

# SZABAD VÍZ MEGJELENÉSE A TALAJBAN KÜLÖNBÖZŐ FAÁLLOMÁNYOK ALATT A SZENT ANNA-TÓ KRÁTERÉNEK BELSŐ LEJTŐIN

Szmolka Péter<sup>1</sup> és Frank Norbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kézdivásárhelyi Magánerdészet

<sup>2</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

## Kivonat

Az utóbbi évtizedek során jelentős romlás következett be a Szent Anna-tó, Románia egyetlen krátertava, batimetriai jellemzőiben és vízminőségében. A tó vízméregének tekintetében nem tisztázott a kráternek, mint a tó vízgyűjtő területének a szerepe. A talajfelszín alatti hozzáfolyás, mint a tavat tápláló vízmérleg komponens létezése nyitott kérdés. A felszín alatti hozzáfolyás feltétele a talajban megjelenő szabad víz. A kutatás a kráter talajában a szabad víz megjelenésének és előfordulási gyakoriságának a kérdéskörét vizsgálja a krátert borító különböző fajfaj-összetelű és korszerkezetű állományok alatt.

A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy a szabad víz megjelenik a talajban és a kráter belső lejtőit borító középkorú és idős egykorú bükkösök, középkorú lucosok és vegyeskorú bükk-fenyő elegyek hatással vannak a megjelenési gyakoriságára. Az idős, egykorú bükkösök borította talaj esetében a szabadvíz jelentősen kevesebbszer jelenik meg, mint középkorú bükkös és a vegyeskorú állományok alatt.

*Kulcsszavak:* Szent Anna-tó, talajnedvesség, szabad víz, korszerkezet, fajösszetétel

## OCCURRENCES OF FREE WATER IN THE SOIL UNDER DIFFERENT FOREST STANDS ON THE SLOPES OF THE LAKE SFÂNTA ANA CRATER

### Abstract

Significant changes were recorded in the bathymetric and water-quality parameters of the Lake Sfânta Ana, a crater lake in Romania, during the past decades. The role of the crater, as the catchment area of the lake needs to be clarified. The existence of the subsurface inflow, as a feeding component in the hydrological budget of the lake, is an open question. The occurrence of free, gravitational water in the soil of the crater is a fundamental condition of the subsurface inflow. The study is focusing on the questions related to the occurrence and frequency of free water in the soil under forest stands of different species composition and age structure.

The results show that free water does occur in the soil, and the different forest structures, consisting of middle aged and old European beech stands, middle-aged Norway spruce stands and mixed aged European beech with Northern spruce and Silver fir stands, have an influence on the frequency of the occurrence. Free water occurrence in the soil is significantly lower in old even aged European beech stands than in the middle aged beech and mixed aged stands.

*Keywords:* Lake Sfânta Ana, soil moisture content, gravitational water, age structure, composition

Levelező szerző/Correspondence:

Szmolka Péter, 520052 Sepsiszentgyörgy, Akác u. 64.; [szmolka.peter@phd.uni-sopron.hu](mailto:szmolka.peter@phd.uni-sopron.hu)



## BEVEZETÉS

A Szent Anna-tó természetvédelmi jelentősége mellett Románia egyik legismertebb turisztikai látványossága; Natura 2000 terület, nemzeti jelentőségű természetvédelmi terület. A tó legnagyobb mélysége 1909-ben 8,3 m (Gelei 1909), 2000-ben 4,85 m (Pál 2001), 2018-ban Mihály 7,2 méteres mélységet mért (Mihály 2018). A csökkenés részben a tó vízszint-csökkenésének, részben a feltöltődési folyamatnak a következménye. A tóban lezajló feltöltődési folyamatok (szedimentáció és eutrofizáció) mutatója  $2,4 \pm 0,4$  cm/év átlagértékű lineáris szedimentációs rátával jellemezhető (Begy et al. 2011). A tó vízminősége is jelentősen megváltozott az utóbbi évtized során, a korábban kristálytiszta vizű oligotróf tó a foszfortartalom és átlátszóság (Secchi mélység) alapján mezotróf, az algasűrűség (az a-klorofill tartalom) alapján pedig eutróf kategóriába sorolható (Máthé et al. 2018).

A krátertó vizét a felszínére hulló csapadék és a kráter belső lejtőiről lefolyó (intenzív csapadékesemények alkalmával megjelenő) felszíni folyás, valamint feltételezhető felszín alatti hozzáfolyás, beszivárgás táplálja. Állandó felszíni vízfolyásokkal nem rendelkezik.

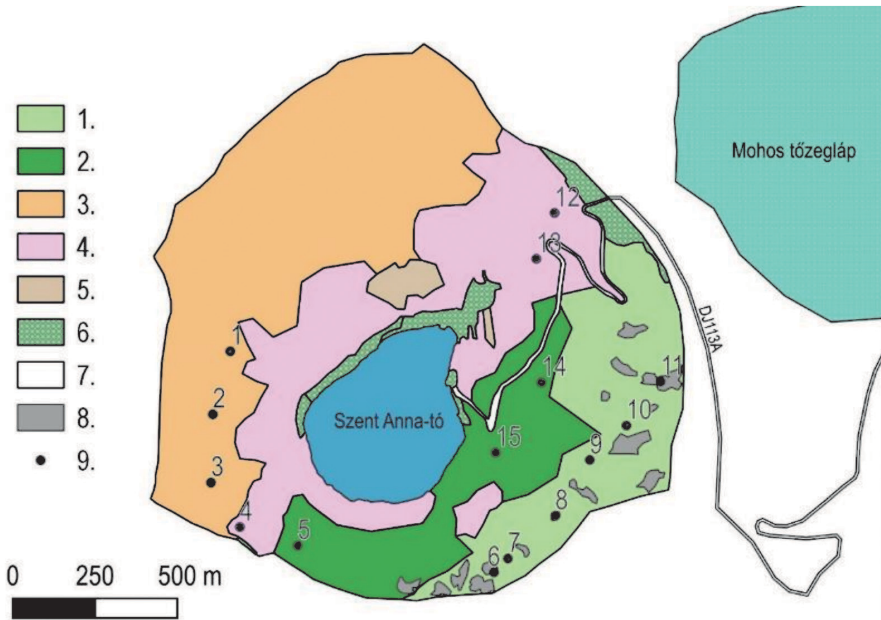
A vizsgált terület (1. ábra) fiziko-geográfiai szempontból a Kárpátok-Transzilván egység, Keleti Kárpátok Központi Csoportja, Kelemen-Görgény-Hargita vulkanikus vonulatának részét képező, a Hargita hegység legdélebbi alkotóelemének a Csomád vulkáni kúpnak (Dimitrie et al. 1987) a belső kráterlejtőjét alkotja. A Csomád vulkánt magas káliumtartalmú dacitok építik fel. A Mohos és a Szent Anna krátereit két egymást követő robbanásos kitörés eredményeként jöttek létre. Az utolsó, Szent Anna-kráterhez rendelhető kitörés korát 29500 évesre datálják (Harangi et al. 2010).

