



## Élőhelyi változók: az aljzat szemcseméretének vizsgálata különböző módszerekkel

### Comparative study of six methods to quantify stream substrate

Maroda Á.<sup>1</sup>, Sály P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Szent István Egyetem, Állattani és Állatökológiai Tanszék, Gödöllő*

<sup>2</sup> *Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany*

**Kulcsszavak:** szemcseméret eloszlás, aljzatösszetétel, vízfolyások élőhelyei, halökológia, becslési ráfordítás

**Keywords:** grain size distribution, substrate composition, stream habitat, fish ecology, estimation effort

#### Kivonat

Halaink térbeli eloszlását számottevően befolyásolhatja az aljzat összetétele. Az aljzatösszetétel becslése bizonytalanságokkal terhelt, ezért a gyakorlatban többféle eljárást is alkalmaznak a szemcseméret-eloszlás kvantitatív jellemzésére. Célunk volt, hogy tájékozódjunk az eljárások becslési ráfordításra adott érzékenységről, és az eljárások közötti becslési különbségekről. Kutatásunkba hat eljárást vontunk be: aljzatfrakciók becslése vizuálisan és random szemcsék fotóról lemért átmérője alapján, átlagos szemcseméret becslése fotókról random transekttekkel, valamint szitasorral frakcionált minták aljzatfrakciónak szemcseszám-, tömeg-, és térfogataránya eljárások. Megvizsgáltuk (i) az egyedi vizuális becslések közötti különbségeket, (ii) a vizuális becslés, random pont és random transekt módszerek becslési pontosságát a becslés ráfordítás függvényében, és (iii) az aljzatösszetétel-becslési eljárások becslési frakcióarányai közötti különbségeket. Eredményeink alapján (i) az egyedi vizuális becslések között mintától és frakciótól függően akár 75%-nyi különbségek is lehetnek. (ii) A módszerek becslési pontossága frakciótól és mintától függően javult a becslési ráfordítás növelésével. (iii) A leghasonlóbb frakcióarány-becsléseket a tömeg- és térfogatszázalék módszerek, a legeltérőbb frakcióarány-becslést pedig a szemcseszám-arány módszer adta. A képfeldolgozó eljárások használatakor a minta előkészítése hatással van a képek feldolgozhatóságára. Összefoglalva, az aljzat- és aljzat-aránybecslését a megválasztott vizsgálati eljárás mellett, a becslési ráfordítás, a szemcsék mérettartománya és az aljzattípus homogenitása is befolyásolja. Ezért azoknál a haltani kutatásoknál, ahol kiemelt jelentősége van az aljzat minél pontosabb számszerűsítésének, célszerű előzetes vizsgálatot végezni az alkalmazni kívánt eljárás érzékenysége megismerésére.

#### Abstract

Substrate composition can affect greatly the spatial distribution of fish. The estimation of substrate composition loaded with uncertainty, therefore in practice there are several methods for quantitative characterization of substrate size distribution. Our aim was to assess sensitivity of different methods to the estimation effort and to compare the results among methods. Our research included six procedures: visual estimation of substrate fractions, measurement of the diameter of random particles from photographs, estimation of average particle size from photographs with random transects, and particle number ratio, weight ratio, and volume ratio for fractionated samples with sieves. We investigated (i) the differences between individual fraction ratio estimations of visual method, (ii) precision of estimations in case of visual estimation, random point and random transect methods, and (iii) the differences between substrate compositions of different methods. Our results show that (i) there may be even 75% differences between the individual visual estimations depending on method and fraction. (ii) With the increased estimation effort the precision of estimations of the methods improved depending on substrate samples. (iii) The most similar fraction ratio estimations are given by weight ratio and volume ratio, and the most differ result from other used methods is given by the particle number ratio method. When using image processing procedures, sample preparation affects the processability of the images. In summary, in addition to the chosen method, the quantification of the substrate is also influenced by the estimation effort, the particle size range and the homogeneity of substrate sample. Therefore, in the case of fish researches, where particularly important the most precise quantification of the substrate, it is advisable to carry out a preliminary study for determination the sensitivity of the chosen procedure.

## Bevezetés

A halak elterjedését és élőhely-használatát a vízfolyások aljzata jelentősen befolyásolja. A különböző szemcseméretű mederfenék búvóhelyet, szaporodási felületet, táplálkozási mátrixot nyújt a halaknak (Manna et al. 2017, Reichard 2008, Simonson et al. 1993, Vlach et al. 2005).

Aljzatösszetétel-becslésre több eljárást is találhatunk a szakirodalomban. Az egyik legelterjedtebb módszer az aljzat kategóriák relatív arányának terepen történő vizuális becslése (Fulton et al. 2016, Manna et al. 2017, Maroda & Sály 2018, Simonson et al. 1993, Zenter et al. 2018). A vizuális becslés gyors és egyszerű eljárás, ám az eredményét nagymértékben befolyásolhatja – a terepi viszonyok mellett (például a víz zavarossága, a növényállomány denzitása, a víz mélysége) – a becslést végző személyek száma és az aljzat osztályozottsága (szemcseméret homogenitása) (Simonson et al. 1993). A vizuális becslés egy másik formája, hogy nem a szemcseméret eloszlás, hanem csak a legnagyobb mennyiségben jelenlevő ún. domináns frakció jelenléte kerül rögzítésre (Branigan et al. 2018, Greenberg 1991, Rankin 1986).

Az aljzatösszetétel vizsgálatára hagyományosan alkalmazott másik eljárás az aljzatfrakciók tömegszázalékos arányának megállapítása (Bunte & Abt 2001, Cummins 1962, Young & Hubert 1991). A módszer sajátja, hogy eredeti helyéről kiemelt aljzatmintákat igényel. További jellemző, hogy a nagyobb méretű, tömör kődarabok mintabeli tömegarányukat tekintve felülbecslődhetnek, szemben a mederfenékre vonatkoztatott borítási felületükkel. Ennek elkerülésére az aljzatfrakciók tömegszázalékos aránya helyett alternatívát jelenthet a frakciók térfogatszázalékos eloszlásának alkalmazása.

Napjainkban a digitális képfeldolgozás eszköztára is rendelkezésünkre áll a szubsztrát jellemzőinek vizsgálatára (Kumara et al. 2012, Lira & Pina 2009, Strom et al. 2010). A digitális képfeldolgozó eljárások alkalmazása az aljzatmintákról készült fotók alapján történik. A fotók elemzése az elérendő célnak megfelelő számítógépes programokkal elvégezhető. A számítógépes programokkal való képelemző eljárások alkalmazhatóságát azonban behatárolhatja az általuk adott eredmény jellege. Más célokra használható például egy aljzatösszetételt becsülő és egy átlagos szemcseméretet becsülő módszer.

Ideális esetben egy környezeti tényező számszerűsítésére alkalmazott eljárás pontos, megbízható és torzítatlan adatokat eredményez. Egy becslési avagy mérési eljárás pontossága (*precision*) a becslendő (méréendő) paraméterre vonatkozó ismételt becslések avagy mérések átlag körüli szóródásának reciprokát értjük. Minél nagyobb az ismételt becslések (mérések) szórása annál pontatlanabb a becslési eljárás. Az ismételt becslések értékei és a becslendő valódi érték (paraméter) közötti különbségek várható értékének (átlagának) abszolút értéke a becslés megbízhatósága (*accuracy*). Ha ezen különbségre előjellel tekintünk, akkor beszélhetünk a becslés avagy mérés torzításáról (*bias*): ha a különbségek várható értéke nulla, a becslés torzítatlan, ha negatív, alulról torzított (alul becsült), ha pozitív felülről torzított (felül becsült). A becslési vagy mérési eljárás torzításának és megbízhatóságának megállapításához a vizsgálandó mennyiség valós vagy valószínű elfogadott értékének (paraméter) ismerete szükséges, azonban a becslés avagy mérés pontossága az ismételt mérések szórásának (variációjának) ismeretében, a paraméter nélkül is értékelhető (Walther & Moore 2005).

