# A DOMICA-BARLANG ÖRDÖGLIK RÉSZÉBEN (SZLOVÁKIA) TALÁLHATÓ SÉRTETLEN, DE SÉRÜLÉKENY ÁLLÓCSEPPKŐ RÉSZLETES VIZSGÁLATA HOSSZÚTÁVÚ FÖLDRENGÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉGRE VONATKOZÓ HATÁRÉRTÉKEK MEGÁLLAPÍTÁSA CÉLJÁBÓL

## *Constraints on long-term seismic hazard from an intact, vulnerable stalagmite for the surroundings of Ördöglík (Čertova diera) part of Domica cave, Slovakia*

GRIBOVSZKI K.<sup>1</sup>, MÓNUS P.<sup>2</sup>, SHEN CH.-CH.<sup>3</sup>, KELE S.<sup>4</sup>, PINTI D.<sup>5</sup>, GHALEB B.<sup>5</sup>, PRÁCSER E.<sup>1</sup>, LEDNICKÁ M.<sup>6</sup>, CZIROK L.<sup>7</sup>, JERG Z.<sup>8</sup>, BAZSÓ T.<sup>9</sup>, BROLLY G.<sup>9</sup>, SZALAI S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet

<sup>2</sup>GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda

<sup>3</sup>Department of Geosciences, National Taiwan University

<sup>4</sup>HUN-REN CSFK Földtani és Geokémiai Intézet

<sup>5</sup>GEOTOP Research Centre on Earth System Dynamics, Montréal, Canada

<sup>6</sup>Institute of Geonics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Ostrava, Czech Republic

<sup>7</sup>Jozef Stefan International Postgraduate School, Ljubljana, Slovenia

<sup>8</sup>nyugdijas

<sup>9</sup>Soproni Egyetem, Geomatika és Mérnöki Létesítmények Intézet

[gribovszki.katalin@epss.hun-ren.hu](mailto:gribovszki.katalin@epss.hun-ren.hu)

### ***Kivonat***

A jelenleg rendelkezésre álló földrengés-veszélyeztetettségi térképek ellenőrzéséhez hosszútávú információkat szolgáltató független megfigyelésekre van szükség. Ilyen hosszútávú információkat szolgáltató független megfigyelésnek minősül a sérülékeny cseppkövek tanulmányozás is, mivel azok túléltek – az életkoruktól függően – az elmúlt több ezer év alatt bekövetkezett összes földrengést.

A Domica-barlang (Szlovákia) Ördöglík részén található sértetlen, de sérülékeny 4,5 m magas állócseppkő (IVSTM(4.5)) részletes vizsgálata megtörtént. Ez az IVSTM(4.5) alkalmas a prehistorikus földrengések által generált vízszintes talajgyorsulás felső határának becslésére. A jelenlegi kutatás a Baradla-Domica-barlangrendszerben végzett korábbi sérülékenycseppkő-vizsgálataink folytatása.

A törött cseppkövekből származó minták sűrűségét, Young-modulusát és törőszilárdságát geo-mechanikai laboratóriumokban megmértük, míg az IVSTM(4.5) méreteit és sajátfrekvenciáját különböző típusú helyszíni mérések segítségével állapítottuk meg. A töréshez vezető kritikus horizontális talajgyorsulási értéket elméleti számítással határoztuk meg. A vizsgált IVSTM(4.5) mellett található cseppkőoszlopból különböző magasságokban mintákat vettünk, melyek korát MC-ICPMS elemzéssel meghatároztuk. Mindezen mérések és számítások ismeretében a cseppkő növekedését és a törést okozó talajgyorsulás-értékeket időben visszafelé is ki tudtuk számítani. Eredményeinket összevetettük egy korábban megvizsgált baradlabeli sérülékeny állócseppkő (IVSTM(5.1)) vizsgálatával nyert kritikus horizontális talajgyorsulás-értékkel.

Kutatásunk során vizsgáltuk még, hogy milyen mélységben helyezkedik el a részletesen tanulmányozott állócseppkő, mivel a felszíntől a barlangfelszín irányába egy bizonyos mélységen túl a szeizmikus hullámok amplitúdója, és így károsító hatása is lecsökkenhet.

### ***Abstract***

To verify seismic hazard maps by independent observations that serves long-term information should be necessary. It requires studying vulnerable dripstones, since they

survived all earthquakes that have occurred over thousands of years, depending on the age of them.

Examination of an intact, vulnerable stalagmite (IVSTM(4.5)) in Ördöglík part of Domica cave (Slovakia) has been done. This IVSTM(4.5) is suitable for estimating the upper limit of horizontal ground acceleration (HGA) generated by prehistoric earthquakes. This research is the continuation of our previous examination of different IVSTMs in Baradla and Domica cave system, north-east Hungary and south-east Slovakia.

The density, the Young's modulus and the tensile failure stress of the samples originating from broken speleothems have been measured in geo-mechanical laboratories, whereas the dimensions and natural frequency of the IVSTM(4.5) was determined by different types of in situ observations. The value of HGA resulting in failure of the IVSTM(4.5) were assessed by theoretical calculations. The ages of the samples taken from a column next to the investigated IVSTM(4.5) at different heights have been determined by MC-ICPMS analysis. Based on these measurements and calculations, we were able to calculate the growth of the stalagmite and the ground acceleration values causing the failure of the stalagmite backwards in time. We compared our results with critical horizontal ground acceleration values determined by the investigation of a previously studied vulnerable stalagmite located in Baradla cave.

