

**SOPRONI EGYETEM**  
**ERDŐMÉRNÖKI KAR**  
**ROTH GYULA ERDÉSZETI ÉS VADGAZDÁLKODÁSI**  
**TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

A Szent Anna-tó kráterét borító erdők  
hatása a tó hidrológiai jellemzőire,  
javaslatok az erdőgazdálkodásra

PhD (doktori) értekezés tézisei

**SZMOLKA PÉTER**  
okl. erdőmérnök

Sopron  
2023

**Doktori Iskola:**

Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok  
Doktori Iskola

**Program:**

Az erdőgazdálkodás biológiai alapjai (E2)

**Témavezető:**

DR. HABIL. FRANK NORBERT PHD

# 1. Bevezetés és célkitűzések

A Szent Anna-tó Erdély egyik legismertebb turisztikai látványossága. A krátert a Keleti Kárpátokban, a Hargita hegység legdélebbi vulkáni kúpjában, a Csomádban helyezkedik el, amelynek belső kráterfala jelenleg 95,9%-ban erdővel borított, idős egykorú bükkösök, vegyeskorú bükkösök és ezek luc- és jegenyefenyővel képzett elegyei, középkorú lucfenyő és fiatal, valamint középkorú bükk – luc állományok alkotják.

A kutatások szükségességét a Szent Anna-tó batimetriai jellemzőinek és vízminőségének változásai indokolják, amelyek jelentős mértékűek. Az utóbbi évszázad folyamán a tó legnagyobb mélysége több mint egy métert, a vízfelszín területe több mint egy hektárt csökkent. A víztérfogat változása részben a tó vízszint-csökkenésének, részben a feltöltődési folyamatnak lehet a következménye. A tó vízminősége is jelentősen megváltozott az utóbbi évtized során.

A tó és a kráterben található faállományok közti kölcsönhatásokat vizsgáló kutatások képezhetik az alapját a tó fennmaradása szempontjából legmegfelelőbb erdőgazdálkodás kialakításának a kráterben. A fő kérdés az, hogy erdőművelési tevékenységgel, a fafajösszetétel és egyéb állományszerkezeti jellemzők alakításával be lehet-e avatkozni olyan módon, hogy a kráter erdői a vízmérlegre és a vízminőségre gyakorolt összehatásuk tekintetében a tó hosszútávú fenntartását segítsék elő.

A kutatás célkitűzései:

- A Szent Anna-tó kráterben található főbb faállományok szerkezetének megismerése.
- Az egyes állományszerkezetek jelentőségének megismerése a talajerózió szempontjából, a faállományok, illetve a kráterben található egyéb felszínborítási kategóriák (gyepek, földutak) erózióvédelmi szempontú értékelése.
- A tó vízmérleg-komponenseinek a feltárása, és a tó vízgyűjtőjét képező belső kráterlejtőkön található faállományok szerepének megértése.
- A szabad víz megjelenésének a kimutatása a kráterbelső állományainak talajában, amely a tó vízmérlegének tápláló

komponensét képezheti, az egyes faállományok közötti eltérések kimutatása ebben a tekintetben.

## **2. Anyag és módszer**

### **2.1. Állományszerkezetek térképezése**

Az állományfelmérések során a jellemző faállományszerkezetek azonosítása és szerkezeti jellemzőinek rögzítése volt a cél, az egyes főbb faállománykategóriák megismerése a kutatott folyamatok (infiltrációsebesség, a szabadföldi vízkapacitás értékét meghaladó talajnedvesség alakulása) szempontjából történő összehasonlító vizsgálatok alapját képezik. A felmérések során középkorú állományokban 500 négyzetméteres, az idős és a vegyeskorú állományokban 1000 négyzetméteres, körös mintavétel került alkalmazásra.

