

INTERREG V-A Ausztria- Magyarország Program „Vizes élőhelyek ökológiai hálózatának fejlesztése az osztrák–magyar határrégióban”

A Pinkán és a Rábán létesített halátjárók működési hatásosságának elemzése (AT2.2)

Kutatási zárójelentés

Dr. Sály Péter

1163 Budapest, Cziráki u. 15. II/11a.

E-mail: peter_saly@yahoo.co.uk

Készült: Felsőpakony, 2021. május 31.

Szerzői jogi nyilatkozat:

Ezen dokumentum (kutatási jelentés) az Őrségi Nemzeti Park Igazgatóságon (9941 Őriszentpéter, Városszer 57.) bárki számára szabadon hozzáférhető. Azonban a dokumentum tartalma a Szerző szellemi tulajdonát képezi, annak bármely részének felhasználása kizárólag a Szerző hozzájárulásával és a forrás pontos megjelölésével megengedett.

© Dr. Sály Péter

Javasolt idézési forma:

Sály P. (2021): A Pinkán és a Rábán létesített halátjárók működési hatásosságának elemzése. INTERREG V-A Ausztria- Magyarország Program: Vizes élőhelyek ökológiai hálózatának fejlesztése az osztrák–magyar határrégióban. Kutatási zárójelentés. Felsőpakony, p47.

Tartalomjegyzék

	Oldal
Táblázatok jegyzéke	4
Ábrák jegyzéke	5
Összefoglalás	6
Abstract	8
Rövidítések és fogalomértelmezések	10
1. Bevezetés	12
1.1. Halátjáró vonzási hatásossága	13
1.2. Belépési késlekedés	13
1.3. Áthaladási hatásosság	14
1.4. Áthaladási idő	14
1.5. Áthaladt halak testhosszának eloszlása	14
1.6. Áthaladt halfajok száma	14
2. Kutatási előzmények	16
3. Célkitűzés	17
3.1. A hatásosságvizsgálat feltételezései	18
4. Módszerek	19
4.1. Alapadatok	19
4.2. Áthaladási valószínűség	19
4.3. Áthaladási idő	20
4.4. Standard testhossz	20
5. Eredmények	22
5.1. Jelölési alapadatok feltárása	22
5.2. Adatminőség-ellenőrzés	22
5.2.1. Sikertelen jelölések	23
5.2.2. Detektált ismeretlen egyedek	23
5.2.3. Azonos időben két helyen detektált egyedek	24
5.2.4. Negatív áthaladási idők	24
5.2.5. Hiányzó adatok	24
5.2.6. Adatminőség-ellenőrzés összefoglalása	24
5.3. Adatminőség-ellenőrzésen átesett detektálási adatok feltárása	25
5.4. Áthaladási valószínűség	26
5.5. Áthaladási idő	26
5.6. Standard testhossz	29

6. Értékelés	37
6.1. Áthaladási valószínűség	37
6.2. Áthaladási idő	38
6.3. Standard testhossz	38
6.4. Fenológiai hatások	39
6.5. Alvíz felé történő áthaladások	39
6.6. Következtetések	39
6.7. Javaslatok a hatásossági vizsgálat módszertani fejlesztéséhez	40
Hivatkozások	43
Mellékletek	44
A. Detektálási és jelölési napok	44
B. Áthaladási események hónapok közötti gyakorisági eloszlása	47

Táblázatok jegyzéke

	Oldal
1. A halátjárók műszaki jellemzői	16
2. A halátjárók, valamint a jelölt halak visszaengedésének koordinátái	16
3. Jelölt halak számának jelölési napok és helyek szerinti eloszlása	22
4. Jelölt halak számának fajok és helyek szerinti eloszlása	23
5. Sikertelenül jelölt egyedek fajok és helyek közötti eloszlása	23
6. Ismeretlen egyedek PIT címke kódja (ID)	23
7. Detektálási duplumok	24
8. Negatív áthaladási idők	24
9. Hiányzó testhossz adatok	25
10. Detektált egyedek számának fajok és helyek szerinti eloszlása	25
11. Halátjárón áthaladt és nem áthaladt halak megfigyelt eloszlása	27
12. Az áthaladási valószínűség becslései (Bernoulli GLM)	27
13. Az áthaladási valószínűség helyek közti különbségei (Bernoulli GLM)	28
14. Áthaladási idő megfigyelt eloszlása helyek és fajok szerint	29
15. Az áthaladási idő becslései (gamma GLM)	30
16. Az áthaladási idő helyek közti különbségei (gamma GLM)	31
17. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek megfigyelt testhossz-eloszlása .	32
18. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek testhosszának becslései (gamma GLM)	34
19. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek testhosszának különbségei (gamma GLM)	36

Ábrák jegyzéke

	Oldal
1. Az áthaladási valószínűség becslései (Bernoulli GLM)	28
2. Az áthaladási valószínűség időbeli időbeli változása (Kaplan-Meier görbék) .	29
3. Áthaladási idő megfigyelt eloszlása helyek és fajok szerint	30
4. Az áthaladási idő becslései (gamma GLM)	31
5. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek megfigyelt testhossz-eloszlása .	33
6. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek testhosszának becslései (gamma GLM)	35
A1. Detektálási és jelölési napok 2019-ben	44
A2. Detektálási és jelölési napok 2020-ban	45
A3. Detektálási napok 2021-ben	46
B1. Áthaladási események hónapok közötti eloszlása helyek és évek szerint	47

Kivonat

Az Őrségi Nemzeti Park Igazgatóság (9941 Őriszentpéter, Városszer 57.) egy nemzetközi határmenti együttműködési projektben (*WeCon – Vizes élőhelyek ökológiai hálózatának fejlesztése az osztrák- magyar határ régióban*, projektazonosító: ATHU077) vizsgálatokat kezdett három helyen, a Pinkán Felsőcsatárnál, a Rábán Ikervárnál és Szentgotthárdon lévő halátjárók működésének megismerése céljából. A vizsgálat első szakaszában rádiófrekvenciás azonosító technológia (RFID) alkalmazásával hét halfaj, összesen 3000 példányát egyedi azonosító kódot (ID) tartalmazó PIT válaszjeladókkal jelölték meg, majd a jelölést követően a halátjárók alvívén visszaengedték őket a folyóba, és az átjárók felvízi végpontjára telepített jelfogó berendezéssel rögzítették a jelölt halak jelfogó-berendezés hatáskörzetében való megjelenésének időpontját. Az adatgyűjtési szakasz 2019. áprilisa és 2021. május közepe között zajlott, megszakításokkal, helyenként eltérő hosszúságú üzemidőszakokkal. A vizsgálat második szakaszában a gyűjtött adatok statisztikai feldolgozása történt, melyet a jelen kutatási jelentés ismertet.

A kutatás elsődleges célja a halátjárók működési hatásosságát jellemző mutatók értékeinek becslése, és azok helyek (halátjárók) közötti összehasonlítása volt, a felvíz irányába történő áthaladások vonatkozásában. A halátjárók hatásossága az áthaladási valószínűség, az áthaladási idő, valamint az átjárón áthaladt és át nem halad halak testhosszkülönbsége szempontjából került értékelésre. A fő adatelemzések általánosított lineáris modellekkel (*Generalized Linear Models*) készültek. Mivel a jelölt egyedek gyakoriságának fajok közötti eloszlása nem volt egyenletes, a részletes fajsztípus elemzésekben csak három nagy gyakorisággal jelölt faj, a márna (*Barbus barbus*), a paduc (*Chondrostoma nasus*), és a fejes domolykó (*Squalius cephalus*) adatai szerepeltek.

A gyűjtött alapadatok többféle hiányosságot és adat-rendellenességet tartalmaztak (hiányzó ID, hiányzó testhossz, ismeretlen egyed, detektálási duplum, negatív áthaladási idő), melyek a fő adatelemzésekben kizárásra kerültek. A hatásossági mutatók adott helyre vonatkozó értékeinek becslései fajfüggően változtak. Az áthaladási valószínűség várható értéke 0.006 (Felsőcsatár, *Chondrostoma nasus*) és 0.36 (Ikervár, *Barbus barbus*) közé esett, és Ikerváron mindhárom faj esetében szignifikánsan nagyobb volt, mint Felsőcsatáron. A márna esetében az ikervárra becsült áthaladási valószínűség a szentgotthárdi értéknél is jelentősen magasabb volt.

A jelöléstől a legkorábbi detektálásig eltelt áthaladási idő várható értékének becslése és helyek közötti összehasonlítása, az áthaladási események alacsony száma miatt paduc esetén Felsőcsatárra és Szentgotthárdra nem volt lehetséges. A fennmaradó hely-faj csoportok vonatkozásában az áthaladási idő várható értéke 47.31 (Felsőcsatár, *Barbus barbus*) és 118.85 (Ikervár, *Squalius cephalus*) nap közé esett. A márna és a domolykó áthaladási ideje egyaránt szignifikánsan hosszabb Ikerváron, mint Felsőcsatáron, illetve a domolykó ikervári áthaladási ideje annak szentgotthárdi áthaladási idejétől is lényegesen hosszabb volt.

A paduc alacsony áthaladási esetszáma Felsőcsatáron és Szentgotthárdon, a halátjárón áthalad és át nem haladt egyedek testhosszáinak összehasonlítását sem tette lehetővé. Az egyéb hely-faj csoportok közül háromnál volt szignifikáns testhosszkülönbség az áthalad és

át nem haladt halak testhosszának várható értéke között. Azonban a becsült testhosszkülönbségek nagysága ($|\Delta SL| = 9.20\text{--}14.77$ mm) a halátjárók hatásosságára nézve nem tekinthető relevánsnak.

Az eredmények arra utalnak, hogy a három halátjáró nem egyforma hatásossággal működik. A leghatásosabb halátjárónak az ikervári, a legalacsonyabb hatásúnak a felsőcsatári, míg a szentgotthárdi köztes hatásosságúnak tűnik. Azonban a jelenlegi vizsgálati elrendezés behatárolta a kutatási célok eléréséhez alkalmazható elemzési lehetőségeket. Ezért a jelenlegi eredmények nem informálnak arról, hogy az egyes átjárók mennyire attraktívak a halak számára, mennyi az átjáró két végpontja között történő tényleges áthaladás ideje, milyen az átjárók felvízről alvíz felé történő használata, és milyen a halátjárók használatának időbeli mintázata. A hatásossági mutatók megbízhatóbb feltárása, valamint a halátjáróknál található keresztműtárgyak ökológia hatásának átfogó megismerése a vizsgálatok folytatásától várható, amihez az eddigi tapasztalatok alapján megfogalmazott javaslatok szintén olvashatók a kutatási jelentésben.

Kulcsszavak — élőhely fragmentálódás, halvándorlás és diszperzió, hosszirányú átjárhatóság, ökológiai barrier, potamodrom halfaj, vízerőmű

Abstract

Órség National Park (H-9941 Őriszentpéter, Városszer 57., Hungary) studied the operation of three fishways constructed on dams located on the Pinka River at Felsőcsatár, and on the Rába River at Ikervár and Szentgotthárd, Hungary, as part of an international project (project identifier: ATHU077). In the first phase of the study, Radio Frequency Identification (RFID) technology was used, and a total of 3000 individuals of seven fish species were marked with Passive Integrated Transponder (PIT) tags, released back to the river downstream of the dams, and the timestamp of their passage were recorded by antennas and reader units established at the upstream endpoint of the fishways. Data collection took place between April 2019 and May 2021; the operational period differed between the sites, and contained interruptions too. Data processing and statistical analyses of the collected data were conducted in the second phase of the study; results are presented in this research report.

The primary aim of the study was the estimation of performance metrics, and their comparison between the sites (fishways) with regard to the upstream fish passage. Effectiveness of the fishways was assessed by the metrics of passage probability, passage duration, and the difference in the standard length of the fish passed and not passed. Generalized Linear Models were used for the main analyses. Because the frequency of the tagged individuals was rather uneven among the species, only data of three species tagged in a number suitable for detailed analyses, the barbel (*Barbus barbus*), the common nase (*Chondrostoma nasus*), and the chub (*Squalius cephalus*) were used.

Collected data contained missing values and anomalies (missing ID, missing standard length, unknown individual, duplicated detection, negative passage duration), which were removed prior to the main analyses. Performance metrics estimated for a given site varied by species. Expected passage probability ranged between 0.006 (Felsőcsatár, *Chondrostoma nasus*) and 0.36 (Ikervár, *Barbus barbus*), and was significantly greater to Ikervár than to Felsőcsatár for all three species. Furthermore, in case of the barbel, the passage probability estimated to Ikervár was significantly greater than that was estimated to Szentgotthárd.

Estimation and between-site comparison of the passage duration, the time passed from tagging to the first detection, was not possible with Felsőcsatár and Szentgotthárd in case of the nase due to low frequencies of the successful passage events. Passage duration varied between 47.31 (Felsőcsatár, *Barbus barbus*) and 118.85 (Ikervár, *Squalius cephalus*) days in case of the other groups of the site–species combinations. Passage time of both the barbel and the chub at Ikervár were significantly longer than at Felsőcsatár, and the passage time of the chub at Ikervár was remarkably longer than that was estimated at Szentgotthárd.

The low frequencies of the successful passage events of the nase at Felsőcsatár and Szentgotthárd neither allowed the comparison of the standard length of the fish passed and not passed. Out of the other site–species combinations, there were three cases when the expected value of the standard length differed between the fish passed and not passed. However, the extent of the estimated differences ($|\Delta SL| = 9.20\text{--}14.77$ mm) was irrelevant regarding the effectiveness of the fishways.

Results suggest that the three fishways are different in effectiveness. The fishway of Ikervár seems to be the most effective, that of the Felsőcsatár is the least effective, and the

effectiveness of the fishway of Szentgotthárd is in-between the two. However, in some aspects, the study design limited the analyzing possibilities, so some questions remained unanswered. We do not know how attractive the fishways are for the fish, how long the effective passage duration is, that is how long time needs for the fish to get from one endpoint of the fishway to the other, how high the downstream passage rate is, and what the temporal pattern of fishway use is like. Answers to these questions and more reliable exploration of the performance metrics can be expected from the continuation of the study, which can lead to an overarching understanding of the ecological effect of the dams. Recommendations to improve the study design are also included in the report.

Keywords — *ecological barrier, fish migration and dispersal, habitat fragmentation, hydropower dam, longitudinal connectivity, potamodromous fishes*

Rövidítések és fogalomértelmezések

Alapadatok Az Igazgatóság által adatelemzésre kiadott fájlokban található adatrekordok halmaza.

Alvízi irány A vízfolyás futásvonalának a duzzasztó keresztműtárgytól alacsonyabban levő szakasza. A duzzasztó keretszelvényén állva az az irány, amerre a folyó vize elfolyik.

Áthaladási esemény Egy jelölt egyed azonosítójának a jelölést követő kézi szkennelrel történt leolvasási időpontja után a halátjáró felső végpontjába telepített jelfogó antennán történt legkorábbi észlelése. Alvíz felől felvíz felé történő mozgás miközben a hal keresztülhalad a halátjárón. A jelöléstől számított legkorábbi észlelés itt azért lényeges, mert a halátjárók csak a felső végpontjukon voltak jelfogó antennával felszerelve, és a legkorábbi észlelési eseményt követő többi észlelési eseményről nem dönthető el, hogy a hal felvízről alvíz felé áthaladt-e a halátjárón.

Áthaladási idő Egy jelölt egyed azonosítójának a jelölést követő kézi szkennelrel történt leolvasási időpontja és a hallépcső felső végpontjába telepített jelfogó antennán történt legkorábbi észlelés között eltelt idő. Magában foglalja a kézi szkennelrel történt leolvasás és a visszaengedés közötti, a visszaengedés és a halátjáró felkutatása közötti, valamint a halátjáró alsó végpontján való belépéstől annak felső végpontjáig történő eljutás közötti időtartamokat.

Észlelési esemény A halátjáró felső végpontjába telepített jelfogó antennán történt adat rögzítés, ami a jelet gerjesztett egyed azonosítókódjának (ID) és az észlelés időpontjának tárolását jelenti. Detektálás.

Barbar Márna (*Barbus barbus*).

Chonas Paduc (*Chondrostoma nasus*).

