

A geotermikus energia haltermelési célú hasznosítási lehetőségeinek feltárása az Észak-Alföldi Régióban

Fehér Milán, Stündl László, Bársony Péter és Szűcs István

*Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,
Debrecen*

Kivonat

Magyarország a geotermikus energia, illetve annak elsődleges hordozója, a termálvíz tekintetében kiemelt adottságokkal rendelkezik. A geotermikus grádiens értéke hazánkban igen magas, a világ átlagának mintegy 1,5-2-szerese. Magyarországon belül a legnagyobb hőmérsékleti grádiens az Alföldön mérhető, melynek következtében az Észak-Alföldi Régióban közel 200 termálkút, a hazai kutak mintegy 10%-a található. Ebben a térségben helyezkedik el a minősített, meleg gyógyvízzel rendelkező települések negyede is.

A hazai hévízhasznosítás műszaki színvonala, az adottságok ellenére, jelenleg igen alacsony, melynek növeléséhez elengedhetetlen a termálvíz kaszkádszerű hasznosításának fejlesztése, vagyis a többlépcsős energiakinyerés és a hasznosítási módok megfelelő kombinálása. Ebbe a technológiai sorba illeszthető be a termálvíz haltermelési célú hasznosítása is, amely lehetőséget teremt olyan jelentős exportpotenciállal rendelkező, melegvízi halfajok intenzív termelésére, mint a hibrid csikos sügér, a tilápia, a barramundi, vagy a vörös árnyékhal.

Tapasztalatok alapján, egységnyi termálvíz felhasználásával, ilyen értékes fajok előállításával lehet az egyéb célú felhasználást messze meghaladó legnagyobb gazdasági eredményt elérni, mindezt a legkevesebb víz felhasználásával, vagyis a környezetre gyakorolt hatás minimalizálásával.

2010-ben, egy két éves kutatómunka első szakaszában, 20 termálkútból vettünk mintát az Észak-Alföldi Régió területéről. Mivel a termálvíz minősége főként a víztartóra jellemző víztestek, illetve a kút mélységének függvénye, a mintavételi helyek megválasztásánál elsődleges szempont volt, hogy a régióra jellemző valamennyi víztestből és talp-mélységből kerüljön elemzésre elegendő számú vízminta. Ennek következtében eredményeink komplex áttekintést adnak a régió haltermelési célú termálvíz potenciáljáról.

A mintákat első lépésben részletes kémiai analízisnek vetettük alá, amely során megvizsgáltuk a termálvíz közvetlen haltermelési célú hasznosíthatósága szempontjából legfontosabb vízminőségi paramétereket. Ezt követően került sor azokra a biológiai tesztekre, melyek alapján megállapítható az egyes termálvizek planktonikus szervezetekre, illetve halakra gyakorolt hatása. Az eredményeket összefoglalva kijelenthető, hogy a vizsgált, egyben a régió termálkútjainak jelentős része akár a közvetlen haltermelésre is alkalmas.

Bevezetés

Magyarország a geotermikus energia, illetve annak elsődleges hordozója, a termálvíz tekintetében kiemelt adottságokkal rendelkezik. A geotermikus grádiens értéke hazánkban igen magas, a világ átlagának mintegy 1,5-2-szerese.

Magyarországon a termálvízzé minősítés alsó hőmérsékleti határa 30°C, ennek a kritériumnak a 2000. január 1.-i állapot szerint 1288 kút vize felel meg. A nyilvánántartott termál-kutak vízhozama megközelítőleg 500 millió m³, míg a ténylegesen kitermelt termálvíz becsült mennyisége 200 millió m³. A nyilvánántartott kutak csaknem fele 40°C alatti víz kitermelésére ad lehetőséget, míg a 90°C feletti vízhőmérsékletet adó kutak aránya viszonylag alacsony (Landyné, 2002).

Magyarországon belül az egyik legnagyobb hőmérsékleti grádiens az Alföldön mérhető. A VITUKI adatbázisa szerint az Észak Alföldi Régióban 332 db termálkutat tartanak nyilván, amelyek 91 település közigazgatási határain belül helyezkednek el. Ezek közül Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében 31 db (15 érintett település), Hajdú-Bihar megyében 104 db (29 érintett település), Jász-Nagykun-Szolnok megyében 197 db (47 érintett település) kút található. A régióban nyilvánántartott termál-kutak közül 154 működőképes, míg a fennmaradó kutak műszaki állapota jelenleg nem teszi lehetővé a folyamatos vízkivételt.

A hazai hévízhasznosítás műszaki színvonala ugyanakkor jelenleg igen alacsony, melynek növeléséhez elengedhetetlen a termálvíz kaszkád-rendszerű hasznosításának fejlesztése, vagyis a többlépcsős energiakinyerés és a hasznosítási módok megfelelő kombinálása. A geotermikus energia legelterjedtebb felhasználási területe a termálvíz hőtartalmát és gyógyhatását hasznosító fürdőüzem és balneológia (Kozák-Mikó). A hazai termálvíz kutak megközelítőleg 20%-át, elsősorban a 40-50 °C-os kifolyóvíz-hőmérsékletű kutak vizét hasznosítják erre a célra (Gáspár, 2009). Ezen kívül jellemző még a termálvíz kommunális hasznosítása, amely során a termális vizet hőcserélő segítségével hűtik megfelelő hőmérsékletűre és a felszabadított hőmennyiséget használják fel.

Az akvakultúra világszerte a termálvizek hasznosításának egyik fontos területe, rendszerint a kaszkád rendszerű, többlépcsős energiakinyerés víz-visszasajtolás előtti utolsó eleme. Az 2005-ös WORLD GEOTHERMAL CONGRESS szerint, az elektromos áram termeléstől eltekintve, a geotermikus energia felhasználás 4,2%-a a haltermelő rendszerek fűtése során hasznosul. Az intenzív, zárt haltermelő rendszerek temperálása mellett a geotermikus energia felhasználásának másik módja a földmedrű halastavak vizének időszakos, téli fűtése (Gelegenis et al., 2006).

