

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344348892>

Rejtőzködő vizek nyomában a Balaton térségében – Mi hiányzik a Balatonból?

Chapter · September 2020

CITATIONS

0

READS

295

3 authors:



Ádám Tóth

Utrecht University

115 PUBLICATIONS 602 CITATIONS

SEE PROFILE



Timea Havril

Eötvös Loránd University

35 PUBLICATIONS 254 CITATIONS

SEE PROFILE



Judit Mádl-Szőnyi

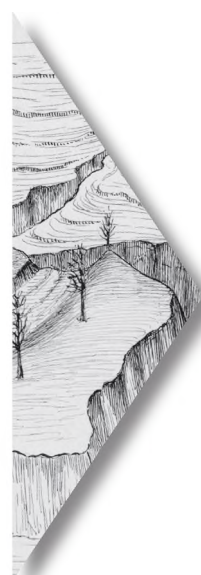
Eötvös Loránd University

237 PUBLICATIONS 2,013 CITATIONS

SEE PROFILE

Rejtőzködő vizek nyomában a Balaton térségében – Mi hiányzik a Balatonból?

Nekünk, magyaroknak, a tavakról rögtön a Balaton jut eszünkbe. Ahhoz, hogy unokáink is élvezhessék e gyönyörű tájat és a tavat, fontos, hogy megértsük a környék vizeinek működési rendjét, s a Balaton vizének eredetét. Ezért a Balaton térségi vizek felszín alatti útjának nyomába eredünk. Arra keressük a választ, hogy hol és hogyan kerülhet a víz a felszín alá, milyen utat tesz meg ott és hogyan, milyen formában kerül vissza a felszínre. Eközben eljutunk a felszín alatti víz természetes végállomásáig, a forrásokig, melyeknek fontos szerepük van a láthatatlan vizek nyomozá-
sában. Keressük a térség híres forrásainak eredetét, azt, hogy miért éppen ott és miért éppen olyan összetétellel érkezik a felszínre a kiáramló víz, és miként válhat a patakok és a Balaton vizének részévé. Utánajárunk annak is, hogy miért csak egy forrás van a Tihanyi-félszigeten, s hogy mi okozhatja a tihanyi partfalomlásokat, de bemutatjuk a félsziget vizes élőhelyeinek jelenét és felvázoljuk a jövőjét is a várható klímaváltozás tükrében.



A Tapolcza, Világos és Lesencze vizei

A Tapolcza, Világos és Lesencze patakok vízvidéke három főrészre bomlik.

Az első a tapolczai melegforrás vize. Ez a melegforrás a kis városka közepe táján, mesterségesen körülfalazott medenczében fakad fel. ... A forrás-tó 16 °C hőmérsékletű vízzel van töltve. Kétségtelen, hogy a melegforrás itt freatikus hidegvízzel gyarapodik s Lóczy utal is arra, hogy a tapolczai tavas-barlang vízszíneinek nyugalma alighanem a melegforrás tavának befoglalása és duzzasztása következtében keletkezett. A forrás ugyanis a szarmáciai mészkő-fennsík déli szélén fakad fel. A fennsíkon dolinák s egy helyen, a halápi országút mellett, a dolina fenekén, barlangnyílás is látszik. A dolinák kétségtelenül földalatti vízfolyást jeleznek s mindenesetre összefüggésben állnak a Tavas-barlanggal. Azt azonban még pontos mérésekkel senki sem döntötte el, hogy a Tavas-barlang tavának felszíne egy szinten van-e a melegforrás

tavának felszínével. Egyszerű aneroida-leolvasás szerint a két víztükör pontosan egy szinten van. De a cseppkövek híján dísztelen Tavas-barlang oldalain mutatkozó erős kimosások oly ellentétben állnak a barlangban álló langyos-vízű tó nyugalmas felszínével, hogy okvetetlenül arra kell gondolnunk, hogy egészen fiatal beavatkozásnak kellett történnie, amely a barlangban feltorlaszolta a vizet. Nem lehet ez más, mint a melegforrás medenczéjének mintegy 4—5 m magas felduzzasztása. A barlangi tó is állítólag ilyen mély. Ebben az esetben karsztos, barlangi vizek hűtik le a melegforrás vizét ilyen langyos hőmérsékletre. A csingervölgyi bányák vizével való összefüggést, amit Lóczy említ, nagyon valószínűtlenné teszi az, hogy a Tapolcza-patak árkában valami újabb, erős vízmennyiség-szaporodásnak nyoma sincs.

Sajnos, a forrás-tó vízmennyiségének és hőmérsékletének változásáról mit sem tudunk.

A melegforrás vize mindjárt a tó alatt malmot hajt, aztán nagy esésben siet le a lapályra. Mielőtt elérné a Szt-György-hegy



▶
A tapolczai
melegtó



Barlangnyílás
Tapolcza
mellett, a
„Kincségödör”
nevű dolina
fenekén

lábát, még néhány árkot vesz fel. Jobboldalán felveszi azt a Séd nevezetű patakot, amelyik a Haláp- és a Vendégi-hegy közül jön. Ez a patak a dolomiton ered, de hamar reájut a szarmáczi alacsony fennsíkra s ebbe kanyónszerű völgyet vágott bele. A Haláp alatt mesterségesen halastóvá volt felduzzasztva, de ennek a helyén most csak vizenyős rét van. Duzzasztógátja még elég épségben megvan a Halastói puszta előtt. Amint a két bazalttal, illetőleg tufával védett meza közé ér az árok, mindjárt apró forrásokat vesz fel a pannóniai rétegekből, aztán nagyobbakat a mészkőből s elég jól megerősödve jut ki a mészkő fennsík pe-

remére. Ott a Viszlói-patak törmelékkúpja keletre kitéríti s belefut a Tapolcza-patakba.

Baloldalról ellenőrizhetetlen réti fakadékok jutnak bele, mind a mészkő lábánál kerülve napvilágra.

A mészkő-plató típusosan karsztos, dolinás terület. Haláp község közepén áll egy pilléres boltozattal fedett forrás-kút. Ennek vize dél felé folyik le, de hamar elvész a mészkő-felvidék egyik mélyedésében, ahol réteket öntöznek vele. Mivel az itt eltűnő víz valószínűleg a sáskai árokban bukkanik újra elő, ezt a részt az Eger vizéhez kellett csatolnom.

Részlet Cholnoky Jenő A Balaton hidrografiája című könyvéből

A „láthatatlan vizek” utáni nyomozásban munkánkat a felszín alatti vizek tudománya, a hidrogeológia segíti, melynek célja az, hogy minél pontosabban megismerje a víz felszín alatti, szemünk elől elzárt útját, az út során bekövetkező változásokat, melyek hatással vannak a víz összetételére, hőmérsékletére. Kutatja, hogy az újból a felszínre került víz miként befolyásolja a talajviszonyokat, növényzetet és a felszín jellegét és jelenségeit, melyek az áramló felszín alatti vízhez köthetők.

Balaton a környező területek ölelésében

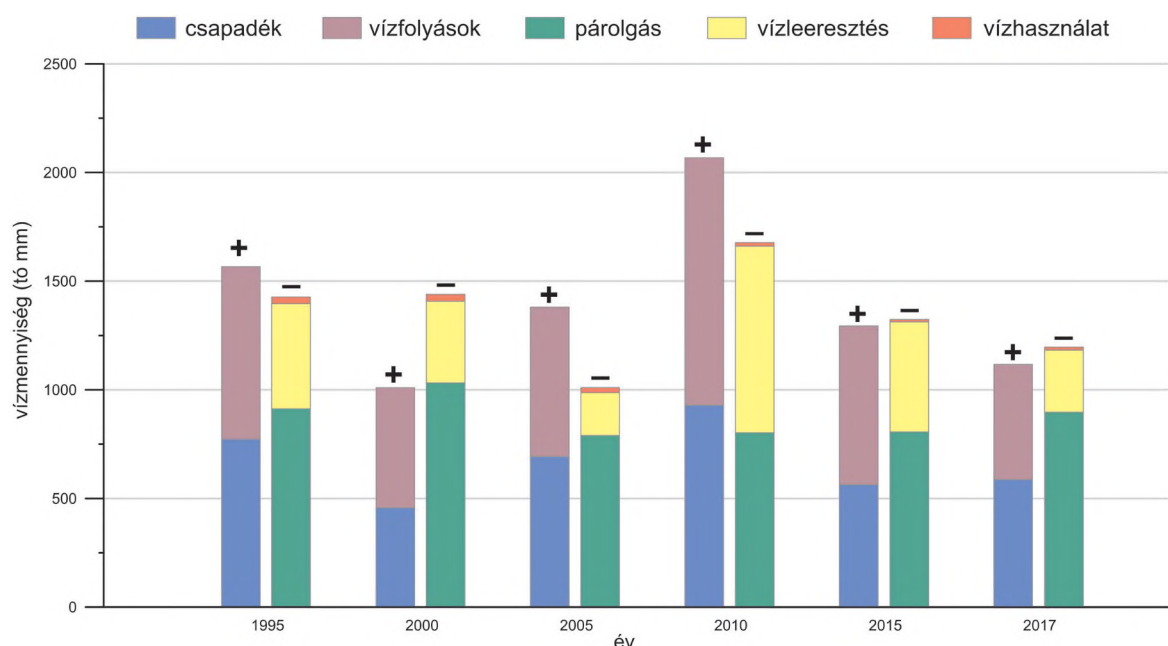
A Balaton Magyarország turisták által leglátogatottabb területe, Budapest mellett. Az ide érkező emberek nemcsak a földtani, vízföldtani, természeti szépséget és sokszínűséget élvezhetik, hanem a környékén található termál- és gyógyfürdők kényeztetését is (például Hévíz, Kéhidakustány, Marcali, Zalakaros). A turisztikai főszezon idején a Balaton térségi települések lélekszáma megsokszorozódik, az ivóvízellátásnak ki kell elégítenie a megnövekedett vízigényeket. A vízkivételeknek azonban összhangban kell

lennie az ökológiai vízszükséglettel, a Balaton fennmaradása érdekében. Ehhez meg kell érteni a Balaton vízutánpótlódását, fel kell tárnai a megfelelő mennyiségű és minőségű ivóvízkészleteket, valamint a turisztikai célokra használható termálvizeket. Vajon mi köze van mindehhez a felszín alatti vizeknek? Több, mint gondolnánk!

Mi hiányzik a Balatonból?

Ahhoz, hogy a Balaton vizét a klímaváltozás és az emberi beavatkozások ellenére is élvezni tudjuk és jó környezeti állapotban tudhassuk, nélkülözhetetlen a tó fenntartható kezelése. Ennek eléréséhez első lépésként szükséges a tó vízforgalmának értékelése, azaz a tómedencébe be- és kilépő vízmennyiség számszerűsítése, az úgynevezett vízmérlegegyenlet felállítása a vízháztartási elemek méréseken alapuló meghatározásával. Ennek függvényében állítható a Sió-csatorna zsilipje, melyen keresztül a Balaton medrében található vízmennyiség szabályozható.

A Balaton vízmérlegének pontos értékelését évről évre a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság adja ki. Ez tartalmazza a csapadék,



►
A Balaton
vízmérlegének
komponensei

a párolgás, a felszíni belépő vízfolyások, a víz-leeresztés (Sió), a közvetlen vízhasználat és a természetes vízkészletváltozás (az adott évben a fenti összetevők hatására keletkező víztöbblet vagy -hiány) értékeit az 1992–2017 időszak-ra vonatkozóan. A rendelkezésre álló jelentések közül 6 kiválasztott év (1995, 2000, 2005, 2010, 2015 és 2017) vízháztartási elemeit és azok mennyiségét egy ábrán foglaltuk össze 10 mm egységekben, ahol 1 10 mm 600 000 m³ vízmennyiségnek feleltethető meg.