Detektálási nap Olyan naptári nap, melyen legalább egy észlelési esemény történt.

Felső Felsőcsatár.

Felvízi irány A vízfolyás futásvonalának a duzzasztó keresztműtárgytól magasabban levő szakasza. A duzzasztómű keretszelvényén állva az az irány, amerről a folyó vize a duzzasztóhoz folyik.

GLM Általánosított lineáris modell (*Generalized Linear Model*).

ID Jelölt halegyed PIT címkéjében levő egyedi azonosítókód (alfanumerikus karakterlánc).

Ikerv Ikervár.

Interakció Statisztikai értelemben két magyarázó változó közötti kölcsönhatás, ami azt jelenti, hogy az egyik magyarázó változó értékének függőváltozóra gyakorolt hatását befolyásolja a másik magyarázó változó értéke, és *vice versa*.

Jelölési nap Olyan naptári nap, melyen a halakba PIT tag-et ültettek.

Kiugró adatérték A többi megfigyelt adattól távol eső adatérték. Olyan adat, amely az eloszlás alsó kvartilisétől, illetve felső kvartilisétől, az interkvartilis terjedelem 1.5-szeresét meghaladó különbséggel kisebb, illetve nagyobb.

Konfidenciaintervallum Egy véletlen változó várható értékének (átlagának) becslésére vonatkozó értéktartomány, amely az ismeretlen várható értéket egy bizonyos megbízhatósággal lefedi. Egy átlagra vonatkozó 95%-os konfidenciaintervallum megmutatja azt, hogy ha az ismeretlen átlag becslését *azonos körülmények között* (mintanagyság és becslési eljárás) egymástól függetlenül (minden alkalommal újonnan gyűjtött minták adatain) 100 alkalommal elvégeznénk, akkor a becslt átlagok a 100 becslésből 95 esetben a szóban forgó konfidenciaintervallum alsó és felső végpontja közötti értéktartományba esnének.

PIT tag A jelölt halak hasüregébe vagy halfalizomzatába ültetett, egyedi azonosító kódot tartalmazó passzív válaszjeladó egység (*Passive Integrated Transponder*), PIT címke.

RFID Rádiófrekvenciás azonosító technológia (*Radio Frequency Identification*). Részei: halakba ültetett, egyedi azonosító kódot hordozó válaszjeladó egység (ld. PIT tag), ellenőrzési pontra telepített antenna és leolvasó egység, áramforrás (pl. akkumulátor), adattároló egység (számítógép).

Szent Szentgotthárd.

Squcep Fejes domolykó (*Squalius cephalus*).

1. Bevezetés

A természetes vízfolyások nyújtotta társadalmi előnyökre vonatkozó igények gyakori formája a környezetbarát energiatermelés. A víztömeg gravitációs mozgásának elektromos árammá történő hatékony átalakítása érdekében a folyók vizét keresztművekkel duzzasztják fel, hogy a vízjárástól (kisvizes aszályos, és magas vizes árvizes időszakok) mindinkább függetlenül, egyenletes teljesítménnyel történjen a villamosáram termelése.

A keresztműves duzzasztás egyúttal megváltoztatja a folyó hidrogeomorfológiai tulajdonságait (mederteltség, áramlási sebesség, aljzatfrakciók összetétele), a duzzasztó feletti (felvízi) és az az alatti (alvízi) szakaszon egyaránt. Ez a változás a folyó élővilágára is hatást gyakorol. Különösen látványosak lehetnek a halállományban előidézett változások, ugyanis a duzzasztóművek az élőhelyszerkezet megváltoztatása mellett, közvetlen fizikai akadályt állítanak a folyón felfelé és lefelé igyekvő halak elé. Ez az ún. barrierhatás, ami lecsökkenti vagy akár teljesen meg is szünteti a halak számára a duzzasztó feletti és alatti folyószakaszok közötti hosszirányú átjárhatóságot, vagy ökológiai konnektivitást. A hosszútávon fennálló barrierhatás következményeként szélsőséges esetben a felvízi szakaszokról akár teljesen el is tűnhetnek halfajok, ahogyan az a hazai tokféleinkkel is történt a Dunán Romániában létesített erőművek átjárhatatlansága okán. A környezetbarát energiatermelés és a természetes élőhelyek, valamint azok biológiai sokféleségének megőrzése ezért társadalmi igénykonfliktusban találkozik.

A vízerőművek barrierhatásának mérséklése lehetséges, ha az újonnan létesítendő, avagy már üzemben levő erőműveket olyan vízügyi létesítményekkel látják el, melyen a halak a duzzasztóművet egy a folyóval párhuzamos mellékágon képesek megkerülni. Ezeket a létesítményeket hallépcsőknek, vagy halátjáróknak nevezik.

A halátjárók műszaki kialakítása (halátjáró típusa, úthossza, alsó és felső végpontja közti magasságkülönbség) a helyi adottságok és a beruházási lehetőségek függvényében változik. A műszaki jellemzőiktől függően az egyes átjárókat a halak más-más hatékonysággal képesek használni. Az átjárón való áthaladás minden fázisában (megközelítés, belépés, tényleges áthaladás) vannak olyan kritikus tényezők, melyek befolyásolják az áthaladás sikerét ([Silva et al., 2018](#)). A megközelítés akkor hatásos, ha a halak könnyen rátalálnak a halátjáróra. Az áthaladás szempontjából egyébként kedvező kialakítású, de a halak által nehezen fellelhető átjárók ugyanolyan gyenge hatásúak, mint a jól megközelíthető, de nehezen átkelhető átjárók. A belépési fázisban a halnak fel kell ismernie az átjárót, és döntenie kell, hogy belép-e abba. A döntés kimenetelét befolyásolhatja az átjáró belépési pontjának fizikai kialakítása, illetve a belépési pontnál lévő vízáramlás milyensége. Például, fenéklakó (bentikus) halak várhatóan kisebb eséllyel úsznak be egy olyan átjáróba, melynek alján keresztbordázat van, mint egy sík aljzatú átjáróba; áramláskedvelő (reofil) halak szintén csökkent eséllyel úsznak be egy olyan átjáróba, melyben a vízáramlás a folyót jellemző mértékhez képest jelentősen alacsonyabb. Végül a tényleges áthaladási fázisban a halnak képesnek kell végighaladnia az átjárón. A túlzott vízáramlási sebesség, a pihenőhelyek hiánya az átjáróban lévő halat visszafordulásra ösztönözheti. Egy megfelelően üzemelő átjárót a halak könnyen megtalálnak, és mind a felvíz, mind az alvíz irányába képesek azon nagyobb megerőltetés nélkül átjárni. Ideális (elméleti) esetben a halátjáró akkor a leghatásosabb, ha a felvízi és az alvízi szakaszon levő halállomány összetétele között nincs nagyobb különbség, mint amekkora a két szakasz élőhelyi változóival megmagyarázható.

A gyakorlatban a halátjárók hatásosságának vizsgálatára általánosan alkalmazott módszer, hogy jelekkel ellátott halakat engednek el a halátjáró egyik oldalánál, és figyelik azt, hogy megjelenik-e jelölt hal az átjáró másik oldalán. A jelölés–detektálás adatokból olyan származtatott adatok nyerhetők, melyekkel megbecsülhetők az adott halátjáróra vonatkozó hatásossági mutatók értékei. Célravezető hatásossági mutató lehet (Bunt et al., 1999; Noonan et al., 2012; Thiem et al., 2013; Bravo-Córdoba et al., 2021):

- a vonzási hatásosság (*attraction efficacy*)
- a belépési késlekedés (*entrance delay*)
- az áthaladási hatásosság (*passage efficacy*)
- az áthaladási idő (*passage duration*)
- az áthaladt halak testhosszának eloszlása
- és az áthaladt halfajok száma.

1.1. Halátjáró vonzási hatásossága

A halátjárók működésének vizsgálataiban feltételezhető, hogy a halátjáróhoz eljutott halaknak szándékában áll a továbbhaladás. Ezért egy jelölt halnak a halátjáró bejáratánál történt detektálása *áthaladási kísérletnek* értelmezhető. A vonzási hatásosság így kifejezhető az áthaladást megkísérlő halak összes jelölt halhoz viszonyított arányával, azaz a jelölt és visszaengedett halak közül a halátjáró bejáratánál detektált egyedek arányával. A vonzási hatásosság a halak halátjáró megtalálásában való sikerességére utal.

1.2. Belépési késlekedés

A jelölést követő visszaengedés és a halátjáró bejáratánál történt detektálás között eltelt időtartam. Hosszát egyrészt befolyásolja az, hogy a halnak van-e átkelési szándéka és így keresi-e aktívan a folyón történő továbbhaladási lehetőséget. Másrészt pedig az, hogy ha a hal tovább akar haladni, akkor képes-e megtalálni az átjárót, ami a halátjáró vonzási hatásosságával arányos.

Egy ivaréretlen, fiatal halban nem feltétlenül van nagy távolságok megtételére vonatkozó mozgási, vándorlási késztetés, még akkor sem, ha egyébként a faj jellegzetes folyami vándorló (potamodrom). A fiatal halak folyóban történő mozgása nagyjából a táplálkozási-, pihenő-, és búvóhelyek közötti diszperziószerű mozgásra korlátozódhat, mely élőhelyfoltok eléréséhez nem feltétlenül szükséges átkelnie a barrieren. Ugyanakkor az idősebb, ivarérett potamodrom halak az ívást megelőzően igyekeznek eljutni a felvízen levő gyorsabb sodrású, kavicsos folyószakaszokra, ahol a szaporodás történik, azt követően pedig visszatérhetnek az alvíz táplálékban gazdagabb élőhelyeire (Schlosser, 1991). Következésképpen feltételezhető, különösen a szaporodási időszakban, hogy ugyanazon faj fiatal, kis méretű egyedeinek és az idősebb, nagyobb méretű egyedeinek eltérő a belépési késlekedése. Nemrégén végzett kutatások rámutattak arra is, hogy egy populáción belül az egyedek mozgási viselkedése lehet heterogén: a halak egy része inkább helyben maradó, másik része mobilis (Skalski and Gilliam, 2000; Rodríguez, 2002).

1.3. Áthaladási hatásosság

Sikeres áthaladási esemény, ha egy hal belépett a halátjáróba annak egyik végpontján, és kilépett abból annak a másik végpontján. Az átjáró áthaladási hatásossága így számszerűsíthető az átjárón áthaladt halak számának az áthaladási kísérletet tett halak számához viszonyított arányával. Az áthaladási hatásosság statisztikai becslése egy feltételes valószínűség, ami megmutatja, hogy mekkora az esély arra, hogy a hal áthalad az átjárón, feltéve, hogy eljutott annak belépési pontjához.

Ha az áthaladási hatásosság a felvíz irányába alacsony, lehetséges, hogy az átjáró kedvezőtlen kialakítása miatt, a halaknak túl sok erőfeszítésbe kerül a felfelé történő úszás (túl erős áramlási sebesség), avagy túl kevés víz van az átjáróban, és nem érzik biztonságosnak a felfelé történő haladást a sekély, alig áramló vízben. Elképzelhető, hogy ez utóbbi eset a lefelé történő áthaladásnál is előáll.

Alacsony áthaladási hatásossághoz vezethet az is, ha a halak nem a folyón történő fel- vagy lejutás szándékával, hanem kifejezetten a halátjáróban való tartózkodás céljával úsznak be a hallépcsőbe, avagy időközben döntenek úgy, hogy elidőznek az átjáróban. Például, a fiatal halak biztonságban érezhetik magukat a ragadozóktól, egyes fajok búvóhelyet találhatnak, mások táplálkozhatnak az átjárókban (halevő ragadozók, algalegelő paducok).

1.4. Áthaladási idő

A halnak a halátjáró egyik pontján történő belépése, és annak másik pontján történő kilépése között eltelt idő. Arányos az átjáró úthosszával, és az átjáróban való haladáshoz szükséges erőfeszítéssel. Függ attól is, hogy mennyire motivált a hal az áthaladásban: a belépést követően a hal elidőzhet az átjáróban (ld. **1.3. Áthaladási hatásosság**), vagy határozottan úszhat azon keresztül.

1.5. Áthaladt halak testhosszának eloszlása

Számszerűen az átjárón sikeresen áthaladt halak testhosszának leíró statisztikáival (minimum, maximum, medián, kvartilisek, átlag, szórás) jellemezhető. A megfelelő halátjáró átjutást biztosít mindazon kis-, és nagy méretű halak számára, melyek át akarnak kelni a barrieren.

Ha az átkelt halak testhossz-eloszlásának tartománya túlságosan szűk, gyanítható, hogy a nem reprezentált méretcsoportba tartozó egyedek nem szándékoznak átkelni (ld. **1.2. Belépési késlekedés**). Avagy, amennyiben csak nagy méretű halak jutnak át, az utalhat arra, hogy az átjáró kialakítása túlzott erőfeszítést kíván az átjutni kívánó halaktól (pl. túlzottan erős az áramlás), melyen a kis méretű halak nehezen képesek átjutni.

1.6. Áthaladt halfajok száma

A halfajok ökológiai igényei (pl. szaporodási hely minősége), életformától és egyedi testhossztól függő úszási képessége még az azonos folyóban élő fajok között is szembetűnően különbözhet. Ezért ha a folyóban élő halfajok nagy többsége képes sikeresen áthaladni a halátjárón, az jogosan növeli az annak hatásos működésébe vetett bizalmat.

A jelöléses vizsgálatokban logisztikai korlátok, avagy valamely fajra irányuló (pl. lazac-féle) kiemelt figyelem miatt, gyakran csak egy vagy néhány fajt használnak az átjárók hatásosságának megismeréséhez. Így a halátjárón átjutni képes fajok számára vonatkozó becslés a többi hatásossági mutatóhoz képest ritkábban alkalmazott mutató. Ugyanakkor néhány kontrasztos életformájú (bentikus *vs.* vízközt mozgó) modellfajjal végzett vizsgálatok eredményei közvetett módon sejtetni engedik, hogy képesek-e a modellfajokhoz hasonlatos egyéb fajok is a halátjáró használatára.

Mindezek a hatásossági mutatók az év során időben változhatnak a halak életciklusához kötődő fenológiai, illetve meteorológiai okoktól (vízállás), valamint a halátjárók üzemeltetésétől (áteresztett vízmennyiség, karbantartás és tisztítás) függően. Ezért a halátjárók hatásossági mutatóinak megbízható feltárásához célzott, és időben ismételt, jól megtervezett vizsgálatok vezethetnek. Az ilyen vizsgálatok eredményei hatékonyan segítik a meglévő halátjárók hatásosság növelése érdekében esetlegesen szükségessé váló korszerűsítését, és az újonnan létesítendőek tervezését, kivitelezését. A halátjárók hatásos kialakításához, üzemben tartásához, működésük felméréshez szükséges ismeretekre vonatkozó igény, a vízgazdálkodási és vízenergiatermelési szükségletek jövőbeni térnyerésével előreláthatóan növekedni fog.

2. Kutatási előzmények

Az Őrségi Nemzeti Park Igazgatóság (továbbiakban Igazgatóság) egy nemzetközi határmenti együttműködési projekt (*WeCon – Vizes élőhelyek ökológiai hálózatának fejlesztése az osztrák-magyar határ régióban*, projektazonosító: ATHU077) keretében vizsgálatokat kezdett a Pinkán és a Rábán létesített halátjárók (**1. táblázat**) működésének megismerése céljából. A vizsgálat terepi részt felölelő első szakaszában, RFID technológia alkalmazásával összesen 3000 halat jelöltek meg PIT címkével ([Castro-Santos et al., 1996](#)). A jelölés három helyszínen, a Pinkán Felsőcsatárnál, a Rábán Ikervárnál és Szentgotthárdon történt, és a jelölt halakat a halátjárókhoz képest az alvízen engedték vissza élőhelyükre (**2. táblázat**). Mindhárom halátjáró felső végpontjára jelfogó antennákat és leolvasó egységeket telepítettek. A jelfogó berendezések rögzítették az antennák hatáskörzetébe került halak egyedi azonosítókódját, és a detektálás időpontját. A rögzített adatok statisztikai feldolgozása a vizsgálat második szakaszában történt. Ez a kutatási beszámoló a második vizsgálati szakaszban végzett adatelemzések módszereit és eredményeit ismerteti.

