



Doktori (Ph.D.) értekezés

KOVÁCS ZSÓFIA

Pannon Egyetem

2018



Doktori (Ph.D.) értekezés

Vízgyűjtő specifikus folyamatos  
monitoring rendszer módszertani  
kidolgozása és vízminőség osztályozó  
algorithmus adaptálása és tesztelése felszíni  
vizekre

DOI:10.18136/PE.2018.676

**Kovács Zsófia**

okl. környezetkutató

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet

Témavezetők:

**Dr. Rédey Ákos**, professor emeritus

**Dr. Jakó Éena**, tudományos főmunkatárs

Pannon Egyetem

Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

2018.

**VÍZGYÚJTÓ SPECIFIKUS FOLYAMATOS MONITORING RENDSZER  
MÓDSZERTANI KIDOLGOZÁSA ÉS VÍZMINŐSÉG OSZTÁLYOZÓ  
ALGORITMUS ADAPTÁLÁSA ÉS TESZTELÉSE FELSZÍNI VIZEKRE**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében a Pannon Egyetem,  
Vegyésszmérnöki-és Anyagtudományok Doktori Iskolája keretében  
bio-, környezet- és vegyésszmérnöki tudományágában

Írta **KOVÁCS ZSÓFIA**

Témavezetői: Dr. Rédey Ákos, Dr. Jakó Éena

Elfogadásra javaslom (igen / nem):

.....  
Dr. Rédey Ákos; Dr Jakó Éena

A jelölt a doktori szigorlaton .....%-ot ért el,  
Veszprém:

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: ..... igen /nem

.....  
(bíráló)

Bíráló neve: ..... igen /nem

.....  
(bíráló)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján: .....%-ot ért el.  
Veszprém:

.....  
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....  
Veszprém:

.....  
az EDHT elnöke

# Tartalomjegyzék

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BEVEZETÉS</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>ÁBRAJEGYZÉK</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>TÁBLÁZATJEGYZÉK</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS</b> .....   | <b>23</b> |
| <b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>1. DUNA VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉNEK BEMUTATÁSA ÉS MONITORING RENDSZERE</b> .....  | <b>26</b> |
| 1.1 A DUNA VÍZGYŰJTŐ ARS (ACCIDENTAL RISK SPOT) PONTJAI - BALESETI KOCKÁZATI FORRÁSOK .....                              | 27        |
| 1.2 TISZA VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉNEK A BEMUTATÁSA ÉS MONITORING TEVÉKENYSÉG ..  | 29        |
| <b>2. VÍZ KERETIRÁNYELV SZERINTI MONITORING RENDSZER</b> .....   | <b>31</b> |
| 2.1 HAZAI FELSZÍNI VÍZ MONITORING RENDSZER .....   | 32        |
| 2.2 VÍZSZENNYEZŐ ANYAGOK MONITORINGOZÁSA .....   | 34        |
| 2.3 HAZÁNKBAN MŰKÖDTETETT AUTOMATA FOLYAMATOS MONITORING RENDSZEREK  | 36        |
| <b>3. ELŐREJELZŐ RENDSZER EARLY WARNING SYSTEM (EWS)</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>4. ÖSSZEFOGLALÁS A FELSZÍNI VÍZ MONITORING RENDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK TEKINTETÉBEN</b> .....                              | <b>43</b> |
| <b>5. FELSZÍNI VIZEK ÁLLAPOTÁNAK ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREI</b> .....  | <b>44</b> |
| 5.1 A VÍZ KERETIRÁNYELV MINŐSÍTÉSI MÓDSZERE.....   | 45        |
| 5.2 FELSZÍNI VIZEK OSZTÁLYOZÁSA TÖBBVÁLTOZÓS DISZKRÉT MATEMATIKAI MÓDSZER ALAPJÁN .....                                  | 50        |
| 5.3 FELSZÍNI VIZEK OSZTÁLYOZÁSA TÖBBVÁLTOZÓS STATISZTIKAI MÓDSZEREKKEL ...   | 55        |
| <b>II. KÍSÉRLETI RÉSZ</b> .....  | <b>56</b> |
| <b>6. MINTATERÜLETEK BEMUTATÁSA</b> .....  | <b>58</b> |
| 6.1 A VESZPRÉMI-SÉD VÍZGYŰJTŐTERÜLETÉNEK ÉS A VIZSGÁLT VÁROSI SZAKASZ JELLEMZÉSE.....                                    | 58        |
| 6.2 A KIS SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK MŰKÖDÉSI PROBLÉMÁINAK BEMUTATÁSA A VÁRPALOTAI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP PÉLDÁJÁN ..... | 64        |
| 6.3 A TORNA-PATAK JELLEMZÉSE KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A VÖRÖSZISZAP KATASZTRÓFA ÁLTAL OKOZOTT KÁRESEMÉNYRE .....              | 66        |
| <b>7. ÁLTALÁNOS MONITORING</b> .....   | <b>72</b> |
| 7.1 A VESZPRÉMI-SÉD VÍZMINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A VKI TÜKRÉBEN.....  | 72        |
| 7.1.1 VESZPRÉMI-SÉD VÁROSI SZAKASZÁNAK ESETI FELMÉRÉSE ÉS VÍZMINŐSÉG ÉRTÉKELÉSE .....                                    | 73        |
| A 2009-2016 KÖZÖTT VÉGZETT ÉVI ESETI ÁLLAPOTFELMÉRÉSEK.....  | 76        |
| <b>8. A FOLYAMATOS MONITORING RENDSZEREK ALKALMAZÁSA</b> .....   | <b>81</b> |
| 8.1 A FELADATHOZ IGAZÍTOTT MONITORING ÁLLOMÁSOK KIALAKÍTÁSA ÉS MŰKÖDTETÉSI TAPASZTALATOK.....                            | 81        |
| 8.1.1 A VESZPRÉMI-SÉDRE TELEPÍTETT KÉT MONITORING ÁLLOMÁS .....  | 81        |
| 8.1.2 A VÁRPALOTAI SZENNYVÍZTELEPRE TELEPÍTETT AUTOMATA MONITORING ÁLLOMÁS .....   | 82        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 8.1.3      | AKKREDITÁLHATÓ VÍZMINŐSÉGI TÁVMÉRŐ RENDSZER (AVITAR) ÉS A MINTAVÉTELI HELY BEMUTATÁSA .....   | 83         |
| 8.2        | A VESZPRÉMI-SÉD VÁROSI SZAKASZÁN TÖRTÉNŐ FOLYAMATOS MONITORING ÉS A VÍZMINŐSÉG ÉRTÉKELÉSE .....   | 86         |
| 8.2.1      | A MÉRÉSI EREDMÉNYEK STATISZTIKAI FELDOLGOZÁSA.....  | 86         |
| 8.2.2      | KISVÍZFOLYÁSRA JELLEMZŐ SZENNYEZŐHULLÁM KARAKTERISZTIKA .....   | 103        |
| 8.2.3      | A MINTAVÉTELI FREKVENCIA MEGHATÁROZÁSA .....  | 105        |
| 8.2.4      | KÜLÖNBÖZŐ TERHELÉSEKBŐL SZÁRMAZÓ HULLÁMCÚCSOK JELLEMZŐI .....   | 110        |
| 8.3        | VÁRPALOTAI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP ELFOLYÓ TISZTÍTOTT SZENNYVÍZÉNEK FOLYAMATOS MONITORING FELMÉRÉSE ÉS A VÍZMINŐSÉG ÉRTÉKELÉSE .....                            | 115        |
| 8.4        | FOLYAMATOS MONITORING ÁLLOMÁS AKKREDITÁLHATÓSÁGI FELTÉTELRENDSZERÉNEK KIDOLGOZÁSA .....   | 121        |
| 8.4.1      | AKKREDITÁLHATÓSÁGI FELTÉTELRENDSZER ALKALMAZÁSA A TORNA-PATAK VÍZMINŐSÉGÉNEK VÁLTOZÁSÁNAK DETEKTÁLÁSÁRA 2010-2011 KÖZÖTT .....                                  | 122        |
| <b>9.</b>  | <b>KORAI VÍZMINŐSÉG ELŐREJELZŐ RENDSZER (EWS) AJÁNLÁSÁNAK KIDOLGOZÁSA A TISZA RÉSZVÍZGYŰJTŐ RENDSZERÉRE.....</b>  | <b>127</b> |
| 9.1        | A KORAI ELŐREJELZŐ, RIASZTÁSI MONITORING RENDSZER FELÉPÍTÉSÉNEK MÓDSZERTANA.....  | 128        |
| 9.2        | AZ EWS OPTIMALIZÁLT MONITORING ÁLLOMÁSOK KIJELÖLÉSE ÉS AZ INDIKÁTOR PARAMÉTEREK KIVÁLASZTÁSA A TISZA VÍZGYŰJTŐRE .....  | 130        |
| 9.2.1      | AZ EWS MONITORING HELYEK KIJELÖLÉSE ÉS OPTIMALIZÁLÁSA A TISZA VÍZGYŰJTŐRE .....   | 133        |
| 9.2.2      | INDIKÁTOR PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA MONITORING HELYENKÉNT: ...  | 139        |
| <b>10.</b> | <b>HAZAI VÍZFOLYÁSOK TERÜLETSPECIFIKUS SZENNYEZÉSI PROFILJAINAK MEGHATÁROZÁSA.....</b>  | <b>141</b> |
| 10.1       | ELEMZÉSHEZ SZÜKSÉGES HÁTTÉRINFORMÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÁSA (380 ÉS 320 VÍZTEST).....   | 142        |
| 10.2       | A 2010. ÉVI ÉS A VGT2 VÍZTESTEINEK TIPOLÓGIAI CSOPORTONKÉNTI ELOSZLÁSA BIOLÓGIÁT TÁMOGATÓ FIZIKAI-KÉMIAI MINŐSÍTÉSÜK ALAPJÁN FELÜGYELŐSÉGENKÉNT. 144            |            |
| 10.2.1     | 380 ÉS A 193 VÍZTEST TERÜLETSPECIFIKUS DOMINANCIA VIZSGÁLAT (2010. ÉVI ADATBÁZIS).....  | 144        |
| 10.2.2     | A VÍZGYŰJTŐ GAZDÁLKODÁSI TERVBEN (VGT2, 2015) ELÉRHETŐ VÍZFOLYÁS ADATOKRA IS ELVÉGEZTEM A TERÜLETSPECIFIKUS KOMPONENS CSOPORT ALAPÚ DOMINANCIA VIZSGÁLATOT..... | 148        |
| 10.2.3     | TIPOLÓGIAI CSOPORTONKÉNTI/RÉGIÓNKÉNTI VIZSGÁLAT A TERÜLET SPECIFIKUS PARAMÉTEREK (CSOPORTOK) KIVÁLASZTÁSA CÉLJÁBÓL .....  | 152        |
| 10.2.4     | TIPOLÓGIAI CSOPORTONKÉNTI /RÉGIÓNKÉNTI VIZSGÁLAT A NEM MEGFELELŐ ÁLLAPOTÚ VÍZTESTEKEN A SPECIFIKUS PARAMÉTEREK KIVÁLASZTÁSA ÉRDEKÉBEN. 157                      |            |
| 10.2.5     | A KOMPONENS CSOPORTOK ALAPJÁN TÖRTÉNŐ ÖSSZHASONLÍTÁS .....  | 160        |
| <b>11.</b> | <b>FELSZÍNI VIZEK MINŐSÉG ALAPÚ OSZTÁLYOZÁSA TÖBBVÁLTOZÓS STATISZTIKAI ÉS DISZKRÉT MATEMATIKAI MÓDSZEREK ÖSSZEVEETÉSE ALAPJÁN .....</b>                         | <b>163</b> |
| 11.1       | FELSZÍNI VÍZTESTEK ÉVI ÁTLAG MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK FUTTATÁSA A BOOL-AN PROGRAMBAN.....   | 163        |
| 11.1.1     | FUTTATÁSI EREDMÉNYEK A 380 VÍZFOLYÁSRA (2010. ÉVI ADAT) ..  | 163        |
| 11.1.2     | FUTTATÁSI EREDMÉNYEK A 380 VÍZFOLYÁSRA FELÜGYELŐSÉGEK SZERINT .....   | 165        |
| 11.2       | BOOL-AN ÉS A SYN-TAX 2000 PROGRAM EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA .....   | 166        |
| <b>12.</b> | <b>DISZKUSSZIÓ .....</b>  | <b>170</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>13. ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>   | <b>179</b> |
| <b>14. EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA ÉS TOVÁBBI FEJLESZTÉSI<br/>LEHETŐSÉGEK.....</b>   | <b>182</b> |
| <b>15. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>  | <b>183</b> |
| <b>16. FELHASZNÁLT IRODALOM.....</b>  | <b>184</b> |
| <b>17. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK.....</b>   | <b>196</b> |
| <b>18. FÜGGELÉKEK .....</b>   | <b>200</b> |
| 18.1 FÜGGELÉK 1: A VESZPRÉMI-SÉD TEREPI ÉS LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK<br>SZABVÁNYAI, ILLETVE MINTAVÉTELI HELYEK BEMUTATÁSA ..... | 200        |
| 18.2 FÜGGELÉK 2: SYN-TAX 2000 PROGRAM ALKALMAZÁSÁHOZ ADATBÁZIS<br>TISZTÍTÁS, PARAMÉTER KORRELÁCIÓ VIZSGÁLAT .....           | 206        |
| 18.3 FÜGGELÉK 3: TOVÁBBFEJLESZTÉSI HIPOTÉZIS AZ ICF GRÁFTÁVOLSÁGON<br>ALAPULÓ ELJÁRÁSHOZ.....                               | 210        |

## KIVONAT

A fenntartható környezeti állapot iránti felelős gondolkodás előtérbe kerülésével egyre nő az igény az állapotjellemzők megismerésére. Ez különösen igaz a létünk alapját jelentő vizeinkkel kapcsolatos kérdésekre. Az Európai Unió hosszútávú programja, a Víz Keretirányelv (VKI) is céldátumot ír elő a felszíni vizeink jó ökológiai és kémiai állapotának eléréséhez. A célok teljesítéséhez kiemelt figyelmet kell fordítani a nem megfelelő állapotú víztestek felmérésére és a beavatkozások hatékonyságának ellenőrzésére. Magyarország különösen érzékeny helyzetben van, a felszíni vizeink több mint 90%-a határon túlról érkezik, így hazánk kiterjedt kockázata kiugróan magas, miközben a hatások és változások megértéséhez fontos látnunk, hogy a problémák az információhiányban leginkább érintett kisvízfolyásokat érintik.

Dolgozatom célkitűzése a felszíni vizek vízminőség javulásához hozzájárulva egy olyan stabil, de költséghatékony vízgyűjtőspecifikus folyamatos monitoring rendszer kidolgozása, mely lehetővé teszi a felszíni vízfolyások extrém, nagy intenzitású, kiugró szennyezéseinek és dinamikájának a feltárását, továbbá a jövőbeli monitoring tevékenység optimalizálásához a csoportosítás-alapú minősítési rendszer előkészítése egy diszkrét matematikai módszer tesztelésével.

Kutatásom során a lokális mérésektől eljutottam a nagyobb vízvédelmi területekig. Kiterjedt manuális mintavételezéssel és feladathoz igazított mérőeszközökkel rendelkező automata állomások működtetésével vizsgáltam egy hegyvidéki kisvízfolyás (Veszprémi-Séd) minőségi állapotát és eredményeimet összevettem a hatósági mintavételezési eljárás adataival. Az automata folyamatos monitoring rendszert további két gyakorlati területen is alkalmaztam; egy kis szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizének vizsgálatára és a vörösiszap katasztrófát követően a Torna patak helyreállítandó vízminőségi alapparamétereinek figyelésére. A folyamatos automata monitoring rendszer elemeit kiterjesztettem a Tisza nemzetközi vízgyűjtő területére és javaslatot dolgoztam ki egy előrejelző monitoring hálózat kialakítására. Az országos adatbázis biológiát támogató fizikai-kémiai paramétereinek átlag adatait felhasználva vizsgáltam a biológia területén rendkívül sikeres, diszkrét matematikai módszeren alapuló algoritmus vízminőségi alkalmazási lehetőségét.

A disszertációmban a folyamatos monitoringra épülő vizsgálatokkal meghatároztam egy hegyvidéki kisvízfolyásra jellemző időszakos, hirtelen levonuló csapadék vagy szennyezés következtében fellépő terhelés szennyezőhullám csúcsainak karakterisztikáját, illetve alátámasztottam a hatósági mintavételezési eljárással nyerhető átlagos vízminőségi állapot jellemzők helyességét.

A várpalotai kis szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizének vizsgálata során egy automata folyamatos üzemű mobil mérőkonténer telepítésével hozzájárultam a szennyvíztisztító telep optimális működésének beállításához.

A 2010. évi vörösiszap katasztrófát követően kidolgoztam és bevezettem egy hatósági eljárásban elfogadott havária esetére alkalmazható „kvázi” akkreditált folyamatos mobil



monitoring rendszer üzemeltetési módszertani elemeit, amiket a kármentesítési munkálatok hatásainak követésének támogatásához alkalmazva igazoltam.

Kidolgoztam a korai előrejelző, riasztási monitoring (Early Warning System, EWS) rendszer felépítésére vonatkozó módszertani javaslatot, majd alkalmaztam a Tisza vízgyűjtőjére, részletesen specifikálva az összefolyási pontokra illesztett 40 monitoring állomásból álló hálózatot.

Kimutattam régióként melyik komponens csoport határozza meg a vízfolyások vízminőségi állapotát. A folyamatos monitoring rendszer működtetéséhez összeállítottam egy területspecifikus, a szennyezési profilokhoz igazított indikátor paraméterek mérésére vonatkozó segédtablát.

Egy diszkrét matematikai módszeren alapuló osztályozó algoritmus (Iterative Canonical Form, ICF) adaptálásával egy, a víztestek paraméterek szerinti „ujjlenyomatán” alapuló új típusú megközelítést dolgoztam ki a csoportosítás-alapú minősítési rendszer előkészítéseként.

Kulcsszavak: felszíni vizek minősége, fizikai-kémiai paraméterek, folyamatos monitoring rendszer, korai előrejelző rendszer, EWS, ICF-gráf

## **ABSTRACT**

As responsible thinking about the sustainability of the environment has come into prominence, there is an increasing need for knowledge of status indicators. This is especially true for issues related to our waters that are the basis of our existence. The EU's long-term program, the Water Framework Directive (WFD) also specifies a target date for achieving good ecological and chemical status of our surface waters. In order to meet the targets, special attention should be paid to assessing water bodies with inadequate quality and to control the effectiveness of the interventions. Hungary is in a particularly vulnerable situation, over 90% of our surface waters come from across the border, so our country's exposure risk is extremely high, and it is important in order to understand the impacts and changes, that the problems affect the most vulnerable small watercourses.

The goal of my dissertation is to develop a stable yet cost-effective river basin-specific continuous monitoring system in order to contribute to the improvement of surface water quality status, that allows the exploration of extreme, high intensity, high-impact pollution and its dynamics, and in order to optimize future monitoring activity, preparing a group-based rating system by testing a discrete mathematical method.

During my research, I got from local measurements to larger water protection areas. With extensive manual sampling and by operating automatic stations with task-oriented measurement instruments I examined the quality status of a small mountain stream (Veszprémi-Séd) and compared my results with official sampling data. I used the automatic continuous monitoring system in two other practical areas - to monitor the purified wastewater of a small wastewater treatment plant and to monitor the basic water quality parameters of the Torna creek after the redmud disaster, what had to be restored. I extended the elements of the continuous automatic monitoring system to the international water catchment area of the Tisza and made a proposal for the development of an early warning monitoring network. Using the average data from the national database of the physicochemical parameters supporting the biology, I have studied the possibility of using an algorithm based on discrete mathematical methods -which were already used extremely successfully in the field of biology- for water quality assessment.

In my dissertation, I determined the characteristics of the peaks of pollutant waves of loads caused by intermittent high intensity rainfall or pollution, that are typical of small mountain streams, and I have confirmed the correctness of the averaged water quality status data obtained by the official sampling process.

During the examination of the purified wastewater of a small wastewater treatment plant by installing an automatic continuous mobile measurement container I contributed to the setting of optimal operational parameters of the sewage treatment plant.

After the 2010 redmud catastrophe I developed and introduced the operational methodological elements of a "quasi" accredited continuous mobile monitoring system accepted in official procedures that can be applied in case of emergencies, which I have adjusted to support the follow-up of the effects of the remediation works.

I worked out a methodological proposal for the establishment of an Early Warning System (EWS), and then applied it to the Tisza River Basin, specifying the network of 40 monitoring stations fitted to the confluence points in detail.

I have identified which group of components determines the water quality of watercourses by region. For the operation of the continuous monitoring system, I have compiled an area-specific auxiliary table for measuring indicator parameters adapted to the pollution profiles.

By adapting a classification algorithm (Iterative Canonical Form, ICF) based on a discrete mathematical method, I developed a new type of approach based on the "fingerprint" of the parameters of water bodies as a preparation for the classification-based rating system.

Keywords: quality of surface waters, physicochemical parameters, continuous monitoring system, early warning system, EWS, ICF-graph

## Zusammenfassung

Wenn verantwortungsbewusstes Denken über die Nachhaltigkeit der Umwelt in den Vordergrund gerückt ist, es besteht ein zunehmender Bedarf an Kenntnissen über die Statusindikatoren. Dies gilt insbesondere für Fragen im Zusammenhang mit unseren Gewässern, das sind die Grundlagen unserer Existenz. Das langfristige Programm der EU, die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) legt auch ein Zieldatum für einen guten ökologischen und chemischen Zustand unserer Gewässer zu erreichen. Um die Ziele zu erreichen, sollte der Bewertung von Gewässern mit unzureichender Qualität und der Kontrolle der Wirksamkeit der Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Ungarn befindet sich in einer besonders prekären Lage, mehr als 90% unserer Oberflächengewässer kommen von der Grenze, so dass das Risiko für unser Land extrem hoch ist und es wichtig ist, die Auswirkungen und Veränderungen zu verstehen, dass die Probleme die Schwächsten betreffen kleine Wasserläufe. Das Ziel meiner Arbeit ist es, ein stabiles und dennoch kosteneffektives Flussbecken spezifische kontinuierliches Monitoring-System zu entwickeln, um zur Verbesserung der Oberflächenwasserqualität Status, dass ermöglicht die Erforschung extreme, hohe Intensität, high-impact Umweltverschmutzung beitragen und ihre Dynamik und um künftige Überwachungstätigkeit zu optimieren, ein gruppenbasiertes Bewertungssystem vorbereitet durch eine diskrete mathematische Methode zu testen.

Während meiner Forschung habe ich von lokalen Messungen zu größeren Wasserschutzgebieten bekommen. Mit umfangreichen manuellen Probenahmen und dem Betrieb von automatischen Stationen mit aufgabenorientierten Messinstrumenten untersuchte ich den Qualitätsstatus eines kleinen Gebirgsbaches (Veszprémi-Séd) und verglich meine Ergebnisse mit offiziellen Stichproben. Ich benutze das automatische kontinuierliche Überwachungssystem in zwei anderen praktischen Bereichen - das gereinigte Abwasser einer Kleinkläranlage zu überwachen und die Grundwasserqualitätsparameter des Torna-Stream nach der Rotschlamm-Katastrophe zu überwachen, was gestellt werden musste. Ich habe die Elemente des kontinuierlichen automatischen Überwachungssystems auf das internationale Wassereinzugsgebiet der Theiß ausgeweitet und einen Vorschlag für die Entwicklung eines Frühwarn-Überwachungsnetzes unterbreitet. Unter Verwendung der durchschnittlichen Daten aus der nationalen Datenbank der physikalisch-chemischen Parameter, die die Biologie unterstützen, habe ich die Möglichkeit untersucht, einen auf diskreten mathematischen Methoden basierenden Algorithmus zu verwenden. Unter Verwendung der durchschnittlichen Daten aus der nationalen Datenbank der physikalisch-chemischen Parameter, die die Biologie unterstützen, habe ich die Möglichkeit untersucht, einen auf diskreten mathematischen Methoden basierenden Algorithmus zu verwenden.

In meiner Dissertation stellte ich fest, um die Eigenschaften der Spitzen von Schadstoffwellen von Lasten durch intermittierenden hohe Intensität Regen oder Verschmutzung verursacht, das ist typisch für kleine Gebirgsbäche, und ich habe die Richtigkeit der gemittelten Wasserqualitätsstatusdaten bestätigt, die durch das offizielle Probenahmeverfahren erhalten wurden.

Bei der Untersuchung des gereinigten Abwassers einer Kleinkläranlage durch den Einbau eines automatischen kontinuierlichen mobilen Messbehälters habe ich zur Einstellung optimaler Betriebsparameter der Kläranlage beigetragen.

Nach der Rotschlammkatastrophe 2010 entwickelte und führte ich die operationellen methodischen Elemente eines "quasi" akkreditierten kontinuierlichen mobilen Überwachungssystems ein, das in offiziellen Verfahren akzeptiert wurde und in Notfällen angewendet werden kann, die ich angepasst habe, um das Follow-up die Auswirkungen der Sanierungsarbeiten.

Ich entwickelte einen methodischen Vorschlag für die Einrichtung eines Frühwarnsystems (Early Warning System, EWS) und wendete es dann auf das Theiß-Becken an, wobei das Netzwerk von 40 Überwachungsstationen, die an den Konfluenzen punkten angebracht waren, detailliert festgelegt wurde.

Ich habe festgestellt, welche Gruppe von Komponenten, die die Wasserqualität von Gewässern nach Region bestimmt. Für den Betrieb des kontinuierlichen Überwachungssystems habe ich eine flächenspezifische Zusatztablette zur Messung von an die Schadstoffprofile angepassten Indikatorparametern zusammengestellt.

Durch die Anpassung eines Klassifikationsalgorithmus (Iterative Canonical Form, ICF) basierend auf einer diskreten mathematischen Methode, entwickelte ich eine neue Art von Ansatz basierend auf dem "Fingerabdruck" der Parameter von Wasserkörpern als Vorbereitung für das Klassifikationsbasierte Bewertungssystem.

Schlüsselwörter: Qualität des Oberflächenwassers, physikalisch-chemische Parameter, kontinuierliches Überwachungssystem, Frühwarnsystem, EWS, ICF-Graph

## BEVEZETÉS

*„A vizek, különösen az édesvizek léte, állapota és használata életünk egyik legfontosabb tényezője. A víz nem korlátlanul áll rendelkezésünkre, ezért ahhoz, hogy a jövőben is mindenkinek jusson tiszta ivóvíz és a folyók, tavak, tájaink, életünk meghatározó elemei maradhassanak, erőfeszítéseket kell tennünk a felszíni és felszín alatti vizek megóvásáért, állapotuk javításáért” [26].*

A gyors iparosodás és a népességnövekedés jelentős mennyiségű mérgező, nehezen lebomló és hosszú távon tartós szennyező anyagokat eredményezett az ipari, mezőgazdasági és kommunális tevékenységek következtében még akkor is, ha a szennyvizeket kezeljük mielőtt élővízbe engedjük [26].

