



DOKTORI (PhD.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**Mesterséges ivóhelyek kifejlesztése és hatékonyságuk vizsgálata természetes
vizeken**

Sziráki Bence

Gödöllő

2024

A doktori iskola megnevezése: Állatbiotechnológia és Állattudományi Doktori Iskola

Tudományága: Állattenyésztés-tudományok

Vezetője:

Dr. Mézes Miklós

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Állattudományi Alapok Intézet, Takarmányozástani Tanszék

Témavezető:

Dr. Ferincz Árpád

egyetemi docens, tanszékvezető

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Természetesvízi Halökológiai

Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS

Természetes vizeink halállományát napjainkban számos tényező veszélyezteti. A gyors, antropogén eredetű globális klímaváltozás hatására a mérsékelt égövben jellemzően visszaszorul a vizek téli jégborítása, növekszik átlagos hőmérsékletük, illetve szélsőségesebbé, a megszokottól eltérővé válik a vízjárás (áradások elmaradása, vagy jellemző időszakának módosulása). Ezek a folyamatok jelentős hatással vannak a halak ívásának sikerére, főképpen negatív irányban befolyásolva azt. Ezzel párhuzamosan a halállományok hasznosításának mértéke (kereskedelmi célú halászat, horgászat) továbbra is magas szintű, ami további csökkenéshez vezethet.

A Balaton halállománya jelenleg még közelítőleg sem nevezhető önfenntartónak. Ez napjainkban elsősorban a jelentős mértékű horgászati nyomásnak köszönhető, a horgászok által kifogott halmennyiség nem tud természetes úton pótlódni, mivel a korábbi vízrendezések (Sió-zsilip megépítése 1863-64, berkek lecsapolása) a természetes ívóhelyek jelentős részét megszüntették. A horgászok által elvárt halállomány-szerkezet fenntartása emiatt főként a haltelepítésektől függ.

A tó halközösségének egyik legfontosabb csúcsragadozója a fogassüllő (*Sander lucioperca*, a faj magyar neve a 2013. évi CII. törvény szerint „fogassüllő”, de a halászati és halgazdálkodási szakirodalom – így jelen dolgozat is – szinonimaként használja a rövidebb „süllő” fajnevet is), amelynek állományára a pontyével közel összemérhető, és egyre növekvő horgásznyomás irányul. Specziár 2010-es monográfiájában megállapítja, hogy a jelenlegi állományméret hosszú távon nehezen lesz fenntartható. A hasznosító elsősorban egynyaras süllőt helyez ki, de ennek beszerzése gyakran ütközik piaci korlátokba. A visszafogási adatok alapján a süllő „turnovere” (azaz a betelepített halak visszafogásának várható ideje) is a pontyhoz hasonlóan rövid.

1.1 CÉLKITŰZÉS

Dolgozatomban elsősorban a fogassüllő balatoni állományaira koncentrálva, az alábbi kutatási-fejlesztési célokat tűztem ki:

1. Megtervezni és tesztelni olyan könnyen kezelhető és sorozatgyártható ívófészkeket, amelyek időtállóak, több éven keresztül alkalmasak elsősorban a fogassüllő állomány-utánpótlásának támogatására.
2. Vizsgálni, hogy milyen alakú, méretű és szubsztrátborítású ívófészkek a leginkább hatékonyak - a lerakott ikramennyiséget tekintve.
3. Vizsgálni az egyes tesztelt szubsztrátumok közötti különbséget - a kelési hatékonyságot tekintve.
4. Elemezni a süllőfészkek a lerakott ikramennyiség szerinti hatékonyság adatainak évek közötti változatosságát.
5. Vizsgálni a különböző mederaljzat-típusok hatását az ívófészkek hatékonyságára.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A bentikus ívófészkek kihelyezésének helyszínei

A Balatonon Keleti- medencéjében négy, míg a Nyugati-medencében három vizsgálati helyszínen végeztünk vizsgálatokat. Ezek közül a fonyódi, balatonvilágosi és tihanyi helyszínek ismert, „tradicionális” süllőívhelyek, ún. akadók voltak, melyeket kemény, köves vagy márgás aljzat jelezett. A balatonberényi, balatonszemesi, balatonudvari, illetve siófoki helyszíneken az aljzat homokos iszap, amely önmagában nem megfelelő ívási szubsztrát a fogassüllő számára.

Az kísérleti helyszínek pontos lokalitását, illetve néhány alapvető jellemzőjét a 1. táblázatban ismertetem.

1. táblázat: A bentikus ívófészkek kihelyezési helyszíneinek jellemzői

Helyszínkód	Település	GPS (WGS84) koordináta	Távolság	mélység	Aljzattípus
			a parttól (m)	(m)	
1	Balatonberény	46.71891, 17.2949	770	2,8	lágý (iszapos)
2.	Fonyód	46.75038, 17.5399	540	3,6	kemény (köves/márgás)
3.	Balatonszemes	46.81374, 17.75693	570	3,2	lágý (iszapos)
4.	Balatonudvari	46.89414, 17.81006	550	3	lágý (iszapos)
5.	Tihany	46.9216, 17.8924	250	3	kemény (köves/márgás)

6.	Siófok	46.91524, 18.04744	460	3,8	lágý (iszapos)
7.	Balatonvilágos	46.96544, 18.15019	520	4,2	kemény (köves/márgás)

A kísérleti bentikus ívófészkek kihelyezésére az egyes vizsgálati években eltérő lokalitáson (2. táblázat) került sor. A kihelyezések időpontjai minden esetben március 10. és 16. közé estek, annak függvényében, hogy az időjárási körülmények (szél, illetve jégborítás) mikor tették lehetővé a munkavégzést.