A jelentéseket tanulmányozva rögtön szembetűnik, hogy nem számolnak felszín alatti víz megcsapolódásával a tó vízkészletében. A gyakorlatban számos esetben kihagyják ezt a komponenszt a vízmérlegből, mivel ez a legnehezebben mérhető vízháztartási komponens és sokszor nehéz szétválasztani a többi vízháztartási elem meghatározási módszereinek hibájától. A vízmérleg felállítása során kapott hibát szétszítják, így egy esetleges további komponens – ebben az esetben a felszín alatti víz – lehetőségével nem foglalkoznak. Annak ellenére, hogy a Balatonban megcsapolódó felszín alatti vizekről már rég beszámolt id. Lóczy Lajos és Cholnoky Jenő is, majd későbbi kutatási eredmények is rávilágítottak erre az elfeledett komponensre. Szádeczky-Kardoss Elemér szerint az állandó part menti vízáramlásnak köszönhetően a Balaton pedig nem más, mint a Bakony–Balaton-felvidék vizének felszíni felhalmozódása.

Ezért ennek a feltételezett, vizsgált, majd elfeledett és leginkább vitatott vízháztartási elemnek a nyomába indulunk. A címben megfogalmazott kérdésre – Mi hiányzik a Balatonból? – legalább már tudjuk a választ, azonban ez rögtön felveti azt a kérdéskört, hogy honnan származik ez a felszín alatti víz.

A balatoni termáلتurizmus

A balatoni régió termáلتurizmusának fejlesztése szempontjából egyértelmű lehetőséget kínálnak a Somogyi-dombság területén található termálvizek. Az itt tapasztalható hőfelhalmozódásban szerepe van a felszínt borító, jól szigetelő kőzeteknek és az összetartó vízáramlásoknak, melyek a hő szállításában játszanak szerepet. Ugyanakkor, mivel a víz ide a somogyi dombok és részben a Bakony felől a Balaton alatt érkezik, fontos az alapos mérlegelés annak érdekében, hogy a jövőbeni termálvízet hasznosító rendszerek működése ne befolyásolja a Balaton vízháztartását és a környező vízkutak termelését.

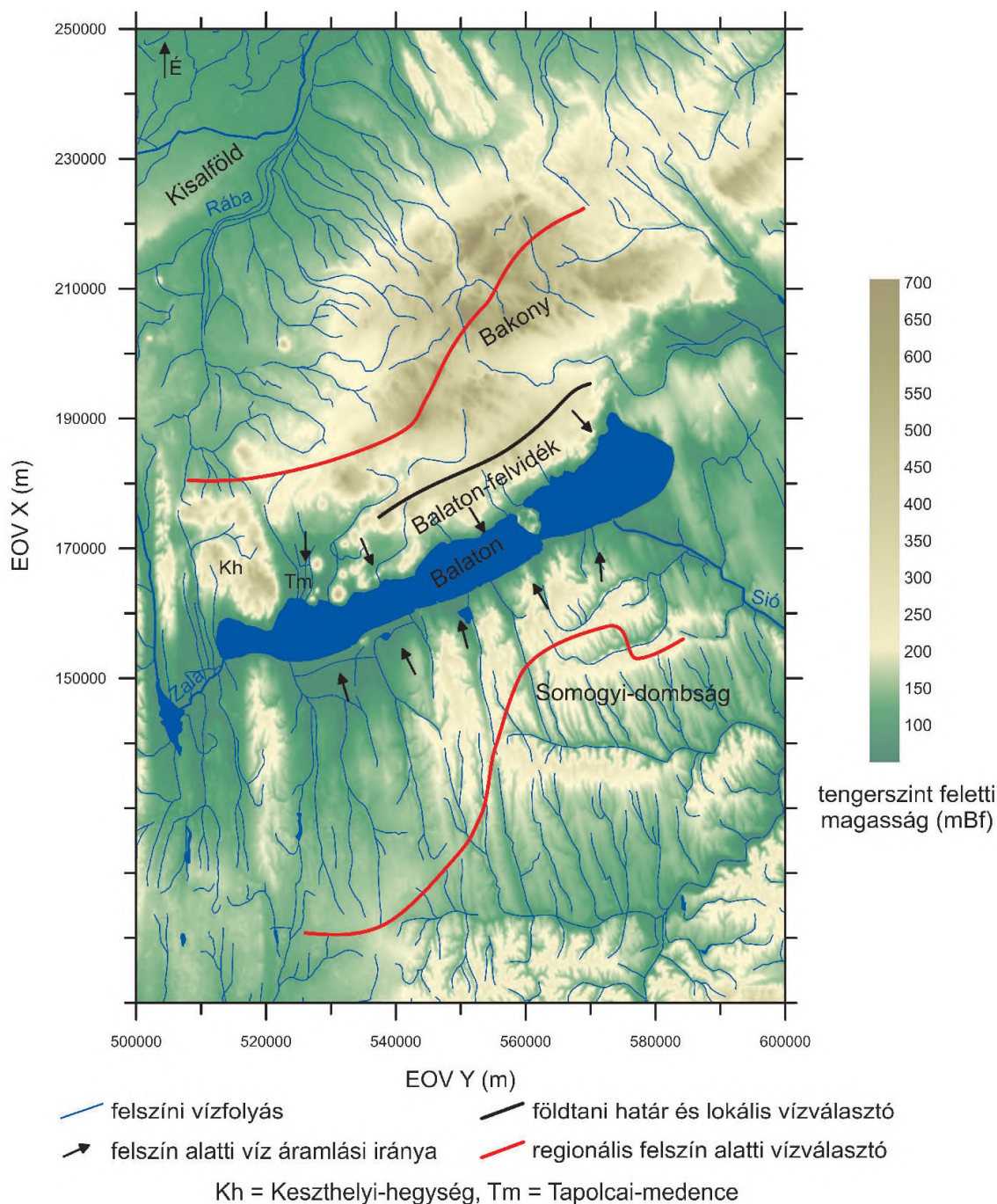
A Balaton közvetlen térségében kisebb mértékű (20–40 °C) hőfelhalmozódás tapasztalható, mely a Balatoni rivierán megcsapolódó langyos források hőmérsékletében (~15–20 °C) is érezteti hatását. Itt sekélygeotermikus-energia felhasználására, hőszivattyús rendszerek kiépítésére van lehetőség. A Balaton-felvidéken tapasztalható magas hőmérsékletű vizek a metamorf, rossz tárolóképességű kőzetekben jelentkeznek, melyekből a víz nem termelhető ki.

Honnan érkezik a Balaton vize?

A vízháztartási komponensek értékeléséből tudjuk, hogy a belépő vízmennyiség a csapadékból és a felszíni befolyókból származik, de honnan erednek a felszín alatti vizek, hol keressük e vizek beszivárgási helyét? A felszín alatti vizek áramlását a felszín alatti víztükrökben jelentkező magasságkülönbségek hajtják, azaz a magasabb helyzetű vízszintektől az alacsonyabbak felé történik az áramlás a talpunc alatt. Hol található e magasabb helyzetű víztükrökkel jellemezhető területek? A hidrogeológiai gyakorlatban azzal az általános feltételezéssel élünk, hogy a felszín alatti víztükrök lefutása tompítottan követi a domborzatot, azaz a hegyek, dombok alatt magasabb helyzetű a víztükrök, míg a síkságok esetén alacsonyabban húzódik. Ezek szerint azokat a helyeket kell keresnünk a Balaton térségében, melyek környezetükhöz képest magasabban helyezkednek el, és így várhatóan a felszín alatti víztükrök is magasabb helyzetű.

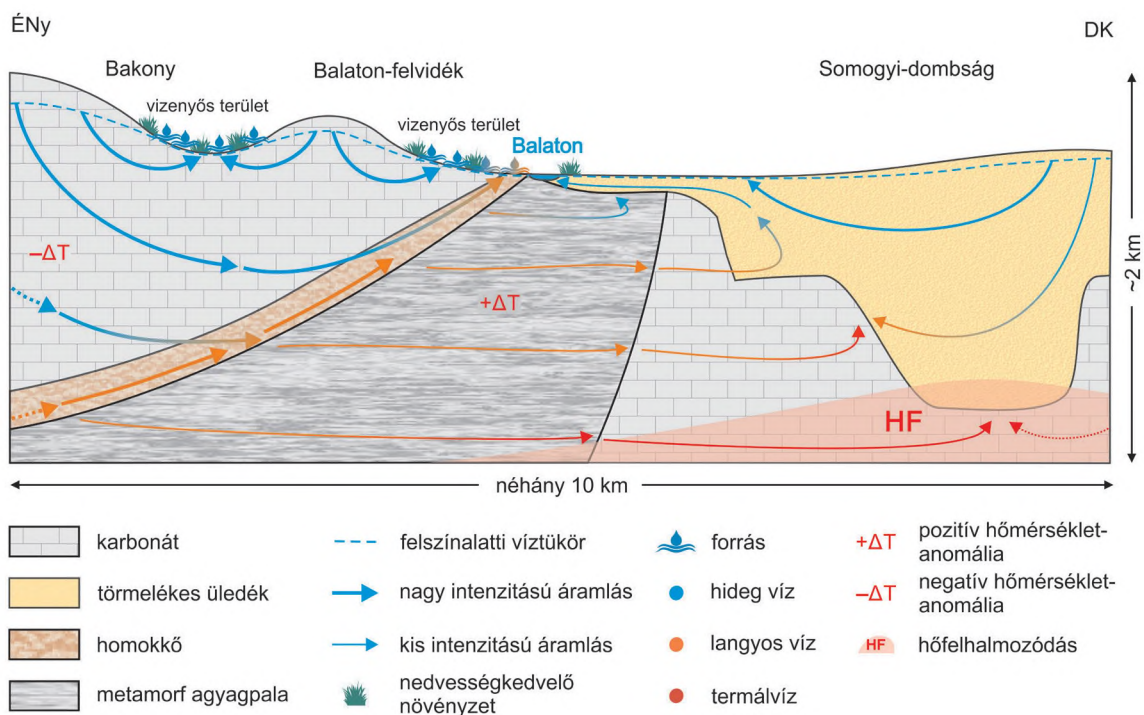
A Balaton környezetének vízföldtani adatait összegyűjtve kirajzolhatók e magaslatok.

▶ A Balaton környezetében húzódó felszín alatti vízvásztók, azaz a víztükör-magasslatok



Az ábrán látható, feketével jelölt lokális víztükördombot sokáig a Bakony és a Balaton-felvidék vízföldtani határának tekintették az eltérő földtani helyzet és felépítés miatt. Azonban az itt magasabban húzódó víztükör csak helyi vízvásztóként szolgál, azaz a felszín alatti víz innen áramlik az alacsonyabb fekvésű helyek, így észak (Bakony) és dél (Balaton) felé is. A

térség fő felszín alatti vízvásztói azonban a Bakony gerincén és a Somogyi-dombság területén találhatók, s így a közrefogott térrészben a felszín alatti víz – de uralkodóan a felszíni is – a Balaton medencéje felé szivárog. Ezeken a magas fekvésű helyeken rendelkeznek a vizek a legnagyobb energiával, s a föld alatti vizek is úgy mozognak, hogy közben az energiamini-



A Balaton térségében zajló felszín alatti vízáramlások, a kapcsolódó folyamatok és jelenségek elvi vázlata

zum elérésére törekednek, melyet a régióban a Balaton felé történő áramlással érnek el.