1. táblázat. A halátjárók műszaki jellemzői. Forrás: [Sallai \(2020, p17, 3. táblázat\)](#)

Műszaki jellemző	Felsőcsatár	Ikervár	Szentgotthárd
Halátjáró típusa	természetközeli, medencés-kőküszöbös	természetközeli, kőküszöbös / réselt	művi, réselt medencés, kőküszöbös, kefeelemes
Hosszúság (m)	70	226	95
Szintkülönbség (m)	2.05	6.20	4.15
Átlagos esés (‰)	29.0	27.0	43.6
Jellemző vízhozam (m ³ s ⁻¹)	0.2	0.3	1.3

2. táblázat. A vizsgált halátjárók, valamint a halak jelölés utáni visszaengedésének geokoordinátái

Vízfolyás	Helyszín	Jelölés		Visszaengedés	
		EOV_Y	EOV_X	EOV_Y	EOV_X
Pinka	Felsőcsatár	451944.71	210510.56	452006.83	210471.22
Rába	Ikervár	486768.18	207050.11	486798.76	207177.61
Rába	Szentgotthárd	438450.25	182601.79	438485.40	182604.47

3. Célkitűzés

A kutatás jelenlegi szakaszában elvégzett adatelemzés célja, hogy becsléseket adjon a halátjárók halak általi használatának jellemzőiről, azok vonatkozásában feltárja a hallépcsők közti esetleges különbségeket, és az eredmények ismeretében javaslatokat adjon a vizsgálat folytatásának módszertani fejlesztésére. Az adatelemzési vizsgálat alapkérdései:

- Képesek-e átjutni a halak a halátjárón?
- Mekkora az átjutás valószínűsége?
- Feltéve, hogy a halak átjutottak a halátjárón, mennyi idő alatt haladnak át rajta?
- Különbözik-e a halátjárón áthaladt, és azon át nem haladt halak testhossza?

A halátjárón történő áthaladási valószínűségre vonatkozó célzott kérdések:

- Függ-e az adott hallépcsőn történő áthaladási valószínűség a halfajtól (hely–faj kölcsönhatás)?
- Mekkora az áthaladási valószínűség várható értéke (átlaga)?
- Különbözik-e az áthaladási valószínűség várható értéke a három halátjáró között (előre tervezett összehasonlítások)?

A halátjárón történő áthaladási időre vonatkozó célzott kérdések:

- Függ-e az adott hallépcsőn történő áthaladási idő hossza a halfajtól (hely–faj kölcsönhatás)?
- Mekkora a halátjárón történő áthaladási idő várható értéke (átlaga)?
- Különbözik-e az áthaladási idő várható értéke a három halátjáró között (előre tervezett összehasonlítások)?

A halak testhosszára vonatkozó célzott kérdések:

- Befolyásolja-e a halátjárón való áthaladás, a hely, és a halfaj egymás halak testhosszára gyakorolt hatását (az áthaladási esemény, a hely, és faj közötti harmad- és másodrendű kölcsönhatások)?
- Mekkora a halátjárón áthaladt és azon át nem haladt halak testhosszának várható értéke (átlaga)?
- Különbözik-e az adott halátjárón áthaladt és azon át nem haladt halak testhosszának várható értéke (előre tervezett összehasonlítások)?

3.1. A hatásosságvizsgálat feltételezései

Az adatelemzésben alkalmazott modellek az alábbi feltételekkel élnek:

- Minden helyen csak a felső végponton volt jelfogó antenna.
- Minden helyen a halátjáró alvízén történt a jelölt halak elengedése.
- Minden jelölt halnak lehetősége volt megtalálni az átjárót, amikor a felvíz irányba akart menni.
- Egy hal áthaladt a halátjárón ha a jelölést követően az átjáróban levő antennán detektálták (áthaladási esemény).
- Amennyiben az átjáró felső végpontjába több antennát telepítettek, nincs megkülönböztetve, hogy azok közül melyiken történt detektálás.
- Szentgotthárdon nincs megkülönböztetve a kenucsúszdában és a halátjáróban történt detektálás.
- Nincs fenológiai hatás. Azaz a halak jelölésének időpontja és elengedése nem befolyásolja a halak áthaladási valószínűségét és áthaladási idejét.
- Az áthaladási idő a jelölés időpontja és a halátjáró felső végpontján levő antennán történt legkorábbi detektálás közötti időtartam, amely magába foglalja a(z):
 - jelölést követő közvetlen leolvasás (jelölés időpontja) és az elengedés közötti időtartamot (pihentetési idő¹);
 - elengedéstől a halátjáró megtalálásig eltelt időtartamot (alvízen való tartózkodási idő, felvízre történő eljutási szándék megjelenése és a halátjáró megtalálása közötti idő);
 - tényleges *sensu stricto* áthaladási időt (halátjáróba való belépés és kilépés között eltelt idő).

¹A jelölést követő pihentetés időtartamára vonatkozó adat nem állt rendelkezésre.

4. Módszerek

A halátjárók üzemeléséről gyűjtött alapadatok feldolgozása az adatok átrendezéséből, adatminőség-ellenőrzéséből, adatszerkezet-feltárásából, valamint a fő adatelemzésekből állt. Az alapadatok minőség-ellenőrzésének célja a hibás, illetve ellentmondásos adatrekordok kiszűrése volt, melyek jelenléte az adatok statisztikai feldolgozását ellehetetleníti, avagy téves eredményekhez vezethet. Az adatszerkezet-feltárás részben az adatminőség-ellenőrzést, részben a szakmai értékelésre alkalmas, adatellenőrzésen átesett adatok megismerését, leíró statisztikai jellemzését szolgálta. A fő adatelemzések a minőség-ellenőrzésen átesett adatokkal zajlottak, és a célkitűzésekben megfogalmazott kutatási kérdések megválaszolásához szükséges eredményeket biztosították. A statisztikai hipotézisvizsgálatokban a tesztek szignifikanciaszintje $\alpha = 0.05$ volt. Az adatfeldolgozás R környezetben történt ([R Core Team, 2021](#)).

4.1. Alapadatok

Az Igazgatóság a halátjárókról gyűjtött alapadatokat hat fájlban bocsátotta rendelkezésre a kutatáshoz:

- `Torzstar_RFID_jeloles20201218_kuld.xls`: jelölési adatsor, rekordok száma: 3000
- `2019_full_Sztgotthard.xlsx`: detektálási adatsor, rekordok száma: 39089
- `2020_full_Fcsatar.xlsx`: detektálási adatsor, rekordok száma: 43683
- `2020_full_Ikervar.xlsx`: detektálási adatsor, rekordok száma: 50148
- `2020_full_Sztgotthard.xlsx`: detektálási adatsor, rekordok száma: 44057
- `rfid_ferag_ikervar_2021.xls`: detektálási adatsor, rekordok száma: 3928.

Tehát a jelölési adatok összessége 3000, a detektálási adatok összessége 180905 rekordból állt.

4.2. Áthaladási valószínűség

Áthaladási eseményként értelmeztem a jelölést követő kézi szkennelről történt leolvasás időpontja után a legkorábbi detektálási eseményt. Az áthaladási valószínűség empirikus pontbecslése az átjárón áthaladt egyedek összes jelölt egyed számához viszonyított aránya. Az áthaladási valószínűség becsléséhez Bernoulli eloszlású általánosított lineáris modellt (GLM) használtam, logit kapcsolófüggvénnyel ([Zuur et al., 2009](#)). A modellben a függő változó egy két kimenetelű eseményváltozó volt, amelynek értéke a halátjárón áthaladt egyedekre vonatkozóan 1, illetve az azon nem áthaladt egyedekre vonatkozóan pedig 0. A magyarázóváltozók a hely (csoportosítótól, szintjei: Felsőcsatár, Ikervár, Szentgotthárd), valamint a faj (csoportosítótól, szintjei: Barbar, Chonas, Squece) változók voltak.

Az áthaladási valószínűség várhatóértékeinek 95%-os konfidenciaintervallumaira, valamint az áthaladási valószínűség helyek között páronkénti összehasonlításaira vonatkozó lineáris hipotézisek megfogalmazása kontrasztmátrixok alkalmazásával történt ([Reiczigel et al., 2007](#)).

A páronkénti összehasonlításokban a statisztikai nullhipotézis az összehasonlított két csoportra becsült áthaladási valószínűség várhatóértékének azonosságát állította: a két csoport áthaladási valószínűségének különbsége nulla. A páronkénti összehasonlításokban az első fajú hiba növekedésének ellensúlyozásához a tesztek p-értékét a hamis felfedezési arány (*false discovery rate*, FDR) (Benjamini and Hochberg, 1995) eljárással korrigáltam.

A modell építéséhez csak a három nagy gyakorisággal (> 100 egyed per hely) jelölt faj (*Barbus barbus*, *Chondrostoma nasus*, *Squalius cephalus*), összesen 2863 egyedének adatait használtam. A kis gyakorisággal jelölt fajok (*Alburnus alburnus*, *Carassius gibelio*, *Rutilus rutilus*, *Salmo trutta fario*, összesen 113 egyed) kizárása azért volt szükséges, mert a részletes és megbízható fajszerinti statisztikai vizsgálatához túl kicsi mintanagyságot jelent az ezen fajokból megjelölt egyedek száma.

Az áthaladási valószínűségnek a jelöléstől eltelt idő függvényében való becsléséhez és ábrázolásához Kaplan–Meier eljárást alkalmaztam (Dalgaard, 2008). A Kaplan–Meier görbe a jelöléstől eltelt napok függvényében mutatja meg, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy egy egyed adott időpillanatig áthalad-e a halátjárón. Ez az eljárás az áthaladási események bekövetkezését a halak jelölésétől számítva egy adott időponting követi nyomon. Ez az időpont itt 2021-05-14 00:00h volt. Azok az egyedek, melyek a vizsgálat nyomon-követésének végéig nem haladnak át hallépcsőn, ún. jobbról cenzorált egyedek.

4.3. Áthaladási idő

Az áthaladási idő vizsgálatához a három nagy gyakorisággal jelölt faj 2863 egyedei közül, a halátjárón áthaladt 540 egyed adatait használtam (*NB.* feltételes vizsgálat: feltéve, hogy a halak áthaladnak a halátjárón, mekkora az áthaladásig eltelt idő). A vizsgálat függő változója a csak pozitív értékekkel rendelkező, napokban kifejezett, jellemzően jobbra ferde eloszlású áthaladási idő volt. Az ilyen típusú adatok megfelelően modellezhetők gamma eloszlással (Fox et al., 2015), ezért az áthaladási idő becsléséhez gamma eloszlású GLM-et használtam azonosság kapcsolófüggvénnyel. Mivel a paduc faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csupán egyetlen áthaladási esemény történt ($n = 1$ elemű minta), melynek statisztikai modellezése nem értelmes, az áthaladási idő becslésére két modellt készítettem. Az első modellt a márna és a domolykó adataira építettem, melyben a hely (csoportosítótávvaltozó, szintjei: Felsőcsatár, Ikervár, Szentgotthárd), valamint a faj (csoportosítótávvaltozó, szintjei: Barbar, Squecep) szerepelt magyarázóváltozóként. A második modellt magyarázó változók nélkül, közvetlenül a paduc ikervári adataira építettem.

A várhatóértékek 95%-os konfidenciaintervallumaira, valamint a helyek közti páronkénti összehasonlításokra vonatkozó lineáris hipotézisek megfogalmazása a 4.2. *Áthaladási valószínűség* fejezetben ismertetett módszerhez hasonlóan kontrasztmátrixokkal, illetve a p-érték FDR eljárással végzett korrigálásával történt.

4.4. Standard testhossz

Az adatminőség-ellenőrzésen átesett 2976 egyed adataiból a kis gyakorisággal jelölt négy faj 113, valamint a testhossz adatot nem tartalmazó négy egyed kizárásra került, így a testhosszvizsgálat $2976 - (113 + 4) = 2859$ egyed adataival történt. A vizsgálatba vont halak testhosszáinak eloszlása jellemzően több kiugró adatot tartalmazott, és jobbra ferde volt.

Ezért a testhossz modellezéséhez gamma eloszlású GLM-eket használtam, azonosság kapcsolófüggvénnyel. A függőváltozó a jelölt egyek standard testhossza (SL [mm]) volt.

A paduc esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy áthaladási esemény történt, ezért a paduc adatait a másik két fajtól elkülönülten modelleztem. Erre azért volt szükség, mert az át nem haladók csoportjában levő ismétlések nélküli (egyetlen adatot tartalmazó) minta miatt, az áthaladt és át nem haladt halak csoportjainak mintanagysága egymáshoz képest túlságosan kiegyensúlyozatlan lett volna. A kiegyensúlyozatlanság pedig megbízhatatlanná tette volna a csoportok statisztikai összehasonlítását.¹

Az első modellt a márna és a domolykó három helyszínen levő adataira építettem. Ebben a modellben a magyarázó változók az áthaladás (csoportosítóváltozó, szintjei: No, Yes), a hely (csoportosítóváltozó, szintjei: Felsőcsatár, Ikervár, Szentgotthárd), a faj (csoportosítóváltozó, szintjei: Barbar, Squecep) voltak. A modellben levő harmad- és másodrendű kölcsönhatások teszteléséhez kétirányú, egyenkénti be- és kiléptetési modellszelekciót alkalmaztam. Az áthaladt (Yes) és át nem haladt (No) egyedek testhosszáinak összehasonlítása az áthaladási valószínűség vizsgálatánál alkalmazott módszerhez hasonlóan kontrasztmátrixokkal történt. Mivel a három hallépcső műszaki kialakítása egyedi, a többszörös összehasonlításokban nem alkalmaztam p-érték korrekciót, mert feltételeztem, hogy adott helyen levő halátjáró testhosszra kifejtett hatása független egy másik helyen levő halátjáró testhosszra kifejtett hatásától.

A következő modellt a paduc Felsőcsatáron át nem haladt (No) egyedeinek adataira illesztettem, magyarázóváltozók nélkül, a várható érték közvetlen becslése céljából. Hasonlóképpen, történt a paduc Szentgotthárdon át nem haladt (No) egyedeinek testhosszbecslése is. Végül, a paduc ikervári adataira illesztett modellben magyarázó változóként szerepelt az áthaladás (csoportosítóváltozó, szintjei: Yes, No), amivel a márna és a domolykó közös modelljéhez hasonlóan, a várható értékek becslésén túl, az áthaladt és át nem haladt paducok testhossza közti különbség is összehasonlítható volt.

¹Ez a vizsgálati csoportok közti mintanagyságbeli kiegyensúlyozatlanság az áthaladási valószínűség Bernoulli eloszlással való modellezésében kevésbé befolyásolt, mert az elemi vizsgálati csoportokba (hely-faj) az áthaladt és át nem halak egyaránt beletartoztak.

5. Eredmények

5.1. Jelölési alapadatok feltárása

A jelölési alapadatsor 3000 egyed PIT tag azonosítóját, a jelölés helyét, és időpontját tartalmazta. A halak jelölése 2019-02-26 és 2020-09-05 között, összesen 21 napon történt. Felsőcsatáron 5, Ikerváron 8, és Szentgotthárdon 10 naptári napon jelöltek, és volt két olyan nap, amikor két helyszínen is zajlott jelölés: 2020-04-24-én Ikerváron és Szentgotthárdon, valamint 2020-09-05-én Felsőcsatáron és Ikerváron (**3. táblázat**). A jelölt halegyedek hét fajhoz tartoztak. Adott fajból összesen megjelölt egyedek száma 11 és 1470 között, az adott helyen fajonként megjelölt egyedek száma pedig 1–551 között változott (**4. táblázat**).

