

Zárójelentés

a Pest Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi és Természetvédelmi
Főosztálya PE/KTF/2453-1/2016. számú az MFGI részére kiadott
kutatási engedély keretében a

Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező
Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában végzett
vízszint monitorozásról

2016–2025.

Összeállította:

Székvölgyi Katalin (SZTFH)

Gulyás Ágnes kutatásvezető (volt MFGI, MBFSZ)

Bauer Márton (SZTFH)

Budapest, 2026.február

Tartalom

1	Bevezetés.....	3
2	A mérés helyszíne	4
3	A mérés módszere	4
4	Mért adatok	4
5	Az Agyagos-tó vízszintjére gyakorolt hatások.....	5
5.1	Csapadék	5
5.2	Földi árapály hatás	6
5.3	Légnyomásváltozás hatása	9
5.4	Kapcsolat a karsztvízszinttel	13
5.5	Duna és az Agyagos-tó vízszintjének kapcsolata.....	14
6	Összefoglalás.....	15
	Irodalomjegyzék.....	16

Ábrák

1. ábra:	Az Agyagos-tó vízszintjének idősora (2016-2025).....	5
2. ábra:	Az Agyagos-tó vízszintjének részüősora.	6
3. ábra:	Rövid periódusos változások az Agyagos-tó idősorában.	7
4. ábra:	Az Agyagos-tó vízszintjének részüősora a számított földi árapály hatással és a korrigált vízszint.....	8
5. ábra:	Rövid, aperiodikus változások az Agyagos-tó vízszint idősorában.	9
6. ábra:	Légnyomásváltozás hatása a felszín alatti víz szintjére nyílt tükrű vízázóban (Weeks 1979).....	11
7. ábra:	Légnyomás és földi-árapály hatás korrekciója.....	12
8. ábra:	Az Agyagos-tó és a Pálvölgy-1 karsztvízszint észlelő kút idősora.	13
9. ábra:	Az Agyagos-tó és a Pálvölgy-1 karsztvízszint észlelő kút vízszintjének részüősora.	14
10. ábra:	Az Agyagos-tó és a Duna vízállásának részüősora.....	15

Táblázatok

1. táblázat:	A mért vízszint adatok statisztikai összefoglalása.	5
2. táblázat:	Vízszintváltozás fő periodikus összetevőinek adatai.....	7
3. táblázat:	A vízszintváltozás befolyásoló fő gravitációs komponensek (Schweizer et al. 2021).....	9

A kutatási engedély száma: PE/KTF/2453-1/2016.

A 2016. 02. 08-i keltezésű kutatási engedély 2025. 12. 31-ig volt érvényes.

1 Bevezetés

A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat (SZTFH) jogelődjeként a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI¹) karsztvízszint- és vízhőmérséklet monitoring műszert telepített 2016. június 13-án a Pál-völgyi barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavába a Pest Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főosztálya 2016. február 8-n kelt PE/KTF/2453-1/2016. sz. határozata alapján.

A Mátyás-hegyi-barlang egy elkülönített részében működik az SZTFH Mátyáshegyi Gravitációs és Geodinamikai Observatóriuma (az Országos Természetvédelmi Hivatal 1976-ban kibocsátott 3650/1976 sz. határozat/engedélye alapján), ami 1978 óta biztosít helyet az országos gravitációs főalappont számára. Az állomás fő funkciója – az országos főalappont (a földmérési és térképészeti tevékenységről szóló 2012. évi XLVI. törvény által is előírt) fenntartása mellett – a gravitációs tér változása és egyéb földfizikai folyamatok monitorozása (mint pl. a földi árapály-változások, környezeti, tektonikai deformációk figyelemmel kísérése). A mérések olyan helyszínen zajlanak, ahol azok a környezeti zavaró hatásoktól jórészt mentes körülmények mellett hajthatók végre, és melynek változatlan állapotban való fennmaradása belátható időig biztosított (KIS MÁRTA 2016 in [BODOKY, POLCZ 2016](#)). A geodinamikai és gravitációs monitorozó mérésekhez fontos információul szolgálhat a karsztvízszint változásának ismerete, a korreláció vizsgálata. A karsztvízszint ismerete vízföldtani szempontból is fontos.

Korábban hosszabb–rövidebb ideig, különböző eszközökkel már végeztek vízszintméréseket a barlangban ([BERKES L. 1965](#), [ACHERON 1984](#), [ACHERON 1982–88](#), [ACHERON 1985](#), [DIANOVSKY, SZABÓ 1993](#), [SZABÓ Z. 2003](#)). Legutoljára 2003–2005-ben a Smaragd-GSH Kft. végzett a budaújlaki vízbázis vizsgálatához kapcsolódva műszeres vízszint-monitorozást ([SMARAGD-GSH 2003](#), [SMARAGD-GSH 2004](#)).

Jelen dokumentáció a műszer telepítése óta elvégzett vízszintmérések **eredményeit foglalja csak össze**. Az egyes években elvégzett munkákat, a korábbi kutatások eredményeit, az évente végzett kutatási tevékenységet az alábbi jelentések ismertetik részletesen:

[Éves jelentés a 2016. évi munkákról](#)

[Éves jelentés a 2017. évi munkákról](#)

[Éves jelentés a 2018. évi munkákról](#)

[Éves jelentés a 2019. évi munkákról](#)

[Éves jelentés a 2020. évi munkákról](#)

[Éves jelentés a 2021. évi munkákról](#)

2022-2023-2024: *Kutatásvezetői jelentés*²

¹ Az eredeti engedélyes Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) jogutódja átszervezés, jogszabály változás következtében 2017. július 1-től a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ), majd 2022. január 1-től az adott feladat tekintetében a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Földtani Szolgálat (SZTFH) lett.

² A jelentés elkészült, de mivel csak technikai információkat tartalmazott, a mért adatokra vagy értelmezésre vonatkozó információt nem, a jogutód szervezettel egyetértésben a természetvedelm.hu honlapon nem került

2 A mérés helyszíne

A műszer telepítésére Mátyás-hegyi-barlang legmélyebb pontján a barlangbejáratától kb. 92 méteres mélységben kb. 109 mBf magasságban található Agyagos-tónál került sor. A mérés kezdetekor rendelkezésre álló információ szerint a vízszintmérőlécet tartó fix pont nagy valószínűséggel megegyezik a Mátyás-hegyi-barlang poligon adatfájljában szereplő „218.06” számú és „tó” címkéjű (megjegyzése: vízszint 0,2 m-re, 1982. 02. 16.) pont adatával.

Jelen kutatás során kiemelt cél volt a mért adatsor megbízható tengerszint feletti magassághoz kötése, hogy az adatsor korrekten összehasonlítható legyen a környező karsztkutak szintén tengerszint feletti magasságban meghatározott értékeivel. Ezért 2020-ban a jelen kutatás keretében elvégzett felszíni geodéziai és célirányos barlangi térképezési munkák révén pontosítottuk az Agyagos-tóba telepített műszer tengerszint feletti magasságát (MBFSZ 2020³):

- a mérőléce rögzítési pontjának tengerszint feletti magassága a 2021. 01. 02-i bemérés alapján: 109,14 mBf.
- A 110 cm-es fordított állású léce '0'-pontja 108,04 mBf.

3 A mérés módszere

A tóba Dataqua (DA-S-LTRB 122) típusú műszer került elhelyezésre. A műszerből kiolvasott adatokat és a lapvízmércéről leolvasott értéket (fényképet) az SZTFH Vízföldtani Osztályán ellenőrzik, dolgozzák fel. Feldolgozás után az adatsor a [Geobank](#) vízszint monitoring adatai közé került be.