Az adatfeldolgozás során meg voltak határozva az egyes állománykategóriák főbb szerkezeti jellemzői, ezeknek feltárása és bemutatása után a kortól kevésbé függő állományszerkezeti jellemzők, a koronarészarány és a koronakezdet-magasság esetében voltak összehasonlító vizsgálatok végezve a középkorú bükkös, idős bükkös, vegyeskorú bükkös és középkorú lucos állománykategóriák esetében. A statisztikai feldolgozások során 5%-os szignifikanciaszint lett választva. A normalitásvizsgálat Shapiro-Wilk teszttel történt. Mivel a mintaterületek többségénél a normalitási feltétel nem teljesült sem a koronarészarány, sem a koronakezdet-magasság tekintetében, a továbbiakban az összehasonlítások nemparametrikus, Kruskal-Wallis ANOVA segítségével voltak végezve.

### **2.2. A talajinfiltráció sebességének vizsgálata az egyes állományszerkezetek és felszínborítási kategóriák esetében**

A vizsgálat célja a talajok infiltrációs rátájának az összehasonlítása a különböző felszínborítási kategóriák esetében (különböző faállományok, gyepek, földutak) a kráter belső lejtőin. A cél azoknak a hordalékforrásoknak az azonosítása, amelyek nagy intenzitású csapadékesemények alkalmával a tó szedimentációjához hozzájárulnak.

A mintavételezés legfeljebb 20°-os dőlésszögű lejtőkön, három felszínborítási kategóriában történt: erdők, gyepek és földutak. Az erdő felszínborítási kategória esetében három faállománykategóriában voltak mérések végezve, ezek az idős bükkös, középkorú lucos és a bükk-lék.

Az állandósult beszivárgási ráták meghatározása úszószelepes kettős-gyűrűs infiltrométerrel került elvégzésre, az állandósult vízszlop módszerét alkalmazva. A mérések az infiltrációs ráta állandósulásáig folytak.

Minden infiltrációmérési helyen a meghatározás érdekében a talaj felső szintjéből acélhenger vertikális irányú beütésével 250 cm<sup>3</sup>-es talajminták lettek vételezve. Száraz tömeg, víz-tömeg és térfogat, talaj fizikai félesége, talaj-térfogattömeg, víz térfogatarány került meghatározásra. A minták szerves széntartalmának meghatározása káliumdikromátos módszerrel történt. Talajpenetrométer segítségével talajtömörtség mérések is elvégzésre kerültek.

A statisztikai feldolgozás 5%-os szignifikanciaszinten történt. A három faállománykategória esetében az összehasonlítások elvégzésére egyszempontos variancia-analízissel került sor. A normalitásvizsgálat Shapiro-Wilk teszttel volt végezve. A varianciák azonosságának ellenőrzése Levene próbával történt. Tukey Unequal N HSD post-hoc teszt került alkalmazásra a kategóriák közötti különbségek értékelésére.

A földhasználati mód hatásának vizsgálata (erdők, gyepek, földutak) Kruskal-Wallis ANOVA segítségével történt, mert a normalitási feltétel a földutak kategória esetében nem teljesült.

A fent leírt hatások elemzését követően korrelációanalízisek kerültek elvégzésre az infiltrációs ráta értéke és a vizsgált talajtulajdonságok (térfogattömeg, víz-tartalom, szerves széntartalom, és talajtömörödés) közti esetleges összefüggések feltárására. A talajtömörőség tekintetében jelentkező eltérések az egyes földhasználati kategóriákban (faállományok, gyepek, földutak) Kruskal-Wallis ANOVA segítségével kerültek megállapításra, mert a varianciák azonosságának feltétele nem teljesült.

### **2.3. A Szent Anna-tó vízmérleg komponenseinek vizsgálata**

A kráterben található faállományok szerepének tisztázása a Szent Anna-tó vízmérlegének szempontjából csak ez utóbbinak pontosabb megértésével lehetséges, ezért a vízmérleg komponenseinek a kutatása az erdő-tó kapcsolatrendszer értékelésének szempontjából elengedhetetlen volt. Az alkalmazott módszer a hidrológiai rendszerek elemzéséhez általánosan alkalmazott, a tömegmegmaradás törvényére épülő vízmérleg-megközelítésre volt alapozva.