2. táblázat: Az ívófészkek kihelyezésének ideje az egyes vizsgálati területeken

	Balatonberény	Fonyód	Balatonszemes	Balatonudvari	Tihany	Siófok	Balatonvilágos
2017	X	X	X		X		X
2018		X			X		X
2019		X			X		X
2020		X	X	X	X	X	X

2.2 A keltetési kísérletek helyszínei

A fészkekre rakott süllőikra kelésének sikerességét természetes körülmények között a Balatonban, illetve keltetőházi körülmények között, a potenciális ikrafogyasztók kizárásával vizsgáltam. A helyszín egyrészt a BHGNP Zrt. siófoki telephelyének kikötője, másrészt a BHGNP Zrt. buzsáki telephelyén, átfolyóvízes rendszerbe (halastóvíz) kötött 5m³ térfogatú medencék voltak. A keltetési kísérletben felhasznált fészkek kivétel nélkül a fonyódi vizsgálati helyszínről származtak.

2.3 A kísérleti bentikus ívófészkek kialakítása

A fészkek tervezésekor több követelményt is figyelembe kellett venni azon túl, hogy megfeleljenek a célfaj igényeinek. Egyrészt időtállóknak kell lenniük víz alatti körülmények között, hogy lehetőség szerint több éven keresztül is használhatóak maradjanak. Másrészt pedig olyan kialakítású fészkek létrehozása volt a cél, amelyek kezelése, szállítása és kihelyezése könnyen megoldható, akár emberi erővel is mozdítható.

A tesztek során összesen tízféle bentikus ívófészkek – prototípus működését vizsgáltuk.

1. 50x50cm-es, négyzet alakú alumínium (Al) keretbe hegesztett perforált Al-lemez: (A.) 6 cm szálhosszúságú műfűvel (B.) 3 cm-es szálhosszúságú fémhuzalra erősített polipropilén (PP) girlanddal borítva
2. 70x70 cm-es, négyzet alakú (Al) keretbe hegesztett perforált Al-lemez: (A.) 6 cm szálhosszúságú műfűvel (B.) 3 cm-es szálhosszúságú fémhuzalra erősített PP girlanddal borítva.
3. d=56cm átmérőjű, kör alakú keretbe hegesztett perforált Al-lemez: (A.) 6 cm szálhosszúságú műfűvel (B.) 3 cm-es szálhosszúságú fémhuzalra erősített PP girlanddal borítva.
4. d=80 cm átmérőjű, kör alakú keretbe hegesztett perforált Al-lemez: (A.) 6 cm szálhosszúságú műfűvel (B.) 3 cm-es szálhosszúságú fémhuzalra erősített PP girlanddal borítva.
5. d=56 cm átmérőjű, kör alakú keretbe hegesztett perforált Al-lemez: (A.) 6 cm szálhosszúságú műfűvel (B.) 3 cm-es szálhosszúságú fémhuzalra erősített PP girlanddal borítva, 5 cm átmérőjű PVC cső kerettel lebegtetve.

2.4 Az elvégzett vizsgálatok

2.4.1 Előzetes prototípus tesztelés – foglaltság vizsgálat

2017-ben elővizsgálatot végeztem, melynek célja volt tesztelni, hogy a megtervezett fészkeket egyáltalán elfogadják-e a halak, illetve a fészekkihelyezés, ellenőrzés és a mérések módszertana is ekkor kerültek kidolgozásra.

A 2017-es vizsgálati évben öt helyszínen kerültek kihelyezésre fészeksorok. A tízféle prototípusból egyenlő számban (5-5 db helyszínenként) véletlenszerűen egymás után kötve, egy sorban, egymástól 1,5 m távolságban rögzítve került a Balatonba március 16.-án.

Az első ellenőrzésre 2017. március 27.-én került sor, ekkor minden fészekről egyedi fotódokumentáció készült, rögzítésre került a foglaltság ténye vagy hiánya, illetve az ikrát lerakó halfaj (süllő/bodorka/vegyes).

2.4.2 Ikramennyiség meghatározása

Az egyes szubsztráttípusok egységnyi felületén megtapadó ikramennyiség vizsgálatához először terepi körülmények között kb. 10x10 cm-es mintákat vágtunk (3-3 db/szubsztráttípus). A mintavételre a fonyódi és a siófoki helyszíneken került sor 2018-ban, illetve 2020-ban. Ezután mindegyik mintából a lehető legnagyobb precizitással 3 db 2x2 cm-es almintát képeztem. Ezen almintákról az ikraszemeket óvatosan lefejtésre kerültek, majd az egységnyi felületre eső ikraszám (ikra/cm²) egy Leica DMS-1000 típusú digitális mikroszkóp alatt egyszerű számolással került meghatározásra. A fészkenkénti ikramennyiség meghatározása az ikrával borított felület mérete és az 1cm²-es felületegységre számított ikraszám segítségével került meghatározásra.

A foglalt fészkeken található ikramennyiségek meghatározásához a terepi ellenőrzések (felnézés) során készített digitális fotókat használtam. Az egyedi fészekfotókon az ImageJ szoftver használatával pixelben meghatározásra került az ikrával borított felület nagysága. Ezt követően a korábban meghatározott ikra/cm² összefüggést alkalmazva egyszerűen kiszámítható volt az egy fészekre jutó ikramennyiség.