A 2016. június 13-n telepített műszer kiolvasása kb. fél évente sikeresen zajlott. Először 2019. 07. 11-én sikertelen volt a kiolvasás, ezért 2019. 02. 05-től adathiány van 2020. 05. 25-ig. A 2020. 05. 25-én újratelepített új műszer már csak vízszint mérést biztosított.⁴ Sajnos azonban ez a műszer is elromlott, ezért 2022. 02. 13-tól ismételen adathiány volt. Az új műszer telepítésére 2024. 12. 02-án került sor.

4 Mért adatok

Az adatrögzítés 30 percenként történt. A mért adatokat a három folyamatos mérési időszakra az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

közzétételre. Az ebben az időszakban rögzített adatok is megjelennek a 2016-2025 közti teljes időszak eredményeit értékelő Zárójelentésben.

³ Részletesebben ld. az [MBFSZ 2020 Az Agyagos-tó vízmércéjének bemérése c. fejezetben](#).

⁴ A 2016–2020 közt rögzített folyamatos hőmérséklet-idősor szerint a vízhőmérséklet a teljes mért időszak alatt 11,3–11,4 °C volt. A hőmérsékletmérésekben szisztematikus változás nem volt követhető (inkább a méréshatáron belüli változást valószínűsít).

1. táblázat: A mért vízszint adatok statisztikai összefoglalása.

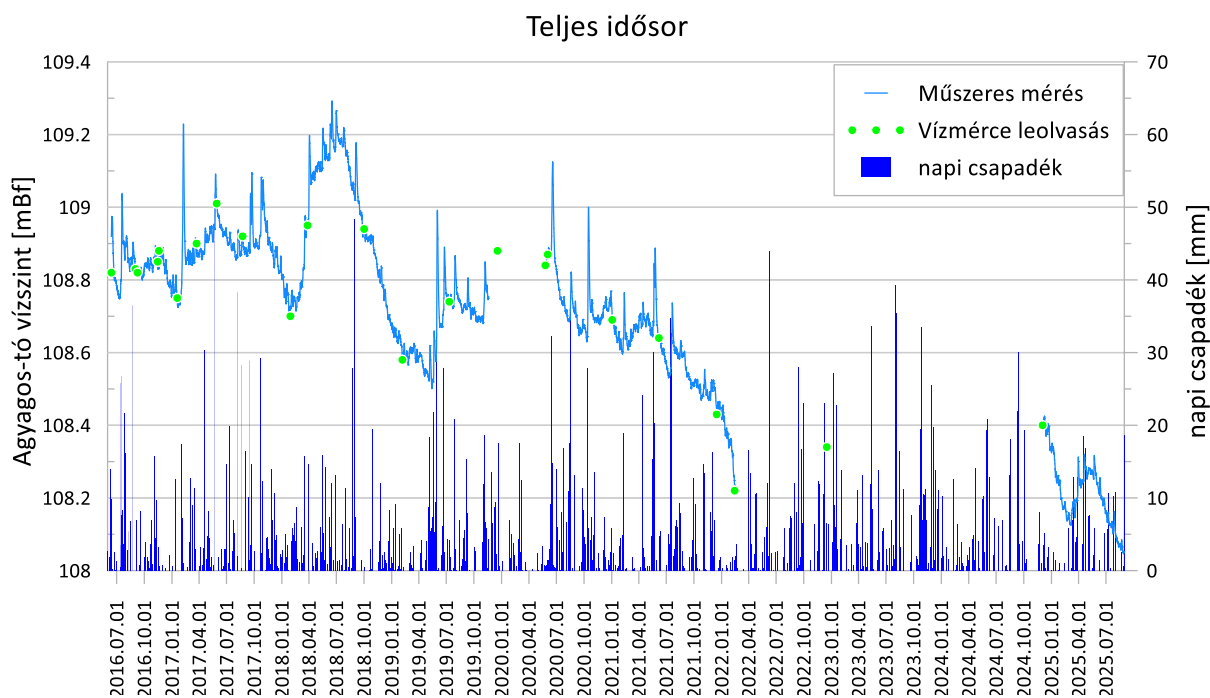
Időtartam		Max vízszint [mBf]	Min vízszint [mBf]	Vízszint változás [m]	Átlagos vízszint [mBf]
2016.06.13 13:30	2019.11.17 14:00	109,29	108,50	0,79	108,85
2020.05.25 12:30	2022.02.13 11:00	109,125	108,23	0,895	108,63
2024.12.02 13:30	2025.08.29 12:00	108,425	108,046	0,379	108,22

Látható, hogy a tó vízszintje a vizsgált időszakban csak kis tartományban változott, a három időszakban 109,29-108,046 mBf szint között mozgott csak.

5 Az Agyagos-tó vízszintjére gyakorolt hatások

5.1 Csapadék

A tó vízszintje érzékenyen reagál a csapadék beszivárgásra⁵. Ennek alátámasztásául a diagramon a HUNGAROMET által a Budapest II. kerületi meteorológiai állomáson mért napi csapadékadatokat is feltüntettük.

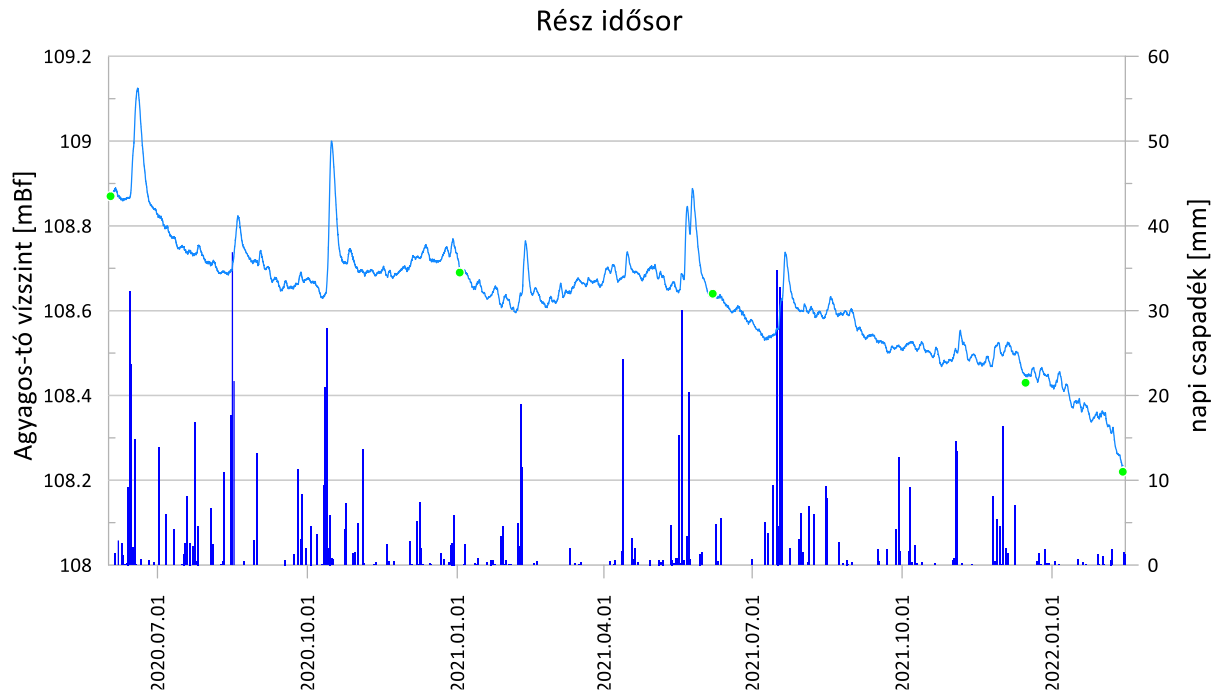


1. ábra: Az Agyagos-tó vízszintjének idősora (2016-2025).