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy a tó esetében a vízmérleget döntő módon a csapadék és a párolgás befolyásolja, a terepi mérések a csapadék és párolgás komponensek meghatározására irányultak, a tározásban bekövetkező változások a tó vízszint-változásai alapján kerültek kifejezésre. A vízmérleg egyéb komponenseinek összehatását a Szent Anna-tó vízszintjének csapadék és párolgás által nem magyarázható változásaiként lehet meghatározni.

A csapadék és a vízszint változásai közvetlen mérések alapján kerültek meghatározásra, a párolgás kiszámítására a tó vízfelszín-hőmérsékletének, a léghőmérsékletnek, a szélesebségnek és a relatív páratartalomnak az értékei kerültek rögzítésre.

A nagy felbontású (10 percenként történő adatleolvasás és rögzítés) adatgyűjtés a 2020. március 23. és 2021. október 28. közti periódusban volt végezve.

A többváltozós lineáris regresszió statisztikai módszere került alkalmazásra a csapadék és a párolgás független változóknak a tó víztározásában bekövetkező változásnak, mint függő változónak, a Szent Anna-tó vízmérleg modelljében értelmezhető prediktív képességének a becslésére.

### **2.4. A szabad víz megjelenésének vizsgálata a talajban a különböző faállományok alatt**

A tó vízszintjének megtartása érdekében a vízmérleg tápláló paramétereinek 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 kutatás során különböző fafajösszetételű és korszerkezetű állományokban (idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú lucos, vegyeskorú bükkös) és egy idős bükk állományban képzett lékekben volt a szabad, gravitációs víz megjelenési gyakoriságára vonatkozó összehasonlító vizsgálat végezve. A vizsgálat elvégzéséhez minden kategóriában három mintaterület volt kiválasztva. A mintaterületeken az állományfelmérés során történt meg az állományszerkezetek térképezése.

Minden mintaterület esetében egy talajnedvesség- szenzor került telepítésre a hozzá tartozó adatrögzítővel, ezek 10 perces időközönként rögzítették a talajnedvességet 50 centiméteres mélységben. A rögzített adatok kiértékelése a 2020. május 1. és 2021. augusztus 1. időszakra lett elvégezve.

Az egyes erdőszerkezetek alatti, a szabad víz megjelenési gyakoriságában megjelenő különbségek statisztikai kiértékelése  $\chi^2$  próbával történt. Az értékeléshez az egyes szenzorok mérési eredményeiből a szabad víz megjelenési gyakoriságai kerültek összehasonlításra.

Az azonos állományszerkezettel jellemezhető kategóriák (idős bükkös, középkorú bükkös, középkorú lucos, vegyeskorú) három – három mintaterületének homogenitása a szabad víz megjelenési gyakoriságának szempontjából  $\chi^2$  homogenitásvizsgálattal volt ellenőrizve.

A szabad víz kategóriákként összesített megjelenési gyakoriságainak az egyes kategóriáktól való függőségének ellenőrzésére  $\chi^2$  függetlenségvizsgálattal került sor. A páronkénti összehasonlítások Bonferroni post-hoc teszt alkalmazásával történtek.

## **3. Eredmények és következtetések**

### **3.1. Az állományfelmérések eredményei**

Az állományfelmérés alapján meghatározott főbb állomány-szerkezeti jellemzőket az alábbi, 1. táblázat tartalmazza. A koronarész-

arány és a koronakezdet-magasság összehasonlító vizsgálatok a különböző faállománykategóriák (középkorú bükkös, idős bükkös, vegyeskorú bükkös, középkorú lucos) esetében, a szabad víz megjelenésének vizsgálati helyszíneit képező mintaterületek esetében voltak elvégezve.

1. táblázat: Főbb állomány szerkezetek és jellemzőik a Szent Anna-tó kráterében.