A kutatás célja és térléptéke befolyásolhatja, hogy milyen pontosságú becslési eljárást választunk egy abiotikus jellemző becslésére, illetve az eljárás által adott eredmény pedig behatárolja az adatok biológiai értelmezhetőségét. Ugyanakkor a terepi felmérések során az is fontos szempont, hogy a választott becslési eljárás gyorsan és könnyen elvégezhető legyen, ne igényeljen túl nagy idő- és munkabefektetést.

Összehasonlító vizsgálatunk célja a halökológiai kutatásokban használható egyszerűbb aljzat-számszerűsítő eljárások előnyök és hátrányok szempontjából való körüljárása. Módszertani kutatásunkban hat aljzat-számszerűsítő eljárást vontunk be: vizuális becslést, random pont módszert, random transzekt módszert, valamint a térfogat-, a tömeg-, és a darabszázalékos frakcióarányok megállapítására irányuló eljárásokat. 1) Megvizsgáltuk az

egymástól független, vizuális becslést végző személyek által adott frakció-eloszlások közötti különbségeket. (2) Értékeljük a vizuális becslés, a random pont és random transzekt módszerek pontosságának becslési ráfordításra való érzékenységét (módszeren belüli összehasonlítások). 3) Összevetettük a különböző becslési eljárással kapott frakcióeloszlásokat (módszerek közötti összehasonlítás). Ezen célok mellett az eredmények értékelésekor kitérünk a képfeldolgozó eljárásokkal kapcsolatos tapasztalatainkra is.

### Anyag és módszer

#### Aljzatminták és előkészítésük

Módszertani vizsgálatunkat négy aljzatmintán végeztük el. Kettő mintát a Tarna dombvidéki szakaszán (Aldebrő, EOY X: 272442, EOY Y: 738359; EOY X: 272463, EOY Y: 738363), és kettő mintát az középhegységi Ilona-patakából (Parádfürdő, EOY X: 287093, EOY Y: 725842; EOY X: 287096, EOY Y: 725827) vettünk, a mederanyag kb. 4 dm<sup>2</sup>-es területének felső 2 – 4 cm-es rétegének kotrásával. Tehát a vizsgált aljzatminták értékelése nem *in situ* állapot alapján, hanem utólagos feldolgozást követően történt. A feldolgozás során az aljzatmintákat tálcákra terítettük, és tömegállandóságig szárítottuk. Azt követően az aljzatmintákra a méretarányok rögzítése céljából vonalzót helyeztünk, és lefényképeztük őket (Pentax K-50 típusú fényképezőgép); a fényképek felbontása 300 dpi, 4928 × 3264 képpontos volt (1. ábra). A fotózást követően a mintákat szitatorral hat szemcseméret-frakcióra választottuk szét (1. táblázat).



1. ábra. A négy aljzatminta fotója (képek felbontása: 300 dpi, 4928 × 3264 képpont)  
Fig. 1. Photographs of the four substrate samples (images resolution: 300 dpi, 4928 × 3264 pixels)

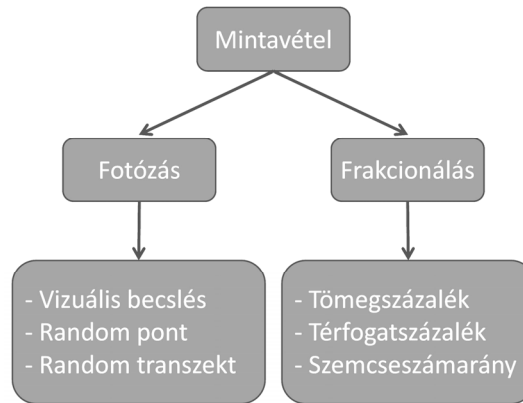
1. táblázat. Az alkalmazott szitator által meghatározott frakció-mérettartományok jelölése, neve és mérettartománya (milliméterben)

Table 1. The marking, name and size range (in millimeters, based on mesh sizes of sieves) of the fractions of sieved substrate samples

Frakció jelölése	Frakció neve	Mérettartomány [mm]
frac1	homokos iszap	(0,00 – 0,71]
frac2	homok	(0,71 – 2,00]
frac3	finom kavics	(2,00 – 8,00]
frac4	közepesen durva kavics	(8,00 – 24,00]
frac5	durva kavics	(24,00 – 64,00]
frac6	kő	(64,00 – Inf]

#### Aljzatvizsgálati módszerek

A vizuális becslés, a random pont és random transzekt módszereket az aljzatminták fotóin, míg a tömegszázalék, térfogatszázalék és szemcseszámarány módszereket a szitált aljzatmintákon alkalmaztuk (2. ábra).



2. ábra. Az aljzatminták vizsgálatának vázlatpontos bemutatása  
Fig. 2. Schematic presentation of the examination of substrate samples

#### *Frakcióarányok vizuális becslése fotóról (vizuális becslés módszer)*

Kilenc ökológus szakember becsülte meg a fényképek alapján, egymástól függetlenül, a szítasorral történt frakcionálásnak megfelelő hat szemcseméret-frakció (1. táblázat) képen látható százalékos borítási arányát. A szemcsék valós méretének, és ezáltal a frakciók mintabeli arányának megbecsléséhez a fotókon szereplő vonalzó nyújtott segítséget.

#### *Random szemcsék átmérőjének mérése fotóról (random pont módszer)*

A mintákat reprezentáló fotókon, mintánként száz-száz darab random aljzatszempst választottunk ki, melyek legnagyobb átmérőjét (ún. Ferret átmérő) ImageJ program (Rasband 1997-2018) segítségével lemértük. A program hossz méréshez való kalibrációja a fotókon lévő vonalzóval történt. A lement szemcséket a frakcióhatároknak megfelelően méretcsoportokba soroltuk (1. táblázat), majd az egyes frakciókba tartozó szemcsék száma és az összes lement szemcseszám (mind a négy aljzatomint esetében száz darab szemcse) alapján kiszámítottuk az aljzatominták frakcióarányainak százalékos összetételét.

#### *Random transzezt által átszelt szemcsék számolása fotóról (random transzezt módszer)*

A mintákat reprezentáló fotókon mintánként száz darab, közel azonos hosszúságú szakasz-transzeztet jelöltünk ki. A transzezt mentén megszámoltuk azon szomszédos, hézag nélküli szemcsék számát, amelyeket metszett a transzezt. A transzezt ismert hosszát elosztva a szemcsék számával egy átlagos szemcseméret értéket kaptunk milliméterben. Az eljárás fotókon való alkalmazása ImageJ programmal történt. A program hossz mérésre való kalibrálását a fotókon lévő vonalzóval végeztük.

#### *Frakciók szemcseszámának aránya (szemcseszám arány módszer)*

Az eljárás során megszámoltuk a szítasorral frakcionált szemcseméret-frakciókba tartozó szemcsék számát, majd a frakciók szemcseszámának összegével kiszámítottuk a mintánkénti összes szemcseszámot. A frakciónkénti és az összes szemcseszám ismerete alapján megkaptuk a frakciók darabszázalékos vagy szemcseszám arány összetételét.