2.4.3 A különböző típusú ívófészkek hatékonyságának vizsgálata az ikraszámok alapján

A 2018-as évtől a lebegtetett fészkek kizárása után, az összes további fészektípus esetében vizsgáltuk a lerakott ikramennyiségek alapján mért hatékonyságot. Az egyes fészkek közötti távolság két méter volt. A sorok két darab 10 kg-os súllyal rögzültek az aljzathoz. A sorokat a két végükön 2-2 kisebb bója jelölte, az egész kísérleti területet pedig 4 db 200 l-es, sárgára festett hordóból készült bója határolta. Egy soron 6 db fészkek voltak, melyek típusai méret és borítás szerint is véletlenszerűen követték egymást.

A fenti kísérleti elrendezés 2018 és 2020 között minden évben egyforma kiosztásban került kihelyezésre a fonyódi, tihanyi és balatonvilágosi helyszínekre. A fészkek kihelyezését egy ORCA 540 típusú munkahajóból háromfős személyzet végezte.

A fészkekellenőrzések hetente történetek, a felnézés során minden fészekről egyedi fotódokumentáció készült (Nikon D500 fényképezőgép, AF-Nikkor DX 35mm f/1,8G fix objektív) függetlenül attól, hogy regisztrálható volt-e rajta ikraszem.

2.4.4 Az aljzatviszonyok hatásának tesztelése

A bentikus ívófészkek különböző aljzatviszonyok melletti hatékonyságát a 2020-as vizsgálati évben vizsgáltuk. A három kemény (köves, márgás) aljzattal rendelkező vizsgálati helyszín (Fonyód, Tihany, Balatonvilágos) mellett három olyan helyszínt (Balatonszemes, Balatonudvari, Siófok) is kijelölésre került, ahol az aljzat iszap illetve iszapos homok volt. A fészekkihelyezés a korábbiaknak megfelelő módszertannal került kivitelezésre 2020 március 10 – 11.-én, 4,3 °C-os vízhőmérséklet (siófoki helyszín, a vízfelszínen mérve) mellett. Az ellenőrzéseket hetente végeztük. Az ívás a március 27.-ét megelőző maximum 5 napban történt, ekkor a vízhőmérséklet 6,8 °C volt (Siófok, vízfelszín).

2.5.4 Ikrakeltetési kísérletek

A vizsgálatra 2019. március 28. és 2019. április 1. között került sor. A keltetési kísérlethez a fonyódi helyszínről kiemelt fészkek késedelem nélkül átszállításra kerültek a siófoki, illetve buzásági helyszínekre, ügyelve arra, hogy a szállítás alatt ne sérüljenek, illetve nedves állapotban maradjanak. A kísérlethez a termékenyült ikraszemeket a Balatonba kihelyezett fészkek egy részéről a szubsztráttal együtt eltávolítottuk. Az ikraszemeket tartalmazó szubsztrátokból egységnyi, 3 x 3 cm-es darabokat vágtam, melyeket lesúlyozva egy vékony damil segítségével egy a vízfelszín közelében kifeszített kötélre függesztettem, a vízfelszíntől 30 cm távolságra.

A Balatonon a vízhőmérséklet $8,5 \pm 1$ °C, míg a tógazdaságban $10,2 \pm 2$ °C volt a kísérlet időtartama alatt. Az ikrafejlődést Leica DMC-1000 digitális mikroszkóp alatt, kezdetben 12 óránként, majd 4 óránként ellenőriztem, és “életképesnek”

tekintettem minden olyan ikraszemet, amelyben a kikelés előtt 1-2 órával intenzíven mozgó, fejlett és torzulástól mentett embrió volt látható.

2.5 Adatelemzés

Az alapadatokat $\log(x+1)$ függvény segítségével transzformáltam. A normál eloszlás tesztelését Kolomogorov-Smirnov teszttel végeztem minden esetben (95 %-os) konfidencia szinten. Amennyiben a normailtásfeltétel teljesült parameters próbákat (Student-féle t-teszt, egyszempontú varianciaanalízis – ANOVA) használtam. Ha paraméteres próba nem volt használható, akkor Kruskal-Wallis (KW) tesztet alkalmaztam. Az ANOVA-k eredményeinek értékelése után páronkénti összevetésekhez a széles körben alkalmazott Tukey-féle post-hoc tesztet alkalmaztam, míg a KW teszt után a Dunn-féle tesztet használtam.

A különböző aljzattípusok potenciális hatásainak vizsgálatához többutas faktoriális ANOVA-t használtam, melyben az “ikraszám”-ot tekintettem függő változónak, míg az “alakot”, a “méretet”, a “szubsztrátot” és a helyszínt faktoroknak. Az összes elemzést az R statisztikai környezetben végeztem.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Előzetes prototípus tesztelés

A 2017-es vizsgálat során kihelyezett 250 bentikus ívófészkek közül 148-at (59,2%) foglaltak el a halak. Ha azonban az adatsorból kizárjuk a „lebegő” fészkek-prototípusokat (5.A és 5.B), ez az arány megemelkedik (66%).

A „lebegő” prototípusok a gyakorlatban nem váltak be, a halak nem foglalták el azokat, feltehetően a helyi áramlások zavaró hatása miatt. Ezek a fészkek az ellenőrzésükkor is rendre összekuszált állapotban kerültek a felszínre. Emiatt a későbbi tesztelésekből is kizárásra kerültek.

Az öt vizsgálati helyszín között jelentős variabilitás mutatkozott a fészkek foglaltsága tekintetében (52-72%).

A süllőikrán kívül jelentős arányban volt megtalálható bodorka ikra is a fészkeken: az összes foglalt fészkek 68%-ára ívtak süllők, 20%-ra csak bodorka, míg 12% esetében mindkét faj ivarterméke megtalálható volt.

A fészkek foglaltsági arányát tekintve szignifikáns különbség volt kimutatható az iszapos, illetve köves aljzattal rendelkező vizsgálati helyszínek között (Student-féle t-teszt, $t=3,6$, $df=3$, $p=0,034$).