A terület a mérsékelt kontinentális klímazónában a IV. hegyi klímasektorban, a közép- és alacsony-hegységek részét képező Keleti Kárpátok vidékének hegyi erdő- és legelő klímakerületében helyezkedik el, a Keleti Kárpátok komplex topoklímáinak része (Badea et al. 1983). Hideg és nedves telek jellemzik, a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete  $-4^{\circ}\text{C}$  alatt, a legmelegebb hónap esetében  $14^{\circ}\text{C}$  fölött van. Az éves átlaghőmérséklet  $5^{\circ}\text{C}$ , az éves csapadékösszeg 800 mm, a legcsapadékosabb hónapok a május és a június (Stoiculescu 1966).

A kráterbelső fő talajtípusa az Andosol a 2012-es Román Talajosztályozási Rendszer szerint (SRTS 2012), ami az Andosol talajtípusnak felel meg a WRB 2014 rendszerben, a talajszelvény az Au-AC-C szintekből (Au – A umbrikus humusz akkumulációs szint 0-20 cm, AC – átmeneti szint 20 és 30 cm között, C – alapkőzet). Az Au és A/C szintek homok, vályogos homok fizikai féleséggel jellemezhető, 5% körüli humusztartalommal, pH 4.1, Munsell-skála szerinti színe 10YR 2/1 az Au szintben, 10YR 3/4 az A/C szintben. A váztartalom meghaladja az 5%-ot az AU szintben, a homok aránya meghaladja a 85%-ot.

A tó vízgyűjtőjét a Csomád kráter (Szent Anna kráter) belső lejtője képezi (183,6 ha), amelyet változatos felszínborítás jellemez. A belső kráterfal 95,9%-ban erdővel borított, idős egykorú bükkösök (32,1 ha), vegyeskorú bükk – lucfenyő – jegenyefenyő elegyek (25,3 ha), középkorú lucfenyő (45,6 ha) és középkorú bükk – luc elegyek (73 ha) állományok alkotják.

A román erdőtipológiai rendszer szerinti osztályozást tekintve a terület jellemző fő természetes erdőtípusa az „Európai Bükk Oxalis-Dentaria-Asperula” flórával, amely a Natura2000 előhelyosztályozás szerint 91V0 Dák Bükkös erdők (Symphyto – Fagion) típusnak felel meg.



1. ábra: A Szent Anna-tó belső kráterlejtőjét képező kutatási terület (1. idős egykorú bükkös, 2. vegyeskorú bükk-fenyő elegy, 3. középkorú bükkös, 4. középkorú lucos, 5. fiatal bükk-fenyő elegy, 6. gyepek, 7. út, 8. lék idős bükkösben, 9. mintavételi hely)

Figure 1.: Study site: in the inner slope of the Lake Sfânta Ana crater (1. Old European beech stand, 2. Mixed aged European beech – Northern spruce – Silver fir stands, 3. middle aged European beech, 4. middle aged Northern spruce, 5. young European beech - Northern spruce mixed stand, 6. grass plot, 7. road, 8. small regeneration plot in old European beech stand, 9. sampling site.)

A tó vízszintjének megtartása érdekében a vízmérleg tápláló paramétereinek a kutatása időszzerű, ezek megismerése és javítása által adódhat lehetőség a nem kívánt folyamatok megállítására, megfordítására. Az éves csapadékmennyiségek alakítása nem lehetséges, ezért ennek a hatékonyabb felhasználása lehet a megoldás a felszín alatti hozzáfolyás mértékének a növelésével. A felszín alatti hozzáfolyás lehetősége az egyes állományok alatt a talajnedvesség dinamikájának a vizsgálata, a talajnedvesség szabadföldi vízkapacitást meghaladó értékeinek az előfordulása által igazolható vagy cáfolható.

A szabadföldi vízkapacitás az a vízmennyiség, amit a talaj beázás után, a gravitációval szemben, természetes környezetben vissza tud tartani. Szabad víz csak a kapilláris pórusok telítődése után jelenik meg a talajban. A kapilláris-gravitációs víz a 10-50  $\mu\text{m}$  átmérőjű durvább pórusokban jelenik meg, ahol a kapilláris szívóerő értéke kisebb, mint a gravitációs erő, így ezekben a víz lassan lefelé áramlik. A gravitációs víz az 50  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb pórusokban gyorsan szívárog lefelé és vagy eléri a talajvizet és növeli annak mennyiségét, vagy a szárazabb altalaj visszatartja (Stefanovits et al. 2010). A szabad víz formái közül a kráter meredek lejtői esetében a kapilláris-gravitációs víz és a gravitációs víz megjelenése is feltételezhető.