Ezek alapján a felszín alatt a tó felé É–ÉNy és D–DK felől zajlik vízáramlás. Ennek megfelelően új felismerésként a vízáramlási mintázat vizsgálatához, a Balaton hidraulikai helyzetének értékeléséhez és a felszín alól érkező víz mennyiségének meghatározásához az északi és déli részterületeket együtt kell kezelni. A két oldal között különbség ismerhető fel a vizeket mozgató domborzati hajtóerők tekintetében. Ennek oka, hogy a Bakonyban ~500 m Bf, a Somogyi-dombságon ~170 m Bf a víztükrő maximális szintje. Különbség tapasztalható az áramlási közeget tekintve is. A Somogyi-dombság felől ugyanis döntően törmelékes üledékes kőzetekben történik a vízmozgás, míg a Bakony–Balaton-felvidéken mészköveken és dolomitokon át szivárog a felszín alatti víz. A kettő között pedig vastag metamorf agyagpala lassítja a vizek áramlását.

A két utánpótlódási terület földtani felépítésében és a hajtóerő tekintetében megmutatkozó különbség a térségben aszimmetrikus áramké-

pet eredményez. A Bakony–Balaton-felvidéken beszivárgó víz egy része a Balaton északi partján kerül újra felszínre, másik része a tó alatt átáramlik. Ez a komponens lelassul a vízfogó képződményeken történő átáramlás során, majd a Somogyi-dombság felől áramló vizekkel összehámozódik. A szembeáramló vizek az összeáramlás mentén keverednek, majd ezt követően jutnak a Balaton mederüledékén át a tóba.

A felszín alatti, s így láthatatlan folyamatok felszíni lenyomatai a források, a vizenyős, mocsaras területek, a nedvességekedvelő növényzet és különböző felszíni jelenségek. Ezért ezeket vizsgálva a talpuk alatt zajló áramlásokról kaphatunk információt, és ezek látszólag elszórt és szabálytalan elhelyezkedése is rögtön magyarázható a felszín alatti vízáramlások ismeretében.

Források, a felszín alatti vizek áramlásának végállomásai

A források a modern hidrogeológia alapfogalata szerint azért fontosak, mert az áramlási rendszerek természetes végpontjai és paraméterei

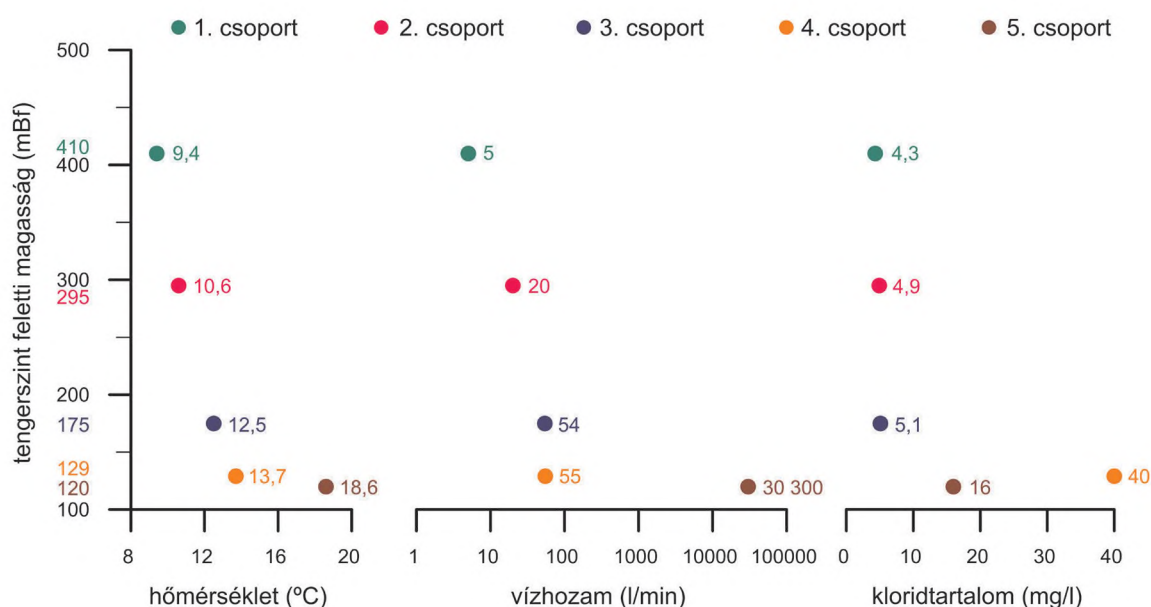
(fizikai tulajdonságaik, kémiai összetételük) tükrözik a föld alatt megtett utat. Ezért a forrásokra mint a felszín alatti vizek föld alatti útjáról árulkodó feltárási helyekre tekintünk. Segítségükkel arra a kérdésre keresünk választ, hogy a Dunántúli-középhegység délnyugati részén fakadó források fakadási helyei, hozamuk, hőmérsékletük és kémiai összetételük különbözőségei segítenek-e minket abban, hogy az azokat tápláló áramlási rendszereket jobban megismerjük. Az Országos Forráskataszter 2002-ig dokumentálja a források adatait. Ez alapján a térségben 557 db forrás fakad. A legfrissebb felmérés eredményei szerint azonban számuk meghaladhatja a 7–800-at is. Az adatelemzési vizsgálatba azonban jóval kevesebb forrás vonható be egyrészt az adathiány, másrészt az egy ideig a térségben zajló, intenzív, bányászati célú vízkitermelés miatt. Ezért csak az azt megelőző (1960 előtti) adatok használhatók a természetes állapotok leírására.

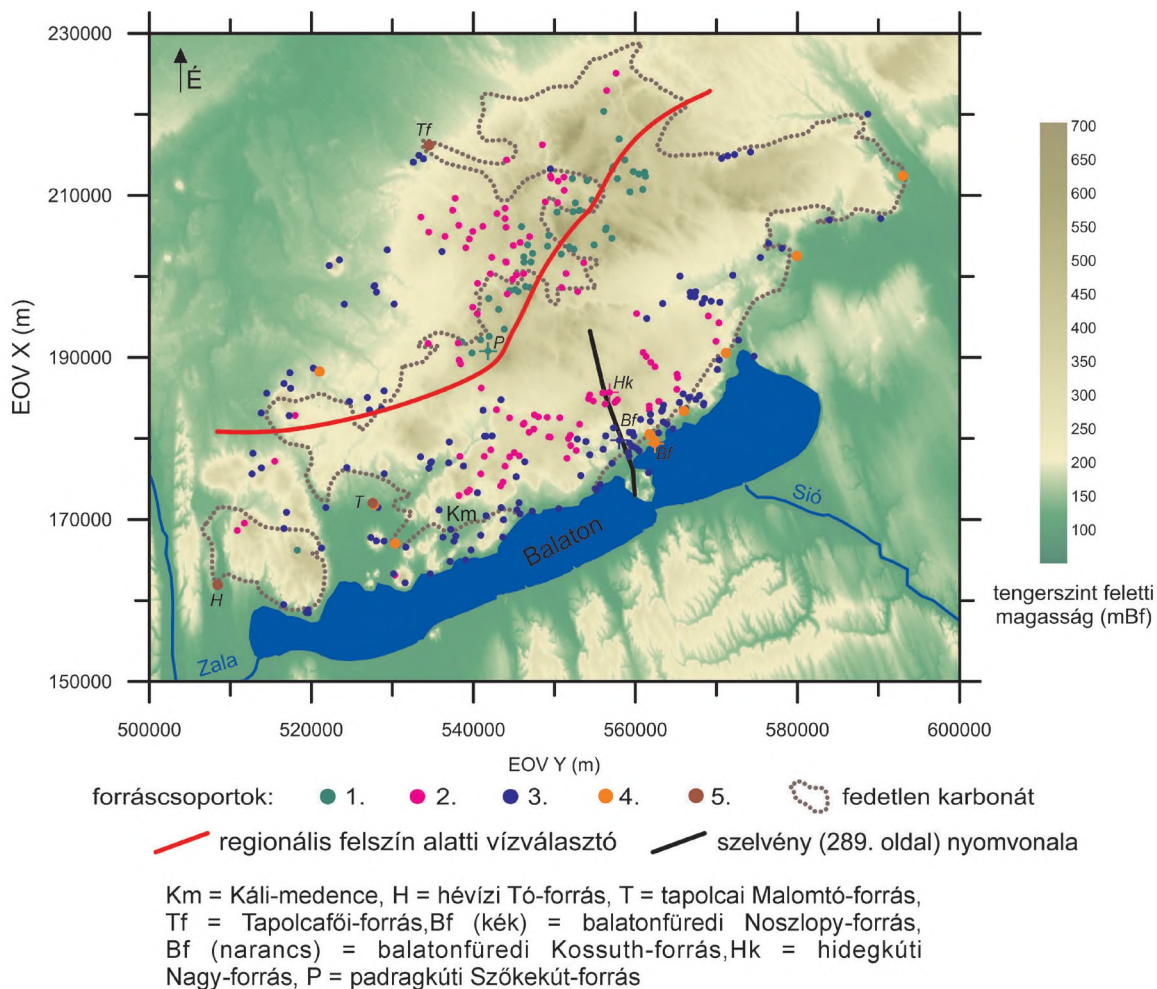
A források tehát fakadási magasság, hőmérséklet, hozam és kloridtartalom (természetes nyomjelző) adataik alapján 5 különböző csoportot alkotnak. A csoport minden egyes forrása

nem került ábrázolásra, csak a paraméterek mediánját (a sorba rendezett adatsor középső elemét) szemléltető pont. A csoportok elkülönülésének legmeghatározóbb tényezője a forrásszáj tengerszint feletti magassága. A hőmérsékletadatok egyenletes növekedést mutatnak a tengerszint feletti magasság csökkenésével, ahogy a hozam és a kloridtartalom is: a magasabb térszíneken fakadó források (1–3. csoport) kisebb hozamúak, hidegebbek és kevesebb kloridot tartalmaznak, mint az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokon megjelenő források (4–5. csoport).

A legkisebb hozamú, legalacsonyabb hőmérsékletű és kloridtartalmú források (1. csoport) a Bakony legmagasabb fedetlen karsztos részein fakadnak. A második csoport mindegyik paramétere enyhe növekedést mutat – kivéve a fakadási szintet –, ezek az alacsonyabb fekvésű domboldalakon jelennek meg. A harmadik csoport felszínre jutása a hegylábak közelében és kisebb medencékben figyelhető meg. A negyedik és ötödik csoport melegebb, nagyobb hozamú és kloridtartalmú forrásai a karbonátos vízádók és a porózus törmelékes üledékes

►
A Dunántúli-
középhegység
DNy-i részén
fakadó forrás-
csoportok
paramétereinek
mediánértékei





A forráscsoportok területi elhelyezkedése

fedőképződmények határán fakadnak. Ezekben a fedő kőzeteken átszivárgó vizekkel való keveredés okozhatja a megemelkedett kloridtartalmat. A többi forráscsoport alacsony kloridtartalma azzal magyarázható, hogy a nyílt karszton beszivárgó víz felszín alatti útja során is túlnyomórészt mészkövön és dolomiton halad át, és ez nem teszi lehetővé a vizek kloridban történő dúsulását.