A geotermikus energiával fűtött rendszerekben hazánkban is igen versenyképesen folytatható haltermelés. Egész éven át állíthatók elő olyan, szinte korlátlan piaci lehetőségekkel bíró, melegvízi halfajok, mint a nílusi tilápia (*Oreochromis niloticus*) és a barramundi (*Lates calcalifer*). A nílusi tilápia a világ legfontosabb melegvízi halfajainak egyike (FAO), hőmérsékleti toleranciájának felső határa 40°C (Azaza, 2004). Ez a tulajdonsága, illetve a víz minőségi paramétereivel szembeni tág tűrőképessége alkalmassá teszi a halfajt a termálvizek haltermelési célú hasznosítására (Azaza et al., 2008).

A szintén melegvízi (Katersky-Carter, 2005; 2007) barramundi termelése sós, félsós és édesvízben egyaránt lehetséges. A halfaj só-toleranciájára jellemző, hogy az édesvizet, illetve az akár 55‰-es sótartalmú vizet egyaránt képes elvi-

selni (Matthew, 2009). Mindemellett alkalmas a felszín alatti, magas sótartalmú-, illetve termálvizek haltermelési célú hasznosítására is (Volvich-Appelbaum, 2001). A magas sótartalmú felszín alatti vizek haltermelési célú felhasználását kizárólag az említett vizek alacsony kálium-koncentrációja korlátozhatja (Partridge et al. 2008).

Tapasztalatok alapján egységnyi termálvíz felhasználásával ilyen értékes fajok előállításával lehet az egyéb célú felhasználást, például az energiatermelést messze meghaladó legnagyobb gazdasági eredményt elérni, melyhez ráadásul a legkevesebb vizet kell felhasználni. Ezáltal a környezetre gyakorolt hatás is minimalizálható.

Kutatómunkánk során 20 termálkútból vettünk mintát az Észak-Alföldi Régió területéről, bevonva valamennyi jellemző víztestet és talp-mélységet. A mintákat a haltermelés szempontjából lényeges, legtöbb vízminőségi paraméterre kiterjedő kémiai analízisnek, majd biológiai teszteknek vetettük alá. Mindezek következtében eredményeink komplex áttekintést adnak a régió haltermelési célú termálvíz potenciáljáról.

Anyag és módszer

A mintavételi helyek kijelölése

A termálvizek minőségi paramétereit elsősorban a kutak mélysége, illetve a víztartóra jellemző víztestek adottságai határozzák meg, így a mintavételi helyek kijelölése során az elsődleges szempont az volt, hogy a régióra jellemző valamennyi víztestből és talp-mélységből származó minta kerüljön részletes kémiai elemzésre. Az azonos víztesthez kapcsolódó kutak esetében a talp-mélységeket osztályközökbe rendeztük, hogy a különböző mélységekből származó termálvizek minőségéről pontos adatokat nyerhessünk az objektív összehasonlíthatóság érdekében.

További szempont volt, hogy az Észak-Alföldi Régió mindhárom megyéjéből, illetve valamennyi térségből kerüljön analízisre elegendő számú termálvíz-minta, komplex áttekintést adva a régió haltermelési célú termálvíz potenciáljáról. Az analízisre szánt minták közé olyan termálkutak vizét is beválogattuk, amelyeket korábban, vagy jelenleg is használnak közvetlen haltermelési célra, ezáltal kémiai összetételük pontos meghatározását követően referenciaként is szolgálhatnak a további vizsgálatok során.

A felsorolt szempontok alapján a különböző termál-kutakból vett 20 minta jól reprezentálja az Észak-Alföldi Régió termálvíz-készletének vízminőségét, hiszen a térség valamennyi víztestéből (HU_pt2.4., HU_pt2.3., HU_pt2.2.), illetve minden előforduló mélységből (>1000 m, 100-800 m, 800-600 m, 600-400 m, <400 m) legalább egy vízminta analízisre került. A vízmintát adó termál-kutak legfontosabb adatait az *I. táblázat* tartalmazza.

A mintavételek

A vizsgálatra jelölt termál-kutakból egyenként 1,5 liter vízmintát vettünk, amelyet légmentesen lezártunk. A minták tárolása műanyag palackokban, 4°C-on történt. Az analitikai vizsgálatok minden esetben a mintavételt követő napon

kerültek elvégzésre. A laboratóriumi munka folyamatosságának fenntartása érdekében az összesen 20 kútból származó vízmintát 4 ütemben vettük meg és dolgoztuk fel. A termálvizek részletes analitikai vizsgálatát a *Halászati és Öntözési Kutatóintézet Környezetanalitikai Vizsgáló Laboratóriuma* végezte el.

A vizsgált vízminőségi paraméterek

A termálvíz-minták vizsgálatra jelölt minőségi paramétereit az *II. táblázat* tartalmazza:

II. táblázat: A vizsgált vízminőségi paraméterek

Vezetőképesség (20°)	(MSZ EN 27888:1998)
pH (laboratóriumi)	(ISO 10523:2003)
KOI _k	(ISO 15705:2002)
p-lúgosság	(MSZ ISO 9963-1:1998)
m-lúgosság	(MSZ ISO 9963-1:1998)
Ammónium-nitrogén	(MSZ EN ISO 11732:2005)
Nitrit-nitrogén	(MSZ EN ISO 13395:1999)
Nitrát-nitrogén	(MSZ EN ISO 13395:1999)
Összes nitrogén	(DIN EN ISO 11905-1:1998)
Ortofoszfát-foszfor	(MSZ EN ISO 15681-1:2005)
Összes foszfor	(DIN EN 1189:1996)
Összes fenol	
Klorid-ion	
Szulfát-ion	
Elemanalízis:	Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Pb

Biológiai tesztek:

Toxikus hatás vizsgálata fotoszintetizáló szervezetekkel (*Chlorococcum sp.*):

A vizsgálatokat a *Debreceni Egyetem TEK-TTK Hidrobiológiai Tanszék* munkatársai végezték.

A biológiai tesztrendszerek segítségével a szennyezőanyagok komponenseinek összehatását, az előre gyakorolt tényleges hatásokat lehet feltárni. Ilyen elterjedt biológiai tesztrendszer az alga teszt, amely elsősorban a felszíni és felszín alatti vizek vizsgálatára, valamint más toxikológiai tesztek kiegészítésére használható (Felföldy, 1987).

