

## Valós idejű helyszíni vízminőség-ellenőrző rendszer kiépítésének aktuális kérdései a Kárpát-medencében

### Current issues of the construction of a real-time on-site water quality monitoring system in the Carpathian Basin

Dr GUCSIK Arnold

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Eger, Leányka út 6-8. H-3301, Tel: +3636520400, gucsik.arnold@uni-eszterhazy.hu

#### Abstract

*Regarding the physical geographical character of the Carpathian Basin, we can say that we get a location resembling a concentric circle. Accordingly, the observation stations for the in-situ real-time measurements must also be placed forming an outer and inner ring, which are mainly connected to the catchment area of the Danube. The measuring stations could be placed at these intersections. The construction of the above system provides essential water quality data for the drinking water and industrial water supply of the local population, as well as for the environmental status assessment, especially at the former ore mines.*

**Keywords:** Carpathian Basin, Danube, real-time analysis, hydrology, previous ore mines,

**Kulcsszavak:** Kárpát-medence, Duna, valós idejű elemzés, hidrológia, korábbi ércbányák

#### 1. FOLYÓK IN-SITU (HELYBEN TÖRTÉNŐ) VÍZMINŐSÉGÉNEK MÉRÉSE: VALÓS IDEJŰ ELEMZÉS

A folyóvízminőség értékelése kiemelkedő fontosságú az ökológiai egyensúly megőrzése, a biztonságos vízkészletek biztosítása és a különféle emberi tevékenységek támogatása szempontjából. A különböző környezeti tényezők, köztük az éghajlat, a medence geológia felépítése és a növényzet miatt a folyók vízminősége természetesen nagyon változó [4]. Következésképpen a referenciaként használható szabványos folyóvíz nem alkalmazható [4]. A természetes vizek emiatt alkalmatlanok lehetnek emberi fogyasztásra és más célokra [4]. A hagyományos vízminőség-ellenőrzési módszerek, amelyek a minták gyűjtésén és a laboratóriumi elemzéseken alapulnak, gyakran nem tudják megragadni a folyórendszerek dinamikus jellegét, és figyelmen kívül hagyhatják a kritikus szennyezési eseményeket [1]. A valós idejű, helyszíni vízminőség-ellenőrzés hatékony eszközként jelent meg e korlátok leküzdésére, folyamatos, nagy felbontású adatokat kínálva, amelyek időben és hatékonyan tájékoztathatják a vízkészlet-gazdálkodási stratégiákat [1]. Az ilyen folyamatos monitorozás lehetővé teszi a rövid távú ingadozások és anomáliák észlelését, amelyeket az időszakos mintavétel figyelmen kívül hagyhat, így teljesebb képet ad a vízminőség dinamikájáról [1].

Az in situ vízminőség-mérések magukban foglalják az érzékelők telepítését közvetlenül a folyó környezetében a kulcsfontosságú paraméterek folyamatos nyomon követésére [8]. Ezek a paraméterek jellemzően magukban foglalják a hőmérsékletet, a pH-t, az oldott oxigént, a vezetőképességet, a zavarosságot és a specifikus ionok vagy szennyező anyagok szintjét [1]. A hőmérséklet-érzékelők betekintést nyújtanak a hőszennyezésbe és annak a vízi élővilágra gyakorolt hatásaiba, míg a pH-szenzorok a víz savasságát vagy lúgosságát jelzik, ami befolyásolhatja a különböző anyagok oldhatóságát és toxicitását. Az oldottoxigén-érzékelők kulcsfontosságúak a vízi ökoszisztémák egészségének felmérésében, mivel sok organizmusnak megfelelő oxigénszintre van szüksége a túléléshez. A vezetőképesség-érzékelők mérik a víz villamosenergia-vezető képességét, ami az oldott sók és ásványi anyagok koncentrációjához kapcsolódik. A zavarosságérzékelők mérik a víz zavarosságát vagy ködösségét, jelezve a lebegő részecskék jelenlétét, amelyek befolyásolhatják a fény behatolását és a vízi élőhelyet. Ezenkívül a vízminőség ötlete jelentősen megváltozott a század eleje óta a bővülő vízfelhasználásra és az analitikai technikák fejlődésére reagálva. A vízellátás online ellenőrzése gyorsan szükségessé válik, mert nyilvánvaló, hogy a jelenlegi eljárás már nem elegendő. A vízművek világszerte valamilyen online megfigyelést alkalmaznak, hogy figyelmeztessenek az ivóvíz szennyeződésére, a még nem meghatározott szabályozásokra számítva [1].