During our research, we also investigated how deep the stalagmite is located in the cave, as the amplitude of seismic waves and thus their damaging effect may decrease from the surface towards the cave surface.

### ***Bevezetés***

A földrengések a földtudományok által vizsgált, súlyosabb következményekkel járó, rendkívüli események közé tartoznak. Ezen természeti jelenségek az elmúlt évszázadokban is sújtották Közép-Európa városait, jelentős károkat okozva. A földrengések sajnos a jövőben is okozhatnak hasonló vagy akár még nagyobb károkat. Éppen ezért fontos, hogy világosabb képet nyernünk egy adott terület földrengés-veszélyeztetettségéről, ami az egyik lényeges, az infrastruktúra építési költségeit is befolyásoló tényező. A földrengés-veszélyeztetettség megállapításához mindenekelőtt ismernünk kell azt, hogy mekkora lehetett az a legnagyobb földrengés, amely a múltban a vizsgált területen előfordult. Ez az információ jelenleg a földrengés-katalógusokból nem áll rendelkezésre, mivel geológiai léptékkal mérve a katalógusaink csupán csekély időintervallumot ölelnek fel. (Hazánkban a földrengéskatalógusban mindössze 455-től vannak adatok, azonban ettől az időponttól kezdődően sem tekinthető a katalógus teljesnek. Például a katalógus az  $M \geq 3,5$  magnitúdójú rengésekre csak 1880-tól tekinthető teljesnek.)

Kellő ismeretek hiányában a földrengés-veszélyeztetettség becsült értékének pontosításában kulcsfontosságú, hogy olyan új megfigyeléseket vezessünk be, amelyekkel korlátot szabhatunk például az eddigi legnagyobb erejű földrengés előfordulására vonatkozóan. Kutatásunk során ezeket az új megfigyeléseket természetes barlangokban található, sértetlenül álló, de igen sérülékeny cseppkövekből nyerjük. Ezek a cseppkövek a "nagy túlélők", amik átvészelték az elmúlt több ezer év földrengéseit, és ezért felső korlátot tudnak adni a talajmozgás értékére (lokálisan, az adott cseppkőbarlang környezetére).

A 2010-es évek elején sikerült azonosítanunk vizsgálatainkra alkalmas állócseppköveket Közép-Európában, a szlovák-magyar határ közelében is, a Domica-barlangban. A barlangokban, ahol a cseppkövek állnak, sérülésmentes helyszíni méréseket végeztünk, majd a helyszíni vizsgálatainkat kiegészítettük különböző laboratóriumi vizsgálatokkal is annak

céljából, hogy megállapíthassuk azon kritikus talajmozgás mértékét, amely a cseppkövek törését okozhatná vagy okozhatta volna a múltban.

A szeizmikusan stabilabb kontinentális régiókban, mint amilyen például a Pannon-medence is (amely messze van a lemezszegélyek aktív törésvonalaitól), alacsony vagy mérsékelt szeizmikus aktivitás a jellemző. Itt a nagy földrengések ismétlődési ideje akár 10 000 év is lehet (SCHOLZ 1990), ha egyáltalán létezik ismétlődési idő (CALAIS et al. 2016). Mivel a földrengéskatalógusok időbeli kiterjedése a geológiai léptékhez képest meglehetősen korlátozott, ezért a szeizmikus veszélyeztetettség hosszú távú (1 000 évnél hosszabb) becslése jelentős bizonytalanságokkal terhelt. A területre vonatkozó megbízható szeizmotektonikai modell kidolgozása az epicentrumok diffúz eloszlása miatt kihívást jelentő feladat. A földrengésaktivitást és a jelenlegi deformációt az Adriai mikrolemez óramutató járásával ellentétes irányú forgása és észak felé történő elmozdulása okozza (TÓTH et al. 2002).

A vizsgálati helyszín, azaz a Domica-barlang környezete még a közepes szeizmicitású Pannon-medencében is egy alacsony földrengés-aktivitással bíró területnek tekinthető. A várható kritikus talajgyorsulás értéke  $0,7 \text{ m/s}^2$  50 éves időtartamra vonatkozóan 10%-os meghaladási valószínűség mellett (szignifikancia szint) (TÓTH et al. 2006).

A most bemutatásra kerülő publikációban a Domica-barlang Ördöglik részén a Majkó teremben álló igen sérülékeny, de sértetlen 4,5 m magas állócseppkő (1. ábra) vizsgálatához kapcsolódó részeredményekről számolunk be. A kutatás részleteit majd egy terjedelmesebb, angol nyelvű tudományos cikkben fejtjük ki a közeljövőben. A Domica-barlangban már 2011-től kezdődően szlovák-magyar tudományos akadémiák közötti bilaterális együttműködés keretében végeztünk különböző cseppkőalak- és cseppkőrezonancia-méréseket továbbá egyéb vizsgálatokat, úgymint cseppkő-kormeghatározás, törött cseppkődarabok mechanikai és rugalmassági laboratóriumi vizsgálata (GRIBOVSZKI et al. 2013a, 2013b, 2019, 2020, KONECNY et al. 2015). Vizsgálati eredményeinket numerikus végeeselemes modellezésekkel is kiegészítettük a cseppkő sajátfrekvenciájának és felharmonikusainak a megállapítására (GRIBOVSZKI et al. 2018).