A kevés szemcsét tartalmazó, emberi szemmel jól látható mérettartományba eső frakciók szemcseszámát leszámolással pontosan meg tudtuk állapítani, azonban a túlzottan kicsi és/vagy sok szemcsét tartalmazó frakciók szemcseszámát inverz regresszióval becsültük. Ehhez frakciónként ismert számú szemcse tömegét analitikai mérlegen (Shimadzu AP225W, mérési tartomány: 0–220g) lemértük. Az aljzatominták kettes frakciója (frac2) esetében 8, 16, 32, 64, 128, 192, 256, 341, 426 és 512 darab szemcse tömegét, az aljzatominták hármass frakciója (frac3) esetében pedig 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 és 512 darab szemcse tömegét mértük le három ismétlésben. Az aljzatominták közül a háromszori

ismétlésben lemérendő szemcsék kiválasztását visszatevéses random mintavétellel végeztük. Az ismert mennyiségű szemcsék tízes alapú logaritmus transzformált értékeire és a hozzájuk tartozó szintén tízes alapú logaritmus transzformált tömegértékekre lineáris regresszió modellt illesztetünk. A frakciók teljes tömegének ismeretében a regressziós egyenes egyenletéből kifejeztük az adott frakcióra modell szerint becsült összes szemcseszámot, amely az adott frakció teljes tömegéhez tartozik.

#### *Frakciók tömegaránya (tömegszázalék módszer)*

A mintákban lévő frakciók tömegszázalékos eloszlásához mintánként lemértük a frakciók tömegét analitikai mérlegen és táramérlegen (Shimadzu AP225W, mérési tartomány: 0–220g; és Orma model BC1800, mérési tartomány: 0–2200 g). A lemért tömegadatok alapján kiszámítottuk a frakciók mintán belüli tömegszázalékos arányát.

#### *Frakciók térfogataránya (térfogatszázalék módszer)*

A mintákban lévő frakciók térfogatszázalékos arányainak megállapítását frakciónként, mérőhenger és ismert mennyiségű víz hozzáadásával végeztük. A mérőhengerbe beleraktuk az adott frakcióhoz tartozó szemcséket, majd ismert térfogatú, a szemcséket ellepő vizet öntöttünk a mérőhengerbe. Leolvastuk a víz és szemcsék együttes térfogatát, majd az együttes víz–szemcséfrakció térfogatából kivontuk az ismert térfogatú vizet, így megkaptuk a frakció térfogatát. Végül kiszámoltuk az egyes frakciók teljes minta térfogathoz viszonyított térfogatszázalékos arányát.

### **Statistikai adatelemzés**

#### *Egyedi szubjektív becslések változatossága a vizuális becslésben*

Mintánként megvizsgáltuk a vizuális becslést végző személyek egyedi, szubjektív becsléseinek szórását, valamint az egyedi becslések százalékos értékei közötti legnagyobb különbségeket. Az egyéni becslések közötti eltérések vizsgálatához a kilenc fő egyedi vizuálisan becsült frakcióarányait használtuk.

#### *Becslési ráfordításra való érzékenység (módszeren belüli összehasonlítások)*

A vizuális becslés, random pont és random transzekt módszerek ismételt becsléseinek pontosságát vizsgáltuk a becslési ráfordítás függvényében.

Vizuális becslés módszer pontosságát az ismételt frakcióarány-becslések átlagának szórásával és a frakcióarány-becslések szórásainak mintánkénti összegével számszerűsítettük. Randomizációs eljárással visszatevés nélkül kiválasztottunk a kilenc becsülő személy közül egy, kettő, három, négy, öt és hat becsülő személy független egyedi becslését (becslési ráfordítás) kilenc ismétlésben. Az ismételt frakcióarány-becslések átlagából minden becslési ráfordítás mellett kiszámítottuk a mintánkénti és frakciónkénti szórást, és a mintánkénti szórásösszeget.

A random pont módszer pontosságát szintén az ismételt frakcióarány-becslések átlagának szórásával és a frakcióarány-becslések szórásainak mintánkénti összegével számszerűsítettük. A módszer becslési ráfordítását a száz lemért szemcséből kiválasztott 10, 20, 40, 60 és 80 darab szemcse adta. A szemcséket minden becslési ráfordítási szint esetében randomizációs eljárással visszatevés nélkül választottuk ki, majd a becslési ráfordításnak megfelelő számú kiválasztott szemcse alapján kiszámítottuk a minták százalékos frakcióeloszlását. Mindezt száz ismétléssel végeztük. Minden becslési ráfordítás mellett kiszámítottuk az ismételt frakcióarány-becslések átlagának mintánkénti és frakciónkénti szórását, és mintánkénti szórásösszeget.

A random transzekt módszer becslési ráfordításra való érzékenységét az átlagos szemcseátmérő ismételt becsléseinek szórásával vizsgáltuk. A száz lemért transzektből random módon, visszatevés nélkül kiválasztottunk 10, 20, 40, 60, 80 transzektet (becslési ráfordítás) száz ismétlésben, majd becslési ráfordításonként kiszámítottuk a transzekttekhez tartozó átlagos szemcseátmérő-becslések átlagának szórását mintánként.

### Módszerek közötti összehasonlítás

A módszerek közötti összehasonlításhoz azokat az eljárásokat használtuk, melyek frakcióarányt eredményeznek. Így a random transzekt módszer, amely átlagos szemcseátmért ad eredményül, kimaradt ebből a vizsgálatból. A vizuális becslés módszer kilenc személy által becsült frakcióeloszlását (maximális becslési ráfordítás), a random pont módszer esetében pedig a száz random pont alapján megállapított frakcióeloszlást (maximális becslési ráfordítás) vettük figyelembe. A különböző aljzatbecslési-eljárásokkal kapott frakcióarányokat többváltozós statisztikai módszerekkel hasonlítottuk össze. Többváltozós varianciaanalízissel (MANOVA) vizsgáltuk, hogy az öt aljzatösszetétel-becslési eljárás által adott frakcióarányok különböznek-e egymástól, majd lineáris diszkriminancia analízissel (LDA) tártuk fel, hogy mely aljzatfrakciók járulnak hozzá leginkább a becslési eljárások közötti különbségekhez.

A MANOVA és LDA modellek függő változóit az aljzatminták százalékos frakcióarányai, magyarázó változóit pedig az aljzatösszetétel-becslési módszerek adták. A statisztikai elemzéseket R környezetben végeztük.

## Eredmények

### Aljzatminták feldolgozása

A hat aljzatfrakció mintabeli jelenlétét tekintve eltérések voltak a módszerek eredményei között. A tömegszázalék, a térfogatszázalék és a szemcseátmérvény módszer által adott frakcióeloszlásokból az ötös (frac5) frakció az ALD002 mintából, a hatos (frac6) frakció pedig az ALD001 és ALD002 mintákból hiányoztak. Szintén hiányzott a hatos frakció (frac6) az ALD002 mintából a vizuális becslés és a random pont módszerrel kapott eredmények esetében. Továbbá a random pont módszerrel kapott frakcióeloszlások alapján hiányzott az első frakció (frac1) az ALD001 és ALD002 mintákból.

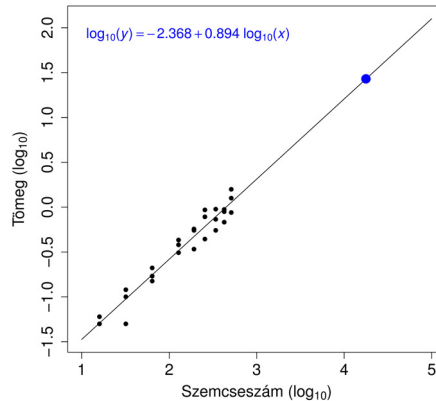
A szitált minták legkisebb mérettartományú frakcióijának (frac1) kivételével az összes aljzatfrakció szemcséi szabad szemmel láthatóak voltak, így a szemcsék számolásához nem volt szükség sem preparáló nagyítóra sem sztereómikroszkópra. A frakciók szemcseátmérvényének megállapítására végzett inverz regressziót a négy minta kettes frakciójára (frac2) és az ILO002 jelű aljzatminta hármas frakciójára (frac3) végeztük el. A regressziós egyenes általános egyenlete  $\lg T\text{ömeg} = a + b \times \lg \text{Szemcseátmérvény}$ , amelyből kifejeztük a fentebb leírt frakciók összes-szemcseátmérvényeit (2. táblázat). Példaként említve az ALD001-es aljzatminta kettes frakciójára (frac2) által tartalmazott szemcsék számának kiszámítása a következőképpen történt. A frakcióból kivett szemcsék ismert mennyiség (darab) és tömeg értékeinek tízes alapú logaritmus transzformáltjaira illesztett regressziós egyenes egyenlete  $\lg T\text{ömeg} = -2.368 + 0.894 \times \lg \text{Szemcseátmérvény}$  volt. A frakció 26,86 g-nyi teljes tömegének az egyenletbe való behelyettesítésével megkaptuk a frakció teljes szemcseátmérvényére vonatkozó becslést: 17 759 darab szemcsét (3. ábra).

