

ONLINE TÁVVEZÉRELHETŐ MOBIL VÍZPARAMÉTER MÉRŐ RENDSZER ALKALMAZÁSA A HOMORÓD PATAK SZÚNYOGSZÉK-I SZAKASZÁN

¹Tóth Piroska, ^{1,2}Kovács Zsófia, ¹Domokos Endre

¹Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium, Pannon Egyetem

²Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Pannon Egyetem, Fenntarthatósági
Megoldások Kutatólaboratórium, Pannon Egyetem

Kivonat

Az on-line távvezérelhető mobil vízkémiai paramétereket mérő állomások előnye, hogy lehetővé teszik a vízminőség folyamatos monitorozását, ami fontos információkat szolgáltat a vízminőség változásairól és az esetleges problémákról. Az ilyen állomások segítségével az adatgyűjtés és feldolgozás automatizálható, ami csökkentheti a munkaerőigényt és a költségeket.

Az IoT (Internet of Things) technológiára épülő online vízminőség-ellenőrző rendszer valós időben és dinamikusan képes a vízminőséget nyomon követni, és az ország vízkészletekkel kapcsolatos stratégiai követelményeit szolgálhatja. Alkalmazható a határokon átnyúló víztestek esetében is, mivel különösen fontos a nemzetközi együttműködés és koordináció, mert az egyik ország tevékenységei hatással lehetnek a másik ország vízminőségére és az egész térség ökoszisztémájára. Ezért elengedhetetlen, hogy a döntéshozók, szakemberek, civil szervezetek és az érintett felek együttműködjenek és közösen dolgozzanak azon, hogy fenntartható vízgazdálkodást és megfelelő minőségű vizeket biztosítsanak.

Az eredmények hozzájárulhatnak a különböző víztestek vízgazdálkodási terveihez, és beépíthetők a fenntartható gazdálkodási intézkedések tervezésébe és végrehajtásába, mivel az antropogén tevékenységgel bekövetkező jelentős változások nagymértékben befolyásolhatják egy adott víztest foszfor- és nitrogénkoncentrációját. Az erdélyi Szúnyogszék esetében a természetes- és az emberi tevékenységből származó tápanyagterhelés együttes foszforhozjárulásának hatása jelentős, (a P akár 6,6%-ka kifolyónál) mivel ez egy foszforban korlátozott vizes élőhely, míg a nitrogén-hozjárulás esetenként 0,7%-ka kifolyónál.

KULCSSZAVAK: WQI, online monitoring, IoT, tápanyagterhelés,

Bevezetés

Az Európai Unió Víz Keretirányelv (Water Framework Directive) célja a vízkészlet minőségének megőrzése és javítása. Ennek érdekében az irányelv előírja, hogy a tagállamoknak átfogó vízgazdálkodási terveket kell kidolgozniuk, amelyek részletesen meghatározzák a vízgyűjtőkre vonatkozó tevékenységeket, beleértve a vízminőség monitoringot is (WFD and 2000/60/EC).

Az irányelv szerint a vizek állapotát a vízi ökoszisztémát alkotó élőlénycsoportokkal kell jellemezni, mivel az élőlénycsoportok a legérzékenyebb szennyezésindikátorok. A monitoring során azt kell vizsgálni, hogy a vízi ökoszisztémák mennyire hasonlítanak vagy térnek el a természetes állapottól. Az állapotot az élőlényközösségek struktúrája, a fajok összetétele és eloszlása, valamint a biológiai folyamatok működése alapján kell meghatározni (Rédey et al. 2010).

Az irányelv szerint a monitoring adatokat rendszeresen össze kell gyűjteni és elemző programok segítségével értékelni (de Andrade Costa et al. 2020). Az eredmények alapján a tagállamoknak cselekedniük kell a vízminőség javítása érdekében, beleértve a szennyezés csökkentését és az élőhelyek helyreállítását. A fenntartható fejlődési célokat figyelembe kell venni a környezet állapotának javítása érdekében, kihasználva az innovatív technológiák és az "adatforradalom" előnyeit (Sebestyén et al. 2020).