Jelen publikációban beszámolunk a szóban forgó nyúlánk és sérülékeny, de sértetlen 4,5 m magas állócseppkő felhasználásával megállapítható kritikus horizontális talajgyorsulás értékekről. Ezek az állócseppkő segítségével megállapítható kritikus horizontális talajgyorsulás értékek már elég erősek lennének ahhoz, hogy eltörjék a vizsgált sérülékeny cseppkövet, de mivel a cseppkő nem tört el, ezért ekkora nagyságú talajmozgás nem jöhetett létre a területen. Így tehát ezek a cseppkő segítségével megállapított kritikus gyorsulásértékek felső korlátot jelentenek a Domica-barlang környezetében keletkezett földrengések erősségére vonatkozólag több ezer évre visszamenőlegesen is (hiszen a cseppkövek – koruktól függően – akár több ezer éve változatlan alakban létező objektumok).

A kritikus horizontális talajgyorsulás értékeken kívül megállapításokat teszünk a barlang mélységéből adódó szeizmikus hullámcsillapodásra is a barlang feletti szabad felszín és a barlangi járófelszín között. Eredményeinket összevetjük a Baradla-barlangban a 2000-es évek elején részletesen vizsgált 5,1 m magas állócseppkőből származó eredményekkel (SZEIDOVITZ et al. 2005, 2008). Ezzel az összehasonlítással az volt a célunk, hogy megvizsgáljuk azt, hogy az előző eredményekhez képest tudunk-e szigorúbb megszorításokat megállapítani az adott barlangrendszeren belül további, az 5,1 m-es cseppkőnél nyúlánkabb cseppkő, azaz az IVSTM(4.5) részletes tanulmányozásának a segítségével.

### **Módszerek**

Mint ahogy azt a bevezetőben is írtuk a Domicabarlang Ördöglik részének Majkó-termében álló 4,5 m magas cseppkő (IVSTM(4.5)) segítségével megállapítható kritikus horizontális talajgyorsulás-értékeit (CHGA) számítjuk ki, majd pedig vetjük össze a Baradla-barlang Olimposz termében álló 5,1 m magas állócseppkőből származó CHGA értékekkel. A Baradla-barlang Olimposz termében álló 5,1 m magas állócseppkő részletes vizsgálatai azt mutatták, hogy a cseppkő nem fiatalabb, mint 70 000 év, továbbá az alakja és fizikai tulajdonságai alapján megállapítható, hogy az elmúlt 70 000 évben nem rázhatta meg a barlangot  $0,63 \text{ m/s}^2$  gyorsulás-értéknél nagyobb talajmozgás (SZEIDOVITZ et al. 2005, 2008). (A  $0,63 \text{ m/s}^2$  gyorsulásérték kiszámításánál a cseppkő felső, repedt részét nem vettük figyelembe a cseppkő magasságának a megállapításakor.)



1. ábra Sérülékeny, de sértetlen állócseppkő, IVSTM(4.5) a Domicabarlang Ördöglik barlangrészében a Majkó teremben (vörös kereszt a 4b. ábrán)

A Domicabarlang Ördöglik részének Majkó-termében álló 4,5 m magas cseppkő segítségével megállapítható CHGA értékeket a korábban is használt módszerünk (SZEIDOVITZ et al. 2005, 2008, GRIBOVSZKI et al. 2017A-B) felhasználásával számítottuk ki az 1. egyenlet szerint (CADORIN et al. 2001), a statikus törés esetét figyelembe véve (azaz a rezonancia hatását nem vettük figyelembe).

$$CHGA = a_g = \frac{D\sigma_u}{4\rho H^2} \quad 1. \text{ egyenlet}$$

Az 1. egyenletben szereplő ismeretlenek értékeit a következő módon állapítottuk meg:

- az IVSTM(4.5) geometriai méreteit ( $D$ : átlagos átmérő,  $H$ : magasság) helyszíni, roncsolásmentes mérésekkel határoztuk meg (1. táblázat);
- a vizsgált barlangban gyűjtött törött cseppkövek sűrűségét ( $\rho$ ) és törőszilárdságát ( $\sigma_u$ ) mechanikai laboratóriumban mértük. A konkrét számítási értékek GRIBOVSZKI és szerzőtársai (2013A) tanulmányában találhatóak meg. A számításoknál felhasznált sűrűség-értékek jó egyezést mutatnak a baradlabeli törött cseppkövek vizsgálatából megállapított sűrűség-értékekkel, a törőszilárdsági értékek viszont kb. 60%-kal magasabbak voltak, mint a baradlabeliek.;

(A vizsgált cseppkövön különböző típusú sajátfrekvencia-méréseket is végeztünk. Ezekről a sajátfrekvencia-mérésekről eddig konferencia-előadásokon (GRIBOVSZKI et al. 2019, 2020) és egy barlangászati tudományos szakfolyóiratban (GRIBOVSZKI et al. 2013A) számoltunk be. A méréseknek és azok eredményeinek részletezésére egy későbbi tanulmányunkban fogunk kitérni, jelen cikkben a terjedelmi korlátok miatt ezzel bővebben nem foglalkozunk.)