A köves, kemény aljzatviszonyok mellett regisztrálható magasabb fészkekfoglaltsági értékeknek többféle háttere lehet. Egyrészt feltételezhető (illetve az ellenőrzések során a gyakorlat is megerősíti), hogy a könnyen mobilizálódó lágy üledék egyszerűen nagyobb eséllyel borítja be, illetve szélsőségesebb esetben temeti be a fészkeket. Ilyen esetekben a halak egyszerűen nem veszik észre a fészkeket, így letisztogatni sincs lehetőségük. Az is előfordulhat ugyanakkor, hogy az ívási időszakban a süllők kevésbé használják az iszapos élőhelyeket.

A süllő esetében nem áll rendelkezésre korábbi vizsgálati adat az ívóhely aljzatát tekintve. Északi süllő (*Sander vitreus*) esetében rádiótelemetriás vizsgálatok segítségével kimutatták, hogy ívási időszakban kerül ki az iszapos aljzattal rendelkező, vagy sűrű növényzettel borított élőhelyeket. Ezen közel rokon faj esetében ismert az is, hogy a lerakott ikraszemek szinte egyáltalán nem kelnek ki iszapos, illetve lágyüledékkel jellemezhető kísérleti rendszerekben. Megjegyzendő ugyanakkor az is, hogy a fogassüllővel ellentétben a az északi süllő nem őrzi a fészket, így a tejes halak által végzett üledékeltávolítás sem érvényesül, ami miatt az ikraszemek könnyebben kerülnek anaerob környezetbe.

A foglaltsági adatokat megvizsgáltam az egyes fészektípusok szerint is. Ebben az esetben statisztikai módszerrel igazolható különbséget nem sikerült kimutatni (ANOVA: $F=0,85$, $df=7$, $p=0,55$). Annak ellenére, hogy két fészektípus (kisméretű, kerek műfüves, illetve nagyméretű, négyzet alakú girlanddal borított) átlagosan magasabb foglaltsággal volt jellemezhető, a minden esetben magas szórásnak köszönhetően ez csupán véletlenszerűnek tekinthető. A fentiek alapján fészektípus szerinti preferenciát nem sikerült meghatározni.

Az előzetes prototípus tesztelés során bebizonyosodott, hogy a megtervezett ívófészkek -az úszófészkek kivételével- alkalmasak az üzemi körülmények közötti további tesztelésre. A süllő, illetve bodorka számára megfelelő ívási felületet biztosítanak.

3.2. Az egységnyi felületre eső ikramennyiség meghatározása

3.2.1. 2018-as vizsgálat

A 2017-es vizsgálatok tapasztalatai alapján a fészkek kihelyezésére már korábban, március 12.-13.-án sor került. A számláláshoz az ikrával borított szubsztrát-darabokat 2018. március 28.-án gyűjtöttük. Az egységnyi (1x2 cm) szubsztrát-felületről az ikraszemek eltávolíthatók és így számolhatók voltak.

A digitális mikroszkóp alatt végzett számolás eredménye szerint egységnyi műfü szubsztráton átlagosan több (350 ± 158 db) ikraszem található, mint a fenyőgirland szubsztráton (305 ± 88 db,), de a két szubsztrát között statisztikai módszerrel nem volt igazolható különbség (Student-féle t-teszt: $t=0,55$, $df=8$, $p=0,29$), felehetően a nagy szórás miatt. Ennek értelmében a két szubsztráttípus esetében, az egységnyi felületen megtapadó ikraszemek mennyiségében érdemi és gyakorlati szempontból jelentős különbség nincs.

5.2.2. 2020-as vizsgálat

A 2020-as évben a felületegységre jutó ikramennyiség számítását megismételtem, mivel az aljzathatás vizsgálatához mindenképp friss adatot kívántam használni. Ebben az esetben az 1 cm^2 -re jutó ikramennyiség műfü esetében $107,4 \pm 74$ -nek, míg fenyőgirland esetében $78,3 \pm 51$ -nek bizonyult. A két érték statisztikai összevételére alkalmazott t-próba ezúttal sem igazolt különbséget (Student-féle t-teszt: $t=0,913$, $df=4$, $p=0,18$).

Megállapítható továbbá, hogy a két vizsgálati évben mért átlagos értékek páronként (műfü-műfü – girland-girland) eltérést nem mutatnak (Student-féle t-tesztek: $p>0,05$, 6. táblázat). A regisztrált magas szórásértékek oka lehet, hogy a halak nem feltétlenül egyenletesen rakják le az ivarterméket, így egyes,

véletlenszerűen a mintába kerülő felületen jelentősen változó mennyiségű ikraszem található.

3. táblázat: Egységnyi (1 cm²) szubsztráton számolható ikraszemek (db) a 2018-as és a 2020-as vizsgálatban

	műfű		fenyőgírland	
	átlag	szórás	átlag	szórás
2018	175	79	107,4	74
2020	152,5	42,5	78,3	51

A két vizsgálat eredményei közül a 2020-ast használtam a további elemzések során.

3.3. Az aljzatviszonyok hatásának tesztelése

A 2020-as vizsgálati évben a kihelyezett ívófészkek összesen 89%-át foglalták el süllők. A foglaltsági arány kismértékben alacsonyabb volt lágy (iszap, homokos iszap) aljzatviszonyok mellett (84,9%), mint a kemény (köves, márgás) aljzat esetében (95,8%). A két érték közötti különbség nem bizonyult statisztikai módszerrel igazolhatónak (Student-féle t-teszt: $t=1,067$, $df=2$, $p=0,19$).