A Balaton északi utánptótlódási területén a regionális felszín alatti vízválasztó a Bakony legmagasabb pontjain húzódik, az 1. forráscsoport tagjai e mentén helyezkednek el, hol a vízválasztó északi, hol a déli oldalán. E források közül számos időszakos – a terepen erre a kiszáradt forrásszájak utalnak –, vagy kis hozamú, nem pontszerű, diffúz, „pangó” megcsapolódás. Így ezek gyakor-

latilag nem járulnak hozzá a Balaton vízutánptótlódásához. Ilyen forrás például a Szőkekút Padragkút határában, az erdőben kanyargó autótút egyik hajtókanyarjában, a turista útvonal mentén.



A Szőkekút-forrás Padragkút határában

▶
*A hidegkúti
Nagy-forrás
túlfolyó csövéből
induló
Hidegkúti-séd*



▶
*A balatonfüredi
Noszlopi-forrás*

A Balaton-felvidék híres a forrásairól. A vizsgálatba bevont források fele erre a területre esik, az elemzés alapján döntően a 2., 3. és néhány a 4. csoportba sorolható. Az itt megcsapolódó, jó minőségű víz ivóvízbázisul is szolgál a helyi lakosoknak (például Balatonakali, Balatonfüred, Hidegkút, Pécsely esetében). A 2. csoportba tartozó hidegkúti Nagy-forrás vizét a helyi vízmű használítja, a túlfolyó hideg vízből pedig a Hidegkúti-séd indul dél felé, mely a Szőlősi-sédbe

▶
*A balatonfüredi
Kossuth-forrás
kifolyó vize a
pavilon alatt.
Látható a kis
medence vöröses
elszínződése
a vastartalom
miatt*



torkollva egészen a Balatonig folyik. A forrás a faluba észak felől vezető út mellett, egy völgyben fakad. Szintén vízfolyást táplál a 3. csoport tagjaként a balatonfüredi Noszlopi-forrás. Az előző forrásokhoz képest ennek már „melegebb” a vize, 12 °C-os hőmérséklettel fakad a Szőlősi-séd mentén Balatonfüred északnyugati határában. A forráshoz túraútvonal vezet, így könnyedén megtalálható a völgy alján. A 4. csoportba so-



rolt források között találunk egészen híreset is, úgymint a balatonfüredi Gyógy téren a pavilon alatt csordogáló Kossuth-forrást. Az itt kifolyó víz régóta használatos gyógyvízként ivókúrákra, a szomszédos Szívkórház betegei is előszeretettel fogyasztják. A víz ivása közben nem csak kellemes hőmérséklete (14 °C) érződik, hanem a magas vas- és CO₂-tartalma is. Azonban nem csak ez az egyetlen szénsavas forrás fakad Füreden: a helyiek előszeretettel fogyasztják a Berzsényi-forrás és a Polányi-kút vizét. De a Balaton-felvidék délnyugati részén fekvő Káli-medence is híres szénsavas vizeiről. Itt az ásványvíz minőségű vizek termelése és hasznosítása is több évtizede folyik (például Theodora és Kékkúti).

Felmerül a kérdés, hogy mi okozhatja az egyes források és csoportok különbözőségét, a széndioxid forrásokban való megjelenését. Miért ott és miért olyan formában fakadnak? A források a felszín alatti vízáramlások felszíni lenyomatai,

különbözőségük pedig azt mutatja, hogy eltérő vízföldtani helyzetben vannak, a megcsapolódó vizek pedig más-más felszín alatti utat jártak be. Így a választ a szemünk előtt elzárt felszín alatti vízáramlások működésében kell keresni.

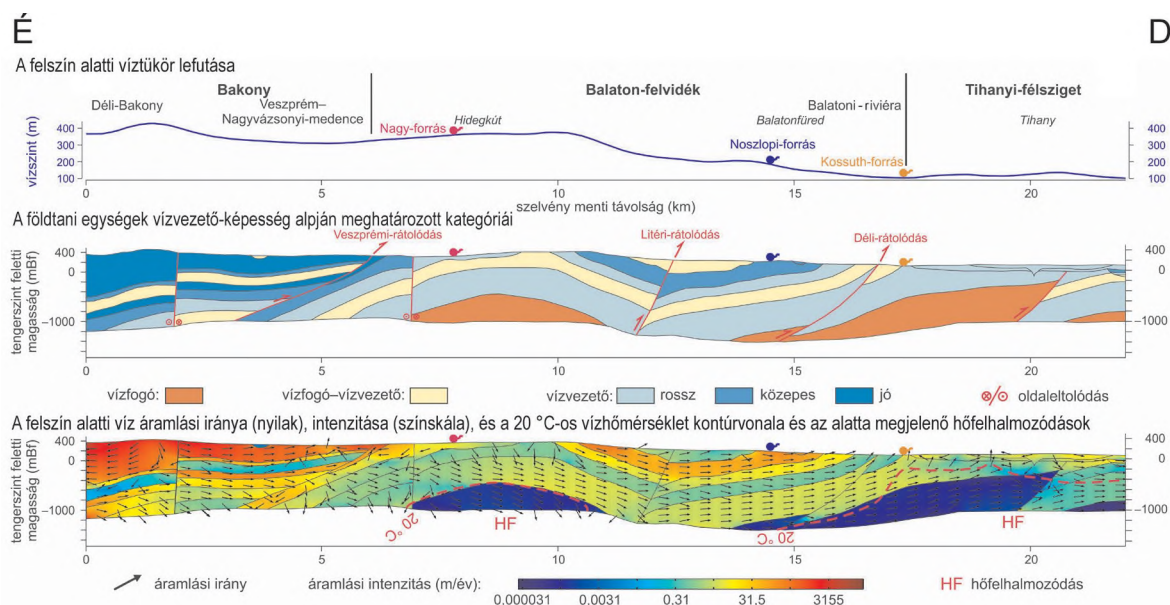
A vizek láthatatlan útja a Bakony, a Balaton-felvidék és a Balaton között

Korábban a Balaton-felvidék és a Bakony felszín alatti vizeit függetlennek tekintették egymástól. Mi több, függőlegesen „karsztvízemeleteket” is elkülönítettek, s úgy gondolták, hogy ezeket „vízzáró” egységek választják el egymástól. Ezzel szemben, a modern hidrogeológiai gondolkodás szerint az egyes részterületek és a különböző vízvezető képességű kőzetek között kapcsolat van, melyet a különböző léptékű, kiterjedésű és intenzitású vízáramlások alakítanak ki.

Ahogy már láttuk, a felszín alatti vízmozgás a Dunántúli-középhegység délnyugati részén a Bakony magas fekvésű régiói felől az alacsonyabb területek felé történik. E vízmozgás során nem mindegy, hogy a kőzetek milyen mértékben segítik vagy akadályozzák a víz haladását.

A Bakony–Balaton-felvidék fő tömegét alkotó triász dolomit és mészkő jó, kiváló vízvezető képességű, de a Balaton északi partján a kevésbé jó vízvezető permiai homokkő is felszíni és felszínközeli helyzetbe kerül, míg alattuk a vizet nem, vagy alig vezető, úgynevezett vízfogó metamorf képződmények is megtalálhatók (lásd a 2. fejezetet). Ez utóbbiak tárolnak ugyan valamennyi vizet, de gazdaságos vízkitermelésre alkalmatlanok. (A „vízzáró” kőzet kifejezést a modern hidrogeológia elvetette, ugyanis felismerték, hogy minden kőzet valamilyen mértékben átjárható, főleg hosszabb, évmilliókban mérhető időskálán.) A különböző vízvezető képességű egységek elhelyezkedését és geometriáját a szerkezeti mozgások alakították. Az egyik ilyen jelentős szerkezeti elem a Veszprémi-rátolódás, mely a Bakony és a Balaton-felvidék földtani határát képezi, a Balaton-felvidéken kialakult helyi vízválasztó pedig a Litéri-rátolódás eredménye.

Felmerül a kérdés, hogy ezek a vízföldtani egységek és szerkezetek hogyan befolyásolják, alakítják a Bakony felől érkező vizek átáramlását a Balaton-felvidék és a Balaton felé, s így a források



*Vízföldtani
szelvénytörzset a
Déli-Bakonytól a
Balaton-
felvidékre és a
Tihanyi-
félszigeten át a
Balatonig (föld-
tani alap: Budai
et al. 1999)*

fakadását. Erre az előző oldalon látható szelvény mentén végzett vízáramlás modellezése adott választ, melynek köszönhetően kirajzolhatók, felfedhetők a felszín alatt zajló vízáramlás pályái. Ennek alapján megállapítható, hogy a csapadékvíz felszín alá történő beszivárgása döntően a Déli-Bakony és a Hidegkút környezetében kialakult helyi vízvásztó mentén történik, s e helyekről a víz észak és dél felé áramlik tovább. A felszín alatti víz aztán források és vízfolyások formájában kerül a felszínre: a Veszprém–Nagyvázsonyi-medencében (például Eger-víz és hidegkúti Nagy-forrás) és Hidegkúttól délre (például balatonfüredi Noszlopi-forrás). Ugyanakkor a mélyebb régiókba az Északi- és Déli-Bakony felől felszín alatti vizek érkeznek, ezek a Balatoni riviéra, a Tihanyi-félsziget és a Balaton felé áramlanak, melyek kiáramlási területek, azaz a vizek felszínre jutási helyei.

Arra, hogy milyen gyorsan történik a felszín alatti víz áramlása, a szelvény színeiből lehet következtetni. A megadott értékek nem a tényleges áramlási sebességet mutatják, hanem egy adott térfogatnyi vízrészecske átlagos terjedését. A Déli-Bakony és a Veszprémi-rátolódás között a felszíni–felszínközeli, 200–800 m vastag triász karbonátokban a legintenzívebb a vízmozgás (a szelvény narancssárga és piros színű zónái). Hasonlóképpen a Litéri-rátolódás környezetében is egy ~500 m vastag karbonátösszlet tesz lehetővé jelentős vízáramlást. Ezen egységek lehetnek alkalmasak ivóvíz-kitermelés céljára, hiszen ezekben biztosított a vizek csapadékból történő pótlódása és a kőzetek jó vízvezető képessége. Ezek alatt, a Balatoni riviéra felé zajló vízáramlás intenzitása nagyságrendekkel kisebb (ez a szelvényen kék színnel jelenik meg). Az itt megcsapolódó víz nemcsak a helyi vízvásztó felől érkezik, hanem a Bakony magasabb területein beszivárgó vizek is

újából felszínre kerülnek. Ez a folyamatos, kiegyenlített, lassabb, mélyebb, így melegebb áramlás eredményezi a források stabil hozamát és a megemelkedett hőmérsékletüket (például balatonfüredi Kossuth-forrás 14 l/min, 15 °C).

A Bakony és a Balaton-felvidék karbonátos kőzeteibe beszivárgó és intenzíven áramló csapadékvíz (~8–11 °C) lehűti a környezetét és nem tud elég mélyre hatolni, így nem tud kellőképpen felmelegedni. Azonban a mélyebb vízfogó egységeken lassan keresztüláramló víz képes felmelegedni, és enyhe hőfelhalmozódást (20–45 °C) létrehozni egyrészt Hidegkút, másrészt a Balatoni riviéra – Tihanyi-félsziget – Balaton alatt. Utóbbi érzeteti hatását a Balatonfürednél megcsapolódó langyos források hőmérsékletében (~15–20 °C).