A 20 mm-t meghaladó csapadékok általában vízszintnövekedést okoznak a tóban. A megelőző csapadék mennyiségétől és évszaktól (hőmérséklettől) és a csapadékinzintitástól/lefolyástól függően kisebb mennyiségű csapadék is okozhat vízszintnövekedést. A vízszintváltozás azonban rövid időszakon belül nem haladja meg a 40 cm-t. A korábbi vízszintmérések során 1,5 m-t meghaladó vízszintváltozásokat is

⁵ Ld. pl. [MBFSZ 2020. évi jelentése](#) 62-65. ábráját.

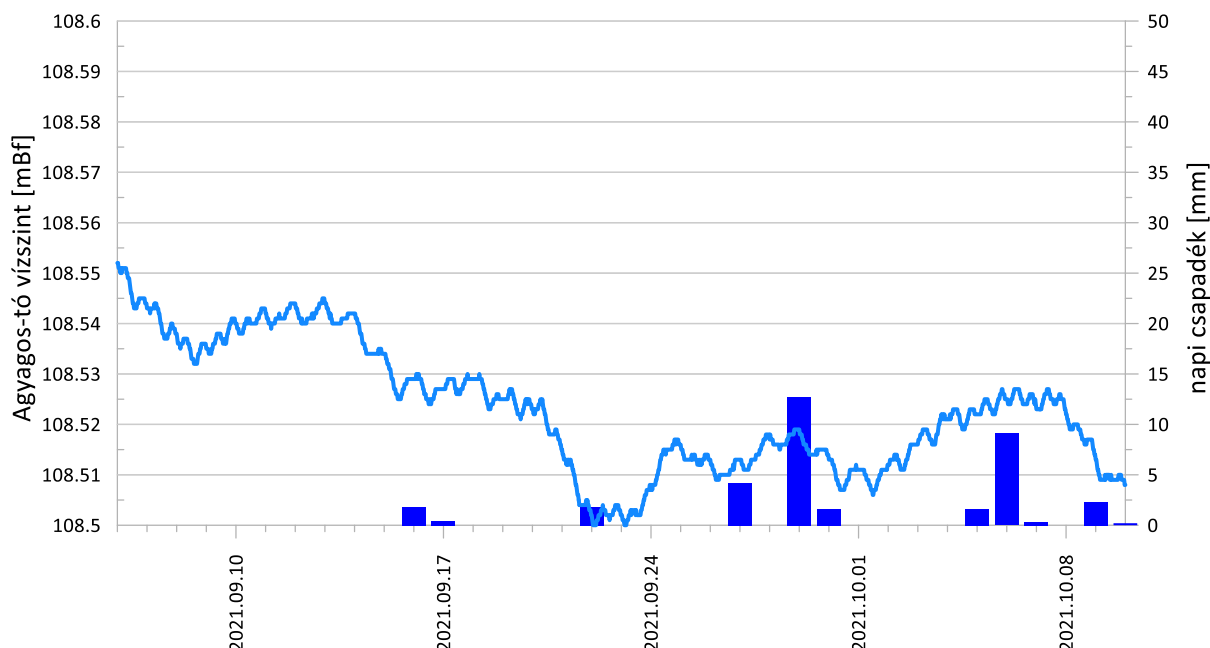
regisztráltak, azonban több méteres vízszintnövekedések csőtöréshez voltak köthetők (Szabó Z. 2003, MBFSZ 2020).



2. ábra: Az Agyagos-tó vízszintjének részidősora.

5.2 Földi árapály hatás

A csapadék által okozott hatáson kívül megfigyelhetők kis amplitúdójú rövid periódusidejű változások, amiket a földi árapály-hatással azonosíthatunk. Karsztvízszint észlelő kútban Gerber Pál ismerte fel Magyarországon először a vízszintváltozások árapály jellegét (Gerber P. 1965). Majd a VITUKI munkatársai az Aggteleki karszt területén a figyelőkutak vízszint és a források hozam változásában is kimutatták az árapály-hatást, és az 1966-ban a Vass Imre barlangba telepített litoklázis fluktuáció mérőhely adatai alapján sikerült igazolniuk (Maucha 1966).



3. ábra: Rövid periódusos változások az Agyagos-tó idősorában.

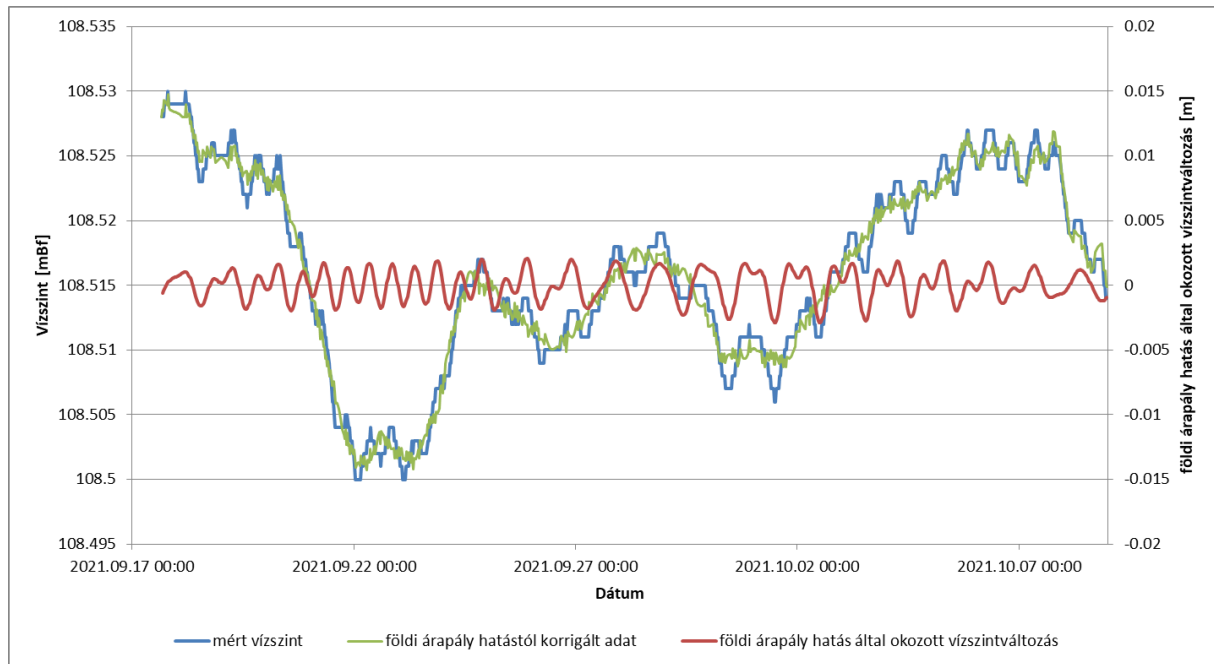
Az árapály jelenség a gravitációs erők változásaiból ered, melyet a Nap, a Hold és a Föld egymáshoz viszonyított helyzetének megváltozása hoz létre. A gravitációs erők időszakosan deformálják (kitágítják és összenyomják) a víztartó rendszer vázát, megváltoztatva a porozitást, és mérhető, akár 3 cm-es vagy annál nagyobb vízszintingadozást okoznak a kis tárolási együtthatójú vízáadó rétegekre szűrőzött kutakban. A változások különböző periódusú, amplitúdójú és fáziseltolással rendelkező szinuszos hullámként jellemezhetők. A másodlagos porozitással rendelkező víztartók a törésrendszer irányítottságának megfelelően az árapály különböző irányú hatására eltérő mértékben reagálnak. A vízszintváltozás periódusának frekvencia analízisét a Fourier transzformációval lehet elvégezni.

A periódust, az amplitúdót és a fázist Excelben, Fast Fourier Transzformációval (FFT) határoztuk meg a 2021. 09. 17. 16:00 – 2021. 10. 08. 23:30 időszakra⁶. A meghatározott periódusidőt, amplitúdót és fázist a 2. táblázatban foglaltuk össze. A mért, a számítások által meghatározott vízszintváltozást és a korrigált vízszintet az adott időszakra a 4. ábrán tüntettük fel.