Az in situ adatok valós idejű elemzéséhez robusztus adatgyűjtő és -továbbító rendszerre van szükség. Ez jellemzően adatgyűjtők használatát jelenti az érzékelők leolvasásának előre meghatározott időközönkénti

rögzítésére, valamint telemetriai rendszereket az adatok vezeték nélküli továbbítására egy központi adatbázisba vagy felügyeleti állomásra. Az adatok továbbíthatók mobilhálózaton, műholdas kommunikáción vagy rádiotelemetrián keresztül, a megfigyelési hely helyétől és elérhetőségétől függően. Ezután kifinomult szoftverplatformokat használnak az adatok feldolgozására, elemzésére és megjelenítésére, közel valós idejű betekintést nyújtva a vízminőségi feltételekbe. Az intelligens algoritmusok elengedhetetlenek a megbízható és felhasználóbarát felügyeleti rendszerek fejlesztéséhez. A vízminőség vizsgálatához valós időben meg kell érteni, modellezni és nyomon követni a vízszennyezést különféle online vízminőség-érzékelők segítségével a dolgok internete keretrendszeren belül [6]. Ezek a platformok gyakran tartalmazznak riasztórendszereket, amelyek riasztást váltanak ki, ha bizonyos paraméterek meghaladják az előre meghatározott küszöbértékeket, lehetővé téve a szennyezési eseményekre vagy a vízminőség egyéb kritikus változásaira való gyors reagálást [1, 7]. A vízminőség-ellenőrzés megköveteli a vízszennyezés elemzését, modellezését és valós idejű nyomon követését különféle online vízminőség-érzékelők segítségével a dolgok internete keretrendszeren keresztül.

A valós idejű, helyszíni vízminőség-ellenőrzésnek számos előnye van. Lehetővé teszi a szennyezési események korai felismerését, lehetővé téve az időben történő beavatkozást a vízi ökoszisztémákra és vízkészletekre gyakorolt hatásuk enyhítésére [2]. A folyamatos monitorozás átfogóbb megértést nyújt a vízminőség dinamikájáról, rögzítve a rövid távú ingadozásokat és a hosszú távú trendeket, amelyeket a hagyományos mintavételi módszerek figyelmen kívül hagyhatnak. A valós idejű adatok felhasználhatók a vízkezelési folyamatok optimalizálására, biztosítva, hogy a vízellátás megfeleljen a szabályozási előírásoknak és biztonságos legyen az emberi fogyasztásra. Ezenkívül az in situ megfigyelési adatok hidrológiai modellekkel és döntéstámogató rendszerekkel való integrálása javíthatja a vízkészlet-gazdálkodási döntéseket, például a tározók üzemeltetését, az öntözés ütemezését és a szennyezés-ellenőrzési stratégiákat. A dolgok internete forradalmasította a különböző forrásokból történő adatgyűjtést, lehetővé téve a vízminőség hatékony ellenőrzését. A gépi tanulási megközelítések felhasználhatók ezen adatok elemzésére és pontos vízminőségi előrejelzések készítésére, amelyek elengedhetetlenek a vízminőség védelmével kapcsolatos döntések meghozatalához, beleértve az azonnali figyelmet igénylő területek megtalálását és a szennyezés megállítására irányuló megelőző lépések megtételét [2].

A valós idejű, helyszíni vízminőség-ellenőrző rendszerek széles körű bevezetése számos kihívást jelent. Az érzékelők, adatgyűjtők és telemetriai berendezések kezdeti beruházási költségei jelentősek lehetnek, különösen a nagyméretű felügyeleti hálózatok esetében. Az érzékelők kalibrálása és karbantartása kritikus fontosságú az adatok pontosságának biztosításához, képzett személyzetet és rendszeres helyszíni látogatásokat igényel. Az érzékelők algák, üledékek és egyéb törmelékek általi eltömődése szintén problémát jelenthet, amely gyakori tisztítást és karbantartást igényel. Ezenkívül a monitoring programok hosszú távú fenntarthatóságának biztosításához stabil finanszírozási mechanizmusokra és intézményi támogatásra van szükség. Megfigyelési követelmények állapíthatók meg a forrásvíz minőségével, a tér és idő változékonyságával, a sebezhetőséggel, a szennyező anyagok beszívásával kapcsolatos utazási idővel, a gát hatékonyságával és a riasztást követő ellenőrzési döntésekkel kapcsolatban.