A négy aljzatminta legkisebb frakciójára (frac1) esetében sem a szabad szemmel, sem a sztereómikroszkóppal (Zeiss Stemi 305) történő szemcseátmérvényezés nem volt lehetséges a szemcsék kis mérete miatt. Így a frakció szemcseátmérvényét nem tudtuk megállapítani.

2. táblázat. Az aljzatfrakciók összes szemcseátmérvényének megállapítására végzett inverz regressziós egyenesek tengelymetszete (a) és meredeksége (b); a tengelymetszet standard hibája (aSE), a meredekség standard hibája (bSE), a modell szabadsági foka (Df), és a modell determinációs együtthatója (R<sup>2</sup>)

Table 2. The intercept (a) and slope (b) of regression lines, which we used for total particle number calculation of substrate fractions; aSE is the standard error of the intercept, bSE is the standard error of the slope, Df is the degrees of freedom in regression models, and R<sup>2</sup> is the determination coefficient of models

Minta ID	Frakció jele	a	b	aSE	bSE	Df	R <sup>2</sup>
ALD001	frac2	-2,368	0,894	0,095	0,043	25	0,944
ALD002	frac2	-2,935	1,052	0,030	0,013	23	0,996
ILO001	frac2	-2,803	1,023	0,090	0,042	25	0,961
ILO002	frac2	-2,538	1,022	0,077	0,037	28	0,965
ILO002	frac3	-0,836	0,886	0,064	0,033	17	0,977



3. ábra. Az ALD001 aljzatminta kettes aljzatfrakciójának (frac2) szemcseszám-tömeg összefüggése, amelyre regressziót végeztünk a frakcióba tartozó összes szemcse számának megállapításához. A fekete pontok az ismert mennyiségű aljzatszemcse tízes alapú logaritmus-transzformált értékeit és a hozzájuk tartozó tömeg tízes alapú logaritmus-transzformált értékeit jelölik. A kék pont jelöli a frakció ismert teljes tömegének tízes alapú logaritmustranszformált értékéhez tartozó ismeretlen szemcseszám (a frakció összes szemcseszáma) tízes alapú logaritmustranszformált értékét. Az egyenlet az ALD001 aljzatminta kettes frakciójához (frac2) tartozó regressziós egyenes egyenlete, amelyből kifejezve kiszámítható a frakció összes szemcseszáma

Fig. 3. The particle number-mass context of the frac2 of ALD001 substrate sample. Black points represent the decimal-based logarithm-transformed values of known particle numbers and mass. Blue point marks the decimal-based logarithm-transformed value of the unknown total particle number of fraction, which belongs to the decimal-based logarithm-transformed value of the total mass of fraction. The unknown value is calculable based on the equation of regression line

### Egyedi szubjektív becslések változatossága a vizuális becslésben

Az aljzatfrakciók kilenc személy általi egyedi független becslései jelentősen eltértek egymástól. Az adatokat a frakcióarányok százalékos mértékével kifejezve, a kilenc személy egyedi becslései közötti szórás 0 és 22,50% között, míg a frakcióarányok személyenkénti becslései közötti legnagyobb különbség pedig 0% és 75% között változott. A személyek közötti szórás és az egyedi becslések közötti legnagyobb különbség mértéke mintánként nem volt azonos, illetve ezen értékek egy adott mintán belül frakciónként is eltértek. Például az ILO001-es minta esetében a hatos frakciónál (frac6) volt a legkisebb az aljzatfrakciók egyedi becsléseinek szórása (5,70%) és az egyedi becslések közötti legnagyobb eltérés legkisebb mértéke (18%) (3. és 4. táblázat). Ugyanezen mintában a frakcióarányok egyedi becsléseinek legnagyobb szórása (13,32%) és az egyedi becslések közötti legnagyobb eltérés (45%) a kettes frakciónál (frac2) volt (3. és 4. táblázat). Az első frakciót (frac1) tekintve az egyedi becslések legkisebb szórásértéke (0,71%) és az egyedi becslések közötti legnagyobb eltérés legkisebb értéke (2%) az ILO002 aljzatmintánál volt (3. és 4. táblázat). Ezzel szemben a frakció egyedi becsléseinek legnagyobb szórása (13,57%) és az egyedi becslések közötti legnagyobb különbség legnagyobb értéke (37%) az ALD002-es jelű mintánál volt (3. és 4. táblázat).

3. táblázat. A vizuális becslést végző kilenc személy egyedi becslései közötti szórásértékek aljzatmintánként és frakciónként

Table 3. The standard deviation values of visually estimated sediment fractions between nine researchers for each substrate samples

Minta ID	Frac1	Frac2	Frac3	Frac4	Frac5	Frac6
ALD001	3,24	2,74	8,21	8,21	14,54	3,89
ALD002	13,57	22,22	22,50	2,09	0,53	0,00
ILO001	7,53	13,32	7,82	6,61	11,96	5,70
ILO002	0,71	4,50	8,57	12,10	9,98	2,29

4. táblázat. Az aljzatfrakciók százalékos arányának vizuális becslését végző személyek legkisebb és legnagyobb becslései közötti különbség aljzatmintánként és frakciónként

Table 4. Differences between the minimum and maximum percentage values given by visual estimators for each substrate samples

Minta ID	Frac1	Frac2	Frac3	Frac4	Frac5	Frac6
ALD001	10	10	25	25	46	10
ALD002	37	68	75	5	1	0
ILO001	25	45	25	20	30	18
ILO002	2	10	25	40	33	5

### Beclsési ráfordításra való érzékenység (módszeren belüli összehasonlítások)

#### Vizuális becslés módszer

Azonos mértékű beclsési ráfordítás mellett, a vizuális beclsési módszer ismételt beclséseinek szórása mintánként különböző volt (felhívjuk a figyelmet arra, hogy az egy beclső személy melletti ráfordítás vizsgálati eredményei azonosak a szubjektív beclsések változatosságára vonatkozó előzőleg ismertetett eredményekkel). Továbbá, a frakcióarányok szórása mintán belül sem volt azonos mértékű. Kivétel ez alól az ALD002-es aljzatminta ötös (frac5) és hatos (frac6) frakciója, ahol a két említett frakció ismételt beclséseinek szórása szinte minden beclsési ráfordítás mellett megegyezett. Ugyanakkor az ismételt beclsések szórása az összes aljzatminta mind a hat frakciója esetében csökkenő trendet mutatott a beclsési ráfordítás növelésével (a beclsést végző személyek számának növelésével) (4.a ábra). A beclsési ráfordítás (becslést végző személyek száma) növelésével való csökkenés a frakcióarányok szórásainak mintánkénti összegeinél is megfigyelhető volt, de beclsési ráfordításonként változott, hogy melyik aljzatminta szórásösszege volt a legnagyobb (5.a ábra). A szórásösszegek csökkenésének mértéke az egy személy és a két személy általi, ismételt frakcióarány-beclsések között volt a legjelentősebb (5.a ábra).

