

## Alapszemlélet halak biodiverzitásának monitorozásához

SÁLY PÉTER

Ökológiai Kutatóközpont, Vizi Ökológiai Intézet, 1113 Budapest, Karolina út 29.  
E-mail: [Saly.Peter@ecolres.hu](mailto:Saly.Peter@ecolres.hu)

**Kivonat.** A cikk röviden összefoglalja a biodiverzitás monitorozásának mivoltját, jelentőségét, céljait. Emellett a halak biodiverzitási monitorozására vonatkozóan bemutat egy az eddigi hazai gyakorlaton és tapasztalatokon nyugvó alapszemléletbeli javaslatot. A cikk célja a monitorozás mint rendszerezett kutatómódszertani eljárás jelentőségének megvilágítása a biodiverzitás pillanatnyi állapotának és időbeli változásának megismerésében, ami különösen a tudományos kutatásban kevésbé jártas, ugyanakkor a monitorozásokban közreműködő gyakorlati és döntéshozatali szakemberek számára lehet hasznos. Emellett a cikkben levő fogalomértelmezések a tudományos kutatók monitorozásról alkotott személetének egységesítését is támogathatják. A bemutatott elvek és szempontok így támpontot adhatnak a monitorozási programok tervezéséhez és fejlesztéséhez. Végül, a cikk érvel amellett, hogy a monitorozás egy erre a célra létesített intézményi keretben működhet igazán eredményesen.

**Kulcsszavak:** alkalmazott ökológia, biodiverzitás-krízis, faunisztika, hosszútávú adatok, kutatómódszertan, surveillance, természetvédelem, Víz Keretirányelv

**Elfogadva:** 2023.09.24.

**Elektronikusan megjelent:** 2023.10.04.

### Bevezetés

A cikk megírását a felszíni vizek halakkal történő ökológiai állapotminősítésének módszerfejlesztéséhez és a halak Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszeréhez kapcsolódó terepi és adatfeldolgozási tapasztalatok inspirálták. Az ökológiai állapotértékelés és a biodiverzitás értékelés megbízhatóságát is befolyásolja a következtetéseknek alapot adó adatok mennyisége, és az adatok valós állapotokra vonatkozó megfeleltethetősége (reprezentativitás) is. Az adatmennyiség és adatminőség az értékelési eljárások tervezésekor (mikor, hol, mennyit), és a tényleges adatfelvételkor (milyen módszerrel, milyen körülmények között) már eldől. A kevés és vagy gyenge minőségű adatokból a legjobb adatfeldolgozási eljárások is csak korlátozott érvényű következtetésekhez vezethetnek. Ezért az olyan, számos szakember közreműködését igénylő folyamatokban, mint amilyen a biodiverzitás monitorozása is, különösen fontos, hogy a résztvevők átfogó képpel rendelkezzenek a teljes eljárásról (mi, miért történik, hol az egyén szerepe és felelőssége az eljárás teljes folyamatában), és ennek megfelelően az adatgyűjtés tudatosan és előrelátóan történjen. Tökéletes eljárások persze nem léteznek; egy monitorozási program alkalmazhatóságát és sikerességét annak céljaitól függetlenül lehet csupán megítélni. Ugyanakkor megfogalmazhatóak olyan általános elvek, amik elősegítik a közreműködő szakemberek nézeteinek egységes mederbe való terelését.

## Fogalomértelmezések

- **Monitorozás:** hosszútávú adatsorokat eredményező kutatómódszertani eljárás, melyben szisztematikusan ugyanazon helyeken, ugyanazon módszerekkel, időben ismételt adatgyűjtés és adatfeldolgozás történik. Célja valamely környezeti, ökológiai entitás adott időszakra vonatkozó állapotának és állapotváltozásának megismerése. Megjegyzendő, hogy a magyar szövegkörnyezetben gyakran használt *monitoring* kifejezés valójában egy angol nyelvű szakszó, amelynek a magyar nyelvű megfelelője a *monitorozás*.
- **Monitorozandó entitás:** az a környezeti, ökológiai tárgy, melynek állapotát, állapotváltozását a monitorozással célozzák megismerni. Például egy faj állománya (fajszemléletű monitorozás), egy fajegyüttes állománya (közösségi ökológiai szemléletű monitorozás), egy élőhely fizikai-kémiai jellemzői (élőhely-monitorozás).
- **Biodiverzitás-monitorozás:** olyan monitorozás, melyben a monitorozandó entitás valamilyen élőlény (faj) vagy élőlénycsoport (fajegyüttes) állománya.
- **Monitorozási kérdések:** a monitorozandó entitás valamely állapotbeli vagy állapotváltozásbeli tulajdonságaira vonatkozó kérdések (monitorozással megválaszolandó kérdések).
- **Monitorozási terület:** az a földrajzi terület, melyhez a monitorozandó entitás tartozik. Például vízgyűjtő terület, vízfolyáshálózat, országterület. Amikor a monitorozandó entitás a hal-együttes, akkor az a terület, ahol a monitorozás történik nem monitorozott terület, hanem monitorozási terület, mert nem a területet monitorozzák, hanem az ott levő halakat. Hasonlóképpen, az a víztest ahol a halak monitorozása történik, nem monitorozott víztest, hanem monitorozási víztest, és az a mintavételi hely, ahol a halak monitorozása történik, monitorozási hely, és nem monitorozott hely.
- **Monitorozási víztér/víztest:** a monitorozási területen teljesen vagy részben megtalálható víztest, például folyó, folyószakasz, holtág.
- **Monitorozási hely:** a monitorozási víztéren terepi adatgyűjtésre kijelölt mintavételi hely.
- **Mintavétel:** a monitorozási helyen egyetlen alkalommal végzett terepi adatgyűjtés.
- **Monitorozási esemény/felmérés:** adott monitorozási helyen végzett egyszeri (időben ismételt mintavétel nélkül végzett felmérés) vagy többszöri mintavétel (időben ismételt mintavételekkel végzett felmérés) a monitorozandó entitás egy adott monitorozási időszakban való állapotának jellemzéséhez.
- **Monitorozási időszak:** egy éven belül az az időintervallum, melyben a monitorozandó entitás állapotát egy monitorozási felméréssel jellemezik. Például a 2023-as év kora ősze.
- **Monitorozási gyakoriság:** egy éven belül végzett monitorozási felmérések száma.
- **Monitorozási elrendezés:** a monitorozási területen a monitorozási víztereken kijelölt monitorozási helyek, és azok időben ismételt felmérési gyakoriságának és ütemezésének rendje. Függ a monitorozásban alkalmazott terepi adatgyűjtési módszerek megválasztásától, és a monitorozás céljától.
- **Fajegyüttes-szerkezeti alapváltozók:** ökológiai közösségi szemléletű biodiverzitás-monitorozáskor a monitorozandó élőlénycsoport állomány összetételét közvetlenül a terepen gyűjtött faj-egyedszám adatok alapján leíró tulajdonságok: teljes abundancia, fajszám/fajgazdagság, fajkészlet, fajonkénti abundancia, fajkompozíció.
- **Monitorozás időbeli kiterjedése:** az az időhossz, amely alatt a monitorozási program működik.

**Fogalomértelmezések (folytatás)**

- **Időben ismételt felmérés:** a monitorozás lényegét jelentő hosszútávú adatsorokat biztosító ismételt állapotjellemezés. Azonos víztéren, adott monitorozási helyen, különböző monitorozási időszakokban végzett felmérések sorozatát eredményezi. Az időben ismételt monitorozási felmérés azt jelenti, hogy az állapotváltozás jellemzéséhez a monitorozandó entitás több időszakban levő állapotáról történik adatgyűjtés. A monitorozási felmérés ismétlésének a célja a monitorozással megismerni kívánt állomány időbeli viselkedésének jellemzése. Az időben ismételt monitorozási felmérés nem ugyanaz, mint az időben ismételt mintavétel. A kettő közötti elkülönítést a vizsgálat kutatómódszertani jellege határozza meg.
- **Időben ismételt mintavétel:** egy adott monitorozási időszakra vonatkozó állapot pontosabb jellemzéséhez alkalmazott adatgyűjtés-ráfordítás növelés. Egy adott monitorozási helyen a monitorozási időszakon belül, rövid időközökkel egymás után végzett terepi adatgyűjtések együttese. Egy monitorozási időszakban levő biodiverzitási állapotot az időben elkülönített minták együttese jellemez (pl. az átlagos értékek és szórások). A mintavétel ismétlésének a célja egyetlen monitorozási esemény adatgyűjtési pontosságának a növelése. Az időben ismételt mintavétel nem ugyanaz, mint az időben ismételt monitorozási felmérés. A kettő közötti elkülönítést a vizsgálat kutatómódszertani jellege határozza meg.
- **Térben ismételt felmérés:** azonos víztéren, adott monitorozási időszakban különböző monitorozási helyeken végzett felmérések együttese. A térben ismételt monitorozási felmérések célja a monitorozási víztestek biodiverzitási állapotának minél megbízhatóbb jellemzése. A térben ismételt felmérés nem ugyanaz, mint a térben ismételt mintavétel. A kettő közötti elkülönítést a vizsgálat kutatómódszertani jellege határozza meg.
- **Térben ismételt mintavétel:** adott monitorozási hely egyetlen monitorozás időszakban való jellemzéséhez térben egymástól elkülönült, de jellemzően két monitorozási helyhez képest egymáshoz közelebb eső helyeken végzett mintavétel. A monitorozási hely biodiverzitását a térben elkülönített gyűjtött minták együttese jellemzi (pl. az átlagos értékek és szórások). Halak megfigyelés jellegű biodiverzitás-monitorozásában (surveillance, alapmonitorozás) a térben ismételt mintavételnek kevésbé lehet jelentősége, mert a mintavételi helyek rendszerint önmagunkban már a monitorozási helyek is. Ugyanakkor környezeti hatástanulmányokban lényeges lehet, hogy egy meghatározott területet (pl. kontroll terület vs. hatásterület) minél megbízhatóbban jellemezzenek. Az ilyen esetekben a vizsgálati kérdések és következtetések a meghatározott területek, és nem az egyes mintavételi helyek összehasonlítására vonatkoznak. Ezért a mintavételek térbeli ismétlése ezen kitüntetett területek biodiverzitásának megbízható jellemzését szolgálják, ha a szóban forgó területek térbeli kiterjedésük nagysága miatt egyetlen mintavételi hellyel csak kevésbé jól lennének jellemezhetőek. A térben ismételt mintavétel nem ugyanaz, mint a térben ismételt felmérés. A kettő közötti elkülönítést a vizsgálat kutatómódszertani jellege határozza meg.

A cikk közös keretbe foglalja a biodiverzitás monitorozásának mivoltát, jelentőségét, céljait, valamint ehhez kapcsolódóan egy a halak biodiverzitási monitorozásának eddigi gyakorlatán és tapasztalatain alapulóan megfogalmazott javaslatot. Ez az alapszemlélet így irányt mutathat a monitorozási programok céltudatos tervezéséhez, fejlesztéséhez. A monitorozás mint kutatómódszertani eljárás ismeretalkotásban való jelentőségére nem elsősorban a monitorozásban érdekelt biológus szakemberek, hanem különösen a tudományos kutatásban kevésbé jártas környezetgazdálkodó kezelő szervezetek (pl. nemzeti parkok, horgászegyesületek, vízügyi igazgatóságok) és a döntéshozatali szakemberek figyelmét igyekszik felhívni. Emellett a cikk fogalmi alapot kíván nyújtani a halak biodiverzitás-monitorozásához kapcsolódó adatfeldolgozáshoz is. Bár ez a szemléletbeli keret elsősorban a halak megfigyelésére vonatkozó motiváción nyugszik, más vízi élőlénycsoport (pl. makroszkopikus gerinctelenek) monitorozási eljárásaihoz is illeszthető.