A vizekkel kapcsolatban felmerülő mennyiségi és minőségi kérdések világszerte ismertek. A túlhasználatok okozta készletromlás vezetett az Európai Unió 2000/60/EK Irányelv kidolgozásához [4]. A Tagállamok által készített vízgyűjtőgazdálkodási tervekben megfogalmazott vállalások teljeskörű végrehajtásával az EU valamennyi folyójának a vízgyűjtőterületén a vizek állapotát megfelelő szintre kellett volna hozni már 2015-re [26]. A Víz Keretirányelv (VKI) [4] végrehajtásának alapvető kritériuma a vízgyűjtőterületek országai közötti koordináció, mivel eltérőek az adottságok, ezért a megoldásokat a vízgyűjtőterület sajátosságaihoz kell igazítani. Hazánknak a VKI előírása alapján a Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervében (VGT) szereplő vállalásokat, feladatokat végre kell hajtani 2021-re, illetve 2017-ig [26].

A felszíni víz minősége minden ország számára kiemelt jelentőséggel bíró kérdés, mivel túlmutat a nemzeti határokon. A döntéshozatal és a vízhasználat folyamatában, valamint a vízgazdálkodásban résztvevő valamennyi érdekelt fél között jó együttműködés, koordináció és információcsere szükséges ahhoz, hogy biztosítsák e kulcsfontosságú erőforrás használatát.

A vízminőség területén Magyarország kitettsége jelentős (ezt jelzi az is, hogy hét országgal vagyunk határosak és ebből négy ország vonatkozásában alvízi országgént), mivel hazánk vízkészletét képező lakossági, ipari és mezőgazdasági célra kitermelt felszíni víz 95%-a külföldről érkezik, vagyis a vízvagyon mintegy 5%-a hazai eredetű, ami csapadékként kerül a felszíni vizekbe. Magyarország területén 1078 felszíni víztestet azonosítottak [26]. Az országhatáron 134 víztest vízgyűjtője nyúlik túl, ahol a külföldről érkező hatások közvetlenül befolyásolják a jó állapot elérését. 20 tervezési alegység (pl. Kapos, Sió, Marcal, Lónyai-főcsatorna stb.) illetve a teljes Balaton részvízgyűjtő mentes a határvízi problémáktól [26]. Hazánk alvízi helyzetéből adódóan vizeink minősége nagymértékben függ az országhatáron túli hatásoktól.

Az egy főre jutó vízkészlet 12 ezer köbméter évente [40], ami Európában az egyik legmagasabb érték, de hazánkra a kis vízfolyássűrűség jellemző, vagyis nem egyenletesen oszlanak meg a folyók, patakok és más vízfolyások az ország területén.

Ennek következtében a felhasználási igények 59%-a kötődik a Duna és 41%-a a Tisza vízrendszeréhez [40], így különösen aszályos időszakokban a Tisza térségében vízellátási

gondok jelentkehetnek. Hazánkban üzemelő közműves ivóvízellátó művek a napi vízszükséglet több mint 95%-át különböző típusú felszín alatti, míg alig 5%-át felszíni vizekből szerzik be. A folyók, patakok, tavak vize, valamint a felszín alatti víz nemcsak természeti, hanem társadalmi, gazdasági értékeket is hordoz, jövedelemszerzési és költségmegtakarítási lehetőségeket kínál.

A kisvízfolyások helyzete hazánkban a terheléseket illetően különösen nagy problémát jelent. Az Alföldön nagyszámban található síkvidéki, gyakran majdnem állóvíz jellegű vízfolyások és csatornák a bevezetett szennyvizekkel, továbbá a csapadékkal bemosódó, diffúz szennyezésekkel (beleértve a bakteriálisan is szennyezett városi lefolyást és a tápanyagokban gazdag belvizeket) szemben védtelenek. A dombvidéki kisvízfolyásaink legfőbb szennyezési forrása (a lakossági szennyvizek mellett) a szántóterületekről bemosódó talaj, mely főként növényi tápanyagokat, de növényvédőszer maradványokat is szállít a vizekbe.

Sok helyen a meder közvetlen közelében szántóföldek találhatóak, ahonnan a magas foszfortartalommal rendelkező lefolyás a mederbe jut.

A legtöbb vízfolyás mellett nincsenek védőzónák, amelyek a tápanyagot a medren kívül hatékonyan visszatartanák. Az erózió nem csak a tápanyagok, hanem a fokozott hordalékterhelés miatt is problémát okoz.

A feladatok nagyságát tekintve ezért hangsúlyozandó, hogy a VKI teljesítéséhez szükséges intézkedések 80%-ban ezeket a kisvizeket érintik [38]; [54], [52]; [45].

A vizeink felhasználásának a lehetőségét elsősorban a minőségük határozza meg. A vízminőség a víz tulajdonságainak összessége, adott időpontban jellemző állapot [110]. A vízminőség meghatározására, a változások leírására a környezetminősítésen belül a vízminősítés szolgál. A monitoring pedig olyan rendszeres mintavételi, mérési, vizsgálati, észlelési tevékenységet jelent, mely a felszíni, vagy felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotának megállapítását, jellemzését, illetve az állapot rövid, vagy hosszú távú változásának leírását lehetővé teszi [110]. A monitoring hálózat elemei a mérési és mintavételi helyek. A monitoring szükséges, de nem elégséges a pontos vízminőség meghatározásához.

A vízminőség monitoring hálózat üzemeltetése mind tudományos, mind gazdasági szempontból kihívást jelent különösen a nagy vízgyűjtők és viszonylag hosszú folyók esetében, ezért az időbeni és térbeni optimalizáció elengedhetetlen. A monitoring célja, hogy egyszerre jelen legyen a reprezentativitás elérése, valamint a monitoring rendszer optimalizálása. A monitoring rendszer felállításához precíz előzetes tervezés szükséges. Több szerző ([103]; [146]) ajánlásokat tett a monitoring helyek elhelyezésére vonatkozóan. A monitoring hálózat térbeli inhomogenitásának figyelembe kell vennie a vízzáró gátak, tavak, vízerőművek, befolyók és az ember alkotta akadályok hatásait is.

A rendszeres monitoring terveken alapuló hálózatok esetében az éves adatok egy hónapnál hosszabb mintavételi rendszereken alapulnak, miközben a szennyező anyag, így a tápanyagterhelés nagy része, különösen a diffúz szennyező források által befolyásolt vízgyűjtőkön epizodikus impulzusokban vonul le, amelyek így kimaradnak a rutin mintavételekből [155].

Erre a problémára megoldást jelentenek az egyre költséghatékonyabb automatizált folyamatos vízmonitoring rendszerek. Az automata monitoring rendszerek folyamatos mintavételt és elemzést végeznek korlátozott számú vízminőségi paraméterre, rendszeres időközönként, meghatározott helyeken. Nagy mennyiségű adatot generálnak, amelyek adatbázisban tárolhatók.

A vízminőség-ellenőrzés a környezetvédelmi politika egyik legfontosabb prioritása, mivel minden vízminőség meghatározáshoz rendszeresen meg kell mérni a fizikai, kémiai és biológiai paramétereket. A megbízható és hatékony ellenőrzés azonban nem elegendő, ha a megszerzett adatkészlet részletes elemzése nem történik meg. Ezért különböző adatelemző eszközöket, többváltozós statisztikai módszereket szükséges alkalmazni a vizekben lejátszódó folyamatok értelmezéséhez, a keletkező adatmátrix kiértékeléséhez, hogy a vízminőség és az ökológiai állapot kapcsolatának jobb megértéséhez.

Ezek egy része egyedi, helyi viszonyokra specializált alkalmazás, így a vízminőség meghatározására vonatkozó elemzések során alkalmaznak az adatok átlagolásából, határértékekből kiinduló mutatószámok képzésére épülő módszereket. Ebben az esetben problémát okozhat viszont, hogy az eltérő szabályozások és módszerek közötti különbségek nem teszik lehetővé a tagállamok által kapott eredmények összevetését.

A vízminősítéshez használt többváltozós klaszterező módszerek segítik az adatbázisok elemzését. A klaszteranalízis egyszerre több különböző változó szerinti csoportosításra alkalmas eljárás, azonban ez elsősorban feltáró statisztikai módszer, azaz nem lehet a minta alapján következtetést levonni az alapsokaságra [100],[101],[102],[103],[104] .

Egy másik megközelítés a többváltozós diszkrét matematikai módszer és szoftver (BOOL-AN, vagy Boolean analízis). Az osztályozó algoritmus futási ideje lineárisan függ a bemeneti változók számától. A modellezett objektumok egyféleképpen írhatók le ICF szerkezeti invariánsok alapján és vizualizálhatók nem teljes páros ICF gráfok formájában. Ez lehetővé teszi a paraméter kombinációk gráf alapú összehasonlítását, valamint távolság alapú elemzését többféle metrika alapján. Az összehasonlításhoz kapcsolódik, hogy amennyiben egyforma eredményeket kapunk teljesen független módszerekkel az már egy biztató alap az osztályozás helyességére, ha nem egyezés áll fenn (konfliktus), akkor még egyedi vizsgálatot szükséges végezni.



## ÁBRAJEGYZÉK

|   |     |
|---|-----|
| 1. ábra: Az ICDDR jelentésben szereplő potenciális kockázati (ARS) pontok a Duna vízgyűjtőjén (Map 8: WRI 5-6, WRI 6-7, WRI 7-8, WRI 8-9, 2005) .....                                       | 28  |
| 2. ábra: A felszíni vizek monitoring tevékenységének összefoglaló ábrája .....  | 34  |
| 3. ábra: Esőzés határása bekövetkező hidrográf görbe [123] .....  | 35  |
| 4. ábra: Magyarországon működtetett automata folyamatos monitoring állomások.....   | 39  |
| 5. ábra: Accident Emergency Warning System (AEWS) (Danube River Basin; 2015) ..   | 40  |
| 6. ábra: A vízminősítés sémája (K-kiváló, J-jó, M-mérsékelt, Gy-gyenge, R-rossz; <J-jónál rosszabb; <K-jó vagy annál rosszabb) [26].....  | 46  |
| 7. ábra: Az ICF eljárás főbb lépései [77] adaptálva a vízminősítés alapú osztályozáshoz .....   | 51  |
| 8. ábra: Egy példa karakter szekvencia Boole függvényének különböző formáira .....  | 53  |
| 9. ábra: A Kísérleti rész fejezet főbb elemei és összefüggései .....  | 56  |
| 10. ábra: Veszprémi-Séd 2a felső 2b középső-2c alsó szakasza [28].....  | 60  |
| 11. ábra: A Veszprémi-Séd monitoring helyeinek alakulása az 1968-2016 között .....  | 60  |
| 12. ábra: Pontszerű szennyező források és vízkivétel a Torna-patakon.....   | 67  |
| 13. ábra: Vörösiszappal elöntött területe (on-line:<br><a href="http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=46360">http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=46360</a> )..... | 69  |
| 14. ábra: A mérési eredmények alapján készített dendrogram<br>(Euklidészi/UPGMA) .....  | 75  |
| 15. ábra: Veszprémi-Séd Maucha-diagramja a 8 főionra .....  | 76  |
| 16. ábra: A Veszprémi-Séd ammónium-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016) .....   | 77  |
| 17. ábra: A Veszprémi-Séd nitrit-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016) .....   | 77  |
| 18. ábra: A Veszprémi-Séd Nitrát-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016) .....   | 78  |
| 19. ábra: A Veszprémi-Séd ortofoszfát-P éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016).....  | 78  |
| 20. ábra: A város előtti és a város utáni mobil mérőállomások felépítése.....   | 82  |
| 21. ábra: Az AVITAR monitoring mérőállomás belső kialakítása.....   | 84  |
| 22. ábra: A telepített mérőállomások elhelyezése .....  | 86  |
| 23. ábra: A vizsgált időszakban mért vízállás adatok .....  | 89  |
| 24. ábra: Az online monitoring rendszer pH, vezetőképesség és zavarosság mérési<br>eredményei .....   | 91  |
| 25. ábra: A pH változása a város előtt és után.....   | 92  |
| 26. ábra: A napi oxigéngörbe jellegzetes lefutása a Veszprémi-Sédben .....  | 93  |
| 27. ábra: Az online monitoring rendszer NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> mérési eredményei.....  | 94  |
| 28. ábra: Az ammónium-N koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban.....  | 94  |
| 29. ábra: A nitrit-N koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban .....  | 95  |
| 30. ábra: A nitrát-N koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban .....  | 95  |
| 31. ábra: A ortofoszfát-P koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban .....   | 96  |
| 32. ábra: A vízállás és a vezetőképesség korreláció vizsgálata .....  | 97  |
| 33. ábra: A vezetőképesség és az ammónium-N korreláció vizsgálata .....   | 97  |
| 34. ábra: A vezetőképesség és a nitrit-N korreláció vizsgálata.....   | 98  |
| 35. ábra: A vezetőképesség és a nitrát-N korreláció vizsgálata.....   | 98  |
| 36. ábra: A vezetőképesség és az ortofoszfát-P korreláció vizsgálata .....  | 99  |
| 37. ábra: A vezetőképesség és a zavarosság korreláció vizsgálata.....   | 99  |
| 38. ábra: A mintavételi időpontok eloszlása egy hatósági monitoring terv alapján ....   | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| 39. ábra: A monitoring állomás órás mérések átlag eredményei és a feltételezett hatósági mintavételi gyakoriság átlag értékei .....  | 102 |
| 40. ábra: A monitoring állomás órás mérések maximum eredményei és a feltételezett hatósági mintavételi gyakoriság maximum értékei .....  | 102 |
| 41. ábra: Az ortofoszfát-P hullámcsúcsainak alakulása .....  | 105 |
| 42. ábra: Csapadék okozta koncentráció növekedések .....   | 113 |
| 43. ábra: A szennyező hullám levonulása során a fizikai-kémiai paraméterek dinamikája .....  | 113 |
| 44. ábra: A szennyező hullám levonulása során a tápanyagháztartás paramétereinek dinamikája .....  | 114 |
| 45. ábra: A pH mérési eredményei .....   | 116 |
| 46. ábra: A fajlagos vezetőképesség mérési eredményei .....  | 116 |
| 47. ábra: A zavarosság mérési eredményei .....   | 117 |
| 48. ábra: Az ammónium-N mérési eredményei .....  | 118 |
| 49. ábra: Az ortofoszfát-P mérési eredményei .....   | 119 |
| 50. ábra: Az AVITAR mobil mérőállomás elhelyezése .....  | 121 |
| 51. ábra: AVITAR monitoring állomás Devecserben .....  | 122 |
| 52. ábra: A Torna-patakon kijelölt monitoring hely 2010-ben és 2015-ben .....  | 122 |
| 53. ábra: pH mérés napi átlag eredményei (2010 - 2011) .....   | 124 |
| 54. ábra: Vezetőképesség mérés napi átlag eredményei (2010 - 2011) .....   | 125 |
| 55. ábra: A pH mérési eredményeinek gyakorisága .....  | 125 |
| 56. ábra: A vezetőképesség mérési eredményeinek gyakorisága .....  | 126 |
| 57. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2009-ben .....   | 130 |
| 58. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2010-ben .....   | 131 |
| 59. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2011-ben .....   | 131 |
| 60. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2012-ben .....   | 131 |
| 61. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2013-ben .....   | 132 |
| 62. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2014-ben .....   | 132 |
| 63. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2015-ben .....   | 132 |
| 64. ábra: Monitoring helyek módosítása a torkolat alá .....  | 133 |
| 65. ábra: Az 500 km <sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)).....  | 135 |
| 66. ábra: Az 1000 km <sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014))..... | 135 |
| 67. ábra: A 3000 km <sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)).....  | 135 |
| 68. ábra: Javasolt monitoring állomások a Tisza részvízgyűjtőn (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)) .....  | 138 |
| 69. ábra: A 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok dominanciája szerint .....    | 146 |
| 70. ábra: Komponens csoportok megoszlása Felügyelőségenként.....   | 147 |
| 71. ábra: A 320 vízfolyás és a 126 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok dominanciája szerint .....    | 150 |
| 72. ábra: Komponens csoportok megoszlása Felügyelőségenként.....   | 151 |

|  |     |
|--|-----|
| 73. ábra: 380 vízfolyás Felügyelőségenkénti elemzése a minősítést meghatározó komponens csoportonként.....   | 153 |
| 74. ábra: 320 vízfolyás Felügyelőségenkénti elemzése a minősítést meghatározó komponens csoportonként.....   | 154 |
| 75. ábra: Víztestek csoportosítása komponens csoportok (pH, sótartalom, oxigén- és növényi háztartás) alapján.....   | 156 |
| 76. ábra: A nem megfelelő állapotú vízfolyások (193 víztest) elemzése Felügyelőségenként a minősítést meghatározó komponens csoportonként.....                             | 158 |
| 77. ábra: A nem megfelelő állapotú vízfolyások (126 víztest) elemzése Felügyelőségenként a minősítést meghatározó komponens csoportonként.....                             | 159 |
| 78. ábra: Komponens csoportok megoszlás változása Felügyelőségenként 2010. évben és a VGT2 időszakban.....   | 160 |
| 79. ábra: Komponens csoportok megoszlás a nem megfelelő állapotú vízfolyások esetében Felügyelőségekre bontva 2010. évben és a VGT2 időszakában.....                       | 161 |
| 80. ábra: ICF futtatás - 2. változat.....  | 163 |
| 81. ábra: Kiemelt részlet a 380 víztest dendrogramjából (2. változat).....   | 164 |
| 82. ábra: A Barát és a Békás patakok adatsorai.....  | 164 |
| 83. ábra: AlsóTiszavidék dendrogram részlet.....   | 165 |
| 84. ábra: Kurca-csatorna és a Veker-ér paramétereinek összehasonlítása.....  | 165 |
| 85. ábra: Észak-Magyarországi Felügyelőség vízfolyásainak feldolgozása BOOL-AN szoftverrel.....  | 167 |
| 86. ábra: ICF+Gráf távolság (merge)+UPGMA.....   | 167 |
| 87. ábra: ICF+Euclides +UPGMA.....   | 167 |
| 88. ábra: Syntax program futtatása (UPGMA).....  | 168 |
| 89. ábra: A futtatás során hasonlónak ítélt vízfolyások gráfjai.....   | 168 |
| 90. ábra: Az egyes metrikákhoz tartozó távolságháromszögek.....  | 169 |
| 91. ábra: A Temze folyón telepített automata vízmonitoring állomások [48].....   | 171 |
| 92. ábra: A Temze számos pontján telepített „green box” zöld doboz nevű automatikus monitoring állomás [146].....  | 171 |
| 93. ábra: 18 hónapig tartó 60 perces intervallummal történő mintavétel a Kennet folyón [149].....  | 173 |
| 94. ábra: Emelkedett koncentrációk a Bimmen-Lobith Nemzetközi Monitoring Állomáson [150].....  | 173 |
| 95. ábra: Az automata felszíni vízmonitoring állomások, mint az EU VKI része [143].....  | 175 |
| 96. ábra A vizsgálati paraméterek és módszerek.....  | 200 |
| 97. ábra: A 25 mintavételi hely a Veszprémi-Séden (jelölés: zöld jelölő a Veszprémi-Séd mintavételi helyei; sárga jelölő a hozzáfolyásokat jelöli a Veszprémi-Sédhez)..... | 202 |
| 98. ábra: Főkoordináta analízis a 13 fizikai-kémiai paraméterre (SYNTAX 2000).....   | 206 |
| 99. ábra: Főkoordináta analízis a csökkentett számú 11 fizikai-kémiai paraméterre (SYNTAX 2000).....   | 207 |
| 100. ábra: Főkoordináta analízis újabb futtatása 11 paraméterre (SYNTAX 2000) ...  | 208 |
| 101. ábra: A BOOL-AN eljárás vizes moduljának főbb lépései (szerkesztette: Kovács Zsófia).....   | 212 |
| 102. ábra: A négydimenziós n-kocka parciális rendezése.....  | 215 |
| 103. ábra: A kiinduló A-T-C-G gráfok (Vasas-Belvárdi: $M_{fSeqX}$ ).....   | 216 |
| 104. ábra: A kiinduló A-T-C-G gráfok (Kis-Koppány: $M_{fSeqY}$ ).....  | 216 |
| 105. ábra: Az A-T-C-G ICF gráfok (Vasas-Belvárdi vízfolyás felső).....   | 217 |
| 106. ábra: Az egyesített (merged) ICF gráf (Vasas-Bezerédi: $E_{SeqX}$ ).....  | 217 |
| 107. ábra: Az A-T-C-G ICF gráfok (Kis-Koppány felső vízfolyás).....  | 218 |

|   |     |
|---|-----|
| 108. ábra: Az egyesített (merged) ICF gráf (Kis-Koppány: $E_{SeqY}$ ).....  | 218 |
| 109. ábra: A két vízfolyás eredeti szekvenciái ( $M_f^{(1)SeqX}$ és $M_f^{(1)SeqY}$ ).....                                    | 219 |
| 110. ábra: A Kis-Koppány és a Vasas-Belvárdi paraméter szekvenciák merged $E$ , $M_f$ és $K$ gráfjai.....                     | 221 |
| 111. ábra: A mintahalmazra készített dendrogram (IGT alapján).....  | 224 |
| 112. ábra: Az ICF kiterjesztett gráf távolság fogalmának bevezetése.....  | 225 |
| 113. ábra: A Kis-Koppány és a Vasas-Belvárdi paraméter szekvenciák kód szerinti színezett metszet gráfjai ( $K_{sSeq}$ )..... | 227 |
| 114. ábra: A vízfolyás párosítások IRT (rang - $x$ ) és IKT (kód - $y$ ) távolság értékeinek szemléltetése.....               | 229 |
| 115. ábra: A dendrogram lánc felépítési lépéseinek szemléltetése az IRT-IKT ( $x$ - $y$ ) bontásban.....                      | 230 |
| 116. ábra: A mintahalmazra készített dendrogram (IKGT alapján).....   | 230 |
| 117. ábra: A dendrogram építés logikai szemléltetése a Peterd – Kis-Koppány vízfolyás esetében.....                           | 233 |

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

|   |     |
|---|-----|
| 1. táblázat: A Duna vízgyűjtőéhez tartozó országok ARS pontjainak a WRI index szerinti megoszlása (Inventory of Potential Accidental Risk Spots in the Danube River Basin, 2001, 2003)..... | 28  |
| 2. táblázat: A EWS rendszer riasztási jelzéseinek összefoglalása .....  | 43  |
| 3. táblázat: Minősítés VGT2 (6-1. melléklet alapján) és VGT1 szerint .....  | 48  |
| 4. táblázat: Javasolt biológiai adatokkal validált tipológia (VGT2 1-3. háttéranyag) ..   | 49  |
| 5. táblázat: Az ICF algoritmus szerinti osztályozás bemeneti adatainak kódolási mintája .....   | 52  |
| 6. táblázat: A VKI minősítésben alkalmazott csoportképzési logika .....   | 52  |
| 7. táblázat: Veszprémi-Séd mintavételi helyei vizsgálati évenként 1968 -2005 és 2007, 2012-ben .....  | 59  |
| 8. táblázat: Az időbeni mentességek alakulása (VGT2 7-1 melléklete alapján, 2016)...  | 62  |
| 9. táblázat: Veszprémi-Sédre vonatkozó VKI szerinti határértékek [1], [26] .....  | 63  |
| 10. táblázat: Kémiai paraméterek előírt határértékei [93] .....   | 65  |
| 11. táblázat: A Torna-patak szakaszai [31].....   | 66  |
| 12. táblázat: Kolontári éves átlag vízállás és vízhozam adatok (Közép-Dunántúli VIZIG) .....  | 68  |
| 13. táblázat: Az ajkai vörösiszap fő alkotói ((Vágföldi Z., 2011; Szépvölgyi J., 2010)..  | 69  |
| 14. táblázat: Mintavételi gyakoriság megoszlása 1994-2005 között .....  | 73  |
| 15. táblázat: Hatósági fiziko-kémiai mérések éves átlag értékeinek a minősítése éves bontásban .....  | 73  |
| 16. táblázat: A 2009 tavaszán végzett mérések időpontjai .....  | 74  |
| 17. táblázat: A kritikusnak minősített mintavételi helyek .....   | 76  |
| 18. táblázat: Az eseti fiziko-kémiai paraméter méréseim éves átlag értékeinek a minősítése a Veszprémi-Séd városi szakaszán .....   | 79  |
| 19. táblázat: A felmérés során alkalmazott Mobil MÉRŐállomások jellemzői .....  | 81  |
| 20. táblázat: A mobil monitoring állomás jellemzői .....  | 82  |
| 21. táblázat: A város előtti automata online monitoring állomás eredményeinek összefoglalása .....  | 88  |
| 22. táblázat: A város utáni automata online monitoring állomás eredményeinek összefoglalása .....   | 88  |
| 23. táblázat: Kiugró és extrém magas vízállás adatok összefoglalása.....  | 90  |
| 24. táblázat: A város előtti automata online monitoring állomás szűrt eredményeinek összefoglalása .....  | 101 |
| 25. táblázat: A város utáni automata online monitoring állomás szűrt eredményeinek összefoglalása .....   | 101 |
| 26. táblázat: A minősített paraméterek statisztikai jellemzői és a mérőeszközök rendelkezésre állása.....   | 104 |
| 27. táblázat: A szennyezéshullámok kiugró csúcsainak időtartam és számossági jellemzői .....  | 104 |
| 28. táblázat: Adatritkítási hipotézis vizsgálat (külső adatsorok esetében) .....  | 107 |
| 29. táblázat: Adatritkítási hipotézis vizsgálat a mintavételi gyakoriság meghatározásához (város előtt) .....   | 108 |
| 30. táblázat: Adatritkítási hipotézis vizsgálat (város után) .....  | 109 |
| 31. táblázat: Eseményhez kapcsolt ammónium-N koncentráció változás.....   | 110 |
| 32. táblázat: Eseményhez kapcsolt nitrit-N koncentráció változás .....  | 111 |
| 33. táblázat: A nitrát-N eseményhez kapcsolt koncentráció változása.....  | 111 |

|   |     |
|---|-----|
| 34. táblázat: Az ortofoszfát-P eseményhez kapcsolt koncentráció változása .....   | 112 |
| 35. táblázat: A szennyvíztisztító telep iszapelvételek időpontjai .....   | 115 |
| 36. táblázat: A zavarosság mérés kiugró értékei .....   | 117 |
| 37. táblázat: Az ammónium-N kiugró mérési eredményei .....  | 118 |
| 38. táblázat: Az ortofoszfát-P kiugró mérési eredményei .....   | 119 |
| 39. táblázat: Összevonas eredménye alapján a monitoring helyek száma .....  | 134 |
| 40. táblázat: A Tisza vízgyűjtőre javasolt monitoring állomások száma .....   | 137 |
| Az országos és felügyelőség szinten is vizsgáltam a tipológiai csoportok szerint a 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő vízfolyások komponens csoportok közötti megoszlását (41. táblázat). Példaként az Észak-Magyarország KTVF területén összesen 65 vízfolyásból 25 vízfolyás nem érte le a jó állapotot. .... | 144 |
| 42. táblázat: A 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok szerint .....  | 145 |
| 43. táblázat: A 320 vízfolyás és a 126 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok szerint .....  | 149 |
| 44. táblázat: A 380 hazai vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok szerint .....  | 156 |
| 45. táblázat: Az alkalmazott terepi és laboratóriumi eszközök és módszerek .....  | 201 |
| 46. táblázat: A mintavételi helyek a Veszprémi-Séden .....  | 203 |
| 47. táblázat: Az összehasonlító elemzésbe bevont és elhagyott paraméterek.....  | 208 |
| 48. táblázat: VKI alapú minősítés menete .....  | 211 |
| 49. táblázat: ICF kódolási menete .....   | 211 |
| 50. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások fizikai-kémiai paraméter mérési átlagértékei .....   | 214 |
| 51. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások fizikai-kémiai paraméter minősítési értékei.....   | 214 |
| 52. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások ATCG kódolt értékei a vízminősítési csoportok szerinti besorolással: .....   | 214 |
| 53. táblázat: Az eredeti paraméter kiosztás .....   | 216 |
| 54. táblázat: Az új csoportosítási elveknek megfelelő paraméter kiosztás .....  | 216 |
| 55. táblázat: A $K_{SeqX}$ és $K_{SeqY}$ gráfok csúcspontjainak meghatározása.....  | 219 |
| 56. táblázat: Az egyesített (merged) ICF gráf távolság ( $IGT_{Seq}$ ) kiszámítása .....  | 222 |
| 57. táblázat: A vízfolyás mintahalmaz paraméter értékei.....  | 223 |
| 58. táblázat: A vízfolyás mintahalmaz paraméter szekvencia értékei .....  | 223 |
| 59. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF távolság mátrix értékei.....   | 224 |
| 60. táblázat: A mintahalmaz klaszter analízisének alkalmazott távolságok és csoportosítások .....   | 224 |
| 61. táblázat: A $K_{SeqX}$ és $K_{SeqY}$ gráfok csúcspontjainak ATCG kódolása .....   | 226 |
| 62. táblázat: Az egyesített (merged) ICF gráf kód távolság ( $IKT_{Seq}$ ) kiszámítása.....   | 228 |
| 63. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF kód távolság mátrix értékei ( $IKT$ ) .....  | 228 |
| 64. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF kiterjesztett távolság mátrix értékei .....  | 229 |
| 65. táblázat: A mintahalmaz klaszter analízisének alkalmazott távolságok és csoportosítások .....   | 230 |
| 66. táblázat: A mintahalmaz IGT szerinti rendezettség .....   | 232 |
| 67. táblázat: A mintahalmaz IKT szerinti rendezettség .....   | 232 |

## KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS

A kutatási munkám fő célterülete a vízszennyezettség meghatározása, azon belül is a kisvízfolyások városon belüli terhelésének, szennyezőhullám levonulás dinamikájának és az éghajlatváltozás okozta szélsőséges időjárási körülmények hatásának vizsgálata a vízminőség változására. Ehhez komplex automata folyamatos monitoring rendszerek összeállítása és működtetése szükséges, figyelembe véve a műszerpark stabilitását és egyszerű kezelhetőségét.