Az automatizált vízminőség-mérő rendszer egy komplex rendszer, amely magában foglalja a mérőhálózat informatikai rendszerét és az automata monitoring mérőállomásokat is. Ez a rendszer folyamatos méréseket tesz lehetővé, és nem igényel folyamatos emberi jelenlétet, mivel távműködésre alkalmas. A mérőállomások által szolgáltatott mérési eredményeket és működésre vonatkozó adatokat mobilinternetes kapcsolaton keresztül küldi a rendszerközpontba. A rendszerközpont szoftvere lehetővé teszi a hozzáférést a rendszerhez, és segítségével lehetséges státuszriportok generálása tetszőleges időpontban és kiválasztott paraméterekre. A mérési értékek dokumentáltak és online elérhetőek a megfelelő szakképesítéssel bíró személyzet és laboratórium számára. Ennek az automatizált rendszernek az előnye, hogy folyamatosan figyelemmel kíséri a vízminőséget, és valós időben szolgáltat adatokat, mely következtében intézkedések eszközölhetők, ha az értékek kritikus szintre emelkednek, így lehetőséget adva a gyorsabb beavatkozásra és a vízminőség javítására.

Az on-line vízminőség-ellenőrző rendszer tervezése és megvalósítása során a következő lépéseket kell végrehajtani (Kovács Zs., 2018):

Célkitűzések meghatározása: Az első lépés a rendszer célkitűzéseinek meghatározása, beleértve a mérési paraméterek kiválasztását, a mérési pontok helyének meghatározását és a vizsgált víztest típusának és mennyiségének meghatározását.

Rendszer tervezése: Az on-line vízminőség-ellenőrző rendszer tervezése magában foglalja a szükséges érzékelők és mérőműszerek kiválasztását, az automatikus mérési és vezérlési technológiák beépítését, valamint a számítógépes és kommunikációs rendszerek tervezését.

Rendszer telepítése: A rendszer telepítése magában foglalja az érzékelők és mérőműszerek telepítését a megfelelő helyeken, valamint az automatikus vezérlő rendszer és számítógépes rendszer beállítását.

Rendszer kalibrálása: A rendszer kalibrálása a mérési és érzékelő rendszerek beállítását jelenti a pontos és megbízható mérések érdekében.

Adatok elemzése: az adatok elemzése szükséges az érzékelőktől és mérőműszerektől érkező adatok feldolgozásához és azok megjelenítéséhez. Ezenkívül szükségesek hozzá adatbázisok és adatfeldolgozási szoftverek beállítása és használata is.

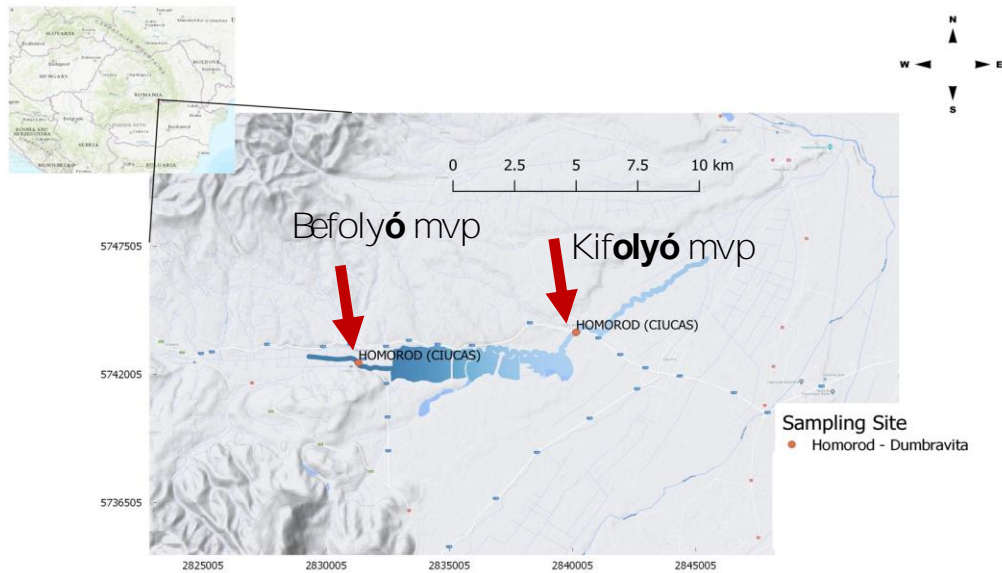
Rendszer karbantartása: a rendszer karbantartása szükséges, hogy biztosítva legyen a rendszer megbízhatósága és a pontos mérések. A karbantartás magában foglalja az érzékelők és mérőműszerek rendszeres ellenőrzését, a kalibrációt, a rendszer tisztítását és karbantartását, az energiaellátás folyamatos biztosítását, valamint az esetleges hibák és problémák javítását.