### **Hosszútávú adatsorok és monitorozás**

A környezettudományos kutatás küldetése a természetes környezet, valamint az épített és a természetes környezet közötti kölcsönhatások megismerése. Környezeti ismereteink a kulturális gazdagodás mellett információkat adnak a társadalom életfeltételeinek minőségéről, a természeti erőforrások gazdasági hasznosításának lehetőségeiről. Ehhez a megismeréshez adatokat gyűjtünk. Azonban az adatgyűjtési módszerek, így az adatok alapján megfogalmazott következtetések is bizonytalansággal terheltek, ráadásul mind az élő, mind az élettelen környezeti elemek állapota időben változik (pl. szezonális, évek közötti különbségek). A környezeti rendszerek időbeli változatossága a vizsgálati térlépték növelésével, a biológiai rendszerek változatossága pedig a szerveződési szintek komplexitásával is változik: az életközösségeket és ökoszisztémákat nagyobb fokú szerkezeti és működésbeli változatosság jellemzi, mint a populációkat. Ezért a legtöbb környezetkutatási kérdés megbízható megválaszolását, beleértve a biodiverzitási jellemzők feltárását is, az egyszeri vagy a csupán néhány alkalommal végzett adatgyűjtés nem biztosítja. A környezeti rendszerekkel járó térbeli és időbeli változatosság miatt a környezetünk megbízható megismeréséhez többszöri, hosszú időn át gyűjtött adatok szükségesek.

A vizsgálati kérdések megválaszolhatóságára való alkalmasság szemszögéből a hosszú időn keresztül gyűjtött adatok nem feltétlenül tekinthetők azonosnak az ugyanolyan hosszú időn át működő monitorozási programokban gyűjtött adatokkal. A monitorozás előre eltervezett módszertani rend alapján szolgáltat adatokat, míg hosszú távú adatok kevésbé kötött rendszerű adatgyűjtésekből is születhetnek (pl. több független felmérés adatainak utólagos egyberendezésével). Vagyis nem minden hosszú távú adatsor monitorozási adatsor, ugyanakkor a monitorozási adatsorokat általában hosszú időn át gyűjtik. Ezek ismeretében a monitorozás a következő megfogalmazással értelmezhető:

*A monitorozás olyan hosszútávú adatsorokat eredményező kutatómódszertani eljárás, melyben szisztematikusan ugyanazon helyeken, ugyanazon módszerekkel végzett időben ismételt adatgyűjtés és adatfeldolgozás történik.*

A monitorozás két fő jellemzője a rendszerezettség és a hosszútávúság. A rendszerezettség alatt nem pusztán az adatfelvételezések időbeli ismétlései értendők. Az időbeli ismétlések

rendje, a monitorozott helyek térbeli elrendezése és állandósága, az alkalmazott terepi mintavételi módszerek állandósága, és a gyűjtött adatok feldolgozására használt módszerek állandóságának együttese biztosítja a rendszerezettséget. A hosszútávúság a gyakorlatban a célok eléréséhez szükséges idő és a monitorozás működtetésére biztosított források függvénye. Ugyanakkor LINDENMAYER & LIKENS (2010) ökológiai monitorozásra adott operatív megfogalmazásában a hosszútávú monitorozások legalább 10 éven át tartanak. Tömören kifejezve: a monitorozás rendszerezett hosszútávú megfigyelés.

A monitorozásból származó hosszútávú adatsorok mind alapkutatási, mind alkalmazott kutatási, mind pedig jogi területeken hasznosíthatók/felhasználhatók (LINDENMAYER & LIKENS 2010):

- alapállapot (baseline) dokumentálására (pl. környezeti hatásvizsgálatokban)
- ökoszisztéma szerkezetben és működésben bekövetkezett változások detektálására (pl. inváziós fajok tömeges elszaporodása okán)
- természetes vagy mesterséges zavarásokra adott ökológiai válaszok értékelésére (pl. szélsőséges időjárású időszakok, áradások és aszályok hatása)
- ökológiai dinamikára vonatkozó új kérdések megfogalmazásának támogatására (pl. állománysűrűség fluktuációja)
- empirikus adatok biztosítására ökológiai elméletek teszteléséhez (pl. szimulációs modellek fejlesztése)
- környezeti jogalkotás és jogalkalmazás adatalapú (evidence-based) támogatására (pl. védett területek kijelölésében, természetkárosítási büntetőeljárásokban).

A felhasználási lehetőségek sokféleségéből kifolyólag a monitorozási programok működtetésének többféle célja lehet. Három alapvető cél: a területkezelők (pl. természetvédelem) tájékoztatása, amikor a megfigyelt környezeti rendszer eltér a kívánt állapottól, a kezelési beavatkozások hatásának mérése, és az emberi és természetes zavarások hatásának feltárása (LEGG & NAGY 2006). Ezek a célok három alapvető okra vezethetők vissza (LINDENMAYER & LIKENS 2010, 2018):

- Kíváncsiság-vezérelt monitorozás (surveillance monitoring [WINTLE *et al.* 2010], alapmonitorozás): Alapvetően jelenségleíró, dokumentáló. Általában nem kapcsolódik okfeltáró kutatási projekthez, így nem tartalmaz ökológiai folyamatok háttérében álló mechanizmusok (mi hogyan hat mire) megértésére megfogalmazott specifikus kérdéseket és kísérleti elrendezést. A környezeti ismeretszerzésben és a környezeti problémák kezelésében behatárolt a hasznosíthatósága, mert a *Miért...?*, *Mi okozza...?* jellegű kérdésekre nem válaszol. Ugyanakkor választ ad a *Mi...?*, *Milyen...?*, *Mennyi...?* kérdésekre.
- Kérdés-vezérelt monitorozás: a monitorozandó entitásra vonatkozó fogalmi modell (hipotézis) és szigorú kísérleti elrendezés mentén működik. A monitorozási program részeként a fogalmi modelltől (feltételezett kauzális háttér) előzetesen levezetett predikciókat tesztel. Mechanizmus feltárását követően trendek, scenáriók előrejelzésére, *Mi történik, ha...?* típusú kérdések megválaszolására alkalmazzák.

- Kötelezettségből fakadó monitorozás: kormányzati jogszabály vagy politikai irányelv által előírt követelmény (pl. Európai Unió Víz Keretirányelve). Lehet dokumentáló és összefüggés-feltáró is.

A biodiverzitás-monitorozás olyan környezeti megfigyelés, melyben a monitorozás tárgya (monitorozandó entitás) egy fajnak, vagy taxonómiai (pl. halak) vagy funkcionális szempontból (pl. beporzók) közösen vizsgálandó fajok csoportjának (fajegyüttes) az állománya. Ennek megfelelően a biodiverzitás-monitorozás célja egy lehatárolt területen (monitorozási terület) a monitorozandó entitás időbeli viselkedésének (állomány-szerkezetbeli tulajdonságok változásának) megismerése, vagyis a szerkezetbeli tulajdonságok jellegzetes értékeinek (átlagok), véletlenszerű variabilitásának, és mindezekben (átlagokban és variabilitásban) levő trendszerű változásoknak a feltárása és értékelése a tudományos ismeretszerzés és a döntéshozatal támogatása érdekében.

A halak biodiverzitásának hazai monitorozási programjai (Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer, Víz Keretirányelv által előírt vízgyűjtő-gazdálkodáshoz kapcsolódó monitorozás) surveillance jellegű alapmonitorozások, melyek háttérben kíváncsiság-vezéreltség és jogszabályi kötelezettség (SALLAI *et al.* 2019) is húzódik.

### **A biodiverzitás-monitorozás sikerességének ismérvei és buktatói**

A monitorozás eredményességét a monitorozási program felépítésének milyensége és működtetésének rutin jellegű gördülékenysége befolyásolja. A gördülékenység egyik sarokköve, hogy a döntéshozatal támogatást biztosítson a monitorozási program hosszú távú működéséhez. Emellett a monitorozás eredményeinek fontos funkciója, hogy visszajelzést adjon a kezelő szervezetek és a döntéshozók felé. Az eredmények ismeretében a környezeti kezelők szükség esetén változtathatnak a természeti értékek megőrzésére és a természeti erőforrások hasznosítására vonatkozó módszereken (ún. adaptív menedzsment megközelítés [SCHREIBER *et al.* 2004]). A visszajelzéssel a támogatást biztosító döntéshozók meggyőződése megerősíthető a monitorozás jelentősége és eredményessége felől.

Általánosságban, a hatékony monitorozási programok fő jellemzői (LINDENMAYER & LIKENS 2010):

- Jó kérdéseket tartalmaznak. A megfelelően definiált előzetes kérdések a céltudatos működés alapját képezik (mi miért történik). Lehetőséget adnak a monitorozásban használandó adatgyűjtési módszerek előzetes kijelölésére. A feltett kérdésekre a monitorozási adatok alapján adott válaszok egyúttal a monitorozási program működésének eredményességéről is informálnak (képes-e a program megvalósítani a célját).
- Szoros az együttműködés a kutatók, a környezeti kezelő szervezetek és a döntéshozók között. A monitorozást végző kutatók rendszeresen és közérthetően tájékoztatják a környezeti kezelőket és a döntéshozókat a monitorozás eredményéről. A kezelő szervezetek bevonják a monitorozott területet érintő kezelési tervek elkészítésébe a terület monitorozásában jártas kutatókat, tájékoztatják őket a területet érintő haszno-

sítási változásokról. A döntéshozatal kikéri a kutatók szakvéleményét a környezeti kérdésekben.

- A gyűjtött adatokat gyakran használják (pl. alapkutatási vizsgálatokban, adatalapú döntéshozatalban).

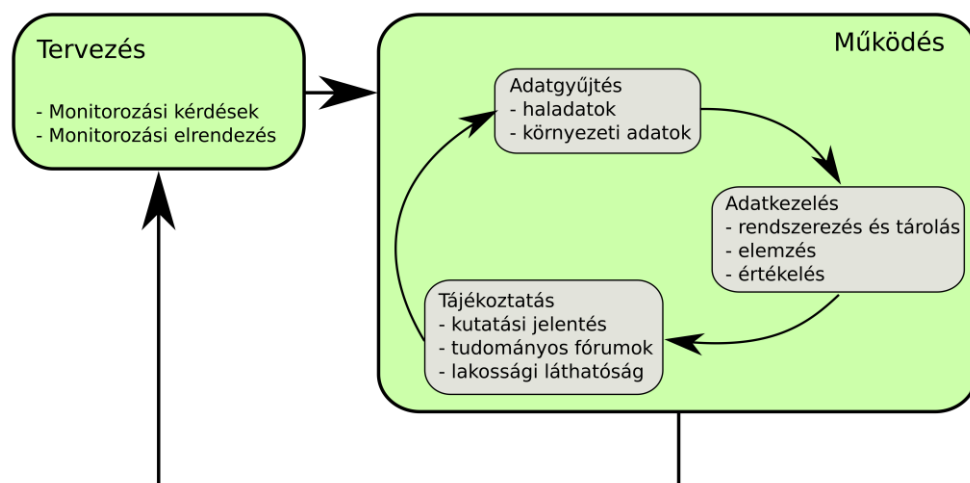
Bár az ugyanazon helyeken, ugyanolyan módszerekkel történő adatgyűjtés egyszerű feladatnak tűnhet, a monitorozás eredményes működtetésének kihívását gyakran maga a hosszú időn át történő kötött módszertani feladatvégzés jelenti. A monitorozási programok sikertelenségéhez vezető leggyakoribb okok (LINDENMAYER & LIKENS 2010, 2018):

- Átgondolatlanság, hiányzó vagy rosszul megfogalmazott kérdések. Nem egyértelmű, hogy miért szükséges a monitorozás.
- Gyenge vizsgálati elrendezés. A kérdések megválaszolásához nem alkalmasak a gyűjtött adatok. Például a mintavételi helyek kevés számából, vagy a felmérések ritka időbeli ismétléséből adódó kis mintanagyság, avagy a felmérések időben rendszerezetlen ismétlései miatt.
- Egyetértés hiánya arról, hogy milyen entitásokat monitorozzanak (pl. fajokat, fajegyüttest, élőhelyet).
- Hibás feltételezés arról, hogy minden monitorozási program lehet azonos. Egy adott helyen működőképes program nem feltétlenül adaptálható változatlanul egy másik monitorozási területre, mások lehetnek a monitorozással megválaszolni kívánt kérdések, és a monitorozási területeket érő emberi hatások is.
- Gyenge adatkezelés. Nem tudják, mit, miért és hogyan kezdjenek az adatokkal.
- A hosszútávú adatsorok integritásának elvesztése. Módszertani, mérési protokollokban történt változások miatt sérül az adatok összehasonlíthatósága. Például más mérési tulajdonságokkal rendelkező műszert kezdenek el alkalmazni.
- Finanziális támogatás hiánya.
- Kulcsszemélyek elvesztése. A monitorozás működtetésében meghatározó szerepet játszó közreműködők kilépését követően nincsenek olyan szakemberek, akik ugyanolyan hatékonysággal képesek átlátni és működtetni a programot.