A minták vizsgálata hígítás nélkül történt. A teszt során 200 ml vízmintát 50 ml egy hetes *Chlorococcum* tenyészzel inokuláltuk. A tenyészeteket 24 °C-on, állandó fényintenzitáson, steril levegővel való buborékoltatással neveltük 300 ml-es Erlenmeyer lombikokban, 250 ml végtérfogatban. A kontroll esetében az alga-tenyészetet a tenyészet fenntartására használt *Jaworski* médiumba oltottuk be. A tenyészetek növekedését a 800 nm-en mért optikai denzitás (OD₈₀₀) és a klorofill-a tartalom mérésével követtük nyomon. Az optikai denzitás vizsgálatához napon-ta 1 ml mintát vettünk. A klorofill-a tartalom meghatározásához 3 ml mintát centrifugáltunk (Type-320a mikrocentrifuga, 10000 rpm, 4 perc), majd a felülúszó eltávolítása után, metanolos extrakciót követően a mintákat fotometráltuk

(Spektroquant® Pharo 300 spektrofotométer), a klorofill-a tartalmat a mért értékek alapján számítottuk (Felföldy 1987).

Toxikus hatás vizsgálata állati szervezetekkel

Az egyes minták akut jellegű mérgezőképességét, rövidlejáratú víz-toxicológiai tesztekkel határoztuk meg. A gerinctelen élőlényekre kifejtett hatás mértéke *Daphnia* teszttel, míg a gerinces szervezeteket érintő toxikus hatás guppi teszttel állapítható meg (Felföldy 1987).

A gerinctelen állatokra kifejtett hatás vizsgálata

Daphnia teszttel (a teszt során alkalmazott szervezet a *Daphnia magna*). Az expozíció ideje: 72 óra.

A mintákat eredeti állapotban (hígítás nélkül) alkalmaztuk. A teszteléshez 200 ml-es üvegedényeket használtunk, 25 db azonos méretű és mozgásképességű *Daphnia* egyedeket helyeztünk 150 ml mintába. A kontroll esetében az állatokat a fenntartásukra használt akvárium vizébe helyeztük.

A tesztek kétszeres ismétlésben zajlottak, a kiértékelésnél a párhuzamos minták átlagát vettük figyelembe. Az egyes vízminták mérgezőképességére az expozíciós idő letelte után, a mintába helyezett vízibolhák állapotából, a mozgásképtelenné vált egyedek számából következtettünk.

A gerinces állatokra kifejtett hatás vizsgálata: statikus halteszttel (a teszt során alkalmazott szervezet a guppi, *Poecilia reticulata*). Az expozíció ideje: 72 óra.

A mintákat eredeti állapotban (hígítás nélkül) alkalmaztuk. A teszteléshez 1000 ml-es műanyag főzőpoharakat használtunk, 5 db azonos méretű és mozgásképességű guppi egyedeket helyeztünk 1000 ml mintába. A kontroll esetében az állatokat a fenntartásukra használt akvárium vizébe helyeztük. A tesztek kétszeres ismétlésben zajlottak, a kiértékelésnél a párhuzamos minták átlagát vettük figyelembe. Az egyes vízminták mérgezőképességére az expozíciós idő letelte után, a mintába helyezett halak állapotából, ill. az elpusztult egyedek számából következtettünk.

Eredmények

A részletes kémiai analízis eredményei

A minták sótartalmával, illetve ionösszetételével kapcsolatos adatokat a *III. táblázatban* összesítettük. A vizsgált termálvizek többsége nátrium-hidrogénkarbonátos típusú, míg a Földesről származó minta, amely vezetőképességét és ionkoncentrációját tekintve is kiemelkedik, típusát tekintve inkább a nátrium-kloridos típusba sorolható. A vezetőképesség szempontjából a termálvizek a 0-20 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tartományban 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es lépésközzel több, 3-4 kutat tartalmazó csoportba sorolhatók. Ezek a csoportok mintegy folyamatos átmenetet képeznek a különböző halfajok sótartalom igényét, illetve sótűrő képességét illetően. Az édesvízi halfajok sótűrő képessége kb. a 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vezetőképességet adó határnál húzható meg, így a kapott eredmények alapján a Debrecen Acsádi 1., Kaba és Földes termálvizek édesvízi haltermelésre túlságosan sósnak bizonyultak.

A nyolc fő ion koncentrációja és a termálvizek vezetőképesség értéke között jelentős korrelációt a nátrium- és kisebb mértékben a kloridion esetében találhatunk, a többi kation és anion esetében a kapcsolat nem egyértelmű. A termálvizek alkáli földfémion-tartalma (kalcium, magnézium), keménysége relatíve alacsony a nátriumionhoz viszonyítva, így a hidrogénkarbonátból származó jelentős pufferkapacitás ellenére a pH-érték stabilitása, 8,3 pH-érték körüli limitáltsága a lúgosító hatásokkal szemben nem biztosított.

A termálvizek szervesanyag- (KOI_k), ammónium- és fenoltartalmával összefüggő adatok a *IV. táblázatban* szerepelnek. A szervesanyag-tartalom oxigénháztartásra kifejtett hatása alapján a KOI_k értékének túrhetőségi határát termálvizeknél kb. 30-40 mg/L koncentrációnál húzhatjuk meg. Ez alapján a sorrendben utolsó négy-öt kút szervesanyag-tartalma mondható kritikusnak, Jászkisér a határon és Nádudvar, Hajdúszoboszló, Kaba, Püspökladány a határon túl.

A szervesanyag- tartalmon belül az összes fenolkoncentrációt illetően, jelentősebb élettani hatás és kezdődő izomlás a 0,4-0,5 mg/L koncentrációnál kezdődik. Az összes fenoltartalom szintén négy termálvízkút (Jászkisér, Nádudvar, Kaba, Püspökladány) esetén mondható aggályosnak.