Az on-line vízminőség-ellenőrző rendszer előnyei közé tartozik a valós idejű és pontos adatok, a folyamatos monitorozás lehetősége, valamint a riasztási rendszer, amely lehetővé teszi a problémák azonnali észlelését és megoldását. Ezenkívül az on-line rendszer lehetővé teszi a hosszú távú adatgyűjtést és elemzést.

A vizsgált terület bemutatása

A kutatási terület Erdély középső részén, a Brassó-i medencében a Homoród vízfolyás Szúnyogszék-i (Dumbrăvița) szakaszára esett, mely része az Olt folyó vízgyűjtő medencének. 2006-tól Ramsar-i terület, és 2014-től Natura 2000-es természetvédelmi terület ("Dumbrăvița - Rotbav - Măgura Codlei" - ROSPA0037 2016). Összesen 414 ha vizes élőhely; nádasokkal, füves területtel és füzesekkel körülvett 191,1 hektár területű nyílt víz, amely a következőket foglalja magában: 12 fő halastavat, 3 mellékavat, 8 medencét. A környező terület földhasználata: legelők és szántóföldek (990,58 ha), erdők (79,23 ha) és rétek (13,48 ha). Elhelyezkedési koordináták: é.sz. N 45° 43' 1", k.h. E 25° 24' 38" és a tengerszinttől 550 méteres magasságban fekszik. Az ország középső részén levő egyetlen Ramsar és Natura2000-es vizes élőhely, mely táplálékkal és pihenőhellyel szolgál a vonulási időben a vízimadarak sokaságának. Ez a terület több mint 100 madárfajnak nyújt élőhelyet éves vonulásuk során. A vizes élőhely egész területén a fő emberi tevékenység az akvakultúra és a halászat.

A fő tenyésztett fajok ázsiaiak, mint például a *Hypophthalmichthys nobilis*, *Hypophthalmichthys molitrix* és a *Ctenopharyngodon idella*, de az eurázsiai *Cyprinus carpio* faj is megtalálható. Ezen kívül vannak még más kishalak is, némelyikük invazív faj, mint például a *Pseudorasbora parva*, amely számos hlevő madár tápláléka (Ionescu et al. 2020).



1. ábra. Homoród patak Szűnyogszék-i szakasza és a mintavételi pontok

Anyag és módszerek

A mérőállomás üzembehelyezése 2021 augusztusában történt, melynek feltételei közt volt az eszközkommunikáció (4G) kapcsolat. Az áramforrás (12 V-os akkumulátor 12V/24A) működteti. A vízfolyásba helyezett érzékelők mérik a víz hőmérsékletét, pH értékét, a vezetőképességet, oldott oxigén és oxigéntelítettséget és a zavarosságot. A mérési gyakoriság 15 perc és az adatok továbbítása óránként történt.

- pH elektróda (Orbipac CPF81): A vízminta pH értékének mérésére egy Orbipac CPF81 kétkamrás kompakt elektród PTFE diafragmával szenzor szolgál, amely egy Liquisys M CPM253 feldolgozó elektronikához kapcsolódik. A mérési tartomány: 0-14.
- Vezetőképesség elektróda (Indumax CLS52): A vízminta vezetőképességének mérésére egy Indumax H CLS52 szenzor szolgál, amely egy Liquisys M CPM253 feldolgozó elektronikához kapcsolódik. A mérési tartomány: 0-2000 mS/cm.