Ezeket a buktatókat előrelátó tervezéssel, a monitorozás céltudatos működtetésével jó eséllyel el lehet kerülni. Részben fontos, hogy a monitorozási program egy-egy fázisának (pl. monitorozási elrendezés tervezése, terepi adatgyűjtések, adatkezelés) ellátásában az adott területen jártas szakemberek vegyenek részt, személyre szabottan megosztva egymás között a feladatokat. Más részben annak is van jelentősége, hogy az egyes fázisokban résztvevő közreműködők egymás között is hatékony információcserét folytassanak. Azaz, az együttgondolkodásnak és információáramlásnak nem csupán a monitorozásban érdekelt kutatói, kezelői és döntéshozatali csoportok közötti szinten, hanem a monitorozást működtető és annak más-más feladatát ellátó szakemberek egymás közötti szintjén is teret kell biztosítani.

### A biodiverzitás-monitorozás folyamata (tervezés és működés)

A monitorozás igényének felmerülését, és a megválaszolandó kérdések megfogalmazását követően a monitorozási program tervezése döntő jelentőségű a működés eredményességére nézve (LEGG & NAGY 2006; LENGYEL *et al.* 2018). A tervnek már tartalmaznia kell a monitorozás vizsgálati elrendezésére (monitorozási terület, monitorozási helyek, felmérések időbeli gyakorisága és ütemezése), a gyűjtött adatok kezelésére, feldolgozásának módszereire vonatkozó elképzeléseket. A tervezést követően a monitorozás működése alapvetően ciklikus jellegű, melyhez a terepi adatgyűjtések, adatarchiválások, adatelemzések, szakmai értékelések, és az eredmények kommunikálása (tájékoztatás) tartozik. A működés közben szerzett tapasztalatok azonban esetenként indokolhatják a monitorozási program gyakorlatának felülvizsgálatát, a működési rend újonnan felmerült feltételekhez és elvárásokhoz igazodó finomításait (LEGG & NAGY 2006; LINDENMAYER & LIKENS 2009). Különösen a monitorozási program indulását követő első időszakban (tesztelés) szerzett tapasztalatok alapján értékelhető az, hogy a monitorozás képes-e eleget tenni a céljának, azaz képes-e válaszokat adni a monitorozási kérdésekre. Azonban a működési rendben a tapasztalatok és az aktuális körülményekhez való igazodás okán végzett változtatásokat körültekintéssel kell végezni, törekedve arra, hogy biztosított maradjon a hosszútávú adatszolgáltatás és az adatok összehasonlíthatósága minél kevésbé sérüljön.



1. ábra A biodiverzitás-monitorozás folyamatának általános sémája.

Figure 1 General scheme of the process of biodiversity monitoring



## Halak biodiverzitásának monitorozása

### *Monitorozással megválaszolható alapkérdések*

A víz alatti rejtett életmód nem teszi lehetővé azt, hogy a halak egyedeit fajonként elkülönítve figyeljük meg. Ezért a halak surveillance jellegű biodiverzitási alapmonitorozásában a monitorozandó entitás a halfajegyüttes-állomány (közösségi szemléletű monitorozás). A fajegyüttes szerkezete a következő alapváltozókkal jellemezhető:

- teljes abundancia (tömegesség): összes faj összes egyedszáma (*Mennyi hal van? Mekkora a halbőség?*)
- fajszám vagy fajgazdagság: jelen levő halfajok száma (*Mennyi faj van?*)
- fajonkénti abundancia: jelenlevő fajok egyedszáma (*Hogyan oszlik szét a teljes abundancia a fajszámnak megfelelő részre?*)
- fajkészlet: jelenlevő halfajok halmaza (*Mely fajok fordulnak elő?*)
- fajkompozíció (fajösszetétel): fajokhoz rendelt fajonkénti abundancia (*Mennyi van az egyes fajokból?*).

Az alapváltozók értékei a terület halállományának terepi felméréséből származó mintákból becsülhetők. Ezek a becslések függenek attól, hogy a mintavételi helyen mekkora a víztest mintázott területe. Így a monitorozás mintavételi előírásának (adatgyűjtési protokoll) az adott víztesteknek megfelelő mintavételi stratégia (pl. egységes vízfolyásszakasz-hossz mintázása) előírásával kell törekednie a becslések területfüggésének kontrollálására. Ebből kifolyólag, a fenti mutatók mintából származó becslései valójában mintázott terület-egységre vagy mintavételre fordított időegységre vonatkozó sűrűségértékek (denzitások) (GOTELLI & COLWELL 2001). Ennek megfelelően, ki kell emelni, hogy a surveillance monitorozás nem ad választ a teljes halállomány, illetve az egyes halfajok abszolút állomány-nagyságra (*Hány darab hal él a területen?*). A fajok abszolút állomány-nagyságának (populációméret) becsléséhez más kutatómódszertani eljárások használhatók (pl. elvonásos mintavételek, fogás–jelölés–visszafogás vizsgálatok) (PINE *et al.* 2003; WYATT 2002).

Az alapváltozók információtartalma eltérő. A teljes abundancia és a fajszám egyetlen adatértékkel (számmal) megadható. A fajonkénti abundancia a fajok számával egyező számú elemet tartalmazó felsorolás (halmaz), melynek elemeit a fajokból fogott egyedszámok alkotják. Statisztikai szempontból a fajonkénti abundancia az egyedek fajok közötti eloszlásának tekinthető. A fajkészlet szintén a fajok számával egyező számú elemet tartalmazó felsorolás (halmaz), melynek elemei a fogott fajok nevei. Állatföldrajzi vonatkozásban egy terület fajkészlete a terület faunájának felel meg. A legnagyobb információtartalma a fajkompozíció mutatónak van, mely a fajok számának megfelelő számú rendezett párt tartalmaz: a pár egyik tagja a faj neve, másik tagja a fajból fogott egyedek száma.

A biodiverzitás jellemzéséhez használt mutatók értékei a fajegyüttes-szerkezeti változók becsléseiből származtathatók. Ugyanakkor maga a fajszám már önmagában is az egyik leginformatívabb és általánosan használt sokféleségi jellemző.

Az állományszerkezeti, illetve diverzitási mutatók nem csupán a mintában levő összes fajra, hanem valamilyen vizsgálati szempontból kiemelendő és közösen kezelendő fajok egy csoportjára is megadhatóak. A halak monitorozásában jellemzően ilyen szempontok lehetnek a fajok életmódbeli és ökológiai tulajdonságai (pl. fenéklakó fajok, áramlásokkedvelő fajok) és természetvédelmi megítélései (pl. védett fajok).

Az állományszerkezeti alapváltozók, a diverzitási mutatók, valamint az ökológiai és természetvédelmi vizsgálati szempontok az aktuális állapotra, valamint az állapot változására vonatkozóan a következő jellegű monitorozással megválaszolható kérdések megfogalmazásához vezetnek:

- Aktuális állapot leírására vonatkozó kérdések:
  - Általános állományszerkezeti és diverzitási állapot:
    - Mennyire bővelkedik halban a terület?
    - Mennyi halfaj él a területen?
    - Milyen fajok élnek a területen?
    - Mennyire változatos (diverz) a halállomány összetétele?
    - Mely fajokból van sok?
    - Mely fajokból van kevés?
    - Mely fajok fordulnak elő sok helyen?
    - Mely fajok fordulnak elő kevés helyen?
  - Ökológiai tulajdonságok szerinti állapot:
    - Mennyi az egyes ökológiai tulajdonságokkal rendelkező halak mennyisége?
    - Milyen az egyes ökológiai tulajdonságokkal rendelkező halak mennyiségének egymáshoz viszonyított aránya? (Az egyes ökológiai tulajdonságokhoz tartozó fajok egymáshoz, illetve az állomány teljes abundanciájához való viszonyításában is feltehető kérdés.)
    - Mennyi az egyes ökológiai tulajdonságokkal közösen jellemezhető halfajok száma?
    - Milyen az egyes ökológiai tulajdonságokkal közösen jellemezhető halfajok számának egymáshoz viszonyított aránya? (Az egyes ökológiai tulajdonságokhoz tartozó fajok egymáshoz, illetve az állomány teljes fajszámához való viszonyításában is feltehető kérdés.)
  - Természetvédelmi állapot:
    - Milyen védett fajok élnek a területen?
    - Mekkora a védett fajok állományai?
    - Milyen idegenhonos fajok élnek a területen?
    - Mekkora az idegenhonos fajok állományai?
    - Milyen a védett és idegenhonos fajok számának egymáshoz, a nem védett, illetve nem idegenhonos fajok, valamint az állomány teljes fajszámához viszonyított aránya?