A fészkenkénti átlagos ikraszámot tekintve a faktoriális ANOVA szignifikáns hatást igazolt a méret, a szubsztrát típusa és az aljzat tekintetében. A nagyobb méretű fészkeken átlagban szignifikánsan több ikraszem volt megtalálható, függetlenül annak alakjától, illetve a szubsztráttípustól. Ugyanakkor a műfű szubsztrát igazolhatóan hatékonyabbnak bizonyult, mint a fenyőgírland, a lágy aljzatra kihelyezett ívófészkeken pedig egyértelműen kevesebb ikraszem volt megtalálható. A fenti igazolható hatások mellett semmilyen kombinált hatás nem volt kimutatható.

A mesterséges bentikus ívófészkek rendkívül hatékony eszköznek bizonyultak a süllő ívatására természetes körülmények között, Közép-Európa legnagyobb sekély tavában. Annak ellenére, hogy a különböző típusú mesterséges fészkek tógazdasági körülmények között elterjedtnek mondhatók, természetesvízi alkalmazásukról nem áll rendelkezésre adat.

Eredményeink alapján a mesterséges fészkek mérete kulcsfontosságú tényező annak -ikramennyiségben mérhető- hatékonyságát tekintve. A rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján természetes vízben a tejes süllők kb. 50 cm-es átmérőjű fészkeket készítenek az aljzaton. Ennek megfelelően a legtöbb kísérleti eszköz is 50x50 cm-es volt, illetve alakjukat tekintve -az egyszerűbb előállíthatóság miatt- többnyire szögletesek. Mindössze néhány szerző tesz említést nagyobb: 65 x 65 cm vagy 89 x 89 cm ívófészkek alkalmazásáról.

Természetesvízi körülmények között azért lehet előnyös a nagyobb méretű ívófészkek használata, mert az ívó süllőpárok nem a tógazdaságban kezelhető méretű anyahalak közül kerülnek kiválasztásra. Valószínűsíthető, hogy a süllők a felkínált ívófészkeket a Balatonban rendelkezésre álló természetes ívóhelyekhez képest preferálják, így elsősorban a nagyobb méretű halegyedek foglalják el őket. Mindemellett azért is tűnnek jobb választásnak, mert nagyobb fészkek esetén az ikraszemek kevésbé szóródnak szét az aljzaton, a tejes süllő így hatékonyabban tudja védelmezni őket. Ehhez az aktivitáshoz hozzájárul a kifejlesztett fészkek lapos kialakítása is. Bár jelen kísérletsorozat esetében nem vizsgáltuk az ikrafaló fajok hatását, megjegyzendő, hogy az északi süllő esetében jelentősnek volt mondható az ikrapedáció, ugyanakkor az is meg kell említeni, hogy a *S. vitreus* tejesei nem őrzik sem a fészket, sem az ivadékot.

A kísérleti ívófészkek hatékonysága – az ikramennyiség tekintetében- kemény aljzaton egyértelműen magasabbnak bizonyult, mint lágy, iszapos aljzatviszonyok között, ugyanakkor az elfoglalt fészkek mennyisége nem különbözött. Bár a süllő szaporodását már korábban is említik iszapos

aljzatviszonyok között, jelen vizsgálat eredményei azt engedik feltételezni, hogy az ilyen aljzatviszonyok szuboptimálisak a faj számára. Ha azt feltételezzük, hogy a nagyobb testméretű egyedek foglalják el először az ívóhelyeket, akkor a kisebb testméretű, így kevesebb ikrát lerakó halaknak a kevésbé optimális feltételeket biztosító ívóhelyek jutnak. A Balaton esetében tapasztaltak ezt azonban legalább részben árnyalják. A tény, hogy az elfoglalt fészkek száma nem volt különbözőnek tekinthető a kétféle aljzattípus esetében, csak a lerakott ikraszemek mennyisége volt kevesebb, arra enged következtetni, hogy a Balatonban összességében kevés a rendelkezésre álló, jó minőségű ívóhely a süllő számára. Ez a korábbi vizsgálatok által jelzett korai (planktonfogyasztó) életszakaszban jelenlevő táplálékhiány, illetve kannibalizmus mellett negatívan befolyásolhatja a horgászok által jelentős mértékben hasznosított süllőállomány stabilitását.

3.4. Keltetési kísérlet

Az életképes (kelés előtt intenzíven mozgó) embriók aránya a keltetőházi átfolyóvízes kísérletben $88,10 \pm 10$ % volt a műfű, míg ennél minimálisan alacsonyabb $85,9 \pm 13$ % a fenyőgírland esetében. A siófoki kikötőben végzett kísérletben hasonló, minimálisan magasabb értékeket (rendre: $91,2,10 \pm 16$ %, $90,9 \pm 14$ %) regisztráltam. Statisztikai módszerrel igazolható különbség sem a vizsgált szubsztrátok között, sem pedig a két kísérleti helyszín között nem volt igazolható (ANOVA $F=1,0061$, $df=3$, $P=0,394$).

Az életképes embriók aránya mindkét esetben kifejezetten magasnak bizonyult és csak igen kis mértékben különbözött. A műfű tömött, szálas szerkezete nem eredményezett megnövekedett ikrapusztulást sem oxigénhiány, sem pedig fertőzés miatt. Ez az eredmény megerősíti a korábbi feltevést, mely szerint süllő esetében a kelési arány magasabb lesz mesterséges (műanyag, nem biodegradálható) aljzatok esetében. Ez azzal magyarázható, hogy az elsősorban

fakultatív patogén a szaprofita gombák alacsonyabb denzitásban vannak jelen ezeken a felületeken. Ezt a képet némiképp árnyalja, hogy nemrégiben igazolták számos patogén mikroba megtelepedését egy magyarországi víztározóba kihelyezett műanyag aljzaton.