*1. Táblázat: A Domicabarlang Ördöglik részében található állócseppkő (IVSTM(4.5), 1. ábra) helyszíni mérésből származó adatai és a számított kritikus horizontális talajgyorsulás (CHGA).*

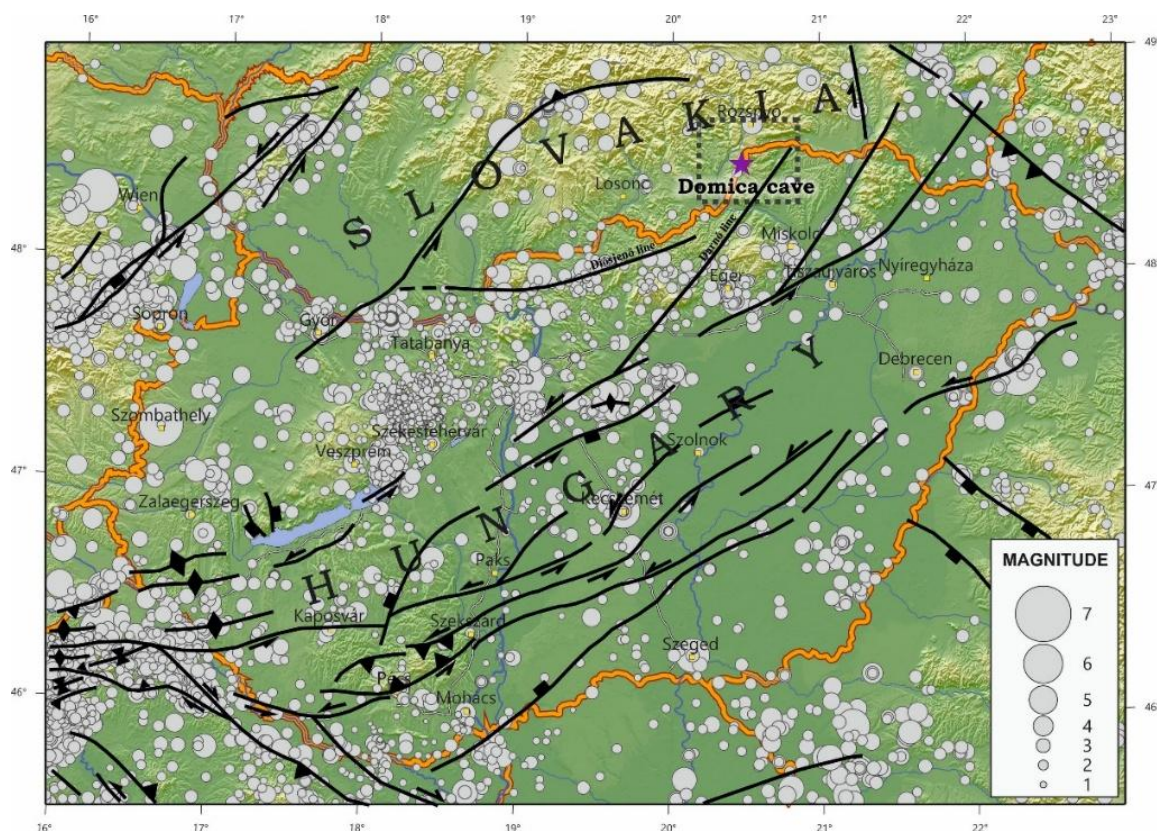
Magasság $H$ [cm]	Átmérő $D$ [cm]	$H/D$	Számított $a_g$ (CHGA) [m/s <sup>2</sup> ]
451,5 CODE: IVSTM(4.5)	átlag: 5,5±0,5 (az állócseppkő átmérője változik a függőleges tengelye mentén)	82,1±7,5	0,75±0,23 (az állócseppkő jelenlegi formájából kiszámítva)

A módszerünkönél fontos tudnunk a vizsgált cseppkő korát, növekedési sebességét is. Ezeket az információkat egy az IVSTM(4.5) mellett álló cseppkőoszlopból (sárga háromszög a 4b. ábrán) fűrt magminták korából nyertük, MC-ICPMS módszerű kormeghatározás alkalmazásával. A vizsgált IVSTM(4.5) túlságosan sérülékeny ahhoz, hogy abból biztonsággal mintát tudnánk kifűrni a kormeghatározási vizsgálatokhoz. A kormeghatározási eredmények azért fontosak, mivel segítségükkel létre tudjuk hozni a cseppkő időbeli növekedését vagy (gyertyaszál alakú cseppkövek esetén) időbeli alakváltozását is, továbbá az alakváltozástól függő CHGA értékek görbét is.

A CHGA érték kiszámításán túl fontosnak tartottuk még, a BECKER et al. (2006) publikációban közölt ismeretek miatt, megtudni azt is, hogy a Domicabarlang Ördöglik részének Majkó terme milyen mélységben helyezkedik el a felszín alatt. Ennek az ismeretnek a vertikális irányú hullámcsillapodásban van jelentősége. A barlangterem mélységének megállapításához két térképet kutattunk fel a szakirodalomból (3. és 4. ábrák). Mindkét térkép bemutatja az Ördöglik vertikális elhelyezkedését, sőt a 3. ábrán a Baradlabarlang Olimposz termének a vertikális helyzete is látható az Ördöglikhez képest. Erre az ismeretre azért van szükségünk, mivel jelen tanulmányban az Olimposz teremben álló 5,1 m magas cseppkövel hasonlítjuk össze az IVSTM(4.5)-öt, és emiatt tudnunk kell azt is, hogy vertikális értelemben egymáshoz képest hogyan helyezkednek el a cseppkövek amellet, hogy a horizontális távolságukat (ami 4 km-nél nem nagyobb) is ismerjük.