3. táblázat. A megjelölt halak számának jelölési napok és jelölési helyek közti eloszlása

Jelölési nap	Felsőcsatár	Ikervár	Szentgotthárd	Össz.
2019-02-26	–	–	3	3
2019-04-05	–	–	10	10
2019-04-06	–	–	128	128
2019-04-07	–	–	45	45
2019-05-25	–	–	72	72
2019-05-26	–	–	133	133
2020-03-28	–	204	–	204
2020-03-29	–	159	–	159
2020-04-24	–	55	142	197
2020-04-25	–	–	102	102
2020-05-14	–	104	–	104
2020-05-15	–	173	–	173
2020-05-16	265	–	–	265
2020-05-17	155	–	–	155
2020-07-15	217	–	–	217
2020-08-10	158	–	–	158
2020-08-12	–	–	194	194
2020-08-13	–	195	–	195
2020-08-14	–	101	–	101
2020-09-04	–	–	169	169
2020-09-05	66	150	–	216
Össz.	861	1141	998	3000

5.2. Adatminőség-ellenőrzés

Az adatminőség-ellenőrzés során feltárt hiányosságok és anomáliák a következők voltak.

4. táblázat. A megjelölt halak számának fajok és jelölési helyek közti eloszlása

Species	Felsőcsatár	Ikervár	Szentgotthárd	Össz.
Küsz (<i>Alburnus alburnus</i>)	2	19	38	59
Márna (<i>Barbus barbus</i>)	151	481	311	943
Ezüstkárász (<i>Carassius gibelio</i>)	1	5	10	16
Paduc (<i>Chondrostoma nasus</i>)	177	224	73	474
Bodorka (<i>Rutilus rutilus</i>)	2	15	10	27
Sebes pisztráng (<i>Salmo trutta fario</i>)	2	4	5	11
Fejes domolykó (<i>Squalius cephalus</i>)	526	393	551	1470
Össz.	861	1141	998	3000

5.2.1. Sikertelen jelölések

Tizennyolc jelölt egyed PIT címkéjéről nem sikerült az azonosító kódot leolvasni (**5. táblázat**).

5. táblázat. Sikertelenül jelölt egyedek fajok és helyek közötti eloszlása

Species	Felsőcsatár	Ikervár	Szentgotthárd	Össz.
Barbar	–	–	1	1
Chonas	2	4	1	7
Squecep	1	4	5	10
Össz.	3	8	7	18

5.2.2. Detektált ismeretlen egyedek

A detektált egyedek között 40 olyan egyedről is történtek jelölések, melyek ID-ja nem szerepelt a 3000 megjelölt egyed azonosítója között, tehát ezek ismeretlen egyedek (**6. táblázat**). Az ismeretlen egyedekhez összesen 9573 db észlelési esemény tartozott.

6. táblázat. Ismeretlen egyedek PIT címke kódja (ID)

228000387018	228000628000	228000628001	228000641986	228000628002
228000641908	228000641939	228000641890	228000641976	226000465214
228000641906	228000641820	228000641824	228000641798	228000641797
228000641842	228000641819	228000641936	228000641821	228000641900
228000641841	228000641849	228000641848	228000641912	226000465128
228000641662	228000641742	228000641972	228000628004	228000628010
226000465122	226000465430	228000641669	228000641831	228000641868
228000642300	228000641692	228000641766	228000641634	228000641633

5.2.3. Azonos időben két helyen detektált egyedek

Négy egyed esetében a jelölést követő legkorábbi detektálás helyszínén és egy másik helyszínen is azonos időpontban történt jelfogási esemény rögzítés. Azaz, az adatok szerint a szóban forgó egyedek egy időben két különböző helyen voltak. Mind a négy egyed jelölése Ikerváron történt, és mind a négy esetben 2020-10-23-án, Szentgotthárdhoz került bejegyzésre a detektálási duplum (**8. táblázat**).

7. táblázat. Azonos időben a jelölési helyen és egy másik helyen is rögzített jelfogások (detektálási duplumok)

ID	Species	Jelölés helye	Jelölés időpontja	Duplum detektálás helyei	Duplum detektálás időpontja
228000387499	Barbar	Ikervár	2020-03-28 13:34:00	Ikervár, Szentgotthárd	2020-10-23 17:20:35.80
228000387763	Barbar	Ikervár	2020-04-24 10:16:00	Ikervár, Szentgotthárd	2020-10-23 17:23:26.07
228000629519	Barbar	Ikervár	2020-08-13 18:49:00	Ikervár, Szentgotthárd	2020-10-23 17:16:18.17
228000629584	Squecep	Ikervár	2020-08-14 12:39:00	Ikervár, Szentgotthárd	2020-10-23 18:00:08.28

5.2.4. Negatív áthaladási idők

Két egyed esetében az áthaladási eseményhez tartozó áthaladási idő negatív előjelű volt. Ez azt jelenti, hogy ezeknél az egyedeknél a jelölést követő legkorábbi detektálás időpontja korábban volt, mint a jelölés időpontja.

8. táblázat. Azok az egyedek, melyeknek a legkorábbi detektálása korábban történt, mint a jelölési időpontjuk (negatív áthaladási idők)

ID	Species	Jelölés helye	Jelölés időpontja	Legkorábbi detektálás időpontja
228000387027	Barbar	Szentgotthárd	2019-04-06 10:26:00	2019-04-06 07:56:49.71
228000387189	Squecep	Szentgotthárd	2019-05-26 11:14:00	2019-05-24 05:06:58.35

5.2.5. Hiányzó adatok

A jelölési adatokban öt egyednek hiányzott a standard testhossza (SL). Ezek közül egy sikertelen jelölésű volt (**9. táblázat**).

5.2.6. Adatminőség-ellenőrzés összefoglalása

Hiányosság, illetve anomália miatt az alapadatokból elsődlegesen kizárásra kerültek a következő rekordok. A jelölési alapadatokban levő 3000 jelölt egyedből 18 egyed hiányzó ID miatt, 4 egyed különböző helyeken történt detektálási duplum miatt, 2 egyed hibás jelölés–detektálás időpont (negatív áthaladási idő) miatt került törlésre. Tehát további adatfeldolgozásra $3000 - (18 + 4 + 2) = 2976$ egyed jelölési adata került. Azonban a testhossz vizsgálatából a 2976 egyed közt levő négy adathiányos is törölve lett.

9. táblázat. Azok az egyedek, melyeknek hiányzott a standard testhossza

ID	Species	Jelölés helye	Jelölés időpontja
–	Barbar	Szentgotthárd	2019-04-05 18:42:00
228000387391	Squecep	Szentgotthárd	2019-05-26 19:34:00
228000387404	Barbar	Ikervár	2020-03-28 10:03:00
228000628493	Chonas	Felsőcsatár	2020-05-16 14:52:00
228000629070	Chonas	Felsőcsatár	2020-08-10 15:21:00

Az detektálási alapadatok összesen 604 egyedről, 180905 jelfogást tartalmaztak¹. Ezek között 40 ismeretlen egyedről összesen 9573 db, míg 4 azonos időben két helyen (duplán) detektált egyedről 3015, a két negatív áthaladási idejű egyedről pedig 9563 észlelési esemény történt. Az ismeretlen, a duplán detektált, és negatív áthaladási idejű egyedek adatainak törlését követően, a további adatfeldolgozásra $180905 - (9573 + 3015 + 9563) = 158754$ detektálási rekord került, melyek összesen $604 - (40 + 4 + 2) = 558$ egyedtől származtak.

5.3. Adatminőség-ellenőrzésen átesett detektálási adatok feltárása

A három helyszínen összesen 360 napon történt jelfogás az antennákon. Az üzemi időszak megszakításokkal 2019 áprilisa (Sallai, 2020, p26) és 2021 májusa között volt. A legkorábbi és legkésőbbi detektálási esemény Felsőcsatáron 2020-05-18-án, illetve 2020-11-04-én; Ikerváron 2020-03-28-án, illetve 2021-05-13-án; Szentgotthárdon pedig 2019-04-06-án, illetve 2020-11-21-én volt.

A detektált egyedek fajonkénti száma nulla és 298 között változott; a sebes pisztrángból egyetlen jelölt egyedről sem történt jelfogás. Az adott fajból detektált egyedek helyek közti eloszlása nulla és 174 között variált (**10. táblázat**).

10. táblázat. A detektált egyedek számának fajok és detektálási helyek közti eloszlása

Species	Felsőcsatár	Ikervár	Szentgotthárd	Össz.
Küsz (<i>Alburnus alburnus</i>)	1	2	8	11
Márna (<i>Barbus barbus</i>)	33	174	91	298
Ezüstkárász (<i>Carassius gibelio</i>)	–	1	3	4
Paduc (<i>Chondrostoma nasus</i>)	1	29	1	31
Bodorka (<i>Rutilus rutilus</i>)	–	1	2	3
Sebes pisztráng (<i>Salmo trutta fario</i>)	–	–	–	–
Fejes domolykó (<i>Squalius cephalus</i>)	61	70	80	211
Össz.	96	277	185	558

¹Ezek között a halátjárón áthaladt, és később visszafelé, a felvíz felől az alvíz felé úszó egyedek detektálásai is szerepelnek.

5.4. Áthaladási valószínűség

A három nagy gyakorisággal jelölt halfaj 2863 egyede közül 540 egyed haladt át halátjárón (összes áthaladási esemény). A halátjárón áthaladt halak fajon és helyen belüli aránya 0.006 (Felsőcsatár, Chonas) és 0.364 (Ikervár, Barbar) között változott; és mindhárom faj esetén Ikerváron volt a legmagasabb, Felsőcsatáron pedig a legalacsonyabb (**11. táblázat**). Az áthaladási valószínűségekre kifejtett hatásban a helyek és a fajok között szignifikáns kölcsönhatás (interakció) volt, az interakció $\Delta D = 19.887$ egységgel csökkentette a modell devianciáját (χ^2 teszt, $df = 4$, $p < 0.001$). A szignifikáns interakció miatt, a halátjárókra vonatkozó áthaladási valószínűségeket a modellből fajonként külön-külön becsültem. Ennek következményeként a modell várhatóértékekre vonatkozó pontbecslései (átlagok) azonosnak adódtak az empirikus áthaladási arányokkal. A hely és faj áthaladási valószínűségekre kifejtett kölcsönhatása nem kereszthatásban, hanem azonos irányú, de jelentősen eltérő hatásnagyságokban jelentkezett: adott fajon belül az áthaladási valószínűségek helyek közötti sorrendisége ugyan mindhárom fajnál azonos volt, de a helyek közti különbségek nagysága fajonként változott. Például, az áthaladási valószínűség Felsőcsatárra és Ikervárral becsült várható értékének különbsége a márna esetében $0.219 - 0.364 = -0.14$, míg a domolykó esetében szintén negatív előjelű, de csupán fele akkora, $0.116 - 0.180 = 0.064$ volt. (**12. táblázat**, **1. ábra**).

A hely és faj változó közötti szignifikáns interakció miatt az áthaladási valószínűség helyek közötti különbségeinek összehasonlítása is a fajok figyelembevételével történt. Az áthaladási valószínűség Ikerváron mindhárom faj esetében szignifikánsan nagyobb volt, mint Felsőcsatáron ($p_{korr} = 0.003-0.020$). Továbbá, az Ikervárra becsült áthaladási valószínűség a paduc esetében szignifikánsan ($p_{korr} = 0.031$), a márna esetében marginálisan szignifikánsan ($p_{korr} = 0.066$) volt nagyobb, mint Szentgotthárdon. Végül, a márna esetében a Szentgotthárdra becsült áthaladási valószínűség marginálisan szignifikánsan nagyobb volt ($p_{korr} = 0.086$), mint annak Felsőcsatárra becsült értéke (**13. táblázat**).

Az áthaladási valószínűségben levő helyek közti különbségek a jelölést követő kezdeti időszakban ($< cca. 100$ nap) a márna esetében nem jelentkeztek. Ugyanakkor a paduc esetében az áthaladási valószínűség Ikerváron már ekkor is jelentősen magasabb volt, mint a másik két helyen, a domolykó esetében pedig Szentgotthárdon tűnt magasabbnak, mint a másik két helyen (**2. ábra**).

5.5. Áthaladási idő

A halátjárón áthaladt 540 egyed megfigyelt áthaladási ideje 0.02 (Szentgotthárd, Barbar) és 494.16 (Szentgotthárd, Barbar) nap között változott. Helyek és fajok szerinti csoportok vonatkozásában az áthaladási idő eloszlása jellemzően jobbra ferde volt, több csoport esetében egy vagy több kiugró értékkel. Eltekintve a Szentgotthárd, Barbar csoportban levő egyetlen extrém kiugró adattól (494.16), amely a teljes adathalmaz maximumát adta, az áthaladási idők eloszlásának értéktartománya Ikerváron mindhárom fajnál szélesebb volt és adatokkal egyenletesebben volt lefedve, mint a másik két helyen levő eloszlás értéktartománya. A paduc esetében az eloszlás Szentgotthárdon és Felsőcsatáron is csak egyetlen adatértékből állt (**14. táblázat**, **3. ábra**).

A márna és domolykó közös modelljében szignifikáns hely–faj kölcsönhatás volt ($\Delta D = 11.034$, χ^2 teszt, $df = 2$, $p = 0.022$). Az interakció kereszthatásban jelentkezett: a két hely kö-

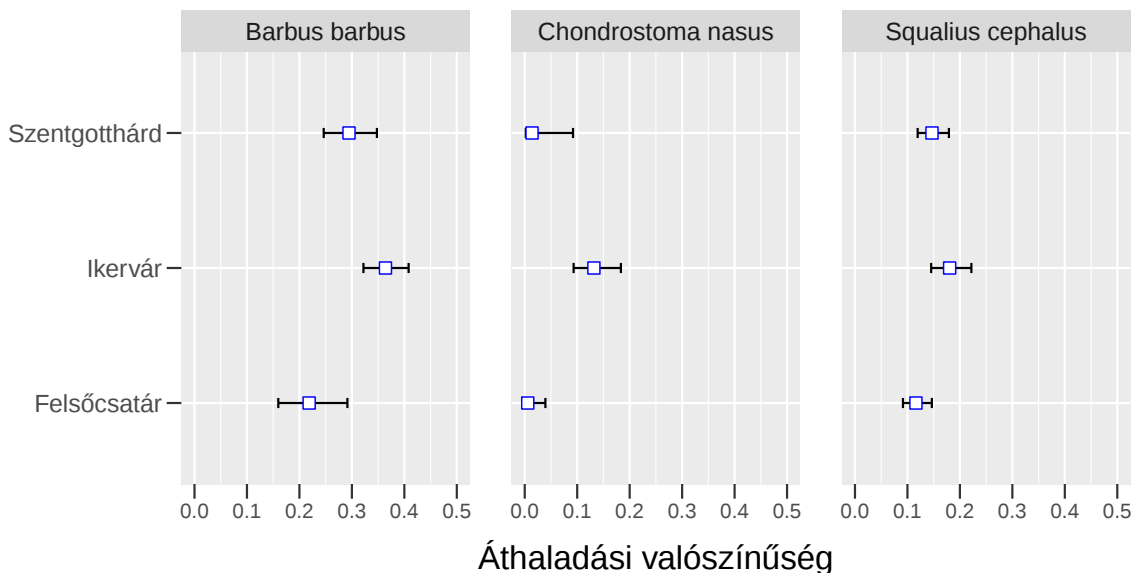
11. táblázat. A halátjárón áthaladt (Yes) és azon nem áthaladt (No) halak számának fajok közti eloszlása, valamint fajon belül az áthaladt halak aránya (empirikus áthaladási arány) helyek szerinti bontásban

Hely	Species	Yes	No	Áthaladási arány
Felsőcsatár	Barbar	33	118	0.219
	Chonas	1	174	0.006
	Squcep	61	464	0.116
Ikervár	Barbar	174	304	0.364
	Chonas	29	191	0.132
	Squcep	70	318	0.180
Szentgotthárd	Barbar	91	218	0.294
	Chonas	1	71	0.014
	Squcep	80	465	0.147

12. táblázat. Az áthaladási valószínűség becslései (Bernoulli GLM). P_{pass} , az áthaladási valószínűség várható értéke, a harmadik oszlopban logit skálán, a negyedik oszlopban aritmetikus skálán valószínűségként; $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, az áthaladási valószínűség aritmetikus skálán kifejezett várható értékére vonatkozó 95%-os konfidenciaintervallum alsó és felső határa

Hely	Species	P_{pass} (logit)	P_{pass} (valószínűség)	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$
Felsőcsatár	Barbar	-1.2742	0.219	0.160	0.291
	Chonas	-5.1591	0.006	0.001	0.039
	Squcep	-2.0290	0.116	0.091	0.147
Ikervár	Barbar	-0.5580	0.364	0.322	0.408
	Chonas	-1.8850	0.132	0.093	0.183
	Squcep	-1.5136	0.180	0.145	0.222
Szentgotthárd	Barbar	-0.8736	0.294	0.246	0.348
	Chonas	-4.2627	0.014	0.002	0.092
	Squcep	-1.7600	0.147	0.119	0.179

zül márna esetén Szentgotthárdon, míg a domolykó esetén Felsőcsatáron adódott nagyobbak az áthaladási idő átlaga. A paduc ikervári adataira illesztett modell a faj áthaladási idejének várható értékét 50.41 (95% konf.int: 18.90–81.92) napra becsülte. A konfidenciaintervallumok átfedésének hiánya azt jelezte, hogy ez az áthaladási idő szignifikánsan rövidebb, mint a domolykóé, és trend jellegűen (de nem szignifikánsan) rövidebb, mint a márnaé. Mivel a márna és a domolykó modelljében a hely–faj interakció szignifikáns volt, és a paduc modelljében közvetlenül az ikervári helyre történt becslés, az áthaladási idő várhatóértékének modellek általi pontbecslései megegyeztek az áthaladási idő adott hely–faj csoportra számított empirikus átlagával (**15. táblázat**, **4. ábra**).