Első lépés a rendszer tervezése és specifikációinak meghatározása. Elsődleges fontosságú, hogy pontosan meghatározzuk, milyen adatokra van szükségünk, és hogyan fogjuk azokat gyűjteni és rögzíteni.

A rendszer összeállításához szükséges eszközök között szerepelnek a szenzorok, adatközpontok és hardverek, amelyek lehetővé teszik az adatok folyamatos gyűjtését és tárolását. A rendszernek alkalmasnak kell lennie arra is, hogy a felszíni vizek különböző pontjain lévő adatgyűjtő állomások között kommunikáljon és koordinálja az adatgyűjtést.

A szenzorokat különböző paraméterek mérésére tervezzük, mint például a pH, a hőmérséklet, az oldott oxigén szint és zavarosság értékek mérése. Az adatgyűjtő érzékelőket a felszíni vízbe helyezük, hogy folyamatosan mérhessék az adott ponton a vízminőséget.

Az adatok gyűjtése és tárolása után a rendszernek lehetőséget kell biztosítania az adatok feldolgozására és értékelésére. Az adatokat össze kell vetni az előírt szabványokkal és határértékekkel, hogy azonnal értesüljünk a vízminőség esetleges romlásáról.

Rendszerkialakítás

Az IoT (Internet of Things) rendszerarchitektúra layer-ei (2. ábra):

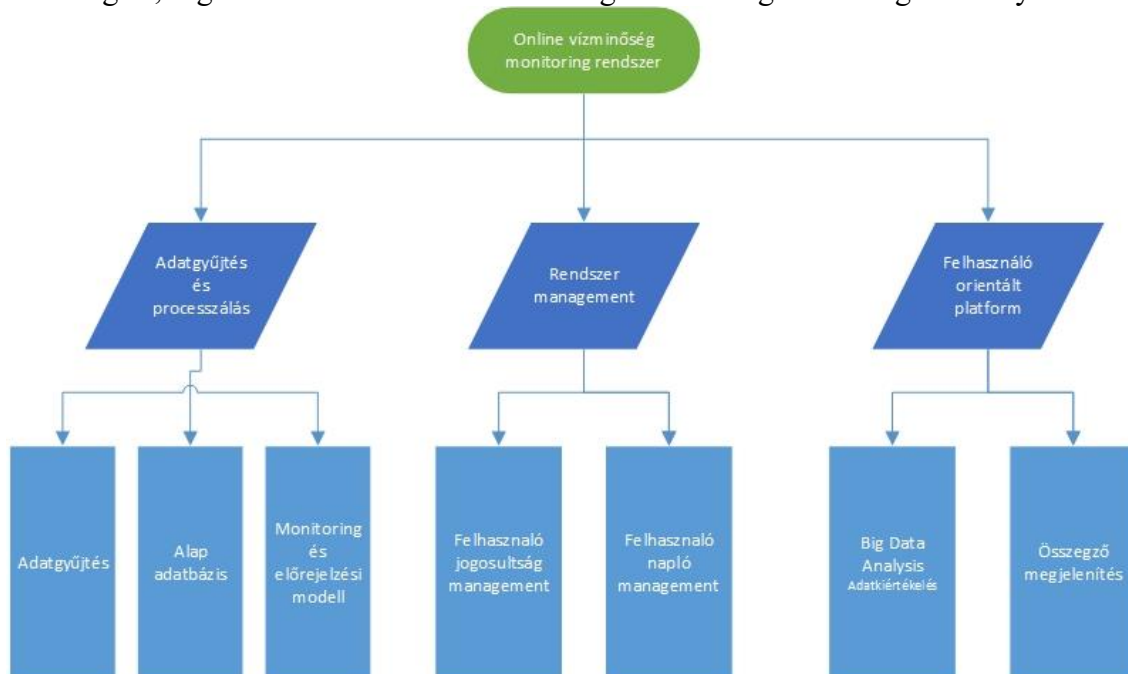
Érzékelő layer: Ebben a rendszerben az érzékelőréteg felelős a vízminőségi paraméterekért, például a pH-ra, a hőmérsékletre, az oldott oxigénre, a zavarosságra és a vezetőképességre vonatkozó adatok gyűjtéséért. Ezeket az érzékelőket a vízminőség megfigyelésére a vízrendszer különböző helyein, például folyókban, tavakban vagy víztisztító telepeken lehet elhelyezni. Az érzékelők által gyűjtött adatokat az adatrétegbe továbbítják feldolgozásra.