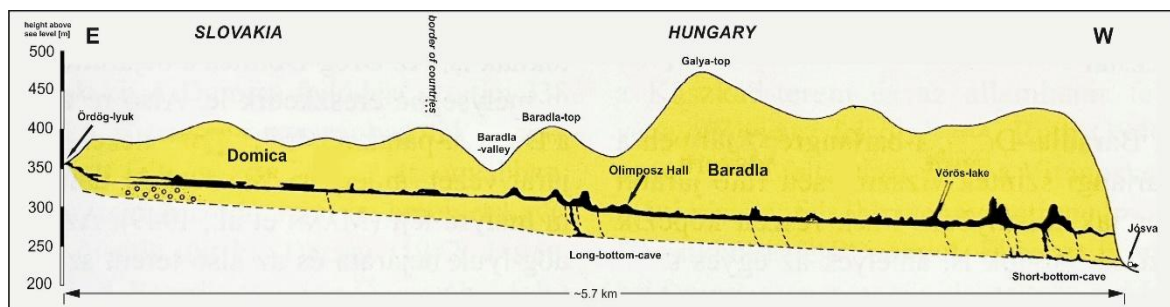
**A vizsgált barlang elhelyezkedése és a cseppkő helye a barlangon belül**

A Domica-barlang Szlovákia délkeleti részén, a szlovák-magyar határ szlovák oldalán található (2. és 3. ábrák). A Domica-barlang Ördöglik részének Majko termében áll a jelen vizsgálatban szereplő cseppkő (4. ábra).



2. ábra: Magyarország szeizmicitása (TÓTH et al. 1996-2014, ZSÍROS 2000) és a vizsgált barlang (Domica) elhelyezkedése az aktív törésvonalakkal (HORVÁTH et al. 2004).

A 3. ábrán, azaz a Baradla-Domica barlangrendszer oldalnézeti metszetén látható, hogy a Domica-barlang Ördöglik része nem mélyebben helyezkedik el a felszín alatt, mint a Baradla-barlang Olimposz-termébe. A Baradla-barlang Olimposz-termében korábban részletesen vizsgáltunk egy 5,1 m magas sérülékeny, de sértetlen cseppkövet (SZEIDOVITZ et al. 2005, 2008). SZEIDOVITZ és szerzőtársai (2008) a publikációjukban megállapították, hogy mivel a baradlabeli 5,1 m magas cseppkő 40 m mélységnél nem helyezkedik el mélyebben a felszín alatt, ezért eredményeikben, azaz a kiszámított CHGA értékekben, nem szükséges figyelembe venni a mélység által okozott hullám-csillapodást a földrengéshullámok amplitúdójára vonatkozóan. Fontos azonban ezen a ponton megjegyeznünk, hogy a csillapítás valódi értékének megállapításához valós helyszíni mérésekre lenne szükség!



3. ábra: A Baradla-Domica barlangrendszer függőleges metszete (GRUBER – GAÁL 2015).

A 4a. ábrán a Domicabarlang Ördöglik (Ördög-lyuk) barlangrészének térképe látható Anton Droppa 1950-es szerkesztésében. A 4b. ábra a Majkó terem mutatja be részletesebben, piros csillaggal jelölve a teremben az IVSTM(4.5) állócseppkő helyét. A 4a. ábrán a felülnézeten kívül szerepel az Ördöglik vertikális metszete is, ahol a 16. ponttal jelzett mérési hely a vizsgált cseppkő közelében helyezkedik el. A 16. pont mélysége pedig az Ördöglik bejáratától („Otvár”-ral jelölve a vertikális metszeten) kevesebb, mint 40 m mélységre található. Ez is alátámasztja a 3. ábrával kapcsolatosan leírtakat, azaz hogy az IVSTM(4.5) állócseppkő 40 m mélységnél sekélyebben helyezkedik el a felszín alatt.

### ***Eredmények***

A különböző magasságokban fűrt kormeghatározási eredmények azt mutatják, hogy az oszlop-cseppkő legaljából kifűrt magminta kora nem haladja meg a 10 000 évet. A cseppkőoszlop közepéből kifűrt magminta pedig kb. 2 500 évnél nem idősebb. (A pontos kormeghatározási eredményeket egy későbbi, részletesebb tanulmányunkban fogjuk majd közölni, a kormeghatározási mérések táblázatával együtt.) Ezen eredmények ismeretében (tudva azt, hogy pontosan milyen magasságokból származnak a cseppkőkorok a kormeghatározásra használt cseppkőoszlop függőleges tengelye mentén) megkonstruálható a cseppkőnövekedési egyenes a vizsgált állócseppkőre (IVSTM(4.5)) vonatkozóan. Ezt követően kiszámítottuk az 1. egyenlet felhasználásával a CHGA görbe értékeit a vizsgált állócseppkő (IVSTM(4.5)) magassága függvényében a cseppkő jelenlegi állapotában és visszamenőlegesen is az időben. A módszer azonos a GRIBOVSKI és szerzőtársai (2017A-B) publikációjukban leírtakkal, az eredményábrára pedig hasonló az ott megkonstruált görbével. (Az így nyert CHGA görbét jelen publikációban nem közöljük, mivel az majd egy részletesebb angol nyelvű összefoglaló tanulmányban kerül bemutatásra.)