2. táblázat: Vízszintváltozás fő periodikus összetevőinek adatai.

Periódusidő [nap]	Amplitúdó	Fázis
1.121710526	0.000252	-1.008
1.065625	0.000944	-2.84326
1.014880952	0.000745	-0.91052
0.519817073	0.000804	0.104625
0.507440476	0.000149	-1.66423
0.495639535	0.000681	-2.98217

⁶ Az FFT módszerhez 2-nek N-dik hatványa darabszámú adatra van szükség, a számításhoz 1024 adatot használtuk fel.



4. ábra: Az Agyagos-tó vízszintjének részdősora a számított földi árapály hatással és a korrigált vízszint.

Hosszú idejű vízszint idősorok tanulmányozásával Merritt (2004) meghatározta a vízszintváltozást leginkább befolyásoló árapály frekvenciákat. Mint látható több tényező frekvencia különbsége rendkívül kicsi. Schweizer et al. (2021) a frekvenciák közötti különbségek vizsgálatával meghatározta, hogy milyen hosszú idősor szükséges ahhoz, hogy az egyes frekvenciák meghatározhatóak legyenek. Az időtartamot a 3. táblázat „Min. duration” oszlopa tartalmazza. Látható, hogy a M2 és S2 frekvencia jól elkülöníthető viszonylag rövidebb, kéthetes adatsorból is, azonban a többi meghatározásához hosszú adatsorra van szükség.

A vizsgált rövidebb idősoron kívül a meghatározást az is befolyásolta, hogy a légnyomásváltozásnak (lásd később) is van hasonló frekvenciájú összetevője. Hosszú adatsor nélkül, valamint az egyéb vízszintváltozást okozó hatások miatt a frekvenciák tehát nem minden esetben határozhatóak meg jól, ezért elterjedt, hogy a jól ismert 5-8 frekvencia felhasználásával határozzák meg a periódus összetevőit, az amplitúdót és a fázist, ezáltal jobb korrekció biztosítható. A meghatározáshoz a harmonikus legkisebb négyzetek módszerét alkalmazzák.

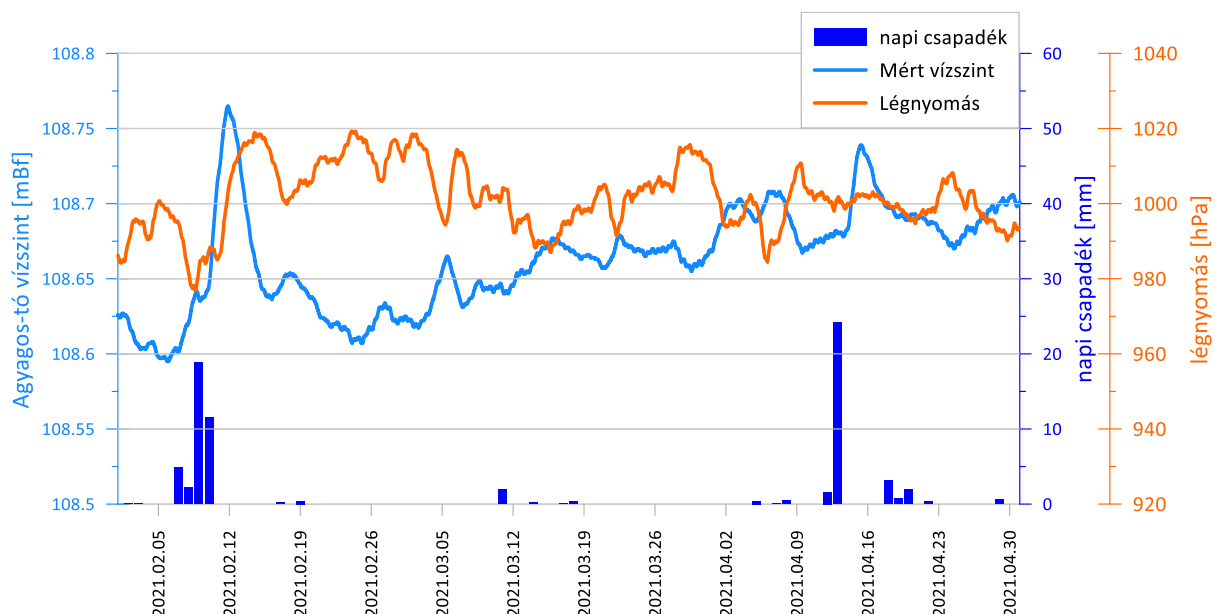
3. táblázat: A vízszintváltozás befolyásoló fő gravitációs komponensek (Schweizer et al. 2021)

Tidal constituent (K)	Period [d]	Frequency (f_k) [cpd]	Spacing (Δf_k) [cpd]	Min. duration (τ) [d]
Q1	1.1195	0.89324		
O1	1.0758	0.92954	0.0363	27.55
M1	1.0347	0.96645	0.0369	27.09
P1	1.0027	0.99726	0.0308	32.46
S1	1.0000	1.00000	0.0027	364.96
K1	0.9973	1.00274	0.0027	364.96
N2	0.5274	1.89598		
M2	0.5175	1.93227	0.0363	27.56
S2	0.5000	2.00000	0.0677	14.76
K2	0.4986	2.00548	0.0055	182.48
Lunar	27.5542	0.03629		
Solar	365.2425	0.00274		

Ezen kívül lehetőség van mért gravitációs adatok felhasználására, vagy szintetikus adatok generálására. Szintetikus gravitációs adatokat képez a PygTyde vagy TSoft. Az adat generáláshoz meg kell adni a pont földrajzi koordinátáit, magasság adatát, az első adat időpontját, az időszak hosszát, az adatok időbeli felbontását és az UTC időzónától történő eltérést. Jelen esetben lehetőség nyílt mért gravitációs adatok felhasználására (ld. a következő fejezetben).

5.3 Légnyomásváltozás hatása

A periodikus árapály-hatáson kívül a beszivárgás nélküli időszakokban aperiodikus hatás is megfigyelhető, melyet a légnyomásváltozás hatásának tulajdonítunk. Zárt tükrű vízádóban már régóta ismert, hogy a légnyomásváltozás a felszín alatti víz szintjének változását okozza (Jacob 1940.)



5. ábra: Rövid, aperiodikus változások az Agyagos-tó vízszint idősorában.

Később nyílt tükrű vízáadó esetében megfigyelték a légnyomás változás hatását, amennyiben a vízszint mélyen a terepszint alatt helyezkedik el, és a víztartó áteresztő képessége a levegőre kicsi az adott állapotban (Weeks 1979, Rojstaczer & Riley 1990). Nyílt tükrű vízáadók esetén a levegő beáramlik és kiáramlik a telítetlen zónában, hogy a légnyomásváltozást közvetítse a víztükrő felé. Ezt az áramlást a telítetlen zóna véges áteresztő képessége és talajlevegő tározó képessége lelassítja, ezért a víztükrőnél a levegő nyomásváltozása később következik be, mint a felszínen, vagy a kútban. Ezért nyomáskülönbség alakul ki a kútban lévő víz és a környezetében lévő vízáadóban lévő víz között, ami vízszintváltozást okoz. Ahogy az idő múlik a teljes nyomásváltozás átadódik a telítetlen zónán keresztül és helyreáll az eredeti vízszint.