Adat layer: Ebben a rendszerben az adatréteg felelős az érzékelők által gyűjtött adatok integrálásáért és a háttérirányítási rendszerbe történő továbbításáért. A LoRaWAN mellett más kommunikációs protokollok, például WiFi, Bluetooth vagy mobilhálózatok is használhatók az érzékelők adatainak az adatréteghez történő továbbítására. Az adatréteg adatelemzési, minőségellenőrzési és adataggregálási feladatokat is végezhet az adatok pontosságának és megbízhatóságának biztosítása érdekében.

Döntéshozatali szint (decision layer): A rendszerben az döntéshozatali szint kezeli a vízminőség-ellenőrzéssel kapcsolatos logikát. Ez olyan feladatokat foglalhat magában, mint az anomáliák észlelése, az előrejelzés és a döntéshozatal az érzékelők által gyűjtött adatok alapján. A döntéshozatali szint elemezheti az adatokat a vízminőségi paraméterekben bekövetkező hirtelen változások észlelésére, és riasztást küldhet a vízrendszer üzemeltetőinek, vagy automatikus választ indíthat el a vízminőség fenntartása érdekében.

Megjelenítési layer: Ebben a rendszerben a megjelenítési szint felelős a vízminőség-ellenőrzési adatok és információk megjelenítéséért. Ez lehet webalapú felület vagy mobilalkalmazás, amely valós idejű vagy múltbeli adatokat szolgáltat a vízminőségi paraméterekről. A megjelenítési szint grafikonokat, diagramokat és egyéb megjelenítéseket is biztosíthat, hogy segítse a vízrendszer üzemeltetőit az adatok megértésében és a megalapozott döntések meghozatalában.

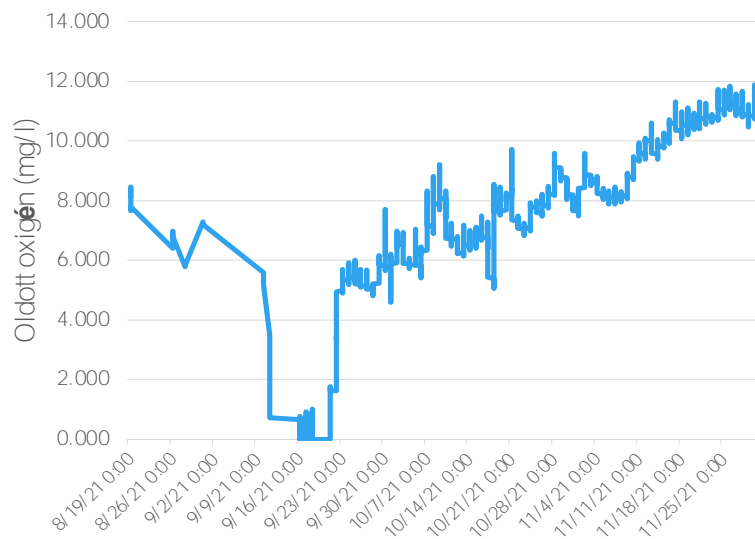
Összességében egy érzékelő layer-el, adat layer-el, döntéshozatali layer-el és megjelenítési layer-el rendelkező online vízminőség-ellenőrző rendszer valós idejű információkat nyújthat a vízminőségről, segítve ezzel a vízellátás biztonságának és megbízhatóságának folyamatát.