Értekezésemben különös figyelmet fordítottam a vízmonitoring mellett a vízminőségi adatbázisok feldolgozására, a területspecifikus szennyezési profilok meghatározására és indikátor paraméterek kiválasztására. Célom volt a csoportosítás-alapú minősítési rendszer előkészítéseként egy diszkrét matematikai osztályozó módszer, a Boole függvények Iteratív Kanonikus Formájának (ICF) adaptálása és tesztelése a felszíni vízfolyások vízminőség alapú „nem felügyelt” csoportosítására és a határesetek kezelésére.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### 1. Egy hegyvidéki kisvízfolyás mérési adatsorainak értékelése fizikai-kémiai paraméterek alapján a Veszprémi-Séd példáján

1.1 A vizsgálati időszaki felszíni víz fizikai-kémiai eseti méréseim (2009, 2010, 2012, 2013, 2015) alapján **megállapítottam**, hogy a VKI alapú minősítési eljárás szerint a Veszprémi-Séd állapota nem érte el a jó kategóriát (mérsékelt), és ezt a komponens csoportok közül a tápanyag háztartás (nitrát-N, ortofoszfát-P) paraméterei okozták.

1.2 A Veszprémi-Séd kisvízfolyásra telepített két automata online állomásom négy hónapig tartó működtetéséből nyert - megfelelő dinamikájú és részletezettségű információt tartalmazó - óras adatsorok (2879 óra, 13 paraméter) és hozzá igazított hidrológiai és meteorológiai mérési eredmények (pl. csapadék) kiértékelésével egyrészt **igazoltam** a tápanyagháztartás minőségcsoport kiugróan meghatározó jelenlétét (az ammónium-N relatív szórása 82,6%, a nitrit-N és a nitrát-N maximális mért értéke a gyenge: 0,57 mg/l, ill. 6,15 mg/l, az ortofoszfát-P koncentráció értéke pedig a rossz kategóriába is elért: 715 µg/l). Másrészt **bemutattam** a gyenge és rossz minősítési kategóriába átlépő terhelési hullámcúcsok jellemzőit (paraméterenként a határértéket meghaladó teljes időtartamát, a hullámcúcsok darabszámát).

1.3 A hatósági mintavételi időpontok (minta ritkítás) és a mérési adataim (minta sűrítés) összevetésével **alátámasztottam** a hatósági mintavételezési metódus helyességét a vízfolyás fizikai-kémiai paraméterekre vonatkozó átlagos minőségi állapotának jellemzéséhez.

- 1.4 Ugyanakkor **megállapítottam**, hogy ez a módszer nem mutatja ki az időszakos, időjárás vagy szennyezés következtében fellépő terhelés hullámcsúcsokat.
- 1.5 **Meghatároztam**, hogy a hegyvidéki kisvízfolyás esetében az átlagos hullámcsúcs időtartam a rossz minősítési kategóriába is eljutó ortofoszfát-P terhelés esetén 3,5 óra, míg a gyenge minősítést elérő hullámcsúcsok átlagos időtartama a nitrit-N esetében 3,5 óra, a nitrát-N esetében 15 óra, míg az ortofoszfát-P esetében 13,7 óra. Így a Shannon-Nyquist mintavételi törvénye ( $f_{\text{mintavétel}} > 2 * f_{\text{max}}$ ) alapján megállapítottam, hogy a terheléscsúcsok detektálásához az állapotot meghatározó tápanyagháztartást jellemző paraméterek esetében közel hasonló, pár órás mintavételi gyakoriság szükséges (nitrit-N:  $1/(2*1/3,5) = 1,75$  óra, nitrát-N: 7,5 óra, ortofoszfát-P: 6,8 óra). Kimutattam, hogy a néhány órás szennyezési hullámcsúcsok 73 %-át az időjárási körülmények váltották ki, a vízállás emelkedése használható indikátorként, így javaslatot tettem a vízállásmérőkhöz kapcsolt automata mintavevők telepítésével képzett állomások kialakítására.

## 2. A teljes Tiszai vízgyűjtőre vonatkozó korai riasztási rendszer (EWS) mérőállomás hálózat koncepciójának kidolgozása

- 2.1. A Tiszai riasztási jelzőrendszer utolsó hat évi adatait elemezve, az automata állomás üzemeltetésre vonatkozó saját gyakorlatomra és a négy Tiszai Monitoring Állomás működtetési tapasztalataira építve, azokat kiterjesztve **kidolgoztam** hazánk egyik legkritikusabb vízgyűjtő területére, a teljes Tiszai vízgyűjtőre vonatkozó EWS riasztási mérőállomás hálózat, mint költséghatékony, fenntartható korai előrejelző rendszer koncepcióját. Figyelembe vettem a vízgyűjtőterület méretét, az összefolyási pontokat, a határt metsző szakaszokat és a pontforrásokat (ARS pontok, szennyvíztisztító telepek, ipari kibocsátók). A potenciális kockázatot jelentő és specifikus szennyezőforrások területi jellegzetességeire építve két lehetséges monitoring hálózatnak a koncepcióját vázoltam fel: egy 84, illetve egy – szűkített - 40 vízmonitoring állomásból álló EWS hálózatot.
- 2.2. A hálózati struktúra kidolgozásához kapcsolódóan **összeállítottam** a monitoring helyekhez igazított olcsó, robusztus eszközökkel mérhető indikátor paraméterek listáját.

## 3. A hazai vízfolyások területspecifikus szennyezési profiljainak meghatározása

- 3.1. **Kimutattam**, hogy az adatbázisok alapján (2010. évi; VGT2) hazánk vízfolyásainak a biológiát támogató fiziko-kémiai minősítését dominánsan a tápanyag (növényi) háztartás ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{ÖN}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{ÖP}$ ) csoportja határozza meg.
- 3.2. A vízfolyások minősítése alapján **meghatároztam** melyik térségben melyik komponens csoport határozza meg a vízfolyások vízminőségi állapotát.
- Észak-Magyarországon és a Tiszántúlon a 2010. évi adatbázis alapján az oxigénháztartás (KOI, BOI<sub>5</sub>, oldott oxigén, oxigéntelítettség,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ), a



VGT2 adatbázis alapján pedig a tápanyag (növényi) háztartás adta a fizikokémiai minősítést.

- Alsó-Tiszavidéken mindkét esetben a sóháztartás (vezetőképesség, klorid) volt a vízminőségért felelős csoport.
- Közép-Duna-völgyi térség esetében a 2010. évi időszakban legtöbbször a növényi háztartás határozta meg a vízminőséget, de az oxigén és a növényi háztartás hatása is igen jelentős volt, míg a VGT2 adatbázis esetében már csak kimondottan a tápanyagháztartás dominált.
- Dunántúli régióknál a tápanyag (növényi) háztartás a domináló, így az  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{ÖN}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{ÖP}$ .

3.3. A folyamatos monitoring rendszer működtetéséhez a meghatározott szennyezési profilok alapján **összeállítottam** egy területspecifikus indikátor paraméterek mérésére vonatkozó segédtablát.

#### 4. Egy diszkrét matematikai módszeren alapuló osztályozó algoritmus (ICF) adaptálásával a csoportosítás-alapú minősítési rendszer előkészítéséhez egy új típusú megközelítést dolgoztam ki

4.1. Egy széleskörűen alkalmazható diszkrét matematikai osztályozó módszer (Jakó et al, 2009) és szoftver (BOOL-AN) adaptálásával egy új vízminőségi adatok osztályozására és a határesetek kimutatására szolgáló eljárást **vezettem be**, mely támogatja a jó és a nem megfelelő állapot határán lévő vízfolyások kijelölését és a hasonló víztestek összevonását, hozzájárulva az optimális monitoring hálózatok kialakításához.

- **Kidolgoztam** a vízminőségi adatok diszkrét matematikai formába való átkódolásának egy célszerű módját, figyelembe véve a paraméterek közötti kapcsolatokat és az ICF algoritmus sajátosságait.
- **Alkalmaztam** az ICF gráf alapú osztályozó algoritmust, amely támogatja a víztestek vízminőségen alapuló csoportosítását és a különbségek/hasonlóságok vizualizálását.

# I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 1. DUNA VÍZGYŰJTŐ TERÜLETÉNEK BEMUTATÁSA ÉS MONITORING RENDSZERE

A Duna vízgyűjtő Európa második legnagyobb vízgyűjtője, melynek területe 801 463 km<sup>2</sup>. A Duna-medence összesen 19 országot érint. A Duna a Fekete-tenger legnagyobb mellékfolyója, ezért jelentős mértékben hozzájárul annak eutrofizálódásához és szennyezéséhez. A Duna Védelmi Egyezmény [Helsinki, 1992, Szófia, 1994] egyik fő célkitűzése a vízminőség javítása a vízgyűjtő területen. A Dunára készített vízgyűjtőkerület terv felülvizsgálatát a Duna Védelmi Egyezmény Nemzetközi Bizottsága (International Commission for the Protection of the Danube - **ICPDR**) koordinálja ([www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)).

- Az International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) azaz a Duna Védelmi Bizottság részéről külön munkacsoportok foglalkoznak a részvízgyűjtők állapotával a vizek minőségével (pl. a Tisza részvízgyűjtőjére egy Integrált Tisza Vízgyűjtő Gazdálkodási tervet dolgozta ki 2010-ben; a Víz Keretirányelv keretében 2007-ben egy összefoglaló jelentés „Summary Report” és számos térkép készült a vízgyűjtő állapotáról, valamint a Tisza River Basin, 2007; Integrated Tisza river Basin Management Plan, 2011.)

Az ICPDR adatbázisa hasznos háttérinformációval szolgál a víztestek állapotáról és a veszélyes anyag szerinti kockázatoságokról. A monitoring programok segítségével biztosítják a megfelelő információt a Duna-vízgyűjtő állapotáról, amelyek programjai összhangban vannak a Víz Keretirányelv végrehajtási ütemtervével [The Danube River Basin District, 2015]. Jelentős a víztudományhoz való hozzájárulása ezeknek a speciális ellenőrzési gyakorlatoknak, amelyekkel támogatják a különböző módszertanok harmonizációját, valamint a lakosság víz tudatosságának a növelését [Liska et al, 2015].

- **A Nemzetközi Monitoring Hálózat (TransNational Monitoring Network - TNMN) célja, hogy átfogó képet adjon a szennyezésekről, a vízminőség állapot változásainak hosszú távú alakulásáról és a Duna medence főbb szennyezőanyag terheléséről.** Biztosítja az adatoknak az összehasonlíthatóságát, mivel egységes formában történik az adatgyűjtés és az információcsere. A dunai országokban működő laboratóriumok, amelyek részei a TNMN hálózatnak, szabadon választhatják meg a fizikai-kémiai és elsőbbségi anyagok vizsgálatához alkalmazni kívánt analitikai módszereket, de igazolniuk kell, hogy a módszer megfelel a TNMN hálózat kritériumainak ezzel biztosítva a minőségellenőrzést. A TNMN évente a nemzeti laboratóriumok által végzett mérések eredményeiből készíti el az éves jelentését, amely magába foglalja a mintavételi helyek, mérési paraméterek listáját és a mérési eredmények feldolgozását.

A vizsgálati monitoring (investigative monitoring) elsősorban nemzeti feladat, de a vízgyűjtő szintű koncepció teljesítéséhez létrehozták a hat évente ismétlődő **Join Danube Survey (JDS)** projektet. A következő felmérés 2019-ben lesz.

- **A Közös Duna Felmérés (Joint Danube Survey JDS)** által 2001-ben, 2007-ben és 2013-ban történt felmérések a Duna, és annak állapotát befolyásoló jelentős mellékvízfolyások hatása alatti-, teljes hosszáról egy pillanatképet ad a periodicitás pedig biztosítja az információkat a változások tendenciájáról. A JDS program egy önálló és egyedülálló komplex nagyfolyó felmérés, amelynek célja, a monitoring hálózatok adathiányainak a csökkentése, összehangolás a már meglévő rendszerekkel, új kémiai vegyületek vagy különböző mátrix hatások értékelése, továbbá új eszközök és módszerek tesztelése.

A felmérések alapján elmondható, hogy a Duna vízgyűjtőjén a felszíni vizek minősége javuló tendenciát mutat, de több mellékfolyón és a Duna alsó szakaszán a nagyvárosok közelében tápanyag, veszélyes anyag-terhelésekből adódó problémákat kell megoldani (Liska et al, 2015, JDS3; 2013).

A JDS programok fejlesztik a TNMN rendszer által szolgáltatott adatok és információk megbízhatóságát (Liska et al, 2015, JDS3; 2013). Tápanyag terhelés tekintetében feldolgozásra (Hamcevic, 2015) került a TNMN 2001-2009 közötti mérések és a JDS1 (2001) és a JDS2 (2007) mérési eredményei. A TNMN 2001-2009 közötti időszak értékeléséből az látható, hogy az alsó szakaszon minimális csökkenés volt tapasztalható a tápanyag koncentrációkban, de a NO<sub>3</sub>-N és a PO<sub>4</sub>-P koncentrációk esetében kiugró és az extrém értékek megjelenése volt jellemző.

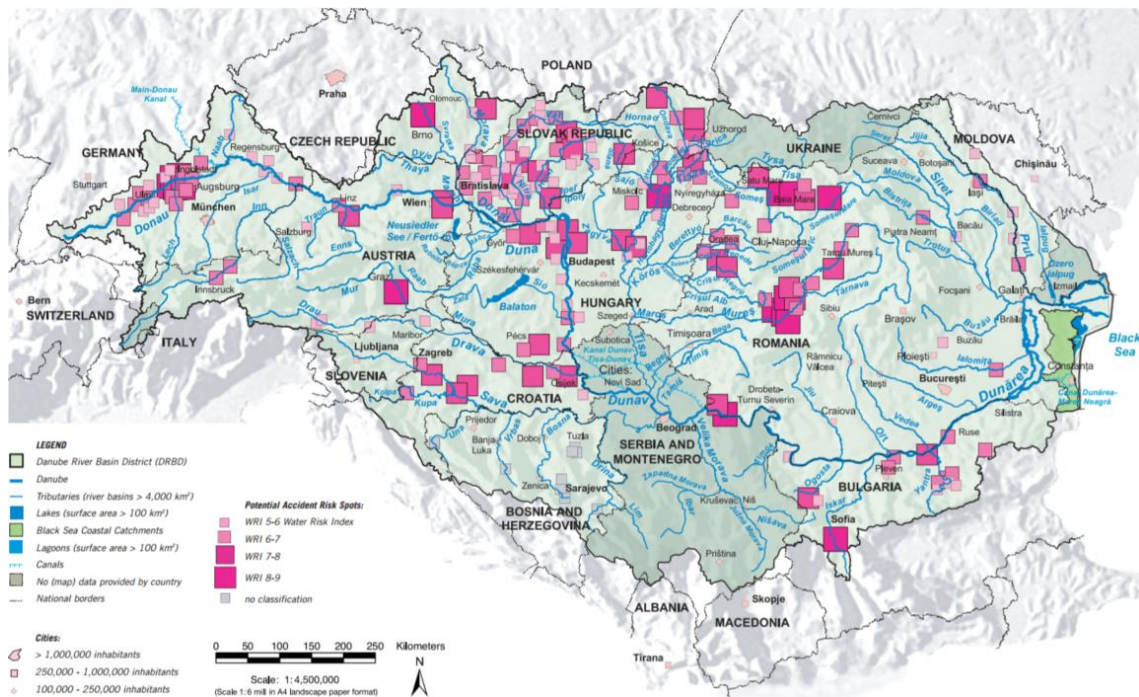
Hamcevic 2015 által elvégzett kiértékelésből az is látható volt, hogy több a kiugró érték az Alsó Duna régióban, vagyis szélsőségesebbek a helyi lokális hatások, amelyek rávilágítják a figyelmet a folyamatos monitoring létjogosultságára.

László Ferenc (VITUKI, [70] által készített elemzésből látható, hogy a 2008-2011 időszakban a Dunában az oldott kadmium terhelés csökkent, míg az oldott ólom, higany és réz terhelése emelkedett. A nehézfémek tekintetében a mellékvízfolyások jelentősen terheltek a környező bányászati tevékenységek miatt.

## **1.1 A Duna vízgyűjtő ARS (Accidental Risk Spot) pontjai - Baleseti kockázati források**

Accidental Risk Spot (ARS) pontok a Duna vízgyűjtőjén. Elsősorban az ICPDR által publikált (2000 és 2003) tanulmányok fedik le az **Accidental Risk Spot (ARS)** pontokról gyűjthető információs adatbázist a Duna Régió területén (Regional Inventory of Potential Accidental Risk Spots in the Tisa catchment area of Romania, Hungary, Ukraine and Slovakia (2000); Industrial Hot Spots Tisza river Basin (2004)). A Duna vízgyűjtő területén levő kockázatot jelentő szennyezések potenciális szennyezés kibocsátóit mutatja az 1. ábra.

A vízminőségre fenyegető veszélyességi hatásuk alapján a földrengések Richterskálájához hasonló hatásnak a szemléltetéshez egy WRI indexet (Water Risk Index) képezték (Inventory of Potential Accidental Risk Spots in Danube River Basin, 2001,2003), ahol az 5-ös értéket jelölték meg a legnagyobb kockázati potenciál küszöbértékének (1. táblázat).



1. ábra: Az ICDDR jelentésben szereplő potenciális kockázati (ARS) pontok a Duna vízgyűjtőjén (Map 8: WRI 5-6, WRI 6-7, WRI 7-8, WRI 8-9, 2005)

1. táblázat: A Duna vízgyűjtőéhez tartozó országok ARS pontjainak a WRI index szerinti megoszlása (Inventory of Potential Accidental Risk Spots in the Danube River Basin, 2001, 2003)

| Duna vízgyűjtő országok | Az adat-szolgáltatásban szereplő ARS (pont) | Értékelhető ARS pontok száma (pont) | Teljes mennyiség (t) | Az egyes WRI csoportokhoz tartozó ARS pontok száma |                |         |         |         |         |
|-------------------------|---|-------------------------------------|----------------------|--|----------------|---------|---------|---------|---------|
|                         |   |                                     |                      | ≥ 9,0  | 8,9-8,0        | 7,9-7,0 | 6,9-6,0 | 5,9-5,0 | 5 alatt |
| Németország             | 56  | 56                                  | 2.300                | -  | 6              | 6       | 14      | 29      | 1       |
| Ausztria <sup>1</sup>   | 41  | 41                                  | 628,4                |  |                |         |         |         |         |
| Csehország              | 9   | 8                                   | 145                  | -  | 1              | 1       | -       | 1       | 5       |
| Szlovákia               | 148   | 145                                 | 251                  | -  | -              | 9       | 17      | 62      | 57      |
| Magyarország            | 243   | 242 <sup>2</sup>                    | 707                  | -  | 2 <sup>3</sup> | 11      | 20      | 40      | 169     |
| Szlovénia               | 2   | 2                                   | 0,9                  | -  | -              | -       | -       | 2       | -       |
| Horvátország            | 30  | 26                                  | 136                  | -  | -              | 3       | 10      | 2       | 11      |
| Románia                 | 67  | 59                                  | 2100                 | -  | 8              | 11      | 12      | 7       | 21      |
| Bulgária                | 29  | 28                                  | 370                  | -  | 1              | 2       | 7       | 5       | 13      |
| Moldova                 | 27  | 14                                  | 3,6                  | -  | -              | -       | 1       | 7       | 6       |
| Ukrajna <sup>4</sup>    |   |                                     |                      |  |                |         |         |         |         |
| <b>Összesen</b>         | <b>652</b>                                  | <b>621</b>                          | <b>6.641,9</b>       |  |                |         |         |         |         |

Az 1. táblázatban feltüntetett adatok alapján elmondható:

1. A 2001-es jelentés összeállításáig Ausztriából nem érkezett információ. 2003-ban 41 ARS pontot jelentettek le.
2. A táblázat alapját képező statisztikai adatszolgáltatás esetében Magyarország riportja volt a legrészletesebb (246 ARS pont, amelyből 173 WRI indexe kisebb volt az 5-ös küszöbértéknél.). 243 ARS pontot 4 csoportba soroltak: A/ Ipar-Tisza 62, B/ Ipar-Duna/Dráva 131, C/ Agrár-Tisza 20, D/ Agrár-Duna/Dráva részvízgyűjtő 30 pont. (1 pont nem volt értékelhető.)
3. A 2 legnagyobb kockázatot jelentő magyarországi ARS pont a Tisza melletti olaj és vegyipari üzemek: 8,17: Tiszapalkonyai Hőerőmű (tulajdonos: AES Borsodi Energetikai Kft) és 8,072: Akzo-Nobel Festékgyártó és Kereskedelmi Rt., Tiszaújváros.
4. A korai előrejelzés/riasztási monitoring rendszer (Early Warning System - EWS) hálózat kiegészítő információt szolgáltathat a folyamatos mérési időszoraival. Ezáltal összefüggéseket/korrelációt lehet keresni a folyamatos mérés és a jelentésekben közölt eredmények között, ezzel is támogatva a vízgazdálkodási feladatokat és segítve az országokat, hogy minél gyorsabban és hatékonyabban elérjék a Víz Keretirányelv alapján kitűzött célokat.
5. Ukrajna nem vett részt az ARS pontok felmérésében.

## **1.2 Tisza vízgyűjtő területének a bemutatása és monitoring tevékenység**

A Tisza a Duna legnagyobb mellékvízfolyása és részvízgyűjtő területű folyója (966 km hosszú és 157 186 km<sup>2</sup> vízgyűjtő területe). A Tisza vízgyűjtő területén 5 ország osztozik. Az árvizekkel, aszályal, a vízszolgáltatáshoz kapcsolódó problémákkal és az ipari balesetek okozta katasztrófák következményeivel nemzetközi együttműködésre van szükség, mivel ezek a problémák együttesen érintik mind a vizek mennyiségi, mind minőségi paramétereit.

A terület számos természeti értéke mellett árvizek, aszályok, illetve ipari katasztrófák sújtják, melyek veszélyeztetik a vízminőségét. A vizek mennyiségi és minőségi paramétereit érintő problémákra megfelelő intézkedések történjenek határon átnyúló együttműködés mellett integrált vízgyűjtő gazdálkodási szemlélet szükséges. A Tisza részvízgyűjtő területén az ICPDR keretében 2004 óta jelentős erőfeszítéseket tettek a vizek mennyiségi és minőségi állapotát befolyásoló intézkedések összehangolására. A Tisza vízgyűjtőn nemzetközi vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés 1977-ben elkészült első teljes **Tisza vízgyűjtő komplex vízgazdálkodási és vízvédelmi terve**, öt ország részvételével.