A kutatás során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- a Szent Anna-tó kráterének belső, a tó vízgyűjtő területét képező lejtőinek talajaiban a talajnedvesség meghaladja-e a szabadföldi vízkapacitás értékét, és megjelenik-e a szabad víz gravitációs formája?
- a gravitációs víz megjelenése, ennek gyakorisága azonos-e a különböző fajokból álló és szerkezetű erdőállományok alatt?

A kutatás során az egyes állományok esetében megjelenő eltérések irányadóak lehetnek olyan erdőművelési beavatkozások elvégzésére, amelyek által a felszín alatti hozzáfolyás mértéke növelhető, illetve csökkenthető.

A talaj nedvességtartalma és a talajt borító faállomány jellemzői közötti összefüggések több vizsgálatnak is tárgyát képezte. Michigani *Acer Saccharum* (Marshall, 1785) állományok vizsgálata során összefüggéseket mutattak ki a talaj nedvességtartalmának dinamikája és a levélfelületi index, valamint a záródás közt (Yuteng et al 2014).

Mexikói *Quercus hypoleucoides* (A. Camus 1932), *Quercus grisea* (Liebm. 1854) és *Pinus engelmannii* (Carriere 1854) elegyes állományokban végzett különböző intenzitású (közepes – 40%, erős – 80%, kontroll) gyéritések során a kis mennyiségű (<10mm) csapadékesemények esetében mutattak ki jelentős eltérést a napi talajnedvesség maximum és átlagértékeinek növekedésében, különösen az erős intenzitású gyéritéssel érintett területeken. Ugyanakkor a gyéritett mintaterületek esetében a nedvesség magasabb értékei hosszabb ideig fennálltak (Argelia et al. 2021).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatás során különböző fajösszetételű és korszerkezetű állományokban (idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú luc, vegyeskorú bükk) és egy idős bükk állományban képzett lécekben végeztünk a szabad, gravitációs víz megjelenési gyakoriságára vonatkozó összehasonlító vizsgálatot. A vizsgálat elvégzéséhez minden kategóriában három mintaterület került kijelölésre és minden mintaterület esetében telepítettünk egy YL-69 típusú talajnedvesség szenzort a hozzá tartozó Arduino platformra épített adatrögzítővel, amelyek 10 perces időközönként rögzítették a talajnedvességet 50 centiméteres mélységben. Ez a mélység minden esetben a gyökérszóna alatt helyezkedett el, amelynek a vastagsága minden mintapont esetében 25 és 35 cm közötti volt. A kétágú villa alakú szenzorok elhelyezése a talajban ásott talajszelvény hegy felőli, nem bolygatott oldalába történő beszúrással történt, majd a gödör visszatemetése során az eredeti szinteknek megfelelően lett a kiásott anyag visszahelyezve, lehetőség szerint elkerülve a különböző talajszintekből származó talaj keveredését.

Az adatrögzítés a 2020. május 1. és 2021. december 31. közötti időszakban történt, az adatok elemzése és kiértékelése azonban csak a 2020. május 1. és 2021. augusztus 1. időszakra lett elvégezve, az ezutáni időszakban történt adatvesztések miatt, amit több adatrögzítő meghibásodása okozott.

Az YL-69 típusú talajnedvesség-szenzorok a rezisztivitás elvén működnek, ami a talajnak az elektromos árammal szembeni ellenállási képességét fejezi ki. A talajba irányított egyenáram feszültségese szorosan összefügg a talaj rezisztivitásával. A rezisztivitás csökken a talaj nedvességtartalmának növekedésével (Weng et al. 2018). A szenzorok nagyon pontos kalibrálása a helyszínről a szenzorok kiemelése során gyűjtött talajminták esetében nem volt lehetséges, mivel a magas

homoktartalom miatt gyakorlatilag lehetetlen volt bolygatatlan (nem széteső) mintát venni a szenzorok közvetlen közelében. A kalibrációt ezért a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő nedvességtartalom közelítő meghatározása által végeztük. A kalibrációhoz a talajnedvesség-szenzor kiemelésékor az ezt körülvevő talajból vett talajmintákat áteresztő aljú edénybe helyeztük, meghatároztuk a minta tömegét, tömörítettük, majd desztillált víz hozzáadásával nedvesítettük, addig amíg az edény alján a gravitációs víz megjelent. A gravitációs víz távozása után a mintákat szárítószekrényben 105°C-on súlyállandóságig szárítottuk. A gravitációs víz távozása után fennmaradt minta tömegéből a szárított minta tömegéhez viszonyítva a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő talajnedvességet (tömegszázalékban) meghatároztuk. Az ilyen módon meghatározott, a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő talajnedvességtartalom 27–35 m/m% között mozgott.

Az YL-69 talajnedvesség szenzor 0–1023 értékű analóg jelet bocsát ki. Az egyes szenzorok kalibrációja során elsőfokú (lineáris) függvény illesztését végeztük a talajnedvesség és a szenzorok által rögzített értékek közötti kapcsolat leírásához. A száraz talajmintának megfelelő rezisztivitás érték és a szenzorok adatsoraiból grafikusán meghatározott, a szabadföldi vízkapacitásnak megfelelő érték leolvasása után a kalibrálást a két értékpárra fektetett egyenes egyenleteként értelmeztük. Az adatrögzítők adataiból az egyes állományok alatt a talajnedvesség alakulása jól követhető, az esőzések alkalmával megjelenő szabadföldi vízkapacitást (amely a felszín alatti beszivárgás feltétele) meghaladó talajnedvességgel jellemezhető időszakok könnyen azonosíthatók. A szabad víz megjelenése a talajnedvesség görbén a csapadékos időszakokban a talajnedvesség értékének hirtelen növekedése és a csapadék megszűnését követő időszakban a gyors gravitációs beszivárgás következtében ennek meredek visszaesése alapján felismerhető. Csak a grafikusán jól kivehető, hegyes csúccsal jellemezhető, egyértelműen szabad vizet jelölő időpontok lettek azonosítva a megjelenési gyakoriságok elemzéséhez.