Mintaterület	Középkorú lucos					Középkorú bükkös			Idős bükkös			Vegyeskorú bükkös		
	13	4	12	16	17	1	2	3	9	10	7	5	15	14
Erdőrészlet	33C	34C	37	35C	35C	35B	35B	35B	33D	33D	34A	34A	33D	33D
Lejtés (°)	18	17	19	12	12	30	36	30	22	18	18	31	18	21
Kitettség	DNY	ÉK	DNY	DK	DK	K	K	ÉK	ÉNY	ÉNY	ÉNY	ÉNY	NY	NY
Fafajösszetétel (%)	LF 100%	LF 95 B 4 HSZ 1%	LF 100%	LF 99 B 1%	LF 84 JF 10 NYI 4 B 2%	B 83 LF 5 NYI 5 RNY 4 JF 1 HSZ 2%	B 88 NYI 10 KJ 1 HJ 1%	B 90 HJ 6 NYI 3 LF 1%	B 100%	B 100%	B 100%	B 100%	B 79 LF 21%	B 84 LF 15 JF 1%
Kor (év)	65	65	60	65	65	65	65	65	130	130	130	-	-	-
Záródás (%)	100	90	90	85	85	100	100	100	95	100	100	90	90	90
Átlagtérő (cm)	27,6	29,5	18,5	30,5	29,8	19,1	15,8	19,5	47,3	35,3	37,2	43,5	43	50,3
Átlagmagasság (m)	28,4	30,4	21,4	29	31,1	23	21,8	23	33	32,1	33,2	34,3	29,7	32,9
Aritmetikai átlagmagasság (m)	26,4	28,6	20,6	26,2	27,4	20,2	17,6	19,1	31,9	30	32,0	17,3	18,1	23,3
Biológiai felsőmagasság (m)	30,2	33,9	24,2	31,3	34,5	25,2	23,7	27,1	34,9	34,8	35,2	36,7	32,7	35,7
Körlepösszeg (m <sup>2</sup> /ha)	64,8	75,2	56,9	57	43,1	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	741	606	546	453	507	796	702	695	977	606	883
Törzszám (db/ha)	1080	1100	2120	780	620	1680	2140	1480	260	440	380	350	280	260
Átlagos törzstávolság (m)	3,3	3,2	2,3	3,8	4,3	2,6	2,3	2,8	6,7	5,1	5,5	5,7	6,4	6,7
Fatermési osztály	I	I	II	I	I	II	III	III	II	II	II	II	III	II
Folyónövedék (m <sup>3</sup> év <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	18,3	18,3	16,4	18,3	18,3	11,4	9,4	9,4	8,6	8,6	8,6	-	-	-

A koronarészarányok tekintetében végzett összehasonlítások során a Kruskal-Wallis próba eredménye szerint ( $H(11, 677) = 299,5412$   $p = 0,000$ ) statisztikailag szignifikáns különbség van az összehasonlí-



tott csoportok közt. A páronkénti összehasonlítások eredményei alapján a középkorú lucosok alacsonyabb koronarészarány-értékkel jellemezhetők, a középkorú bükkösök és a vegyeskorú bükkösök koronarészarányai szignifikánsan magasabbak minden mintaterület esetében. Megállapítást nyert ugyanakkor, hogy a koronarészarányok tekintetében a középkorú bükkös és a vegyeskorú bükkös állománykategóriák esetében nem mutatható ki szignifikáns eltérés egyetlen mintaterület esetében sem.