1991 januárjában tették közzé a **Tisza Egyezményt**, amelynek célja a Tisza és mellékfolyóinak szennyezés elleni védelme. Az Egyezmény kiemelte, hogy a Szerződő

Felek az országuk területén a saját jogi rendjüknek és műszaki-gazdasági lehetőségeiknek megfelelően intézkedéseket tesznek a Tisza és mellékfolyói szennyeződésének megakadályozására, valamint megfigyeléseket szerveznek a vizek minőségének értékelése céljából egyeztetett mutatók szerint.

Továbbá a Tiszán és mellékfolyóin bekövetkező rendkívüli (havária) szennyezés során történő tájékoztatási kötelezettségről, műszaki-tudományos együttműködés keretében történő tapasztalatcseréről és konzultációról rendelkezik.

Az ICPDR keretében a Tisza vízgyűjtő országai 2004-ben aláírták az együttműködési szándéknyilatkozatot, amelynek célja az integrált Tisza vízgyűjtő-gazdálkodási terv. Az egyezményt az országok 2011-ben aktualizálták.

Az ICPDR belül létrejött a Tisza Csoport a vízminőségi és mennyiségi feladatok nemzetközi koordinálására.

- 2007-ben elkészült a Tisza vízgyűjtő állapotértékelése (ICPDR, 2007) majd **2011-ben az Integrált Tisza Vízgyűjtő-Gazdálkodási Terv (ITVGT) ICPDR/UNDP/GEF 2011).**

A Tisza részvízgyűjtőjén számos **alacsonyabb kockázatú pontszerű szennyező** forrás jelenik meg (pl. szennyvíztisztító telepek, ipari kibocsátók).

1. Az **E-PRTR** (European Pollutant Release and Transfer Register), Európai szintű nyilvántartási rendszer, mely az ipari létesítmények kulcsfontosságú környezetvédelmi adatairól nyújt információt) lista alapján az **ipari létesítmények a Tisza vízgyűjtőjére** vonatkozó országonként megoszlása látható az ábrán. A legnagyobb százalékkal (63%) Magyarország vezet utána Románia következik 25%-kal. **A vízgyűjtő területen jellemző főbb ipari szektorok:** élelmiszeripar (állati és növényi termékek), vegyipar, energiaipar, bányászat, intenzív állattartás és akvakultúra, papír és faanyagtermelés, feldolgozás, fémfeldolgozás és kezelése, hulladék- és szennyvízkezelés, hulladékgazdálkodás.
2. A **Kommunális Szennyvíztisztító Telepek (TESZIR)** további terhelést jelentenek a víztestekre. A szennyvíztisztító telepek különböző kémia-biológiai tisztítási technológiákat alkalmaznak a részvízgyűjtő területeken, ezért különböző terhelésekre kell számítani. Az ábrán látható a kommunális szennyvíztisztító telepek megoszlása a Tisza vízgyűjtő területén (UWWTP) (kivéve Ukrajna és Szerbia, ahol nem volt elérhető adat). A szennyvíztisztító telepek számában Magyarország 47 %-al vezet és utána Románia áll 40%-al. Az ábrán látható, hogy hány %-ban nem megfelelő a kémiai paraméterek kezelése az összes szennyvíztisztító telepre vonatkoztatva. Az első helyen a BOI<sub>5</sub>, aztán a lebegőanyag és a KOI következik.

## 2. VÍZ KERETIRÁNYELV SZERINTI MONITORING RENDSZER

Magyarország a Duna vízgyűjtő kerület adminisztrációs egységén belül, annak közepén helyezkedik el és teljes területe egyetlen vízgyűjtő kerületben található. Így egy vízgyűjtőkerület vízgyűjtő-gazdálkodási tervében (VGT) érdekelt hazánk.

Határvízi kapcsolatok Magyarország számára létfontosságú, mivel vízfolyásaink több mint 90%-a a határon túlról érkezik. Az ország medence jellegét mutatja, hogy 24 folyón érkezik víz a hazánkba és 3 folyón keresztül távozik. Miközben a vízkészleteink egyelőre fedezni képesek az ország vízigényét, addig problémát jelent, hogy a vízkészletek kb. 85%-a a Duna és 15%-a a Tisza vízrendszeréhez kötődik (Somlyódy, 2011).

A Víz Keretirányelv irányt, szemléletrendszert ad, amit minden ország adott helyi vízgyűjtő és azon belül hidrológiai, hidrogeológiai, hidromorfológiai adottságainak megfelelően dolgozott ki. Minden típusú vízre kiterjed, de ezeket meg kell különböztetni, mert más vízminőségi követelményt kell teljesíteni

- a természetes, valamint
- a mesterséges és erősen módosított víztesteknél.

A VKI tehát egy „keretet” biztosítva a Közösség édesvízzel kapcsolatos szabályozásának azzal a céllal fektette le az új vízpolitika alapjait, hogy a fenntartható vízhasználat mellett 2015-re elérjük

- a felszíni-, felszín alatti vizek a jó ökológiai, mennyiségi és kémiai állapotot, míg
- a mesterséges és erősen módosított víztestek a jó ökológiai és kémiai potenciált.

A célok elérését az intézkedési programok foglalják össze, ami a Vízgyűjtő Gazdálkodás legfontosabb része.

A VKI ismertetésével, hazánkban való bevezetésével, a célokkal, az elvégzendő feladatokkal kapcsolatban több publikáció, doktori dolgozat és konferencia előadás is megjelent (Dolgosné, 2008; Mátrai 2013, Szlepák, 2010, Somlyódi, 2011, Clement 2013, Türk 2016).

Az Európai Unió 2000/60/EK Víz Keretirányelv (VKI) előírása szerint a vízgyűjtő-gazdálkodási terveket 6 évente felül kell vizsgálni. Hazánkban ezt a 221/2004 (VII.21) Korm. rendelet írja elő, illetve a VGT felülvizsgálata során kötelezően beépítendő tartalmi elemeket is. A második Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT2) 2015. december 22-én került közzétételre és a közigazgatási egyeztetést követően a Magyar Kormány 2016. március 9-én fogadta el. A Kormány a Magyar Közlöny 2016. évi 44. számában megjelent 1155/2016. (III.31.) Korm. határozatban hirdette ki. Megtörtént a VGT1 felülvizsgálata, a felülvizsgálati terv a 2016-2021 közötti hat év cselekvési programja egyben.

A monitoring tevékenységben keletkezett adatok alapozzák meg az intézkedéseket, részletes képet adva a vizek állapotáról, a biológiai – kémiai – hidromorfológiai jellemzők összefüggéseiről, továbbá az eddig végrehajtott intézkedések hatásának értékelésére ad lehetőséget.

### **VKI szerinti monitorozás jellegzetességei és egyben új elmei:**

- többszintű monitorozó rendszer, elkülönül benne az állapotértékelés, a kivizsgálás és a beavatkozások hatásvizsgálata [Quevauviller P (2006 a)].
- Vizsgálni kell a hidromorfológiai viszonyokat (30 irodalom) és a kémiai paramétereiket
- Az ökológiai, bizonyos élőlények együttesek (fitoplankton, fitobenton, makrofiton, makrozoobentosz és halfauna) vizsgálata fontos szerepet kap, illetve a Bióta vizsgálata
- Üledék monitorozás révén lehetővé válik az akkumulációs hatások vizsgálata, valamint fontos elemévé vált a veszélyes anyagok monitorozása is
- az eredményeket adatbázisban, térinformatikai rendszerben kell rögzíteni

### **2.1 Hazai felszíni víz monitoring rendszer**

A Víz Keretirányelv (2000/60/EK; VKI) V. melléklete meghatározza a víztestek állapotának értékeléséhez szükséges vizsgálatok körét, a minimális vizsgálati gyakoriságot és az értékelési rendszer alapjait, de a monitoring programok részletes kidolgozását a tagországokra bízta.

A VKI valamennyi célkitűzése, a vizeink jó állapotba helyezése és az ehhez szükséges intézkedések megalapozása, mind a monitoring hálózat működésén alapuló állapotértékelésen alapszanak. A víztestek jellemzése és állapotértékelése mellett a felszíni víz monitoring tevékenység jövőbeli kialakításának a célja a komplex igényeknek való megfelelés. Az elvárt megbízhatósági szint befolyásolja a víztest állapotának meghatározásához szükséges monitoring időbeli és térbeli sűrűségét.

**A VKI a vizekkel kapcsolatos előírásait és elvárásait az úgynevezett víztesteken keresztül érvényesíti, így a vízgyűjtő gazdálkodási tervezés legkisebb alapelemei is a víztestek.**

A hazai VKI monitoring hálózatra vonatkozóan az Európai Bizottság „ex-ante” feltételként előírta Magyarország számára a felszíni vizeket érintő vízminőségi monitoring fejlesztését.

Jelenleg hazánkban háromszintű monitoring rendszer alapján történik a víztestek állapotértékelése: Az **alapmonitoring** (régi neve: feltáró monitoring), amely kielégíti a feltáró monitoring igényeit és biztosítja a hatéves vízgyűjtő gazdálkodási tervciklus monitoring programjához szükséges hosszú távú adatsorokat. Az alapmonitoring vizsgálati pontjai egyesítik a VKI feltáró monitoring mellett felmerülő egyéb mérési igényeket (pl. határvízi megállapodások, védett területek monitoringja, nitrát-érzékeny területek monitoringjának nagyobb része). Az alapmonitoring mintavételei a vizsgálati igény függvényében eltérő módon valósulnak meg (a klasszikus vizsgálati paraméterekre évi 12 minta, a biológiai vizsgálatok élőlény-csoportonként eltérő gyakorisággal, a veszélyes anyagok három évenként egyszeri gyakorisággal történnek). Természetes medermorfológiai változások, illetve az emberi beavatkozások hatásának lassú időbeni lefolyása miatt a morfológiai monitoring vizsgálatot hatévente végzik el.



**Interkalibrációs hálózat** (2005/646/EK Bizottsági Határozat – interkalibrációs hálózatot alkotó helyek nyilvántartásának létrehozásáról) részeként Magyarország 16 vízfolyás és 5 állóvíz monitoring pontot üzemeltet csekély mértékű zavarásnak kitett állapotot tükröző referencia helyeken.

Az **operatív monitoringgal** a bizonyos szempontból veszélyeztetettnek tekintett vagy változtatásnak kitett vizek vizsgálata történik. Ennek során a kockázattípus szerinti paraméterek vizsgálatát végzik olyan gyakorisággal, hogy a szignifikáns hatás eldönthető és az intézkedések eredménye is nyomonkövethető legyen. Ha megtörténik az intézkedés, akkor annak a hatékonyságát is operatív monitoring segítségével ellenőrzik. Összesen nyolc operatív monitoring programot fogalmaztak meg, amiből kettő a tavak programja.

Az **oknyomozó, vizsgálati monitoringot** végeznek az ismerethiány felszámolására, határérték túllépéseinek felderítésére, rendkívüli esemény felléptekor és azokon a helyeken, ahol operatív monitoring nem üzemel, vagy ahol intézkedési programot dolgoznának ki.

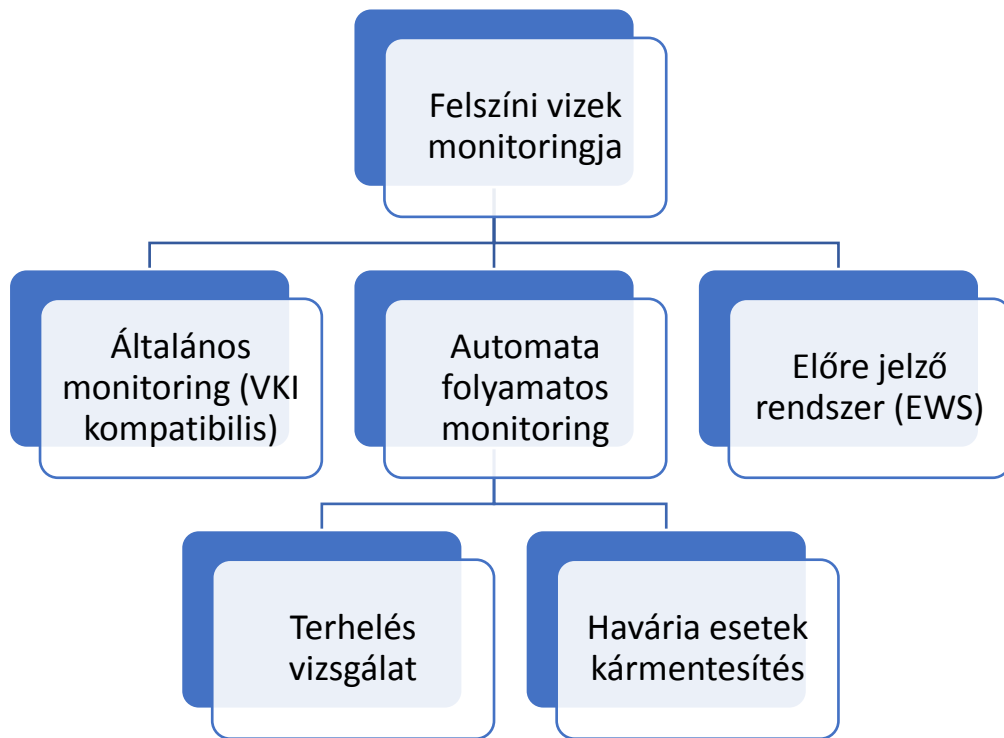
**A felszíni vizek monitoring feladatait a felszíni vizek megfigyelésének és állapotértékelésének egyes szabályairól szóló 31/2004 (XII.31) KvVM rendelet rögzíti.**

A feltáró és operatív programok keretében összesen 1279 monitoring ponton, 863 víztesten történt mérés az értékelt (VGT2) időszakban, ez az 1078 víztest 80,1%-át jelenti.

A programok ütemezése a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés 6 éves ciklusaihoz igazodik. Egy jól kialakított monitoring rendszer működtetési költségeinek sokszorosát lehet megtakarítani az intézkedések szintjén, mivel a monitoring rendszer segítséget nyújt az intézkedések megalapozásában, végrehajtásában, valamint hatékonyságuk nyomonkövetésében.

A VGT2-ben célként megfogalmazásra került *„A jövőbeli monitoringnak robosztusnak, megbízhatónak és az EU Bizottság előtt védhetőnek kell lennie, ugyanakkor az erőforrásokat a leghatékonyabban kell használnia. Jellegzetes tulajdonsága a követelményrendszernek, hogy csak részben definiált, és a számos kötelező elem mellett jelentős teret hagy az optimalizálásra”*. A távlati célok között a megfelelő jogszabályváltozások után az operatív monitoring nagy részének terhet a környezethasználók fizetnék (PPP=Polluter Pays Principle).

A felszíni vizek monitoring tevékenységének összefoglaló ábráját mutatja be a 2. ábra.



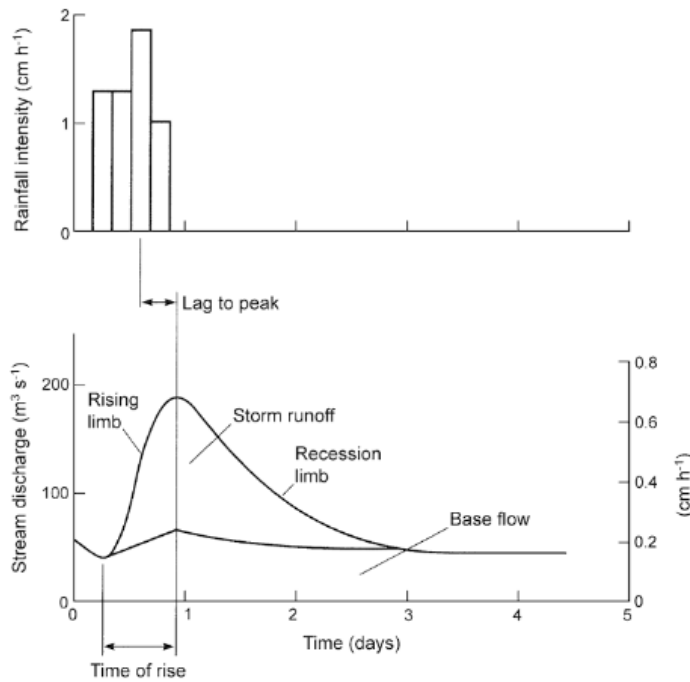
2. ábra: A felszíni vizek monitoring tevékenységének összefoglaló ábrája

## 2.2 Vízzennyező anyagok monitoringozása

A felszíni vizek mintavételi gyakoriságát, vagyis a mintavételek közti időtartam (mintázás sűrűsége) meghatározását a vizsgálandó paraméterek időbeli változása, léptéke szabja meg. Alapelv, hogy a mérést annál gyakrabban kell elvégezni, minél változékonyabb a vizsgálandó jellemző.

Egyes vízminőségi komponenseket milyen időközönként szükséges vizsgálni. Erre vonatkozóan meg kell vizsgálnia a csapadékhullás során a víztestekben fellépő vízminőség változás mértékét.

A települések területéről lefolyó csapadékvíz mennyiségi és minőségi paraméterei rendkívül széles határok között ingadoznak. A felszíni lefolyás befogadókra kifejtett vízminőségi hatásának általános jellemzője az első szennyezés hullám okozta lökészerű szennyezőanyag terhelés (pl. érintett felületekről lemosódó, illetőleg kimosódó szennyezőanyagok) ezt mutatja a következő ábra [123].



3. ábra: Esőzés határása bekövetkező hidrográf görbe [123]

A pontszerű mintavételezés mindig információvesztéssel jár az ennél gyakoribb folyamatoshoz bármilyen mértékben is közelítő a változékonyságot minimum a kétszeresen meghaladó mintavételezéshez képest (Nyquist-Shannon mintavételezési törvény).

A mintázás sűrűségének a meghatározásához, használhatjuk a Nyquist-Shannon tételt (1940). A Shannon-Nyquist-féle mintavételezési tétel a jelfeldolgozás elméletének egyik legfontosabb eredménye, mivel ismerve egy jel fizikai tulajdonságait, a tétel segítségével meghatározhatjuk azt a mintavételezési időt, mely használata esetén az eredeti jel hibátlanul visszaállítható. A tétel kimondja, hogy a mintavételi frekvenciának legalább kétszer nagyobbnak kell lennie, mint a jelben előforduló legnagyobb frekvencia összetevő ( $f_{\max}$ : a jel komponensei közül a legnagyobb frekvenciájú hasznos jel frekvenciája)

$$f_s > 2f_{\max}$$

Az  $f_s$  feletti, magasabb frekvenciájú jelkomponensek a zaj kategóriába esnek (egyenletes teljesítménysűrűségű, információt nem hordozó jelspektrum rész). Az általános tétel világosan megalapozza a jelre szuperponálódó, a jelforrás megfigyelendő alapfolyamatainak finomabb részleteit elfedő zaj eltávolítási módszereinek adaptálását, illetve behangolását (filter design & tuning) [111],[112],[113],[114].[115].

## 2.3 Hazánkban működtetett automata folyamatos monitoring rendszerek

A vízminőség védelmének és a szennyezések gyors felderítésének legfontosabb eszköze a vízszennyezők koncentrációjának periodikus mérése, vagyis monitorozása. Ennek keretében a felszíni vizek megfigyelését és állapotértékelését szolgáló vízminőség ellenőrző vizsgálatokat és a nemzetközi, határvízi vizsgálatokat a Vízügyi Igazgatóságok mérőlaboratóriumai az elemzéseket a Kormányhivatalok végzik.

A szennyeződések azonnali észlelésére a folyamatos üzemű automatikus vízminőségmérő és riasztó állomások a legalkalmasabbak. Az ilyen típusú állomások nemcsak ezeknek a folyóknak a vízminőségéről adnak felvilágosítást, hanem a mért adatok rendszerezésével és elemzésével a szennyezők koncentrációjában bekövetkezett hosszútávú változások, tendenciák is megállapíthatók.

### **Dráva Automata Monitor Állomás 2000-2009**

A Dráván működő automata vízminőség monitor állomás 2000-ben Barcson a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén a Dráva folyó 155-00 fkm szelvényében épült meg a **Dráva Automata Monitor Állomás** és 2009-ig működött. Az állomás a Dráva Környezeti Monitoring Rendszerének része volt. Komplex rendszer kialakítása és üzemeltetése, amely alkalmas a térségek alapállapotának a felmérésére, ellenőrzésére és a változások figyelésére (Dolgosné, 2008).

A kialakításának a háttere volt, hogy Horvátország Novo Virje térségében terveztek vízierőművet építeni, teljes egészében saját területen és saját hasznosításra. Emiatt Magyarország számára az országhatáron áterjedő környezeti hatások feltárása, minősítése és az erőmű létesítése, üzemeltetése által okozott hatások, következmények megítélése fontossá vált. Kiemelendő a 2066/1999. (III. 31.) Kormányhatározat, amely „a Dráva térség környezeti és természeti értékeinek védelmével kapcsolatban elrendeli a Dráva térség részletes környezeti és természeti monitorizáló rendszerének létrehozását és működtetését”. Az állomás épületében hét analizátor, egy automata mintavevő és egy adatfeldolgozó rendszer került telepítésre. A beépített hét analizátorral **tizenegy paraméter folyamatos mérése** (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, klorofill-a, TOC, KOI, nitrát, ammónium, foszfát, lebegőanyag tartalom) és automata vízmintavétel volt biztosítva. A műszerek tisztítását, karbantartását és friss mérőoldattal való feltöltését **heti gyakorisággal** végezte a Felügyelőség. A programozható automata vízmintavevő segítségével lehetséges volt (akár a laboratóriumból adott utasításra) különböző idejű átlagminták vétele.

Az analizátorok a 11 komponenst **félórás időközönként mérték**, és folyamatosan rögzítésre kerültek a vezérlő számítógépen a hidro-meteorológiai állomás adataival együtt.

Az automata monitor állomás, a holtágak és a Duna három pontjának mérési eredményeiről és azok értékeléséről évente összefoglaló jelentést készített a Felügyelőség, amit megküldött a Minisztérium részére. A monitoring állomás

működtetéséhez a Felügyelőség nem rendelkezett ehhez szükséges anyagi forrással, így a monitor állomás üzemeltetését 2009. év során felfüggesztették.

Összességében elmondható, hogy a Hatóság részéről az állomás teljesítette a létrehozásakor megfogalmazott célt.

### **Csókakői-patak és a Büdös-árok vizsgálata 1998-2002**

Nyugat-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség 1998-ban telepített két állomást és öt éven át működtették a felszíni vizek minőségének (immisszió) és a kibocsátásának (emisszió) ellenőrzése végett.

Mintavételi helyek, ahol a mintavevő állomások telepítésre kerültek:

- A Csókakői-patakon Keszthely külterületén (csak mintavételezés történt a beépített automata mintavevővel)
- Büdös-árok keszthelyi szakaszán (itt telepített automata vízmintavevő helyszíni mérésekre (pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, vízhozam, csapadék mennyiség mérése is történt)

A mintavevő állomás telepítésének a célja volt, hogy a Balatont közvetlenül terhelő kisvízfolyások és befolyók vízgyűjtőinek vizsgálata. A Balaton vízgyűjtőjén a foszforterhelés csökkentése és az ökológiai állapot javítása érdekében.

Értékelve a Felügyelőség elmondása szerint, a telepítés elérte a célját, mivel az időszakos, kis vízhozamú vízfolyások esetében nehéz értékelhető vízminőség adatokhoz jutni, mivel csak nehezen lehet meghatározni a mintavétel megfelelő időpontját, de az automata mintavevők segítségével információt kaptak a helyszíni mintavételezés, helyszíni mérések, valamint a laboratóriumban elvégzett vizsgálatok eredményei alapján.

### **Tiszai Monitoring Rendszer 3 mérőállomás 2001-2015**

Tisza Vízgyűjtő Monitoring Rendszer (Automatikus vízminőségmérő és riasztó rendszer A Környezetvédelmi Minisztérium (KöM) és az Amerikai Egyesült Államok Fejlesztési Ügynöksége (USAID) 1996 októberében szándéknyilatkozatot írt alá a „Danube Transboundary Pollution Reduction” (Dunai határvízi szennyezés csökkentése) projekt keretében automatikus vízminőség mérő monitorállomások kiépítésére, amelyek a külföldről érkező rendkívüli vízszennyezések esetén riasztási szolgáltatást is nyújtanak ([www.rivermonitoring.hu](http://www.rivermonitoring.hu)).

Így létrejött a **Tiszai Monitoring Rendszer három** mérőállomással (Hernádszurdok, Pocsaj, Csenger, Técső (Ukrajna)). Működött 2001-2015 között.

Magyarországon működött (2001 – 2015. december között) de jelenleg működését felfüggesztették a Tisza- Vízgyűjtő Monitoring Rendszernek (Automatikus Vízminőségmérő és Riasztó Rendszer).

A mérési adatok elsősorban a kétoldalú határvízi együttműködés keretében a külföldi vízgyűjtőkről jelzett szennyezések levonulásának nyomonkövetésére hasznosíthatók, illetve olyan projekteknél, ahol különböző modellezési feladatokhoz, állapotértékeléshez nagy gyakoriságú, pl. 24 órás mérések szükségesek. Különösen jók voltak a tapasztalatok a víz hőmérséklet, az oldott oxigén és a klorofill-a koncentrációk napi változási ciklusainak vizsgálatában. A rendszer értékelése: Ahhoz, hogy a mérési adatok hatósági

eljárásokban használhatók legyenek, illetve megfeleljenek az EU monitoring mérésekkel kapcsolatos előírásoknak a rendszer a mérési módszerek akkreditálása/validálása lenne szükséges.