2. ábra. A monitoring rendszer általános működésének kialakítása

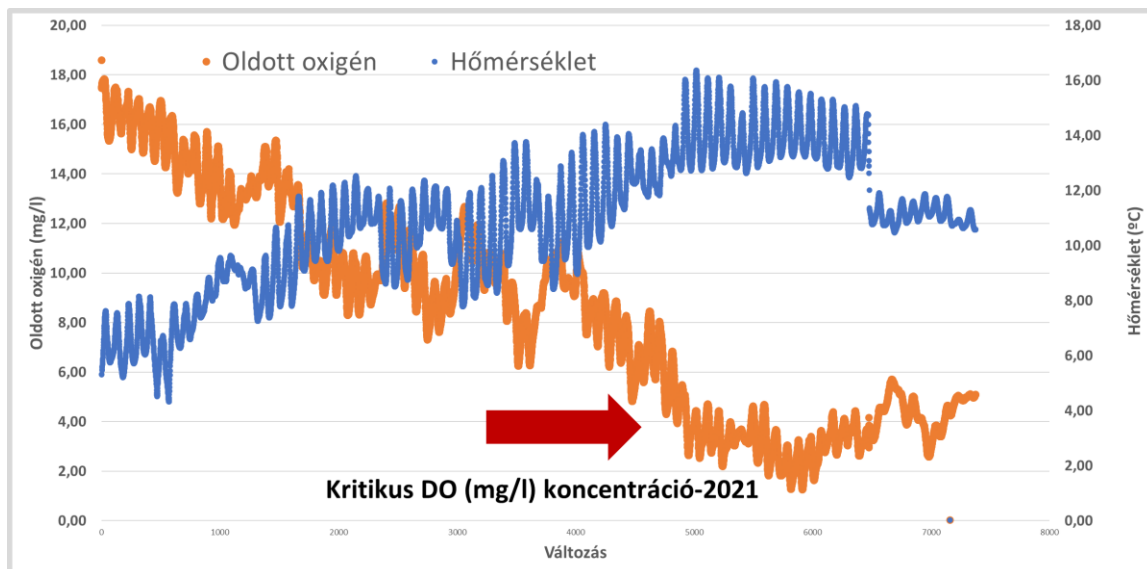
Eredmények

Az oldott oxigén szint változása valós időben észlelhető volt 2021 szeptember közepén (3. ábra), melyet egy pontforrás bemosódása idézett elő a heves esőzés következtében.



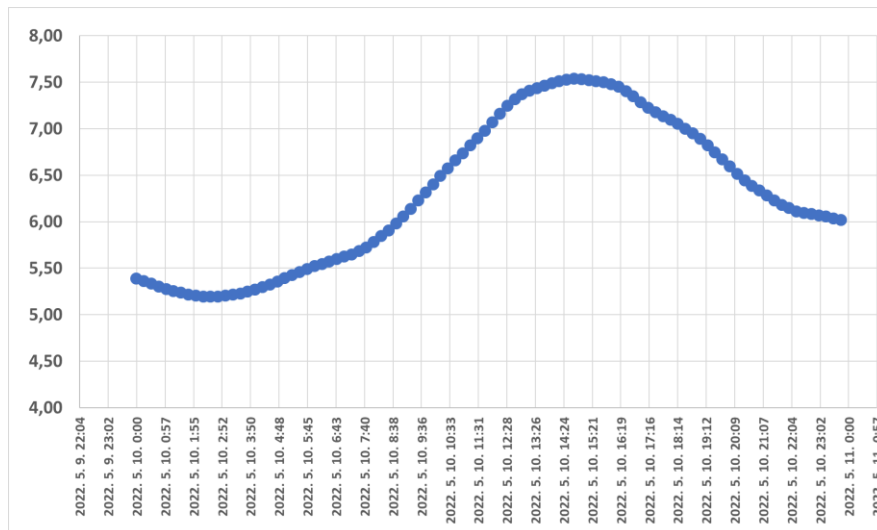
3. ábra. Az oldott oxigén (mg/l) a Szúnyogszék-i szakasz után

A Homoród vízfolyás Szúnyogszék-i szakasz kifolyásához elhelyezett mérőállomás 14 000 mérést végzett és továbbított 2021 szeptember és 2022 május közötti időszakban (4. ábra).