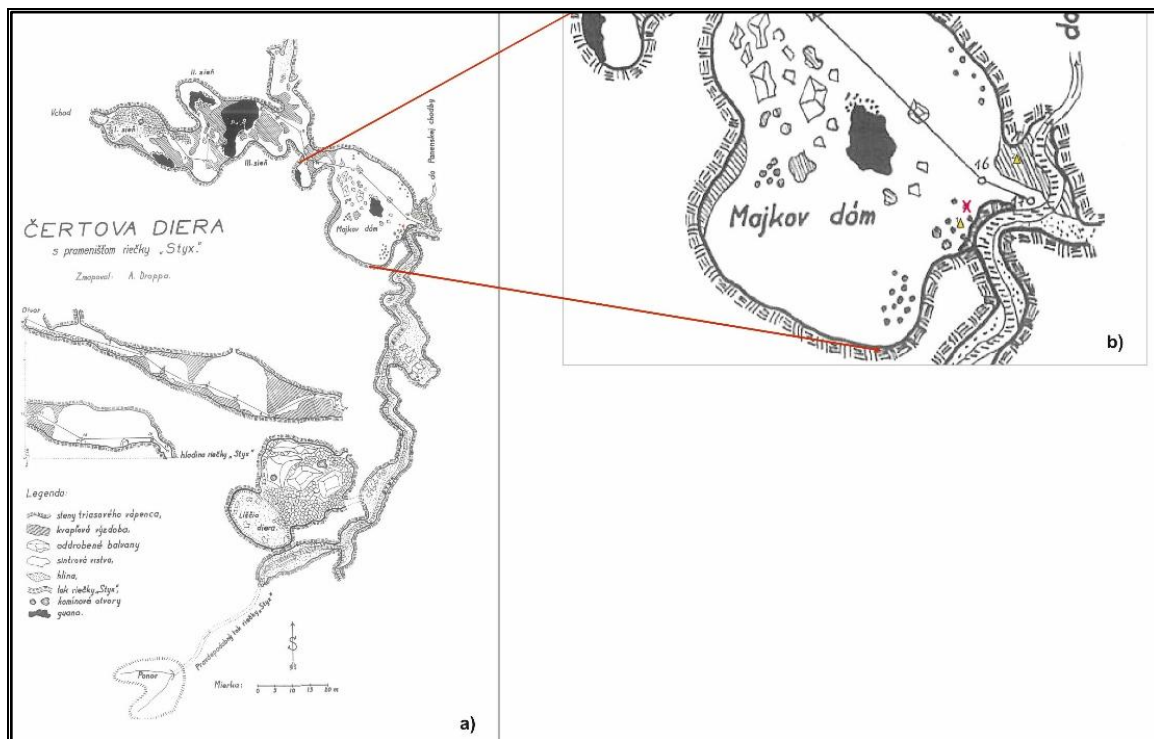
Az 50 éven belül 10%-os meghaladási valószínűsége (azaz 10%-os szignifikancia szinten) kiszámított földrengés-veszélyeztetettségi térképek kb. 475 éves visszatérési időre vonatkozólag tartalmazzák a kritikus gyorsulásértékeket. Az IVSTM(4.5) cseppkőből megállapítható CHGA érték kb.  $0,87 \text{ m/s}^2$  a 475 évvel ezelőtti cseppkőalakra (amelynek magassága kb. 419 cm, átlagos átmérője pedig 5,5 cm) kiszámítva. Az 50 éven belül 5%-os meghaladási valószínűsége kiszámított földrengés-veszélyeztetettségi térképek kb. 1 000 éves visszatérési időre vonatkozólag tartalmazzák a kritikus gyorsulásértékeket. Az 1 000 évvel ezelőtti cseppkőalakra kiszámított CHGA érték kb.  $1,05 \text{ m/s}^2$ . (1 000 évvel ezelőtt a cseppkő magassága kb. 383 cm volt, átlagos átmérője pedig állandó, azaz 5,5 cm.)

Jelen cikk további eredménye még, hogy egyrészt megállapíthatjuk, hogy a Domicabarlang Ördöglik részében található Majkó terem 40 m-nél sekélyebb mélységben található, másrészt ez a mélység sekélyebb, mint a Baradla-barlang Olimposz termének mélysége, ahol már vizsgáltunk korábban egy 5,1 m magas sérülékeny állócseppkővet (SZEIDOVITZ et al. 2008). Mivel SZEIDOVITZ és szerzőtársai (2005, 2008) munkájukban (a barlangterem sekély mélysége miatt) nem vették figyelembe a mélység szerinti hullámamplitúdó-csillapodást, és az Ördöglik Majkó terme sekélyebb mélységben helyezkedik el, mint az Olimposz terem így a mélység szerinti hullámamplitúdó-csillapodást jelen tanulmányban sem vesszük figyelembe. Ebből következően itt is úgy tekinthetjük, hogy a cseppkőből kiszámított CHGA az nemcsak a barlang-felszínre, hanem a valódi szabad felszínre is vonatkozik (alapkőzetre, a site effect hatásának figyelembevétele nélkül).