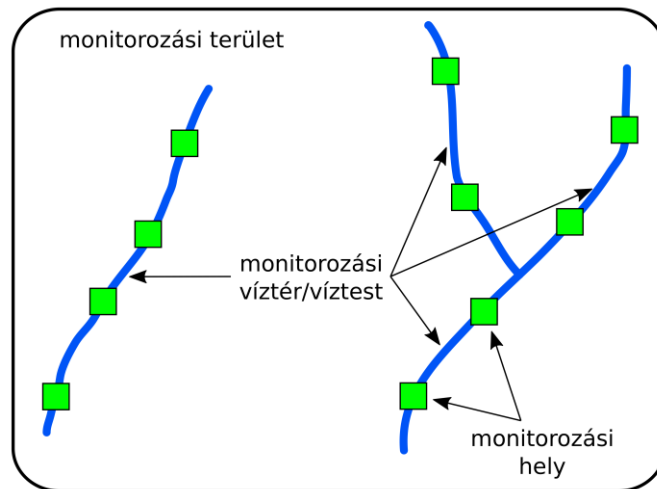
- Milyen a védett és idegenhonos fajok állományainak egymáshoz, a nem védett, illetve nem idegenhonos fajok, valamint az állomány teljes abundanciájához viszonyított aránya?
- Mekkora a terület halfaunájának a természeti értéke (GUTI 1993, 1995; GUTI *et al.* 2014)?
- Időbeli változásokra irányuló kérdések:
  - Általános állományszerkezet- és diverzitás-változás:
    - Vannak-e újonnan megjelent fajok?
    - Vannak-e eltűnőben levő (állománycsökkenést mutató) fajok?
    - Változik-e, illetve hogyan változik a terület halbősége?
    - Változik-e, illetve hogyan változik a területen élő halfajok száma?
    - Változik-e, illetve hogyan változik a halállomány összetételének változatlansága (diverzitása)?
    - Változik-e, illetve hogyan változik a fajok egymáshoz viszonyított tömegességi aránya? (Az egyes fajok egymáshoz viszonyított egyedszámarányaira és az egyes fajoknak az összes faj teljes abundanciájához való viszonyításában [fajonkénti relatív abundancia] is vonatkoztatható.)
    - Változik-e, illetve hogyan változik a fajok helyek közti előfordulási gyakorisága?
  - Ökológiai tulajdonságok szerinti változás:
    - Változik-e, illetve hogyan változik az egyes ökológiai tulajdonságokkal rendelkező halak mennyisége?
    - Változik-e, illetve hogyan változik az egyes ökológiai tulajdonságokkal rendelkező halak mennyiségének egymáshoz viszonyított aránya? (Az egyes ökológiai tulajdonságokhoz tartozó fajok egymáshoz illetve az állomány teljes abundanciájához való viszonyításában is feltehető kérdés.)
    - Változik-e, illetve hogyan változik az egyes ökológiai tulajdonságokkal közösen jellemezhető halfajok száma?
    - Változik-e, illetve hogyan változik az egyes ökológiai tulajdonságokkal közösen jellemezhető halfajok számának egymáshoz viszonyított aránya? (Az egyes ökológiai tulajdonságokhoz tartozó fajok egymáshoz, illetve az állomány teljes fajszámához való viszonyításában is feltehető kérdés.)
  - Természetvédelmi változás:
    - Vannak-e újonnan megjelent védett fajok?
    - Vannak-e eltűnőben lévő (állománycsökkenést mutató) védett fajok?
    - Vannak-e újonnan megjelent idegenhonos fajok?
    - Vannak-e eltűnőben lévő (állománycsökkenést mutató) idegenhonos fajok?
    - Vannak-e gyors népességnövekedést mutató (inváziós jellegű) idegenhonos fajok?

- Változik-e, illetve hogyan változik a védett és idegenhonos fajok számának egymáshoz, a nem védett, illetve nem idegenhonos fajok, valamint az állomány teljes fajszámához viszonyított aránya?
- Változik-e, illetve hogyan változik a védett és idegenhonos fajok állományainak egymáshoz, a nem védett, illetve nem idegenhonos fajok, valamint az állomány teljes abundanciájához viszonyított aránya?
- Változik-e, illetve hogyan változik a terület halfaunájának a természeti értéke?

Ezen leíró kérdések mellett sajátos esetekben megfogalmazhatóak olyan összehasonlító kérdések is, melyek nem időbeli, hanem adott időben tapasztalható térbeli összehasonlításokra vonatkoznak. A térbeli összehasonlításokat indokolhatja például egy területen lévő kezelés hatásának vizsgálata, például különbözik-e a fajgazdagság a kezelt és kezeletlen helyek között. Ugyanakkor, az ilyen specifikus összehasonlítások rendszerint specifikus mintavételezési elrendezést kívánnak (CHRISTIE *et al.* 2019), aminek egy már működő alapmonitorozási program elrendezése nem feltétlenül felel meg. Ezért a specifikus térbeli összehasonlításra vonatkozó kérdések megválaszolásra az általános surveillance monitorozás jellemzően nem megfelelő. Ettől eltekintve, a surveillance monitorozással gyűjtött adatok nemcsak időben, hanem térben is összehasonlíthatóak egymással, viszont az erre vonatkozó igény leginkább a monitorozási adatok alapvetési kérdések megválaszolására való felhasználásakor merülhet fel.

### **Monitorozási elrendezés**

A halak egy folyón vagy tavon belüli előfordulása térben változatos. Például más fajok kedvelik a gyorsan sodró vizet, és mások a lassú áramlású folyószakaszokat. Ráadásul az év során az állomány egy része mozoghat a víztéren belül, hogy a szaporodáshoz, táplálkozáshoz, teleléshez a legmegfelelőbb környezeti adottságú élőhelyeket találja meg (SCHLOSSER 1991). Emellett, a tájegységek, vízgyűjtő területek természetes vagy mesterséges tájtörténeti okok miatt gyakran különböznek abban a tekintetben, hogy milyen halfajok élnek a területhez tartozó vizekben (regionális halfaunabeli különbségek). Ezért a monitorozási elrendezésben egy víztesten (vízfolyás, állóvíz) több monitorozási helyet (mintavételi helyek) célszerű kijelölni, és a területen belül levő víztestek közül a lehetőségekhez (anyag- és humán erőforrások, logisztikai kényszerek) és a célokhoz mérten minél többet bevonni a monitorozásba (RHODES & JONZÉN 2011). Vízfolyásokban a halállomány összetételének egyik legkifejezettebb térbeli változatossága a vízfolyások eredete és torkolata között húzódo környezeti gradienshez (pl. tengerszint feletti magasság, mederesés) köthető. A vízfolyás hossz-szelvénye mentén egymáshoz térben közeli helyek halállománya és környezeti jellege között általában nagyobb a hasonlóság, mint a térben egymástól távol eső helyek esetén (térbeli autokorreláció). Ezért vízfolyások esetén ideális, ha a monitorozási helyek térben minél egyenletesebben elosztva lefedik a folyó teljes hossz-szelvényét, és nem csoportosulnak azonos folyószakaszra. Ugyanakkor, ha térben kicsi az autokorreláció, vagyis viszonylag rövid folyószakaszon belül nagyon eltérő a környezeti jelleg, akkor a lokális környezeti hatások mérséklése miatt célszerű lehet a monitorozási helyeket térben közel ismételni, és a térben ismételt helypárok között nagyobb távolságokat hagyni a hossz-szelvény mentén.



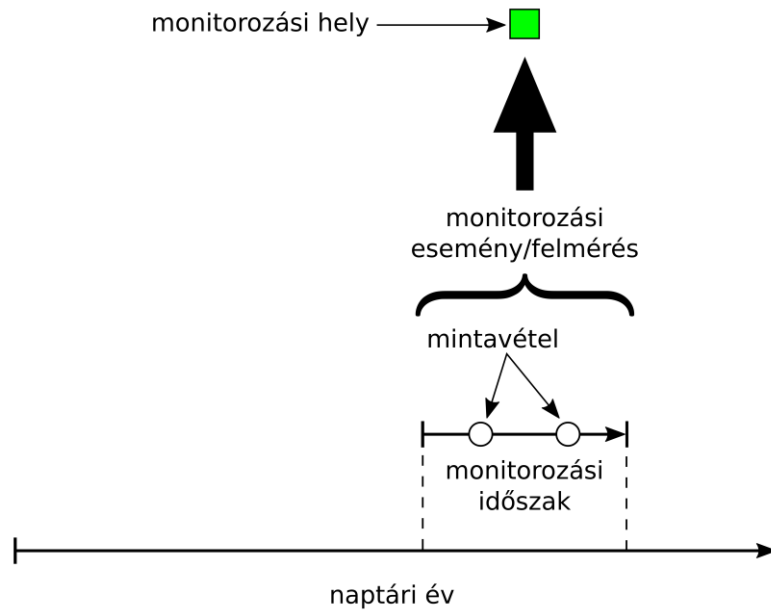
**2. ábra** A monitorozási elrendezés térbeli jellemzői. Példa négy monitorozási víztestet és víztestenként több monitorozási helyet tartalmazó területen történő monitorozás térbeli elrendezésére.

**Figure 2** Features of the spatial design of monitoring. An example of a monitoring area containing four water bodies with several monitoring sites per water body.

A kijelölt monitorozási helyek felmérésének időbeli gyakorisága (monitorozási gyakoriság) szintén a céloktól és a forrásoktól függően tervezhető (HUGHES & PECK 2008). Tekintettel arra, hogy a halállományok szerkezete az egyes évek között nagyfokú természetes változatosságot mutathat (SALLAI *et al.* 2019), és az éveken belül is számottevő az állományösszetétel fluktuációja (TAKÁCS *et al.* 2011; TAKÁCS *et al.* 2012), előnyös ha évente legalább egyszer, ideálisan évente többször is felméréseket lehet végezni (RHODES & JONZÉN 2011; SALLAI 2013). Az évente többszöri felméréssel az éven belüli finomabb időbeli, jellemzően szezonális mintázatok (pl. késő tavasz/kora nyár és késő nyár/ősz) is vizsgálhatók. Egy évben két monitorozási időszakot tartalmazó elrendezés esetén az időszakok jellemzéséhez lényeges, hogy a két monitorozási időszak közötti időérés legalább akkora, vagy hosszabb legyen, mint az egyes monitorozási időszakok hossza.

Halak biodiverzitás-monitorozását az évek közötti nagyfokú természetes változatosság miatt kevesebb, mint évenként egyszeri gyakorisággal végezni nem ajánlott. Ilyen monitorozási gyakoriság mellett olyan nagyfokú variabilitása lehet az adatoknak, melyek nem teszik lehetővé vagy megbízhatatlanná teszik az esetleges valós trendek észlelését (LARSEN *et al.* 2001), ami a biodiverzitás-monitorozás egyik elsődleges feladata. A trendek észlelésének hiánya félrevezető következtetésekre vezethet az állomány időbeli állandóságára vonatkozóan. Ugyanakkor nem szükségszerű, hogy a biodiverzitás időbeli mintázata egy meghatározott időközterjedésben (pl. 10 év) trendeket tartalmazzon.

Ha évente csak egyszer van lehetőség a felmérésre, akkor az éven belüli szezonális fenológiai hatások állomány-összetételt befolyásoló hatása miatt a felméréseket célszerű az év azonos időszakába (monitorozási időszak) ütemezni (jellemzően az év késő nyári, kora őszi szakasza). Ugyanakkor, érdemes szem előtt tartani, hogy a mintavétel időbeli ismétlésének hiányában még az év azonos szakaszában végzett felmérésekből származó adatok (egy mintavétel per év) valós állományra vonatkozó megfeleltethetőségét (reprezentativitás) is túlságosan nagy bizonytalanság terhelheti a felméréskor éppen fennálló mintavételi körülmények hatékonyságkorlátozó hatása miatt (RADINGER *et al.* 2019). Más megfogalmazásban, a mintavétel hatékonysága befolyásolja a halfajok észlelhetőségét (detektálás), a mintavételi hatékonyság mértékére pedig az aktuális környezeti körülmények (pl. vízállás, vízátlátszóság) is hatást gyakorolnak (SÁLY *et al.* 2021b). Mindez azt jelenti, hogy egyetlen mintavételen alapuló felméréssel a területen egyébként jelenlévő halfajok nem biztos, hogy mindegyikét észlelik a kutatók (a kis állomány nagyságú, vagy alkalmi előfordulású „ritka” fajok rejtve maradnak), avagy a fajokból észlelt, fogott egyedek egymáshoz viszonyított tömegességi arányai túlságosan eltérnek az állományban levő valós tömegességi arányoktól. Az adatok szintjén ez a bizonytalanság az egymást követő felmérési események adatainak véletlenszerű variabilitás-növekedésében jelentkezik. A nagy véletlenszerű variabilitás megnehezíti, késlelteti az állapotváltozásokban levő trendek felismerését. Ezért az évenkénti gyakoriságú monitorozásokból származó adatok megbízhatóságát a monitorozási időszakon belül legalább egyszeri mintavételi ismétléssel végzett felmérés (két mintavétel per év) várhatóan javíthatja. Például ha a monitorozás évenkénti gyakoriságú, akkor a monitorozásra kijelölt időszakon (pl. késő nyár, kora ősz) belül egymás után rövid időközönbséggel (egy-két hét) egyszer megismételt mintavételek együtt várhatóan megbízhatóbb adatokat nyújtanak, mint önmagában a két mintavétel bármelyike. A rövid időközönbségnek azért van jelentősége, mert csökkenti az ismételt minták közötti adatkülönbségben az éven belüli szezonális változások mintázatformáló hatásának kifejeződését. Ilyen időbeli elrendezés esetén az egymást rövid időközönbséggel végzett mintavételek együttese tekinthető egy monitorozási eseménynek. Ugyanakkor a rövid időn belül (néhány hetes időközökkel) végzett mintavételek a lokális halállományt fokozott stresszhatásnak teszik ki, így a mintavételek időbeli ismétlésének gyakoriságát az adatok reprezentativitása és a halállomány kíméletessége függvényében kell mérlegelni. Mindemellett, a felmérésnek az év monitorozásra kijelölt időszakában a mintavételre alkalmas körülményekkel (időjárás, vízállás) bíró napokra való ütemezése már önmagában is egy fontos tényező a gyűjtött adatok információtartalmának megbízhatósága szempontjából.