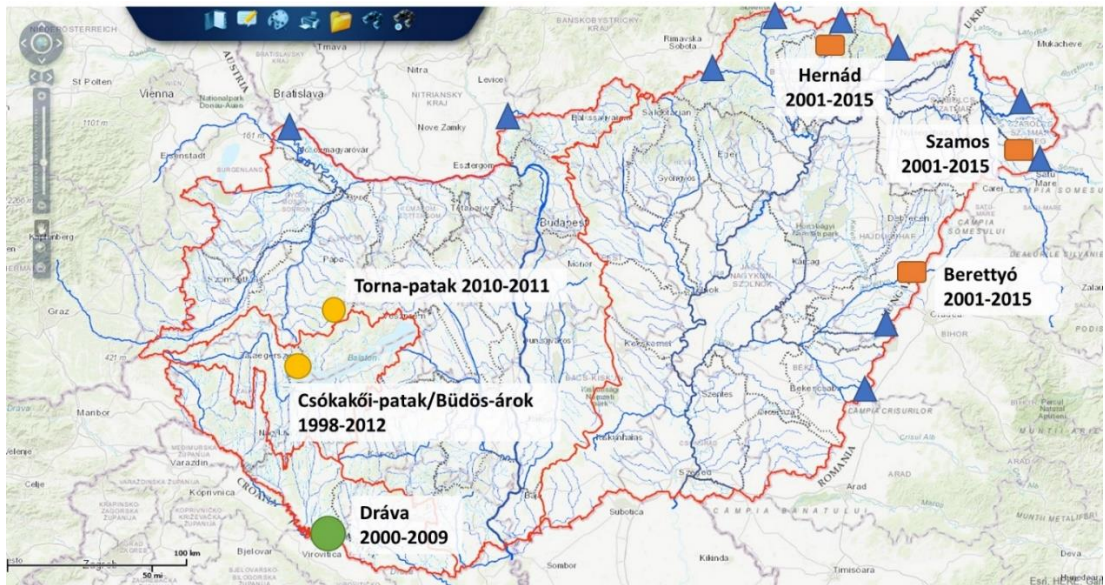
#### **AVITAR Torna-patak vízminőségének vizsgálata 2010-2011**

**Közép-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség** részéről 2010. decemberi Torna-patak devecseri szakszán az Országos Vízügyi Igazgatóság Műszaki Irányító Törzsének utasítása alapján került üzembe helyezésre egy mérőkonténer (AVITAR), amely 2011 decemberéig óránként helyszíni pH és elektromos vezetőképesség mérést végzett. Az adatok e-mailben kerültek továbbításra a Felügyelőség, az Országos Vízügyi Igazgatóság Műszaki Irányító Törzs, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, az Újjáépítési kormányzati Koordinációs Központ és az OVF részére. Amennyiben a pH értéke 9,5 fölé emelkedett, a rendszer automatikusan e-mail mellett SMS-t küldött az érintett szervezetek részére.

**Külföldről érkező kis és közepes folyók vízhozamának és fiziko-kémiai paramétereinek automatikus távmérése a határt metsző vízfolyásokon,** ahol automatikus mérés 12 vízfolyás határszelvényében valósul meg. A kijelölt szelvények a Mosoni-Duna, az Ipoly, a Sajó, a Bódva, a Hernád, a Bodrog, a Tisza, a Szamos, a Sebes-Körös, a Fekete Körös, a Fehér-Körös és a Rába határszelvényeinél helyezkednek el, amelyek közül kilenc esetben a vízhozam, 10 állomásnál a vízminőség mérő monitorrendszer kerül kiépítésre. A vízminőségi paraméterek között a hőmérséklet, pH, vezetőképesség és oldott oxigén mérése történik meg, ami alkalmas a vízminőségi haváriák riasztására.

Az országban több folyamatos automata vízminőség monitoring állomás működött. A fenntartási és működtetési rendszer, valamint a finanszírozási problémák miatt jelenleg nem üzemelnek a fent említett állomások (4. ábra).

A felszíni vizek minőségének ellenőrzésére vonatkozó adatok és az értékelési eredmények adathiányt szolgáltathatnak olyan hatékony politikák számára, amelyek elősegítik a felszíni vizek védelmét, helyreállítását és kezelését a vízgyűjtő területeken. Az ilyen jellegű automatikus vízminőség-ellenőrzési rendszerek hozzájárulhatnak a Duna-medence jobb minőségi állapotának biztosításához fűződő nemzetközi erőfeszítésekhez, amely más vízgyűjtők esetében követendő modell.

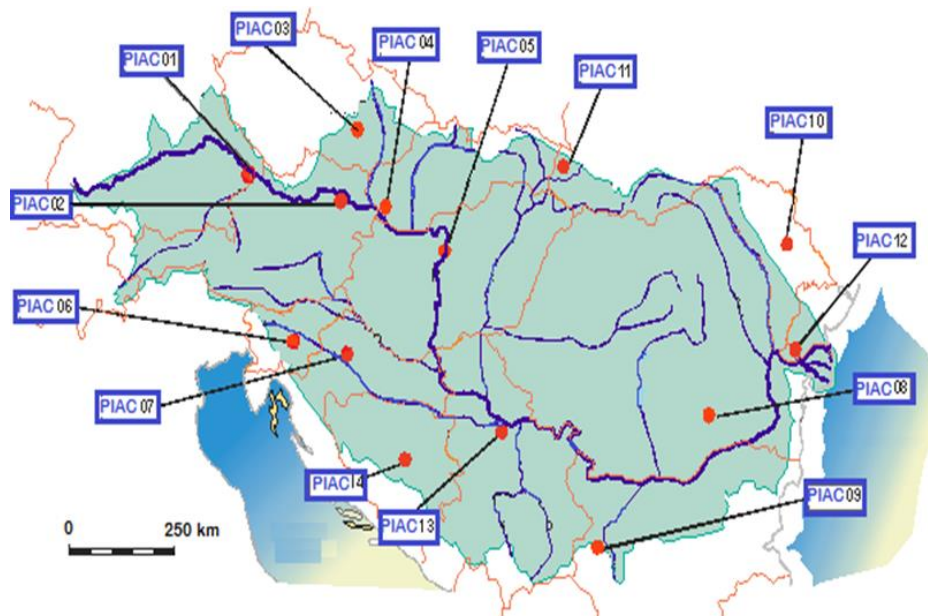


4. ábra: Magyarországon működtetett automata folyamatos monitoring állomások

Jövőbeli cél az így szerzett tapasztalatok felhasználásával az automata folyamatos monitoring rendszer működtetésének újratervezése és optimalizálása, továbbá a megfelelő alapot biztosító mérés-technikai, illetve kommunikációs technikák alkalmazása.

### 3. ELŐREJELZŐ RENDSZER EARLY WARNING SYSTEM (EWS)

A Duna vízgyűjtőn működő **Baleseti Vészhelyzet Risztó Rendszer (Accident Emergency Warning System AEWS)** keretében a Nemzetközi Bizottság és a Duna Védelmi Nemzetközi Bizottság (ICPDR), néhány balesetvédelmi intézkedést figyelembe vett a Duna és a Tisza országaiban. A Duna AEWS, amely során, a határokon átnyúló környezetszennyezési balesetokról figyelmezteti az érintett országokat ([www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)). Az AEWS (5. ábra) gyakorlati megvalósítására vonatkozó döntéseket az 1992 Helsinkai Egyezmény országhatáron túli szennyezések és a szófiai Nemzetközi Duna Védelmi Egyezmény, 1994 ([www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)) alapozta meg.



5. ábra: Accident Emergency Warning System (AEWS) (Danube River Basin; 2015)

Amikor észlelik a határokon áttérjedő szennyezést, akkor figyelmeztető üzenet kerül továbbításra az érintett országoknak a Principal International Alert Center (PIAC) rendszeren keresztül.

Ez a PIAC értesítési procedúrája fontos szerepet kap a döntéshozatalban. A folyamatos kommunikációs egységen keresztül figyelmeztető üzenetet kapnak a szakértők, akik eldöntik, hogy el kell-e indítani a nemzetközi figyelmeztetést (AEWS, ICPDR, 2014). A pontforrásból származó veszélyes anyagok csökkentése alapvetően szabályozási intézkedésekkel érhetőek el. A 2008/105/EC irányelv környezetminőségi előírásokat és vízszennyezettségi imissziós határértékeket határozza meg. Ezt módosította a 2013/39/EU irányelv az elsőbbségi anyagok vonatkozásában (12 új anyaggal bővült a lista).

Magyarországon évente közel kétszáz olyan környezeti kárbejelentés történik, amelyet ki kell vizsgálni. A bejelentések negyede olyan komolyabb esemény, hogy kárelhárítás és vizsgálati monitoring működtetése szükséges, évente 5-10 szennyezés határon túlról érkezik. A legtöbb szennyezés levonulása, illetve a kárelhárítás csak néhány napig tart, de a legveszélyesebb rendkívüli események időben hosszabban is elhúzódhatnak (pl.



tiszai cianid szennyezés, a vörösiszap-tragédia, a Rába habzás). A felszíni vizek monitoringjának jövőbeli alakítása során a cél a komplex igényeknek történő megfelelés.

**Az EWS rendszer jelentése: Folyamatos üzemű (ettől korai) és azonnali beavatkozást biztosít ettől riasztó. Ezért az ilyen rendszereknél először meg kell határozni milyen célokra, akarjuk használni, mert ez adja a tervezésünk léptékét.** Ehhez jól megválasztott indikátor paramétereknek az olcsó, stabil, és egyszerű mérése szükséges, amely jelzi, hogyha drága és bonyolult mérésekre van szükség a helyzet egyértelműsítésére. Más lesz a tervezés léptéke a határszelvények ellenőrzésére tervezett rendszer (tulajdonképpen ismeretlen komponensekre) és a konkrét szennyezőforrásra, havária esetére tervezett rendszerek esetében.

A korai előrejelző/riasztási monitoring rendszer (Early Warning System - EWS) hálózat kiegészítő információt szolgáltathat a folyamatos mérési időszoraiival. Ezáltal összefüggéseket/korrelációt lehet keresni a folyamatos mérés és a jelentésekben közölt eredmények között, ezzel is támogatva a vízgazdálkodási feladatokat és segítve az országokat, hogy minél gyorsabban és hatékonyabban elérjék a Víz Keretirányelv alapján kitűzött célokat.

Ahhoz, hogy egy monitoring hálózatot kialakítsunk, vagyis meghatározzuk a folyamatos monitoring tevékenységet folytató **állomások helyét**, valamint azoknak a fizikai-kémiai **indikátor paraméterek listáját**, amelyeknek a mérésével megfelelő információt tudunk szolgáltatni a részvízgyűjtők víztestjeinek állapotáról. Ezért széleskörű tárgyalásokat (Kétoldalú Határvízi Egyezmények) kell folytatni a kölcsönös érdekű határvízi monitoring rendszerekről az érintett országokkal.

A korai előrejelző monitoring rendszer tervezett elemei a következők:

- **Határvízi pontok (országhatárok)**
- **Veszélyes objektumok alatti** folyóvíz-szakaszok megfigyelése. A pontokat úgy kiválasztva, hogy a pontszerű bevezetéseken át és a talajra történő kiömlést követően a vízbe kerülő szennyezőket egyaránt jelezze.
- **Részvízgyűjtőket jellemző** pontok és a **jelentős vízfolyások** feltérképezése. A vízfolyásokat potenciálisan szennyező magas kockázatú veszélyes objektumok mellett a részvízgyűjtőkön még számos alacsonyabb kockázatú szennyező forrás is található. Ilyenek többek között az E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register) listán szereplő objektumok és a Kommunális szennyvíztisztító telepek (TESZIR) pontjai. Továbbá a vízgyűjtőket érő diffúz terhelések miatt egy általános lefedést adó monitoring ponthálózat kialakítását is célszerű megtervezni.

### **A korai jelző rendszerek (Early Warning Systems) alapelemei**

A távfelügyeleti rendszerek gyors terjedésével lehetővé vált a más tudományterületeken régóta használt korai jelző rendszerek (Early Warning Systems, EWS) alkalmazása, adaptálása a felszíni vízminőség monitoring területére. A

kialakításra kerülő rendszer legfontosabb célkitűzésének tekintjük a korai változás jelzésének képességét.

A korai előrejelzések alapelve szerint minél hamarabb és minél pontosabban tudjuk előre jelezni az akár természeti, akár emberi tevékenységből származó veszélyekhez társítható rövid- és hosszú távú potenciális kockázatokat, annál nagyobb az esély arra, hogy kezelni és enyhíteni tudjuk a katasztrófák hatását a társadalom, a gazdaság és a környezet vonatkozásában egyaránt.

A korai jelzőrendszerek négy fő elemből állnak, melyeket egyenrangúnak kell tekinteni, ugyanis a rendszer bármely elemének hibája, vagy hiányossága a rendszer egészének hibás működését fogja eredményezni:

1. *Kockázatok felmérése:* A kockázatértékelés nélkülözhetetlen információkat nyújt a mérséklési (enyhítési) és megelőzési stratégiák prioritásainak meghatározásához, és a korai előrejelző rendszer megtervezéséhez.
2. *Monitoring és előrejelzés:* A monitoring és előrejelzés eszközeit integráló rendszerekre van szükség, melyek kellő időben becsléseket szolgáltatnak a közösségeket, a gazdaságot és a környezetet érő potenciális kockázatokról.
3. *Információk továbbítása:* Olyan kommunikációs rendszerek szükségesek, melyek továbbítják a figyelmeztető üzeneteket a potenciálisan érintett helyekre, és riasztják a helyi és regionális állami szervezeteket. Az információellátással szemben támasztott követelmények közé tartozik a megbízhatóság, egyszerűség, mindenki (szakhatóságok és adott esetben a lakosság) általi érthetőség.
4. *Reagálás, válaszlelések:* A hatékony előrejelzés további kulcsfontosságú pontjai: a koordináció, felelősségteljes kormányzás és a megfelelő cselekvési tervek megléte. Hasonlóképpen, a katasztrófa enyhítésének kritikus aspektusai: a társadalmi tudatosság és az oktatás.

A korai figyelmeztető rendszerek kiépítésének és gyakorlati alkalmazásának csak akkor van értelme, ha a korai észleléshez, korai intézkedés is tartozik. Ezért a rendszer tervezésénél figyelembe kell venni az előrejelzés várható időskáláját. A veszélyhelyzet kialakulásának időskálája alapján a környezeti veszélyek két csoportba sorolhatók:

1. Gyorsan / hirtelen kialakuló veszélyek:  
baleset következtében bekövetkező olajszennyezés; vegyi üzemi baleset és a legtöbb hidrometeorológiai veszélyhelyzet (áradás), stb.
2. Lassan kialakuló veszélyek („Slow-onset” vagy “creeping”):  
olyan inkrementális (kis léptékkel növekvő), de a hosszú távú, halmozódó környezeti változások, amelyekre általában kevés figyelmet fordítanak kialakulásuk korai fázisában, de idővel, súlyos válságot okozhatnak. Ezek közé tartoznak a vízminőség hosszú távú változásai, a nitrogén túlterheltség miatt bekövetkező változások, a biodiverzitás csökkenése, élettér csökkenése, stb.

Az előrejelzés időskáláját alapvetően meghatározza, hogy az előre jelezni kívánt veszélyhelyzet milyen gyorsan alakul ki és milyen nagy területet veszélyeztet. A gyorsan kialakuló, kis területet veszélyeztető események előre jelezhetősége csupán néhány óra, ezzel szemben a szezonális változásokhoz kapcsolható eseményeket éves, míg a globális változásokat évtizedes távlati előrejelzések jellemzik.

**2. táblázat: A EWS rendszer riasztási jelzéseinek összefoglalása**

| <b>Riasztási típusok</b>                 | <b>Részletes bemutatása</b>  |
|--|--|
| Vízminőség változás jelzése              | - jelzés (normál), amikor figyelmeztetést küldünk SMS-ben (szöveges vagy hangüzenet) vagy e-mailben, amikor egy meghatározott határértéket túlléptünk<br>- vízmintavételre vonatkozó jelzés:<br>Előre meghatározott helyzetekben a vízmintát beépített hűtött mintavevő segítségével vesszük és az üzemeltető viszi a laboratóriumba a mintát (pl. óránkénti mintavétel, 24 órás átlagminta, mindig történik mintavétel és csak probléma esetén tartja meg a mintát és jelzést küld az üzemeltetőnek). A minta tárolása esetén meg kell határozni az edénytípusát a meghatározandó paraméterekhez igazítva (pl. üveg vagy műanyag) |
| Mérőrendszer jelzései                    | - a mérőeszköz meghibásodása<br>- hibás mintavételre (pl. nincs vízminta, szivattyúhiba)<br>- az akkumulátor töltöttségi szintje alacsony<br>- a reagens mennyisége alacson / cseréje<br>- kalibrálás szükséges  |
| A monitoring állomás biztonsági jelzései | -ajtónyitás érzékelő<br>- GPS koordináták változásának észlelése<br>-tápellátási problémák   |
| Téves riasztások                         | -üzemelési probléma (mérőeszköz szennyezettség, mintavételi rendszer)  |

#### **4. Összefoglalás a felszíni víz monitoring rendszerek és eszközök tekintetében**

Kiemelkedően fontos, hogy komplex moduláris vízmonitoring rendszerek álljanak rendelkezésünkre. Az on-line távvezérelhető mobil vízminőség ellenőrző állomások alkalmazása lehetővé teszi a változások előrejelzését és folyamatos nyomon követését, valamint a jelenleg elérhető mérés technikai és informatikai megoldások biztosítják, hogy távolról is hozzáférjünk azonnali információkhoz.

Az automata mobil mérőállomások esetében a kutatási és fejlesztési célok közül kiemelendő, a minél komplexebb kialakítás és költséghatékonyabb fenntartás elérése.

## 5. FELSZÍNI VIZEK ÁLLAPOTÁNAK ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREI

A minőség a követelményeknek való megfelelés. A vízminőséget számos tényező együttesen határozza meg. Szinte valamennyi európai országban, így hazánkban is több évtizedes múltja van a felszíni vizek mérésének és vizsgálatának. A felszíni vizek minősítésére az egyes európai országokban más-más rendszereket használnak, kivéve azokat a vizeket, ahol a rendeletek előírásait kell figyelembe venni (Clement et al. 2006; Szabó, 2008). Több évtizede hazai és nemzetközi kutatók kísérleteznek az egységes minősítési és osztályozási rendszerek kidolgozásán.

**A VKI 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.**

1078 felszíni víztest 87%-ról állt rendelkezésre ökológiai állapotértékelésre alkalmas adat. A felszíni vizek ökológiai állapota a vízfolyásokra és az állóvizekre vonatkozóan biológiai, fizikai-kémiai (kiváló állapot esetén), hidromorfológiai információk alapján 9%-ban mutatott kiváló és jó állapotot/potenciált és 77 %-ban igényel a jó állapot/potenciál elérése érdekében valamilyen típusú intézkedést, amelynek a megoszlása 40% mérsékelt, 27% gyenge és 10% rossz ökológiai állapotot mutat. A víztestek 11%-a adathiány miatt nem került minősítésre 3% -ra pedig nem alkalmazható a minősítési rendszer.

Mivel a Víz Keretirányelv (VKI) 2000. évben lépett hatályba, az EU-tagállamok kötelesek jelentést tenni a vizek jó állapotának elérése és megőrzése érdekében tett lépésekről. A cselekvési célok elérése érdekében készített intézkedési tervek során különös figyelmet kell fordítani azon víztestek ellenőrzésére, amelyek nem érik el a jó minőségű és az intervenciós intézkedések hatékonyságának felügyeletét. A vizek minőségének helyreállítása és fenntartása érdekében, a szerves, tápláló és veszélyes anyagokból származó négy fő nyomás csökkentésére, valamint a vízmorfológiai változásokra való összpontosítás érdekében folyamatos vízminőség-ellenőrzésre van szükség.

A felszíni vízminőség leggyakoribb problémáit (főként települési területek) és diffúz források (a mezőgazdaságból, főleg a nitrogénből és a foszforból származó tápanyagok felhalmozódása) és a hidro-morfológiai terhelések okozzák, amelyek hátrányos változásokat okoznak az élőhelyek állapotában. A víztestek rossz kémiai minőségét nehézfémek és ipari vegyszerek (stb.) peszticidek okozzák. Két fő monitoring program segíti az országokat, hogy képesek legyenek a vizeik minőségének értékelésére: "felügyeleti" és "operatív" monitoring programok.

A leggyakrabban előforduló éghajlatváltozás által okozott szélsőséges jelenségek hatásainak vizsgálata, mint például a heves esőzések által a fent említett módszerekkel mosott szennyezőanyagok mennyisége, megkérdőjelezhető. Ez a típusú szennyezés veszteséges eseményeket okozhat olyan víztestekben, amelyek korlátozott mértékben képesek a szennyező anyagok hígításának biztosítására.

## 5.1 A Víz Keretirányelv minősítési módszere

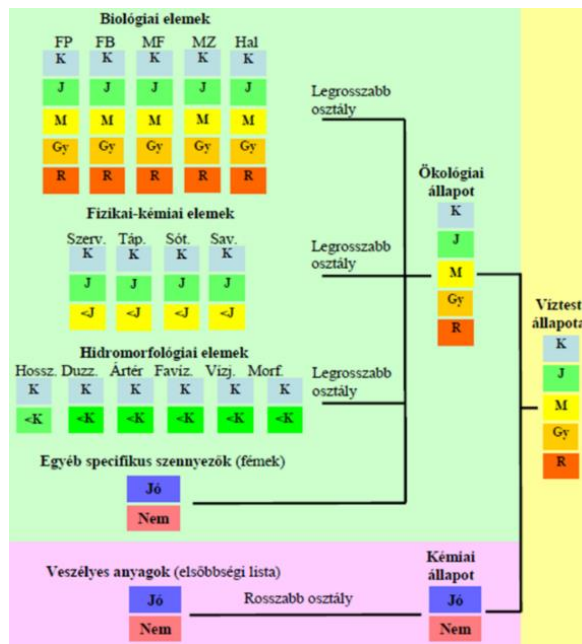
A VKI környezeti célkitűzése felszíni vizek esetén a jó ökológiai és kémiai állapot. Ezek közül az 5 osztályos ökológiai állapotra helyezi a hangsúlyt, ezért a mennyiségi monitoring keretében a biológiai elemekre hatással lévő hidrológiai és morfológiai elemeket kell vizsgálni. A biológiai elemekre hatással lévő fizikai, kémiai elemek két nagy csoportja az általános összetevők és különleges szennyezőanyagok. Az általános jellemzők egy része a biológiai élethez nélkülözhetetlen alkotója az élővizeknek, ilyenek például a tápanyagok, az oxigén, különféle sók, más része a vizekben keletkező, vagy azokba kívülről bekerülő szerves anyag mennyiségére jellemző, úgynevezett összegparaméter. A vizsgálandó anyagok listáját minden ország szabadon bővítheti, ezzel a lehetőséggel - a Duna Védelmi Egyezmény társországaival közösen - hazánk is élt, és négy fémrel (réz, cink, króm és arzén) kiegészítette a listát. Ezek az úgynevezett vízgyűjtő-specifikus anyagok (RBSP). Az első három fém nyomelemként fontos, tehát nem tekinthető teljesen élet idegennek, ugyanakkor az ipari tevékenység folytán káros, mérgező koncentrációkat is elérhet, ezért kerültek ezek az ökológiai értékelést befolyásoló anyagok közé a monitoring-rendszer szempontjából.

A kémiai monitoringba sorolt veszélyes anyagok körét és a rájuk vonatkozó környezetminőségi előírásokat (EQS) az Unió központilag és kötelezően meghatározta a Víz Keretirányelv VIII., IX. és X. mellékletében, illetve 2008/105/EK irányelv104 kihirdetésével. A veszélyes anyagok, illetve más néven az elsőbbségi anyagok (priority substances) azok, amelyek a vízi környezetre vagy a vízi környezeten keresztül a bióta elemeire és végső soron az emberre jelentős kockázatot jelentenek. Az elsőbbségi anyagokat felsoroló első lista 33 elemet tartalmazott (ún. „33-as lista”), amelyet az EU irányelve a 2013/39 EU direktíva EQS rendelete bővített.

Hazánkban a felszíni víz minősítési folyamatának a változása. Az MSZ EN 12749:1993 szabványt felváltotta a típus specifikus minősítés a VGT megjelenésével. A VGT1 5.2 mellékletében szerepelt a különböző tipológiai típusokhoz kapcsolódó vízminőségi határértékek. Majd megjelent a 10/2010 (VIII.18) VM rendelet, amelyet jelenleg használunk a vizek minősítésére. A jogszabály kizárólag a jó és a mérsékelt vízminőségi határértéket adja meg. A VGT2-ben megtörtént a tipológiai típusok validálása és az eddig 25 tipológiai típus helyett 10 tipológiai típushoz határozták meg az öt osztályos vízminőségi határértékeket.

**A VKI alapú minősítés folyamatának lépései:** első lépésként a felszíni vizeket víztestekre határolják le a Víztest Útmutató módszertanát követve. A lehatárolt víztesteket ezután típusokba sorolják a VKI által definiált (VGT2, 2015) hidrológiai és hidro-morfológiai paraméterek alapján: mélység, szélesség, mederjellemzők, vízparti zóna, kapcsolat a vízáadókkal.

A tipizálás pontos kidolgozása után minden víztestet tipológiai csoportba soroltak. Ezután következhet csak az adott víztestek állapotának minősítése a VKI által megadott paraméterek alapján. A víztestek állapotát az ökológiai és kémiai állapota határozza meg, egy 5 osztályos skálán (kiváló, jó, mérsékelt, gyenge, rossz), amit az 6. ábra mutat.



6. ábra: A vízminősítés sémája (K-kiváló, J-jó, M-mérsékelt, Gy-gyenge, R-rossz; <J-jónál rosszabb; <K-jó vagy annál rosszabb) [26]

Az osztályozás szempontjából a biológia öt-; a fizikai-kémiai paraméterek három-; a hidromorfológia két-; és az egyéb specifikus szennyezők esetében is két kategóriát különítenek el. A minősítés a referencia állapothoz viszonyítva történik, hiszen az osztályozáshoz szükség van az állapotot meghatározó legfontosabb tényezők kedvező értékeinek ismeretére, amihez a referencia víztestek illetve állapotok szolgáltatnak alap információt.

Az ökológiai állapotba tartoznak:

- a biológiai jellemzők (5 élőlénycsoport: fitoplankton (FP), fitobentosz (FB), makrofiton (MF), makrozoobenton (MZ), halak (Hal)),
- a biológiát támogató fizikai-kémiai elemek (savasodási állapot, sótartalom, szerves anyag, növényi tápanyag),
- a hidromorfológiai jellemzők,
- és a vízgyűjtőre jellemző specifikus szennyezők (oldott cink, réz, króm, arzén)

A kémiai állapotot a veszélyes anyagok vizsgálatával adjuk meg (elsőbbbségi anyagok listája- first priority list of substances) 33-as lista, ami 12 anyaggal bővült.

A biológiai monitoring eredményeket, az ökológiai minőségi arány (angol elnevezés: Ecological Quality Ratio, röviden: EQR) formájában adják meg (0) legrosszabb és 1 (legjobb) érték között (2008/105/EC). A VGT (VGT2, 2015) alapján fontos kiemelni, hogy az ökológiai állapotértékelés végeredményét döntően a biológiai minősítés határozza meg, de befolyásolja a többi elem minősítése is. Egy víztest ugyanis csak abban az esetben lehet kiváló ökológiai állapotú, ha a biológia minősítés kiváló,

hidromorfológiai és a fizikai-kémiai osztályozás szerint is kiváló és az egyéb specifikus szennyezők eredménye pedig jó.

Jó állapotú pedig akkor lehet, ha a biológia kiváló, a fizikai-kémiai és az egyéb specifikus szennyezők osztályozása jó a hidromorfológia pedig kiváló. Az ökológiai minősítés jó minősítésnél rosszabb (mérsékelt, gyenge, vagy rossz) csak úgy lehet, hogy a biológiai minősítés mellett már csak a fizikai-kémiai osztályozás számít, de az is csak mérsékeltre ronthatja az állapot értékelés eredményét.