A vizek felszín alatt bejárt útjának ismerete alapján a források különbözősége és a földtani adottságok hatása értékelhető. Az első három csoporthoz tartozó forrásokat feltehetően alacsonyabb rendű, lokális, rövid, intenzív, hideg áramlási rendszerek táplálják (padragkúti Szőke-kút, hidegkúti Nagy-forrás, balatonfüredi Noszlopi-forrás), míg a másik két csoport forrásai magasabb rendű, intermedier vagy regionális, hosszú, lassú, langyos–meleg áramlási rendszerekhez kapcsolhatók (balatonfüredi Kossuth-forrás, valamint hévízi Tó-forrás, tapolcai Malomtó-forrás, Tapolcafüi-forrás).

További ivóvíz-termelő kutatok kijelölése során érdemes figyelembe venni a Bakonyból érkező vizeket is, melyek egy része megcsapolódik a Balatoni riviérán és a Balatonban, másik része a Balaton alatt a tótól délre eső területek felé áramlik. A kellő mélységbe (~400 mBf), triász vízadókba, szerkezeti elemek közelébe fúrt kút stabil vízhozammal, kis hatással lenne az ökológiai vízigényekre, hiszen azt a vizet termelné ki, amelyik a természetes többletként

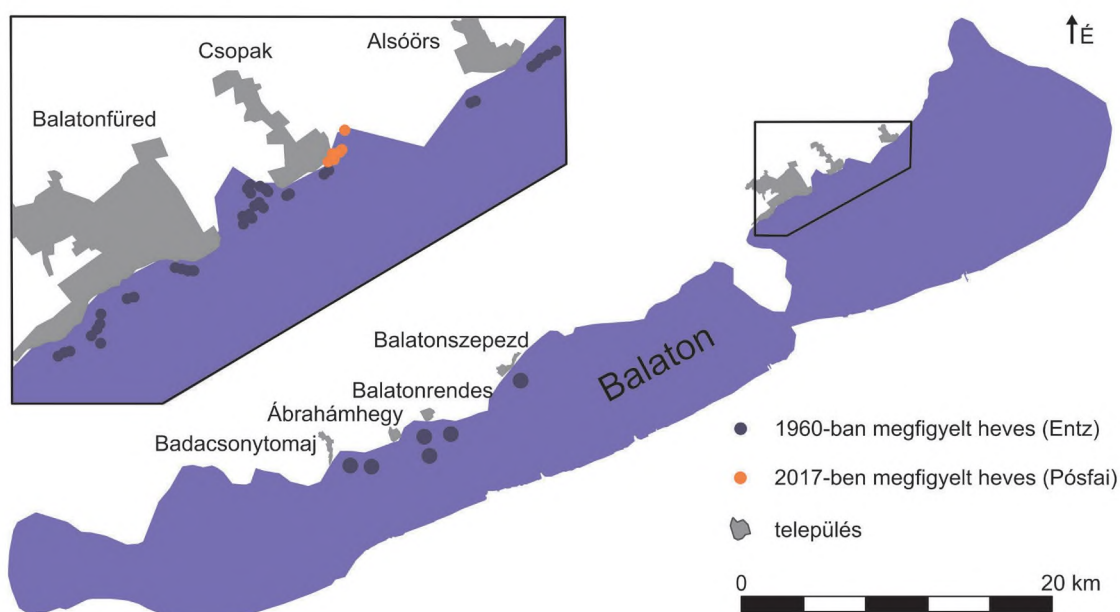
továbbáramlik. Mindezek példázzák, hogy az áramlási rendszerek megismerése a terület vízgazdálkodási és természetvédelmi fenntartható kezelését nagymértékben elősegítheti.

Hogyan kerül a felszín alatti víz a Balatonba?

A Balaton felszín alatti vizei egyrészt a Somogyi-dombság, másrészt a Bakony–Balaton-felvidék felől érkeznek a tóba. Utóbbi sokkal nagyobb szerepet tölthet be a tó utánpótlásában: a kialakult aszimmetrikus áramkép miatt intenzívebben zajlik a felszín alatti vízáramlás a Balaton északi partján. Már csak azt a kérdést kell megválaszolni, hogy miként kerül a felszín alatti víz a Balaton medencéjébe.

A felszíni és felszín alatti vizek kapcsolatának irodalmából ismeretes, hogy a tópartok mentén főként oldalirányú áramlás és intenzív felszín alatti víz megcsapolódás történik. A Balaton körül létesített kutak vízszintjei és a földtani–vízföldtani felépítés alapján ez a parti sávban felszín alól érkező vízmennyiség 7–8 tó mm-nek adódott. Továbbá a felszín alatti vízáramlás

modellezési eredményei szerint a teljes tófenéken keresztül, nagyon lassan, kis hozammal szivárog fel a felszín alatti víz. Azonban, ha figyelembe vesszük a Balaton területét (592 km²), akkor rögtön számottevővé válhat az érkező vízmennyiség. Ezt a mederüledéken át felszivárgó felszín alatti vízkomponenst Erdélyi Mihály további 7–8 tó mm-re becsülte. A Balaton vizének felszín alól származó komponensét már Lóczy is feltételezte „fenékforrások” formájában. Ehhez köthetők a hevesek, melyek jégmentes foltok a befagyott víztükrön, ahol víz- és gázfeláramlás (döntően CO₂) történik az északi part mentén. Ezeket már Cholnoky Jenő is megfigyelte; Entz Béla, a tó hidrobiológus kutatója térképezte fel az 1950-es végén. Rádai Ödön az 1980-as években mintavevő berendezésével meg is mintázta a feláramlásokat. A Balatonban megcsapolódó felszín alatti víz mennyiségének közvetlen meghatározása az utóbbi években kifejlesztett és széles körben alkalmazott felszivárgásmérővel lehetséges: a mederüledékbe helyezett „hordók” ismert keresztmetszetén egységnyi idő alatt szivárgó felszín alatti víz mérhető.



A befagyott Balatonon megfigyelt jégmentes foltok, azaz a hevesek területi elhelyezkedése



▲
A csopaki
öbölben
megfigyelt
hevesek.
A helyiek ezeket
faágakkal rakják
körbe figyelmez-
tetésül az arra
korcsolyázóknak

E jelenségeket manapság is megfigyelhetjük a befagyott tavon, ahogyan azt Pósfai Mihály 2017 januári észleléseiből tudjuk. Érdekeségük, hogy ezeket kizárólag az északi part mentén lehet megfigyelni, a déli oldalon nem látni ilyen jelenségeket. Ennek magyarázata a tó alatti eltérő képződményekben kereshető, ahol a felszín alól érkező víz különböző közeteken és szerkezetek mentén áramlik. A vulkáni utóműködéshez köthető feltörő CO_2 -gáz pedig a felszín alatti víz áramlási pályáit követve jut a Balatonba (valamint a Balaton-felvidéki forrásokba), ahol buborékok formájában láthatjuk. A közettani jellegnek mindenképpen szerepe lehet ebben, ugyanis a vízben oldott CO_2 a karbonátos kőzettel reakcióba lép és felhasználódik, de a törmelékes üledékes képződményekkel nem, ezért csak utóbbinál várható a gáz megmaradása és a vízzel együtt a felszínre jutása. Ugyanígy valószínűsíthető, hogy a felszín alatti vízáramlás alakítja a tómeder üledékeiben a szeizmikus mérésekkel kitérképezett metán térbeli eloszlását is (lásd 12. fejezet). Megfigyelhető, hogy az északi part felé haladva a gázfront egyre sekélyebb helyzetbe kerül, mely a partok felé egyre intenzívebbé váló felszín alatti vízáramlással magyarázható.

De nemcsak a tófenéken keresztül juthat a Balatonba felszín alatti víz, hanem a felszíni befolyó patakokkal, a sédekkel is érkezik (például a korábban említett Hidegkúti-séd). A Balaton-felvidék felszíni vízfolyásai döntően forrásokból erednek, így felszín alatti víz táplálja ezeket, ezért voltaképp a tóba beömlő vizet is tekinthetjük részben felszín alatti eredetűnek. A 2017-es évben 530 tó mm volt a teljes felszíni hozzáfolyás mértéke. Ennek megközelítőleg fele a Zalán, harmada a déli parton befolyókkal érkezik és ötöde az északi part vízgyűjtőin folyik be. Azzal a feltételezéssel élve nemzetközi analógiák alapján, hogy a befolyókkal érkező víz legalább fele felszín alatti eredetű víz (hiszen csapadékvizet is hoznak magukkal), úgy a teljes felszíni hozzáfolyásból további jelentős vízmennyiséget a felszín alatti víz javára számolhatunk el.

Ha megnézzük az 1992–2017-es időszak pozitív vízháztartási elemeinek átlagértékeit, akkor a csapadék 602, a hozzáfolyás 657, a fentiek alapján számszerűsített, de becsült felszín alatti víz ~345 tó mm (partok mentén 7–8, mederüledéken át 7–8 és a felszíni vizekből 328,5 tó mm). Mindezek alapján a tó vízkészletének legalább negyed része felszín alatti vízből származik. Azaz a korábban elhanyagolt „láthatat-

lan” komponens mennyiségi értelemben is jelentősen hozzájárul a tó vízháztartásához. S ez a hozzájárulás nemcsak a tó vízmennyiségére, hanem vizének minőségi állapotára és így az ökológiai szerepére is hatással lehet. Emiatt a Balatont felszín alatti víztől függő ökoszisztémának tekinthetjük, azaz megfelelő természeti, ökológiai és turisztikai funkciójára a felszín alatti víz is hatással van, s ezt a tóval kapcsolatos jövőbeni kutatásban és tervezésben is érdemes figyelembe venni. Mindezt tovább bonyolítja a vizek hidraulikusan összefüggő egységes rendszere, ahol a különböző földtani képződményeken keresztüli áramlások összekapcsolják az egyes részterületeket, valamint a felszíni és felszín alatti vizek szoros, összetett és kölcsönös kapcsolatban állnak.

A Tihanyi-félsziget vizes legendáitól a tavak felszín alatti kapcsolatának megismeréséig

A balatoni térség minden szempontból kiemelkedő színfoltja a tó északi partjáról benyúló Tihanyi-félsziget, hiszen sajátos földtani, víz-földtani felépítése mellett a növény- és állatvilága is egyedülálló. Mindennek köszönhetően 1952-től tájvédelmi körzet. A Balaton-felvidéki Nemzeti Park hazánk első nemzeti parkjaként a környező területek élő és élettelen természeti értékei számára védettséget biztosít. 1997-től a Tihanyi-félsziget is a nemzeti park része, mi több 2003 óta geológiai, biológiai és tájképi sokfélesége révén Európa Diplomával is rendelkezik. Az ökológiai és természeti sokszínűséghez a félsziget tavai is nagyban hozzájárulnak, melyek múltját, jelenét és jövőjét a felszín alatti vizek alakítják.