4. ábra. Az oldott oxigén (mg/l) és hőmérséklet változásai a Szúnyogszék-i szakasz után 2021 szeptember és 2022 május közötti időszakban

Az oldott oxigén 2,5-16 mg/l értékek közt változott. A vízhőmérséklet az évszakoknak megfelelően alakult 1 és 27 °C között. A fizikai-kémiai paramétereket tekintve a pH értéke a vizsgált szakaszon 7,2-8,51 között mozgott. A vezetőképesség átlag értéke 358-515 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a zavarosság átlag értéke 27-39 NTU között állapítható meg.



5. ábra. Az oldott oxigén (mg/l) napi ritmusa

Az oldott oxigén (mg/l) napi ritmusa (5.ábra) 2022 május 10-én a legalacsonyabb érték 5.36 (mg/l) majd napközben a legmagasabb 7.53 (mg/l) majd ismét csökken a napszaknak megfelelően 6.02 (mg/l).

Az oldott oxigén koncentrációja a vízi életközösségek egészségi állapotát jelzi, és a vízminőség értékelésének egyik kulcsfontosságú paramétere. Az automata folyamatos monitoring állomás működésének megbízhatóságát támasztja alá a kirajzolódó napi oldott oxigén görbéje. Az oldott oxigén koncentrációja azonban változó és függ az időjárástól, az évszaktól, a víz hőmérsékletétől és a vízi élőlények aktivitásától is.

A térbeli statisztikai analízis segítségével lehetőség van a térbeli adatokat összehasonlítani, például a vízminőség változásainak elemzése különböző időszakokban vagy a vízminőség változásainak összehasonlítása különböző víztestek között. A térinformatikai módszerek alkalmazásai hatékonyak lehetnek a vízminőség kiértékelésében, és lehetővé teszik az adatok térbeli elemzését és megjelenítését. A térbeli adatokat a térinformatikai rendszerek segítségével lehet kezelni és vizualizálni, és az adatokat össze lehet vonni a térbeli változások elemzéséhez.

Következtetés

Az automatizált vízminőség-mérő rendszer további előnye, hogy csökkenti a hibalehetőségeket, mivel az adatokat automatikusan rögzíti, így elkerülhetők a manuális hibák. Emellett a rendszer folyamatosan üzemeltethető, így az adatok rögzítése nemcsak időben hatékonyabb, hanem hosszú távon költséghatékonyabb is lehet, hiszen nem igényel folyamatos emberi jelenlétet és felügyeletet. Az automatizált rendszer az adatok archiválására is képes, így hosszú távon is nyomon követhető a vízminőség változása. Az ilyen rendszerek alkalmazása segíti a vízügyi hatóságokat a vízminőség figyelemmel kísérésében és a vízvédelmi tevékenységek hatékonyabb tervezésében és végrehajtásában.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék:

de Andrade Costa D, Soares de Azevedo JP, dos Santos MA, dos Santos Facchetti Vinhaes Assumpção R (2020) Water quality assessment based on multivariate statistics and water

- quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. *Sci Rep* 10:1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78563-0>
- Ionescu DT, Hodor CV, Petritan IC (2020) Artificial wetlands as breeding habitats for colonial waterbirds within central Romania. *Diversity* 12:1–16. <https://doi.org/10.3390/d12100371>
- Kovács Zsófia (2018): Vízgyűjtő specifikus folyamatos monitoring rendszer módszertani kidolgozása és vízminőség osztályozó algoritmus adaptálása és tesztelése felszíni vizekre, doktori értekezés, http://real-phd.mtak.hu/710/1/Kovacs20Zsofia_dissertation_u.pdf
- Rédey Á, Husvéth F, Kovács Z, et al (2010) RELATION BETWEEN GLOBAL ENVIRONMENTAL ISSUES AND SURFACE WATER QUALITY. *Egypt J Phycol* 11:121–129. <https://doi.org/10.21608/egyjs.2010.114912>
- Sebestyén V, Domokos E, Abonyi J (2020) Focal points for sustainable development strategies—Text mining-based comparative analysis of voluntary national reviews. *J Environ Manage* 263:110414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110414>
- WFD, 2000/60/EC WFD (2000) Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a framework for community action in the field of water policy. European Union, Luxembourg PE-CONS 3639/1/00 REV 1