**3. ábra** A monitorozási elrendezés időbeli jellemzői. Példa egy monitorozási hely, évenként egy gyakorisággal, időben egyszeri ismétléssel végzett monitorozási felmérésére.

**Figure 3** Features of the temporal design of monitoring. An example of a one-year frequency monitoring survey with a one-time repeated sampling of a single monitoring site.

A monitorozási elrendezés térbeli kialakítására tehát az egymásba ágyazott, hierarchikus felépítés jellemző: a monitorozási területen belül több víztest (pl. vízfolyás), a vízfolyásokon belül pedig több monitorozási hely szerepel. Az időbeli kialakítás is lehet hierarchikus, ha egy éven belül több monitorozási időszakot is kijelölnek, például szezonális megfigyelés céljából. A fenti okok miatt, szezonális megfigyelés esetén az egy évszakon belül végzett felmérést is célszerű lehet rövid időközönbséggel időben ismételt mintavételekkel végezni.

A monitorozási célok, megválaszolandó kérdések (RADINGER *et al.* 2019), és a rendelkezésre álló források (CAUGHLAN & OAKLEY 2001) mind befolyásolják a monitorozási elrendezés térbeli és időbeli kialakítását. Ez visszafelé is igaz: a monitorozási elrendezés milyensége értelemszerűen behatárolja a monitorozással megválaszolható kérdések körét, részletekbe vágóságát, így a monitorozási adatok és eredmények felhasználási lehetőségeit is (RHODES & JONZÉN 2011).

## **Terepi adatgyűjtés**

### *Haladatok*

A halak mintavételezési módszereinek és azok alkalmazási stratégiájának (pl. milyen eszközzel, mennyi ideig történjen a mintázás) megválasztásában a halállományra vonatkozó kíméletességet, a minták valós állományra vonatkozó reprezentativitását, és a módszerek monitorozási terület terepi körülményei között való alkalmazhatóságát mérlegelik. A mintavétellel járó stressz, fizikai károsodás (pl. pikkelyzet és úszók sérülése), pusztulás a megfelelő módszerek megválasztásán túl a módszerek hozzáértő, tapasztalt alkalmazásával is csökkenthető. Minden mintavételi módszernek vannak olyan velejárai, melyek bizonyos szempontból (pl. halak egyedi testmérete) korlátozzák a gyűjtött minták, adatok reprezentativitását (pl. ERŐS *et al.* 2009). Az egyes módszerek reprezentativitása némileg ellensúlyozható az adott módszer használatának időben vagy térben való növelésével (mintavételi ráfordítás), illetve többféle módszer együttes alkalmazásával is (CZEGLÉDI *et al.* 2021; SÁLY *et al.* 2021a; ZAJICEK & WOLTER 2018). A halak fő hazai élőhelytípusai, a folyók, a kisvízfolyások, a holtágak, a nagy kiterjedésű természetes sekély tavak, a tudományos igényű összehasonlításra alkalmas adatok gyűjtéséhez mind másféle mintavételi módszer, illetve stratégiát kívánnak. A biodiverzitás-monitorozásban leggyakrabban az elektromos halászat valamilyen formáját alkalmazzák (pl. csónakból végzett vagy vízben gázolva történő elektromos halászat), mely a hagyományos halászati módszerekhez képest kíméletesebb és jobban megfelel a tudományos elvárásoknak (ERŐS *et al.* 2020; SALLAI *et al.* 2019, SALLAI 2020). Ugyanakkor a jövőben várható, hogy az elektromos halászat mellett a halak megfogását nem igénylő, a vízben levő örökítőanyag-maradványok azonosításán alapuló ún. környezeti DNS módszerek (eDNA) kiegészítik (BYLEMANS *et al.* 2018; DEINER *et al.* 2021; RADINGER *et al.* 2019), avagy megfelelő technológiai fejlődés esetén akár részben ki is váltják az elektromos halászatot.

### *Környezeti adatok*

Az élőlények elkerülik a számukra kedvezőtlen környezeti feltételeket, és keresik a kedvezőeket, ahol növekedhetnek, szaporodhatnak. Ezért a fajok környezeti igényeinek ismeretében az élőlények előfordulása az élőhely környezeti jellegéről nyújt információt (általános ökológiai indikáció elve, JUHÁSZ-NAGY 1986). A halegyüttesek fajgazdagságuk, változatos élőhelyeken való előfordulásuk (kis patakoktól, nagy folyókig), változatos táplálkozásbiológiájuk (pl. növényevők, apróállat evők, halevők), más vízi élőlénycsoporthoz képest egyediek terepen történő viszonylag könnyű faji azonosíthatósága miatt alkalmas indikátorai az víztestek környezeti állapotminőségének (KARR 1981). Ezért a monitorozásban a halak mellett az élőhelyen gyűjtött környezeti adatok segíthetnek megérteni a halfajok környezeti igényeit (faj–környezet kapcsolatok), és egyben a halak állomány összetétele és annak változásai által jelzett környezetminőségi állapotokat.

A vízi élőhelyek környezeti tulajdonságai időben dinamikusan változnak. Ezek a változások gyorsabbak lehetnek, mint a halállomány összetételének változásai. Lehetséges, hogy egy adott helyen néhány nap, vagy hét alatt markáns időjárási, vízállásbeli változások zajlanak, miközben a halállomány összetétele lényegében véve nem vagy alig változik. Ezért ha a monitorozási program kérdései nem csupán a halállomány-összetételre, hanem az élőhely környezeti jellemzésére, illetve a halak és a környezeti állapot közötti kapcsolatok megismerésére is vonatkoznak, a környezeti állapot időbeli változatosságának (ciklusok és trendek)



megismeréséhez ennek megfelelő gyakoriságú környezeti adatgyűjtés szükséges. A halak felmérésével egy időben történő környezeti adatgyűjtés a szélsőséges környezeti állapotokra ugyan jó eséllyel fényt deríthet, viszont alapvetően ez időben túl ritka adatgyűjtési gyakoriság ahhoz, hogy megbízhatóan lehessen értékelni a víztestek élőhelyi tulajdonságainak időbeli viselkedését. Ezért az élőhelyi jellemzéshez szükséges környezeti adatgyűjtéseket a halmonitorozási program részeként, ugyanazon monitorozási helyeken, de attól technikai-  
lag elkülönülten, időben gyakrabban javasolt végezni.

A halállomány terepi felmérésekor a környezeti tényezők gyűjtését elegendő a mintavételi hatékonyságot befolyásoló tényezők (pl. vízmélység, áramlási sebesség, víz átlátszóság, növényesültség, gázolhatóság) minél pontosabb, lehetőség szerint mérésekkel és minél kevesebb szubjektív becsléssel történő rögzítésére korlátozni, és amennyiben mód van rá, kiegészíteni azokat a vízügyi szolgáltatóktól elérhető vízállásadatokkal. A halakkal egyidőben gyűjtött hatékonyságbefolyásoló tényezők adatai segítenek értékelni a felmérés haladatainak megbízhatóságát, a célzott, időben sűrített részletes környezeti adatgyűjtésekkel pedig pontosabban jellemezhető az élőhely állapota, és pontosabban vizsgálható az élőhelyi tulajdonságok és a halak állomány összetétele közötti kapcsolatrendszer.

### **Adatkezelés**

#### *Gyűjtött adatok rendszerezése, tárolása, hozzáférhetősége*

A monitorozás működésének előrehaladásával folyamatosan keletkeznek új terepi adatok. Ezzel együtt az aktuálisan gyűjtött adatokat önmagukban, avagy a korábban gyűjtöttekkel együtt előre lefektetett szempontok szerint statisztikai vizsgálatokkal elemzik és értékelik. Az adatok egységes formátumban történő rendezett tárolását, statisztikai vizsgálatok céljából az adatok teljes vagy csak bizonyos feltételeknek eleget tevő részének gyors hozzáférését a strukturális lekérdezőnyelvet (SQL) használó relációs adatbázis-kezelő rendszerek biztosíthatják. Ilyen például a nyílt forráskódú, platformfüggetlen és sokféle adattípus (pl. számszerű, logikai, szövegszerű, idő) tárolását biztosító PostgreSQL. Adminisztrációs kezeléséhez nyílt forráskódú grafikus felhasználói felületek (pl. pgAdmin) is elérhetőek, és több adatelemzésre használható programozási nyelvi környezet közvetlenül is tud csatlakozni hozzá. A monitorozási adatok adatbázisban való tárolásának további előnye, hogy megfelelően kialakított adatbázis-szerkezet (séma) esetén csökken az adatbevitelnél a formai hibázás lehetősége, és az adatbázisból lekérdezett adatok statisztikai adatelemzésre való előkészítésének az ideje. Emellett, a strukturált lekérdezési nyelvvel rövid idő alatt akár közvetlenül az adatbázisból is készíthetők áttekintő kimutatások, összefoglalók.

A monitorozás során sokféle adatot gyűjtenek (pl. fajok egyedszámadatai, környezeti adatok, geoinformatikai adatok, fotódokumentáció, eseti alkalommal begyűjtött halpéldányok, terepi tapasztalatokat tartalmazó szöveges jegyzetek). A monitorozási eseményeket ezen adatok együttese dokumentálja. A monitorozási adatok eredményes felhasználásához nem elegendő csupán a nyersen begyűjtött adatokkal való rendelkezés. A gyűjtött adatok sokfélesége, és a monitorozás előrehaladásával az adatok egyre növekvő mennyisége miatt is különösen fontos, hogy a felhasználó ismerje az adatgyűjtés körülményeit is (ki, mit, miért, mikor, hol, hogyan gyűjtött). Bár az adatgyűjtés alapjai a monitorozás mintavételi

protokolljában rögzítve vannak, az aktuális terepi adatgyűjtések részleteit külön dokumentálni szükséges. A gyűjtött adatokra vonatkozó háttér-információt metaadatnak nevezik, mely lényegében véve adat az adatról (MICHENER 2006). A metaadatok dokumentálása nem csupán a monitorozási program működése idején, hanem különösen annak befejezése után nyújt jelentős támogatást az adathasznosításhoz. Összességében, a monitorozási program adatkezelési feladatainak részleteiről (milyen adatokat, mennyi adatot gyűjtenek, hogyan tárolják a gyűjtött adatokat, milyen metaadat-dokumentációt alkalmaznak, kik férnek hozzá az adatokhoz, mi történik az adatokkal, ha befejeződik a program) célszerű már a monitorozási program tervezésekor, illetve annak részeként ún. adatkezelési tervet készíteni (MICHENER & JONES 2012; MICHENER 2015).