A Tihanyi-félsziget vizeinek múltja

A vízben szegény Tihanyi-félszigeten három aprócska tó is található: a horgászati célokat szolgáló Belső-tó, a javarészt nád borította Külső-tó, va-

A Ciprián-forrás

Az 1055-ben alapított Tihanyi Bencés Apátságban íródott oklevelek a XVIII. századig szigetként emlegetik Tihanyt, melyhez napnyugat felől egyetlen bejárat vezetett. Ezt a bejáratot mélyen leásott árokkal és a Balatonból beeresztett vízzel szokták elzárni. Már ebből a korból ismert volt a (fél) sziget északkeleti meredek partfalán, különböző vízvezető képességű rétegek határán fakadó Ciprián-forrás, mely nevét a felfedező apátról kapta. A félsziget egyetlen forrása – melyhez a hajóállomástól induló túraútvonal vezet – 2 l/min átlagos hozammal és 11 °C vízhőmérséklettel csörgedezik.



lamint a csak kevesek által ismert, időszakosan vízzel borított Rátai-csáva. A lefolyástalan medencékben elhelyezkedő tavakat nem táplálja forrás vagy patak, ezért azt gondolták korábban, hogy egyszerűen a csapadékvíz összegyűlése révén keletkeztek, vizük pedig csak a párolgás miatt fogyott. A múltban nemcsak a természet, de az ember is alakította a félsziget arculatát és vizeit. A bekövetkezett változásokat megfigyelve megismerhetjük a tavak múltját, mely kulcs a jelen megértéséhez.

▲
A Tihanyi-félszigeten fakadó egyetlen forrás, a Ciprián-forrás



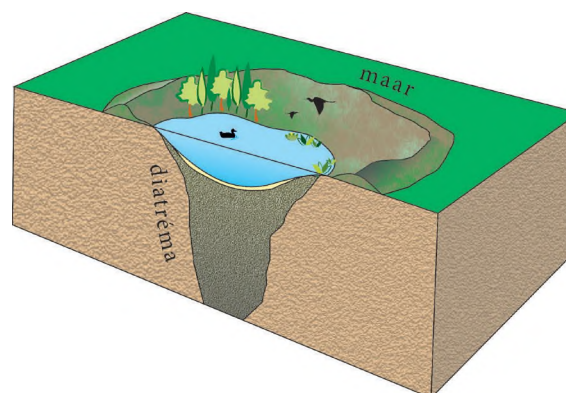
▲
Légifotó a Tihanyi-félszigetről és a területén található felszíni vizekről

A félsziget meredek partfalait és dombos vidékét döntően erdő borítja, így a mezőgazdasági művelés számára az egyetlen lehetőséget a Külső-tó lecsapolása jelentette. Az első kísérlet erre 1763-ban történt, amikor egy árokrendszerrel akarták elvezetni és lecsapolni a tó vizét, hogy hasznosítható területet nyerjenek a helyén, ám az árkokat nem tudták olyan mélyre ásni, amely elegendő lett volna a teljes vízmennyiség elvezetésére. 1806-ban már sikerrel jártak: a Külső-tó vizét lecsapoló csatorna megépítését követően a tóterület gyakorlatilag szárazzá vált, medre kaszálóként, legelőként funkcionált. Olyannyira, hogy a lecsapolás hatására a Belső-tó vízszintje is nagymértékben lecsökkent, az északi partjáról benyúló földnyelv nagyobb része szárazra került, melyet egyes időszakokban szántottak is. Az 1900-as évek elejéig a tó medre száraz lehetett, csak kisebb foltokban borította víz, majd vízszintje emelkedni kezdett a Külső-tó vizét elvezető csatorna lezárása (1976) után, és a tavak ismét lefolyástalanná váltak. A csatornák nyomvonal a tóban, valamint a kivezető árok zsilipje még ma is látható a tó északnyugati csücskében.

A manapság már csak időszakos vízborítással rendelkező Rátai-csáva a földtörténeti múltban (9–10 000 évvel ezelőtt) azonban feltehetően éppúgy állandó tó volt, mint a Külső- és Belső-tó.

Cholnoky Jenő a XX. század elején a Rátai-csáva kiszáradt, majd újra vízzel borított tómeder változó állapotát írta le, megfigyelései szerint innen a víz a Külső-tó irányába folyt le a felszín alatt. A visszaemlékezések alapján a csávánál mindig vizes volt a föld, így a közvetlen tómedret még a vízborítás megszűnése után sem lehetett használni.

E vizes legendák és történeti dokumentumok alapján a tavak közötti kapcsolatra már régen felfigyeltek, de ez feledésbe merült, hiszen a köztudatban még mindig az él, hogy a tihanyi tavak függetlenek egymástól. Azonban az előző fejezetben láttuk, hogy a domborzati különbségek a víztükör szintjében is jelentkeznek, melyek hajtóerőként hatnak és felszín alatti vízáramlást eredményeznek. Így a változatos domborzatú félsziget esetében is felmerül, hogy Tihanyban járva a talpunk alatt vízmozgás zajlik, mely



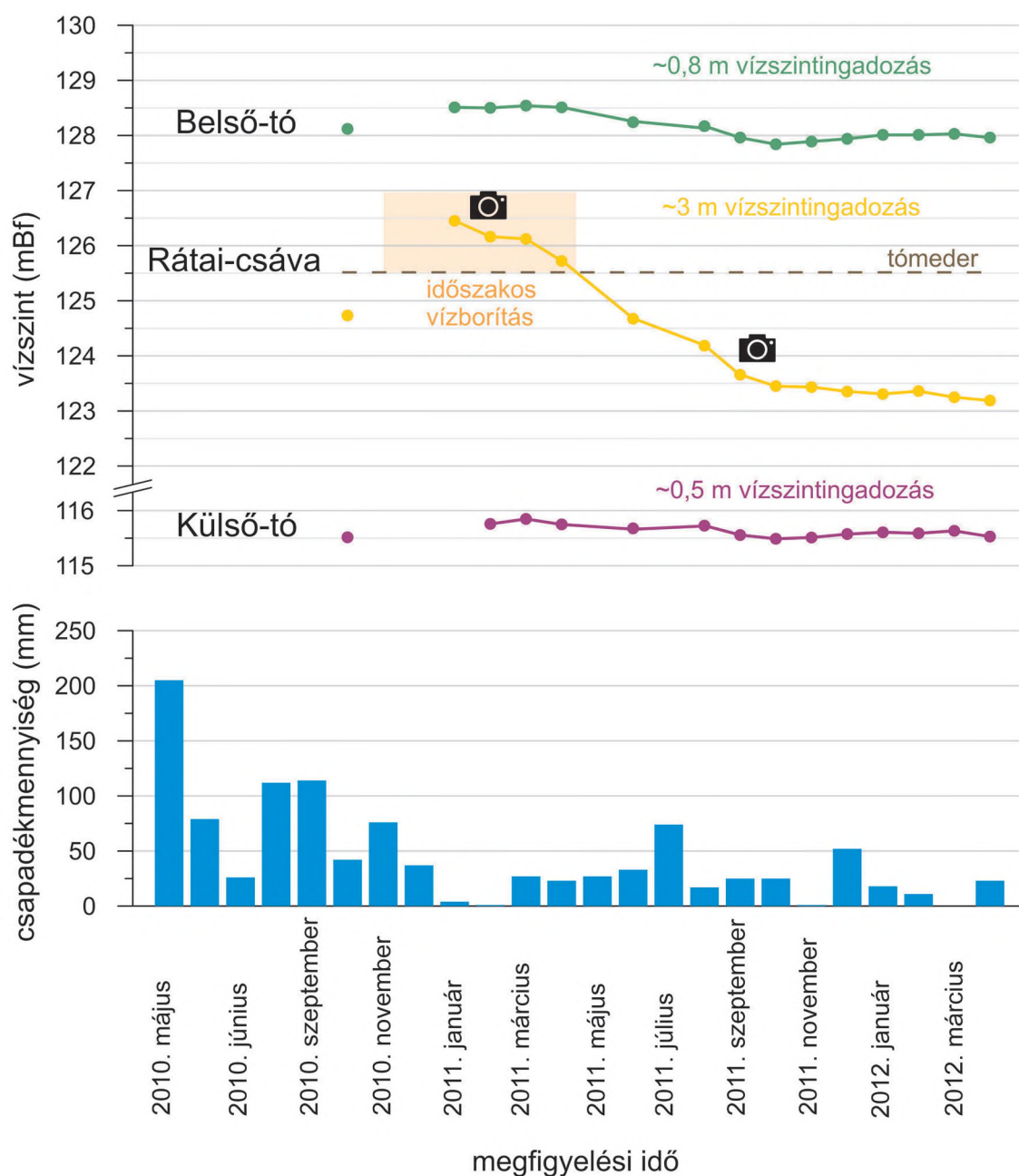
▶
A Tihanyi-félszigeten található tavak egykori vulkánkitörések által létrehozott diatréma-szerkezetekben találhatók, melyeket a maar-perem vulkáni törmelékei vesznek körbe

összekapcsolhatja a tavakat a felszín alatt. Ennek, valamint a Ciprián-forrás egyedülállóságának kiderítéséhez a félszigeten zajló vízföldtani folyamatok nyomába kell erednünk!

Terepi mérések a tavak környezetében

A Tihanyi-félsziget tavainak vizsgálata a tómedrek közvetlen környezetében a földtani képződmények, kiterjedésük és jellemzőik megismeré-

sével kezdődött. A tavak a térségben 7,9 millió éve lezajlott vulkáni tevékenység által létrehozott mélyedésekben foglalnak helyet. A kitörések során a felfelé áramló forró magma vízzel, illetve vízzel telített üledékek keveredve heves vulkáni robbanásokat eredményezett. Az így létrejött alacsony törmelékgyűrűt maarnak, a felszínbe vájt tölcsér alakú szerkezetet pedig diatrémának nevezzük (lásd 6. fejezet). E formák és képződ-



A Belső-tó, a Rátai-csáva és Külső-tó vízszintjeinek alakulása, valamint a lehullott csapadék mennyisége a megfigyelési időszakban



mények a mintegy 8 millió év során folyamatosan formálódtak, a sűrű növényborítottság miatt nehéz a felszínen észrevenni a maarokat. Ezért olyan földfizikai módszerek segítettek a térképezésükben, melyek a felszín alá is belátnak. Ezekkel a mérésekkel kitérképezték a tölcsérek helyét, melyek a tavak alatt találhatók.

Még részletesebb, felszínközeli kutatás (sekély fúrások és elektromágneses mérések) segítségével a tavak közvetlen környezetének földtani felépítése is térképezhetővé vált. Mivel a Rátai-csáva nem rendelkezik állandó vízborítással, ezért a teljes tómeder vizsgálható, a maar-vulkán törmelékgyűrűjével és tölcsészerkezetével együtt. A csáva középső részén – a tómeder és környezete – finomszemcsés, agyagos tavi üledékek találhatók, átlagosan 7–10 m vastagságban. Ez alatt és a tómedertől távolodva a tölcsért kitöltő vulkáni törmelékes képződmények, majd a maar-perem közei jelennek meg. Nemcsak a Rátai-csáva körül fordulnak elő a felszínen e földtani egységek, hanem a Külső-tó és a Belső-tó esetében is megfigyelhetjük azokat. A vulkáni eredetű képződmények alatt pedig a Pannon-tó üledékei jelennek meg: agyag, homok és homokkő, melyek az idősebb mészkő és homokkő fölé települnek.