Ha feltételezzük, hogy a talajlevegő vertikális irányban mozog, és sűrűsége nem változik a mélységgel és a nyomással, valamint a telítetlen zóna áteresztő képessége és tározása térben és időben állandó, a telítetlen zónában a levegő áramlása izotermális és a telítetlen zóna áteresztő képessége elég nagy ahhoz, hogy Klinkenberg hatás elhanyagolható legyen, akkor a telítetlen zónában a levegő áramlását az alábbiak szerint lehet leírni:

$$\frac{Kk_{ra}}{\mu_a} \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \frac{n_a}{\bar{P}} \frac{\partial h}{\partial t}$$

vagy

$$\frac{\delta^2 h}{\delta z^2} = \left(\frac{\mu_a n_a}{Kk_{ra} \bar{P}} \right) \frac{\partial h}{\partial t}$$

ahol

h pneumatikus potenciál [L]

K a telítetlen zóna permeabilitása [L^2]

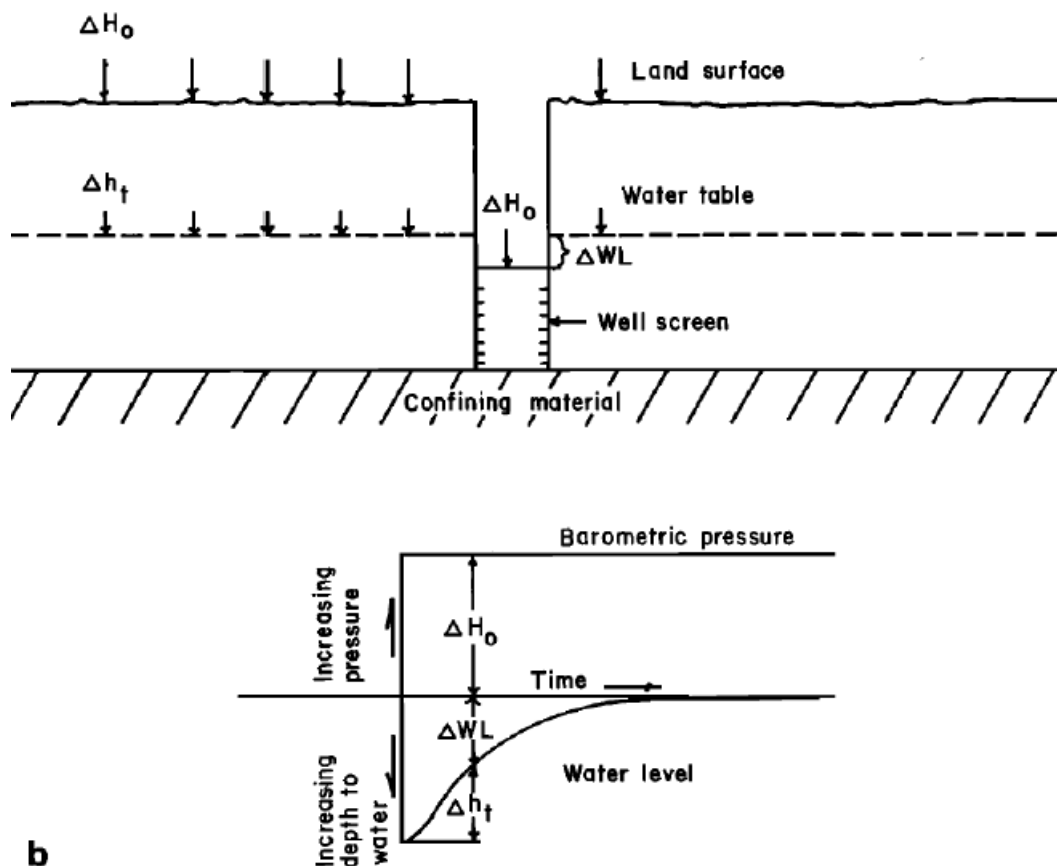
k_{ra} a közegnek az adott nedvességtartalom melletti relatív permeabilitása [-]

n_a levegővel töltött porozitás [-]

μ_a levegő dinamikus viszkozitása [$M/L \times T$]

$\bar{P}$ átlagos nyomás a nyomásváltozás alatt [$M/l \times T^2$]

A zárójeles kifejezés az effektív pneumatikus diffuzivitás, jele α .



6. ábra: Légnyomásváltozás hatása a felszín alatti víz szintjére nyílt tükrű vízadóban (Weeks 1979).

Egy adott időpontban a vízszintváltozást a pillanatnyi nyomásváltozáson túl a megelőző nyomásváltozások is meghatározzák.

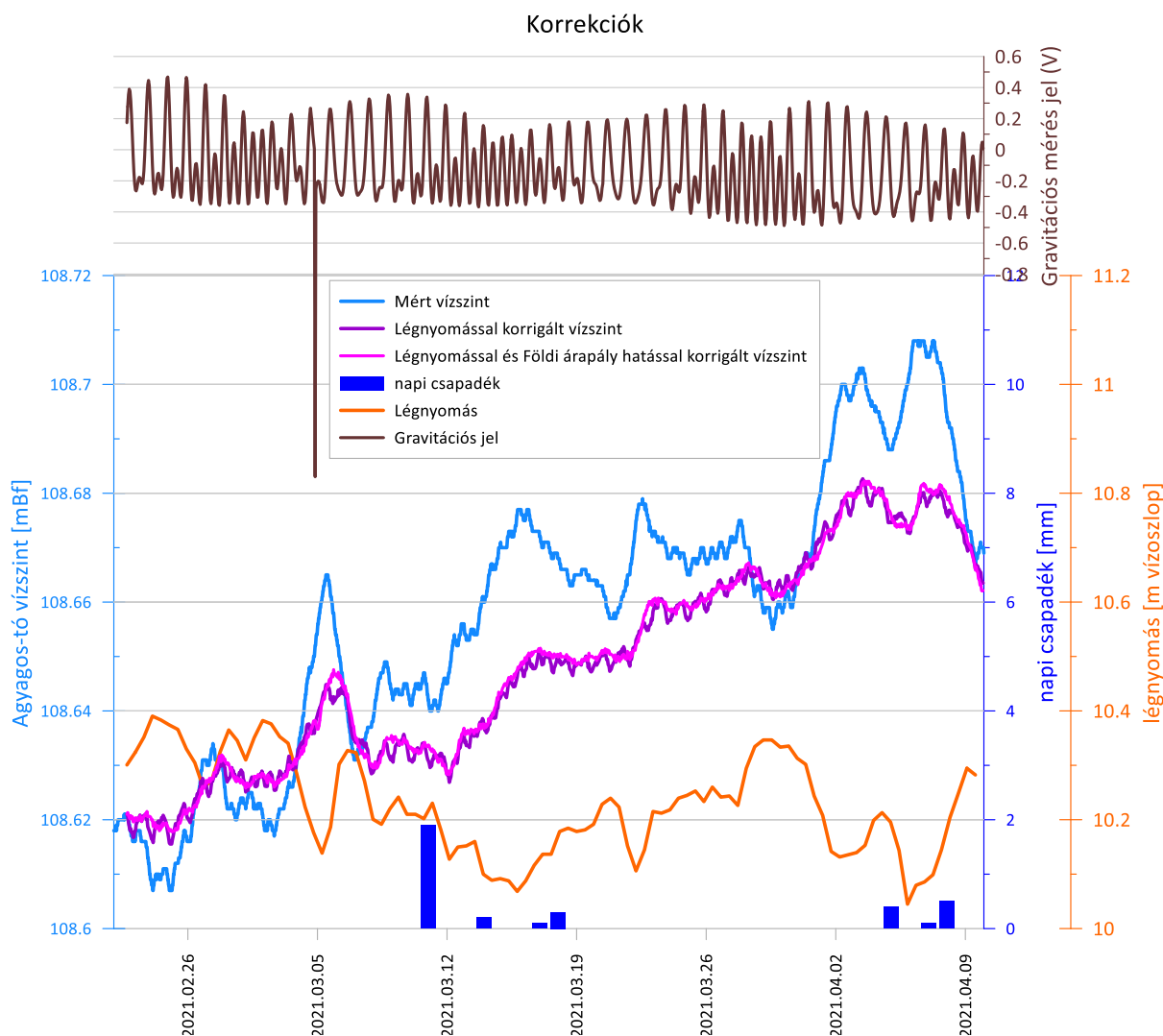
$$\Delta W(t) = \alpha(0) \times \Delta B(t) + \alpha(1) \times \Delta B(t-1) + \alpha(2) \times \Delta B(t-2) + \dots + \alpha(m) \times \Delta B(t-m).$$

Az $\alpha(1) \dots \alpha(m)$ értékei többszörös lineáris regresszió (Multiple Linear Regression) módszerrel meghatározhatók.