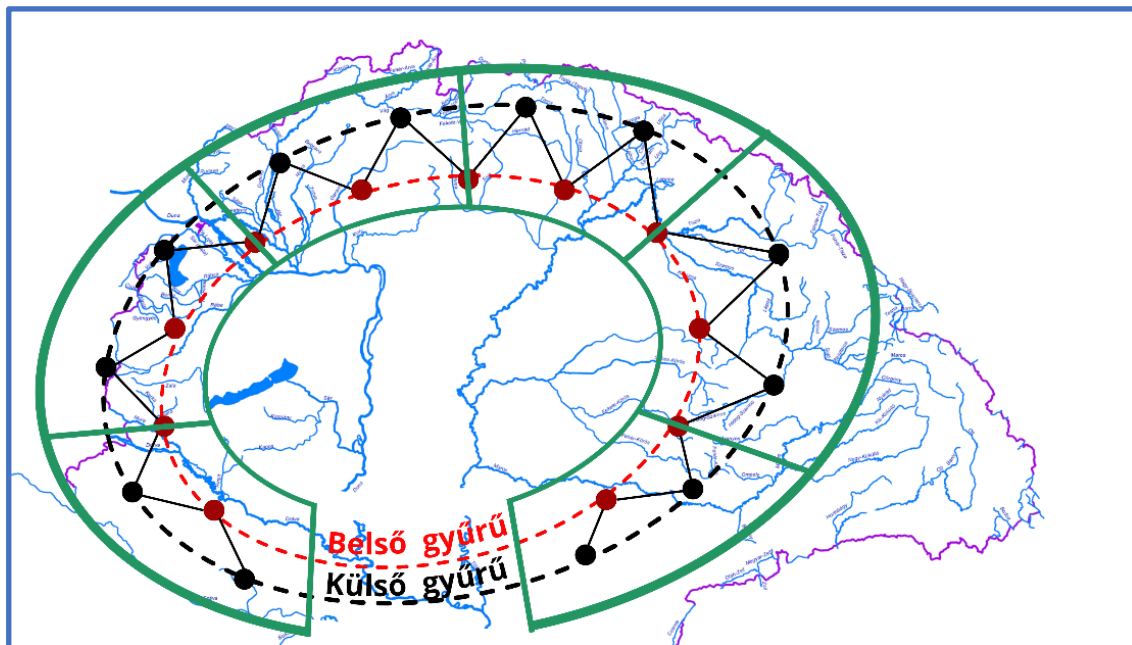
E kihívások ellenére a valós idejű, helyszíni vízminőség-ellenőrzés előnyei messze meghaladják a költségeket. Ahogy az érzékelőtechnológiák megfizethetőbbé és megbízhatóbbá válnak, és az adatelemző eszközök egyre kifinomultabbá válnak, ezek a rendszerek egyre fontosabb szerepet fognak játszani értékes vízkészleteink védelmében és kezelésében. Az IoT technológia használata leginkább a valós idejű megfigyelés adatgyűjtésének legújabb vezeték nélküli rendszeréhez kapcsolódik [3]. A valós idejű megfigyelési eljárás a monitorozó érzékelők és hálózatok széles skáláját foglalja magában, beleértve a számítástechnikát, a vezeték nélküli érzékelőhálózatokat és a felhőalapú számítástechnikát [3]. Hagyományosan a víz mennyiségének és minőségének felmérése munkaigényes és így költséges művelet [3]. Az IoT alkalmazása minimalizálja az emberi részvételt, és az algoritmusok az eljárási döntések többségét egy tipikus folyamatban hozzák meg [3, 5]. A huszonegyedik században a népesség és az ipar bővülése miatt egyre nagyobb szükség van a vízkészletek védelmére. A felhasználóbarát IoT technológiák fejlesztése a valós idejű vízfigyelési megoldások egyik fő versenyzője lesz, ami hatékony gazdálkodást eredményez [3].