A monitorozási adatok felhasználásának gyakoriságát és sokféleségét (hasznosítás) egybekel mellett a monitorozási adatbázis mind a kutatói, mind a területkezelői és a döntéshozatali oldalon levő szakemberek részére történő hozzáférhetősége is befolyásolja. Ezért ésszerűen kialakított jogosultságok mellett, regisztráció ellenében, és az adatbázisra, illetve a monitorozási programra való hivatkozás feltételével, célszerű biztosítani ezeknek a szakembereknek az adatbázishoz való hozzáférést.

### *Adatelemzés*

Az adatelemzés az adatbázisból lekérdezett adatok statisztikai vizsgálatokra való előkészítését (adatrendezés), adatfeltárást (ZUUR *et al.* 2010), az állományszerkezeti, diverzitási, ökológiai és természetvédelmi mutatók előre meghatározott adatértékelési szempontok (ld. később) szerinti kiszámítását, valamint az eredmények tömör, áttekinthető formába rendezett kigyűjtését (statisztikai jellemzők, táblázatok, ábrák) foglalja magába. Ahogyan az ismételt adatgyűjtéseknek, úgy az ismételt adatelemzési eljárásoknak és lépéseknek is meghatározott protokoll szerint, egységesen kell történnie annak érdekében, hogy a monitorozási eredmények összehasonlíthatósági feltétele teljesüljön.

A monitorozási események ismételt adatelemzéseiben csak az adatértékek és az adatok mennyisége változik, viszont az adatszerkezet (változók száma és típusai, mintavételi egységek jellege) a monitorozás során végig állandó marad az adatgyűjtési protokoll és az adatbázis séma kötöttsége miatt. Változó adattartalmú, de változatlan szerkezetű adatsorok azonos elemzési eljárással történő statisztikai vizsgálatára különösen alkalmasak az olyan programozási környezetek, melyekben az elemzési lépésekre vonatkozó utasítások forráskód formájában elmenthetők. A forráskódba a programozási nyelven írt utasítások mellett tetszőleges jegyzetek is beírhatók (dokumentálhatóság), a forráskód bármikor újrafuttatható, és az abban lévő lépések minden futtatáskor ugyanolyan sorrendben és módon hajtódhatnak végre. Így a megfelelően megírt forráskódot tartalmazó fájl, a monitorozási adatbázis-hoz illeszkedő adatelemzési protokollként integrálható a monitorozási programba.

A tudományos kutatásban adatelemzésre általánosan alkalmazott nyílt forráskódú, platformfüggetlen programozási nyelv és környezet az R (R CORE TEAM 2022). Az R monitorozásban való használatának előnye más programokhoz (pl. táblázatkezelő alkalmazások) képest, hogy minden monitorozáshoz szükséges adatelemzési lépés és eredményvizualizáció (ábrakészítés) elvégezhető benne, így nem szükséges több számítógépes programot használni az adatelemzéshez. Ezáltal nincs szükség az adatok számítógépes programok közötti mozgásával járó formai átalakítására, nem keletkeznek azonos adattartalmú program-

specifikus adatállományok (fájlok), csökken a programok közötti adatmozgatással járó véletlen formai vagy tartalmi hibák előfordulásának esélye és az adatfeldolgozási idő is.

#### *Eredményértékelési szempontok*

Az értékelés az eredmények monitorozási kérdések megválaszolásának szempontjából történő vizsgálatát, értelmezését, szakmai véleményezését, magyarázatát tartalmazza. Az értékelésben a szakmai véleményezés (következtetések és állásfoglalások) megfogalmazásához lényeges támpontot adhat az adatgyűjtési körülmények ismerete, ami alapján az adatok megbízhatósága megítélhető. A monitorozási kérdések állapotleírásra (egyszeri felmérés), valamint állapotváltozásra (többszöri felmérés) vonatkozó pillérei, és a monitorozási elrendezés térben hierarchikus jellege szerint, a monitorozási eredmények értékelési szempontjai a következő hierarchikus séma szerint rendeződnek (1. táblázat). A monitorozási felmérések időbeli száma szerint elkülöníthetők:

- (A) egyszeri monitorozási esemény adatfeldolgozásához és értékeléséhez kapcsolódó szempontok (állapotleírás),
- (B) többszöri monitorozási esemény adatfeldolgozásához és értékeléséhez kapcsolódó szempontok (állapotváltozás-leírás).

A monitorozási helyek számától függően az egyszeri monitorozási esemény alapadatainak feldolgozásához és értékeléséhez tartozó szempontok tovább különíthetők:

- (A.I) egy adott víztesten levő egy monitorozási helyre vonatkozó adatfeldolgozásra és értékelésre (hely-specifikus pillanatkép-eredmények),
- (A.II) egy adott víztesten levő monitorozási helyek hely-specifikus pillanatkép eredményeinek együttes jellemzésére a víztest értékeléséhez (víztest-specifikus pillanatkép-eredmények),
- (A.III) a monitorozási területen levő víztestek víztest-specifikus pillanatkép eredményeinek együttes jellemzésére a monitorozási terület értékeléséhez (monitorozásiterület-specifikus pillanatkép-eredmények).

Hasonlóképpen, többszöri monitorozási esemény alapadatainak feldolgozásához és értékeléséhez tartozó szempontok a helyek számától függően tovább különíthetők:

- (B.I) egy adott víztesten levő egy monitorozási helyre vonatkozó adatfeldolgozásra és értékelésre (hely-specifikus dinamikai eredmények)
- (B.II) egy adott víztesten levő monitorozási helyek hely-specifikus pillanatkép-eredményeinek együttes jellemzésére a víztest értékeléséhez (víztest-specifikus dinamikai eredmények),
- (B.III) a monitorozási területen levő víztestek víztest-specifikus pillanatkép eredményeinek együttes jellemzésére a monitorozási terület értékeléséhez (monitorozásiterület-specifikus dinamikai eredmények).

**1. táblázat** A monitorozás adatértékelési szempontjainak sémája a felmérések időbeli száma (sorok) és a monitorozási helyek száma, illetve térbeli csoportosulása szerint (2–4 oszlopok).

**Table 1** Assessment aspects of the monitoring data according to the number of surveys over time (rows) and the number and spatial grouping of the monitoring sites (columns 2–4).

Felmérések száma	Monitorozási hely	Monitorozási víztest	Monitorozási terület
egy	hely-specifikus pillanatkép	víztest-specifikus pillanatkép	terület-specifikus pillanatkép
több	hely-specifikus dinamika	víztest-specifikus dinamika	terület-specifikus dinamika

Az értékelésben a következtetések megfogalmazásánál lényeges támpontot adhat az adatgyűjtési körülmények ismerete, ami alapján az adatok megbízhatósága megítélhető. Az erre vonatkozó információt a mintavételt közvetlenül befolyásoló környezeti változók mintavételkor mért értékei, a terepi jegyzőkönyvekben rögzített szöveges jegyzetek és fotók biztosíthatják.

A monitorozás fenti értékelési sémáján túl, a monitorozási adatok alapkutatói szempontú összehasonlító vizsgálatokhoz való felhasználásakor a hely-specifikus eredmények egymással összehasonlíthatók (pl. egy víztesten belül lévő térbeli vagy időbeli különbségek értékelése). Ugyanakkor, a monitorozási adatoknak a monitorozási programon kívül gyűjtött adatokkal való összehasonlítása körültekintést igényel (CAO *et al.* 2005; CAO & HAWKINS 2011).

Halak esetén a monitorozástól független adatokkal való összehasonlítás jellemzően úgy fordul elő, hogy az aktuális felmérés eredményeit szakirodalmi faunisztikai adatokkal való összehasonlításban értékelik. Mivel a korábbi adatgyűjtések módszertana (mintavételi eszköz, mintavételi ráfordítás) eltérhet a monitorozási adatgyűjtés módszertanától, ezért az adatsorok között lévő különbségek validitását is nehéz mérlegelni. Például egy korábbi adatsorban hiányzó, de a monitorozási adatsorban benne levő faj utalhat arra, hogy a faj időközben megjelent a területen, de az is lehetséges, hogy a korábbi adatgyűjtéskor is ott volt, és pusztán véletlen hiba miatt nem találták meg (múltbeli hamis negatív adat). A példa fordítottja, miszerint egy faj a korábbi adatokban jelen volt, azonban az aktuális monitorozási adatokból hiányzik, szintén utalhat arra is, hogy a faj eltűnt, de arra is, hogy az aktuális monitorozáskor a véletlen miatt nem került elő (jelenbeli hamis negatív adat). Az ilyen bizonytalan összehasonlítások a monitorozási program eredményeiből tévesen levonható következtetésekhez vezethetnek (pl. regionálisan új fajok kimutatása). Bár a monitorozás az időbeli dinamika jellemzése révén részben a változások feltárására és leírására irányul, a módszertani egységesség okán az időbeli változások legmegbízhatóbban csak a monitorozási program keretén belül értékelhetők. A monitorozás lényegét képező, ismétlésekből álló hosszútávú adatgyűjtés növeli a valós változások felismerésének esélyét. Ezért a monitorozásban a változások értékeléséhez célszerű egy olyan viszonyítási alapot („bázisév”, „bázisállapot”) választani, melynek adatai a monitorozási programon belül keletkeztek. (Kerülendő a „referenciaállapot” kifejezés, mert ez az ökológiai állapotminősítésben a víztestek emberi hatásoktól leginkább mentes környezeti állapotát jelentő viszonyítási alap.)

Mindazonáltal, a korábbi faunisztikai adatokkal való összevetés támogathatja a változások értékelését. Ugyanakkor a korábbi hazai faunisztikai kutatások eredményei gyakran nehezen hozzáférhetőek, illetve hozzáférés esetén a bennük közölt adatok közlési formájától függően hosszabb-rövidebb adatkivonás (kigyűjtés és táblázatba gépelés) szükséges az összehasonlítás elvégzéséhez, ami tévesztések lehetőségét rejti magában (MARODA & SÁLY 2022). A faunisztikai adatok értékelésben való felhasználását nagymértékben segítheti, ha a monitorozástól független faunisztikai szakirodalom közölt adatai egy a monitorozási adatoktól elkülönített adatbázisban (szakirodalmi faunisztikai adatbázis) rendszereződnek. Egy ilyen adatbázis felépítése ugyan időigényes, de elkészültével lényegesen könnyebbé válik a mindenkorai faunisztikai adat-összehasonlítások elvégzése (hozzáférhetőség, feldolgozhatóság). Tekintettel arra, hogy a monitorozástól független faunisztikai kutatások a monitorozással párhuzamosan is történnek, valamint arra, hogy mint minden adatgyűjtés, a monitorozási adatgyűjtés is bizonytalansággal terhelt, a szakirodalmi faunisztikai összevetéseket célszerű bizonyos időszakokra, és nem minden aktuális monitorozási felmérésre ütemezni. Ez így egy időszakos kiegészítő értékelési szempont lehet a monitorozásban.