A vulkáni környezetben található tavak vízszintjeinek változásait ismerjük a múltból. Azonban láthatjuk-e ezen ingadozásokat jelenleg is? A válaszhoz nézzük meg az egyes tavak vízszintjeinek alakulását 2010 októbere és 2012 májusa között! A tómedrek partján létesített megfigyelőkutakban mért vízszintek időbeli változásának kiértékeléséhez szükséges a vizsgált periódusban hullott csapadék mennyiségének az ismerete. A területre jellemző évi átlagos csapadékmennyiség 600 mm. A 2010-es év az átlagosnál csapadékosabb volt, összesen 886,6 mm csapadék hullott, míg a 2011-ben lehullott csapadék mennyisége mindössze 284,7 mm volt. Ennek köszönhetően a vízszintváltozások két éves vizsgálata során egy kiugróan csapadékos, és egy nagyon száraz időszak hatásai is megfigyelhetővé váltak.

A Rátai-csávában a 2010 nyári–ősi csapadékmaximum után a víztükör szintje csak 2011

januárra emelkedett olyan szintre, hogy a helyi domborzati mélyedés aljában is megjelenjen a vízborítás. Ezt követően, a januártól kezdődő csapadékszegényebb időszakban, a vízszint kezdetben lassabban, majd gyorsabban csökkent, végezetül a felszíni vízborítás a tavasz elején megszűnt. Ez az időszakos vízborítás aztán az észlelési időszak után is megjelent: 2014 áprilisában ismét összefüggő vízfelület alakult ki, melyet a költöző madarak is kihasználtak.

Az észlelési időszak alatt a Rátai-csávéban tapasztalt vízszintingadozás hozzávetőlegesen 3 m volt. A 2010 nyári–ősz csapadékos, majd az ezt követő szárazabb időszak a Belső-tó déli partján kialakított megfigyelőkútban is éreztette hatását: a 2010 októberétől folyamatosan emelkedő vízszintek 2011 májusában kezdtek csökkenni. Az itt megfigyelt vízszintváltozások azonban kiegyenlítettebbek, mint a Rátai-csáva esetében. A legalacsonyabb és legmagasabb vízszintek között a csávéban tapasztalt több méterhez képest, itt mindössze 70–80 cm különbség tapasztalható. A Külső-tó déli partján kialakított megfigyelőkút vízszintje az őszi csapadékmaximum után enyhé emelkedést, majd áprilistól kezdve enyhé csökkenést mutatott. Az itt mért vízszintváltozások nem haladják meg a fél métert.

Látható, hogy az egyes tavak eltérő módon reagálnak a csapadék mennyiségének időbeli változására. Az azonban mindegyik esetében elmondható, hogy a bekövetkező változások nem azonnal, hanem a csapadékos időszak után néhány hónappal, esetleg fél évvel később hatnak a vízszintekre. Ez jelzi, hogy a felszín alá beszivárgó csapadékvíz táplálja a felszín alatti víztükört, ez pedig a tavak vízszintjeit alakítja. Így a Rátai-csávéban csak akkor alakul ki vízborítás, ha a csapadékosabb időszakokat követően a tómeder

alatt a felszín alatti víztükör olyan mértékben megemelkedik, hogy a felszín fölé kerül. A Rátai-csáva és a többi tihanyi tó tehát nem felszíni víz összegyűlése, hanem a felszín alatti víz felszíni megjelenése. A tavak különböző mértékű vízszintváltozásainak magyarázatához így tehát a felszín alatti vizek mozgását, változását kell nyomon követni a beszivárgástól a megcsapolódásig.

Mi történik a Tihanyi-félszigetre hulló csapadékkal?

A Bakony–Balaton-felvidék–Balaton rendszer vízáramlási modellje magában foglalja a Tihanyi-félszigetet, azonban kis kiterjedése miatt a félsziget folyamatait nem lehet leképezni. Viszont fontos, hogy a területet először a környező térség ölelésében értsük meg, és csak ezután lehet a kinagyított, félszigetre koncentrált vízáramlásokat vizsgálni. Az előző modell tanulságai alapján a félsziget északnyugati „nyakánál” történő megcsapolódás egyrészt a félsziget felől áramló vizekhez köthető, másrészt a Balaton-felvidék és a Bakony felől érkező vizek egy része is itt kerül újra felszínre. Ez hozza létre a Bozsai-öböl és a Diósi-rétek vizenyős, lápos területeit. Feltehetően emiatt lehetett egykoron Tihany sziget, mivel a folyamatosan érkező felszín alatti vizek okozták az összekötő földnyelv vízborítottságát. Az észak felől érkező vizek másik része azonban a félsziget és a tó alatt a déli part felé áramlik. A Tihanyi-félszigeten zajló áramlások voltaképp a Bakony–Balaton-felvidék felől érkező és megcsapolódó–átáramló felszín alatti vízáramlásba fészkelődnek, úgynevezett hidraulikusan alátámasztott helyzetben vannak –200 mBf szint fölött. Azaz a terület alatt átáramló vizek a felszín közelében tartják a félsziget felszín alatti vizeit, nem alakulhatnak ki mély áramlások.

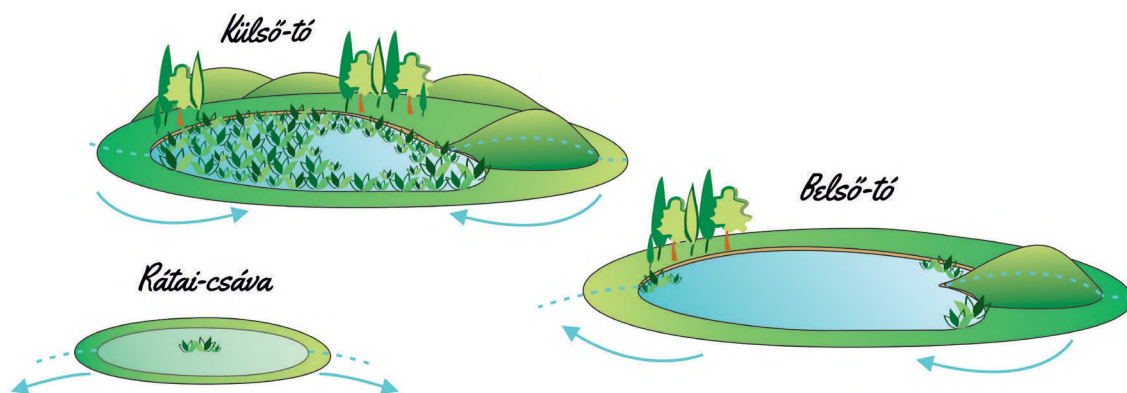
◀
A Rátai-csáva a nyugati peremről: időszakos vízborítás 2010 januárjában; időszakos kiszáradt meder 2010 szeptemberében; időszakos vízborítás 2014 áprilisában

A félszigetre készített részletes háromdimenziós felszín alatti vízáramlási modell segítségével vizsgáltuk a diatrémaszerkezetekben helyet foglaló Belső-tó, Külső-tó és Rátai-csáva közötti hidraulikai kapcsolat. A tómedrekben található tavi üledékek lokális és vékony kiterjedésük miatt nem befolyásolják számottevően a regionális áramképet, hatásuk a vízáramlási intenzitás csökkentésében érhető tetten: ezeken keresztül lassan szivárog a felszín alatti víz. A Rátai-csáva magas helyzetéből adódóan vizet ad le a Külső-tó és a Balaton felé. Akkor jelenik csak meg a felszínén víz, ha a csapadék utánpótlódása meghaladja az innen történő vízleadás mértékét, s

kapcsolat. A legmélyebb fekvésű Külső-tó egyértelműen megcsapolódási terület, mely a félsziget belsejének vizeit gyűjti össze. Ezek alapján – a nemzetközi irodalom osztályozását követve – a Rátai-csáva rátápláló, a Külső-tó megcsapoló, míg a Belső-tó átfolyó jellegű tó.

A tavak között, a vulkáni eredetű kőzetekben lassan áramlik a felszín alatti víz, mely útja során a mélyebb régiókba is lejut, ahol a törmelékes vízfogó jelentősen korlátozza az átáramló víz mennyiségét. Ezért az intenzívebb vízföldtani folyamatok a felső 100 m vastag felszín alatti térrészben történnek. A felszínen beszivárgó víz azonban nem csak

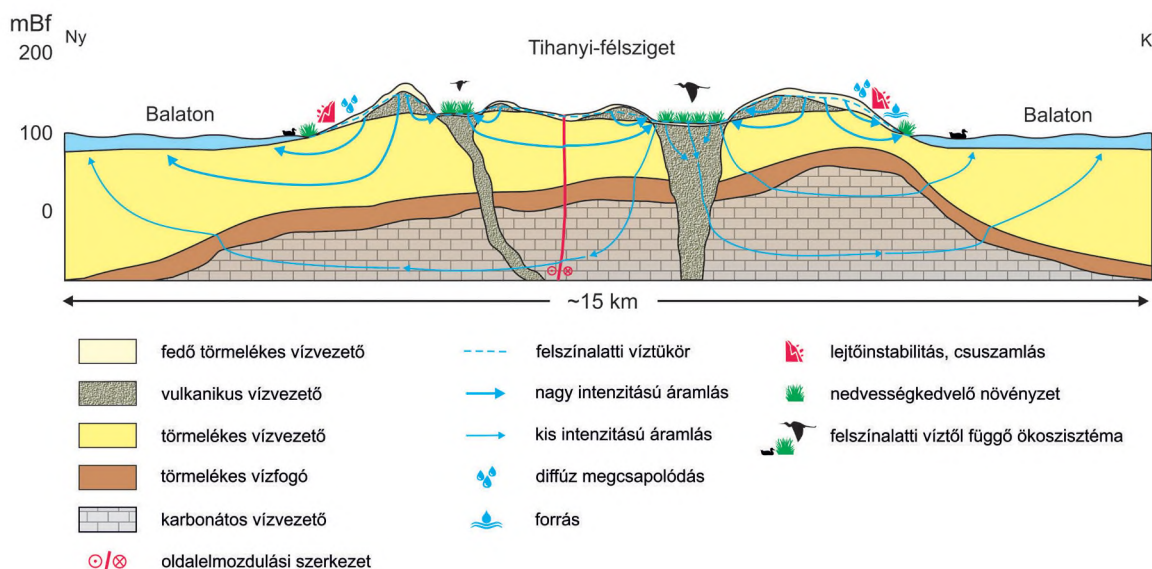
►
A Tihanyi-félsziget tavainak hidrológiai jellege: a Külső-tó megcsapoló, a Rátai-csáva rátápláló, a Belső-tó pedig átfolyó jellegű



így a felszín alatti vízszint emelkedik. A szintén magas helyzetben található Belső-tó a környező magaslatok vizeinek összegyűjtésével egyidejűleg vizet ad le a nyugati–északnyugati partvonalán a Külső-tó medencéje felé. A Belső-tónál tapasztalt jelenség, hogy északnyugati partvonala mentén a víz télen előbb fagy be, tavasszal pedig később szűnik meg a jégborítás. Ez azzal magyarázható, hogy itt kiáramlás zajlik a tóvízből a Külső-tó felé. A tó többi oldalán felszín alatti vízutánpótlás érkezik, ami kis mértékben „fűtő” hatást is gyakorol a tóra és nehezíti, lassítja a befagyást. Mivel a Rátai-csáva és a Belső-tó közel azonos tengerszint feletti magasságban helyezkedik el, ezért közöttük nincs hidraulikai

a tavak medencéibe áramlik és gyűlik össze. A félsziget partjain diffúz módon csapolódik meg: a félsziget belsejéből kifelé áramló víz a part mentén ~50 méteres sávban jut a Balatonba. A tavakat és az egész Tihanyi-félszigetet körülölelő lokális, rövid, intenzív áramlások mellett a félsziget belsejében, leginkább a Külső-tó medencéjéből a diatrémaszerkezeten keresztül mélybe szivárgó víz a partvontól távol csapolódik meg a Balatonban, hosszabb, lassabb vízáramlások formájában.