#### Random pont módszer

A random pont módszernél is különböző volt mintánként és frakciónként az azonos beclsési ráfordításhoz tartozó ismételt frakcióarány-beclsések szórása. Az ismételt beclsések szórása a beclsési ráfordítás (lemért szemcsék száma) növelésével csökkent. Ez alól kivétel volt ez esetben is az ALD002-es minta hatos frakciója (frac6), továbbá az ALD001-es és ILO002-es minták első frakciója (frac1), ahol az ismételt frakcióarány-beclsések szórása az összes beclsési ráfordítás mellett azonos volt (4.b ábra). A frakcióarányok mintánkénti szórásösszeg-értékei az aljzatmintától függően eltérőek voltak, de az aljzatminták szórásösszeg-értékek szerinti egymáshoz viszonyított sorrendje bármely beclsési ráfordítás mellett hasonló volt (5.b ábra). A frakcióarányok mintánkénti szórásösszege e módszernél is csökkent a beclsési ráfordítás növelésével (5.b ábra). A frakcióarányok szórásösszegeinek csökkenése a 10 és 20, illetve a 20 és 40 lemért szemcsé (becslési ráfordítás) között tűnt a legjelentősebbnek (5.b ábra).

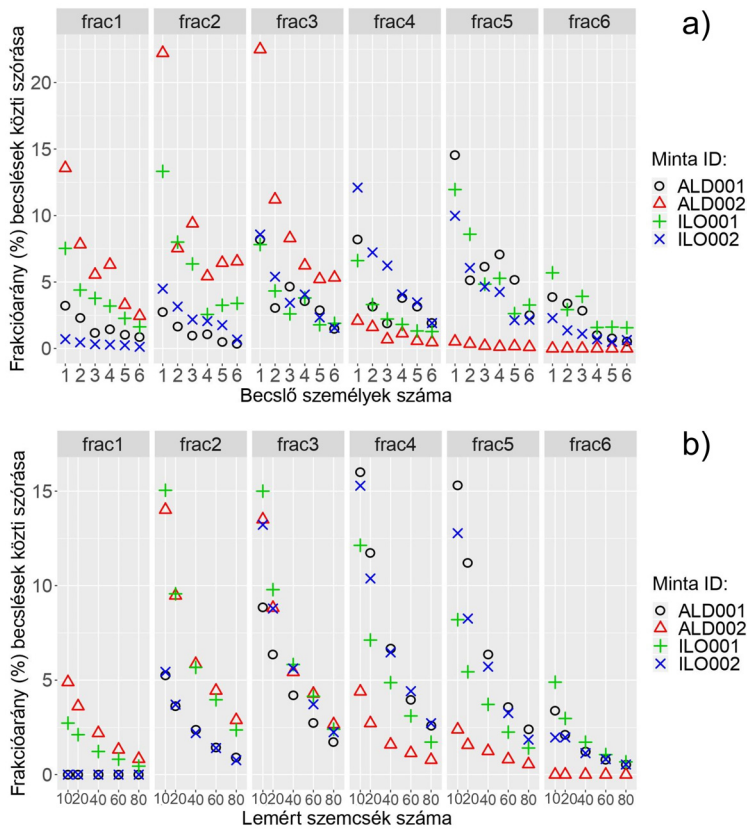
#### Random transzekt módszer

Az aljzatmintákra random transzekt módszerrel kapott átlagos szemcseátmérő ismételt beclséseinek szórása mintánként és beclsési ráfordításonként (az átlagos szemcseméret beclsésére alkalmazott transzektaszám) eltérő volt. Bár a szemcseátmérő szórásainak nagysága mintáról mintára eltért, a minták egymáshoz viszonyított sorrendisége bármely beclsési ráfordításnál azonos volt (5.c ábra). Az ismételt beclsések szórásának mértéke a beclsési ráfordítás növelésével (alkalmazott transzekték számának növelésével) csökkenést mutatott (5.c ábra), ám a csökkenés mértéke mintánként eltért. Az ismételt beclsések szórásának csökkenése alól kivételt jelentett az ALD002 jelű minta, ahol az átlagos szemcseátmérő ismételt beclséseinek szórása 0 mm körüli volt bármely beclsési ráfordítás mellett.

Az átlagos szemcseátmérő ismételt beclsései közötti legnagyobb különbség mintánként eltért, de még kis ráfordítás (10 – 20 transzekt) mellett is viszonylag alacsony volt. Két



ismételt becslés közötti legnagyobb különbség 10,63 mm alatt marad. Például 20 transzekt esetében a négy mintára nézve a legnagyobb különbség 0,11 és 3,35 mm közötti, ugyanez az érték 80 transzekt esetében 0,06 és 1,89 mm között változott (5. táblázat).



4. ábra. A minták a) vizuális becslés és b) random pont módszerekkel kapott frakcióarány-becsléseinek szórása frakciónkénti bontásban a becslési ráfordítás mértékének függvényében. A becslési ráfordítás mértéke a) a becslő személyek száma, b) a lemert szemcsék száma

Fig. 4. The standard deviation of fraction ratio estimates of samples by a) visual method and b) random point method per fractions as a function of estimation effort. For a) the number of estimator persons, b) the number of measured particles are the degree of estimation efforts

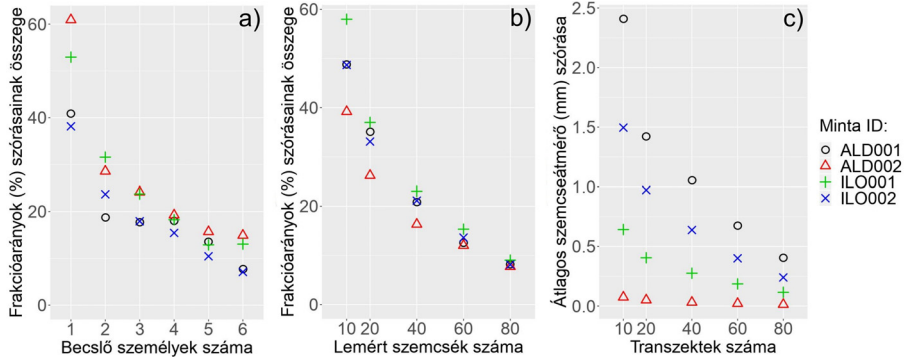
#### Módszerek közötti összehasonlítás

Az öt módszerrel (vizuális becslés, random pont, szemcseszámárány, tömegszázalék és térfogatszázalék) becsült hat aljzatfrakció arányának összege 100%, mivel a változók (frakciók) komplementer viszonyban állnak egymással. Ez a modelleknél túlparaméterezettséget okoz, így a hatos frakciót (frac6) elhagytuk a modellekből (Reiczigel et al. 2010).

Az öt módszer által becsült frakcióarányok százalékos értékei szignifikánsan ( $\alpha = 0,05$ ) különböztek egymástól (MANOVA, Wilks-féle lambda = 0,022;  $p < 0,001$ ). Az LDA modell LD1-es tengelye a módszerek közötti elválás 86,02%-át magyarázta, amellyel a legnagyobb mértékben pozitívan a négyes frakció ( $r = 0,57$ ), és negatívan a kettes frakció korrelált ( $r = -0,90$ ) (6. ábra) (6. táblázat).

Ennek ellenére az öt aljzatvizsgálati eljárás között mutatkozott némi hasonlóság, aminek a mértéke mintáról mintára eltérő volt. A 7. ábra alapján a szemcseszámárány módszer által becsült frakcióarányok különböztek a leginkább a többi módszerrel becsült

frakcióarányoktól mind a négy aljzatminta esetében. Ezzel szemben a térfogatszázalék és tömegszázalék módszerekkel becült frakcióarányok mutatták a legnagyobb hasonlóságot. A random pont módszerrel kapott frakcióarányok közül az ALD001-es minta esetében mutatkozott még kismértékű hasonlóság a térfogat- és tömegszázalék módszerrel kapott frakcióarányokkal. Még kisebb mértékben ugyan, de valamelyest az ALD002-es és ILO002-es minta esetében a vizuális becslés módszerrel becült frakcióarányokkal mutatott kismértékű hasonlóságot (7. ábra).