## **2. VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGE A KORAI VALÓS IDŐBEN TÖRTÉNŐ RIASZTÁSI RENDSZERÉN KERESZTÜL**

Már Bulla Béla és Mendöl Tibor 1947-es munkájukban rávilágítottak arra, hogy a Kárpát-medencére mint egy egységes földrajzi tájra érdemes tekinteni, nem pedig a jelenlegi országhatárok mentén gondolkodni. Ez teljes mértékben igaz a vízhálózatra is. Ha csak az elmúlt évtizedek környezeti katasztrófáira gondolunk, akkor érdemes lenne egy olyan átfogó-főleg vízminőségi monitoring-rendszert kiépíteni, ami időben fel tudja mérni az esetleges károkat és lokalizálja a környezetre ártalmas tevékenységet. Érdemes elgondolkodni azon,

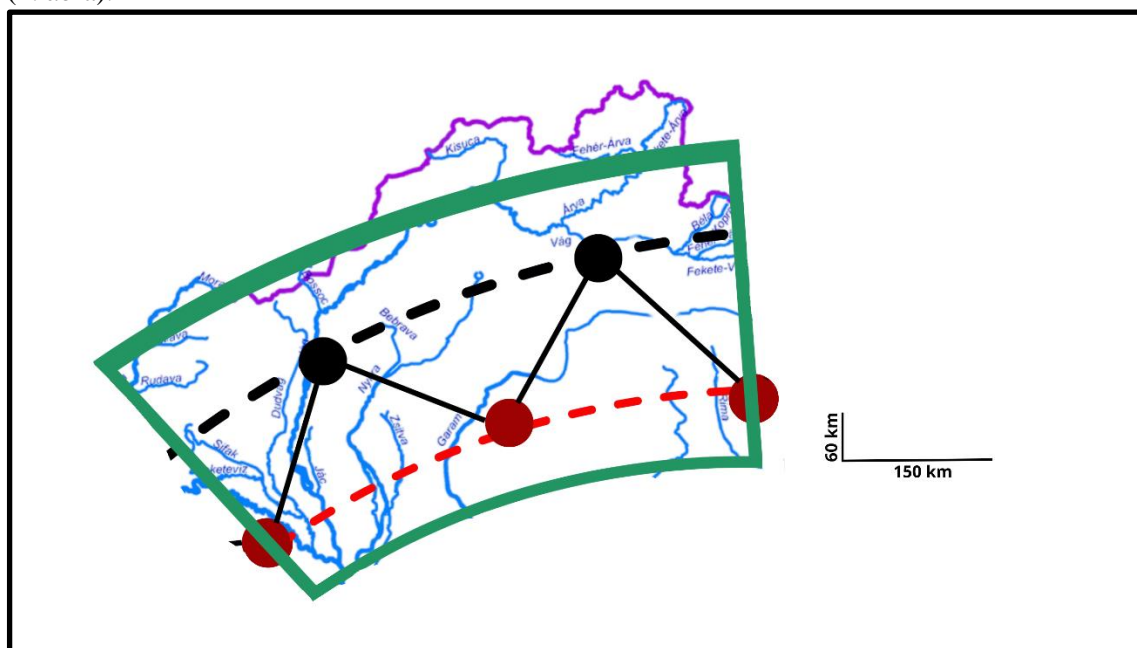
hogy hatékonyabb védekezési politikát lehetett volna felépíteni vagy kiépíteni, ha például ismerjük a Tisza-folyó cián szennyezéséhez köthető fontosabb vízminőségi adatokat vagy éppen ugyanez elmondható a Hernád vagy a Rába ipari szennyvízzel történő szennyezéseiről is.

A Kárpát-medence vízrajzi adottságaihoz igazodva az alábbi valós idejű, helyszíni vízminőség-ellenőrző rendszert lehetne kiépíteni. A külső védekezési gyűrű főleg a Kárpátok illetve az Alpok hegyláb-felszíni régióit köti össze, amely a folyók felsőszakasz jellegére épülő pontokat köti össze. A belső védekezési gyűrű pedig a folyók közep illetve alsó szakaszait öleli fel mielőtt a folyók Hazánk területére lépnek (1. ábra).



1. ábra. A Kárpát-medence külső és belső védekezési gyűrűinek földrajzi elhelyezkedése

Egy védekezési szektor (amely tartalmazza a külső illetve a belső védekezési gyűrűt) egy 150x60 kilométeres szakaszt ölel fel és legalább 3 észlelési pontot tartalmaz védekezési gyűrűként. Így az esetleges szennyezést szektoronként jól körül lehetne határolni és a védekezési mechanizmust még időben el lehet kezdeni (2. ábra).