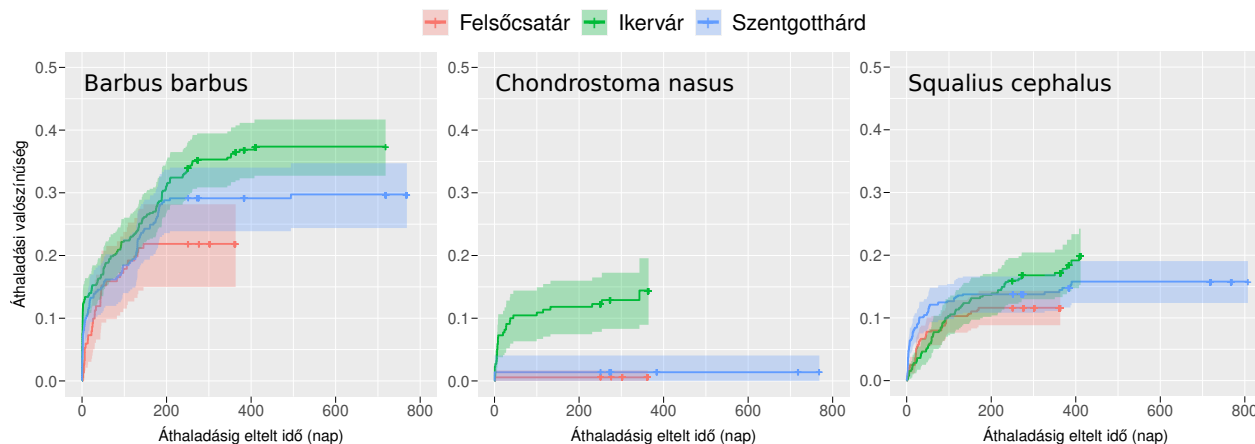


1. ábra. Az áthaladási valószínűség becslései (Bernoulli GLM). Fehér négyzet, várható érték (átlag); vízszintes hibasáv, a várható érték 95%-os konfidenciaintervalluma

13. táblázat. Az áthaladási valószínűség fajon belüli, helyek közti különbségeinek becslései (Bernoulli GLM). A lineáris hipotézis az összehasonlítandó faj–hely pár (csoport) első és második tagjára becsült áthaladási valószínűségek átlagának különbségére vonatkozik. A statisztikai nullhipotézis a csoportátlagok azonosságát állítja, amikor is a csoportátlagok különbsége nulla. ΔP_{pass} , az összehasonlítandó pár első és második tagjára becsült átlagok különbsége (logit skála); Std. Error, az átlagok különbségének szórása; $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, az átlagok különbségének 95%-os konfidenciaintervalluma; z stat., próbastatisztika; p_{korrr} , a lineáris hipotézis tesztjének szignifikanciaértéke (FDR eljárással korrigált p-érték); szig., a tesztek szignifikanciaértékét kódoló szimbólum:
 *** $0 < p_{korrr} \leq 0.001$, ** $0.001 < p_{korrr} \leq 0.01$, * $0.01 < p_{korrr} \leq 0.05$, . $0.05 < p_{korrr} \leq 0.1$.

Lineáris hipotézis	ΔP_{pass}	Std. Error	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$	z stat.	p_{korrr}	szig.
Barbar.Felső – Barbar.Ikerv = 0	-0.7162	0.2187	-1.2259	-0.2065	-3.275	0.003	**
Barbar.Felső – Barbar.Szent = 0	-0.4005	0.2331	-0.9439	0.1429	-1.718	0.086	.
Barbar.Ikerv – Barbar.Szent = 0	0.3157	0.1569	-0.0500	0.6813	2.012	0.066	.
Chonas.Felső – Chonas.Ikerv = 0	-3.2741	1.0221	-5.6458	-0.9024	-3.203	0.004	**
Chonas.Felső – Chonas.Szent = 0	-0.8964	1.4209	-4.1936	2.4008	-0.631	0.528	.
Chonas.Ikerv – Chonas.Szent = 0	2.3777	1.0265	-0.0043	4.7597	2.316	0.031	*
Squcep.Felső – Squcep.Ikerv = 0	-0.5155	0.1897	-0.9599	-0.0710	-2.717	0.020	*
Squcep.Felső – Squcep.Szent = 0	-0.2690	0.1822	-0.6959	0.1579	-1.476	0.169	.
Squcep.Ikerv – Squcep.Szent = 0	0.2465	0.1791	-0.1732	0.6661	1.376	0.169	.

A domolykó és a márna közös modelljében levő szignifikáns hely–faj kölcsönhatás miatt, az áthaladási idő helyek közti összehasonlítását fajon belül végeztem. Az áthaladási idő a márna esetében Ikerváron szignifikánsan hosszabb volt, mint Felsőcsatáron ($\Delta T_{pass} = 43.76$ nap, $z = -3.392$, $p = 0.002$); és Szentgotthárdon marginálisan szignifikánsan hosszabb volt, mint Felsőcsatáron ($\Delta T_{pass} = 27.13$ nap, $z = -1.992$, $p = 0.070$). Azonban Ikervár és



2. ábra. Az áthaladási valószínűség időbeli változása (Kaplan-Meier görbék). A folytonos vonal a várható értéket (átlag), a hibasáv a várható érték 95%-os konfidenciaintervallumát jelöli. A várható értéket jelző vonalon levő függőleges vonások a cenzorált egyedeket jelzik: azon egyedek, melyek jelölésük és a vizsgálat vége (2021-05-14 00:00:00) között eltelt napok alatt nem haladtak át a halátjárón

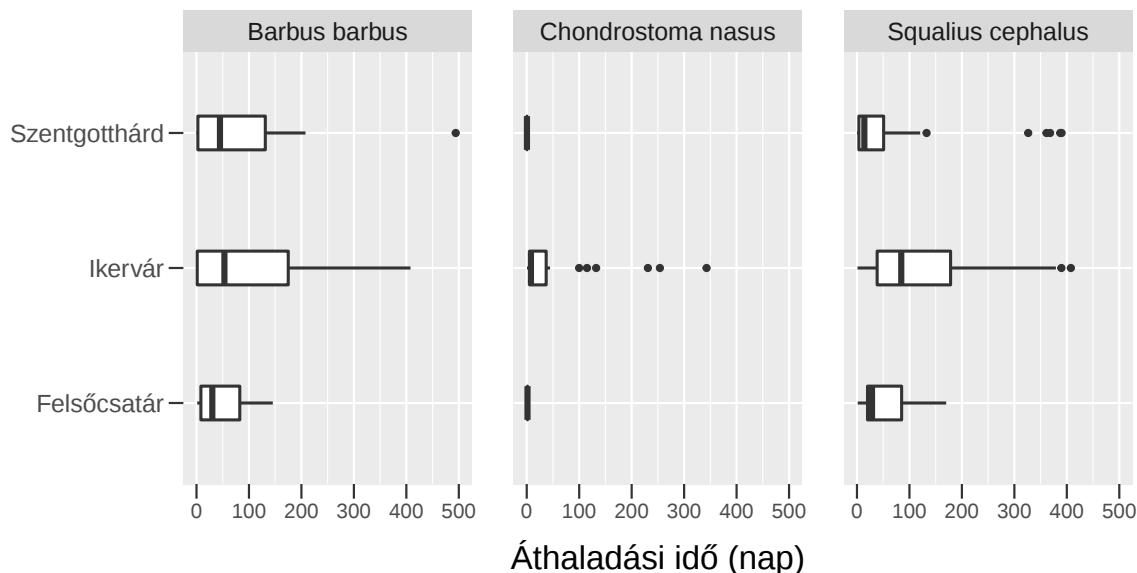
14. táblázat. Halátjárón áthaladt halak megfigyelt áthaladási idejének (nap) fajok szerinti eloszlása helyek szerinti bontásban. Min. és Max., a legkisebb és legnagyobb érték (beleértve a kiugró adatok is); Q0.25 és Q0.75, alsó, illetve felső kvartilis (25-dik, illetve 75-dik percentilis); SD, szórás (standard deviáció); n , egyedek száma (összesen 540 egyed)

Hely	Species	Min.	Q0.25	Medián	Q0.75	Max.	Átlag	SD	n
Felsőcsatár	Barbar	1.47	8.41	30.15	82.52	145.38	47.31	44.75	33
	Chonas	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	–	1
	Squecep	1.48	20.12	28.70	85.13	170.07	50.74	49.02	61
Ikervár	Barbar	0.25	1.44	53.23	174.87	407.95	91.07	99.12	174
	Chonas	0.56	5.35	8.01	37.07	342.81	50.41	86.58	29
	Squecep	1.03	38.44	84.42	178.42	407.73	118.85	105.63	70
Szentgotthárd	Barbar	0.02	2.64	44.75	131.15	494.16	74.44	82.45	91
	Chonas	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	–	1
	Squecep	0.11	3.64	14.07	50.80	390.05	48.27	89.24	80

Szentgotthárd között az áthaladási időben nem volt jelentős különbség ($\Delta T_{pass} = 16.63$ nap, $z = 1.330$, $p = 0.184$). A domolykó esetében az áthaladási idő Ikerváron szignifikánsan hosszabb volt, mint Felsőcsatáron ($\Delta T_{pass} = 68.11$ nap, $z = -3.3633$, $p < 0.001$) és Szentgotthárdon ($\Delta T_{pass} = 70.59$ nap, $z = 3.870$, $p < 0.001$). Viszont Felsőcsatár és Szentgotthárd gyakorlatilag nem különbözött ($\Delta T_{pass} = 2.48$ nap, $z = 0.244$, $p = 0.807$) (**16. táblázat**).

5.6. Standard testhossz

A vizsgált halak testhossza 110–580 mm közé esett (átlag $\pm$ SD: 161.03 ± 49.31). Ugyanakkor az eloszlás erősen jobbra ferde volt (medián: 147, alsó és felső kvartilis 127, illetve 178 mm),



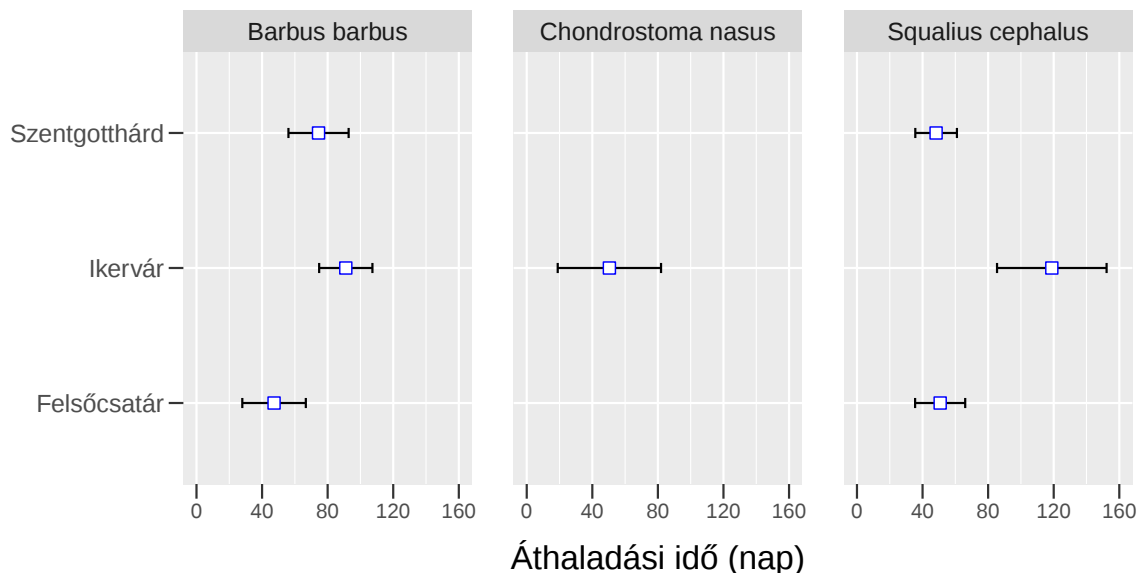
3. ábra. Halátjárón áthaladt halak megfigyelt áthaladási idejének (nap) fajok szerinti eloszlása helyek szerinti bontásban. A doboz jobb és bal oldala az alsó és felső kvartilist, a doboz belsejében levő vastag vonal a mediánt, a doboz oldalairól induló vízszintes vonalak vége a kiugró adatok nélküli minimum és maximum értékeket, a fekete pöttyök a kiugró értékeket jelölik. Számszerűen ld. **14. táblázat**

15. táblázat. Az áthaladási idő becslései (gamma GLM). T_{pass} , az áthaladási idő várható értéke (nap); $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, az áthaladási idő várható értékére vonatkozó 95%-os konfidenciaintervallum alsó és felső határa (nap). Chonas faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy áthaladási idő volt, így ezekre a hely-faj csoportokra nem történt modellbecslés

Hely	Species	T_{pass}	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$
Felsőcsatár	Barbar	47.31	27.94	66.69
	Chonas	–	–	–
	Squcep	50.74	35.46	66.02
Ikervár	Barbar	91.07	74.83	107.31
	Chonas	50.41	18.90	81.92
	Squcep	118.85	85.43	152.26
Szentgotthárd	Barbar	74.44	56.09	92.80
	Chonas	–	–	–
	Squcep	48.27	35.57	60.96

a halak 90%-a kisebb volt, mint 218 mm. Hely és faj szerinti csoportok vonatkozásában a 218 mm-től kisebb egyedek aránya 0.79 (Szentgotthárd, Chonas) és 0.99 (Ikervár, Barbar) között variált.

A Felsőcsatáron áthaladt legkisebb halak testhossza a három faj között 111–153, a legnagyobbak testhossza 153–323, az átlagos testhossz pedig 136.00–155.12 mm között változott.



4. ábra. Az áthaladási idő becslései (gamma GLM). Fehér négyzet, várható érték (átlag); vízszintes hibasáv, a várható érték 95%-os konfidenciaintervalluma. *Chondrostoma nasus* faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy áthaladási idő volt, így ezekre a hely–faj csoportokra nem történt modellbecslés

16. táblázat. Az áthaladási idő fajon belüli, helyek közti különbségeinek becslései (gamma GLM). A lineáris hipotézis az összehasonlítandó faj–hely pár (csoport) első és második tagjára becsült áthaladási valószínűségek átlagának különbségére vonatkozik. A statisztikai nullhipotézis a csoportátlagok azonosságát állítja, amikor is a csoportátlagok különbsége nulla. ΔP_{pass} , az összehasonlítandó pár első és második tagjára becsült átlagok különbsége (nap); Std. Error, az átlagok különbségének szórása; $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, az átlagok különbségének 95%-os konfidenciaintervalluma; z stat., próbastatisztika; p_{korr} , a lineáris hipotézis tesztjének szignifikancia-értéke (FDR eljárással korrigált p-érték); szig., a tesztek szignifikanciaértékét kódoló szimbólum: *** $0 < p_{korr} \leq 0.001$, ** $0.001 < p_{korr} \leq 0.01$, * $0.01 < p_{korr} \leq 0.05$, . $0.05 < p_{korr} \leq 0.1$. Chonas faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy áthaladási idő volt, így e faj esetén a helyek közti különbségek tesztelése nem volt lehetséges

Lineáris hipotézis	ΔT_{pass}	Std. Error	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$	z stat.	p_{korr}	szig.
Barbar.Felso – Barbar.Ikerv = 0	−43.76	12.90	−73.97	−13.54	−3.39	0.002	**
Barbar.Felso – Barbar.Szent = 0	−27.13	13.62	−59.03	4.77	−1.99	0.070	.
Barbar.Ikerv – Barbar.Szent = 0	16.63	12.50	−12.66	45.92	1.33	0.184	
Squcep.Felso – Squcep.Ikerv = 0	−68.10	18.75	−111.57	−24.64	−3.63	< 0.001	***
Squcep.Felso – Squcep.Szent = 0	2.48	10.14	−21.03	25.97	0.24	0.807	
Squcep.Ikerv – Squcep.Szent = 0	70.58	18.24	28.30	112.87	3.87	< 0.001	***

Ugyanez a halátjárón át nem haladt halak esetén 110–126, 257–473, és 151.50–167.52 mm volt.