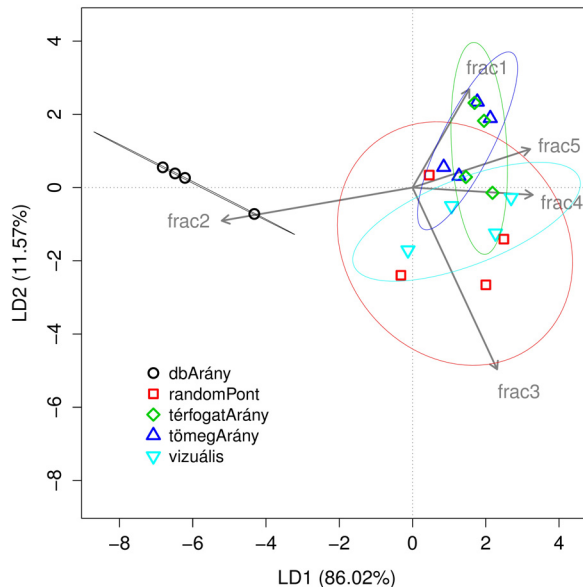
5. ábra. A minták a) vizuális becsléssel és b) random pont módszerekkel kapott frakcióarány-becsléseinek szórásösszegei, valamint a c) random transekt módszerrel kapott átlagos szemcseméret becsléseinek szórása a becslési ráfordítás függvényében. A becslési ráfordítás mértéke a) becsülő személyek száma, b) lement szemcsék száma, c) transektok száma

Fig. 5. The total standard deviation of fraction ratio estimates of samples by a) visual method and b) random point method, and the standard deviation of average grain size estimates by c) random transect method as a function of estimation effort. For a) the number of estimator persons, b) the number of measured particles, c) the number of transects are the degree of estimation efforts

5. táblázat. A random transekt módszerrel kapott átlagos szemcseátmérők ismételt becslései közötti legnagyobb különbségek (milliméterben) becslési ráfordításonként és mintánként

Table 5. The largest differences (in millimeters) between repeated estimates of average grain size estimates by random transect method per estimation efforts and samples

Becslési ráfordítás (transektok száma)	Minta ID	Különbség [mm]
10	ALD001	10,63
	ALD002	0,37
	ILO001	2,88
	ILO002	6,69
20	ALD001	7,47
	ALD002	0,21
	ILO001	1,90
	ILO002	4,35
40	ALD001	4,71
	ALD002	0,16
	ILO001	1,33
	ILO002	2,67
60	ALD001	3,35
	ALD002	0,11
	ILO001	0,78
	ILO002	2,28
80	ALD001	1,89
	ALD002	0,06
	ILO001	0,54
	ILO002	1,22



6. ábra. Az öt aljzatvizsgálati módszer közötti különbségek vizsgálatára alkalmazott LDA modell ordinációs ábrája. A tengelyek melletti százalékos értékek a tengelyekre eső magyarázott varianciarészt mutatják, a nyilak pedig az aljzatmintákban jelenlévő frakciók mennyiségét reprezentálják. Az ellipszisek az adott módszer 95%-os konfidencia-ellipszisei. Az ellipszisek azt a területet határolják, melybe az esetleges új minták 95%-os eséllyel kerülnének adott becslési módszer esetében

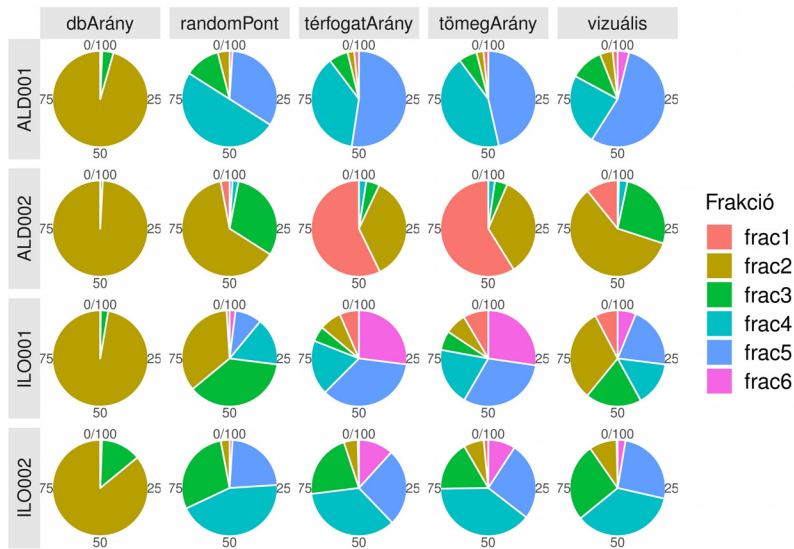
Fig. 6. The ordination biplot of LDA for differences between five method. Percentage values in parentheses stand for the proportion of explained variance by the LDA axes in the total explained variance. Arrows show the quantity of fractions in substrate samples. Symbols indicate the sampling methods and the same colour ellipses are the 95% confidence ellipses of methods. The ellipses delimit the area into which any new samples would fall with a 95% chance for a given estimation method

6. táblázat. A frakciók LDA tengelyekkel való Pearson-korrelációs együtthatói (strukturális koeficiens). Az LDA tengelyek melletti százalékos értékek a magyarázott variancia adott tengely által lefedett részét jelenítik meg  
Table 6. Coefficients of Pearson-correlation between fractions and LDA axes. Percentage of explained variance by axes is indicated in parentheses next to the axis name

LDA tengelyek	Frac1	Frac2	Frac3	Frac4	Frac5
LD1 (86,02 %)	0,27	-0,90	0,40	0,57	0,55
LD2 (11,57 %)	0,46	-0,16	-0,86	-0,03	0,18
LD3 (2,39 %)	< -0,01	-0,11	0,19	0,38	-0,24
LD4 (< 0,01 %)	-0,28	0,06	0,25	-0,22	-0,14

### Értékelés

Módszertani kutatásunkban hat aljzat-számszerűsítő eljárást vetettünk össze. Az egyes eljárások alkalmazásának teljes időigényére vonatkozóan azt tapasztaltuk, hogy a szemcseszámárány módszer a leginkább időigényes, míg a vizuális becslés a leggyorsabb eljárás. A vizuális becslés módszernél ugyan több időt igényelt mind a random pont, mind a random transzekt módszer, de a szemcseszámárány eljáráshoz képest még ezek is viszonylag gyorsak voltak. A tömegszázalék és térfogatszázalék módszerek az aljzatminták szitálását, valamint a tömeg- és térfogatméréseket figyelembe véve a módszerek időigénye nem tűnt jelentősen többnek, mint a random pont és random transzekt módszerek időigénye.



7. ábra: Az öt aljzatvizsgálati módszerrel – szemcseszám-arány (*dbArány*), random pont (*randomPont*), térfogatszázalék (*térfogatArány*), tömegszázalék (*tömegArány*), vizuális becslés (*vizuális*) – kapott százalékos frakcióeloszlások aljzatmintáinként

Fig. 7. Fraction percentage ratio of substrate samples by five method (*dbArány*: percent of particle numb, *randomPont*: random point method, *térfogatArány*: volume ratio, *tömegArány*: mass ratio, *vizuális*: visual estimates)

Terepi mintavételek alkalmával a szakemberek a vizuális becslést szokták alkalmazni, mivel az viszonylag egyszerűen és gyorsan elvégezhető a mintavétel helyszínén. Fontos megemlítenünk azonban, hogy a vizsgálatainkban alkalmazott vizuális becslés nem terepen történt, hanem laborba behozott aljzatminták fotóira volt alkalmazva. Eredményeink azt mutatták, hogy az egy személy általi becslések között jelentős különbségek lehetnek, amelynek mértékét befolyásolhatja az aljzatminta osztályozottsága (homogenitása) és a becslendő frakciók szemcseméret-tartománya. E két tényező egymással való kölcsönhatása következtében mintától és frakciótól függően változhat a személyek becslései közötti eltérés mértéke. Feltételezzük, hogy a személyek közötti becslési különbségek terepen, *in situ* aljzat becslésekor is összemérhetőek lehetnek a vizsgálatunkban tapasztalt különbségekkel.