A koronakezdet-magasság tekintetében a Kruskal-Wallis próba eredménye ( $H(11, 677) = 341,0370$   $p = 0,000$ ) szerint statisztikailag szignifikáns különbség van az összehasonlított csoportok közt. A vizsgált állománykategóriákban az idős bükkös koronakezdet-magassága szignifikánsan nagyobb, mint a középkorú bükkös és a vegyeskorú bükkös esetében, ez utóbbi két kategória közt azonban nincs szignifikáns eltérés. A középkorú lucosok esetében koronakezdet-magassága a középkorú bükkös mintaterületekénél szignifikánsan magasabb. A koronakezdet-magasság értékek szignifikáns eltérései főleg az azonos fafajú, hasonló biológiai felsőmagassággal jellemezhető idős bükkös és vegyeskorú bükkös állománykategóriák összehasonlításában fejeznek ki egyértelmű állományszerkezeti különbséget. A középkorú lucosok törzstere nyitottabb, mint a középkorú bükkösök esetében, az idős bükkös törzstere pedig a középkorú bükkös és vegyeskorú bükkös törzsterénél is áttörtebb.

### **3.2. Talajinfiltrációs vizsgálatok eredményei**

Az állandósult infiltrációs ráta értékei nagyon magasak voltak ( $>145$  mm/h) minden mintában a lucosok és az idős bükkösök esetében, ugyancsak nagyon magas értékek voltak mérhetőek a bükk lékekben, egyetlen mérést kivéve, amely a nagyon alacsony (1,1-5,0 mm/h) kategóriába esett. A gyepek esetében az infiltrációs ráta értékei az alacsony (5,1-30 mm/h) és a nagyon magas infiltrációs sebesség közötti intervallumban helyezkedtek el. A legalacsonyabb infiltrációs értékek a földutak esetében voltak mérve, ezek értékei a nagyon alacsony és a közepes (30,1 - 70 mm/h) kategóriák között helyezkedtek el, egyetlen mérés kivételével, amely a magas (70,1-145 mm/h) állandósult infiltrációsebesség-kategóriába volt sorolható.

Az egyszempontos varianciaanalízis statisztikai szempontból szignifikáns különbséget mutatott a csoportok közt ( $F(2, 28) = 5,950$ ,  $p = 0,007$ ) az egyes faállománytípusok összehasonlításában. A Tukey Unequal N HSD post hoc teszt statisztikailag szignifikáns különbséget tárt fel a lucosok és az idős bükkösökben kialakított lécek állandósult infiltrációs rátái közt.

Tekintettel arra, hogy ezek alatt az állományok alatt az állandósult infiltrációs ráta értéke minden mérés esetében magasabb volt 200 mm/h-nál, a felszíni vízfolyások kialakulásának valószínűsége mindenik faállományszerkezet alatt nagyon alacsony.

Statisztikailag szignifikáns különbségek mutathatók ki az egyes földhasználati kategóriák közti összehasonlításban a Kruskal-Wallis próba eredményei ( $H(2, 51) = 28,97883$ ,  $p < 0,0001$ ) alapján. Az erdők talajainak hidraulikus vezetőképességének mérési átlagai sokkal magasabbak, mint a gyepek és a földutak esetében.

Annak ellenére, hogy a gyepek állandósult beszivárgási sebességének átlagértéke a magas infiltrációs sebesség kategóriába sorolható, a faállományokkal végzett összehasonlításban ez szignifikánsan alacsonyabb értéket képvisel, ami egy kevésbé kedvező helyzetet tükröz. Több mintavételi helyen a mérés eredménye alacsony értékű, ami azt igazolja, hogy felszíni vízfolyások kialakulhatnak a gyepek egyes területeirészein intenzív csapadék-események alkalmával.

A földutak, ösvények az állandó emberi taposás következtében alakultak ki, a talajfelszín a növényzettől teljesen lecsapasztott. A mérések eredményei az állandósult infiltrációs ráta alacsony, nagyon kedvezőtlen értékeit mutatják, ezek a földutak a Szent Anna-tavat magas hordaléktartalmú felszíni folyásokkal táplálják az intenzív csapadék-események alkalmával.

Az egyes faállományok és földhasználati kategóriák állandósult infiltrációs rátái közt megjelenő jelentős különbségek okainak feltárása érdekében a talaj felszíni rétegének egyes tulajdonságai és az állandósult infiltrációs ráta közti korrelációk vizsgálatára került sor.