A kémiai állapot meghatározása a környezetminőségi határértékek alapján történik (Environmental Quality Standard-EQS), amelyeket ökotoxikológiai és toxikológiai tesztek eredményeit figyelembe véve nemzetközi szakértő csoportok alakították ki (2008/105/EC)..

Hazánkban a víztestenként 1321 felszíni vízfolyást és a hozzájuk tartozó vízgyűjtőt jelölték ki a 10 km<sup>2</sup> alsó korlát figyelembevételével. A kisebb és hasonló vízfolyások egy víztestbe történő összevonásának eredményeként 889 felszíni víztest került lehatárolásra (VGT2, 2015).

A dolgozatomban a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek mérésére és elemzésére fókuszálok ezért az erre vonatkozó minősítési rendszer folyamatát részletesen bemutatom.

A tipológiai típusokban történő változás, hogy a 25 tipológiai típus helyett biológiai validációval 10 tipológiai-, a hidromorfológia alapján további öt tipológiai típust határoztak meg. (A korábbi tipológiába besorolást a 31/2004.(XII. 30.) KvVM rendelet 5. számú melléklete rögzítette, az új típusok pedig a VGT2 mellékletében található meg).

A tipológia alapján módosultak a határértékek, illetve a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek listája is. A határértékek minőségi osztályba sorolása tekintetében bizonyos paramétereknek a jó/mérsékelt határa szigorúbb vagy enyhébb lett. A határértékek megállapításánál a korábbi nyolc csoport helyett (ahol 25-féle víztest típust soroltak be), most kilenc csoportot (15-féle víztest típus) különítettek el.

A biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek listájába bekerült a TOC, illetve a nitrit és a nitrát komponenseket szerves-N formában kell megadni a továbbiakban (VGT2, 2015).

- Első lépésként az elemeket osztályozzuk egy öt fokozatú skálán.
- Második lépésként komponens csoportonként (savasodási állapot, sótartalom, oxigén háztartás, növényi tápanyagok) osztály átlagokat képzünk.
- A harmadik lépésben megállapítjuk a fizikai-kémiai állapotra jellemző minősítési osztályt, a csoportonként meghatározott osztály átlagok maximumából, a kerekítés szabályai szerint adjuk meg az állapotát:

A meghatározott osztály átlagok értékeit a 2. táblázat mutatja.

- Kiváló állapot (Osztály max.  $\leq 1,5$ )
- Jó állapot ( $1,5 < \text{Osztály max.} \leq 2,5$ )

- Nem érte el a jó állapotot (Osztály max. >2,5) [11]

A minősítésből látszik, hogy a VGT1 esetében az osztályátlagok minimumát kellett venni.

A VGT1-ben meghatározott osztály átlagok értékei:

- Kiváló állapot (Osztály min.  $\geq 4,5$ )
- Jó állapot (Osztály min.  $\geq 3,5$ )
- Nem érte el a jó állapotot (Osztály min.  $< 3,5$ )

3. táblázat: Minősítés VGT2 (6-1. melléklet alapján) és VGT1 szerint

| Minősítés (VGT2) |      | Minősítés (VGT1) |      |
|------------------|------|------------------|------|
| Osztály          | Szám | Osztály          | Szám |
| Kiváló           | 1    | Kiváló           | 5    |
| Jó               | 2    | Jó               | 4    |
| Mérsékelt        | 3    | Mérsékelt        | 3    |
| Gyenge           | 4    | Gyenge           | 2    |
| Rossz            | 5    | Rossz            | 1    |

**A nemzetközi vízminőségi összehasonlítást általában nehezíti az országonként eltérő értékelési rendszer.** Az EU Víz Keretirányelv egyik legfőbb törekvése, hogy az állapotértékelést is egységes alapokra helyezze, azaz a hasonló típusú vizek esetén a minősítés meghatározása azonos legyen. Az egységesítést hivatott megteremteni az interkalibrációs folyamat, amely biztosítja a országok szakértő csoportjai számára a minősítési rendszerek összehangolását nemzetközi szinten. A terheléseket érintő tájékoztatás szempontjából alapvető fontosságú a vízminőségi megfigyelő hálózat (monitoring), illetve mivel nem kell mindenhol mindent mérni így ki kell választani az indikátor paramétereket.

A VGT1 (2009) és a VGT2 (2015) eredményei alapján az a következtetés vonható le, hogy a felszíni vizek fizikai-kémiai minősítésénél a fő problémát a hiányos mérési adatok (pl. éves átlagértékek) és a kategorizált paraméterek átlagértékein alapuló VKI számítási módszer jelenti, mely szerint a határértékeket egy összesített szám reprezentálja. Továbbá problémát jelent az EU-s előírásoknak megfelelően folyamatosan bővülő biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterkészlet, veszélyes anyagok listája (2008/105/EK) és hidromorfológiai elemek. Ez előírja, hogy összességében igen nagydimenziójú adathalmazokat szükséges operatív módon kiértékelni.

A víztestek terhelésének monitoringja jelentős erőforrásokat igényel, mind eszköz, anyag és emberi erőforrás oldalról. Egy automata on-line monitoring állomás beszerzése még üzemeltetési költségek jelentős csökkentését jelentő újfajta monitoring eszközök esetén is komoly előtanulmányokat igényel.



4. táblázat: Javasolt biológiai adatokkal validált tipológia (VGT2 1-3. háttéranyag)

| BIOL Típus | HM Típus          | Tengerszint feletti magasság | Geokémiai jelleg | Mederan yag          | Vízgyűjtő méret   | Mederesés                  |
|------------|-------------------|------------------------------|------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|
| 1          | 1                 | dombvidéki-hegyvidéki        | szilikátos       | durva                | kicsi             | nagy esésű (>2,5 ‰)        |
| 2          | 2,3               | dombvidéki-hegyvidéki        | meszes           | durva                | kicsi-közepes     | nagy esésű (>2,5‰)         |
| 3          | 4,5,8,9           | dombvidéki                   | meszes           | durva-közepes-finom  | kicsi-közepes     | közepes esésű (0,15-2,5 ‰) |
| 4          | 6,7,10,13,14      | dombvidéki                   | meszes           | durva                | nagy, nagyon-nagy | közepes esésű (0,15-2,5‰)  |
| 5          | 11,12             | síkvidéki                    | meszes           | durva                | kicsi-közepes     | kis esésű (<0,15‰)         |
| 6          | 15,16,17,18,21,22 | síkvidéki                    | meszes-szerves   | közepes-finom, finom | kicsi-közepes     | kis esésű (<0,15‰)         |
| 7          | 19                | síkvidéki                    | meszes           | közepes-finom        | nagy              | kis esésű (<0,15‰)         |
| 8          | 20                | síkvidéki                    | meszes           | közepes-finom        | nagyon nagy       | kis esésű (<0,15‰)         |
| 9          | 23,               | síkvidéki                    | meszes           | durva,               | Duna méretű       | kis esésű (<0,15‰)         |
| 10         | 24                | síkvidéki                    | meszes           | közepes-finom        | Duna méretű       | kis esésű (<0,15‰)         |

A felszíni vizek minőségének értékelése szempontjából a biológiai és kémiai értelemben vett „jó” minőség egyaránt fontos. Számos tanulmány a vízminőség besorolásához jól elkülöníthető osztályokat javasol és olyan értékelő módszereket, melyek lehetővé teszik, hogy az aktuális paraméter(ek) és határértékei(k) alapján a vízminőség egy bizonyos szűk (1-5-ig terjedő skálának megfelelő) osztályba legyen sorolható. E módszerek alkalmazásának az egyik fő korlátja az, hogy a határértékeket egy összesített szám reprezentálja, ami azt vonja maga után, hogy az osztályba sorolás következtében igen sok biológiailag és kémiailag is fontos információ elvész (Scannapieco et al., 2012).

A dolgozatomban tervezett módszer fejlesztés során ezért célszerű egy nagy adathalmazok gyors feldolgozására alkalmas szimulációs algoritmus alkalmazása továbbá új klaszterező, vízminőség mintázat osztályozó módszereknek a kifejlesztése és bevonása, amely elősegítheti a hagyományos vízminősítés módszereinek optimalizálását. Ezért a felszíni folyóvizek minőség alapú csoportosítása esetében az ismert és jelenleg többnyire használatos klaszterezési és többváltozós statisztikai módszerek (Podani J. 1997) (főkomponens analízis) mellett új diszkrét matematikai megközelítéseken alapuló BOOLE analízis módszer (Jakó É, 1983; Jakó et al., 2009) alkalmazását is célszerű megvizsgálni a víztestek minőség mintázatának felismerésére és csoportosítására.

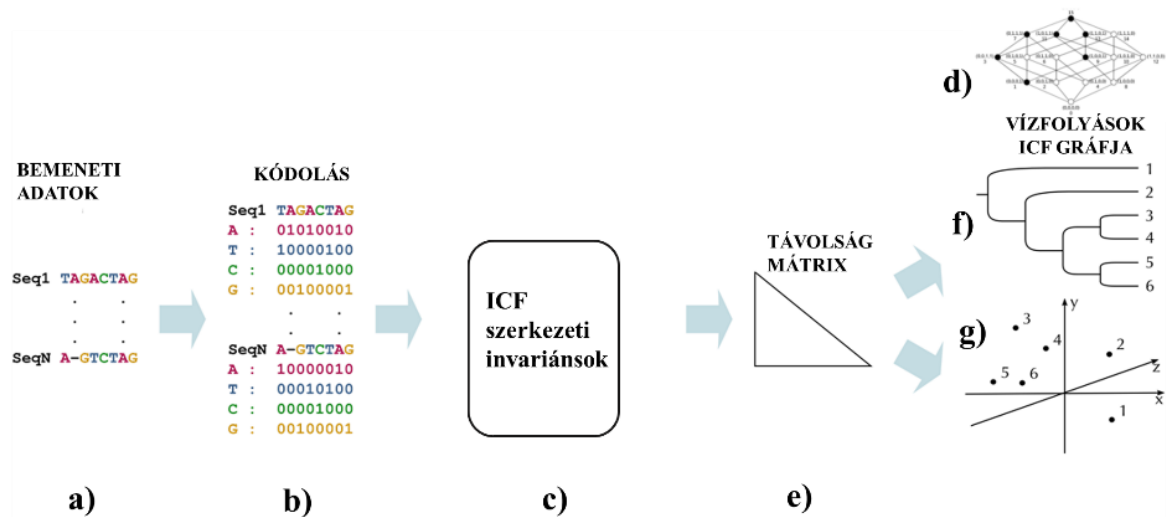
## 5.2 Felszíni vizek osztályozása többváltozós diszkrét matematikai módszer alapján

A víztestek vízminőség alapján történő osztályozásánál az egyik legfontosabb feladat a különböző paraméter kombinációkon alapuló mintázatok felismerése, elemzése és összehasonlítása. A következőkben ismertetésre kerülő diszkrét matematikai osztályozó és mintázat felismerő módszer [76],[78],[77],[74][75], mely a Boole függvények Iteratív Kanonikus Normálformáján (Iterative Canonical Form vagy ICF) alapul szintén ezeket a feladatokat hivatott támogatni. Az ICF a Boole függvények egy viszonylag új és kevésbé ismert kanonikus formája, ahol egy kiindulási függvényhez egyetlen analitikus forma tartozik. Ez lehetővé teszi az osztályozásban való felhasználását. A másik rendkívül előnyös tulajdonsága, hogy a minimalizáció ideje lineárisan függ a változók számától.

Az ICF módszer segítségével a vizsgált adathalmazokban rejtett strukturális jellegzetességek is kimutathatók. További előnyös tulajdonsága, hogy a vizsgált adatszerkezetet minimalizálja, „tömöríti”, így kompakt formában az összehasonlítások egyszerűbbé válnak. Mint ahogy más módszereknél, itt is fontos az adatok megfelelő előkészítése, kódolása. Az ICF segítségével meghatározott eredményhalmazt pedig megjeleníthetjük mind gráf formában, mind fák, dendrogramok vagy ponttérképek formájában [74],[77], illetve további elemzéseket hajthatunk végre egyedi víztestek páronkénti összehasonlításához, vagy területspecifikus víztestcsoportok vízminőségének különböző fizikai-kémiai vagy egyéb paraméter kombinációin alapuló összevetéséhez

### A módszer leírása

A Boole-függvények Jakó-féle Iteratív Kanonikus Formáján (JICF de a továbbiakban is ICF jelölést alkalmazom) alapuló sokváltozós diszkrét matematikai osztályozó és mintázat felismerő módszer folyamatábrája az 7. ábra egymásra épülő blokkjain látható: a) Bemeneti adatok kódolása b) Bemeneti adatok átalakítása Boole-függvény rendszerré c) Szerkezeti invariánsok számítása az ICF algoritmus alapján d) Távolság számítás különböző ismert metrikák és ICF invariánsok alapján e) ICF-gráfok generálása víztestek minősítéséhez szerkezeti invariánsok alapján f) dendrogramok generálása víztestek osztályozásához g) ponttérképek generálása osztályozáshoz.



7. ábra: Az ICF eljárás főbb lépései [77] adaptálva a vízminősítés alapú osztályozáshoz

## Az eljárás főbb előkészítő lépései részletesen

### a) Bemeneti adatok kódolása

Az elemezni és egyszerűsíteni kívánt adathalmazunkat olyan formára kell hozni, amellyel az ICF algoritmus és BOOL-AN (Boolean analysis) programcsomag dolgozni tud. A BOOL-AN programcsomag csak diszkrét matematikai formában megadott bemenő adatokat fogad el (bináris, decimális, karakter-sztring, vagy bináris-sztring). A víztestek állapotát leíró nyers adatok viszont többnyire folytonosak és kevert típusúak, azaz vagy a mérési skálában vagy a felvehető értékek számában van eltérés a mintát jellemző változók között (pl. az alkalmazott 13 fizikai-kémiai paraméterre (pH, vezetőképesség, klorid, BOI<sub>5</sub>, KOI<sub>Cr</sub>, O<sub>2</sub>, O%, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, ÖP) milyenek a mérési egységek és a határértékek - tipológiai típus figyelembevételével - és hogyan történik a bemenő adatok átkódolása).

A VKI a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek minősítéséhez három osztályos rendszert használ: kiváló állapot:  $\geq 4,5$ ; jó állapot:  $\geq 3,5$ ; nem érte el a jó állapotot:  $< 3,5$ . A tesztelés során még a VGT1-ben [25] meghatározott osztályozással dolgoztam (5-kiváló – 1-rossz). A BOOL-AN programcsomag alkalmazásánál a vízminősítéshez nem a VKI szerinti háromszintű minősítési osztályt használtam. Ennek oka, hogy a VKI a jó állapotot el nem érő (pl. a 3,4 vagy 2,4 átlagértékű) víztesteket együtt kezeli, holott a szükségeszerű beavatkozások eldöntéséhez célszerű lenne finomabb felbontást alkalmazni. Ezért a programcsomagban öt osztályos minősítést alkalmaztam, hogy lássam milyen szintű a nem megfelelő állapot. Az ábrázolásokhoz használt színskálám megegyezik a VKI által az ökológiai állapothoz (öt osztályos minősítés) használt színskálával.  $\geq 4,5$  kiváló (kék);  $\geq 3,5$  jó (zöld)  $< 4,5$ ;  $\geq 2,5$  mérsékelt (sárga)  $< 3,5$ ;  $\geq 1,5$  gyenge (lila/barna)  $< 2,5$ ; (piros)  $\leq 1,5$  rossz.

A kódolás menete a VKI alapú minősítés szerint a következő: a víztest tipológiai besorolása alapján a mért értékeket összehasonlítjuk a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben

megadott határértékekkel (minősítés 1-5 kategória alapján), azaz a mérési eredmények alapján elvégezzük az elemenkénti osztályozást az ötfokozatú skálán, majd kiszámoljuk a 13 fizikai-kémiai paraméterből képzett savasodás, sóháztartás, oxigén- és tápanyagháztartás csoportoknak az átlag értékeit. A csoportátlagok közül a legrosszabbat választjuk, és ez alapján történik a víztest biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterre történő minősítése.

Példa a VKI alapú minősítés számítására:

5. táblázat: Az ICF algoritmus szerinti osztályozás bemeneti adatainak kódolási mintája

| Sorszám | Vízfolyás   | Tipológiai típus | Sav  | Sóháztartás |        | Oxigénháztartás |                   |                |     |                   | Növényi háztartás |                   |      |                   |      |
|---------|---|------------------|------|-------------|--------|-----------------|-------------------|----------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|
|         |   |                  | pH   | Vezképeség  | Klorid | BOI             | KO <sub>lcr</sub> | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> N | NO <sub>2</sub> N | NO <sub>3</sub> N | ÖN   | PO <sub>4</sub> P | ÖP   |
| 1       | Pécsi-víz középső                                 | 9                | 7,94 | 1289        | 91     | 2,68            | 20                | 6,48           | 59  | 0,531             | 0,194             | 5,950             | 8,03 | 994               | 1142 |
|         | 10/2010 (VIII.18) VM rendelet alapján a minősítés |                  | 5    | 3           | 3      | 4               | 3                 | 3              | 3   | 3                 | 3                 | 2                 | 3    | 2                 | 2    |
|         | Át kódolás  |                  | A    | C           | C      | T               | C                 | C              | C   | C                 | C                 | G                 | C    | G                 | G    |
|         | Paraméterek pozíció száma az n-kockán             |                  | 0    | 1           | 2      | 3               | 4                 | 5              | 6   | 7                 | 8                 | 9                 | 10   | 11                | 12   |

Mint a 5. táblázatból látható, az ICF algoritmuson alapuló vízminőség osztályozó módszer a víztestek mérési adatainak a paraméter alapú minősítési értékét veszi alapul. Minden egyes víztestet egy sorszám és egy név jelöl és a fizikai-kémiai minősítési értéknek megfelelő A,T,C,G,F,'-' karakterekből álló szekvencia írja le. A karakterek pozíciószámai a fizikai-kémiai paramétereket jelölik, pl. az 'ACCT CCCCCGCGG' karakter szekvencia formában kódolt bemeneti adatok alapján, a Pécsi-víz pH értéke kiváló; a biológiai oxigén igény (BOI<sub>5</sub>) jó; a só- és oxigénháztartás többi paramétere, valamint a nitrit és az ÖN mérsékelt; míg a nitrát, a PO<sub>4</sub>-P és összes foszfor gyenge minősítéssel szerepel.

A 6. táblázat a VKI minősítésben alkalmazott csoportképzési logikát illusztrálja.

6. táblázat: A VKI minősítésben alkalmazott csoportképzési logika

| Sorszám | Vízfolyás   | Tipológiai típus | Sav                    | Sóháztartás |        | Oxigénháztartás |                   |                |     |                   | Növényi háztartás |                   |      |                   |      |
|---------|---|------------------|------------------------|-------------|--------|-----------------|-------------------|----------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|
|         |   |                  | pH                     | Vezképeség  | Klorid | BOI             | KO <sub>lcr</sub> | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> N | NO <sub>2</sub> N | NO <sub>3</sub> N | ÖN   | PO <sub>4</sub> P | ÖP   |
| 1       | Pécsi-víz középső                                 | 9                | 7,94                   | 1289        | 91     | 2,68            | 20                | 6,48           | 59  | 0,531             | 0,194             | 5,950             | 8,03 | 994               | 1142 |
|         | 10/2010 (VIII.18) VM rendelet alapján a minősítés |                  | 5                      | 3           | 3      | 4               | 3                 | 3              | 3   | 3                 | 3                 | 2                 | 3    | 2                 | 2    |
|         |   |                  | 5                      | 3           |        |                 |                   | 3,2            |     |                   |                   | 2,4               |      |                   |      |
|         |   |                  | 2,4                    |             |        |                 |                   |                |     |                   |                   |                   |      |                   |      |
|         |   |                  | nem megfelelő állapotú |             |        |                 |                   |                |     |                   |                   |                   |      |                   |      |

A komponens csoportok átlagértékei közül a növényi háztartás kapta a legrosszabb átlagértéket (2,4), ezért a „Pécsi-víz középső” elnevezésű vízfolyás a fizikai-kémiai paraméterek alapján nem megfelelő állapotú.

b) A bemeneti adatok átalakítása Boole-függvény rendszerré

Az ICF algoritmus tetszőleges adathalmazra alkalmazható, ha az egyes adatoknak meg tudunk feleltetni egy n-változós Boole-függvényt  $f(x_1, \dots, x_n)$ . A Boole függvények

többféle formában adhatók meg, mint pl. igazság táblázat, analitikus forma, bináris- vagy decimális forma, bináris- vagy karakter szekvencia stb.

|  |  |
|--|--|
| <pre> 111111 123456789012345 AGA-TCATAGACATA </pre>  |  |
| <pre> A: 101000101010101 T: 000010010000010 C: 000001000001000 G: 010000000100000 </pre>   | <pre> A: [1,3,7,9,11,13,15] T: [5,8,14] C: [6,12] G: [2,10] </pre> |
| a)   | b)   |
| <pre> A: [(0,0,0,1), (0,0,1,1), (0,1,1,1),     (1,0,0,1), (1,0,1,1), (1,1,0,1), (1,1,1,1)] T: [(0,1,0,1), (1,0,0,0), (1,1,1,0)] C: [(0,1,1,0), (1,1,0,0)] G: [(0,0,1,0), (1,0,1,0)] </pre> |  |
| c)   |  |

8. ábra: Egy példa karakter szekvencia Boole függvényének különböző formáira

A fenti példában az A, T, C és G karakterek egy-egy bináris sztringként (a), decimális (b), illetve bináris (c) formában megadott  $n=4$  változós Boole függvénynek feleltethetők meg (7. ábra). **Megjegyzés:** Mivel a *BOOL-AN* programcsomag eredetileg nukleotid, illetve fehérje szekvenciák összehasonlító elemzésére lett kifejlesztve, így a karakter szekvenciák betűkészletét (A,T,C,G) változtatás nélkül alkalmaztam a vízminőségi adatok kódolásához.

### A gráf alapú klaszterezés és az ICF algoritmus

A klaszterezés egy adathalmaz pontjainak, rekordjainak hasonlóság alapján való csoportosítása. Klaszterezés esetén előzetesen megadott osztályok nincsenek (unsupervised jelleg), az adatok maguk alakítják ki a klasztereket, azok határait.

A gráf alapú klaszterező algoritmusok egyre szélesebb körben alkalmazott részét képezik ennek a kutatási területnek. A gráfok nem csupán az adatokra vonatkozóan tartalmaznak információkat, hanem egyúttal feltárják az elemek közötti kapcsolatokat is, megfelelő alapot biztosítva az algoritmusok hatékony működéséhez.

A dolgozatomban egy Boole-függvények dekompozíciójára és szintézisére kidolgozott algoritmust (Iterative Canonical Forms, ICF) és ennek különböző (algebrai, mátrix és gráf) reprezentációit [76] használom.

Az ICF algoritmus igen fontos előnye az ismert klaszterező algoritmusokhoz képest, hogy viszonylag nagyobb volumenű input adat feldolgozására alkalmas és lényegesen gyorsabb, mivel a futási idő lineárisan függ a változók számától. Egy klaszterezési feladatnál szükségünk van az eredmény kiértékelésére, jóságának mérésére.

Mivel egy klaszterezés az adatpontok hasonlósági viszonyaiból indul ki, ezért az első fontos lépés az adatpontok (esetemben a vízfolyások) páronkénti hasonlóságát lehető legjobban megragadó függvény kiválasztása.

Az ICF gráf kiszámítása az input adatok n-kockán való rendezése után történik. (három lépésben: rendezés, particionálás, iteráció).

A futtatások során a távolságszámításhoz több ismert metrikát is kipróbáltam (Hamming, Jaccard, Euklidészi, Manhattan) [80], a ICF gráf távolságok („to any” és „merged”) mellett.

- To any gráf távolság azt jelenti, hogy páronként annyi n-kockán rendezett ICF gráf alapján számoljuk a távolságokat, ahány karaktert használunk az input szekvenciákban (esetünkben ez 5 karakter).
- Merged (egyesített) gráf távolság számítása esetén, egy n-kockán vannak rendezve az összes karaktert leképező ICF gráfok egy-egy vízfolyásra. Ez azt jelenti, hogy két vízfolyás adatainak összevetéséhez két merged ICF gráf szükséges.

A kísérleti részben bemutatott adatelemzésekhez egy új diszkrét matematikai megközelítésen alapuló módszert Iteratív Kanonikus Forma ICF [76] és az eljárás számítógépes adaptációját, a BOOL-AN szoftvert [77] alkalmaztam.

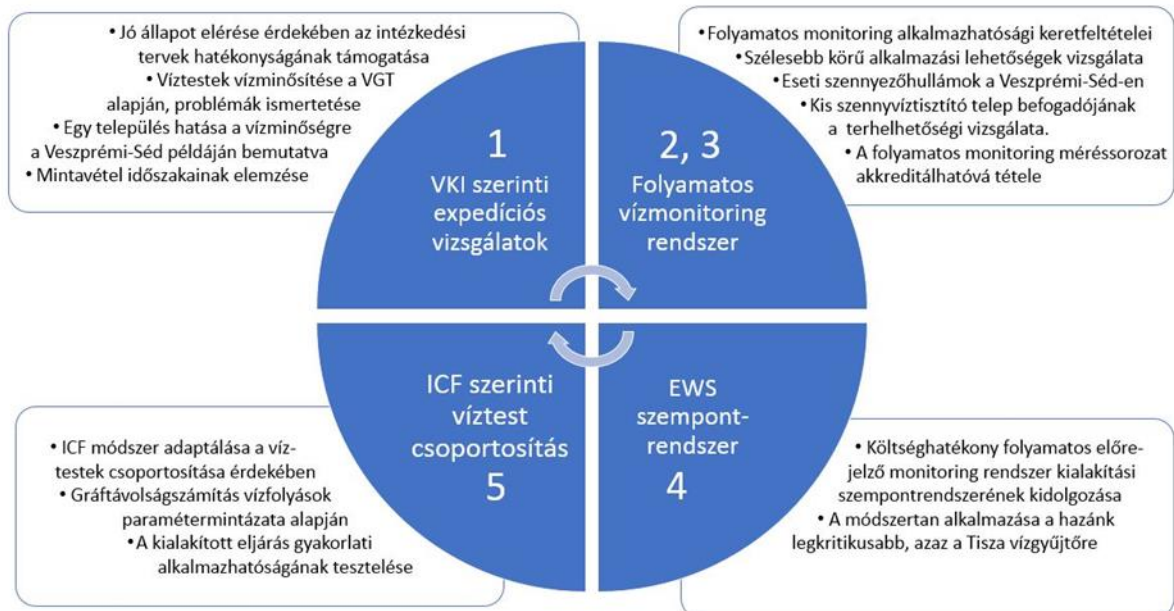
### 5.3 Felszíni vizek osztályozása többváltozós statisztikai módszerekkel

A sokváltozós statisztikai adatelemző módszerektől csak akkor várhatunk jó eredményt, ha az adott folyamat vizsgálatára olyan jellemzőket (más szóval paramétereket, valószínűségi változókat) veszünk figyelembe, amelyek tartalmazzák a keresett információt és kellően pontosan írják le a vizsgálandó folyamatot, tehát elegendő megfigyelés áll rendelkezésre. Az adatelemző módszerek szempontjából a statisztikai stabilitás miatt lényeges, hogy a mintavételi pontok (esetek) száma jelentősen nagyobb legyen, mint a vizsgált paraméterek száma. Ezenkívül kulcsfontosságú követelmény a vizsgálandó adatmátrixszal szemben, hogy ne legyen benne hiányzó adat. A vízminőség paramétereinek mérése esetén ezt gyakran nem sikerül biztosítani. Helytelen következtetésekre juthatunk kiugró és extrém értékek jelenléte esetén, amelyeknek egyedi vizsgálatát végre kell hajtani. Különösen fontos annak eldöntése, hogy egy adott paraméter értékei olyan változékonysággal bírnak, hogy a kiugró vagy extrém értékek elfogadhatók, vagy esetleges adatrögzítési problémáról van szó [119],[120],[122],[124].