Megemlítendő továbbá, hogy a siófoki kikötőben jelentős mértékű ikrapredációt tapasztaltunk a kihelyezett szubsztrát darabokon. Ez nem ismert mértékben, de mindenképpen csökkentette az ikraszemek denzitását. Ezzel párhuzamosan azonban nem volt jelentősen magasabb az életképes embriók aránya. Annak ellenére sem, hogy az átfolyóvizes rendszer esetében a táplálóvíz lebegőanyagtartalmának egy része kiülepedett az ikraszemek felszínére.

Összességében megállapítható tehát, hogy a kelési sikerességet nem befolyásolja érdemben a mesterséges szubsztrát típusa, a gyakorlati alkalmazás során elsődlegesen a beszerezhetőség, az ár-érték arány, illetve az időtállóság határozhatja meg az alkalmazást.

3.5. A különböző típusú ívófészkek hatékonyságának hosszú távú (3 év) vizsgálata

A hosszú távú vizsgálatokat a 2018-as és 2020-as szaporodási időszakok során ismert, kemény (márgás, köves) aljzattal jellemezhető vizsgálati helyszínen végeztem. A kísérleti helyszínek (Balatonvilágos, Tihany, Fonyód) és a kihelyezett fészkek elrendezése mindhárom vizsgálati évben megegyezett.

3.5.1. Fészektípusonkénti ikramennyiség változások az egyes vizsgálati években

Mindhárom élőhely esetében szignifikáns eltéréseket tapasztaltunk az egyes fészektípusok esetében regisztrált ikramennyiségek között (Kruskal- Wallis

tesztek: $H_{\text{Balatonvilágos}} = 70,79$, $H_{\text{Tihany}} = 68,93$, $H_{\text{Fonyód}} = 66,89$, $P < 0,00001$ mindhárom esetben. A Dunn post-hoc tesztel végzett páronkénti összevetések azonban kizárólag csak az ívófészkek mérete alapján igazolt szignifikáns különbséget.

A balatonvilágosi mintavételi helyszín esetében jellemzően alacsony variancia volt regisztrálható mind az egyes fészektípusok tekintetében, mind a típuson belüli, évek között ikramennyiségek tekintetében.

A tihanyi vizsgálati helyszín esetében az előzőhöz hasonló mintázatot tapasztaltunk. A négyzet alakú, műfűvel borított fészkek esetén az 2018, illetve 2020 években a többi értékkel összevetve magasabb szórásokat regisztráltunk, de típuson belül az átlagok között statisztikai módszerrel igazolható különbség nem volt ebben az esetben sem.

A jelenség hátterében a vizsgálati helyszín aljzatviszonyának egyenetlenségei állhatnak. A tihanyi „akadón” jelentős törések, szakadások, ill. szikla-kiemelkedések található, elképzelhető, hogy ezek miatt néhány fészkek nem ideális pozícióban feküdt az fenéken, így a süllők csak részben használták ívási aljzatként.

A fonyódi vizsgálati helyszín esetében a tihanyi és a balatonvilágosi helyszínhez képest jelentősebb eltérések fedezhetők fel.

A nagyméretű, kerek, fenyőgírlanddal borított fészektípus esetében 2018-ban és 2020-ban, míg a nagyméretű, négyzet alakú, fenyőgírlanddal borított fészektípus esetében 2020-ban viszonylag magas szórásértékek mellett, de alacsony -a kisméretű fészkekkel összemérhető- ikramennyiségeket regisztráltam. Ennek lehetséges okai, hogy ezen az ívóhelyen kisebb átlagos testméretű süllőanyák gyűltek össze. Az is elképzelhető ugyanakkor, hogy a fonyódi „akadó” nagy kiterjedése miatt ezen a helyen sokkal több és jobb minőségű természetes ívóhely áll rendelkezésre, amelyet a nagy testméretű süllők előnyben részesítettek a

mesterséges aljzatokkal szemben. Ez utóbbi feltételezést árnyalják a műfűvel borított fészkek esetén magas ikraborítási értékek.

3.5.2 Az ívófészkek hatékonyságának vizsgálata a helyszín és az év hatásának együttes figyelembevételével

Az elvégzett faktoriális ANOVA eredményei alapján megállapítható, hogy a vizsgálati évek közötti különbségeknek (időjárás, víz hőmérséklet, vízállás) nem volt igazolható hatása a kísérleti bentikus ívófészkekre rakott ikramennyiségekre.

A kihelyezés helyszínének azonban annak ellenére is igazolható hatása volt, hogy ebben az elemzésben csak a kemény (márgás, köves) aljzattal jellemezhető élőhelyek adatait vettem figyelembe. Ebben szerepet játszhat a helyszínnek kismértékben, de eltérő abiotikus környezeti jellemzői). Mivel sem a jelöléses, sem pedig a populációgenetikai vizsgálatok nem igazoltak valódi, populáció szintű elkülönülést a Balaton egyes részei (medencéi) között a süllőállományban, ezért szinte kizárható, hogy a különbséget az egyes helyeken szaporodó egyedek életmenet-sajátosságaiban kellene keresni.