### ***Következtetések, az eredmények értékelése, megvitatása***

Eredményeink azt mutatják, hogy a valószínűségi földrengés-veszélyeztetettségi térképek, azaz a SHARE térkép (GIARDINI et al. 2013) és a PSHA térkép (valószínűségi földrengés-veszélyeztetettségi térkép, TÓTH et al. 2006) értékei nem haladják meg, a Domicabarlang Ördöglik területére az IVSTM(4.5) alapján kiszámított CHGA értékeket. Hiszen TÓTH és

szerzőtársai (2006) munkájukban 50 évre vonatkozólag 10%-os meghaladási valószínűség mellett  $0,7 \text{ m/s}^2$  várható kritikus talajgyorsulás értéket határoztak meg, míg GIARDINI és szerzőtársai (2013)  $0,55 \text{ m/s}^2$  várható kritikus talajgyorsulás értéket állapítottak meg. Továbbá 50 évre vonatkozólag 5%-os meghaladási valószínűség mellett GIARDINI és szerzőtársai szerint  $0,75 \text{ m/s}^2$  a várható kritikus talajgyorsulás mértéke.



4. ábra: a) A Domica-barlang Ördöglik része (felül- és oldalnézet), a térképet A. Droppa készítette 1950-ben (BIEDNIK et al. 1950). A Jelmagyarázatban („Legenda”) található kifejezések leírása fentről lefelé haladva: Triász mészkő; cseppkőborítás; összetört sziklák; mésztufa; agyag; a Styx patak medre; kémény; guanó. b) IVSTM(4.5) elhelyezkedése az Ördöglik barlangrész Majko-termében (Majkov dóm) a Domica-barlangban (vörös kereszt) és a kormeghatározásra használt cseppkőoszlop elhelyezkedése (sárga háromszög)

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a Domica-barlang Ördöglik részére a szeizmikus veszélyeztetettséget a jelenlegi földrengés-veszélyeztetettségi térképek – jelen számításaink alapján – nem becsülik túl, és a különböző visszatérési időkre az IVSTM(4.5) alapján kiszámított kritikus horizontális talajgyorsulás (CHGA) értékek nem térnek el nagymértékben a földrengés-veszélyeztetettségi térképeken található gyorsulás-értékektől (24 - 40 %-os eltérés).

További eredmény, hogy az IVSTM(4.5) sérülékeny állócseppkő segítségével megállapított CHGA értékek magasabbak, mint a SZEIDOVITZ és munkatársai (2005, 2008) által becsült mintegy  $0,55$  (vagy szigorúbb becslés alapján:  $0,63 \text{ m/s}^2$ ) CHGA értékek, melyeket egy másik, a Domica-barlang Ördöglik barlangrészétől 4 km-re található, a Baradla-barlang Olimposz termében álló sérülékeny, 5,1 m magas állócseppkő (IVSTM(5.1)) elemzése alapján kaptak. (Az 5,1 m magas állócseppkő nem tökéletesen sértetlen, mivel a tetejétől 34 cm-re található rajta egy repedés. A  $0,63 \text{ m/s}^2$  gyorsulásértéket a repedésig tartó magasság alapján számítottuk ki.) Tehát a SZEIDOVITZ és munkatársai (2008) publikációjukban közölt gyorsulásértéknél alacsonyabbat nem tudtunk megállapítani ugyanarra a területre, a Domica-barlang Ördöglik részén álló IVSTM(4.5) elemzése alapján

annak ellenére, hogy az IVSTM(4.5) alakja alapján sérülékenyebb (esetében nagyobb a H/D arány), mint a baradlabeli IVSTM(5.1).

### **Köszönetnyilvánítás**

Köszönettel tartozunk a Szlovák Természettudományi és Barlangászati múzeum (Slovak Museum of Nature Protection and Speleology) munkatársának, Gaál Lajosnak, továbbá Kovács Ferenc barlangásznak és egy jelenlegi és egy egykori HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézeti (korábbi MTA GGKI) munkatársunknak: Molnár Tibornak és Kovács Károlynak, hogy segítségünkre voltak a barlangi adatgyűjtések és terepi mérések során.