I. táblázat: A vízminztát adó termálkutak legfontosabb adatai

Víztest/Mélység:	Település	VIZIG	Megye	Elhelyezkedés	Építés éve	Mélység	Vízhozam (L/M)	Vízhőm.	Hasznosítás
HU_pt2.4.									
>1000 m	1.	Debrecen	H-B	Fürdő I	1932	1611,90	1000	62	Balneológia
	2.	Földes	H-B	Rákóczi MgTsz. 2	1967	1344,00	750	66	Balneológia
	3.	Debrecen	H-B	Nagyerdő Strand VII	1963	1196,30	950	64	Balneológia
	4.	Mátészalka	Sz-Sz-B	Strand	1960	1009,00	1200	58	Balneológia
	5.	Nyírbátor	Sz-Sz-B	Strand	1971	1000,00	1150	52	Balneológia
	6.	Püspökladány	H-B	Strand II	1973	1086,00	2000	47	Balneológia
	7.	Hajdúszoboszló	H-B	Gyógyfürdő XIII	1994	1009,90	900	65	Balneológia
800-1000 m	8.	Baktalórántháza	Sz-Sz-B	Strand	1971	862,20	400	45	Balneológia
	9.	Hajdúböszörmény	H-B	Strand III	1971	998,10	636,00	48	Balneológia
600-800 m	10.	Kaba	H-B	Strand 2	1983	707,00	820	48	Balneológia
	11.	Nádudvar	H-B	Strand I/a	1977	700,00	1450	39	Balneológia
400-600 m	12.	Balmazújváros	H-B	Strand	1972	427,00	360	38	Balneológia
	13.	Szentpéterszeg	H-B	vízmű	1963	412,00	450	30	Nincs hasznosítva
<400 m	14.	Hortobágy	H-B	Hortobágy-Máta	1991	306,80	1520	30	Balneológia
HU_pt2.3.									
<900	15.	Komádi	H-B	Kendergyár	1963	983,40	600	50	Mezőgazdasági
	16.	Újiráz	H-B	vízmű	1967	545,00	1000	36	Ivóvíz
HU_pt2.2.									
900>	17.	Jászkisér	J-N-SZ	Strand	1972	1222,50	1872	69	Többlépcsős
	18.	Polgár	H-B	Strand	1973	960,00	1620	42	Balneológia
	19.	Tiszafüred	J-N-SZ	Strand I	1959	946,80	900	48	Balneológia
	20.	Tiszacsépe	H-B	TUKA Kendergyár	1963	993,10	685	51	Mezőgazdasági

III. táblázat: A termálvizek vezetőképessége és fő ionösszetétele
(Dr. Janurik Endre táblázata nyomán)

Minta jele	Vezetőképesség (20 °C)	m-Lúgosság	Klorid	Szulfát	Nátrium	Kálium	Kalcium	Magnézium
-	µS/cm	mval/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Tuka	826	9,9	30,5	8,08	154	2,22	21,5	3,7
Baktalórántháza	873	8,7	67,6	8,85	192	1,42	2,74	0,1
Szentpéterszeg	932	12,2	8,47	16,2	185	1,43	17,0	4,0
Tiszafüred	958	12,0	15,6	21,9	208	2,56	9,44	1,6
Mátészalka	1 045	11,9	50,8	9,96	242	2,67	5,25	0,6
Újiráz	1 048	12,5	6,64	56,3	224	2,29	8,11	1,7
Komádi	1 064	13,9	3,85	11,5	242	1,81	3,26	0,6
Jászkisér	1 287	16,6	10,2	19,7	276	4,99	6,08	1,4
Nyírbátor	2 050	15,1	316	10,8	440	3,66	6,63	1,4
Polgár	2 120	28,9	17,0	35,5	518	3,74	7,84	3,5
Hortobágy	2 810	29,6	245	23,2	644	4,44	2,19	0,5
Nádudvar	3 120	25,4	458	33,2	678	3,43	5,65	2,6
Püspökladány	3 590	17,3	824	32,1	689	5,79	29,5	9,8
Balmazújváros	3 780	26,6	661	25,7	825	5,96	6,02	1,8
Debrecen Nagyerdő 7. kút	3 990	50,1	610	22,7	874	6,75	6,73	3,1
Hajdúszoboszló	4 620	47,2	799	23,9	1 000	9,67	5,18	2,2
Hajdúböszörmény	4 890	26,9	1 080	21,8	942	8,56	10,6	4,0
Debrecen Acsádi 1.	6 870	32,7	1 730	22,9	1 460	14,8	12,1	5,0
Kaba	7 840	12,4	2 560	17,4	1 520	10,5	39,0	14,8
Földes	19 890	5,8	7 770	9,54	3 930	45,6	237	60

A mérgező ammónia/ammónium, illetve szabad ammónia koncentráció szempontjából a határ kb. 5 mg/L ammónium-nitrogén értéknél húzható meg. A közvetlen, haltermelési célú hasznosítás szempontjából a földesi, a kabai, a Debrecen Acsádi 1. és a püspökladányi termálvíz alkalmatlan, felhasználásuk csak közvetve, hőcserélőn keresztül ajánlható.

Alsó méréshatár feletti mérhető nitrit-nitrogén tartalom a földesi és jászkiséri termálvízben van, azonban még ezen értékek sem okoznak számottevő problémát. Valamennyi termálvíz nitrát-nitrogén és összes foszfortartalma megfelelő.

A termálvizek fémion, nehézfém összetételével kapcsolatban elmondható, hogy a fémionok közül a vas, mangán és lítium mg/L, a többi µg/L nagyságrendű, higanytartalom egyetlen termálvízben sem mérhető, a kadmium- és króm koncentráció az összes termálvízben 1 µg/L alatt van. A vastartalom a hortobágyi mintában a legnagyobb, vastalanítási kezelést, technológiát igénylő mértékben,

míg Szentpéterszeg esetében a vastalanítási kezelés szükségessége csak valószínűsíthető. A vas-mangán együttes kezelést tekintve a legnagyobb vaskoncentrációk mellett kisebb mangántartalmakkal, illetve a földesi minta nagyobb mangántartalma kisebb vastartalommal párosul.

A réz esetében három, Jászkisér, Hajdúböszörmény és Debrecen Nagyerdő 7. kút, az ólom esetében egy termálvíz, a balmazújvárosi tűnik ki nagyobb koncentrációval. A fémek, nehézfémek között korreláció nem található.