Ikerváron az áthaladt legkisebb halak 110–164, a legnagyobbak 273–363 milliméteresek voltak, az átlagos testhossz 146.81–198.41 mm volt. A átjárón át nem haladt halakra ugyanez 111–130, 242–426, és 138.24–199.40 mm-nek adódott.

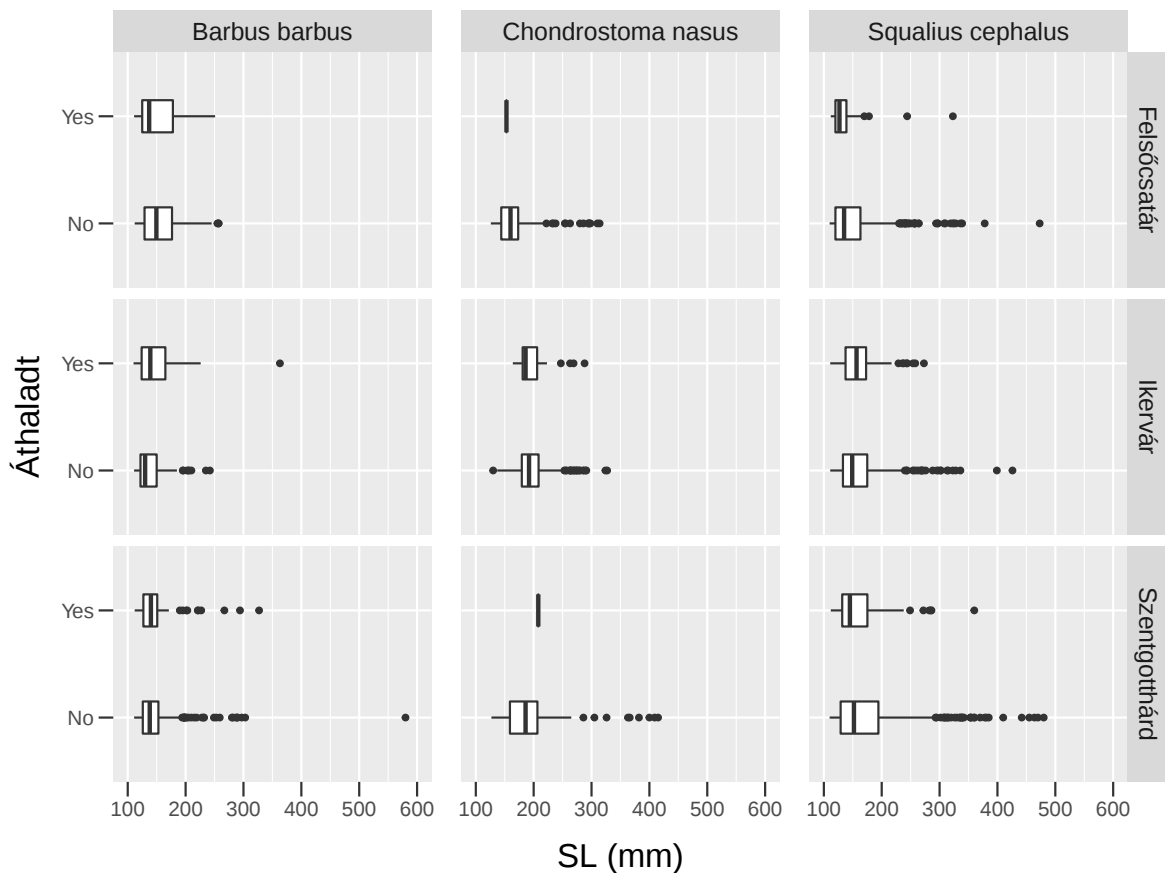
A szentgotthárdi halátjárón áthaladt legkisebb egyedek testhossza 112–208, a legnagyobbaké 208–360, az átlagos testhossz pedig 147.13–208.00 mm közé esett. Ugyanez az átjárón át nem haladt egyedeknél 110–127, 415–580, valamint 150.21–204.18 mm volt (**17. táblázat, 5. ábra**).

17. táblázat. Halátjárón áthaladt (Yes) és át nem haladt (No) halak standard testhosszának (SL [mm]) megfigyelt eloszlása helyek és fajok szerint. Min. és Max., a legkisebb és legnagyobb érték (beleértve a kiugró adatok is); Q0.25 és Q0.75, alsó, illetve felső kvartilis (25-dik, illetve 75-dik percentilis); SD, szórás (standard deviáció); n , egyedek száma (összesen 2859 egyed)

Hely	Species	Áthaladt	Min.	Q0.25	Medián	Q0.75	Max.	Átlag	SD	n
Felsőcsatár	Barbar	Yes	111	125.00	137.00	178.00	251	155.12	37.96	33
		No	112	129.00	149.50	176.50	257	157.58	36.61	118
	Chonas	Yes	153	153.00	153.00	153.00	153	153.00	–	1
		No	126	144.00	160.00	173.25	314	167.52	37.99	172
	Squcep	Yes	112	120.00	127.00	139.00	323	136.00	31.96	61
		No	110	120.00	135.00	163.25	473	151.50	47.20	464
Ikervár	Barbar	Yes	110	124.00	139.00	165.00	363	146.81	31.43	173
		No	111	122.00	130.00	150.00	242	138.24	23.00	304
	Chonas	Yes	164	181.00	186.00	206.00	288	198.41	31.36	29
		No	130	179.50	192.00	208.50	327	199.40	34.05	191
	Squcep	Yes	111	137.50	156.50	173.00	273	162.37	38.55	70
		No	111	133.00	149.00	175.00	426	162.06	47.33	318
Szentgotthárd	Barbar	Yes	112	127.00	140.00	151.00	327	147.13	36.77	91
		No	111	126.00	138.00	153.00	580	150.21	47.60	218
	Chonas	Yes	208	208.00	208.00	208.00	208	208.00	–	1
		No	127	159.00	186.00	206.50	415	204.18	69.05	71
	Squcep	Yes	112	131.75	145.00	175.25	360	160.63	46.56	80
		No	110	129.00	152.00	194.25	480	175.10	66.09	464

A márna és a domolykó közös modelljében a hely–faj–áthaladás harmadrendű interakció nem volt szignifikáns (χ^2 teszt, $\Delta D = 0.01393$, $p = 0.922$), ugyanakkor a másodrendű kölcsönhatások (hely–áthaladás, faj–áthaladás, hely–faj) jelentősek voltak. A harmadrendű interakció hiánya miatt a várhatóértékek hely–faj–áthaladás csoportokra kapott pontbecslései enyhén eltértek az empirikus csoportátlagoktól. (**18. táblázat, 6. ábra**)

A márna és a domolykó modelljében levő kölcsönhatások miatt, az átjárón áthaladt és át nem haladt halak testhosszának összehasonlítása helyeken belül, fajok szerint külön történt. A paduc esetében ez az összehasonlítás csak az ikervári adatokra volt lehetséges. Az elvégzett hét összehasonlításban egy kivételével (Ikervár, Barbar) az átjárón áthaladt halak testhosszának várható értéke kisebb volt, mint az átjárón át nem haladtaké. Azonban a becsült különbségek csak három esetben voltak statisztikailag szignifikánsak. Felsőcsatáron a

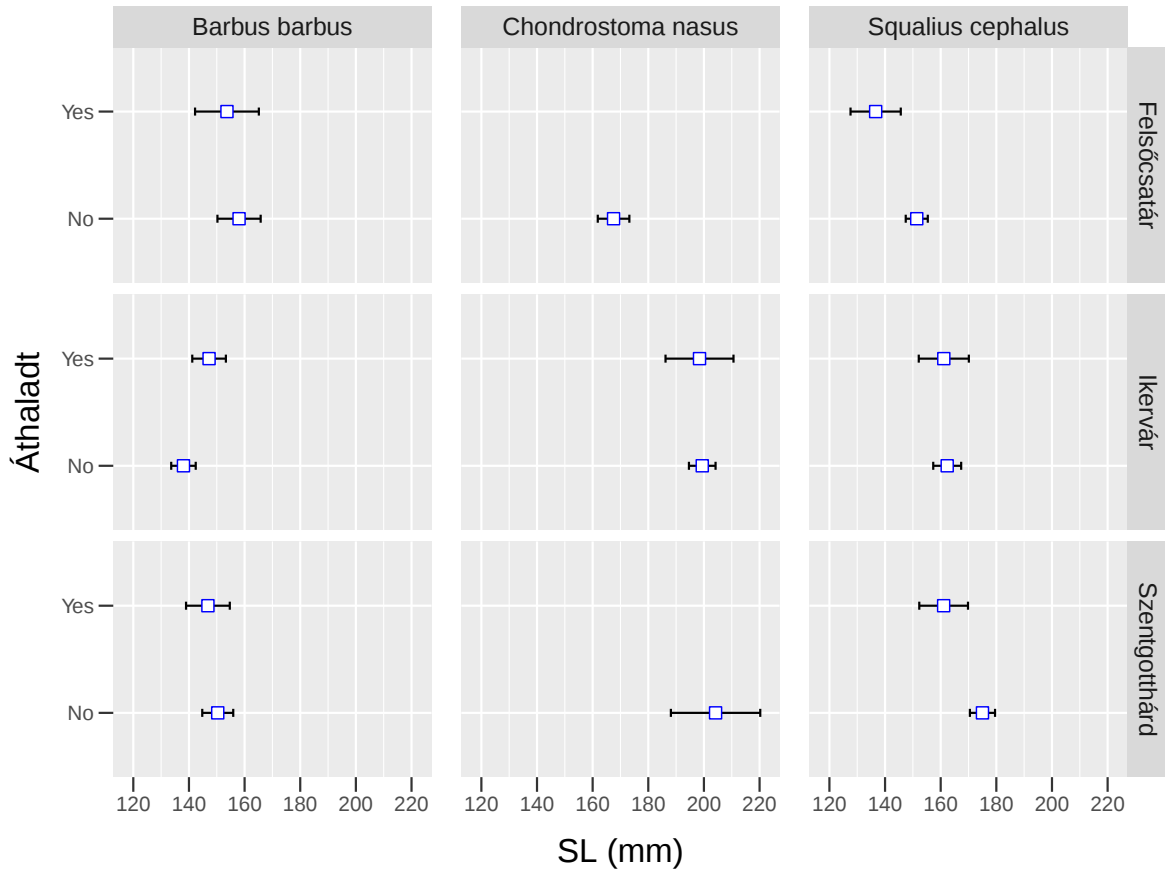


5. ábra. Halátjárón áthaladt (Yes) és át nem haladt (No) egyedek standard testhosszának (SL [mm]) megfigyelt eloszlása helyek és fajok szerint. A doboz jobb és bal oldala az alsó és felső kvartilist, a doboz belsejében levő vastag vonal a mediánt, a doboz oldalairól induló vízszintes vonalak vége a kiugró adatok nélküli minimum és maximum értékeket, a fekete pöttyök a kiugró értékeket jelölik.
Számszerűen ld. **17. táblázat**

domolykó halátjárón áthaladt egyedei $\Delta SL = 14.77$ mm-el voltak kisebbek, mint az át nem haladt egyedek ($p = 0.002$). Ikerváron a márna áthaladt egyedeinek átlaga $\Delta SL = 9.20$ mm-el volt nagyobb, mint az át nem haladt márnáké ($p = 0.012$). Szentgotthárdon a domolykó áthaladt egyedei $\Delta SL = 13.96$ mm-el kisebbek voltak, mint az át nem haladt domolykók ($p = 0.003$) (**19. táblázat**).

18. táblázat. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek standard testhosszának becslései (gamma GLM). Yes és No, áthaladt, illetve át nem haladt halak; SL (mm), standard testhossz várható értéke milliméterben; $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, a standard testhossz várható értékére vonatkozó 95%-os konfidenciaintervallum alsó és felső határa (mm). Chonas faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy példány haladt át az átjárón, így ezekre a hely-faj-áthaladás csoportokra nem történt modellbecslés

Hely	Species	Áthaladt	SL (mm)	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$
Felsőcsatár	Barbar	Yes	153.66	142.20	165.12
		No	158.01	150.24	165.78
	Chonas	Yes	–	–	–
		No	167.52	161.84	173.19
	Squcep	Yes	136.62	127.60	145.65
		No	151.40	147.43	155.36
Ikervár	Barbar	Yes	147.23	141.19	153.27
		No	138.03	133.62	142.43
	Chonas	Yes	198.41	186.20	210.63
		No	199.40	194.61	204.18
	Squcep	Yes	161.12	152.12	170.12
		No	162.34	157.32	167.36
Szentgotthárd	Barbar	Yes	146.82	138.95	154.68
		No	150.35	144.78	155.92
	Chonas	Yes	–	–	–
		No	204.18	188.12	220.25
	Squcep	Yes	161.06	152.30	169.81
		No	175.02	170.50	179.54



6. ábra. Halátjárón áthaladt és át nem haladt egyedek standard testhosszának (SL) becslései (gamma GLM). Yes és No, áthaladt, illetve át nem haladt halak. Fehér négyzet, várható érték (átlag); vízszintes hibasáv, a várható érték 95%-os konfidenciaintervalluma. *Chondrostoma nasus* faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy példány haladt át az átjárón, így ezekre a hely-faj-áthaladás csoportokra nem történt modellbecslés

19. táblázat. A halátjárón áthaladt (Yes) és át nem haladt (No) egyedek standard testhosszbeli különbségeinek becslései helyeken és fajokon belül (gamma GLM). A lineáris hipotézis az összehasonlítandó áthaladt–hely–faj pár (csoport) első és második tagjára becsült testhossz (SL) átlagának különbségére vonatkozik. A statisztikai nullhipotézis a csoportátlagok azonosságát állítja, amikor is a csoportátlagok különbsége nulla. ΔSL , az összehasonlítandó pár első és második tagjára becsült átlagok különbsége (mm); Std. Error, az átlagok különbségének szórása; $CI_{lwr}95\%$ és $CI_{upr}95\%$, az átlagok különbségének 95%-os konfidenciaintervalluma; z stat., próbastatisztika; p , a lineáris hipotézis tesztjének szignifikancia-értéke; szig., a tesztek szignifikanciaértékét kódoló szimbólum: *** $0 < p \leq 0.001$, ** $0.001 < p \leq 0.01$, * $0.01 < p \leq 0.05$, . $0.05 < p \leq 0.1$. Chonas faj esetében Felsőcsatáron és Szentgotthárdon is csak egy-egy áthaladt egyed volt, így e faj esetén a testhossz-különbségek tesztelése csak az ikervári helyre volt lehetséges

Lineáris hipotézis	ΔSL	Std. Error	$CI_{lwr}95\%$	$CI_{upr}95\%$	z stat.	p	szig.
No.Felső.Barbar – Yes.Felső.Barbar = 0	4.35	5.83	–7.08	15.78	0.746	0.456	
No.Ikerv.Barbar – Yes.Ikerv.Barbar = 0	–9.20	3.65	–16.36	–2.05	–2.520	0.012	*
No.Szent.Barbar – Yes.Szent.Barbar = 0	3.53	4.53	–5.35	12.42	0.780	0.436	
No.Ikerv.Chonas – Yes.Ikerv.Chonas = 0	0.98	6.69	–12.14	14.10	0.147	0.883	
No.Felső.Squcep – Yes.Felső.Squcep = 0	14.77	4.87	5.23	24.32	3.033	0.002	**
No.Ikerv.Squcep – Yes.Ikerv.Squcep = 0	1.22	4.78	–8.16	10.60	0.255	0.799	
No.Szent.Squcep – Yes.Szent.Squcep = 0	13.96	4.70	4.74	23.17	2.968	0.003	**

6. Értékelés

A kutatási jelentés három halátjárón, felvíz irányába történő haláthaladásokról, RFID technológiával rögzített adatokat dolgozott fel, hogy feltárja a halátjárók működési hatásosságát jellemző mutatók várható értékeit, és azokra vonatkozóan a halátjárók egymáshoz képesti különbségeit. Az eredmények bemutatják, hogy a halak mindhárom átjárón képesek alvíz felől a felvízre átjutni. Ugyanakkor a hatásossági mutatókban a halátjárók között fajfüggő különbségek vannak.