A csapadékmennyiség időbeni alakulása a Szent Anna-tónál elhelyezett Renkforce WH2315 típusú meteorológiai állomás adatainak felhasználásával történt. A billenőedényes csapadékmérővel felszerelt meteorológiai állomás adatai egy egyszerű, csapadékgyűjtő edénnyel ellátott pluviométerrel is ellenőrzésre és kiegészítésre kerültek a téli időszakban, amikor a fagypont alatti hőmérsékletek és a szilárd csapadékformák mérése a billenőedényes rendszerrel nem működhetett megfelelően.

A kijelölt mintaterületeken állományfelmérés történt, ennek során a különböző fajajösszetételű és szerkezetű állományokban 500 m<sup>2</sup> (középkorú) illetve 1000 m<sup>2</sup> (idős és vegyeskorú) kör alakú mintaterületen a fafaj, átmérő, magasság, Kraft osztály, ágtszta törzshossz, záródás, lejtés volt felrételezve.

Az egyes erdőszerkezetek alatti, a szabad víz megjelenési gyakoriságában megjelenő különbségek statisztikai kiértékelését  $X^2$  próbával végeztük. Az értékeléshez az egyes szenzorok mérési eredményeiből a csapadékos időszakokban a szabad víz megjelenési gyakoriságait számoltuk össze. Minden olyan csapadékos időszakot, vagy hóolvadással összefüggő talajnedvesség növekedést, amelynek esetében legalább egy szenzor a szabad víz megjelenését regisztrálta, mintavételi időpontnak tekintettünk és minden szenzornál értékeltük az adott időszakra a szabad víz jelenlétét vagy hiányát. Összesen 29 csapadékos időszak esetén haladta meg a talajnedvesség a szabadföldi vízkapacitás értékét és jelent meg szabad víz a talajban, legalább egy mintavételi hely esetében.

Az azonos állományszerkezettel jellemezhető kategóriák ((idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú luc, vegyeskorú bükk) három – három mintaterületének homogenitását a szabad víz megjelenési gyakoriságának szempontjából  $X^2$  homogenitásvizsgálattal ellenőriztük.

A szabad víz kategóriákként összesített megjelenési gyakoriságainak az egyes kategóriáktól való függőségét  $X^2$  függetlenségvizsgálattal ellenőriztük. Bonferoni post-hoc tesztet alkalmaztunk a páronkénti összehasonlítások elvégzéséhez. A kiértékeléshez Statistica 13.5.0.17 szoftvercsomagot használtunk. A választott szignifikanciaszint 5%.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A középkorú lucosokban, a XLVI. üzemegység 33C és 34C erdőrészekben felvételezett mintaterületek 60 és 65 éves, 90–100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) I–II. relatív termőosztályba tartozó, 16,4–18,3 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

1. táblázat: Az állományfelmérések eredményei (\* A fatermőosztály és a folyónövedék a Román Relatív Fatermőosztály táblázatok alapján került meghatározásra)

Table 1: results of stand surveys (the yield class and the growth determinations are based on the Romanian Relative Yield Class Tables)

	Középkorú lucos			Középkorú bükkös			Idős bükkös			Vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő		
Mintaterület sorszáma	13	4	12	1	2	3	9	10	7	5	15	14
Erdőrészlet száma	33C	34C	37	35B	35B	35B	33D	33D	34A	34A	33D	33D
Lejtés (°)	18	17	19	30	36	30	22	18	18	31	18	21
Kitettség	DNY	ÉK	DNY	K	K	ÉK	ÉNY	ÉNY	ÉNY	ÉNY	NY	NY
Fafajösszetétel (%)	LF 100%	LF 95% BÜ 4% HSZ 1%	LF 100%	BÜ 83% LF 5% NYI 5% RNY 4% JF 1% HSZ 2%	BÜ 88% NYI 10% KJ 1% HJ 1%	BÜ 90% HJ 6% NYI 3% LF 1%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 100%	BÜ 79% LF 21%	BÜ 84% LF 15% JF 1%
Kor (év)	65	65	60	65	65	65	130	130	130	–	–	–
Záródás (%)	100	90	90	100	100	100	95	100	100	90	90	90
Átlagátmérő (cm)	27,6	29,5	18,5	19,1	15,8	19,5	47,3	35,3	36,7	43,5	43	50,3
Átlagmagasság (m)	26,4	28,6	20,6	20,2	17,6	19,1	31,9	30	31,2	17,3	18,1	23,3
Biológiai felsőmagasság (m)	30,2	33,9	24,2	25,2	23,7	27,1	34,9	34,8	35,2	36,7	32,7	35,7
Körlapösszeg (m <sup>2</sup> /ha)	64,8	75,2	56,9	48,2	41,7	44,3	45,7	43,1	41,3	52	40,6	51,6
Fatérfogat (m <sup>3</sup> /ha)	826	1049	601	546	453	507	796	702	695	977	606	883
Törzsszám (db/ha)	1080	1100	2120	1680	2140	1480	260	440	390	350	280	260
Átlagos törzstávolság (m)	3,3	3,2	2,3	2,6	2,3	2,8	6,7	5,1	5,4	5,7	6,4	6,7
Termőosztály*	I	I	II	II	III	III	II	II	II	II	III	II
Folyónövedék	18,3	18,3	16,4	11,4	9,4	9,4	8,6	8,6	8,6	–	–	–



A középkorú bükkösben a XLVI. üzemegység 35B erdőrészletben felvételezett mintaterületek 65 éves, 100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II–III. relatív termőosztályba tartozó, 9,4–11,4 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