IV. táblázat: A termálvizek szervesanyag-, ammónium- és fenoltartalma
(Dr. Janurik Endre táblázata nyomán)

Minta jele	KOIk (eredeti)	Ammónium-nitrogén	Nitrit-nitrogén	Nitrácion	Összes nitrogén	Összes foszfor	Összes fenol
-	mg/L	Mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Újiráz	<2	0,387	<0,020	<0,443	0,871	0,166	0,051
Baktalórántháza	6	0,346	<0,020	<0,443	0,625	0,054	0,075
Komádi	6	0,995	<0,020	<0,443	1,52	0,147	0,098
Mátészalka	9	0,588	<0,020	<0,443	0,904	0,037	0,120
Nyírbátor	13	1,57	<0,020	<0,443	1,99	0,054	0,111
Tuka	15	1,84	<0,020	<0,443	2,22	0,211	0,150
Szentpéterszeg	20	1,85	<0,020	<0,443	2,45	0,170	0,423
Debrecen Nagyerdő 7. kút	25	5,17	<0,020	<0,443	6,04	0,120	0,212
Tiszafüred	26	3,64	<0,020	<0,443	3,88	0,099	0,338
Balmazújváros	31	4,32	<0,020	<0,443	5,01	0,086	0,272
Hajdúböszörmény	32	5,46	<0,020	<0,443	6,14	0,092	0,230
Hortobágy	32	4,49	<0,020	<0,443	4,69	0,115	0,473
Debrecen Acsádi 1.	33	12,2	<0,020	<0,443	12,5	0,083	0,259
Polgár	35	5,34	<0,020	<0,443	5,54	0,169	0,365
Földes	37	34,6	0,029	<0,443	42,6	0,038	0,209
Jászkisér	42	4,92	0,190	<0,443	5,79	0,061	0,760
Nádudvar	45	5,70	<0,020	<0,443	6,79	0,154	0,583
Hajdúszoboszló	47	6,93	<0,020	1,49	8,42	0,084	0,363
Kaba	60	13,1	<0,020	<0,443	13,9	0,147	0,420
Püspökladány	68	10,6	<0,020	<0,443	11,3	0,153	0,642

Biológiai tesztek eredményei:

Baktalórántháza, Balmazújváros, Hajdúböszörmény, Mátészalka, Nyírbátor termál-kutak

Algateszt

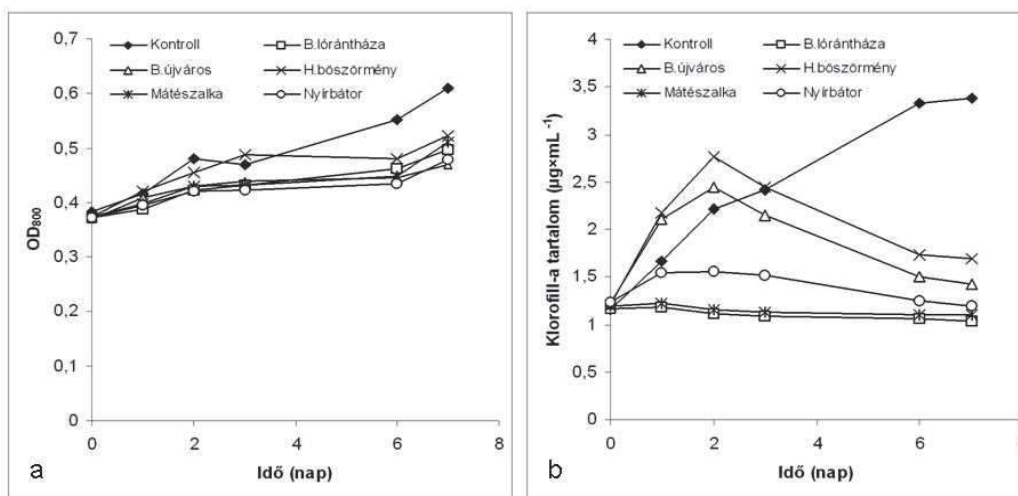
A vizsgálat során a tenyészetek növekedése valamennyi termálvíz esetében alulmaradt a kontrollhoz képest (1. ábra). A minták gátolták a tenyészetek növekedését, kifejezetten gátló hatással voltak a klorofill-a szintézisre. Az OD_{800} értékek alapján feltételezhető, hogy nem kifejezetten toxikus hatásra, hanem a minták növekedésgátlása elsősorban valamely tápanyag hiányára vezethető vissza.

Daphnia-teszt

A Daphnia teszt során a balmazújvárosi, hajdúböszörményi és mátészalkai mintákban volt megfigyelhető az állatok mozgásképtelenné válása. Az állatok aktiválásában már 24 óra elteltével negatív változás következett be mindhárom minta esetében, a 72 óra expozíciós idő eltelte után a balmazújvárosi mintában az állatok 33%-a, a hajdúböszörményi mintában 28%-a, a mátészalkai mintában 11%-a veszítette el mozgásképeségét. A baktalórántházai és nyírbátori minták nem voltak hatással az állatok aktivitására.

Guppi teszt

A guppik kevésbé mutatkoztak érzékenynek a mintákra, mint az a *Daphniák* esetében megfigyelhető volt: csupán a mátészalkai mintában tapasztaltunk 10%-os pusztulást. Az állatok pusztulása az expozíciós idő 60. órája után következett be.



1. ábra: A tenyészetek növekedése az optikai denzitás (OD_{800}) (a) és a klorofill-a (b) tartalom alapján

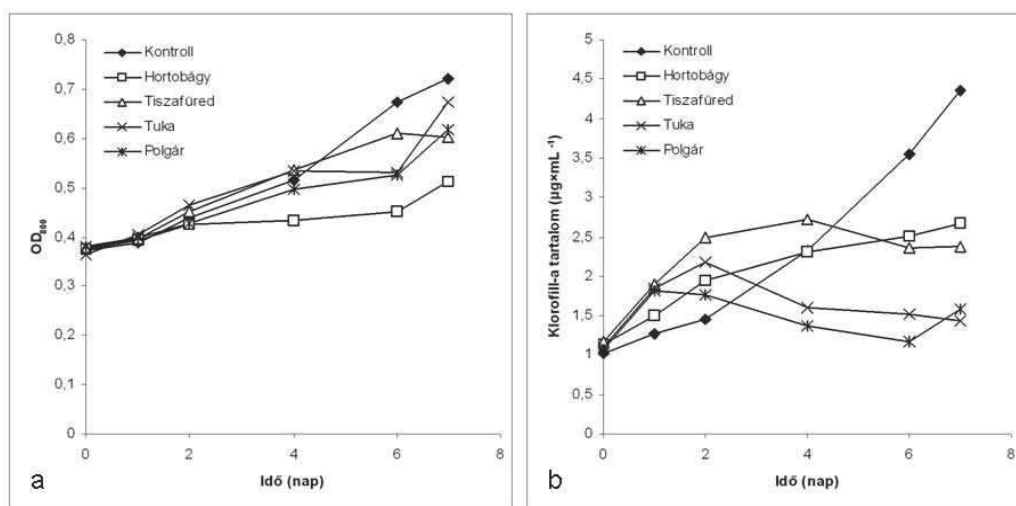
(Dr. Bácsi István és Antal László ábrája nyomán)