6.1. Áthaladási valószínűség

Az eredmények szerint az ikervári halátjáró hatásosabb, mint a szentgotthárdi és a felsőcsatári halátjáró. Erre utal, hogy mindhárom faj esetében egyértelműen itt volt a legmagasabb az áthaladási valószínűség, és a paduc esetében Felsőcsatárhoz és Szentgotthárdhoz képest Ikerváron számottevően több áthaladási esemény történt.

Szentgotthárd Ikervárhoz képesti kisebb hatásossága összefüggésben állhat a két hallépcső esése közötti különbséggel, és az átjárók típusával. A szentgotthárdi átjáró az ikerváritól eltérően nem tartalmaz természetközeli szakaszt, esése (43.6‰) másfélszerese az ikervárinak (27.0‰). Korábbi kutatások negatív kapcsolatot tártak fel az átjáró esése és az áthaladási hatásosság között (Noonan et al., 2012; Bunt et al., 2012; Bravo-Córdoba et al., 2021), és a természetközeli átjáróknál magasabb áthaladási hatásosságot találtak, mint a mesterséges kialakításúaknál (Bunt et al., 2012).

A felsőcsatári halátjáró tűnik a legkisebb hatásosságúnak. Részben azért, mert a paducból itt csak egy áthaladás történt, és részben mert a márna áthaladási valószínűsége marginálisan szignifikánsan kisebb volt, mint Szentgotthárdon. A marginális hatás azt jelenti, hogy lehetséges, hogy a két halátjáró közötti hatásnagyságok (ΔP_{pass}) a jelen kutatásban becsült mértéktől a valóságban nagyobbak, azonban a jelenleg rendelkezésre álló adatok mennyisége a szignifikáns hatás feltáráshoz nem volt elegendő, így jövőbeni adatok tisztázhatják a két hallépcső közti különbség statisztikai jelentőségét. Mindazonáltal, a felsőcsatári halátjáró három átjáró közül legkisebb hatásosságára irányuló feltevéshez illeszkedik az az eredmény is, miszerint a kis gyakorisággal megjelölt fajok közül itt sem az ezüstkárász, sem pedig a bodorka egyedekből nem történt detektálás, holott azok áthaladása a másik két átjárónál volt észlelve (**10. táblázat**).

Eltékvintve a hosszúságuktól, Felsőcsatár és Ikervár a főbb műszaki jellemzőik vonatkozásában jobban hasonlít egymásra, mint Szentgotthárdra (**1. táblázat**). A hatásosságbeli különbségük azonban feltehetően nemcsak a hosszúságukban lévő különbséggel, hanem valamely más, egyéb tényezővel is összefüggésben lehet, melyről számszerű adat ehhez a kutatáshoz nem állt rendelkezésre. Lehetséges, hogy ez az ismeretlen tényező fajspecifikusan befolyásolja a paduc áthaladását, mivel feltűnő mintázat volt, hogy a jelölt paducok közül mind Felsőcsatáron, mind pedig Szentgotthárdon csak egy-egy áthaladási esemény történt. Ugyanakkor szem előtt kell tartani, hogy Szentgotthárdon a paducból lényegesen kevesebb egyedet jelöltek ($n = 73$), mint márnából ($n = 311$) és domolykóból ($n = 551$), ezért lehet, hogy a paduc Szentgotthárdon tapasztalt alacsony áthaladási gyakoriságának oka csupán a kis mintanagyságban keresendő.

6.2. Áthaladási idő

Mivel a vizsgálatban becsült áthaladási idő a jelöléstől a halátjáróba történt belépésig eltelt időt és a halátjárón történő tényleges áthaladás idejét is magában foglalja, valamint a jelölési időpontok szezonálisan nem egységes időszakban történtek, ebben a mutatóban az átjáró megtalálásának sikere (vonzási hatásosság), az átjutási motiváció, és az átjutáshoz szükséges erőfeszítés hatása is szerepel. Emiatt az összetett hatás miatt a becsült áthaladási idők alapján nehéz egyértelműen értékelni a három halátjárót. Mindazonáltal az áthaladási valószínűség vonatkozásában legjobbnak mutatózó ikervári átjáróra becsült leghosszabb áthaladási időt magyarázhatja az a tény, hogy ez az átjáró lényegesen hosszabb, mint a másik kettő (ld. **1. táblázat**). Mindez összhangban van [Noonan et al. \(2012\)](#) eredményével, akik a halátjáró hossza és a felvíz irányba történő áthaladási hatásosság között pozitív összefüggést állapítottak meg.

Fajok közötti összehasonlításban, Ikerváron a domolykó áthaladási ideje jellemzően hosszabb, mint a paducé és a márnáé. Elképzelhető, hogy ez különbség a fajok ökológiai jellemzőiből származik. A domolykó egyaránt megfelelő életteret talál a hazai dombvidéki kisvízfolyásokban és nagyobb vízfolyásokban is, ugyanakkor a márna és a paduc jellemzően a közepes és nagy folyók lakója. Így az ikervári halátjáró természetközeli szakasza talán kedvező pihenő- és búvóhelyet kínál a főágból kiálló domolykóknak, ezzel szemben az átjáróba beúszó márnák és paducok inkább a főág felé igyekezhetnek.

6.3. Standard testhossz

A testhossz-vizsgálat eredményei megmutatták, hogy a jelölt halak közül már a legkisebbek ($SL = 110\text{--}150\text{ mm}$) is képesek áthaladni mindhárom átjárón. Ez azt sejteti, hogy a három halátjáró egyaránt átjutást biztosít már a fiatal (kb. 1+ korú) halak számára is. Azonban azt nem tudjuk, hogy vajon az ettől kisebb halaknak szándékában áll-e a halátjárókon átkelni, és ha igen képesek-e ők is a sikeres áthaladásra.

Adott halátjáró esetében, az áthaladt és át nem haladt halak testhossza közti különbségek fajoktól függően változhatnak. Ugyanakkor a feltárt és statisztikailag jelentősnek mutató testhosszbeli különbségek (ΔSL) nagysága a halátjárók hatásosságára vonatkozólag biológiai szempontból irreleváns, e különbségek megjelenése valószínűleg csupán a véletlenre vezethető vissza. A jelölt halak 90%-a 218 mm alatt volt, melytől mindhárom nagy gyakorisággal jelölt faj lényegesen nagyobbra nő. Elképzelhető, hogy a testhossz valóban befolyásolja ugyan az áthaladást, de a nagyobb méretcsoport jelenlegi adatokban levő alulreprezentáltsága ennek a hatásnak a detektálását nem tette lehetővé. A testhossz lehetséges hatását sugalmazza az a figyelemre érdemes eredmény, miszerint az átjárón át nem haladt egyedek testhosszának maximuma egy eset kivételével (Ikervár, Barbar) mindig nagyobb volt, mint az áthaladt halak testhosszának maximuma. Ha ez a jelenség valóban létezik, akkor lehetséges, hogy az átjárón való áthaladás esélyét a testhossz nem alulról, hanem felülről korlátozza, vagyis a kis méretű halak áthaladnak az átjárón, de egy bizonyos testhossztól nagyobb halak áthaladásának már kisebb az esélye. Ilyen esetet előidézhet az, ha a halátjáróban túlságosan kicsi a vízhozam, avagy alacsony a vízmagasság.

6.4. Fenológiai hatások

A természetes fenológiai hatások nagy valószínűséggel a halak halátjárón keresztüli mozgását is befolyásolják. A vizsgált hatásossági mutatók közül ez leginkább az áthaladási valószínűség jelöléstől eltelt idő függvényében való változását, az áthaladási időt, és az áthaladt halak testhosszát érintheti. Például, a szaporodási időszakban az ellenkező ivarú fajtársak és a szaporodásra leginkább alkalmas élőhelyek megtalálása nagyobb mozgási aktivitásra ösztönözheti az ivarérett halakat. Így adott helyszínen a tavaszi, kora nyári időszakban nagyobb lehet az áthaladási ráta és rövidebb az áthaladási idő, mint egyébként. A vizsgált nagy gyakorisággal jelölt három faj egyedei cca. 100–200 mm-es testhosszúság elérésekor már kezdenek ivaréretté válni (Policar et al., 2011; Kiliç and Becer, 2016). Így elképzelhető, hogy az áthaladás testhosszban kimutatott különbségében is közrejátszott az, hogy az egyedek ivarérettek voltak-e már. Ezt az átjárón áthaladt, és át nem haladt halak ivarszerveinek utólagos vizsgálata tisztázhatta volna.

A hatásossági jellemzők időbeli mintázatának megbízható feltárását a jelölési napok hónapok és évek közötti eloszlása jelen vizsgálatban nem tette lehetővé. Mindazonáltal, az áthaladási események hónapokon belüli gyakoriságának eloszlása (különösen 2019 Szentgotthárd, 2020 Szentgotthárd és Ikervár) azt sejteti, hogy az átkelési események az éven belül két időszakban, tavasszal és ősszel sűrűsödnek (**B1. ábra**). Másfelől az is lehetséges, hogy ezeknek a gyakorisági csúcsoknak a megjelenését a jelölési napok is befolyásolták, ugyanis 2020-ban Ikerváron és Szentgotthárdon is történt haljelölés a tavaszi és a késő nyári, kora őszi időszakban is. E mintázat hátterének a tisztázáshoz további adatok szükségesek.

6.5. Alvíz felé történő áthaladások

A potamodrom halak az életciklusuknak, fiziológiai igényeiknek megfelelő élőhelyeket a folyó hosszvénnyében felfelé és lefelé is keresik. A hatásosan működő halátjáróknak nemcsak a felvíz, hanem az alvíz irányába is átjutást kell biztosítaniuk a halak számára. A kutatás vizsgálati elrendezése nem volt alkalmas arra, hogy a halátjárón felvízről alvíz felé történő áthaladásokat is detektálni lehessen. Ugyanakkor figyelemre érdemes, hogy 2019 novemberében négy detektálási nap is volt (**A1. ábra**), viszont abban a hónapban áthaladási esemény nem történt (**B1. ábra**, Szentgotthárd). Ez csak úgy lehetséges, ha a szóban forgó napokon a halátjárón már korábban áthaladt egyedek generálnak jelfogást. Az adatok ellenőrzése ezt a feltevést megerősítette: a 2019-11-01-e után detektált egyedek (20 márna és egy domolykó) kivétel nélkül korábban, 2019-04-07–2019-10-31 között haladták át a halátjárón. Tehát feltételezhető, hogy az alvíz felől felvízre átkelt halak visszafelé is használják a szentgotthárdi átjárót, de ezt a kutatás jövőbeni folytatásának eredményei igazolhatják.

6.6. Következtetések

A három halátjáró felvíz irányába történő átjutást biztosít több, jó úszóképességű, vízközt, illetve a fenék közelében mozgó, folyami vándorlásra hajlamos halfaj (Bunt et al., 2012, Table I) számára is. Azonban a halátjárók működési hatásossága nem egyforma. Adott halátjárón az egyes fajoknak más-más az áthaladási mintázata (áthaladási ráta, áthaladási idő). A felvíz felé átkelt halak valószínűleg visszafelé is használják az átjárókat. Az eddigi kutatási

eredmények a halátjárók üzemelési jellegzetességeinek megismerésére vonatkozóan még több kérdést is nyitva hagytak.

6.7. Javaslatok a hatásossági vizsgálat módszertani fejlesztéséhez

A vizsgált halátjárók jelen tanulmányban feltárt hatásossági mutatóinak becslései kvantitatív bepillantást adnak a halátjárók működésébe. Ugyanakkor az eredmények megerősítéséhez és részletesebb megismeréséhez, a hatásossági mutatók időbeli változatosságának feltáráshoz, a halak kétirányú mozgásának, valamint a halátjárók által a halak számára funkcionálisan összekötött folyószakaszok élőhelyi jóságának megismeréséhez az eddigi tapasztalatokon alapuló módszertani fejlesztésekkel végzett jövőbeni kutatások vezethetnek. Ezekre vonatkozóan a következő javaslatokat célszerű figyelembe venni a vizsgálati elrendezés megtervezésekor.

Antenna-telepítési pontok Az eredmények informativitását leginkább akkor lehetne növelni, ha a vizsgálatához a halátjárók mindkét végpontjára telepítenének antennákat és leolvasó egységeket. Ezáltal értékelhetővé válna a halátjárók vonzási hatásossága, az átjárókon történő tényleges áthaladási idő, és a felvíz felől alvíz felé történő áthaladás is.

Jelölési napok koncentrációja A jelölési napokat célszerű volna egymást követő napokra ütemezni, melyek fenológiai, és naptárilag egyetlen időszakba tartoznak (pl. az ívás előtti kora tavaszi időszak). Ezáltal a halak mozgási motivációjában levő fenológiai hatásokból származó heterogenitás mérsékelhető, így megbízhatóbban becsülhető az áthaladási valószínűség jelöléstől eltelt idő függvényben történő változása, és lehetőség nyílik az áthaladási események gyakoriságának időszakokra (pl. hónapok) bontott elemzésére, a mostani eredmények által sejtetett két időszakban sűrűsödő áthaladások fenológiai mintázatának igazolására.

Jelölt halak testhossza Ha a vizsgálatba fogott fajok jelölt egyedeinek testhossz-eloszlása egyenletesebben lefedi a folyóban élő populációk testhossz-eloszlást, akkor megbízhatóbb becsléseket kaphatunk a halátjárók használatának testhosszfüggő jellemzőiről.

Kovariánsok Az időben változó környezeti körülményekről (pl. légnyomás, vízhőmérséklet, áramlási sebesség, vízmagasság) történt adatrögzítések vélhetően szintén hozzájárulnának a halátjárók használatának jobb megértéséhez.

A paduc célzott vizsgálata A paduc táplálékspecialista, potamodrom faj révén az ökológiai integritás egyik kiemelt indikátor halfaja. A felsőcsatári és szentgotthárdi halátjárók rendkívül alacsony áthaladási mutatóinak oksági feltárása segítheti ezen halátjárók paduc számára kedvezőbb módon történő átalakítását, amennyiben az eredmények ennek szükségességét indokolják.

Bentikus halfajok jelölése Az eddig jelölt halfajok hajlamosak a folyón nagyobb távolságokat megtenni, és az eredmények bemutatták, hogy ezek a fajok képesek átkelni a halátjárókon. Ugyanakkor a kifejezetten fenéklakó, védett halainkról nem tudjuk, hogy képesek-e áthaladni a halátjárókon? Az eddigi vizsgált fajok közül, a kis gyakorisággal jelölt fajok

helyett küllő, durbincs, és bucó fajok (bentikus fajcsoport) jelölése választ adhat erre a kérdésre.

Élőhely- és halállományszerkezet vizsgálatok A halátjárók működési hatásossága önmagában nem elegendő a halpopulációk hosszútávú megőrzésének sikeréhez. A halátjárók hatásossági vizsgálatának eredményeit célszerű lenne kiegészíteni az élőhelyszerkezet és az állomány-összetétel (fajkészletbeli hasonlóságok, testhossz-eloszlások, ivadék jelenléte, populációgenetikai vizsgálatok, jelölt halak duzzasztóműtől való eltávolodásának távolsága) alvízi és felvízi folyószakaszokon, időben ismételt végzett felméréseivel és összehasonlításaival, hogy átfogó képet kapjunk a keresztműtárgyak ökológiai hatásáról és természetvédelmi eredményességéről.