Nagyon gyenge, elhanyagolható összefüggés volt kimutatható a homoktartalom és az állandósult infiltrációs ráta értéke között ( $r(49) = -0,0379$ ,  $p = 0,792$ ). Az állandósult infiltrációs ráta és a talaj szervesszén-tartalma ugyancsak nagyon gyenge negatív korrelációban állt egymással ( $r(49) = -0,0599$ ,  $p = 0,676$ ). Hasonlóan nagyon gyenge negatív összefüggést mutatott a talaj térfogattömegének az állandósult infiltrációs rátával történt összevetése ( $r(49) = -0,1701$ ,  $p = 0,233$ ).

Közepes negatív korrelációval jellemezhető az állandósult infiltrációs ráta és a talaj váztartalma közti kapcsolat ( $r(49) = -0,4214$ ,  $p = 0,002$ ).

Erős negatív korreláció volt kimutatható az állandósult infiltrációs ráta és a talaj tömörsége között ( $r(49) = -0,6184$ ,  $p < 0,001$ ).

A Kruskal-Wallis próba eredményei szignifikáns különbséget mutatnak az erdők és a többi (gyepek, földutak) földhasználati kategóriák talajtömörsége között. Nincs jelentős statisztikai eltérés a gyepek és a földutak talajának tömörségértékei közt. A faállománykategóriák közt (középkorú lucos, idős bükkös, és lék idős bükkösben) talajtömörség tekintetében nem mutathatók ki szignifikáns statisztikai eltérések.

### **3.3. A tó vízmérleg-vizsgálatának eredményei**

A csapadék és párolgás független változók együtthatóinak vizsgálata azt mutatja, hogy ezek statisztikailag szignifikánsak. Az illesztett regressziós modell alakja:  $\Delta S = 0,04662 + 1,04259CS - 1,02487P$  (ahol  $\Delta S$  a tározásban beállt változást,  $CS$  a csapadékot,  $P$  pedig a párolgást jelöli).

Prediktív szempontból a modell szignifikáns ( $R^2 = 0,9688$ ,  $F(2, 409) = 6586$ ,  $p < 0,0001$ ). Elmondható, hogy a vízszint-változások varianciáját 96,9%-ban magyarázzák a vízmérleg csapadék és párolgás komponensei.

A fennmaradó különbség a vízmérleg többi komponensének hatása által magyarázható. A felszín alatti hozzáfolyás és a mélységi elszivárgás létezésének és nagyságrendjének megismerése további kutatásokat igényel. A felszíni hozzáfolyás-eseményeknek, amelyek csak erős intenzitású csapadék vagy gyors hóolvadás alkalmával jelennek meg, az alaposabb megismerése a megjelenés feltételeinek és jelenség nagyságrendjének tekintetében ugyancsak további vizsgálatok elvégzését feltételezi ugyanúgy, mint a mikrócsapadék mennyiségének és hatásainak a tisztázása.

### 3.4. A szabad víznek a faállományok talajában történő megjelenésének vizsgálati eredményei

A szabadföldi vízkapacitást meghaladó talajnedvesség nagyobb mennyiségű csapadékkal jellemezhető, esős időszakokban és hóolvadáskor jelent meg a Szent Anna-tó kráter erdőállományainak talajában.

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

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 párok szerinti összehasonlításhoz a Bonferroni post-hoc teszt volt alkalmazva, ennek korigált szignifikanciaszintje  $\alpha_B = \alpha/10 = 0,005$ . A vizsgálat szignifikáns eredményt mutat az idős bükkös és a vegyeskorú bükkös kategóriák, valamint a középkorú bükkös és az idős bükkös kategóriák összehasonlítása esetében. 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 állományokban. Ennek értelmében a faállomány-szerkezet valamilyen módon hatással van a szabad víz megjelenésére. A kutatás az állományszerkezeti tényezők és a szabad víz megjelenési gyakorisága közötti pontos ok – okozati összefüggéseket nem tárja fel, ehhez további vizsgálatok szükségesek.