### **Tájékoztató**

A monitorozási program eredményeinek közzététele alapvetően a döntéshozatali és kezelő szervezetek felé közölt rendszeres kutatási jelentések elkészítését, a kutatói közönség tudományos szakmai fórumain való részvételt és a lakosság általi láthatóságot érinti. A kutatási jelentések dokumentálják a program működésének aktuális eredményeit és körülményeit. A jelentés tartalmazza a monitorozási felmérések módszertani utalásait, a gyűjtött alapadatokat, az adatfeldolgozás eredményeit (szövegesen, számszerűen, grafikusán), az eredmények alapján levont, a monitorozási kérdések megválaszolását célzó és egyéb következtetéseket is, valamint a program működésével kapcsolatos aktuális észrevételeket, javaslatokat. Mivel a már futó monitorozási programok módszertani protokollja a ciklikus működés során kedvező esetben nem változik, az egymást követő monitorozási eseményekben ugyanolyan eljárásokat és módszereket használnak. Ezért a kutatási jelentések elkészítésekor az alkalmazott módszerek ismertetésénél elegendő a monitorozás önállóan dokumentált módszertani protokolljára hivatkozni, avagy indokolt esetben az attól történt aktuális módszertani eltéréseket és azok okait dokumentálni. A rendszeres kutatási jelentések egyúttal a monitorozás különböző munkafázisaiban érintett szakemberek egymás közti tájékoztatását és így a szakemberek monitorozásban való tudatos együttműködését is segítik.

A kutatási jelentések elkészítése (információgyűjtés, információrendezés, szövegalkotás, formai szerkesztés, ellenőrzés, véglegesítés) sokrétűsége miatt körültekintést igényel. A folyamatot segíti, ha az egymást követő jelentések szerkezeti felépítése és formai megjelenése minél állandóbb. További lehetőség rejlik az ún. annotált jelentéskészítés (literate programming és reproducible research) megközelítésben (DARÓCZI 2016; SCHULTE *et al.* 2012). Ennek lényege, hogy az adatelemzések feldolgozásakor a programozási nyelven írt utasítások közé folyószöveges részek illeszthetők. Az így elkészült programozási utasításokat és az azokra vonatkozó magyarázatokat, értékelési szövegrészeket keverten tartalmazó szövegfájlokat (annotált forrásfájlok, pl. Rmarkdown, noweb/LaTeX) a számítógép automatikusan véglegesre formázott dokumentumokká (pl. PDF, HTML) alakíthatja (XIE 2015; XIE *et al.* 2021). Ennek több előnye is van. Az ismételt jelentések készítésekor a már korábbi jelentések szöveg- és programrészeit csak az aktuális változásokkal kell módosítani, és nem

szükséges mindent teljesen az elejéről gépbe vinni. A számítási eredmények kimenetelei közvetlenül beépíthetők a végleges dokumentumba, nem szükséges azokat egyenként kigyűjteni (pl. táblázatkezelő programba) és onnan utólag beledolgozni a jelentésbe. A végleges PDF formátumú jelentés bármilyen számítógépen tartalomváltozás nélkül megnyitható, nyomtatható. Ugyanakkor a WYSIWYG (What You See Is What You Get) rendszerű word processzorok állományai (pl. docx) hajlamosak lehetnek a számítógépek közötti mozgatskor a formázás elvesztésére, különösen, ha nagy terjedelmű dokumentumokról van szó. Az annotált forrásfájl lényegében véve egy egyszerű text fájl, így mérete más ugyanazon tartalmú fájlformátumokhoz (pl. doc, docx) képest rendszerint kisebb, és problémamentesen hordozható a számítógépek között, valamint bármilyen szövegszerkesztővel (text editor) szerkeszthető. Ugyanakkor az annotált forrásfájlok végleges dokumentumokká történő alakításához (fordítás) szükséges, hogy a számítógépen telepítve legyenek működő háttérmotor programok (pl. R, LaTeX, pandoc). Összefoglalva, a monitorozás egyes időszakaiban készített kutatási jelentések nem tudományos szakcikknek. Bár van átfedés közöttük, a jelentéseknek és a tudományos szakcikknek alapvetően más a célközönsége és a kommunikációs funkciója. Ezért a monitorozási jelentések szerkezete, tartalma és terjedelme is eltérhet egy faunisztikai vizsgálat eredményeit közlő szakciktól általános elvárt jellemzőktől.

Az emberek egyre több érdeklődést mutatnak a lakóhelyüket és a tágabb környezetüket érintő kérdésekben. Például, a horgásztársadalom többsége kíváncsi a folyók és tavak élővilágára. Ezeket az embereket több kérdés is foglalkoztatja: milyen halak élnek a vizekben, káros-e a kormorán, van-e hatása a dunai hajózás intenzitásának a halakra stb. Amennyiben a monitorozási programok működtetése közfinanszírozású, akkor magától értetődik, hogy a kezelő szervezetek és a döntéshozók mellett a lakosság is megfelelő tájékoztatást kapjon a monitorozás működéséről és eredményeiről. Ez segíti a környezettudatos és -felelős gondolkodást, valamint a lakosság számára közelebb hozza az egyébként gyakran „láthatatlan” tudományos kutatást. Továbbá, a lakosság monitorozáshoz való pozitív viszonyulása a döntéshozók számára megerősítő visszajelzésként szolgál arra vonatkozóan, hogy a monitorozás támogatása valóban közösségi érdek.

A láthatóság eredményességének fontos meghatározója lehet az, hogy a lakossági tájékoztatás megtalálja az egyensúlyt az eredmények tudományos szakszerűsége és közérthetősége között. A hazai NBmR rendszer kialakulásának előzményeiről, felépítéséről, eredményeiről több magas színvonalú ismertető kiadvány is elérhető (KM 2001; KVVM 2007; VARGA *et al.* 2015). Ugyanakkor az NBmR komplex monitorozási program, melyben számos monitorozandó entitás (ún. komponens, lényegében véve élőlény) megfigyelése történik. Ezekből a tájékoztatókból a csupán egy-egy élőlénycsoportra (pl. kétélűekre, halakra) kíváncsi olvasó csak nagyon általános információt kaphat. Ellenben az összefoglaló jelentések (KISS *et al.* 2019; SALLAI *et al.* 2019) ugyan élőlénycsoport-specifikusak és igen részletesek is, de a köznapi olvasó számára a stílusuk esetleg túlságosan tudományos.

### **A biodiverzitás-monitorozás szervezeti egységességének szükségessége**

Jelenleg hazánkban a halak biodiverzitás-monitorozása nincs állandó, egységes intézményi keretek közé rendezve. Ez azt jelenti, hogy például a Nemzeti Biodiverzitás-monitorozási Rendszerben résztvevő kutatók, egymástól elkülönülten, legtöbbször a főfoglalkozásuk mellett a szabadidejében végzi az adatgyűjtéseket, adatfeldolgozásokat, a kutatási jelentések írását, és mindezt a program szakmai koordinátora fogja össze. Ugyanakkor a kutatási intézetekben főfoglalkoztatású tudományos kutatókkal szemben támasztott publikációs és pályázati elvárások mellett, a monitorozásban ilyen formában való közreműködés a kutatók többségének jelentős többlet-erőfeszítést jelent. Ezzel együtt, a nemzetközi elvárások mentén felépülő specifikus alapkutatási problémák megválaszolását célzó, csupán néhány éves kutatási pályázatok (pl. „OTKA” témapályázatok) sem idő-, sem anyagi-, sem humán-erőforrási szempontból nem teszik lehetővé azt, hogy a kutatók a tőlük elvárt kimagasló tudományos eredmények elérése mellett a monitorozás lényegét jelentő hosszútávú adatgyűjtéseket és értékeléseket végezzék.

Ehhez képest a monitorozás működési hatékonyságára vonatkozóan sokkal előnyösebb lehet egy olyan struktúra, melyben a monitorozási programot egy önálló kutatóintézeti szervezeti egység működteti, amellyel szemben nem a kimagasló nemzetközi publikációs sikeresség az elsődleges elvárás, hanem a hazai természetvédelem és vízügyi környezetgazdálkodás megbízható, adatalapú szakértői támogatása. Egy ilyen célzott monitorozási szervezeti egységben a kutatók teljes munkaidőben, egymással állandó együttműködésben végezhetik a monitorozási program minden feladatát. A rendszeres terepbejárások során aktuális tereptapasztalatokkal rendelkezhetnek, közvetlen, személyes kapcsolatot tarthatnak más szervezet szakembereivel (pl. halőrök, vízügyi szakemberek, természetvédelmi őrkök), koherensen egybefogott adatkezelés révén naprakész, adatalapú szakértői állásfoglalásokat és jelentéseket nyújthatnak a vízfolyásokat érintő környezeti kérdésekben. A gyűjtött adatokkal támogathatják az egyéb tudományos kutatóintézetekben folyó alapkutatásokat, illetve együttműködhetnek azokban. Egy ilyen szóban forgó kutatási monitorozási intézmény, megfelelő támogatás esetén nem csupán a halak, hanem más vízi élőlénycsoportok (pl. a VKI-ban megjelölt biológiai minőségi elemek) monitorozását is működtetheti. A surveillance jellegű alapmonitorozás mellett képes lehet okfeltáró monitorozási és ökológiai állapotminősítési feladatok végrehajtására is.

## Konklúzió

A biológiai diverzitásnak haszonelvtől független, inherens értéke van (SOULÉ 1985). A biodiverzitás-monitorozás olyan tudományódszertani eljárás, melynek feladata valamilyen élőlénycsoport egy területen levő állományainak mindenkori aktuális állapotának leírása, és az állapotváltozások jellemzése, értékelése. Célja, hogy a biodiverzitási-krízis folyamatának mérséklése érdekében adatalapú tudományos háttérrel nyújtson a természeti erőforrások és élőhelyek kezeléséhez és hasznosításához. A monitorozás hosszútávú megfigyelés, és ciklikus jellegűen működik. A működés fázisai sokféle részfeladatot (pl. terepi adatgyűjtés, adatbázis-fenntartás, adatelemzés, eredménykommunikáció) tartalmaznak, melyek ellátása számos, különböző területen jártas szakember szoros együttműködését igényli. Ezért a monitorozás hatékony működését egy célzott intézményi struktúra biztosíthatja leginkább. A halak biodiverzitás-monitorozása az alapvetési kíváncsiság mellett jogszabályokból fakadó kötelezettség teljesítését is szolgálja. Ugyanakkor a felelősségteljesen működtetett biodiverzitás-monitorozás nem csupán a kötelezettségek teljesítéséhez, hanem a környezetünket érintő emberi és természetes hatások élővilágra, illetve társadalmunk életminőségére vonatkozó jelentőségének általános értékeléséhez is számottevően hozzájárul.

**Köszönetnyilvánítás.** Köszönöm NAGY ÁGNESnek és MARODA ÁGNESnek a kézirat átolvasását és véleményezését. Köszönöm KISS ISTVÁNNak és WEIPERTH ANDRÁSNAK a dolgozat javítására tett konstruktív bírálati javaslatokat.