Hasonló jelenség játszódhat le a barlangban lévő Agyagos-tó esetében. A barlangjáratokon keresztül a légnyomásváltozás közvetlenül hat a tó felszínére, de a barlang körüli telítetlen zónában a kis repedéseken keresztül a légnyomásváltozás késleltetve hat a karsztvízszintre, ezért nyomáskülönbség alakul ki a tóban lévő víz és a környezetében lévő vízadóban lévő víz között, ami vízszintváltozást okoz. A jelenség bizonyíték arra, hogy a tó vize közvetlen kapcsolatban van a karsztvízzel, mert amennyiben csak függővíz lenne, melyet az agyagos kitöltésen a beszivárgásból felhalmozódó és lassan elszivárgó víz okoz, akkor a légnyomás növekedés hatására valóban csökkenthet a víz szintje, azonban a fordított jelenség, azaz légnyomás csökkenés hatására a vízszintnövekedés nem játszódna le. A megállapítás összhangban van Szabó Zoltán több éves barlangi mérésekből levont következtetésével (Szabó 2003).

A korrekciót elvégeztük a beszivárgástól kevésbé bolygatott 2021. 02. 22 - 2021. 04. 09 időszakra (7. ábra). Az eredményeket bemutató diagramon feltüntettük a mért vízszintet kézzel, és a légnyomásváltozást vízoszlop magasságba átszámolva narancssárgával. A

korrekciót elvégezve a sötét lila görbét kaptuk. Látható, hogy a korrekcióval a légnyomással kevésbé korreláló görbét kaptunk, azonban a légnyomás hatása teljesen nem tűnt el. Ennek oka lehet, hogy a **barlang nem teljesen feleltethető meg egy kútnak, a légnyomás változáshoz képest a vízszintváltozás jobban késleltetett**. A légnyomásváltozás által okozott vízszintváltozást eltávolítva a korrigált görbén még jobban látható a földi árapály hatás. A Mátyás-barlangban működik az SZTFH Mátyáshegyi Gravitációs és Geodinamikai Observatóriuma, így a korrekcióra az ott végzett gravitációs mérés adatát használtuk fel, melyet a diagram felső részén mutatunk be. Látható, hogy amennyiben mind a légnyomásváltozás, mind a földi árapály hatás korrekcióját elvégezzük, sokkal simább görbét kapunk (rózsaszín).

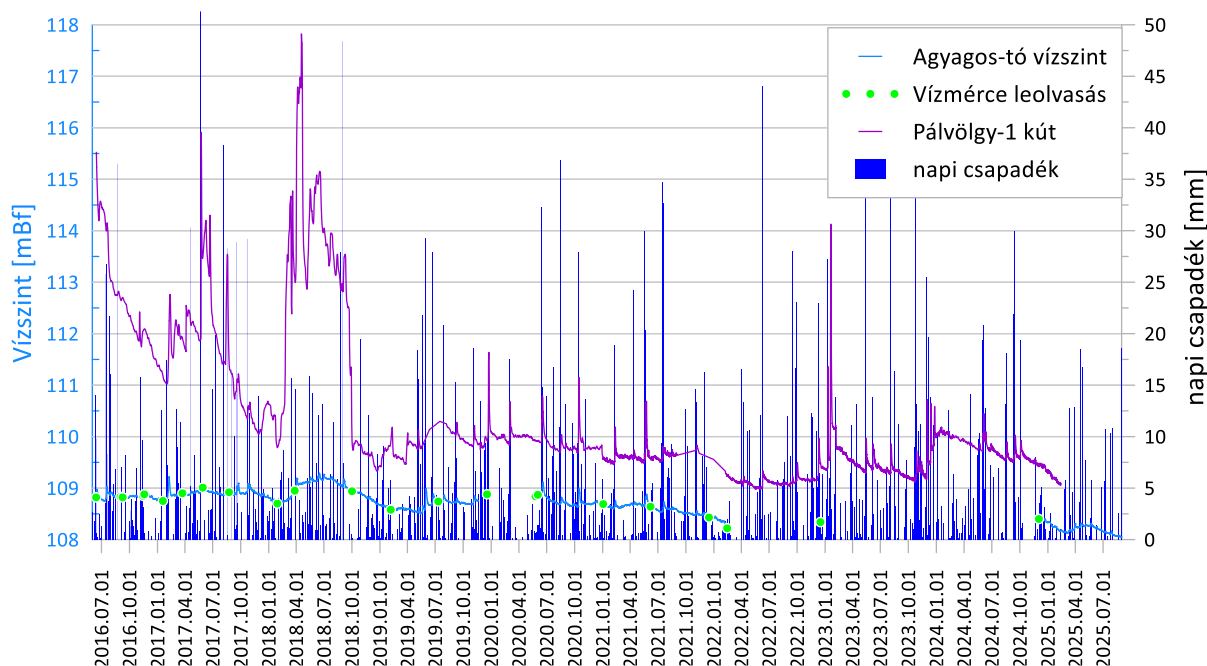


7. ábra: Légnyomás és földi-árapály hatás korrekciója.

5.4 Kapcsolat a karsztvízszinttel

Az Agyagos-tó, illetve a tőle kb. 260 méterre ÉÉNy-ra lévő Pálvölgy-1 (Pv.bg-1)⁷ karsztkút hidraulikai helyzetéről elég sok feltételezés látott napvilágot korábban.⁸

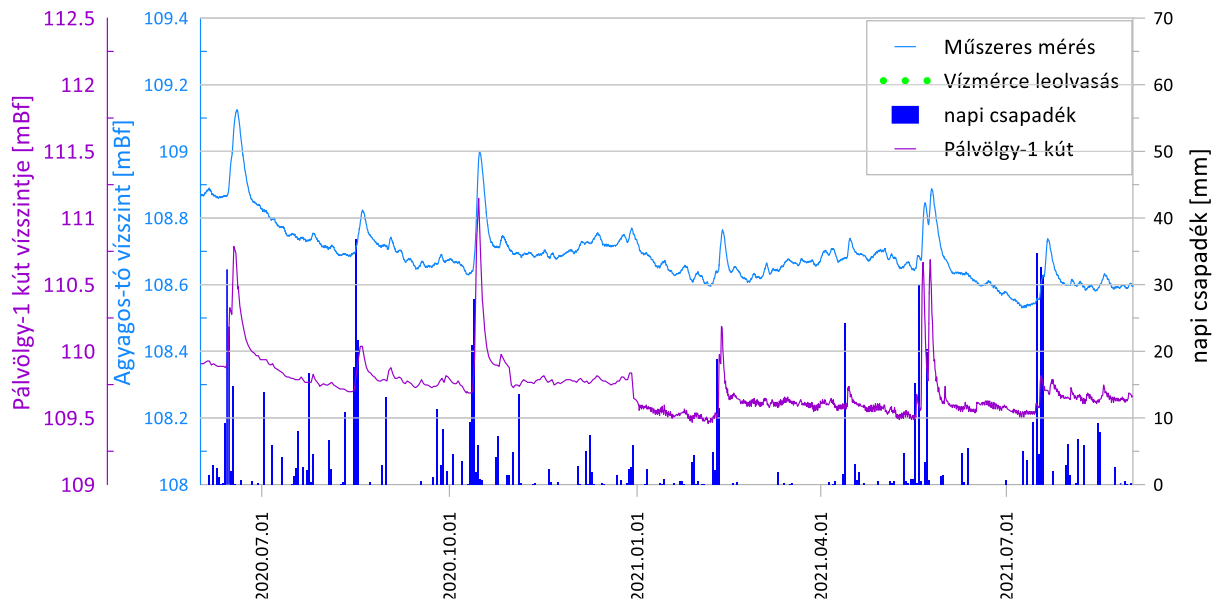
A jelen kutatás eredménye alapján az a kép rajzolódik ki, hogy a légnyomásváltozás Agyagos-tó vízszintjére gyakorolt hatása alapján a **tó a telített zónával kapcsolatban van**, azaz **a tó vízszintje a karsztvízszintet mutatja**. Célszerű a tó vízszintváltozását a karsztvízszint változással összehasonlítani, melyre lehetőséget ad a Pálvölgyi-barlang bejáratánál található Pálvölgy-1 figyelőkút időszora, melyet a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságtól kértünk meg (8. ábra). A kút vízszintje – az *elvégzett szükséges korrekciók után* – mintegy 1 méterrel az Agyagos-tó vízszintje felett helyezkedik el, de látható, hogy a **Pálvölgy-1 kútban sokkal jelentősebb vízszintingadozások jellemzőek**. A rövidebb időszor kiemelésével látszik, hogy a kút vízszintjét is **elsősorban a csapadékbeszivárgás határozza meg** (9. ábra). Kisebb mértékben megfigyelhető a légnyomásváltozás és a földi árapály hatása, azonban a ritka és nem egyenközű mintavétel miatt részleteiben nem lehet vizsgálni.