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. Ez a vízmennyiség a felszín alatti lefolyás által a tó vízmérlegének tápláló komponensét képezheti.

## 4. Tézisek

A vizsgálatok során a legfontosabbnak ítélt tudományos eredmények a következők:

**1:** A Szent Anna-tó kráterének közepes termőképességű, egykorú és vegyeskorú bükk állományaiban az eltérő korszerkezet nem feltételez a koronarészarányban is megjelenő szignifikáns különbségeket. A középkorú bükkösben és a vegyeskorú bükkösben a koronarészarányok nem különböznek egymástól, a Kruskal-Wallis teszt eredményei alapján nem utasítható el a mediánok azonossága a mintaterületek páronkénti összehasonlításai során. Az idős bükkösnek a középkorú és vegyeskorú bükkössel végzett összehasonlításban egyetlen mintaterület esetében mutatható ki szignifikáns eltérés. A vegyeskorú szerkezet nem jellemezhető egyértelműen magasabb koronarészarányval az egykorú állományszerkezethez képest a Szent Anna-tó kráterének állományaiban.

**2:** A koronakezdet-magasság a Szent Anna-tó közepes termőképességű bükköseiben függ a korszerkezettől. Szignifikáns különbség van a koronakezdet-magasság tekintetében a vizsgált idős bükkös és a vegyeskorú bükkös mintaterületek esetében, annak ellenére, hogy mindkét állomány hasonló biológiai felsőmagassággal rendelkezik. Az idős egykorú bükkös állomány koronakezdet-magassága szignifikánsan nagyobb.

**3:** A Szent Anna-tó kráterének belső lejtőin a faállományok nem tehetők felelőssé a tó talaj-bemosódás következtében történő feltöltődési folyamatáért. Az erdők homok, vályogos-homok textúrájú disztrikus andoszol talajtípusa esetében a víz állandósult infiltrációsebességének átlagai a nagyon magas (> 145 mm/h) kategóriába sorolhatók, a felszíni vízfolyások kialakulásának a lehetősége minimális még a legkedvezőtlenebb kategóriát képviselő, legalacsonyabb infiltrációsebességgel jellemezhető bükkös állományban létrehozott lékekben is. A kráterlejtőkön az erdők ezáltal megfelelő erózióvédelmet biztosítanak (Szmolka és Frank, 2022a).

**4:** Jelentős különbség van a középkorú lucosok és az idős bükkösben létrehozott lékek talajinfiltrációs rátái közt. A Szent Anna-tó

kráterének belső lejtőin található egyes állománszerkezetek állandósult infiltrációs rátáinak egyszempontos varianciaanalízissel történő összehasonlítása alapján szignifikáns különbség van a csoportok közt 5%-os szignifikanciaszinten. A lékekben az állandósult infiltrációs ráta értéke szignifikánsan kisebb, mint a középkorú lucosok esetében, annak ellenére, hogy az idős bükkös (amelyben a lékek kialakításra kerültek) és a középkorú lucos infiltrációs rátái közt nincs statisztikailag igazolható különbség (Szmolka és Frank, 2022a). A lékek kialakítása az állandósult infiltrációs ráta csökkenését váltja ki.

**5:** Az egyes felszínborítási kategóriák tekintetében szignifikáns eltérés van a talaj állandósult infiltrációs rátáit tekintve a Szent Anna-tó kráterében. Az erdők esetében az állandósult infiltrációs ráta szignifikánsan magasabb, mint a gyepek esetében és mint a földutak esetében. A tó feltöltődéséhez a gyepek és földutak az intenzív csapadékesemények alkalmával kialakuló vízfolyások általi hordalékbehordással járulnak hozzá (Szmolka és Frank, 2022a). Ez az eredmény megerősíti az erdők védelmi szerepének a tényét a kráterben.