Hortobágy, Tiszafüred, Tiszacsege (Tuka), Polgár termálkutak

Algateszt

A teszt során a tenyészetek növekedése az expozíció első négy napján a kontroll tenyészetéhez hasonlóan alakult, sőt klorofill-a tartalom tekintetében felül is

múlták azt (2. ábra). Sejtszám tekintetében a hortobágyi, míg klorofill-a tartalom szempontjából a tiszacsegei (Tuka) és a polgári minták okozták a legnagyobb mértékű növekedésgátlást. A tenyésztés 7. napjára a tenyészetek növekedése gátlást szenvedett a termálvíz minták mindegyikében, 7-30%-os gátlás figyelhető meg az OD₈₀₀ értékek (sejtszám) alapján; 40-70%-os gátlás látható a klorofill-a tartalom alapján.



2. ábra: A tenyészetek növekedése az optikai densitás (OD₈₀₀) (a) és a klorofill-a (b) tartalom alapján

(Dr. Bácsi István és Antal László ábrája nyomán)

Daphnia-teszt

A *Daphnia* teszt során a hortobágyi, tiszafüredi és tiszacsegei (Tuka) mintákban tapasztaltuk az állatok mozgásképtelenné válását. A hortobágyi minta esetében az állatok aktivitásában már 12 óra elteltével negatív változás következett be, 36 óra elteltével rohamosan csökkent az élő egyedek aránya. A 72 óra expozíciós idő eltelte után a hortobágyi mintában az állatok 90%-a, a tiszafüredi mintában 27%-a, a tiszacsegei (Tuka) mintában 9%-a veszítette el mozgásképeségét. A polgári minta nem volt hatással az állatok aktivitására.

Guppi teszt

A guppi kevésbé mutatkoztak érzékenyek a mintákra, mint a *Daphniák*. A tiszacsegei (Tuka) mintában 12 óra elteltével elpusztult az egyedek 10%-a, további pusztulást ebben az esetben nem tapasztaltunk, azonban a hortobágyi mintában 40%-os pusztulást figyeltünk meg. Az állatok pusztulása az expozíciós idő 36. órája után gyors egymásutánban következett be. A guppi nem mutattak érzékenységet a *Daphniák* körében 27%-os pusztulást okozó tiszafüredi mintára.

Földes, Kaba, Nádudvar, Püspökladány termál-kutak

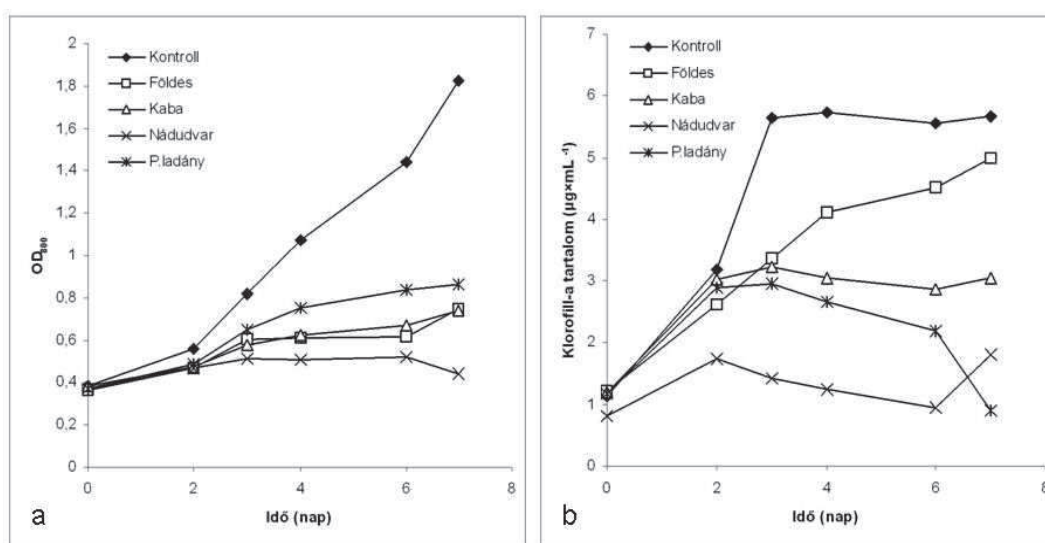
Algateszt

A teszt során a tenyészetek növekedése valamennyi mintában alulmaradt a kontroll tenyészetéhez képest (3. ábra). A növekedés gátlása már a 2. naptól megfigyelhető, elsősorban az OD₈₀₀ értékek (sejtszám) alapján, a földesi minta kisebb

mértékben gátolta a klorofill-a szintézist, azonban a többi mintában a klorofill-a tartalom is csökkenő tendenciát mutatott. A tenyésztés 7. napjára a tenyészetek növekedése gátlást szenvedett a termásvíz minták mindegyikében, a gátlás mértéke erőteljesebb az OD₈₀₀ értékek (sejtszám) alapján; a földesi minta kivételével több, mint 50%-os gátlás látható a klorofill-a tartalom alapján is. Az OD₈₀₀ értékek alapján, illetve a 2. nap után csökkenő tendenciát mutató klorofill-a tartalom alapján feltételezhető a kifejezetten toxikus hatás.