A vizuális becslés pontossága a becslési ráfordítás növelésével javult; már két személy független becsléseinek átlagolásával kapott frakcióarányok is jelentősen csökkenthetik az ismételt becslések közötti különbséget. Az egy személy által adott ismételt becslések teljes szórása 40,82% volt (ALD001 minta); két személy általi ismételt becslések teljes szórása 18,69% volt (5.a ábra). Vagyis a teljes pontatlanság mértéke kb. ½ arányú csökkenést mutatott két személy becslése esetén az egy személy általi becsléshez képest. Következésképpen a vizuális becslés alkalmazásával az egy személyes egyéni becsléssel szemben, lehetőség szerint legalább két személy egymástól független frakcióarány-becsléseinek átlagát célszerű használni az aljzatösszetétel megállapítására.

A random pont módszerre vonatkozóan eredményeink azt mutatták, hogy a módszer pontossága a becslési ráfordítás növelésével jelentősen javult. Tekintettel arra, hogy 80 szemcse lemérésekor az aljzatminták ismételt becsléseinek szórásösszegei 10% alattiak – és a négy aljzatminta szórásösszegei között ennél a becslési ráfordításnál jelentős különbség már nincs – a módszer alkalmazásakor minimum 80 random szemcse lemérése már megfelelőnek tűnhet az általános elterjedést, ökofaunisztikát vizsgáló haltudományi kutatás számára.

A random transekt módszer becslési pontossága is javult a becslési ráfordítás növelésével, de a javulás mértéke függött az aljzatmintától. A módszer alkalmazása során

legalább 60 transzekt alapján történő átlagos szemcseméret számítása megfelelőnek tűnik, mivel az átlagos szemcseátmérő ismételt becslései ekkor lényegesen már nem térnek el egymástól. Mivel a módszer a vizsgálatba bevont többi eljárástól eltérően csupán egy átlagos szemcsemérettel kvantifikálja az aljzatmintát, így nem alkalmas az aljzat frakcióösszetételének megállapítására; ugyanakkor a domináns aljzatfrakció becslését lehetővé teszi.

A frakcióarányokat becslő eljárások között bizonyos frakciók aljzatmintákban való jelenlétét illetően ellentmondások voltak. Ennek oka az lehet, hogy a vizuális becslés és random pont módszer az aljzatminták fotóira, míg a tömeg-, térfogatszázalék és szemcseszámarány módszerek az aljzatminták szitálással elkülönített frakcióira lettek alkalmazva. Feltételezzük, hogy az aljzatszemcsék között lehetnek olyan elnyújtott morfológiájúak, melyek fényképen lemért vagy vizuálisan megbecsült legnagyobb átmérőjük alapján nagyobb mérettartományú frakcióba tartoznak, mint a szitálás alapján. Ám ugyanezen aljzatszemcsék a kisebbik átmérőjüknek megfelelően áthullhattak a szitasoron egy kisebb mérettartományú frakcióba.

Az aljzatösszetétel-becslési eljárások közül a tömeg- és térfogatszázalék módszerek eredményei voltak a leghasonlóbbak. A két módszer közötti kisebb eltérésekért feltételezhetően az aljzatszemcsék szerkezete, porózussága és sűrűsége lehet a felelős. A módszerek által kapott frakcióarányok tekintetében a szemcseszámarány módszer volt az, amelyik a leginkább eltért a többi módszer által kapott eredményektől. Az eltérés eredete az lehet, hogy a kisméretű aljzatszemcsék a minta teljes tömegéhez vagy teljes térfogatához viszonyítva már kis tömeg vagy kis térfogat esetén is jelentős darabszámot produkálhat. A szemcseszámarány módszer alapján történő aljzatösszetétel-vizsgálat alkalmazhatóságának relevanciája, és ebből fakadóan eredményei a halökológiai vizsgálatok szempontjából megkérdőjelezhetőek voltak.

A tömeg- és térfogatszázalék módszerek kivételével a többi aljzatösszetételt becslő eljárás esetében a 0,71 mm szemcseméret alatti aljzat kategória relatív mennyiségének megállapítása nehéznek bizonyult. Vizuális becslés során 0,71 mm alatti részecskék szemmel nehezen láthatók. Ha a fényképek felbontása nem megfelelő, az tovább nehezítheti a 0,71 mm alatti egyedi szemcsék fényképen szabad szemmel történő felismerését és arányuk megállapítását. A fényképek gyenge felbontása a random pont és a random transzekt módszerek alkalmazását ugyancsak nehezíti. A szorosan egymás mellett avagy fedésben levő szemcsék határainak egybemosódása sem könnyíti meg az egyedi szemcsék felismerését.

A szemcseszámarány módszer alkalmazásakor a 0,71 mm alatti frakció szemcseszámának megállapítása nem volt lehetséges. A frakció által tartalmazott nagy mennyiségű szemcse miatt a szemcseszám megállapítására az inverz regresszióval való szemcseszám-becslési utat választottuk. Ám a részecskék kis méretéből fakadóan már a mérleg mérési tartományának alsó határát elérő minimális (néhány tized gramm) tömegnyi mennyiség is ezer feletti szemcsét tartalmazott. A szemcsék leszámolása során – azon túl, hogy leszámolásukhoz sztereomikroszkóp vagy nagyító szükséges – további nehézséget okozott a kis szemcsék egymáshoz, a tárolóedényhez és a leszámoláshoz használt szinte bármilyen anyagú (üveg, fa, fém, papír) pálcikához vagy spatulához való adhéziós tapadása. Ezért a fotózást megkíséreltük négyzetárcsós papír (kockás füzetlap) felett elosztatott aljzatszemcsékkel is. Ez esetben a fényképek elkészítése és a nagy mennyiségű szemcse leszámolása (fényképről) roppant idő- és munkaigényesnek bizonyult. Ahhoz, hogy a Petri-csészében minden szemcse egyértelműen látszódjon a mikroszkópon olyan nagyítást kellett beállítani, amelynél már nem volt lehetséges, hogy a Petri-csésze befelérjen a mikroszkóp látóterébe. Tehát egy Petri-csészében lévő szemcsék fotózásakor több kép készítése volt szükséges, melyeket utólagos képfeldolgozáskor próbáltunk összeilleszteni egyetlen képpé. Ez az eljárás nagymértékben növelte a módszer idő- és munkaigényét.

Ez alapján úgy véljük, hogy a vizuális becslés, a random pont és a szemcseszámarány eljárások alkalmazásakor a 2 mm-nél kisebb szemcséket nem érdemes finomabb

aljzatfrakciókra osztani. Ez viszont behatárolja az aljzat-számszerűsítő módszerek kutatási célnak megfelelő alkalmazhatóságát, mert az olyan kutatásokban, amelyekben fontos a 2 mm alatti frakciók (iszap, finom homok stb.) arányának ismerete, ezen eljárások használata nem tűnik célravezetőnek. A 2 mm-nél kisebb szemcseméretű aljzatkegóriák vizsgálatára alkalmas lehet a Buscombe (2013) által kifejlesztett digitális képfeldolgozó eljárás, de a módszert jelen kutatásunk során nem alkalmaztuk.