Az ívófészkek mérete és a szubsztrát minősége tekintetében a különbséget az idősoros adatokat figyelembe vevő vizsgálatok megerősítették.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kifejlesztett bentikus ívófészkek nagy hatékonysággal használhatók a Balatonon, illetve más halgazdálkodási vízterületeken. Különösen jól használhatók olyan vízterekben, ahol a természetes ívóhelyek korlátozottan állnak rendelkezésre. A süllő esetében -a faj szaporodási viselkedését, azaz a teljes halak ívóhelytisztítási tevékenységét kihasználva- az ívófészkek hatékonynak bizonyultak iszapos aljzatviszonyok között is. Ez különösen figyelemre méltó a

Balaton tekintetében, mivel a nagy vízfelületű, sekély tó esetében a szél, illetve a hullámozás következtében könnyen mobilizálódó üledék nagy valószínűséggel temeti be a kihelyezett ívófészkeket. Erre a jelenségre kisebb horgásztavak, illetve víztározók esetében nem, vagy csak elhanyagolható mértékben kell számítani.

Az ívófészkek megfelelően korai időszakban való kihelyezésével elérhető, hogy kizárólag süllők vegyék azokat használatba, ugyanakkor a bodorkaikra jelenléte bizonyítja, hogy adott esetben más halfaj számára is alkalmas ívóhelyet jelentenek a kifejlesztett mesterséges struktúrák.

A korábbi vizsgálatokkal ellentétben egyértelműen javasolható a nagyobb méretű ívófészkek kihelyezése. Bár jelen kutatásban nem vizsgáltam, a halak esetében általánosan ismert, hogy a lerakott ikramennyiség - illetve a süllő esetében az ikrával borított szubsztrát mérete - függ az ikrás testméretétől. Emiatt az ívófészkek méretének optimalizálásához további támpontot nyújthat az adott víztestben élő süllők testhossz-eloszlásának ismerete. Ez a gyakorlatban nyilvánvalóan csak kisebb méretű horgásztavak esetében mérhető fel megfelelő hatékonysággal.

A lágyüledékkel (iszap) borított aljzatra kihelyezett ívófészkek relatíve jelentős foglaltsága nem csak arra a tényre hívja fel a figyelmet, hogy a Balatonban rendelkezésre álló ívóhelyek mennyisége jelentős mértékben korlátozott. A halak egy részénél ismert jelenség az ún. „nesting fidelity”, azaz ívóhelyhűség fogalma. A fogassüllő közeli rokona, az észak-amerikai északi süllő esetében is megfigyelt jelenségről a hazai faj esetében kevés adat áll rendelkezésre, ezek is leginkább az ivarérett egyedek esetében tapasztalható élőhelyhűségről („homing”) szolgáltatnak információt. A Balaton esetében a nagy mennyiségben rendelkezésre álló iszapos aljzattal rendelkező élőhelyek önmagukban feltehetően nem teszik lehetővé a süllők sikeres szaporodását. A 2017-es és 2020-as vizsgálati évben azonban tapasztaltunk ívást az ilyen helyekre kihelyezett fészkek esetében

is, azaz a későbbiekben javasolható a süllő ivóhelykeresési viselkedésének vizsgálata.

A 2018 és 2020 között zajló standardizált vizsgálatok során az ívás időpontja a szakirodalmi adatokhoz jól illeszkedve március végén történt. A 2020-as vizsgálati év márciusának második felében érkező két jelentősebb lehűlés hatására a víz hőmérséklet (Siófok, vízfelszín), mindössze 5,5°C volt. Ez jelentősen elmarad a hazai vizek esetében a szakirodalom által említett értékektől (10°C körül). Az északi süllő esetében végzett vizsgálatok kimutatták, hogy ezen közeli rokon faj esetében a cirkadián ritmust nagymértékben befolyásoló fotoperiódusnak, azaz a nappalok hosszának kiemelkedően fontos szerepe van az ívás, illetve az előtte zajló hormonális folyamatok beindításában. A jelen vizsgálat során tapasztaltak alapján mindenképpen indokolt ezen kérdésnek további vizsgálata süllő esetében is.

A doktori munkámban végzett vizsgálatok eredményei alapján, a BHGNP Zrt. 2250 db 80 cm átmérőjű, kerek, műfü szubsztráttal borított ívófészket gyártott le. Ezeket jelenleg is, a kidolgozott protokollnak megfelelően évente kihelyezik, majd a süllő szaporodási időszaka után (május-június) felszedik és karbantartják.

A kifejlesztett bentikus ívófészek egyrészt kifejezetten hatékony eszközök a süllők természetes vizeken, illetve halgazdálkodási létesítményekben való ívatására, ugyanakkor nyilvánvalóan önmagukban nem oldják meg az antropogén hatásokkal különböző mértékben terhelt élőhelyeken előforduló halak természetes utánpótlásának problémáit. A Balatonban évente kihelyezésre kerülő fészkekmennyiségre elméletben hozzávetőleg 1 milliárd ikraszem kerül. Kísérleteink alapján ennek 90%-a kikel ugyan, de mivel a tóban nem áll rendelkezésre a zsenge ivadéknak megfelelő táplálék (zooplankton), ezért elenyésző része, hozzávetőleg 0,001-0,005 %-a nő fel 1 nyaras koráig. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az kihelyezett fészek hektáronként 1,5 – 7,5 egynyaras süllőt jelenthetnek a Balaton egészére vonatkoztatva. Ezt az értéket

Bíró (1997) becslésével (2,4-7,5 db süllő/ha) összevetve mégiscsak jelentős mértékben járulhatnak hozzá az állomány hosszútávú, fenntartható hasznosításához. Mindemellett megjegyzendő, hogy a nagy mennyiségű ívófészek kezelése évről-évre jelentős feladat a halgazdálkodó számára, hiszen az eszközök kihelyezése, begyűjtése, karbantartása (mosás, javítás) mind jelentős humánerőforrás illetve üzemanyagköltséget jelent.