Hivatkozások

- Benjamini, Y. and Hochberg, Y. (1995), Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* **57**(1), 289–300.
- Bravo-Córdoba, F. J., Valbuena-Castro, J., García-Vega, A., Fuentes-Pérez, J. F., Ruiz-Legazpi, J. and Sanz-Ronda, F. J. (2021), Fish passage assessment in stepped fishways: Passage success and transit time as standardized metrics, *Ecological Engineering* **162**, 106172.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T. and Haro, A. (2012), Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration, *River Research and Applications* **28**(4), 457–478.
- Bunt, C. M., Katopodis, C. and McKinley, R. S. (1999), Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two denil fishways, *North American Journal of Fisheries Management* **19**(3), 793–803.
- Castro-Santos, T., Haro, A. and Walk, S. (1996), A passive integrated transponder (pit) tag system for monitoring fishways, *Fisheries Research* **28**(3), 253–261.
- Dalgaard, P. (2008), *Introductory Statistics with R*, Statistics and Computing, 2 edn, Springer-Verlag New York.
- Fox, G. A., Negrete-Yankelevich, S. and Sosa, V. J. (2015), *Ecological Statistics: Contemporary theory and application*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kiliç, S. and Becer, Z. A. (2016), Growth and reproduction of chub (*Squalius cephalus*) in Lake Yenice, Bolu, Turkey, *International Journal of Agriculture & Biology* **18**(2), 419–424.
- Noonan, M. J., Grant, J. W. A. and Jackson, C. D. (2012), A quantitative assessment of fish passage efficiency, *Fish and Fisheries* **13**(4), 450–464.
- Polcar, T., Podhorec, P., Stejskal, V., Kozák, P., Švinger, V. and Hadi Alavi, S. (2011), Growth and survival rates, puberty and fecundity in captive common barbel (*Barbus barbus* L.) under controlled conditions, *Czech Journal of Animal Science* **56**(10), 433–442.
- R Core Team (2021), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL: <https://www.R-project.org/>
- Reiczigel, J., Harnos, A. and Norbert, S. (2007), *Biostatistika nem statisztikusoknak*, Pars Kft., Nagykovácsi.
- Rodríguez, M. A. (2002), Restricted movement in stream fish: The paradigm is incomplete, not lost, *Ecology* **83**(1), 1–13.

- Sallai, Z. (2020), A Pinkán és a Rábán létesített hallépcsők működési hatékonyságának vizsgálata (AT2.2). Zárójelentés, resreport, Vaskos csabak Bt., 5561 Békésszentandrás, Hrsz. 0153/6.
- Schlosser, I. J. (1991), Stream Fish Ecology: A Landscape Perspective: Land use, which influences the terrestrial-aquatic interface, can affect fish populations and their community dynamics, *BioScience* **41**(10), 704–712.
- Silva, A. T., Lucas, M. C., Castro-Santos, T., Katopodis, C., Baumgartner, L. J., Thiem, J. D., Aarestrup, K., Pompeu, P. S., O'Brien, G. C., Braun, D. C., Burnett, N. J., Zhu, D. Z., Fjeldstad, H.-P., Forseth, T., Rajaratnam, N., Williams, J. G. and Cooke, S. J. (2018), The future of fish passage science, engineering, and practice, *Fish and Fisheries* **19**(2), 340–362.
- Skalski, G. T. and Gilliam, J. F. (2000), Modeling diffusive spread in a heterogeneous population: A movement study with stream fish, *Ecology* **81**(6), 1685–1700.
- Thiem, J. D., Binder, T. R., Dumont, P., Hatin, D., Hatry, C., Katopodis, C., Stamplecoskie, K. M. and Cooke, S. J. (2013), Multispecies fish passage behaviour in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Quebec, Canada, *River Research and Applications* **29**(5), 582–592.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A. and Smith, G. M. (2009), *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*, Statistics for Biology and Health, 1 edn, Springer-Verlag, New York.

Mellékletek

A. Detektálási és jelölési napok

Az adatminőség-ellenőrzésen átesett detektálási adatokban levő detektálási napok, és haljelölések napjai (**A1. ábra**, **A2. ábra**, **A3. ábra**).

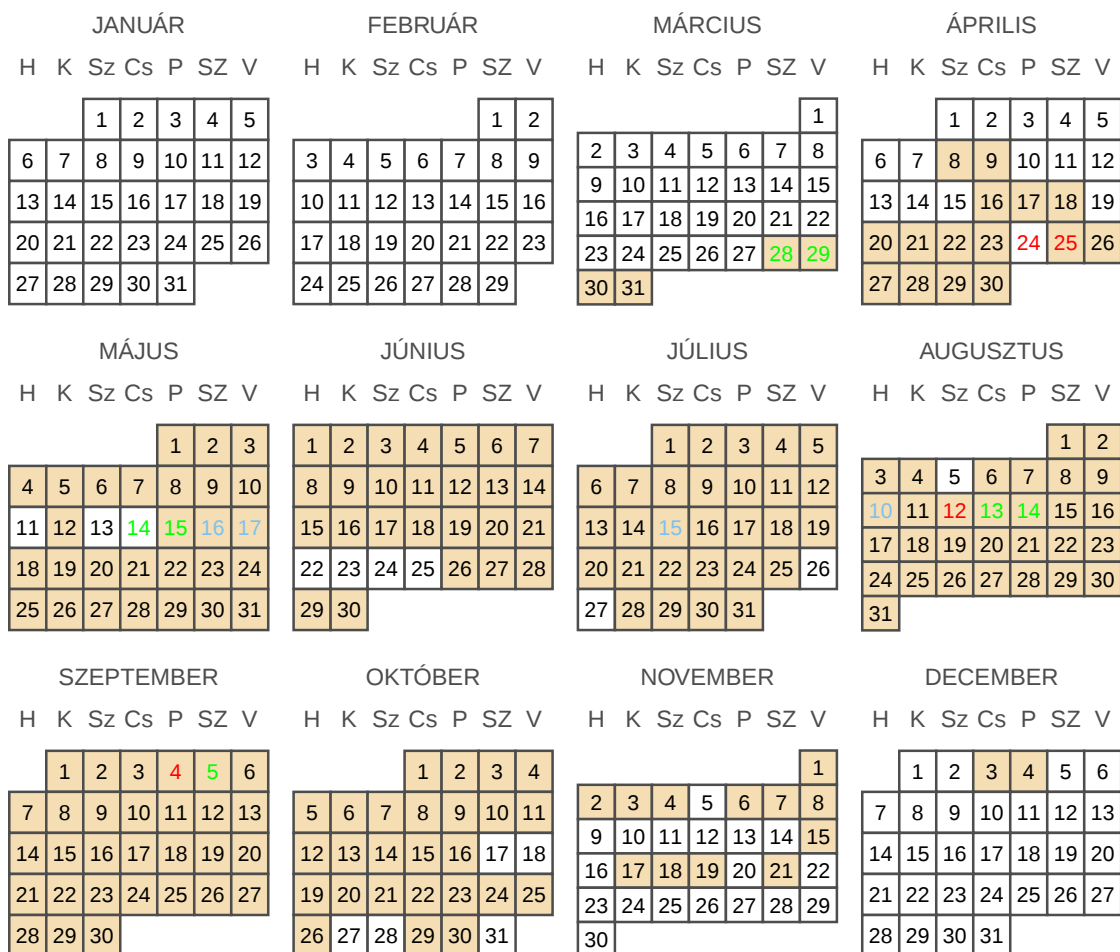
A detektálási napok búzaszínű háttérrel vannak kiemelve. A haljelölési napokat a feketétől eltérő színek kódolják: Felsőcsatár, világoskék; Ikervár, zöld; Szentgotthárd, piros. Volt két olyan jelölési nap, amikor két helyszínen volt jelölés: 2020-04-24-én Ikerváron és Szentgotthárdon, valamint 2020-09-05-én Felsőcsatáron és Ikerváron. 2021 évben haljelölés nem történt. Üzemidőszak: 2019 április és 2021 május között, megszakításokkal.

2019

JANUÁR	FEBRUÁR	MÁRCIUS	ÁPRILIS
H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V
1 2 3 4 5 6	1 2 3	1 2 3	1 2 3 4 5 6 7
7 8 9 10 11 12 13	4 5 6 7 8 9 10	4 5 6 7 8 9 10	8 9 10 11 12 13 14
14 15 16 17 18 19 20	11 12 13 14 15 16 17	11 12 13 14 15 16 17	15 16 17 18 19 20 21
21 22 23 24 25 26 27	18 19 20 21 22 23 24	18 19 20 21 22 23 24	22 23 24 25 26 27 28
28 29 30 31	25 26 27 28	25 26 27 28 29 30 31	29 30
MÁJUS	JÚNIUS	JÚLIUS	AUGUSZTUS
H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V
1 2 3 4 5	1 2	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4
6 7 8 9 10 11 12	3 4 5 6 7 8 9	8 9 10 11 12 13 14	5 6 7 8 9 10 11
13 14 15 16 17 18 19	10 11 12 13 14 15 16	15 16 17 18 19 20 21	12 13 14 15 16 17 18
20 21 22 23 24 25 26	17 18 19 20 21 22 23	22 23 24 25 26 27 28	19 20 21 22 23 24 25
27 28 29 30 31	24 25 26 27 28 29 30	29 30 31	26 27 28 29 30 31
SZEPTEMBER	OKTÓBER	NOVEMBER	DECEMBER
H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V	H K Sz Cs P SZ V
1	1 2 3 4 5 6	1 2 3	1
2 3 4 5 6 7 8	7 8 9 10 11 12 13	4 5 6 7 8 9 10	2 3 4 5 6 7 8
9 10 11 12 13 14 15	14 15 16 17 18 19 20	11 12 13 14 15 16 17	9 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 20 21 22	21 22 23 24 25 26 27	18 19 20 21 22 23 24	16 17 18 19 20 21 22
23 24 25 26 27 28 29	28 29 30 31	25 26 27 28 29 30	23 24 25 26 27 28 29
30			30 31

A1. ábra. Detektálási és jelölési napok 2019-ben

2020



A2. ábra. Detektálási és jelölési napok 2020-ban

2021

JANUÁR							FEBRUÁR							MÁRCIUS							ÁPRILIS						
H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V
					1	2	3							1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4
4	5	6	7	8	9	10								8	9	10	11	12	13	14			5	6	7	8	9
11	12	13	14	15	16	17								15	16	17	18	19	20	21			12	13	14	15	16
18	19	20	21	22	23	24								22	23	24	25	26	27	28			19	20	21	22	23
25	26	27	28	29	30	31								29	30	31							26	27	28	29	30

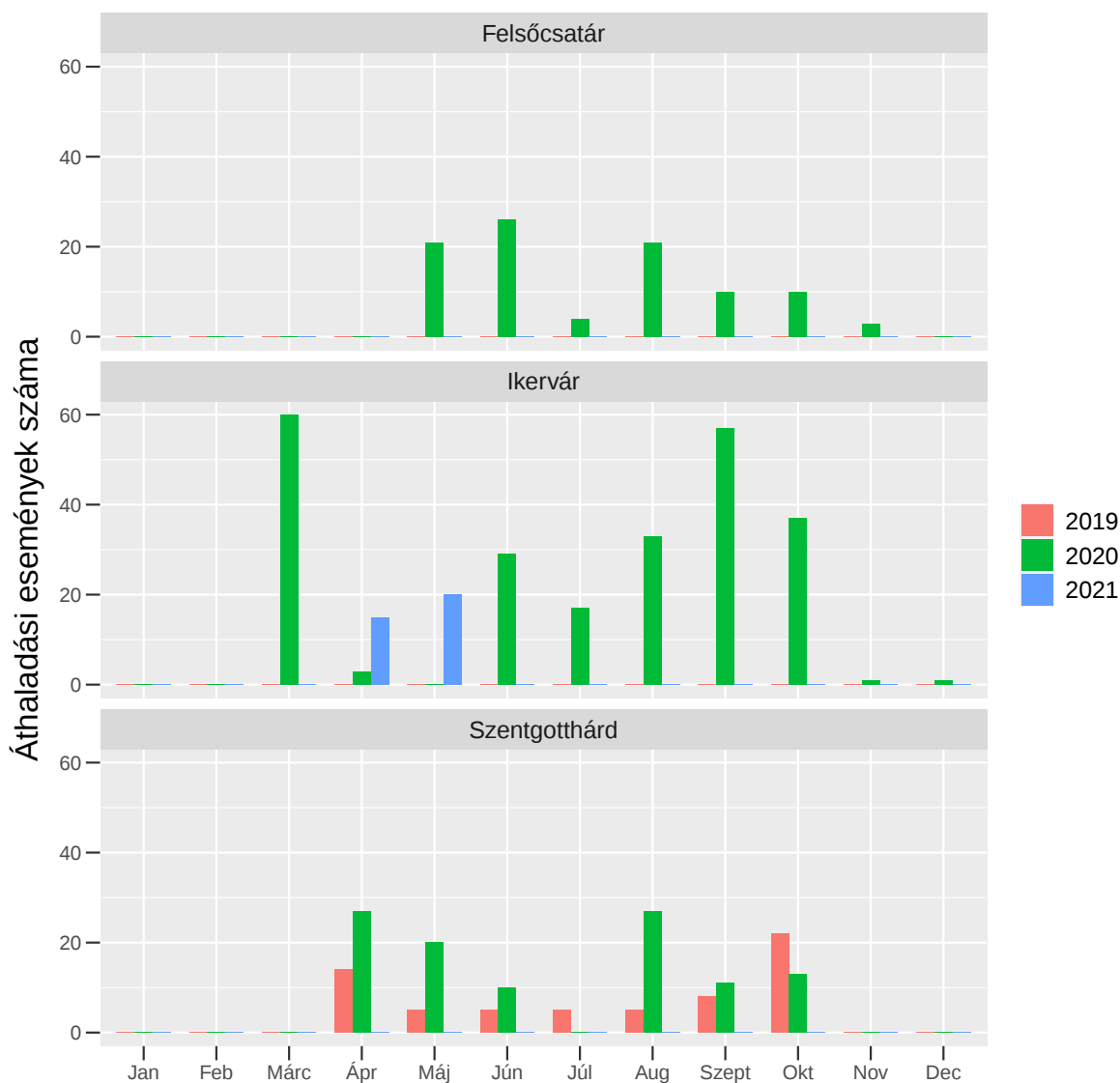
MÁJUS							JÚNIUS							JÚLIUS							AUGUSZTUS						
H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V
					1	2																					1
3	4	5	6	7	8	9								5	6	7	8	9	10	11							
10	11	12	13	14	15	16								12	13	14	15	16	17	18							
17	18	19	20	21	22	23								19	20	21	22	23	24	25							
24	25	26	27	28	29	30								26	27	28	29	30	31								
31																											

SZEPTEMBER							OKTÓBER							NOVEMBER							DECEMBER						
H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V	H	K	Sz	Cs	P	SZ	V
					1	2								1	2	3	4	5	6	7							
6	7	8	9	10	11	12								8	9	10	11	12	13	14							
13	14	15	16	17	18	19								15	16	17	18	19	20	21							
20	21	22	23	24	25	26								22	23	24	25	26	27	28							
27	28	29	30											29	30												

A3. ábra. Detektálási napok 2021-ben

B. Áthaladási események hónapok közötti gyakorisági eloszlása

A minőség-ellenőrzésen átesett adatokban szereplő márna, paduc, és domolykó összes 2863 egyede közül 540 egyed haladt át halátjárón. Ezen áthaladási események hónapok közötti gyakorisági eloszlását, helyek és évek szerinti bontásban az **B1. ábra** szemlélteti.



B1. ábra. A minőség-ellenőrzésen átesett adatokban szereplő márna, paduc, és domolykó áthaladási események hónapok közötti eloszlása (összesen 540 áthaladási esemény). 2021 évből csak Ikervárról álltak rendelkezésre adatok