Daphnia-teszt

A *Daphnia* teszt során a földesi és kabai mintákban következett be a vízibolhák pusztulása. A 72 óra expozíciós idő eltelte után a kabai mintában az állatok 30%-a veszítette el mozgásképességét. A nádudvari és püspökladányi minták nem voltak hatással az állatok aktivitására.



3. ábra: A tenyészetek növekedése az optikai denzitás (OD₈₀₀) (a) és a klorofill-a (b) tartalom alapján
(Dr. Bácsi István és Antal László ábrája nyomán)

Guppi teszt

A guppi kevésbé mutatkoztak érzékenyek a földesi mintára, mint a *Daphniák*, bár már a 12. órában elpusztult az első egyed, az expozíciós idő végére az egyedek 60%-a életben maradt. A nádudvari és püspökladányi minták esetében azonban a guppi érzékenyebbek bizonyultak - a nádudvari és püspökladányi mintában 12 óra elteltével elpusztult az egyedek 10%-a -, az expozíciós idő végére mindkét mintában 20%-os pusztulást figyeltünk meg. A guppi kevésbé voltak érzékenyek a *Daphniák* körében 27%-os pusztulást okozó kabai mintára, de az állatok 10%-a ebben a mintában is elpusztult 36 órán belül.

Debrecen - Acsád 1. kút (Debr.1), Debrecen - Nagyerdő 7. kút (Debr.7), Hajdúszoboszló, Jászkisér, Komádi, Szentpéterszeg, Újiráz

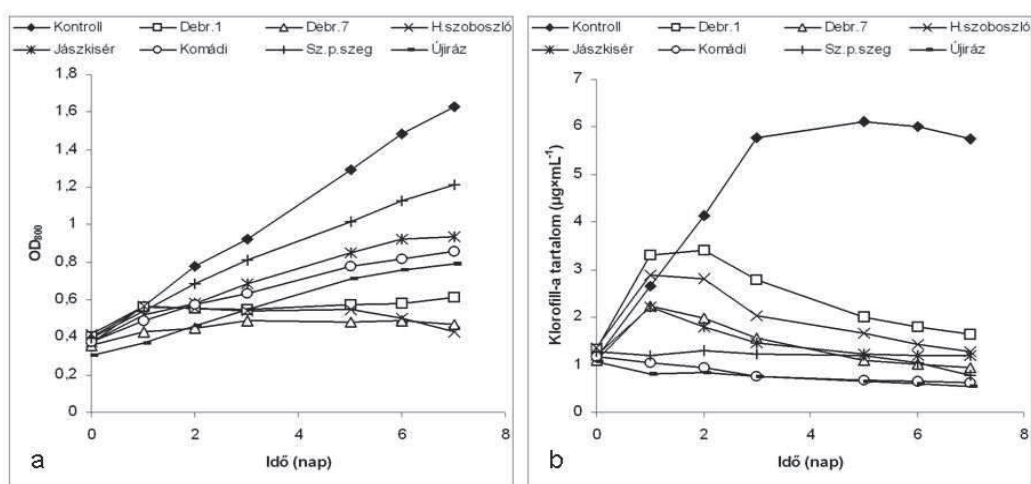
Algateszt

A teszt során a tenyészetek növekedése valamennyi mintában alulmaradt a kontroll tenyészetéhez képest mind az OD₈₀₀, mind pedig a klorofill-a tartalom alapján

(4. ábra). Az OD₈₀₀ értékek alapján a debreceni és hajdúszoboszlói minták esetén gyanítható toxikus hatás. A klorofill-a tartalom alapján a komádi, szentpéterszegi és újirazi mintákban figyelhető meg a klorofill-a szintézis azonnali gátlása, a többi mintában 1-2 napi növekedést követően a klorofill-a tartalom csökkenő tendenciát mutatott, ami elsősorban tápanyaghiányra utalhat. A tenyésztés 7. napjára a tenyészetek növekedése gátlást szenvedett a termálvíz minták mind-egyikében, különösen a klorofill-a tartalom alapján.

Daphnia-teszt

A *Daphnia* teszt során a debreceni és hajdúszoboszlói mintákban következett be a vízi bolhák pusztulása. A 72 óra expozíciós idő eltelte után a Debrecen (Acsádi) 1. mintában az összes állat elveszítette mozgásképességét, a Debrecen (Nagyerdő) 7. és a hajdúszoboszlói mintában az egyedek 18, ill. 12%-a maradt életben, az aktivitás gátlása már 24 óra elteltével elkezdődött ezekben a mintákban is. A többi minta nem volt hatással az állatok aktivitására.



4. ábra: A tenyészetek növekedése az optikai densitás (OD₈₀₀) (a) és a klorofill-a (b) tartalom alapján
(Dr. Bácsi István és Antal László ábrája nyomán)

Guppi teszt

A guppik ugyanazon minták esetében mutattak érzékenységet, mint a *Daphniák*. Leginkább szembeűnő különbség, hogy a Debrecen (Acsádi) 1. mintában csak 10%-os pusztulás következett be, míg *Daphniák* esetében az összes egyed elpusztult 72 óra alatt. A Debrecen (Nagyerdő) 7., ill. a hajdúszoboszlói mintákban 40-40%-os pusztulást detektáltunk. A komádi minta esetében azonban a guppik kis-mértékben érzékenyebbek bizonyultak - 24 óra elteltével elpusztult az egyedek 10%-a -, az expozíciós idő végére azonban nem tapasztaltunk további pusztulást.

Következtetések

A toxikológiai tesztek eredményeinek ismeretében megállapítható, hogy a vizsgált termál-kutak vize nem kedvez az algák elszaporodásának, illetve hogy a

fitoplanktonra gyakorolt gátló hatás elsősorban nem a toxicitáson keresztül érvényesül, hanem valamely tápanyag hiányából fakad. Ez alól kivételt képeznek a kabai, földesi, nádudvari, püspökladányi, debreceni és hajdúszoboszlói minták, amelyek esetében toxikus hatás állapítható meg.