Összehasonlításként többváltozós statisztikai elemzést a Syn-Tax 2000 programcsomag [79] segítségével végeztem a fizikai-kémiai komponensekre. A mérési eredmények hierarchikus elemzése során csoportátlag (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean azaz UPGMA) módszerét, illetve főkoordináta elemzést (PCoA - Principal Coordinates Analysis) alkalmaztam [79]. A főkoordináta analízis (*Principal coordinate analysis*, PCoA vagy PCO) egy olyan ordinációs módszer, mely hatékony dimenzió-redukcióra törekedve megadja azokat koordináta tengelyeket, melyek mentén az adataink legjobban ábrázolhatók. A PCoA során annyi ordinációs tengelyt állítunk elő, amennyi a távolság-mátrixban lévő információ megtartásához szükséges – de ábrázolni maximum három koordináta tengely mentén tudunk. A PCoA metrikus, mert az ordinációban megőrzi az objektumok közötti távolságviszonyokat. Feltétele, hogy a távolságok teljesítsék a metrikus axiómákat. Továbbá az elemzésbe bevett összes mintavételi egységre az összes változó értékét ismernünk kell.

## II. KÍSÉRLETI RÉSZ

A doktori munkám során az EU VKI magyarországi alkalmazását figyelembe véve a következő célokat fogalmaztam meg a **felszíni folyóvizek és tisztított szennyvizek minőségének felmérésére a jelenleg alkalmazott értékelési módszerek és esettanulmányok alapján.**



9. ábra: A Kísérleti rész fejezet főbb elemei és összefüggései

A terhelések és extrém körülmények hatásának vizsgálatára a rutinszerű mérések nem alkalmasak, pedig ezek jelentős információ tartalmukkal hozzájárulnának a vizeink jó állapotának eléréséhez.

Lehetőségem volt immissziós és emissziós terhelések folyamatos vizsgálatára, mivel összeállíthattam egy automata folyamatos mobil vízmonitoring állomást (BAROSS pályázat) és bekapcsolódtam az AVITAR és SZETIKO projektbe, ahol monitoring állomások kialakításával és működtetésével foglalkoztam.

Egy általánosítható, ezen eseményekre vonatkozó módszertani ajánlást fogalmaztam meg.

A Veszprémi-Séd **városi szakaszának vízminőség szempontú** vizsgálata a fizikai-kémiai paraméterek **eseti szabványos vizsgálatainak** alapján, figyelembe véve a VKI és a hazai vízgyűjtő-gazdálkodási terv ajánlásait. A **városi szakaszon** beazonosítottam az antropogén szennyező forrásokat és vizsgáltam, hogy a vízfolyás szerves- és tápanyag terheléséhez milyen mértékben járul hozzá Veszprém. A **kijelölt mintavételi pontokon** (97. ábra; város előtt és város után, valamint a belvárosi részeken) vizsgált fizikai-kémiai paraméterek: *helyszíni vizsgálatok: pH, hőmérséklet, oldott oxigén, zavarosság, laboratóriumi vizsgálatok:  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ .* Az eseti mérések során egy pillanatképet kaptam a Veszprémi-Séd városi szakaszának



szennyezettségéről. A PhD cselekményem ezen része a Regionális Egyetemi Tudásközpont ÖKORET „Környezeti Információs (Monitoring) Rendszer kialakítása” alprogramjához kapcsolódott.

**A folyamatos monitoring rendszer célzott alkalmazásának bemutatása diffúz és pontszerű szennyezések vizsgálatával.**

- A szennyezések epizodikus hullámokban vonulnak le, valamint az egyre inkább jellemzővé váló heves nagy mennyiségű és gyors lefolyású csapadék a város burkolt felületeiről (pl. közutak, járdák) és a mezőgazdasági területekről (pl. kiskertek) szintén jelentős mennyiségű szennyező anyagot juttatnak a vízfolyásba, ezzel lökésszerű terhelést okozva.
- További terhelést jelentenek a kis szennyvíztisztító telepek működésének problémáiból adódó pontszerű szennyezések, mivel a rendszeres önellenőrzési programjuk mellett további elemzésekre már nincs kapacitásuk.
- Havária esetek után a kármentesítési munkák hatásának nyomonkövetésére célzottan alkalmazható, amikor is a cél ismert fizikai-kémiai paraméterek mérése.

## 6. MINTATERÜLETEK BEMUTATÁSA

### 6.1 A Veszprémi-Séd vízgyűjtőterületének és a vizsgált városi szakasz jellemzése

A Veszprémi-Séd az 1-13 Észak-Mezőföld és Kelet-Bakony tervezési alegységhez tartozik [26]. A tervezési alegység a Séd-Nádor-Gaja vízrendszer vízgyűjtő területét foglalja magában, vízgyűjtő területe: 2487,9 km<sup>2</sup> [29]. Az alegység vízgyűjtőjén 16 vízfolyás víztest található, amelyből 10 természetes vízfolyás. A Nádor-csatorna jelentősebb mellékvízfolyásai közé tartozik a Veszprémi-Séd. A Veszprémi-Séd folytatásaként az Ősi duzzasztónál kezdődik a Nádor-csatorna [29].

A lakóhelyemen átfolyó **Veszprémi-Séd** neve minden bizonnyal a mára már elhalt, patak jelentésű magyar „séd” szóból származik. A Veszprémi-Séd a Közép-Dunántúlon, Veszprém és Fejér megyén halad keresztül és a Séd-Nádor-Gaja vízgyűjtőjéhez tartozik. A Veszprémi-Séd hossza 70 km és a vízgyűjtő területe 513 km<sup>2</sup> [29].

A Veszprémi-Séd vízállása 19-190 mm és vízhozama 0,2-26 m<sup>3</sup>/s. Járulékos hozamként adódik hozzá, hogy a csapadékvizek végső befogadója és egyben a keletkezett tisztított szennyvíz elvezetője is.

A Veszprémi-Séd a Bakonyban ered Herendtől északra, majd az úgynevezett Devecseri-árokban folyva éri el Veszprémet, ahol keleti irányban a Veszprém völgyben, majd a Várhegyet megkerülve egy éles kanyar után észak felé, az Aranyos-völgyben halad tovább. A város után a Veszprémi-fennsíknál a Séd ismét keletre fordul, majd több nagy ívű kanyar után Ősítő (mezőgazdasági vízhasználatok céljából) mesterségesen kialakított mederben folyik tovább, ezért innentől a Veszprémi-Séd nevet vált és Malomcsatornának nevezik. Végül a Sárréten keresztül folyva, Cecénél torkollik a Nádor-csatornába (Sárvíz) [29].

Egy karsztos tektonikusan töredezett völgyben folyik a Veszprémi-Séd, amely a térség erózióbázisa is egyben. A térségben kevés a vízfolyás, mert a felszín közeli karbonátos kőzetek a csapadékot azonnal elnyelik. Nagyobb patakok csak ott jöhettek létre, ahol a karsztvízszintig vágódtak be a völgyek, mint pl. Veszprémi-Séd, amely hol leadja a vizét a karsztba, hol megcsapolja azt. A vízfolyás a rendkívül sérülékeny Veszprém környéki karszton halad keresztül. Mivel a meder bizonyos szakaszai érintik a nyílt karsztos területeket, ezekről a területekről szennyeződések szívároghatnak be akár a karsztban rejlő ivóvízbázisokig is [29].

Veszprém ivóvíz készletét és ipari vizét teljes egészében a térség az úgynevezett főkarsztból nyeri [29].

A térség vízbázisainak kiváltására nincs lehetőség, ezért a térség hosszú távú vízellátása érdekében a vízkészlet megóvása, valamint a pont és diffúz szennyezőforrások azonosítása alapvető jelentőségű.

A Veszprémi-Séd **Veszprém város**, uralkodó felszíni vízfolyása, amely kiemelt jelentőséggel rendelkezik mind az ökológiai, mind a terület felszín alatti vízbázisának szempontjából.

A Veszprém térség vízbázisának védelme fontos, mivel mind az 56 927 fő (KSH adat, 2017) lakosú város és a környező települések lakóinak, mind a rohamosan fejlődő ipari és szolgáltató szektornak a vízellátását is biztosítja. **A térség vízbázisa így nemcsak ivóvízbázist, hanem stratégiai fontosságú vízkészletet is képvisel.**

Veszprém tizenkét közúti és egy vasúti híd épült a Veszprémi-Séd fölé; legismertebb ezek közül a Szent István völgyhíd (Viadukt). Jelentős mellékága a Békatói-árok. A Veszprémi-Séd vízhozamának több mint a felével járul hozzá a bevezetett kezelt szennyvíz mennyisége. A melegebb nyári napokon, egyes részein ki is szárad, ami a bevezetett kezelt szennyvíz karsztvizekbe történő bejutásának és szennyezésének kedvez [29].

**A Veszprémi-Séd vízminőség monitoring mintavételi helyeinek változása az évek alatt (7. táblázat).** A Víztisztítási Monitoring (VM) rendszer keretén belül **1968-tól 2005-ig** végezték el a felszíni vizek minősítését, ebben az időszakban négy mintavételi helyen történt mérés a Veszprémi-Séden. A VKI monitoring rendszere **2007-től** indult [30] el és a VGT alapján három víztest szakaszt (10. ábra) azonosítottak. Két tipológiai típust és négy mintavételi helyet különböztettek meg, ahol feltáró monitoringot végeztek [28].

7. táblázat: Veszprémi-Séd mintavételi helyei vizsgálati évenként 1968 -2005 és 2007, 2012-ben

| Víztest objektum azonosítója | Víztest               | Mintavételi hely    | Tipológiai típus (2007/2015) | 1968 - 2005 | 2007 | 2012 |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-------------|------|------|
| AEQ108                       | Veszprémi-Séd alsó    | Ósi                 | 12                           | igen        | igen | igen |
| AEQ108                       | Veszprémi-Séd alsó    | Király-szentistván  | 12                           | -           | igen | -    |
| AEQ107                       | Veszprémi-Séd középső | Sóly                | 3                            | igen        | igen | igen |
| 04FF27                       | Veszprémi-Séd         | Veszprém, vízmérce  | -                            | igen        | -    | -    |
| AEQ109                       | Veszprémi-Séd felső   | Veszprém-Csatárhegy | 3                            | -           | igen | igen |
| 04FF29                       | Veszprémi-Séd         | Márkó               | -                            | igen        | -    | -    |

A VGT1 alapján a tipológiai típusok, amely alapján meghatározható a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott típus specifikus határérték alapú vízminősége.

- A Veszprémi-Séd felső és középső szakasz tipológiai típusa: Hegyvidéki meszes durva mederanyagú közepes kis folyó (3-típus).
- Alsó szakasz tipológiai típusa: Síkvidéki meszes durva mederanyagú közepes kis folyó (12-típus) [25], [1].

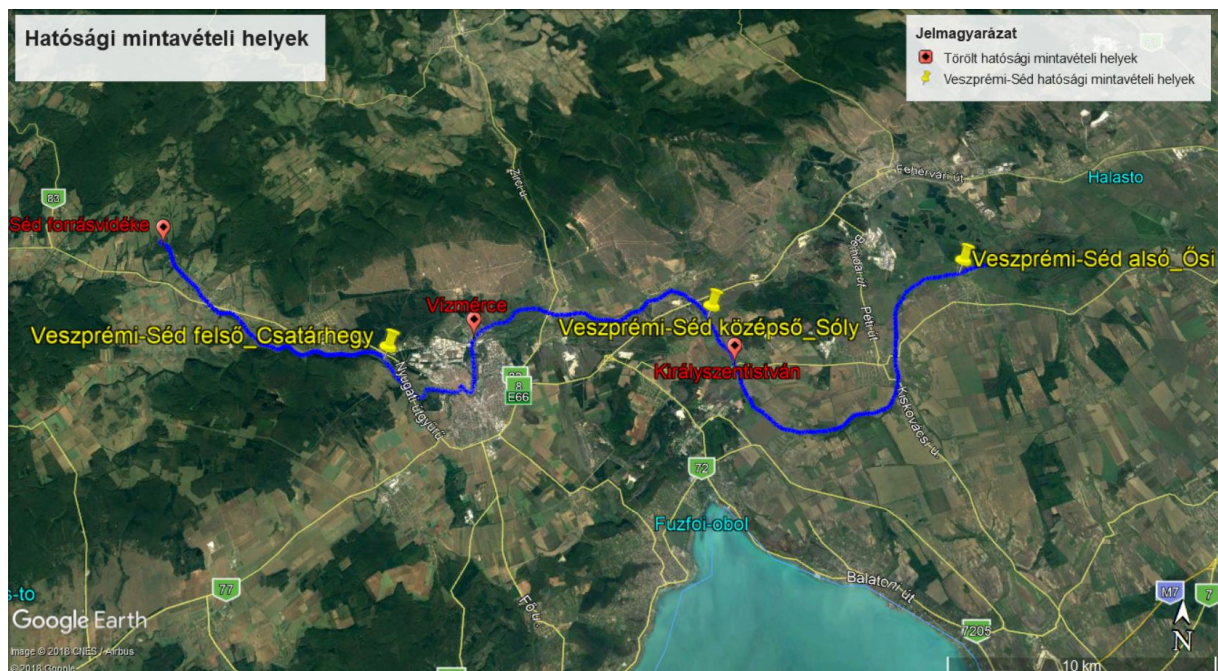


10. ábra: Veszprémi-Séd 2a felső 2b középső-2c alsó szakasza [28]

A VGT2 a 2009-2012 mérési időszakot dolgozta fel, valamint a biológia alapján validálták a tipológiai típusokat [29].

- Veszprém-Séd alsó/ Ősi (AEQ108): 3M típus Dombvidéki közepes esésű meszes durva és közepes finom mederanyagú közepes vízgyűjtő (természetes víztest)
- a Veszprémi-Séd középső/Sóly (AEQ107) szakasza a 3M típusba: Dombvidéki közepes esésű meszes durva és közepes finom mederanyagú közepes vízgyűjtő (természetes víztest)
- Veszprémi-Séd felső/ Veszprém-Csatárhegy (AEQ109): 2M: Dombvidéki-hegyvidéki nagy esésű meszes durva mederanyagú közepes vízgyűjtő.

A 11. ábrán sárgával jelöltem az aktuális monitoring helyeket és pirossal színnel a vizsgálat alól kivont monitoring helyeket.



11. ábra: A Veszprémi-Séd monitoring helyeinek alakulása az 1968-2016 között

A kijelölt három mintavételi hely operatív monitoring helyek a tápanyagterhelés és hidromorfológiai beavatkozások, valamint veszélyes anyagok jelenléte miatt. Továbbá szintén mind a három monitoring hely nitrátérzékeny területnek minősül, amelynek a monitoring programjáért a megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi Mérőközpontja a felelős. Közvetlen vízgyűjtőn kijelölt vízvédelmi sáv területe 86,2 ha [29].

A kutatási területem a Veszprémen keresztül folyó szakasz, ami a középső szakasznak a része (10. ábra. 2b). A Veszprémi-Séd középső szakasza 25,56 km hosszú teljes vízgyűjtő mérete 416 km<sup>2</sup>. Szélessége a leggyakoribb vízhozamnál 2,9 m, mélysége pedig 0,36 m. Szelvény közepességéje leggyakoribb vízhozamnál 0,03 m/s. Leggyakoribb vízhozam a teljes vízgyűjtőn 0,25 m<sup>3</sup>/s. Leggyakoribb vízhozam közvetlen a vízgyűjtőn: 0,164 m<sup>3</sup>/s. A Veszprémi-Séd vízállása 19-190 cm és vízhozama 0,2-26 m<sup>3</sup>/s közötti. Járulékos hozamként adódik hozzá, hogy a csapadékvizek végső befogadója és egyben a szennyvíztisztító telepek tisztított szennyvizének elvezetője is. Leggyakoribb fajlagos lefolyás közvetlenül a vízgyűjtőn: 0,543 l/s/km<sup>2</sup>. Állandó vízszállítású természetes vízfolyás. Jellemző hasznosítás a vízelvezetés és vízellátás [29].

A középső szakaszon egy települési szennyvíztisztító (Veszprémi szennyvíztisztító telep, E-PRTR telephely, TESZIR szennyvíz kód: AIA239) és kommunális jellegű szennyvízkibocsátás (Víz-szennyvízkezelő telephely) történik. A települési szennyvíztisztító közvetlen befogadója a Veszprémi-Séd a kommunális szennyvíz közvetlen befogadója a Békatói-árok.

- A víz szennyvízkezelő telephely Zöld Bakony Kft., aki a Bakony Ipari Kerámia Kft és a Jost Hungária Bt. fémtartalmú vizeit fogadja és befogadója a Békatói-árok. A kibocsátott szennyvíz mennyisége és minősége 13 ezer m<sup>3</sup>/év; cink 1614 kg/év; króm 0,07 kg/év; nikkel 0, 17 kg/év; ólom 0,05 kg/év; összes só technológiai eredetű 5027 kg/év [26].

A Séd felső szakaszán még két települési szennyvíztisztító működik a Márkó és Herend szennyvíztisztító telep, de ezek hatása nem jelentős, illetve a herendi Porcelángyár egyéb feldolgozóipar terhelése jelenik meg.

A Veszprémi-Séd középső szakaszára jellemző diffúz és pontszerű N és P terhelés (2009-2012. évi adatok alapján) jelentős szennyező útvonalai a következők:

- az összes foszfor tekintetében 2,36 t/év városi burkolt felületekről érkezik,
- az összes nitrogén tekintetében 21,98 t/év felszín alatti vízből származik, illetve 9,4 t/év a városi burkolt felületekről.

### **Veszprémi-Séd középső szakaszának az integrált állapota közepes (3) a VGT2 alapján** (tipológia 3M típus; OKIR adatbázis 2009-2012 éves átlag értékei)

A részletes minősítés és a nem megfelelő minősítést kiváltó okok:

Biológiai elemek szerinti állapot – közepes (3).

Fizikai-kémiai elemek szerinti állapot – közepes (3).

- A besorolás a tápanyag háztartás komponens csoport okozta. A tápanyagok osztályátlag értéke 3,00.
- Az oxigénháztartás, savasság, sótartalom osztály átlagok értéke 1,00 (kiváló).

Hidromorfológiai állapot szerint – közepes (3)

Specifikus szennyezők szerinti állapot – közepes (3) nem jó állapotot a réz és vegyületei okozzák.

**Víztest ökológiai állapota: közepes (3) / Veszélyes anyagok szerinti állapot- jó (2).**

A felszíni vizek kémiai monitoring mérései alapján a tervezési alegységben két releváns veszélyes anyagot azonosítottak: cinket és rezet. A cink és vegyületei a Séd-Sárvíz-malomcsatorna, a réz és vegyületei pedig a Veszprémi-Séd középső szakaszán voltak kimutathatók [156] a 2009-2012 vizsgált időszakban.

**Terhelés csökkentő és egyéb intézkedések bevezetése a Veszprémi-Séd középső szakaszán a jó állapot elérése érdekében.**

**Belterületi diffúz terhelést csökkentő intézkedések:** Települési eredetű, belterületi növénytermesztésből, állattartásból, közterületekről származó terhelések csökkentése, Belterületi vízvisszatartási lehetőségek megteremtése, épületekről (zöld tető, ciszterna), ingatlanokról és közterületekről (záportározó medencék, tavak), Elváltatott rendszerrel összegyűjtött csapadékvíz szűrése a befogadóba történő bevezetés előtt (szűrőmező, homokfogó, olajfogó), Mezőgazdasági eredetű tápanyagszennyezés csökkentése

- A Veszprémi-Séd völgyében „Kolostorok és kertek a Veszprémi Vár tövében” - Séd menti közpark zöldfelületek és műemlékek rekonstrukciója című projekt valósult meg 2008-2011-ben. A belvárosi rész ezen típusú rekonstrukciója, illetve a Veszprémi-Séd partjának rendezettsége és a városi díszítő rehabilitációja hozzájárulhatott ezen városi szakasz vízminőségének javításához.

**A veszprémi Szennyvíztisztító telep hatása a befogóra jelentős** ezért 2027-ig P határérték szigorítást kell megvalósítani ennek ellenőrzésére kiegészítő monitoringot írnak elő (N elfolyó 10 g/m<sup>3</sup>; P elfolyó 0,7 g/m<sup>3</sup>; BOI elfolyó 6 g/m<sup>3</sup> és KOI elfolyó 20,7 g/m<sup>3</sup>). A veszélyes anyagok és specifikus szennyezők hatásvizsgálására kiegészítő monitoring végrehajtását írták elő 2027-ig ezen a víztest szakaszon (VGT2, 2016).

**Veszprém város** a Veszprém középső szakaszán helyezkedik el. A lakott terület aránya belterületen 98%. A település terhelése jelentős. Komponensek Cd, Cu, Pd, Zn, Hg.

A Veszprémi-Séd középső szakaszának mentességekre vonatkozó adatait az 8. táblázat tartalmazza [29].

8. táblázat: Az időbeni mentességek alakulása (VGT2 7-1 melléklete alapján, 2016)

|                               | Ökológiai célkitűzés teljesítésének éve | Vízfolyások fizikai-kémiai állapotát javító intézkedések | Vízfolyások veszélyes anyag terhelésének csökkentésére irányuló intézkedések | Ökológiai mentesség indoka |
|-------------------------------|---|--|--|----------------------------|
| Veszprémi-Séd középső víztest | 2027+                                   | 2027   | 2027   | G2                         |

Kódmagyarázat az ökológiai mentességhez: G2.

- Az intézkedések 2015-ig történő megvalósítása aránytalanul magas terheket jelent a gazdaság, társadalom bizonyos szereplői, vagy a nemzetgazdaság számára. Aránytalan költséget jelent – időbeni mentesség.

**Veszprémi-Sédre vonatkozó VKI szerinti határértékek** A Veszprémi-Séd a VKI alapján három víztestre osztották (felső, középső, alsó). A felső és a középső szakasz a 3 tipológia típusba tartozik az aló szakasz a 12 tipológiai típusba. A vizsgálatokat a középső szakaszon végeztem, így a táblázatban a 3 tipológiai típushoz (3M tipológiai típus, VGT2) tartozó határértékeket mutatom be. A 10/2010 (VIII.18) VM rendelet határértékekhez képest a VGT2 [26] 6-3 mellékletében szigorúbb határértéket állapítottak meg.

9. táblázat: Veszprémi-Sédre vonatkozó VKI szerinti határértékek [1], [26]

| Veszprémi-Séd vízére vonatkozó 10/2010 (VIII.18) VM rendelet és a VGT2 6-3 melléklete szerinti vízminőségi határértékek |               |        |                            |                           |           |       |
|---|---------------|--------|----------------------------|---------------------------|-----------|-------|
| Komponens   | mérték egység | Kiváló | Jó                         | Nem éri el a jó állapotot |           |       |
|   |               |        |                            | mérsékelt                 | gyenge    | rossz |
| pH  |               | 7-8,5  | <b>6,5-9</b><br>7-8,5      | 6,5-7; 8,5-9              | 6         | 5,5   |
| Vezető-képesség   | μS/cm         | <700   | <b>&lt;900</b><br>700-1000 | 1000-1500                 | 1500-2000 | >2000 |
| Klorid  | mg/l          | <35    | <b>&lt;50</b><br>35-50     | 50-150                    | 150-300   | >300  |
| Oxigén-telítettség  | %             | >90    | <b>80-110</b><br>90-80     | 80-50                     | 50-30     | <30   |
| Oldott oxigén   | mg/l          | >8     | <b>&gt;7</b><br>8-7        | 7-4                       | 4-3       | <3    |
| BOI <sub>5</sub>  | mg/l          | <3     | <b>&lt;3,5</b><br>3-5      | 5-10                      | 10-15     | >15   |
| KOICr   | mg/l          | <20    | <b>&lt;20</b><br>20-30     | 30-50                     | 50-60     | >60   |
| NH <sub>4</sub> -N  | mg/l          | <0,1   | <b>&lt;0,2</b><br>0,1-0,3  | 0,3-1                     | 1-2       | >2    |
| NO <sub>2</sub> -N  | mg/l          | <2     | <b>&lt;0,06</b>            | 3,5-5                     | 5-10      | >10   |
| NO <sub>3</sub> -N  | mg/l          |        | <b>&lt;3</b>               |                           |           |       |
| Összes N  | mg/l          | <2,5   | <b>&lt;4</b><br>2,5-5      | 5-10                      | 15-15     | >15   |
| PO <sub>4</sub> -P  | μg/l          | <50    | <b>&lt;100</b><br>50-100   | 100-300                   | 300-500   | >500  |
| Összes P  | μg/l          | <100   | <b>&lt;200</b><br>100-200  | 200-500                   | 500-1000  | >1000 |

Megjegyzés:

- a kiemelt (kivastagított) értékek a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben szerepelnek
- a nem kiemelt számok a VGT 6-3 melléklete alapján részletezett határértékek.

## **6.2 A kis szennyvíztisztító telepek működési problémáinak bemutatása a várapalotai szennyvíztisztító telep példáján**

A tápanyagterelés (nitrogén, foszfor), amely leginkább befolyásolja a vizeink minőségét [14]. A felszíni vízfolyások pontszerű szennyezés terhelését a szennyvíztisztító telepek kibocsátott tisztított szennyvize jelenti (VGT2, 2015). A 2010-2012 időszakot nézve a 772 befogadó víztestnek a 22%-ra van jelentős hatással a tápanyag és szervesanyag terhelés (VGT2, 3\_1 melléklet, 2016).