8. ábra: Az Agyagos-tó és a Pálvölgy-1 karsztvízszint észlelő kút időszora.

⁷ A Pálvölgy-1 kútra vonatkozó részletesebb információkat ld. [MBFSZ 2020 Pálvölgyi-kőfejtő Pálvölgy-1 \(Pv.bg-1\) c. fejezetében](#).

⁸ A korábbi elképzelésekre vonatkozó részletesebb információt ld. a [MBFSZ 2020 Az Agyagos-tó hidraulikai helyzete](#) c. fejezetében.



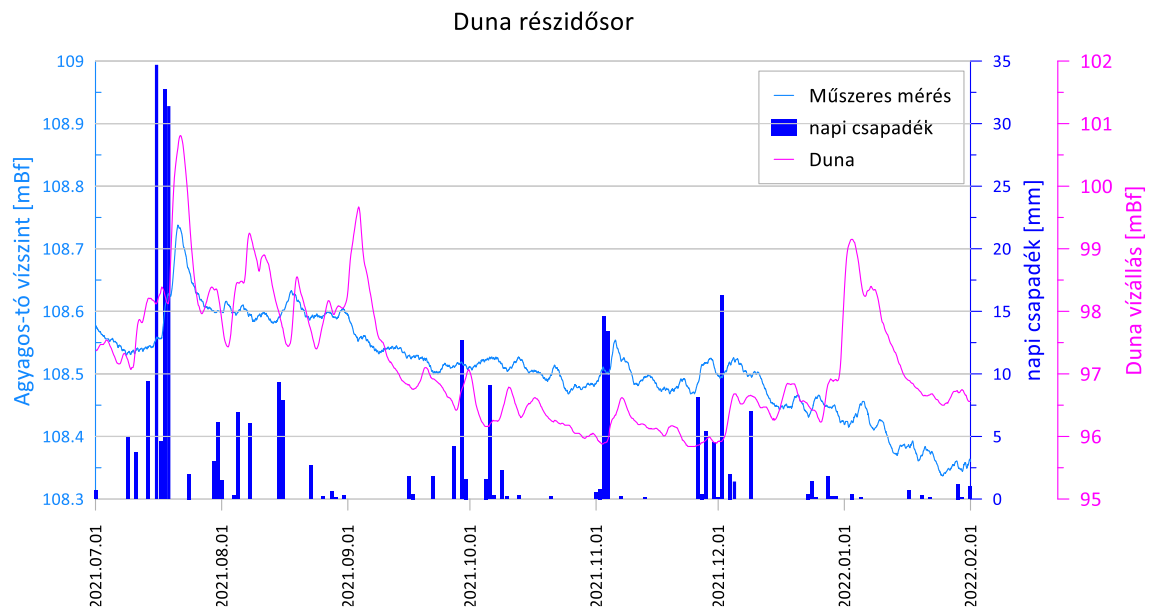
9. ábra: Az Agyagos-tó és a Pálvölgy-1 karsztvízszint észlelő kút vízszintjének részidősora.

A két idősor eltérését az okozhatja, hogy karsztkúttal feltárt repedezett kőzetösszetben a kisebb porozitás miatt ugyanakkora csapadék nagyobb vízszintváltozást okoz, mint a jóval nagyobb porozitású barlangi környezetben.

A későbbiekben hasznos lenne a fenti teljesebb, korrigált adatsorokat összehasonlítani a környező kissé távolabbi karsztkutak adatsoraival is.

5.5 Duna és az Agyagos-tó vízszintjének kapcsolata

A Duna mellett a talajvíztartók esetében megfigyelték, hogy a Duna vízállása a kavicssteraszban kb. 1 km-es sávban befolyásolja a talajvízszintet. Ugyancsak ismert, hogy a Duna mellett a karsztforrások vízhozamát (pl. Gellért-fürdő) a vízállás befolyásolja, magasabb vízállás során a forráshozam nagyobb (Szabó 1857, Molnár 1857). Berkesi Lajos 1965 tavaszán végzett 2 hetes mérésorozata azt igazolta, hogy a Duna vízállása és a tó vízállása között nincs kapcsolat (Berkesi 1965). A műszerrel végzett hosszú idejű mérésorozat alátámasztotta a megállapítását. Van, amikor a tó vízszintjének emelkedése egybe esik a Duna vízállás változásával, de előfordul olyan is, amikor úgy emelkedik a Duna vízállása, hogy a tó vízszintje nem változik, illetve a tó vízszintje változik, de a Duna vízállása nem. Összességében **csak akkor mozognak együtt a vízállások, ha olyan csapadék okozza a Duna vízállás változását, ami a barlang környezetében is jelentős.** Több mint 1 km-re a folyótól már nincs a Duna vízállásnak közvetlen hatása a karsztvízszintre.



10. ábra: Az Agyagos-tó és a Duna vízállásának részidősora.

6 Összefoglalás

Jelen zárójelentés a Pál-völgyi barlangrendszerhez tartozó Mátyás-hegyi-barlang legmélyebb pontján, az, Agyagos-tónál 2016–2025 között végzett vízszint- és víz hőmérséklet-mérések eredményeit mutatja be.

A monitoring tevékenység 2016 júniusában indult az akkori Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (jogutódja az SZTFH) gondozásában, szoros összefüggésben a barlangban működő Gravitációs és Geodinamikai Observatórium munkájával. A kutatás elsődleges célja a karsztvízszint változásainak nyomon követése volt, amely elengedhetetlen az obszervatóriumban végzett precíziós geodinamikai (extenzométeres) és gravitációs mérések pontos értelmezéséhez.

Az Agyagos-tóba Dataaqua típusú vízszint regiszter telepítése történt, A műszer 30 perces gyakorisággal rögzítette az adatokat. Bár a vizsgált évtized során technikai okokból és műszermeghibásodások miatt fordultak elő adathiányos időszakok (különösen 2019–2020 és 2022–2024 között), a rendelkezésre álló adatsorok így is értékes tudományos következtetések levonását tették lehetővé. A vízszint a vizsgált időszakban viszonylag stabil maradt, a szélsőértékek 108,046 és 109,29 mBf között alakultak, ami jelzi a rendszer kiegyenlített hidrológiai karakterét.