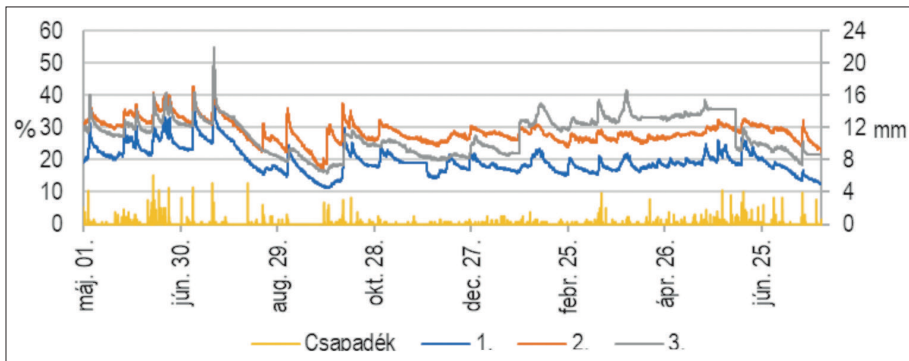
Az egykorú idős bükkösben a XLVI. üzemegység 33D és 34A erdőrészletben felvételezett mintaterületek 130 éves, 95–100%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II. relatív termőosztályba, 8,6 m<sup>3</sup>/ha folyónövedékkel jellemezhető állományban lettek kijelölve.

A vegyeskorú bükkösök a XLVI. üzemegység 33D és 34A erdőrészletekben felvételezett mintaterületek 90%-os záródással, a román relatív fatermőosztályozási rendszerben (Giurgiu & Drăghiciu 2004) II–III. relatív termőosztályú állományokként jellemezhetők

A fenti mintaterületek mellett talajnedvesség szenzorok kerültek elhelyezésre a XLVI. üzemegység 33D és 34A részleteiben 130 éves idős bükkösökben lékes felújító-vágással a 2017-es év folyamán kialakított 3 lék esetében is. A lékek szabálytalan, körhöz közelítő kialakításúak, 30–50 méter átmérővel jellemezhetők, 60–70%-os területarányban 0,5–2,5 m magas bükk újulattal borítottak, a maradék területet jellemzően *Rubus idaeus* (Linné, 1753), *Rubus hirtus* (Waldstein & Kitaibel, 1805) és *Urtica dioica* (Linné, 1753) borítja.

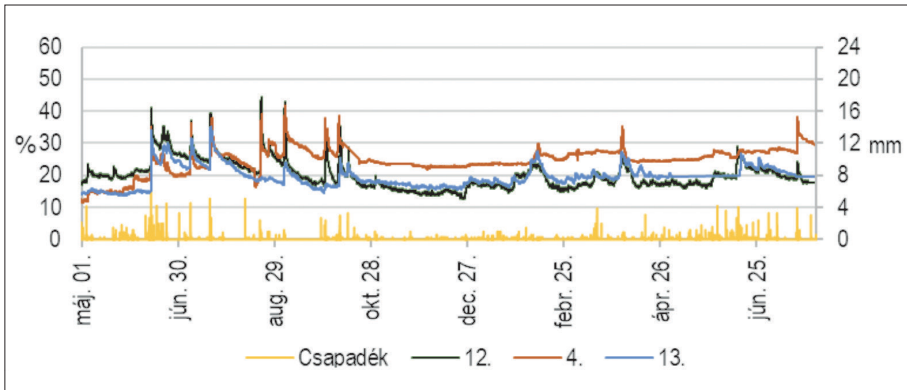
A talajnedvesség alakulása a különböző állományszerkezetek alatt a 2–5. ábrákon látható.

A talajnedvesség mérések kiértékelése alapján azonosított szabad víz megjelenési gyakoriságok az egyes faállomány-kategóriákban a 2. táblázatban vannak feltüntetve. A mintaszámok a fel-lépő adatvesztések (az adatrögzítők elektronikai hibája, róka, medve általi rongálása) miatt nem egyeznek.



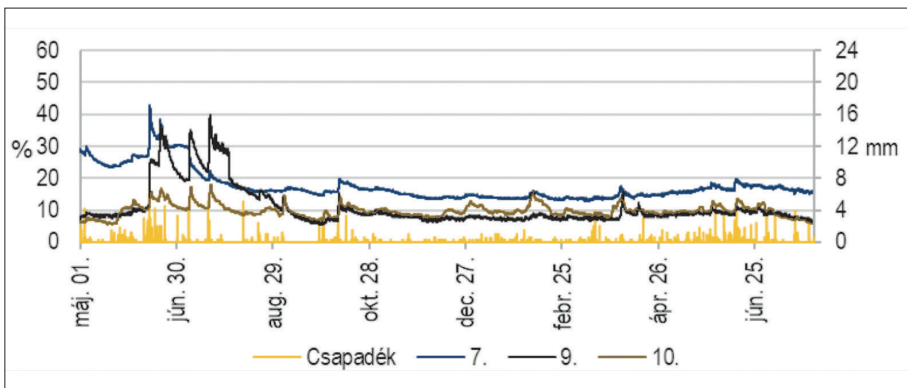
2. ábra: Talajnedvesség alakulása a középkorú bükkös mintaterületeken

Figure 2.: Evolution of soil water content in sampling sites under middle-aged beech stands



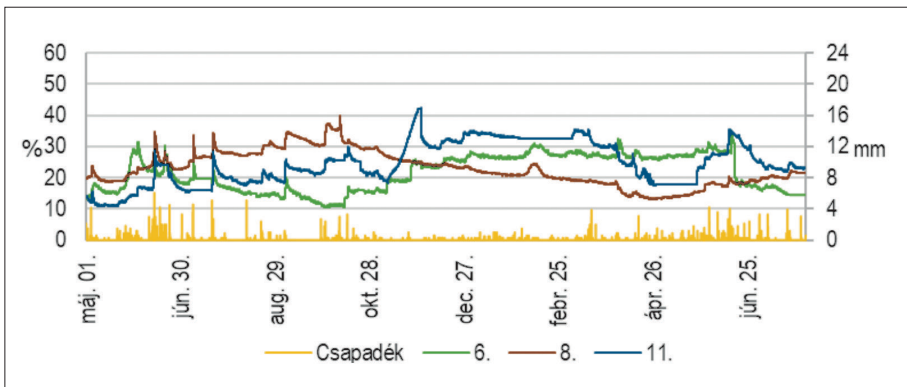
3. ábra: Talajnedvesség alakulása a középkorú lucos mintaterületeken