2. ábra. Egy védekezési szektor észlelési pontjai.

A mérőállomások teljesen automatizált egységek, melyeknek áramellátását egy napelem panel biztosítja. A vízminőségi (pH, szennyező anyagok, oldhatatlan sók, stb.) és víz hőmérsékleti adatokat egy központi szerverre küldi, amit egy software azonnal fel is dolgozza. Szektoronként minimum öt mérőállomásra van szükség. A védekezési gyűrűk alapján a hét szektorra 35 észlelési állomás kiépítése szükséges. A Felső-Tisza vidékén segéd állomásokat is fel lehet állítani annak érdekében, hogy a potenciálisan veszélyes szennyezés kibocsátó területeken (pl. felhagyott vagy még aktív aranybányák) magasabb szintű megfigyelés alatt tarthassuk.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A Kárpát-medence természetföldrajzi jellegét tekintve elmondhatjuk, hogy egy koncentrikus körre hasonlító elhelyezkedést kapunk. Ennek megfelelően a megfigyelési állomásokat is egy külső és belső gyűrűt alkotva kell helyeznünk, amelyek főleg a Duna vízgyűjtőterületéhez csatlakoznak. Ez egyébként majdnem a középkori végvárrendszerünkkel azonos metszéspontokat adna, összesen 22-öt. Ezekben a metszéspontokban lehetne elhelyezni a mérőállomásokat. Ennek megfelelően a mérőállomást az alábbi folyók területein lenne érdemes elhelyezni: Vág, Hernád, Felső-Tiszavidék, Maros, Szamos, Olt, Küküllő-vidék, Dráva és Rába. A fenti rendszer kiépítése elengedhetetlenül fontos vízminőségi adatokat adnak a helyi lakosság ivóvíz és ipari vízellátásához, valamint a környezetvédelmi állapotfelméréshez. Ezen adatok feldolgozása komoly lehetőséget biztosít az oktatás, a kutatás és a mezőgazdaság számára is.

### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] CAPODAGLIO, A. G., CALLEGARI, A. 2009: Online Monitoring Technologies For Drinking Water Systems Security, In Hlavinec, P., Popovska, C., Marsalek, J., Mahrikova, I., Kukharchyk, T. (szerk.): Risk Management of Water Supply and Sanitation Systems. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 153–179, [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2365-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2365-0_15)
- [2] ESSAMLALI, I., NHAILA, H., KHAÏLI, M. E. 2024: Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review, *Heliyon*, **10(6)**, e27920. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27920>
- [3] KAMARUIDZAMAN, N. S., RAHMAT, S. N. 2020: Water Monitoring System Embedded with Internet of Things (IoT) Device: A Review, *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, **498(1)**, 12068. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012068>
- [4] MEYBECK, M., HELMER, R. G. 1989: The quality of rivers: From pristine stage to global pollution. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **75/4**, 283–309. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(89\)90191-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(89)90191-0)
- [5] MILLER, M., KISIEL, A., CEMBROWSKA-LECH, D., DURLIK, I., MILLER, T. 2023: IoT in Water Quality Monitoring—Are We Really Here? *Sensors*, **23/2**, 960. <https://doi.org/10.3390/s23020960>
- [6] PATTAIK, B. S., PATTANAYAK, A. S., UDGATA, S. K., PANDA, A. K. 2021: Machine learning based soft sensor model for BOD estimation using intelligence at edge, *Complex & Intelligent Systems*, **7/2**, 961–976. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00259-9>
- [7] REVATHI, P., MRUNALINI, T., NIRANJANA, M. I., CIBIN, R., PRAKASH, J., SUDHARSAN, K. 2021: Smart Water Management towards Quality and Improvement using IoT, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, **1055/1**, p. 12080. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1055/1/012080>
- [8] WAGLE, N., ACHARYA, T. D., LEE, D. H. 2020: Comprehensive Review on Application of Machine Learning Algorithms for Water Quality Parameter Estimation Using Remote Sensing Data, *Sensors and Materials*, **32/11**, 3879–3892. <https://doi.org/10.18494/sam.2020.2953>