A kutatás jelenlegi állása alapján az Agyagos-tó vízszintjére vonatkozóan az alábbi legfontosabb megállapítások tehetők:

- Elsőként a csapadék hatása emelhető ki: a tó vízszintje érzékenyen és viszonylag gyorsan reagál a nagyobb mértékű (napi 20 mm-t meghaladó) esőzésekre a beszivárgás révén.
- Másodsorban a mérések kimutatták a földi árapály jelenségét, amely a Nap és a Hold tömegvonzásának hatására okoz apró, periodikus ingadozásokat a víztükör szintjében.

- Harmadrészt igazolták a légnyomásváltozás inverz hatását is: a növekvő légnyomás „lenyomja”, míg a csökkenő légnyomás emeli a vízszintet, ami a **karsztrendszer rugalmasságát és nyitottságát bizonyítja**.
- A kapott eredmények alapján valószínűsíthető, hogy az **Agyagos-tó a fő karsztvíztáblához kapcsolódik, nem pedig egy elszigetelt kisebb függő (függőkarsztvízszint)**.
- Bár a Duna vízjárása a város közelsége miatt meghatározónak tűnhetne, a mérések szerint **a folyó nincs közvetlen hatással a barlangi tó vízszintjére**.
- A Pálvölgy-1 figyelőkúttal való összevetés szoros korrelációt mutatott, ami alátámasztja, hogy az Agyagos-tó a regionális karsztvízszintet reprezentálja.
- A 2016–2020 közt rögzített hőmérséklet-idősor szerint a víz hőmérséklet a teljes mért időszak alatt 11,3–11,4 °C volt. A hőmérsékletmérésekben szisztematikus változás nem volt követhető (inkább a méréshatáron belüli változást valószínűsített, MBFSZ 2020).

Az összegyűjtött adatok nemcsak a barlangtani ismereteket bővítik, hanem alapvető korrekciós adatokat szolgáltatnak a nemzetközi jelentőségű geodinamikai és gravitációs mérésekhez is.

A 10 éves kutatási mérési periódus lezárult, az összegyűjtött, korrigált és adatbázisba rendezett adatok a későbbi kutatások rendelkezésére állnak. A jelen mérési adatsor előtt az Agyagos-tóban, illetve a Pálvölgy-1 kútban végzett mérések szükséges korrekciók utáni közös egységes tengerszint feletti magasságra hozása és a fenti vizsgálatba bevonása, a **környező többi vízszint monitoring kúttal**, illetve ahol rendelkezésre áll, a meteorológiai adatokkal történő **korreláció vizsgálata is hozhat még új eredményeket a jövőben**.

Irodalomjegyzék

- ACHERON (1984): Az ACHERON Barlangkutató Szakosztály 1984. évi jelentése.
http://www.termeszetvedelem.hu/user/browser/File/barlangkutat%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/1984/acheron_1984.pdf
- ACHERON (1985): Az ACHERON Barlangkutató Szakosztály 1985. évi jelentése.
http://www.termeszetvedelem.hu/user/browser/File/barlangkutat%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/1985/acheron_1985.pdf
- ACHERON 1982–88 (szerk: Nyeges Miklós): Az Acheron Barlangkutató Csoport Mátyás-hegyi-barlangban végzett tevékenysége (1982-1988 nyár)
http://www.termeszetvedelem.hu/user/browser/File/barlangkutat%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/1988/acheron_matyas_82_1988.pdf
- Berkesi, L. (1965): A Mátyáshegyi-barlang tavának kéthetes vizsgálata. Karszt és barlang, II. p. 79-82.
http://epa.oszk.hu/02900/02993/00008/pdf/EPA02993_karszt_es_barlang_1965_2_079-082.pdf

DATAQUA: A DA-S-LTRB 122 műszer.

http://www.dataqua.hu/products/product.php?lang=hu&id=DA-S-LTRB_122

Gerber, P. (1965): Karszthidrológiai megfigyelések a tatabányai medence nyugati sasbércén. V. Bányavízvédelmi Konferencia tárgyalási anyaga. Budapest, 1965, IX. 20 — 22. p. 74—95.

Jacob, C.E. (1940): On the flow of water in an elastic artesian aquifer. EOS Trans EGU, 21(2) p. 574-586.

Kis, M. (2016): Mátyás-Hegyi Gravitációs és Geodinamikai Observatórium. In: Bodoky T., Polcz I. (szerk.) 2016: A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet története. II. rész. 1965–2012, Budapest, 2016. ISBN 978-963-671-309-6 p.54-59.

http://real.mtak.hu/46825/1/ELGI_tortenet-II.pdf

Maucha, L. (1966): A litoklázis-fluktuáció első megfigyelése a Vass Imre-barlangban. Karszt és barlang 2. p. 82-83.

Merritt, M.L. (2004): Estimating hydraulic properties of the Floridan Aquifer System by analysis of earthtide, ocean-tide, and barometric effects, Collier and Hendry counties, Florida. Technical report, USGS, Tallahassee, Florida

MFGI 2016: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2017. február.

https://termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2016/mfgi_2016.pdf

MFGI 2017: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2018. február.

https://termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2017/mfgi_2017.pdf

MBFSZ 2018: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2019. február.

https://termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2018/mfgi_2018.pdf

MBFSZ 2019: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2020. február,

https://termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2019/mfgi_2019.pdf

MBFSZ 2020: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2021. február.

https://termeszetvedelem.hu/wp-content/uploads/2021/09/mfgi_2020.pdf

MBFSZ 2021: Vízszint és vízhőmérséklet monitorozás a Pál-völgyi-barlangrendszer részét képező Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavában. 2022. február.

https://termeszetvedelem.hu/wp-content/uploads/2022/03/mfgi_2021.pdf

- Molnár, J. (1857): A budai meleg gyógyforrások physikai s vegytani viszonyai. A Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei. Harmadik kötet 1851-1856 p. 11-49.
- Rojstaczer, S.; Riley, F.S. (1990): Response of the water level in a well to earth tides and atmospheric loading under unconfined conditions. Water Resources Research, v. 26, no. 8, p. 1803-1817.
- Schweizer, D.; Ried, E.; Rau, G.C.; Tuck, J.E. (2021) Comparing Methods and Defining Practical Requirements for Extracting Harmonic Tidal Components from Groundwater Level Measurements. Math Geosci v. 53. p.1147–1169.
- SMARAGD-GSH Kft. Pethő S. (2003): Kutatási jelentés folyamatos vízszintmérés, vízmintavételezés tárgyában a Mátyáshegyi-barlang Agyagos-tavánál. 2004. január 31. http://www.termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2003/smaragd-gsh_2003.pdf
- SMARAGD-GSH Kft. Pethő S. (2004): A Smaragd-GSH Kft. Mátyás-hegyi barlang Agyagos-tavánál 2003. október 14. – 2005. január 20. között végzett vízszint- és vízkémiai méréseinek összefoglalása. Kutatási zárójelentés. 2005. március 23. http://www.termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2004/smaragd-gsh_2004.pdf
- Szabó, J. (185): A budai meleg források földtani viszonyai. A Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei. Harmadik kötet 1851-1856 p. 1-11.
- Szabó, Z. (2003): A Mátyás-hegyi-barlang Agyagos-tavának megfigyelése. 2003. Cholnoky Pályázat, 2004. http://www.termeszetvedelem.hu/_user/browser/File/barlangkut%C3%A1si%20jelent%C3%A9sek/2003/szabo_zoltan_2003.pdf
- Toll, J.N.; Rasmussen, T.C. (2007): Removal of barometric pressure effects and earth tides from observed water levels. Ground Water, v. 45, no. 1, p. 101–105.
- Weeks, E.P. (1979): Barometric fluctuations in wells tapping deep unconfined aquifers. Water Resources Research, v. 15, no. 5, p. 1167–1176.