Figure 3.: Evolution of soil water content in sampling sites under middle-aged spruce stands



4. ábra: Talajnedvesség alakulása az idős bükkös mintaterületeken

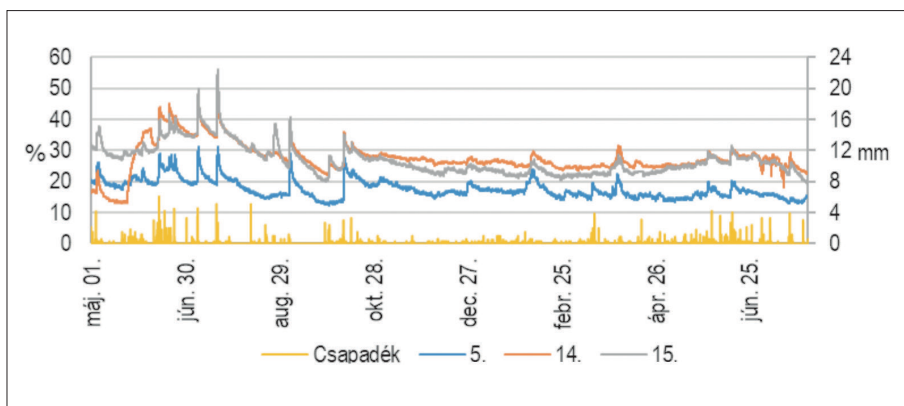
Figure 4.: Evolution of soil water content in sampling sites under old beech stands



5. ábra: Talajnedvesség alakulása az idős bükkös alatt kialakított lék mintaterületeken

Figure 5.: Evolution of soil water content in sampling sites in small regeneration plots of old beech stands





6. ábra: Talajnedvesség alakulása a vegyeskorú bükkös mintaterületeken

Figure 6.: Evolution of soil water content in sampling under multiple aged beech stands

2. táblázat: A szabad víz megjelenési gyakoriságai az egyes fafaj- és állományszerkezet-kategóriákban

Table 2.: Free water occurrences in the different tree species and stand structure categories

Faállomány kategória	Mintaterület	Igen	Nem	Összesen
Középkorú bükkös	1	21	8	29
	2	16	13	29
	3	15	12	27
Középkorú bükkös, összesen		52	33	85
Középkorú lucos	12	18	11	29
	4	14	14	28
	13	12	13	25
Középkorú lucos, összesen		44	38	82
Idős bükkös	7	10	19	29
	9	11	18	29
	10	12	17	29
Idős bükkös, összesen		33	54	87
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	5	16	13	29
	15	17	12	29
	19	19	9	28
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő, összesen		52	34	86
Lék idős bükkösben	6	13	16	29
	8	12	17	29
	11	12	12	24
Lék idős bükkösben, összesen		37	45	82
Összesen		218	204	422

A szabadföldi vízkapacitást meghaladó talajnedvesség nagyobb mennyiségű csapadékkal jellemezhető esős időszakokban (több mint 7,2 mm/72 óra csapadékösszeg) és hóolvadáskor jelent meg a Szent Anna-tó kráter erdőállományainak talajában (3. táblázat).

3. táblázat: Szabad víz megjelenés időpontjai és a megelőző 72 óra mért csapadékmennyiségei  
(a \*-gal jelölt események hóolvadással hozhatók kapcsolatba)

Table 3.: Moments of occurrences of free water and precipitation quantities recorded during the preceding 72 hours period (the events marked with \* are related to snow-melting periods)

Időpont	72 órás csapadék-összeg (mm)	Időpont	72 órás csapadék-összeg (mm)
2020. május 4.	30,2	2020. október 9.	56,7
2020. május 22.	24,3	2020. október 14.	16,9
2020. május 26.	14,7	2020. november 1.	17,3
2020. június 2.	16,2	2020. december 26.	13,5
2020. június 12.	16,8	2021. február 10.*	3,9
2020. június 19.	37,2	2021. február 25.*	0,3
2020. június 20.	44,0	2021. március 16.	14,5
2020. június 22.	32,5	2021. április 2.*	0,4
2020. július 8.	34,5	2021. április 15.	8,1
2020. július 20.	45,1	2021. május 21.	19,8
2020. augusztus 12.	7,2	2021 május 28.	23,8
2020. augusztus 21.	17,1	2021 június 2.	21,9
2020. augusztus 26.	16,6	2021. június 13.	23,1
2020. szeptember 5.	39,9	2021. július 20.	12,6
2020. október 1.	28,8		

Az egyes mintavételekre jellemző eltérő állomány-talajnedvesség-csapadékmennyiség állapotok következtében a minták egymástól függetlennek tekinthetők. Az egyes kategóriákban kijelölt három-három mintaterület szabad víz megjelenési gyakoriságainak homogenitásvizsgálat-eredményei szerint az egyes kategóriákban nem utasítható el a minták homogenitása 5%-os szignifikanciaszinten. Az eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

Az egy kategóriához tartozó mintaterületek esetében a szabad víz megjelenési aránya nem függ a mintaterülettől, az egyes kategóriák mintaterületeinek mintavételei egy populációhoz tartozónak tekinthetők, együtt vizsgálhatók a továbbiakban.