**6:** Az állandósult infiltrációs ráta nagyon alacsony értékeit a földutak és a gyepek esetében a talaj tömörsége magyarázza. Erős negatív korreláció van az állandósult infiltrációs ráta és a talaj tömörsége között ( $r(49) = -0,6184, p < 0,001$ ). A talaj tömörödése az emberi taposás következménye, ami a földutakon, ösvényeken egyértelmű, de a tóparti gyepek is erősen ki vannak téve ennek a hatásnak a magas turisztikai látogatottság következtében (Szmolka és Frank, 2022a). A Szent Anna-tó hosszútávú fenntartása érdekében a gyepek és földutak talajtömörödésének a csökkentése szükséges.

**7:** A csapadék és a párolgás nagymértékben magyarázza a Szent Anna-tó vízszintjének a változását a többváltozós lineáris regresszió módszerével számított egyenlet szerint ( $\Delta S = 1,04259CS - 1,02487P + 0,04662$ ). A regresszió statisztikailag szignifikáns ( $R^2 = 0,9688, F(2, 409) = 6586, p < 0,0000$ ) eredményű 5%-os szignifikanciaszinten. A csapadék szignifikánsan magyarázza a vízszint változását ( $\beta = 1,04259, P < 0,00001$ ), hasonlóképpen a párolgás is szignifikánsan magyarázza a vízszint változását ( $\beta = -1,05487, p < 0,00001$ ). A vízszint változását 96,9%-ban igazolja a csapadék és a párolgás a Szent Anna-tó esetében, ez a két komponens a legfontosabb meghatározója a vízmérlegnek (Szmolka és Frank, 2022b).

**8:** A Szent Anna-tó belső kráterlejtőjét borító faállományok talajában a szabadföldi vízkapacitást meghaladó nedvességtartalom előfordul, a talajban megjelenő szabad víz ezáltal hozzájárulhat a Szent Anna-tó vízmérlegének felszín alatti hozzáfolyás komponenséhez. A szabad víz megjelenésének a gyakorisága legalább egy esetben nem független a faállomány-kategóriától, a függetlenségvizsgálat eredménye szignifikáns 5%-os szignifikanciaszinten. Az egykorú idős bükkös talajában a szabadföldi vízkapacitást meghaladó nedvességtartalom szignifikánsan kevesebb alkalommal jelentkezik, mint a középkorú és mint a vegyeskorú bükk állományban (Szmolka és Frank, 2022d). Az idős bükkösök a szabad víz megjelenésének tekintetében kedvezőtlenebb módon hatnak a Szent Anna-tó homok, vályogos-homok textúrájú talajainak nedvességviszonyainak alakulására, mint a középkorú és a vegyeskorú bükkösök.

## **5. A szerző fontosabb, témához kapcsolódó publikációinak jegyzéke**

SZMOLKA, P., FRANK, N., (2022a): Analysis of infiltration rates of soils on the inner slopes of the Lake Sfânta Ana crater. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 17(1): 101–110. DOI:10.26471/cjees/2022/017/204

SZMOLKA, P., FRANK, N., (2022b): Estimation of the water budget components of the Sfânta Ana crater lake in the Eastern Carpathians. *Russian Meteorology and Hydrology* 47(9): 685–691. DOI:10.3103/S1068373922090060

HERCZEG Á., DÓSA L., SZMOLKA P., (2022c): Landscape History, Land Use, and Tourism of the Ciomadul–Balványos Region. In: Karatson D., Veres D., Gertisser R., Magyar E., Jánosi C., Hambach, U. (szerk.) *Ciomadul (Csomád), The Youngest Volcano in the Carpathians*. Cham (Németország), Németország, Springer International Publishing: 249-269. DOI: 10.1007/978-3-030-89140-4

SZMOLKA, P., FRANK, N., (2022d): Szabad víz megjelenése a talajban különböző faállományok alatt a Szent Anna-tó kráterének belső lejtőin. *Erdészettudományi Közlemények* 12(1-2), 43–55. DOI: 17164/EK.2022.03