Az állati szervezetekkel, vagyis *Daphnia magnával* és guppival végzett biológiai tesztek eredményei alapján kijelenthető, hogy a Baktalórántháza, Balmazújváros, Hajdúböszörmény, Mátészalka, Nyírbátor, Tiszafüred, Tiszacsege (Tuka), Polgár, Jászkisér, Komádi, Szentpéterszeg és Újiráz termálvíz minták esetében nem mutatkozott toxicitás. Az alkalmazott tesztállatok azonban érzékenyen reagáltak a kabai, a püspökladányi, a nádudvari és a debreceni 1-es (Acsádi) mintákra, amelyekben változó mértékben elhullást tapasztaltunk.

A biológiai vízminősítés mindhárom tesztrendszerének eredményei alapján kijelenthető, hogy az élő szervezetekre gyakorolt erős toxikus hatás következtében a hortobágyi, földesi, debreceni 7-es (Nagyerdő) és a hajdúszoboszlói termálvizek a közvetlen haltermelésre alkalmatlanok, felhasználásuk csak közvetve, hőcserélőn keresztül javasolható.

A toxikológiai tesztek és a vizsgált termálvizek minőségi analízisét összevetve megállapítható, hogy földesi, a kabai és a Debrecen Acsádi 1-es minták esetében az élő szervezetekre gyakorolt kedvezőtlen hatás elsősorban a magas sótartalom következménye.

A jelentős Na-ion koncentráció ellenére azonban, megfelelő K-kiegészítés mellett, ezen termálvizek akár közvetlenül is alkalmasak lehetnek olyan tág sótűréssel rendelkező halfajok termelésére, mint a barramundi (Partridge et al. 2008). A földesi termálvíz hasznosítását ugyanakkor nemcsak a só-, hanem a magas ammónium-, illetve mangántartalom is korlátozhatja. A jelentékeny ammónium-nitrogén és szervesanyag koncentráció a kabai és a Debrecen Acsádi 1-es minták esetében is aggályos lehet.

A hortobágyi termálvíz élő szervezetekre gyakorolt toxikus hatása a kémiai analízis eredményei alapján elsősorban a minta kiemelkedően magas vastartalmával áll összefüggésben. A hajdúszoboszlói és a debreceni 7-es (Nagyerdő) termálvíz a közvetlen haltermelési hasznosításra szintén alkalmatlannak bizonyult, ami feltehetően a jelentékeny szervesanyag, illetve réz-koncentráció következménye.

Az eredmények és a mintát adó kutak adatainak összevetése alapján jól látható a haltermelés szempontjából lényeges vízminőségi paraméterek, illetve a vízáadó víztestek és talpmélységek közötti kapcsolat. Kijelenthető, hogy az Észak Alföldi Régió HU_pt2.2. és HU_pt2.3. jelű víztestekhez kapcsolódó termálkútjai alkalmasak lehetnek a közvetlen hasznosításra. A legtöbb kutat adó, HU_pt2.4. jelű víztest termálvizeinek minősége azonban jelentős szórást mutat a talpmélység függvényében. A közvetlen haltermelési célú hasznosításra alkalmatlannak bizonyultak a 400 m fölötti (Hortobágy-Máta), a 600 és 800 m közötti (Kaba, Nádudvar) és az 1000 m alatti (Debrecen 1-es és 7-es, Földes, Püspökladány és Hajdúszoboszló) talpmélységgel rendelkező termál-kutak.

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy a baktalórántházi, a balmazújvárosi, a hajdúböszörményi, a mátészalkai, a nyírbátori, a tiszafüredi, a tiszacsegei (Tuka), a polgári, a jászkiséri, a komádi, a szentpéterszegi és az újirázi termálvíz minták esetében sem a biológiai, sem a kémiai vizsgálatok nem mutat-

tak ki jelentős minőségi problémát, így azok akár közvetlen haltermelésre is alkalmasak lehetnek.

Köszönetnyilvánítás

Kutatómunkánkat a *Baross Gábor Program 2009* által támogatásban részesült, *GEOHAL_09* azonosító jelű projekt keretében végeztük. A közleményben szereplő értékelésekért és táblázatokért köszönet illeti Dr. Janurik Endrét (HAKI), illetve Dr. Nagy Sándor Alexet, Dr. Bácsi Istvánt és Antal Lászlót (DE TEK-TTK Hidrobiológiai Tanszék).

Irodalomjegyzék

- Azaza, M., S., 2004. Tolerance to temperature and salinity in the tilapia of the Nile (*Oreochromis niloticus* L., 1758) in rearing in the geothermal waters of the south of Tunisia. Master Thesis, FST, 110pp.
- Azaza, M., S., Dhraief, M., N., Kraiem, M., M., 2008. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. *Journal of Thermal Biology*, Volume 33, Issue 2, pp. 98-105.
- Felföldy, L. 1987. A biológiai vízminőség. *Vízügyi Hidrobiológia* 16.VGI., 258p.
- Gelegenis, J., Dalabakis, P., Ilias, A., 2006. Heating of a fish wintering pond using low-temperature geothermal fluids, Porto Lagos, Greece. *Geothermics*, Volume 35, Issue 1, pp. 87-103.
- Gáspár, E., 2009. Magyarország geotermikus adottságai-termálkarszt gyógyvizek Magyarországon. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 77. kötet, pp. 181-187.
- Katersky, R. S., Carter, C. G., 2005. Growth efficiency of juvenile barramundi, *Lates calcarifer*, at high temperatures. *Aquaculture* 250, pp. 775-780.
- Katersky, R. S., Carter, C. G., 2007. A preliminary study on growth and protein synthesis of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* at different temperatures. *Aquaculture* 267, pp. 157-164.
- Kozák, M., Mikó, L. Geotermikus potenciál hasznosításának lehetőségei Kelet-Magyarországon. MSZET kiadványai No 2.
- Landy Kornélné, 2002. A geotermális energiahasznosítás Magyarországon. Szakdolgozat.
- Matthew, G., 2009. Taxonomy, identification and biology of Seabass (*Lates calcarifer*). http://eprints.cmfri.org.in/6062/1/7_Gra.pdf
- Partridge, G. J., Lybery, A. J., Bourke, D. K., 2008. Larval rearing of barramundi (*Lates calcarifer*) in saline groundwater. *Aquaculture* 278, pp. 171-174.
- Volvich, L., Appelbaum, S., 2001. Length to weight relationship of Sea Bass *Lates calcarifer* (BLOCH) reared in a closed recirculating system. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgah* 53 (3-4) pp. 158-163.