4. táblázat: Az egyes faj- és állományszerkezet-kategóriák mintaterületeinek  $X^2$  homogenitásvizsgálat eredményei 5%-os szignifikanciaszinten

Table 4.: Results of the  $X^2$  homogeneity tests in the different tree species and stand structure categories at 5% level of significance

Faállomány kategória	Szabadságfok	N	$X^2$	p
Középkorú bükkös	2	85	2,341	0,310
Középkorú lucos	2	82	1,298	0,523
Idős bükkös	2	87	0,293	0,864
Vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	2	86	1,021	0,600
Lék idős bükkösben	2	82	0,396	0,820

A kategóriák szintjén elvégzett függetlenségvizsgálat eredménye szignifikáns 5%-os szignifikanciaszinten, a szabad víz megjelenésének gyakoriságai legalább egy esetben nem függetlenek az egyes kategóriáktól  $X^2(4, 422) = 13,854$ ,  $p = 0,0078$ .

A függetlenségvizsgálat páronként elvégzett összehasonlításainak eredményeit összesítő adatokat az 5. táblázat tartalmazza. A párok szerinti összehasonlításhoz a Bonferoni post-hoc teszt korrigált szignifikanciaszintje  $\alpha_B = \alpha/10 = 0,005$ .

5. táblázat:  $X^2$  függetlenségvizsgálat kategóriapáronként végzett összehasonlításainak eredményei.

A \*-gal jelölt értékek szignifikáns eredményt jelölnek Bonferoni post-hoc korrigált szignifikanciaszinten ( $\alpha_B = 0,005$ )  
Table 5: Results of  $X^2$  independence pairwise testing. The values marked with \* represent significant differences at the Bonferoni post-hoc corrected level of significance ( $\alpha_B = 0,005$ )

Összehasonlított kategóriák	Szabadságfok	N	$X^2$	p
Középkorú bükkös – középkorú lucos	1	167	0,965	0,326
Középkorú bükkös – idős bükkös	1	172	9,294*	0,002*
Középkorú bükkös – lék idős bükkösben	1	167	4,322	0,038
Középkorú bükkös - vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	171	0,009	0,924
Középkorú lucos – idős bükkös	1	169	4,210	0,040
Középkorú lucos – lék idős bükkösben	1	164	1,195	0,274
Középkorú lucos – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	168	0,794	0,373
Idős bükkös – lék idős bükkösben	1	169	0,900	0,343
Idős bükkös – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	173	8,787*	0,003*
Lék idős bükkösben – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő	1	168	3,967	0,046

A vizsgálat szignifikáns eredményt mutat az idős bükkös – vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő kategóriák, és a középkorú bükkös – idős bükkös kategóriák összehasonlításakor. A szabad víz megjelenési gyakorisága nem tekinthető függetlennek attól, hogy melyik kategóriához tartozik. Az idős egykorú bükkösök alatti mérések esetében a szabad víz kisebb gyakorisággal jelent meg, mint középkorú és a vegyeskorú bükkösökben. Ennek értelmében az állomány-szerkezet valamilyen módon hatással van a szabad víz megjelenésére.

Nincs szignifikáns különbség a középkorú bükkösök, középkorú lucosok és vegyeskorú bükkösök, valamint az idős bükkösben létrehozott lékek szabad víz megjelenési gyakoriságai között, a lucosokban és bükkös lékekben mért gyakoriságok köztes értékűek az idős bükkös és a vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő, valamint a középkorú bükkös állományokhoz viszonyítva (2. táblázat).

Az idős bükkös esetében a szabad víz megjelenési gyakoriságának elmaradása a többi faállomány-kategóriában tapasztalható gyakoriságtól valószínűleg azzal a ténnyel áll összefüggésben, hogy a talajnedvesség alakulása az idős bükkösben eltér a többi kategóriától (2-5. ábrák), ebben a kategóriában a talajnedvesség alacsonyabb szinten (10-20%) mozog, mint a többi kategóriában (20-30%), ez főleg a 2020. év nyári időszakától kezdődően jól látható.

A kutatás eredményei nem adnak választ a különbséget kiváltó állományszerkezeti okokra, amelyek feltehetőleg az állomány csapadékretenenciója és transzspirációja által, valamint a talajfelszín párologtatását befolyásolva a talaj nedvességtartalmának időbeni alakulásán keresztül befolyásolják a szabad víz megjelenésének a gyakoriságát.

Az idős bükkös és a középkorú bükkös, valamint a vegyeskorú bükkös ± luc, jegenyefenyő kategóriákban az állományszerkezet egyes paraméterei (záródás, körlaposság) közt nincs jelentős elté-



rés, amelyek a megjelenő eltéréseket sejtetnék, ugyanakkor más jellemzők (átlagátmérő, magasság, hektáronkénti fatérfogat, átlagos törzstávolság stb.) között vannak különbségek, a tapasztalt szabad víz megjelenési gyakoriságok közti eltérések okainak pontos megértése további kutatások során lenne lehetséges.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás a kráter belső lejtőin található különböző fafajösszetételű és szerkezetű állományok esetében vizsgálja a szabad víz megjelenését és ennek gyakoriságában megjelenő különbségeket, annak megértése céljából, hogy a Szent Anna-tó vízmérlegére valamilyen lehetséges hatás feltételezhető-e a felszín alatti hozzáfolyás lehetősége által.

A mérések eredményei igazolják a szabad víz megjelenését a Szent Anna-tó belső kráterlejtőinek talajában. A talaj durva, homok, vályogos homok textúrája a gravitációs víz gyors leszivárgását biztosítja az alapkőzet irányába.