De nemcsak a Balaton vízszintjén zajlik diffúz, nem pontszerű kiáramlás, hanem magasabb térszíneken is, mint például a Ciprián-forrásnál, amely környezetében is meg-



A Tihanyi-félsziget felszín alatti vizeinek útja és a megcsapolódáshoz köthető felszíni jelenségek

figyelhető, hogy nem csak egy forrásszájon át történik koncentrált vízkilépés, hanem a foglalat környezete is nedves, amely miatt a forrás környékén suvadások tapasztalhatók. Az egyik ilyen nagyobb lejtőomlás a Ciprián-forrás mellett újabb vízkilépéseket tárt fel.

A korábbi felfogás szerint a lejtőcsuszamlásokat a csapadék okozza, mivel nedvesebb időszakokat követően gyakoribbak a félsziget peremén előforduló földcsuszamlások. Azonban ezek esetében is megfigyelhető néhány hónapos késés a csapadékesemények után, ahogyan a tavak vízszintjeinek alakulásánál is. Ugyanis nem közvetlenül a csapadék indítja be a suvadásokat, hanem a csapadék hatására megemelkedő felszín alatti víztükör, mely elérve a kevésbé állékony partfalakat nedvesíti a kőzeteket, ezáltal csökkentve azok stabilitását, mely végeredményben lejtőcsuszamláshoz vezet a maga-

sabb térszíneken a félsziget eróziós partfala mentén, mint például a Ciprián-forrásnál. Azonban diffúz vízkilépés még a bazaltos–bazalttufás képződményekből is megfigyelhető a meredek partokon. A Tihanyi-félsziget nyugati oldalán a bazalttufás képződményekből diffúz módon szivárgó víz a téli hideg hatására megfagy, ahogyan ezt Visnovitz Ferenc fényképén megfigyelhetjük. Minden bizonnyal azzal magyarázható, hogy nem találhatunk a Ciprián-forráson kívül más forrást a félszigeten – mely szintén nem egy



A félsziget nyugati peremén, a bazalttufa kőzeteken történő diffúz megcsapolódás, mely a téli fagyban válik igazán láthatóvá 10–20 cm hosszú jégcsapok formájában

pontszerű forrasszájjal rendelkezik –, hogy a felszín alatti vizek nem koncentráltan, hanem nagyobb területen, diffúzan csapolódnak meg, melyek így könnyen elpárologhatnak, vagy a növényzet hasznosíthatja a felszínre kerülő vizet.

A felszín alatti víz ökológiai hatótényező is egyben, mivel befolyásolja a talaj típusát és tulajdonságait, amely meghatározza a vízviszonyokhoz igazodó növényzet kifejlődését. A Rátai-csáva medrében az időszakos vízborítottságnak megfelelően alakult ki a vegetáció: üde, cserjésedő növényzet mellett a szárazságtűrő fajok is jellemzők. Központi részén fűzfacsoportok jelzik, hogy a felszín alatti víztükör a felszínhez közel található (vagy éppen a felszínre lép). Azonban ezek mellett megjelennek a terület kiszáradását jelző szárazságtűrő fajok is. A nyílt víztükrű Belső-tavat keskeny nádas sáv és sásfoltok szegélyezik, amelyek a kezdeti eutrofizáció jelei. A környező magaslatokról csapadékvízet gyűjt össze, mely a tó vizének állapotát javítja, azonban a falu közelsége, az emberi beavatkozások és a beeresztett szennyvíz rontja a vízminőséget. A Külső-tó vízfelületét javarészt nádas, kisebb arányban gyékényes borítja, keskeny parti sávban pedig helyenként sás szegélyezi. A tavat több helyen fűz- és nyárfacsoportok veszik körül foltokban, melyek folyamatos vízellátottságot és szerves anyagban gazdag vizet jeleznek, amelyek kiáramlási területeken kialakuló mocsarakra jellemzők.

A Tihanyi-félsziget felszín alatti vízáramlásait tehát a domborzati különbségek miatt kialakuló víztükröbeli eltérések hajtják, melyek a képződmények tulajdonságai és a Bakony–Balaton-felvidék felől érkező átáramlás miatt a felszín közelébe koncentrálódnak. A félsziget belső területein a tavak egymással

kommunikálnak az összefüggő felszín alatti vízrendszerben, a peremeken felszín alatti vízkilépés, valamint a partoktól távol a Balatonban vízmegcsapolódás zajlik. Mindezek ismerete vízkezelés szempontjából is jelentős: a felszín alatti utánpótlódás, illetve megcsapolódás ökológiai hatásával is számolni kell, a fokozottan védett természetvédelmi terület kezelésénél a tavak megőrzését fentiek figyelembe vételével érdemes végezni.

Mi lesz a félsziget tavaival: eltűnnek vagy megmaradnak?

A Tihanyi-félsziget tavainak sorsát nemcsak az emberi tevékenység befolyásolja, hanem a természet önmaga is, mely hatásokat, ha megállítani nem is tudjuk, legalább lassítani, ellensúlyozni lehet. Ez az egész Földet érintő klímaváltozás eltérő módon jelentkezik a világ különböző pontjain. A regionális előrejelzések alapján a Tihanyi-félsziget jelenlegi 600 mm-es átlagos csapadékmennyisége a század végére 20%-kal csökkenhet, ráadásul a csapadék eloszlásában is jelentős egyenlőtlen-ségek alakulhatnak ki. Ezen kívül a jelenlegi 10 °C-os átlaghőmérséklet további 4–5 °C-kal emelkedhet. Ez pedig a felszín alá beszivárgó víz mennyiségét csökkenti, mivel a hőmérséklet-növekedés hatására megnő a párolgás mértéke is. Milyen következményei lesznek e változásoknak a Tihanyi-félsziget vizeire? Ez a kérdés a felszín alatti vízáramlások időbeli változásainak vizsgálatával válaszolható meg.

Mivel csökken a beszivárgó víz mennyisége, így az elsődleges hatás könnyen érthető. A kevesebb felszín alatti víz már nem tudja követni a domborzati különbségeket, gyakorlatilag a felszín alatti víztükör már nem kapcsolódik a felszín lefutásához, hanem sokkal lapultabb és kisimultabb lesz. Ez pedig a mostani áramlá-

si pályákat, diffúz megcsapolódási helyeket, a tavak felszín alatti kapcsolatait is érinti, átrendezi. Az elkövetkező 100 évben a korábbi összetett áramkép leegyszerűsödése várható. A Rátai-csáva időszakos vízborítása egyre ritkább lesz, mivel az egyre mélyebbre süllyedő víztükör nem fog tudni a felszínre emelkedni a csapadékhiány miatt. Várható, hogy a nedveségkedvelő növényzet is igazodik a szárazabb körülményekhez. Ugyanígy valószínűsíthető a Belső-tó vízszintjének csökkenése a csapadék és a felszín alatti hozzáfolyás mértékének csökkenésével. A jósolt klímaforgatókönyvek alapján 30–35 év múlva a víztükör a jelenlegi tómeder legmélyebb pontja alá süllyedhet (124,5 mBf). Az egyes csapadékesemények után kialakulhat időszakos vízborítás, így hasonló viselkedés feltételezhető, mint a mostani Rátai-csávanál. Majd a század végére a tó teljes kiszáradása is bekövetkezhet. A Külső-tó esetében a helyzetből fakadóan várható a legkisebb változás. Azonban a többi terület felől érkező vizek a kilapuló víztükör és az egyszerűsödő áramkép miatt egyre nagyobb arányban fognak átáramlani a tómeder alatt a Balaton medencéje felé. Így a Külső-tó jelenlegi megcsapoló jellege átalakulhat átfolyóvá, és vizét a félsziget „nyaka” felé továbbíthatja. E tó esetében csak kismértékű vízszintcsökkenés jósolható a domborzati helyzete miatt (mélyebben fekszik, közelebb a felszín alatti víztükrökhöz).

A felszín alatti vízáramlási pályák átrendeződése és az áramlás intenzitásának csökkenése mellett a vizek minőségét és így az ökoszisztémák állapotát is befolyásolhatja a klímaváltozás. A tavak vizei felmelegedhetnek, ez pedig megváltoztathatja a biokémiai folyamatokat, a szervesanyag-tartalmat, elősegítve a Külső-tó eutrofizációját, ezzel az ökológiai sokszínűség sérülését.

A hidraulikai kapcsolatban álló tavak jövőjét illetően számolni kell a megváltozott felszín alatti vízhozzájárulással, illetve vízveszteséggel, továbbá ezek ökológiai hatásával. A félsziget természetvédelmi kezelésénél a vizes élőhelyek megőrzését a félszigeten zajló felszín alatti vízáramlási rendszerek figyelembe vételével érdemes végezni. Az emberi beavatkozások hasonló hatással jelentkezhetnek, ahogy azt a Külső-tó lecsapolásánál is tapasztalták. Így e két hatás együttesen még gyorsabb és drasztikusabb változásokat idézhet elő. A természetvédelmi terület állapotának megőrzéséért csakis ezen esetleges hatások ismeretében lehet felelősen tenni.

Ajánlott irodalom

- Bilik I. (szerk.): Tihany – Magyarázó a Balaton és környéke 1:10 000 építésföldtani térképsorozathoz. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 104 p.
- Cholnoky J. 1918: A Balaton hidrográfiaja. – Magyar Földrajzi Társaság, Budapest, 316 p.
- Csizmazia M. 2010: Volt egyszer egy falu, Tihany. – Tihany Fejlesztéséért Alapítvány, Tihany.
- Entz B. 1960: Hevesek és más jégmentes foltok a befagyott Balatonon (Adatok a téli Balaton fiziográfiájának és biológiájának ismeretéhez). – *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum* 27, 41–53.
- Erdélyi M. 1983: A Balaton mélységi vízforgalma. – *Hidrológiai Közlöny* 63 (10), 429–476.
- Erdélyi M., Sárvári I. 1998: A balatoni régió hidrogeológiája. – Balaton Akadémia könyvek. Balaton Akadémia, Balatonboglár, 130 p.
- Futó J. (szerk.) 2002: A Balaton-felvidék természeti értékei III. – A Tihanyi-félsziget. Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság, 128 p.
- Gondárné Sőregi K., Gondár K. 1988: A Balaton-felvidék karsztvízföldtani vizsgálata. – *Hidrológiai Közlöny* 68 (6), 348–355.
- Havril T., Tóth Á., Mádlné Szőnyi J. 2012: A tihanyi maar-tavak hidraulikai kapcsolatának vizsgálata kétdimenziós numerikus áramkép szimulációval. – *Hidrológiai Tájékoztató* 2012, 50–52.
- Korim K. 1974: A Balaton környéki hévízfeltárás helyzete és jövője. – *Hidrológiai Tájékoztató* 14 (1), 46–47.
- Mádl-Szőnyi J. 1997: Vízartó rendszerek sérülékenységi vizsgálata a dunántúli-középhegységi főkarsztvíztároló rendszer (DNy-i rész) példáján. – *Földtani Közlöny* 127 (1–2), 19–83.
- Tóth Á., Havril T., Mádlné Szőnyi J., Müller I. 2012: Hidrogeológiai célú geofizikai térképezés egy tihanyi maar-tó környezetében. – *Magyar Geofizika* 53 (2), 120–130.

Megalodus lóczyi