### **Irodalomjegyzék**

- BECKER, A. – DAVENPORT, CA – EICHENBERGER, U. – GILLI, E. – JEANNIN, P-Y. – LACAVE, C (2006): Speleoseismology: a critical perspective. *Journal of Seismology* 10:371–388
- BIEDNIK, P. – IZÁK, L. – ROUBAL, R. – BENICKY, V. – VLCEK, J (1950): Krásy Slovenska. XXVII, Slovotour, Liptovsky Sv. Mikulás, p. 247
- CALAIS, E. – CAMELBEECK, T. – STEIN, S – LIU, M. – CRAIG, T.J. (2016): A new paradigm for large earthquakes in stable continental plate interiors. *Geophysical Research Letters* 43:10621–10637
- CADORIN, J.F. – JONGMANS, D. – PLUMIER, A. – CAMELBEECK, T. – DELABY, S. – QUINIF, Y. (2001): Modelling of speleothems failure in the Hotton cave (Belgium). Is the failure earthquake induced? *Netherlands Journal Geosciences* 80(3–4):315–321
- GIARDINI, D. et al. (2013). Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE). Online Data Resource, 10.12686/SED-00000001-SHARE, <http://www.share-eu.org/node/6.html>
- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – SHEN C.-C. – TÖRÖK Á. – BRIMICH L. – (2013A): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact stalagmites and the mechanical properties of broken stalagmites in Domica cave, Slovakia. *Slovensky kras, Acta Carsologica Slovaca* 51(1): 5–14
- GRIBOVSZKI K. – BOKELMANN G. – SZEIDOVITZ G. – VARGA P. – PASKALEVA I. – BRIMICH L. – KOVÁCS K. (2013B): Comprehensive investigation of intact, vulnerable stalagmites to estimate an upper limit on prehistoric ground acceleration. In: *Proceedings of the vienna congress on recent advanced in earthquake engineering and structural dynamics & 13. D-A- CH Tagung, Vienna, Paper 445: p. 10*
- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – BOKELMANN G. – KONECNY P. – LEDNICKÁ M. – MOSELEY G. – SPÖTL C. – EDWARDS R. – L. – BEDNÁRIK M. – BRIMICH L. – TÓTH L. (2017A): Estimating the upper limit of prehistoric peak ground acceleration using an in situ, intact and vulnerable stalagmite from Plavecká' priepast cave (Detrekői-zsomboly), Little Carpathians, Slovakia—first results. *Journal of Seismology* 21(5): 1111–1130, <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9655-3>
- GRIBOVSZKI K. – KOVÁCS K. – MÓNUS P. – BOKELMANN G. – KONECNY P. – LEDNICKÁ M. – MOSELEY G. – EDWARDS R. – L. – SPÖTL C. – BEDNÁRIK M. – BRIMICH L. – TÓTH L. – HEGYMEGI E. – KEGYES-BRASSAI Cs. – SZEIDOVITZ GY. (2017B): Hosszú távú földrengésveszélyeztetettség becslése a Detrekői-zsomboly (Kis-Kárpátok, Szlovákia) sértetlen állócseppkövének vizsgálatával. *Magyar Geofizika* 58(2): 1-16
- GRIBOVSZKI K. – ESTERHAZY S. – BOKELMANN G. (2018): Numerical modeling of stalagmite vibrations. *Pure and Applied Geophysics* 175: 4501–4514, <http://link.springer.com/article/10.1007/s00024-018-1952-4>.
- GRIBOVSZKI K. – MÓNUS P. – PRÁCSER E. – NOVÁK A. – SZALAI S. – KISZELY M. – GÖTZ BOKELMANN (2019): In situ measurements of stalagmites' vibration by using portable digital vibrometer - next step of gaining long-term seismic hazard information from intact vulnerable stalagmites. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 21, EGU2019-8770, p. 1
- GRIBOVSZKI K. – PINTI D. – SHEN C.-C. – MÓNUS P. – PRÁCSER E. – NOVÁK A. – KISZELY M. – ESTERHAZY S. – CZIROK L. – LEDNICKÁ M. (2020): Long term seismic hazard information from intact, vulnerable stalagmites in Domica cave, Ördöglík Hall, Slovakia. *EGU General Assembly 2020, EGU2020-5491, p. 1, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-5491*

- GRUBER P. – GAÁL L (SZERK.) (2015): A Baradla-Domica barlangrendszer (The Baradla-Domica cave system). Aggteleki Nemzeti Park Ig, Jósvalő, Hungary, p. 512
- HORVÁTH F – BADA G – WINDHOFFER G – CSONTOS L – DÖVÉNYI P – FODOR L – GRENERCZY GY – SÍKHEGYI F – SZAFIÁN P – SZÉKELY B – TIMÁR G – TÓTH L – TÓTH T (2004): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó
- KONEČNÝ, P. – LEDNICKÁ, M. – SOUČEK, K. – STAŠ, L. – KUBINA, L. – GRIBOVSZKI K. (2015): Determination of dynamic Young's modulus of vulnerable speleothems. *Acta Montanistica Slovaca* 20 (2):156–163, <https://actamont.tuke.sk/pdf/2015/n2/10Konecny.pdf>
- SCHOLZ, H. (1990): *The mechanics of the earthquakes and faulting*. Cambridge University Press, p. 467
- SZEIDOVITZ GY. – LEÉL-ŐSSY SZ. – SURÁNYI G. – CZIFRA T. – GRIBOVSZKI K. (2005): Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása cseppkövek törőszilárdságának ismeretében. *Magyar Geofizika* 46:91-101
- SZEIDOVITZ GY. – SURÁNYI G. – GRIBOVSZKI K. – BUS Z. – LEÉL-ŐSSY SZ. – VARGA Z. (2008): Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in Hungarian caves. *Journal of Seismology* 12:21–33
- TÓTH L. – MÓNUS P. – ZSÍROS T – KISZELY M (2002): Seismicity in the Pannonian Region - earthquake data. In: Cloetingh SAPL, Horváth F, Bada G, Lankreijer A (eds) *Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system*, vol 3. European Geosciences Union, St. Mueller Special Publication Series, pp. 9–28
- TÓTH L. – GYŐRI E. – MÓNUS P. – ZSÍROS T (2006): Seismic Hazard in the Pannonian Region. In: Pinter N, Grenerczy Gy, Weber J, Stein S, Medak D (Eds.): *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences vol 61:369–384., Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3\\_25](https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3_25)
- TÓTH L. – MÓNUS P. – ZSÍROS T. – BONDÁR I. – BUS Z. – KOSZTYU Z. – KISZELY M. – WÉBER Z. – CZIFRA T (1996-2014): *Hungarian Earthquake Bulletin, 1995-2014*, Mta Ggki és Georisk Kft, Budapest
- ZSÍROS T. (2000): A Kárpát-medence szeizmicitása és földrengés veszélyessége: Magyar földrengés katalógus (456-1995). MTA GGKI Szeizmológiai Obszervatórium, p. 482

## Jankó Sándor Díj Emlékplakett

Nagy Máté alkotása



*A képet készítette: Herceg András*

## Jankó Sándor szobra a soproni Botanikus Kertben

Kutas László alkotása



*A képet készítette: Herceg András*