A több mint egy éves mérési időszak során rögzített, 29 db. szabad víz megjelenési esemény hatásainak összehasonlító vizsgálata volt elvégezve különböző fafajösszetételű (bükk, luc) és korszerkezetű (egykorú, többkorú) állományokban, illetve az idős bükkösben vágott lécek esetében Statisztikai szempontból szignifikáns különbség volt kimutatható az idős egykorú és a vegyeskorú bükk ± luc, jegenyefenyő állományok között, valamint az idős egykorú bükkös és a középkorú, szintén egykorú bükkös állományok esetében. A kutatás az állományszerkezeti tényezők és a szabad víz megjelenési gyakorisága közötti pontos ok – okozati összefüggéseket nem tárja fel, csak az egyes állományok szintjén azonosítja a különbségeket.

További összehasonlító vizsgálatok szükségesek annak vizsgálatára, hogy a Szent Anna-tó kráterét borító különböző fafaj- és állományszerkezet-kategóriák esetében vannak-e olyan jelentős különbségek az állományok párologtatásában, az állományi csapadék alakulásában, az állomány alatti páratartalom éves menetében, amelyek a talaj nedvesség-tartalmának változásait és ezáltal a szabad víz megjelenésének gyakoriságában feltárt különbségeket magyarázhatják.

A szabad víz megjelenése igazolja annak lehetőségét, hogy ez a vízmennyiség a felszín alatti lefolyás által a tó vízmérlegének tápláló komponensét képezheti. Az eredmények alapján valószínűsíthető, hogy létezik ez a vízmérleg-komponens a Szent Anna-tó esetében, azonban a szabad víz megjelenése önmagában nem bizonyítja azt, hogy ennek a vízmennyiségnek a gravitációs komponense a felszín alatti beszivárgás útján a tavat táplálja, ehhez az elszivárgás irányára vonatkozó kutatások volnának szükségesek, amelyek a kráterfalat felépítő piroklasztit rétegek jellemzőit és elhelyezkedését célozzák.

Az eredmények feldolgozása során feltárt összefüggéseknek a helyi jelentőségén túlmenően általános erdőgazdálkodási és vízgazdálkodási, környezetvédelmi jelentősége is lehet. Abban az esetben, ha a felszín alatti hozzáfolyás létezése, mint a vízmérleg tápláló komponense a további kutatások során bizonyítást nyer, az erdőművelési beavatkozások által, a feltárt összefüggések figyelembevételével, a tó vízmérlegére hatást lehet gyakorolni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti Dósa Leventét és Szakács Márton, a Szent Anna-tó gondnokságának a képviselőit, Szmolka Istvánt, Szmolka Editet, Tóth Szabolcsot, Szilágyi Ákosta a terepi adatgyűjtésben nyújtott segítségükért. Köszönjük a Csíki Magánerdészetnek és a Lázárfalvi Szent Anna Közbirtokosságnak, hogy lehetővé tették a kutatást a területen. Köszönjük dr. Csiszér Leventének a Sapia Erdélyi Magyar Tudományegyetem tanárának a talajtani vizsgálatok során nyújtott segítségét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Badea L., Gâștescu P., Velcea V., Bogdan O., Donisă I., Dragomirescu Ș. et al. 1983: Geografia României I., Geografia fizică. Editura Academiei Republicii Socialiste România, București.
- Begy R.Cs., Timár-Gábor A., Somlai J. & Cosma C., 2011: A sedimentation study of St. Ana Lake (Romania) applying the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  Dating methods. *Geochronometria* 38(2): 93–100
- Gelei J. 1909: A Szent Anna tó. Földrajzi közlemények Budapest, XXXVII.: 177–200
- Giurgiu V. & Drăghiciu D. 2004: Modele matematico-auxologice și tabele de producție pentru arborete. Editura Cereș, București
- Harangi Sz., Molnár M., Vinkler A.P., Kiss B., Jull A.J.T. & Leonard A.G. 2010: Radiocarbon dating of the last volcanic eruptions of Ciomadul Volcano, SouthEast Carpathians, Eastern-Central Europe. *Radiocarbon* 52(2–3): 1498–1507
- Máthé I., Vörös L. & Felföldi T. 2018: Chemical and microbiological studies on the special aquatic habitats of the Ciomad Volcanic Complex. 14th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin. Institute of Geosciences FBERG TU, Košice: 43–45
- Mihály I. 2018: Szent Anna-tó fenékrajzainak nyomában. Székelyföldi geológus találkozó kivonatkiötet. Sepsiszentgyörgy, 27-29
- Oancea D., Velcea V., Caloianu N., Dragomirescu Ș., Dragu Gh., Mihai E. et al 1987: Geografia României III., Carpații românești și Depresiunea colinară a Transilvaniei. Editura Academiei Republicii Socialiste România. București
- Pál Z. 2001: A Szent Anna-tó batimetriája. *Collegium Geographicum, Cluj-Napoca* 2: 73–78
- Stefanovits P., Filep Gy. & Füleki Gy. 2010: Talajtan. Mezőgazda kiadó, Budapest, 160–162
- Rascón-Ramos A.E., Salvador M.M., Pérez G.S., Guerrero F.V., Pinedo-Alvarez A., Santellano-Estrada E. et al. 2021: Soil Moisture Dynamics in Response to Precipitation and Thinning in a Semi-Dry Forest in Northern Mexico. *Water* 13: 105. <https://doi.org/10.3390/w13010105>
- Stoenescu Șt. M. 1966: Atlasul climatologic al Republicii Socialiste România. Comitetul de Stat al Apelor, Institutul Meteorologic, București.
- Yuteng M., Remke L. V.D., Dushmantha H. J. 2014: Soil moisture variability in a temperate deciduous forest: insights from electrical resistivity and throughfall data. *Environmental earth sciences* 72: 1367–1381. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3362-y>
- Weng Y.T., Yi L.T., Yao L.L. & Fei S.T. 2019: Newly Calibrated Analytical Models for Soil Moisture Content and pH Value by Low-Cost YL-69 Hygrometer Sensor. *Measurement* 134: 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.MEASUREMENT.2018.10.071>

Érkezett: 2022. március 15.

Közlésre elfogadva: 2022. december 04.