## Irodalomjegyzék

- BYLEMANS J., GLEESON D. M., LINTERMANS M., HARDY C. M., BEITZEL M., GILLIGAN, D. M. & FURLAN E. M. 2018. Monitoring riverine fish communities through eDNA metabar-coding: Determining optimal sampling strategies along an altitudinal and biodiversity gradient. *Metabarcoding and Metagenomics*, 2: e30457. <https://doi.org/10.3897/mbmg.2.30457>
- CAO, Y. & HAWKINS, C. P. (2011). The comparability of bioassessments: a review of conceptual and methodological issues. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(3): 680–701. <https://doi.org/10.1899/10-067.1>
- CAO, Y., HAWKINS, C. P. & STOREY, A. W. (2005). A method for measuring the comparability of different sampling methods used in biological surveys: implications for data integration and synthesis. *Freshwater Biology*, 50(6): 1105–1115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01377.x>
- CAUGHLAN L. & OAKLEY K. L. 2001. Cost considerations for long-term ecological monitoring. *Ecological Indicators*, 1(2): 123–134. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00015-2)
- CHRISTIE A. P., AMANO T., MARTIN P. A., SHACKELFORD G. E., SIMMONS B. I. & SUTHERLAND W. J. 2019. Simple study designs in ecology produce inaccurate estimates of biodiversity responses. *Journal of Applied Ecology*, 56(12): 2742–2754. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13499>



- CZEGLÉDI I., SÁLY P., SPECZIÁR A., PREISZNER B., SZALÓKY Z., MARODA Á., PONT D., MEULENBROEK P., VALENTINI A. & ERŐS T. 2021. Congruency between two traditional and eDNA-based sampling methods in characterising taxonomic and trait-based structure of fish communities and community-environment relationships in lentic environment. *Ecological Indicators*, 129: 107952. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107952>
- DARÓCZI G. 2016. Alkalmazott statisztika? R! *Statisztikai Szemle*, 94 (11–12): 1108–1122.
- DEINER K., YAMANAKA H. & BERNATCHEZ L. 2021. The future of biodiversity monitoring and conservation utilizing environmental DNA. *Environmental DNA*, 3(1): 3–7. <https://doi.org/10.1002/edn3.178>
- ERŐS T., SPECZIÁR A. & BÍRÓ P. 2009. Assessing fish assemblages in reed habitats of a large shallow lake—A comparison between gillnetting and electric fishing. *Fisheries Research*, 96(1): 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.09.009>
- ERŐS T., SPECZIÁR A., SZALÓKY Z. & SÁLY P. 2020. *Módszertani útmutató a halak élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és az ökológiai állapot minősítéséhez*. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, 36 pp.
- GOTELLI N. J. & COLWELL R. K. 2001. Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4): 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- GUTI G. 1993. A magyar halfauna természetvédelmi minősítésére javasolt értékrendszer. *Halászat*, 86(3): 141–144.
- GUTI G. 1995. Conservation status of fishes in Hungary. *Opuscula Zoologica*, 27–28: 153–158.
- GUTI G., SALLAI Z. & HARKA Á. 2014. A magyarországi halfajok természetvédelmi státusza és a halfauna természetvédelmi értékelése. *Pisces Hungarici*, 8: 19–28.
- HUGHES R. M. & PECK D. V. 2008. Acquiring data for large aquatic resource surveys: The art of compromise among science, logistics, and reality. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4): 837–859.
- JUHÁSZ-NAGY P. 1986. *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 250 pp.
- KARR J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6): 21–27. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1981\)006<0021:A0BIUF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<0021:A0BIUF>2.0.CO;2)
- KISS I., BABOCSAY G., BAKÓ B., DANKOVICS R., DEME T., KOVÁCS T., SZÉNÁSI V., VÁGI B. & VÖRÖS J. 2019. Kétélűek és hullók monitorozása Magyarország kilenc tájegységében. In: VÁCZI O., VARGA I. & BAKÓ B. (eds.): *A Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer eredményei II. – Gerinces állatok*. Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóság, Szarvas, pp. 123–156.
- KM 2001. Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer 1998–2001. Környezetvédelmi Minisztérium Természetvédelmi Hivatal. <https://adoc.pub/nemzeti-biodiverzitas-monitorozo-rendszer.html> (utolsó megtekintés: 2022. márc. 11.)
- KVVM 2007. Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Természet- és Környezetmegőrzési Szakállamtitkárság. <https://adoc.pub/nemzeti-biodiverzitas-monitorozo-rendszer.html> (utolsó megtekintés: 2022. márc. 11.)
- LARSEN D. P., KINCAID T. M., JACOBS S. E. & URQUHART N. S. 2001. Designs for evaluating local and regional scale trends: We describe a framework for evaluating the effects of spatial and temporal variation on the sensitivity of alternative ecological survey designs to detect regional temporal trends. *BioScience*, 51(12): 1069–1078. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[1069:DFELAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[1069:DFELAR]2.0.CO;2)

- LEGG C. J. & NAGY L. 2006. Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal of Environmental Management*, 78(2): 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.016>
- LENGYEL, S., KOSZTYI, B., SCHMELLER, D. S., HENRY, P.-Y., KOTARAC, M., LIN, Y.-P. & HENLE, K. 2018. Evaluating and benchmarking biodiversity monitoring: Metadata-based indicators for sampling design, sampling effort and data analysis. *Ecological Indicators*, 85: 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.012>
- LINDENMAYER D. & LIKENS G. 2018. *Effective ecological monitoring* (2nd ed.). CSIRO Publishing, Clayton South, 224 pp.
- LINDENMAYER D. B. & LIKENS G. E. 2009. Adaptive monitoring: A new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9): 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.005>
- LINDENMAYER D. B. & LIKENS G. E. 2010. The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation*, 143 (6): 1317–1328. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.013>
- MARODA Á. & SÁLY P. 2022. Jelenkori és jövőbeni kutatások kapcsolata: halfaunisztikai szakirodalmi áttekintések módszertani nehézségei és az egységes faunisztikai közlés jelentősége. *Pisces Hungarici*, 16: 33–44.
- MICHENER W. K. 2006. Meta-information concepts for ecological data management. *Ecological Informatics*, 1(1): 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2005.08.004>
- MICHENER W. K. 2015. Ten simple rules for creating a good data management plan. *PLOS Computational Biology*, 11(10): 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004525>
- MICHENER W. K. & JONES M. B. 2012. Ecoinformatics: Supporting ecology as a data-intensive science. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(2): 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.11.016>
- PINE W. E., POLLOCK K. H., HIGHTOWER J. E., KWAK T. J. & RICE J. A. 2003. A review of tagging methods for estimating fish population size and components of mortality. *Fisheries*, 28(10): 10–23. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(2003\)28\[10:AROTMF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(2003)28[10:AROTMF]2.0.CO;2)
- R CORE TEAM 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- RADINGER J., BRITTON J. R., CARLSON S. M., MAGURRAN A. E., ALCARAZ-HERNÁNDEZ J. D., ALMODÓVAR A., BENEJAM L., FERNÁNDEZ-DELGADO C., NICOLA G. G., OLIVA-PATERNA F. J., TORRALVA M. & GARCÍA-BERTHOU E. 2019. Effective monitoring of freshwater fish. *Fish and Fisheries*, 20(4): 729–747. <https://doi.org/10.1111/faf.12373>
- RHODES J. R. & JONZÉN N. 2011. Monitoring temporal trends in spatially structured populations: How should sampling effort be allocated between space and time? *Ecography*, 34(6): 1040–1048. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06370.x>
- SALLAI Z. 2013. A Marcal és a Torna halfaunájának regenerációja a 2010. évi vörösiszap-szennyeződést követően. *Pisces Hungarici*, 7:13–25.
- SALLAI Z. 2020. Halközösségek monitorozása. <https://termeszetvedelem.hu/mintaveteli-modszerek/> (utolsó meglekintés: 2023. máj. 14.)
- SALLAI Z., VARGA I. & ERŐS T. (2019). Halközösségek monitorozása Magyarország különböző típusú állóvízeiben és vízfolyásokban (2001–2018). In: VÁCZI O., VARGA I. & BAKÓ B. (eds.): *A Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer eredményei II. – Gerinces állatok*. Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóság, Szarvas, pp. 157–179.
- SÁLY P., SPECZIÁR A., CZEGLÉDI I., MARODA Á., PREISZNER B., SZALÓKY Z. & ERŐS T. 2021a. Minősítési index holtágak halakkal történő ökológiai állapot minősítéséhez. *Pisces Hungarici*, 15: 23–37.

- SÁLY P., TAKÁCS P., SPECZIÁR A. & ERŐS T. 2021b. Capture probability of fishes in Central European (Hungary) wadeable lowland streams. *Population Ecology*, 63(4): 313–323. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12095>
- SCHLOSSER I. J. 1991. Stream fish ecology: A landscape perspective. *BioScience*, 41(10): 704–712. <https://doi.org/10.2307/1311765>
- SCHREIBER E. S. G., BEARLIN A. R., NICOL S. J. & TODD C. R. 2004. Adaptive management: A synthesis of current understanding and effective application. *Ecological Management & Restoration*, 5(3): 177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2004.00206.x>
- SCHULTE E., DAVISON D., DYE T. & DOMINIK C. 2012. A multi-language computing environment for literate programming and reproducible research. *Journal of Statistical Software*, 46(3): 1–24. <https://doi.org/10.18637/jss.v046.i03>
- SOULÉ M. E. 1985. What is Conservation Biology?: A new synthetic discipline addresses the dynamics and problems of perturbed species, communities, and ecosystems. *BioScience*, 35(11): 727–734. <https://doi.org/10.2307/1310054>
- TAKÁCS P., SÁLY P., ERŐS T., SPECZIÁR A. & BÍRÓ P. 2011. Mennyit ér egy mintavétel? Halfaunisztikai felmérések hatékonysága és reprezentativitása síkvidéki kisvízfolyásokon. *Hidrologiai Közlemény*, 91(6): 92–95.
- TAKÁCS P., SÁLY P., SPECZIÁR A., BÍRÓ P. & ERŐS T. 2012. Within year representativity of fish assemblage surveys in two small lowland streams. *Folia Zoologica*, 61(2): 97–105. <https://doi.org/10.25225/fozo.v61.i2.a2.2012>
- VARGA I., DEDÁK D., ZSEMBERY Z., BATA K. & VÁCZI O. 2015. Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer. Földművelésügyi Minisztérium Természetmegőrzési Főosztály. <https://termeszetvedelem.hu/publikaciok/> (utolsó megtekintés: 2023. márc. 11.)
- WINTLE B. A., RUNGE M. C. & BEKESSY S. A. 2010. Allocating monitoring effort in the face of unknown unknowns. *Ecology Letters*, 13(11): 1325–1337. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01514.x>
- WYATT R. J. 2002. Estimating riverine fish population size from single- and multiple-pass removal sampling using a hierarchical model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(4): 695–706. <https://doi.org/10.1139/f02-041>
- XIE Y. 2015. *Dynamic documents with R and knitr* (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, 294 pp.
- XIE Y., DERVIEUX, C., & RIEDERER, E. 2021. *R markdown cookbook*. CRC Press, Boca Raton, FL, 328 pp.
- ZAJICEK P., & WOLTER C. 2018. The gain of additional sampling methods for the fish-based assessment of large rivers. *Fisheries Research*, 197: 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.09.018>
- ZUUR A. F., IENO, E. N., & ELPHICK C. S. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1): 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

## **A basic concept for monitoring fish biodiversity**

**PÉTER SÁLY**

Institute of Aquatic Ecology, Centre for Ecological Research, 29 Karolina út, H-1113 Budapest, Hungary  
E-mail: *Saly.Peter@ecolres.hu*

**ÁLLATTANI KÖZLEMÉNYEK (2023) 108(1–2): 57–84.**

**Abstract.** This paper summarises the essence, importance, and objectives of biodiversity monitoring. Then, inspired by the previous practice and experiences gained so far, a basic concept for fish biodiversity monitoring is presented. The aim of this article is to highlight the importance of monitoring as a systematic scientific method in gathering knowledge on current status and temporal changes of biodiversity. The paper is dedicated primarily to the professionals of management and decision policy who are less interested in science. On the other hand, the conceptual definitions are aimed to promote the unified thinking of scientists on monitoring. The views framed by this basic concept can help design and improve monitoring programs. Finally, the paper argues that monitoring can really be effective if it is operated by a dedicated institute.

**Keywords:** applied ecology, biodiversity crisis, faunistics, long-term data, scientific method, surveillance, nature conservation, Water Framework Directive

**Accepted:** 24.09.2023

**Published online:** 04.10.2023