Ahogy arra már korábban utaltam, a mesterséges ívóhelyek használata, valamint a BHGNP ZRt. által a helyi horgászrendben előírt, az országosnál lényegesen szigorúbb fogási szabályozás (alsó és felső méretkorlát, kvótarendszer) fontos lépcsőfok a süllő - illetve bármilyen más célhalfaj – fenntartható, a Balaton esetében horgászati célú halgazdálkodás megalapozása felé. Hosszabb távon azonban a jelenleginél komplexebb, vízgyűjtő szintű élőhelyrehabilitációs, illetve élőhelyfejlesztési tevékenység szükséges mindehhez. A Balaton-vízgyűjtőn napjainkban is megtalálhatók olyan természetközeli élőhelyek (pl. Nagyberék, Pogányvölgyi-vízfolyás, Lesence-Nádasmező), melyeket a tóval ismét, legalább az ívási időszakban átjárható módon összekötve egyszeri beruházással is jelentős eredményeket lehetne elérni nemcsak a süllő, de a teljes balatoni halfauna tekintetében. Ezen élőhelyek -egykori Balaton-öblözetek- nemcsak jelentős mennyiségű természetes ívóhellyel szolgálnának, hanem jellegükből adódóan (sekély, dús vegetációjú élőhelyek) az ivadék megmaradására is pozitív hatással lehetnének.

A fentieket összefoglalva, doktori munkám legfontosabb eredménye egy olyan új eszköz, amelynek alkalmazhatóságát a halgazdálkodási gyakorlatban tudományos vizsgálatokkal, üzemi szintű kísérletekben is alátámasztottam.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Igazoltam, hogy a süllő számára megfelelő ívási aljzatot jelentenek az aljzaton nyugvó (bentikus), teljesen mesterséges struktúrák, míg a lebegtetett fészkek nem alkalmasak a faj egyedei számára.
2. Megállapítottam, hogy a süllő faj estén, a vizsgált összesen nyolcféle ívófészkek prototípus között, azok foglaltsági viszonyait (ikraszemeket tartalmazó fészkek) tekintve nem mutatható ki különbség, azaz méret, alak vagy szubsztrátpreferencia.
3. Kimutattam, hogy két kereskedelmi forgalomban kapható mesterséges fészkekborítás (szubsztrát) típus (fenyőgirland és műfű) hatékonyságában (ikraszem/cm²) nincs igazolható különbség, így a gazdaságossági szempontokat (beszerezhetőség, ár, tartósság) figyelembe véve egyformán alkalmazhatók.
4. Kimutattam, hogy -a korábbi szakirodalmi adatokkal ellentétben- célszerű nagyobb méretű (80 cm átmérőjű kerek vagy 70 cm élhosszúságú négyzetes) mesterséges ívófészkeket a süllők rendelkezésére bocsátani, annak érdekében, hogy az ikraszemek minél nagyobb része kerüljön a mesterséges szubsztrátra.
5. Megállapítottam, hogy az átlagos ikramennyiség (ikraszám/fészkek) tekintetében a 80 cm átmérőjű, kerek, műfűvel borított fészkek esetében regisztrálhatók a legmagasabb értékek, emiatt, illetve a műfű tartóssága miatt ez a típus sorozatgyártásra javasolható.
6. Kimutattam, hogy a kifejlesztett bentikus ívófészkek a süllő számára szuboptimális, lágy (iszapos, lágyüledékes) aljzatviszonyok között is a

kemény aljzatviszonyokhoz hasonló hatékonyságúak a foglaltság tekintetében. A lerakott ikramennyiséget tekintve ugyanakkor szignifikánsan kevesebb ikraszem volt regisztrálható a lágy aljzatra helyezett fészkek esetében.

7. Kimutattam, hogy mindkét tesztelt szubsztrát-típusról (műfű és fenyőgirland) hasonlóan nagy hatékonysággal (85% felett) keltethető süllőikra.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

1. **Sziráki, B.**, Staszny, Á., Juhász, V., Weiperth, A., Nagy, G., Fodor, F., Havranek, M., Koltai, T., Szári, Zs., Urbányi, B., Ferincz, Á. (2021): Testing the efficiency of artificial spawning nests for pikeperch (*Sander lucioperca* L.) under natural conditions (Lake Balaton, Hungary). *Fisheries Research*, 243 p. Paper 106070. (Q1, IF=2,42)
2. Staszny, Á., Paulovits, G., Takács, P., Juhász, V., Prigl, S., **Sziráki, B.**, Urbányi, B., Ferincz, Á. (2019): The role of ontogenetic development in fish scale shape changes, *Applied Ecology And Environmental Research* 17: 2 pp. 3535-3544. (IF=0,74) Q3
3. Juhász, V., Staszny, Á., **Sziráki, B.**, Szári, Zs., Nagy, G., Havranek, M., Németh, F., Jankovics, Z., Urbányi, B., Ferincz, Á. (2020): Különböző mesterséges süllőfészkek tesztelése a Balatonban, *Halászat* 113 (1): 24-32.
4. **Sziráki, B.**, Staszny, Á., Urbányi, B., Szári, Zs., Fodor, F., Nagy, G., Tulipán, T., Németh, F., Havranek, M., Ferincz, Á. (2018): Development of artificial spawning nests for pikeperch (*Sander lucioperca* L.) in a highly modified shallow lake (Lake Balaton, Hungary) In: *Proceedings of the 5th European Congress of Conservation Biology*, Jyväskylä, Finland
5. **Sziráki, B.**, Staszny, Á., Juhász, V., Fodor, F., Urbányi, B., Szári, Zs., Nagy, G., Havranek, M., Ferincz, Á. (2019): Testing various artificial spawning nests of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) in Lake Balaton, In: *Fresh Blood for Freshwater 2019: Book of abstracts*, 102-103.