A fénykép-alapú eljárások alkalmazásakor arra is érdemes figyelmet fordítani, hogy a fotó készítése előtt az aljzatminta szemcséi jól össze legyenek keverve (homogenizált legyen a minta), és a fotózáshoz használt edény alját teljes területen lefedjék (pl. 1. ábra ALD002 és ILO002 minták). Az aljzatminták szemcséinek homogenizálásával elkerülhetjük, hogy a tálcára kiterített aljzatminta kis- és nagyméretű szemcséi területileg élesen elkülönült foltokat alkossanak a képeken. Ez azért fontos, mert a random transzektnél vagy a random pont módszer alkalmazása során, ha csak az egyik mérettartomány által lefedett nagyobb területre esnek a mérés során kijelölt random transzektek vagy random pontok, akkor a módszer becslési eredménye torzítottá válhat.

A fotók felbontásán kívül az aljzatminta szemcseméretbeli homogenitása, a szemcsék mérete és csillogó, nedves felülete, valamint a szemcsék színe nehezítő tényezőként bizonyos digitális eljárások alkalmazhatóságát ellehetetleníthetik. Előzetesen megvizsgáltuk (más aljzatmintákkal) a Strom és mtsi. (2010) által leírt ImageJ-vel történő digitális képfeldolgozó eljárást, mely alkalmazása során a következő problémák merültek fel. Az aljzatképek ImageJ-vel végzendő szemcseméret-eloszlási analízisre való előkészítő-eljárás során, ha nedves volt az aljzatszemcsék (elsősorban kavics- és annál nagyobb frakciók) felülete, vagy a fotózás nem megfelelő szögben történt, akkor a fotókon csillogó felületek jelentek meg. A csillogó felületek, valamint a szemcsék eltérő színe (elsősorban az egymáshoz képest erősen kontrasztos nagyon sötét és nagyon világos színű aljzatrészecskék) miatt bizonyos színű szemcsék „láthatatlanná” váltak a fotó színesről fekete-fehérré való átalakításának folyamatában, ezzel ellehetetlenítve a képelemzés további lépéseit. Ennek kiküszöbölésére az előzetes vizsgálatban alkalmazott aljzatmintákról celofánnal bevont gyurmával lenyomatot készítettünk, majd a gyurmalenyomatot lefotóztuk. A gyurmalenyomat fotóját szintén alvetettük a képelemzési eljárásnak, de a gyurmalenyomat alapszínéből nem tűnt ki kontrasztosan az aljzatszemcsék körvonala, így ez esetben is alkalmazhatatlanná vált a módszer. További nehézséget okozott a szemcseméretbeli heterogenitás: a program a mintában lévő viszonylag nagyobb szemcséket ugyan felismerte, ám a néhány nagyobb foltba rendeződött kisebb méretű szemcséket már nem tudta elkülöníteni egymástól, így egyetlen nagyméretű szemcséként értelmezte őket.

Összefoglalásként elmondható, hogy a vizsgált módszerek egymástól eltérően számszerűsíthetik ugyanazt a mintát, ugyanakkor az eredményt az alkalmazott módszer mellett a minta tulajdonságai befolyásolhatják. Jelenleg megkezdett kutatásunk folytatása lehet az aljzat osztályozottságából és a jelenlevő szemcseméret-tartományokból fakadó mintahatas becslési pontosságra gyakorolt hatásának, valamint módszereken belül a több személy által adott egyedi aljzatösszetétel-becslések közötti különbségek feltárása. A becslési ráfordításra való érzékenység miatt, azokban a kutatásokban, ahol nagy pontosságú adatok szükségesek az aljzat számszerűsítéséhez (pl. finom térléptékű terepi vizsgálatok, élőhely-dinamikai vizsgálatok), célszerű előzetes vizsgálatot végezni az alkalmazni kívánt aljzat-számszerűsítő eljárás ráfordítási érzékenységének megismerésére.

#### Köszönetnyilvánítás

Az aljzatminták feldolgozásához nyújtott támogatásért Dobosy Péternek és Konrád Elvirának, az aljzatfotókról történő frakcióbecslésért Czeglédi Istvánnak, Erős Tibornak, Preiszner Bálintnak, Specziár Andrásnak, Szalóky Zoltánnak, Szekeres Józsefnek, Takács Péternek, Tóth Balásznak és Vitál Zoltánnak tartozunk köszönettel.

## Irodalom

- Branigan, P.R., Quist, M.C., Shepard, B.B., Ireland, S.C. (2018): Microhabitat use of native fishes in the Kootenai River a fine-scale evaluation of large-scale habitat rehabilitation efforts. *River Research and Applications* 34/10: 1267–1277.
- Bunte, K., Abt, S.R. (2001): *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. General Technical Report RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 428 p.
- Buscombe, D. (2013): Transferable wavelet method for grain-size distribution from images of sediment surfaces and thin sections, and other natural granular patterns. *Sedimentology* 60: 1709–1732.
- Cummins, K.W. (1962): An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *American Midland Naturalist* 67/2: 477–504.
- Fulton, C.J., Noble, M.N., Radford, B., Gallen, C., Harasti, D. (2016): Microhabitat selectivity underpins regional indicators of fish abundance and replenishment. *Ecological Indicators* 70: 222–231.
- Greenberg, L.A. (1991): Habitat use and feeding behavior of thirteen species of benthic stream fishes. *Environmental Biology of Fishes* 31: 389–401.
- Kumara, G.H.A.J.J., Hayano, K., Ogiwara, K. (2012): Image analysis techniques on evaluation of particle size distribution of gravel. *International Journal of Geomate* 3/1: 290–297.
- Lira, C., Pina, P. (2009): Automated grain shape measurements applied to beach sands. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 56. Proceedings of the 10th International Coastal Symposium 2*: 1527–1531.
- Manna, L.R., Rezende, C.F., Mazzoni, R. (2017): Effect of body size on microhabitat preferences in stream-dwelling fishes. *Journal of Applied Ichthyology* 33/2: 193–202.
- Maroda, Á., Sály, P. (2018): Középhegységi patakok halainak teshossz-függő mikroélőhely-használata. *Pisces Hungarici* 12: 123–137.
- Rankin, E.T. (1986): Habitat selection by smallmouth bass in response to physical characteristics in a natural stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 115: 322–334.
- Rasband, W.S., (1997–2018): ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>.
- Reichard, M. (2008): Microhabitat use by fishes in the middle course of the River Gambia in the Niokolo Koba National Park, Senegal: a unique example of an undisturbed West African assemblage. *Journal of Fish Biology* 72: 1815–1824.
- Reiczigel J., Harnos A., Solymosi N. (2010): *Biostatisztika nem statisztikusoknak*. Pars Kft., Nagykovácsi, pp. 462.
- Simonson, T.D., Lyons, J., Kanehl, P.D. (1993): *Guidelines for evaluating fish habitat in Wisconsin streams*. General Technical Report NC-164. North Central Forest Experiment Station, Forest Service U.S., Department of Agriculture, Minnesota St. Paul, pp. 36.
- Strom, K.B., Asce, M., Kuhns, R.D., Lucas, H.J. (2010): Comparison of automated image-based grain sizing to standard pebble-count methods. *Journal of Hydraulic Engineering* 136/8: 461–473.
- Vlach, P., Dusek, J., Svátora, M., Moravec, P. (2005): Fish assemblage structure, habitat and microhabitat preference of five fish species in a small stream. *Folia Zoologica* 54/4: 421–431.
- Walther, B.A., Moore, J.L. (2005): The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography* 28: 815–829.
- Young, M.K., Hubert, W.A. (1991): Selection of measures of substrate composition to estimate survival to emergence of salmonids and to detect changes in stream substrates. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 339–346.
- Zenter, L.D., Cross, T.K., Raabe, J.K., Jacobson, P.C. (2018): Using GIS to predict habitat in lakes: An example using nearshore substrate categories. *Limnology and Oceanography: Methods* 17: 1–16.

## Authors:

Ágnes MARODA (maroda.agnes@gmail.com), Péter SÁLY (saly.peter@okologia.mta.hu)