A **kis szennyvíztisztító telepek működésének problémái**, hogy a szennyvíztisztító telepek hatékonysága a létesítmények műszaki állaga, az alkalmazott technológia, a kiépített teljesítmény, a tisztítandó szennyvíz mennyisége, szennyezőanyag terhelése és az üzemeltetés szakszerűsége függvényében eltérő. A kis kapacitású szennyvíztisztító telepeken a működés határfokának megállapítására korlátozott lehetőségek vannak [157]. Az önellenőrzéshez (28/2004 (XII.25) KvVM rendelet [10]), hogy szükséges gyakoriság (heti, egy-két mintavétel) a rendszer általános működéséről ugyan szolgál információval, de a napi ingadozásból származó eltérésekre, az időszakonként fellépő üzemi problémákról már nem ad információt.

A **kis szennyvíztisztító telepek** esetében az **ellenőrzési gyakorlat** leginkább a vízminták elemzésének „off-line” módon történő megvalósítása, vagyis mintavétel és akkreditált laboratóriumba való szállítása.

Hazánkban a megbízható hatáselemzéshez szükséges emissziós paraméterek hiányosak, különösen a kis települési szennyvíztisztítóknál [26]. A szennyvíztisztító telepek által történő kibocsátások vizsgálatára alkalmazhatóak a folyamatos monitoring rendszerek. Ezekkel a rendszerekkel detektálhatjuk a napi szintű változásokat, lökészerű szennyező hullámokat, így feltárva a telep működési problémáit. Ezzel segítve az üzemi működés beállítását és csökkentve a telepek működési költségeit.

A választott helyszínem a **várapalotai szennyvíztisztító telep**. Az elfolyó tisztított szennyvíz ágra helyeztem a folyamatos online mobil monitoring állomást. Az eredmények bizonyították, hogy a folyamatos monitoringgal olyan eseményeket lehet detektálni, amelyek csak 1-2 óráig tartanak és leginkább hétvégén és éjszakai órákban jelentkeznek.

A szennyvíztisztító telepet kizárólag gravitációs úton érkező kommunális szennyvíz terheli, napi mennyisége 2500 m<sup>3</sup>. A telepre ezen kívül hétköznaponként 60 m<sup>3</sup>/nap települési szippantott szennyvíz is érkezik. A hidraulikai tartózkodási idő a biológiai



medencében 24-29 óra, az iszapkor 20 nap körül alakul. A kiülepedett iszapot az utóülepítő zsompterébe hordják víz alatti forgó kotrók közreműködésével, innen egy részét recirkuláltatják a kombinált osztóba. A fölősiszapot a kétszintes ülepítőből kialakított iszapsilóba szivattyúzzák. A fölősiszapot homogenizálják, az iszapsilóban tárolják, végül víztelenítik és centrifugálják. A kibocsátott tisztított szennyvíz mennyisége 946 ezer m<sup>3</sup>/év [26], ami jelentős tápanyag és szervesanyag terhelést jelent a befogadóra. A szennyvíztisztító telep vízjogi engedélyében meghatározott határértékeket teljesíti. A telep munkarendje: 7:00-15:00-ig tart. A telep szerves anyagterhelése: 1032 kgBOI<sub>5</sub>/d. A telep ammónia-ammónium-N kibocsátása 6652 kg/év. Az elfolyó tisztított vízre előírt határértékeket [93] a 10. táblázatban foglaltam össze.

*10. táblázat: Kémiai paraméterek előírt határértékei [93]*

| <b>Kémiai paraméter</b>    | <b>Előírt határérték (mg/l)</b> |
|----------------------------|---------------------------------|
| <b>KOI</b>                 | <b>&lt;75</b>                   |
| <b>NH<sub>4</sub>-N</b>    | <b>&lt;10</b>                   |
| <b>NO<sub>3</sub></b>      | <b>&lt;50</b>                   |
| <b>összes lebegő anyag</b> | <b>&lt;100</b>                  |
| <b>összes P</b>            | <b>&lt;2</b>                    |

### 6.3 A Torna-patak jellemzése különös tekintettel a vörösiszap katasztrófa által okozott káreseményre

A Torna-patak a Marcal tervezési alegységhez tartozik [31] és a három szakaszát a 11. táblázatban mutatom be.

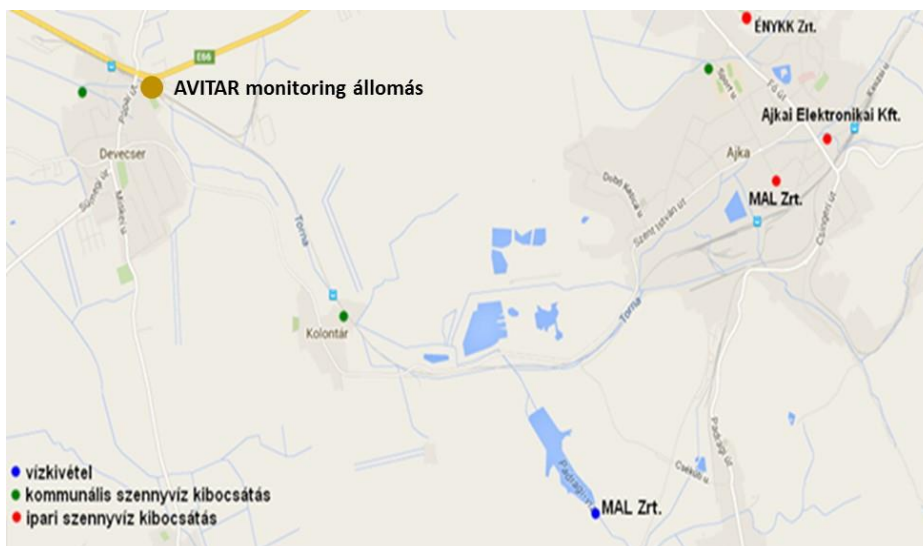
11. táblázat: A Torna-patak szakaszai [31]

| VOR kód | Víztest neve              | Hossz (km) | Víztest kategória | Tipológiai besorolás |
|---------|---------------------------|------------|-------------------|----------------------|
| AEQ074  | Torna-patak alsó          | 18,529     | természetes       | 5M                   |
| AEQ075  | Torna-patak középső       | 11,028     | mesterséges       | 3M                   |
| AEQ073  | Torna- és Csinger-patakok | 23,351     | természetes       | 3M                   |

A **Torna-patak** a Csehbányai-medencéből ered, hossza 51 km, vízgyűjtő területe 498,1 km<sup>2</sup>. Jelentős mellékvízfolyásai a Kígyós-patak, Csigere-patak és a Csinger-patak. A Torna-patak medre az ipari tevékenységek, vízhasználatok miatt a természetes vonalvezetéstől eltérő helyzetű, mivel a **Torna-patak középső szakaszának** medrét az 1986-90-es években áthelyezték a 25+000-29+950 fkm szelvények közé az ajkai timföldgyári iszapkazetták bővítése miatt [31]; [34]. Az új medret úgy alakították ki, hogy az esetleges árvízhozamot biztonságosan levezesse, mivel ezen a szakaszon a közút és a vasút közel halad a vízfolyáshoz. A vízfolyáson zsilip, valamint a szintkülönbség kompenzálására fenéklépcsők és surrantók épültek [34]. Az áthelyezett és a belterületi mederszakaszok kivételével a természetes meder laza, kavicsos földmederű [31] [153].

A Torna-patak vízgyűjtő területén az **antropogén hatások** közül az ipari és mezőgazdasági tevékenységek jellemzőek. A pontszerű szennyező források a kommunális szennyvíztisztító telepek és az ipari szennyvíz kibocsátó létesítmények. A diffúz szennyezést a területen a növényvédőszer és mezőgazdasági műtrágya használata okozza. Továbbá az összes nitrogén- és a foszforterhelésre vonatkozóan az Ajka melletti térségekből jelentős terhelés éri a Torna vízgyűjtőjét

A 12. ábra elhelyeztem a vízkivételi, kommunális és ipari szennyvízkibocsátási pontokat, valamint az általam felügyelt és működtetett automata folyamatos monitoring állomást (AVITAR).



12. ábra: Pontszerű szennyező források és vízkivétel a Torna-patakon

A vízgyűjtő területen ivóvízkivétel nem történik, ipari vízkivételt a MAL Zrt. (2,16 ezer m<sup>3</sup>/év) és az Ajkai Alumíniumipari Kft. (2,16 ezer m<sup>3</sup>/év) végez. A biológiailag tisztított szennyvíz Devecser és Kolontár szennyvíztisztító telepeiről közvetlenül, míg Ajka szennyvíztisztító telepéről a Széles-vízbe, majd a Csigere-patakon keresztül jut el a Torna-patakba.

A legjelentősebb ipari szennyvízkibocsátó a MAL Zrt. Timföld Ágazata Ajkán. A gyár 1500 ezer m<sup>3</sup>/év technológiai szennyvizet bocsát ki, amit a Torna-patakba való bevezetés előtt fizikai és kémiai úton tisztítanak, semlegesítenek. Az Ajkai Elektronikai Gyártó és Szolgáltató Kft. galvanizálási technológiájában 12,8 ezer m<sup>3</sup>/év szennyvíz keletkezik [31].

Közvetett (Széles-víz) ipari szennyvízterhelés az Északnyugat-magyarországi Közlekedési Központ Zrt. (ÉNYKK Zrt.) telephelye, és néhány kisebb gépkocsimosó felől történik. Továbbá potenciális szennyező források a vízfolyást keresztező köz-és vasutak, valamint a timföldgyári zagyevezetékek is [31].

Rendkívüli szennyezés esetén a következő szennyezőanyagok előfordulására lehet számítani [31] a Torna-patakon:

- kommunális szennyvíz (üzemzavar esetén); olajszennyezés (Volán telepek, autósosók); savas, cianidos szennyvizek, galvániszap (Ajkai Elektronikai Gyártó és Szolgáltató Kft.); nátronlúg (Ajkai Timföldgyár); vörösiszap (MAL Zrt.); salak-pernye zagy (MAL Zrt.).

A Torna-patak mentén több csapadékvíz bevezető árok, vörösiszap tározó csurgalékvizét bevezető árok (Malom-árok) és a kolontári szennyvíztisztító telep található. A veszélyes anyagok tekintetében a vízgyűjtőgazdálkodási tervben a monitoring mérések alapján higant és vegyületeit azonosították a Torna-patak középső szakaszán [33]; [34].

**A Torna-patak éves vízállás és vízhozam adataiból** (Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság) látható, hogy a 2010 év a többi évhez képest jóval csapadékosabb volt. A 2010-es év rendkívüli volt, a 959 mm éves csapadékösszegével, 1901 óta a

legcsapadékosabb év volt Magyarországon. A 12. táblázat a Kolontári vízmérce adatait mutatja. Ez alapján is jól látható, hogy a 2010 év csapadékosabb volt a többi évhez képest. A havi vízhozam adatokból is látható, hogy a kb. 2,5-szer nagyobb vízhozam mennyiséggel kellett számolni a vízgyűjtő területen.

12. táblázat: Kolontári éves átlag vízállás és vízhozam adatok (Közép-Dunántúli VIZIG)

| Év          | Éves átlag    |                              |
|-------------|---------------|------------------------------|
|             | Vízállás (cm) | Vízhozam (m <sup>3</sup> /s) |
| 2002        | 24            | 0,456                        |
| 2003        | 23            | 0,42                         |
| 2004        | 20            | 0,351                        |
| 2005        | 22            | 0,476                        |
| 2006        | 24            | 0,558                        |
| 2007        | 23            | 0,498                        |
| 2008        | 22            | 0,476                        |
| 2009        | 25            | 0,58                         |
| <b>2010</b> | <b>34</b>     | <b>1,02</b>                  |
| 2011        | 27            | 0,673                        |

Magyarországon 2010 októberében történt vörösiszap katasztrófa ráirányította az egész világ figyelmét arra, hogy komoly fenyegetést jelenthetnek az emberre és a környezetre a vörösiszap tározók és egyéb bányászati eredetű hulladékok tárolásai.

**2010. október 4-én 12:30-kor Magyarország történetének legnagyobb ipari katasztrófája következett be.**

Az ajkai timföldgyár X. számú zagyártározó gátjának átszakadásával, több 1 000 000 m<sup>3</sup> vörösiszapos zagy és lúgos víz (pH 13) elegye öntötte el a környező területet, hét települést (Kolontár, Devecser, Somlóvásárhely, Somlójenő, Tüskevár, Apácatorna, Kisberzsény) érintve (13. ábra). A kiömlött vörösiszapos zagy emberéleteket követelt és házakat tett lakhatatlanná. 1017 ha területet érintett és súlyos károkat okozott a Torna-patak ökoszisztémájában is.

A 13. táblázat az ajkai vörösiszap főbb alkotóit mutatja. A fő alkotókon kívül kisebb koncentrációban tartalmazza még a következő elemeket: Ce, La, Nb, Sc, Sm, Y, V, Zr (Vágföldi Z., 2011; Szépvölgyi J., 2010).



13. ábra: Vörösiszappal elöntött területe (on-line:  
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=46360>)

13. táblázat: Az ajkai vörösiszap fő alkotói ((Vágföldi Z., 2011; Szépvölgyi J., 2010)

| Fő alkotók                     | m/m %    |
|--------------------------------|----------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 37,0±2,6 |
| SiO <sub>2</sub>               | 20,0±2,7 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14,3±1,6 |
| Na <sub>2</sub> O              | 4,8±1,3  |
| TiO <sub>2</sub>               | 3,8±0,5  |

Az iszap vörös színét a benne legnagyobb arányban található Fe (III) -oxid adja. A vörösiszapot alkotó fém-oxidok vízben oldhatatlanok, így az élőlényekben való felhalmozódás veszélye nem áll fenn. Ökológiai szempontból a legnagyobb problémát az iszap erősen lúgos (pH~12) kémhatása jelentette.

**A X. zagykazetta gátszakadás következményei.** A katasztrófa bekövetkezése után a területileg illetékes Közép-dunántúli, Nyugat-dunántúli és az Észak-dunántúli KÖVIZIG együttműködve a helyi katasztrófavédelmi és egészségügyi szervekkel több beavatkozási ponton megkezdte a kármentesítést. A fertőtlenítés, a lúgos kémhatás semlegesítése és a szennyező anyag csökkentése érdekében a Közép-dunántúli KÖVIZIG az üzemi káresemény kapcsán III. fokú vízminőségi készültséget rendelt el. A védekezés legfőbb célja az volt, hogy a szennyező anyag ne érje el a Rábát, azon keresztül pedig a Dunát. Ennek érdekében olyan intézkedéseket hajtottak végre, melyekkel a Marcalban tudták tartani a szennyező anyagokat. Ezek folyamatos megkötése zajlott a Torna és a Marcal vizében [61].

A gátszakadás elsődleges következményei [61]:

- kiömlött 1 millió m<sup>3</sup> iszapos NaOH oldat (pH 13)
- kiáramlott 100 000 tonna vörösiszap
- elöntött területek Kolontár, Devecser, Somlónásárhely mélyebben fekvő részei és több mint 1000 ha mezőgazdasági területet.

A katasztrófát követően hat mintavételi pontot (Kolontár, Devecser, Somlónásárhely, Túskevár, Apácatorna, Karakó) jelöltek ki, a vízminőség folyamatos ellenőrzése céljából. A mintavételi pontokon általános vízkémiai paraméterek (pH, fajlagos vezetőképesség, oldott oxigén) mellett fémek (alumínium, nikkell, kadmium, réz, króm, cink, ólom) koncentrációját is meghatározták. A mérések eredményei hitelesen reprezentálták a

szennyezés levonulását, amely a Marcal folyót elérve annak élővilágát is károsította [63]. Annak érdekében, hogy a szennyező anyag ne érje el a Dunát, a kárelhárítás több beavatkozási ponton zajlott. Az erősen lúgos kémhatás semlegesítésére 2010. október 5-től kezdődően a szükséges mértékben gipszet ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) adagoltak. Az eljárás előnye, hogy a magas alumínium és hidroxid-ion tartalmat szilárd fázisba viszi és megkötí, ennek során  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$  és  $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3$  keletkezik. Fontos cél volt az élővilág kímélése érdekében a víz pH értékének elviselhető mértékűre való csökkentése. A víz pH értékének megfelelő csökkentése érdekében, ecetsav adagolására került sor, hogy a Rábában és a lentebbi folyókon a szennyezés már ne okozzon az élővilágban elviselhetetlen kárt. Továbbá a Marcalba jutott nehézfém szennyezést a folyó mederben tartották a szennyezés lokalizálása és hatékonyabb kármentesítés érdekében [61], [62]. A katasztrófa bekövetkezése után a **káresemény hatásának csökkentése érdekében megtett beavatkozások** [61] [64] [83] alábbiak voltak:

Folyamatosan adagoltak gipszet a Marcal folyóba a mért pH érték függvényében. A gipsz bejuttatásának másik előnye az volt, hogy segítette a kiülepedést és akadályozta a veszélyes anyag továbbjutását. A gipsz gyors és megfelelő keveredésének biztosításához többféle intézkedést is végrehajtottak. Ide tartoztak a több ponton kiépített fenékküszöbök. Az így kialakított duzzasztó terekben a szennyező anyagok kiülepedése gyorsult és így a tovább haladó szennyező anyag koncentrációja jelentősen csökken. Emellett alkalmazták még a légbefúvásos vagy levegőztető keverést is, szintén a gipsz gyorsabb elkeveredése érdekében.

Az ecetsav ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) gyenge sav, amely azért előnyös, mert a pH nem csökken le hirtelen alacsony értékre, mintha erős savat adagolnánk. A két eljárást kombinálva is alkalmazták oly módon, hogy több ponton először csak gipszet adagoltak a szennyezett folyóvízbe több ponton, majd szükség esetén ecetsavval állították be a pH tartományt.

Keresztgát építés célja volt a víz lelassítása, az ülepedő terek létrehozása a megfelelő helyeken.

A Szakértő Csoport irányításával a Duna és az érintett vízfolyások védelme érdekében, összeségében 23 000 t gipszet és 1800 m<sup>3</sup> ecetsavat juttattak a Torna-patakba és a Marcalba annak érdekében, hogy a Duna védelmét biztosítsák.

Az elvégzett vízvédelmi beavatkozások összefoglalása megtalálható az 1-4 Marcal tervezési alegységben (2016), a vízminőségvédelmi feladatok munkáit a Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, a műveleti munkák irányító hatósága pedig az **Országos Vízügyi Igazgatóság Műszaki Irányító Törzse** volt [26].

- folyamatos vízminőség vizsgálatok a Torna-patakon, a Marcalon és a Rábán, valamint a Dunán
- a sérült gát mögé az iszapáradat feltartóztatására kettős védelmi vonal építése Kolontár település további megvédésére
- a sérült X. zagykazetta északi oldalának megtámasztása, és a sérült gátrész bezárása
- a X/A zagykazettánál talpszivargó építése és monitoring-rendszer kiépítése csurgalékvíz gyűjtő medencével és

- lúgsemlegesítő (savadagoló) helyek kiépítése
- kotrási munkák elvégzése és uszadék eltávolítás a zagygal érintett vízfolyásokon, a kolontári bányatavon és a befogadó Marcalon
- vízminőségi automata monitoring kiépítése a Torna-patakon Kolontárnál
- a hidaknál és átereszeknél gipsz és ecetsav adagolása (a lúg semlegesítése, a pH normalizálása és a nagyon finom (kolloid) méretű zagy koagulálása (kicsapatás) érdekében (pl. közel 6000 tonna gipszet szórtak ki, amelynek rendkívül gyors beszerzése és helyszínre szállítása kivételes intézkedéseket igényelt)
- a beadagolt gipsz anyag elkeveredésének fokozása, valamint oxigén-bevitel érdekében fenékküszöbököt építettek termésköszorással a Torna-patakon és a Marcalon.

## 7. ÁLTALÁNOS MONITORING

### 7.1 A Veszprémi-Séd vízminőségének vizsgálata a VKI tükrében

A lakhelyemen a Veszprémi-Séd városi szakaszának a vízminőség változását követtem nyomon 2009-2016 között. Háttér információként feldolgoztam az 1994-2005 és a 2007-2012 közötti időszakok hatósági mérési eredményeit, amit a Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Természetvédelmi Felügyelőség, a vízállás és a vízhozam adatokat pedig a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság bocsátott a részemre.

A vizsgálataimat 2009 áprilisában kezdtem meg, amikor részletes terepbejárás során 25 mintavételi helyet jelöltem ki a városi szakaszon a területre jellemző tipikus hatások és problémák felderítése érdekében (az eljárások menetét és a mintavételi helyeket részletesen a FÜGGELÉK 1 fejezetben mutatom be). A mintavételi helyek kijelölését környezetkémiai szempontok figyelembevételével végeztem el. Olyan mintavételi helyeket választottam, ahol a területhasználatok ismeretében, vagy a vízgyűjtő terepbejárása során szennyeződést feltételeztem. Ehhez adódtak még a pontszerű szennyező források kibocsátási pontja előtti és utáni helyek (pl. hozzáfolyások, mellékágak, Vízmű kifolyó, csapadékvíz elvezető csatornák, közúti hidak mentén és a szennyvíztisztító telep).

Az eseti mérések elvégzése az általam kijelölt 25 mintavételi ponton, három különböző időpontban megismételt mintázással (a kellő adatmennyiségű és részletezettségű információ kinyeréséhez). A mérési eredmények alapján a további vizsgálatok céljára azt a kilenc kritikus mintavételi helyet választottam ki, ahol kiugró értékeket mértem és a víz minősítése a tűrhető/szennyezett kategóriában volt. Ezeket a monitoring helyeket a további években (2009-2016 között) alkalmasszerűen monitoringoztam.

Évente a kilenc mintavételi helyről átlagosan 45 vízmintát dolgoztam fel és kilenc fizikai-kémiai paramétert (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, ammónium, nitrit, nitrát, ortofoszfát) mértem, így évente kb. 405 mérést végeztem. A vizsgált időszakban ez összesen kb. 2430 mérés, amihez hozzáadódik a 2009-ben végzett részletes felmérés 1500 mérése.

A mérési eredményeim értékeléséhez a VKI vízgyűjtő specifikus minősítést a 10/2010 (VIII.18) VM rendelet „a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól”, 2. mellékletét használtam (10/2010 (VIII.18) VM rendelet) és a VGT2 6-1 mellékletében megadott kiváló/jó/mérséklet/gyenge/rossz vízminőségi határértékeket alkalmaztam. Az adatok feldolgozásához a MS Excel 2010 és az XLSTAT base ingyenes verziót ([www.xlstat.com](http://www.xlstat.com)) használtam.



### 7.1.1 Veszprémi-Séd városi szakaszának eseti felmérése és vízminőség értékelése

A Veszprémi-Séd vízminősége a **hatósági mérések alapján az 1994-2005, a 2007 és a 2012 években** az éves átlag értékek feldolgozása a VKI minősítés alapján nem megfelelő minőségű. A nem megfelelő állapotot az oxigénháztartás elemei közül az ammónium-N, a tápanyag háztartás elemei közül pedig a nitrát-N és az ortofoszfát-P átlag koncentráció értékei okozták.

Az 1994-2005 között a veszprémi vízmérce adatsorát elemeztem és értékeltem, mert ez található az általam vizsgált városi szakaszon. Az éves átlag, minimum és a maximum értékek változásának értékeléséhez a 14. táblázatban feltüntettem az egyes évekhez tartozó mintavételi gyakoriságok értékeit.

14. táblázat: Mintavételi gyakoriság megoszlása 1994-2005 között

|                               | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Mintavételi gyakoriság</b> | 6    | 6    | 5    | 4    | 4    | 4    | 2    | 3    | 4    | 3    | 4    | 2    |

A 14 év éves átlag adatait feldolgoztam és értékeltem a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott típus specifikus határértékek alapján. A minősítés alapján a pH, vezetőképesség és a nitrit folyamatosan kiváló állapotot mutatott. Az ammónium-N esetében 5 évben (1998, 2000, 2003, 2004, 2005) volt jó állapotú a víz minősége, a többi évben pedig nem megfelelő volt az állapota. A nitrát-N éves koncentráció értékeire 2002-2005 között határérték alatti, a többi évben folyamatosan határérték feletti értékek adódtak. Az ortofoszfát-P minden évben határérték (100 µg/l) felett volt, kivéve két évet (2004 és 2005), amikor az átlag érték megegyezett a határértékkel (15. táblázat).

15. táblázat: Hatósági fiziko-kémiai mérések éves átlag értékeinek a minősítése éves bontásban

| paraméter/év   | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2007 | 2012 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH             | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| vezetőképesség | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| nitrit         | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| ammónium-N     | 3    | 3    | 3    | 3    | 4    | 3    | 4    | 3    | 3    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    |
| nitrát-N       | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 4    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    |
| ortofoszfát-P  | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3,5  | 3,5  | 3    | 3    |

A Veszprémi-Séd városi szakaszának **részletes állapotfelmérését 2009-ben végeztem**. Terepbejárással kijelöltem a mintavételi helyeket, meghatároztam a potenciális antropogén szennyező forrásokat és az eredményeim alapján kijelöltem azokat a mintavételi helyeket, ahol a város terhelése nyomon követhető. A 16. táblázat mutatja a 2009-ben történt mintavételi időpontokat, a mintavételi helyek számát és a mért fizikai-kémiai paramétereket.

A terepi mérések során a **hőmérséklet** az évszaknak megfelelően alakult, a napszaknak megfelelően emelkedett. Nagyobb értékeket a 2009.04.20-i mérések során tapasztaltam. A Veszprémi-Séd hozzáfolyásai közül a tisztított szennyvíz hőmérséklete (18,5 °C) mindhárom mérési időpontban nagyobb volt a befogadó vízfolyásénál.

A **pH** a folyás mentén (7–9 értékek között) változott, ez alapján enyhén lúgos tartományba sorolható.

A **vezetőképesség** változása egyenletes (800-900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) tendenciát mutatott, csupán a Békatói árokban mértem kiugró értékeket: 1186  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2009.04.15) és 1408  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2009.05.06). Az átlagos értékhez (894  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) képest kisebb értékeket mértem a Balaton Volán Zrt. telephelyéről elfolyó vízben (600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) és a veszprémi szennyvíztisztító telep tisztított vizében (340  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

16. táblázat: A 2009 tavaszán végzett mérések időpontjai

|   | Mintavétel időpontja | Mintavételi helyek száma | Mért fizikai-kémiai paraméterek  |
|---|----------------------|--------------------------|--|
| 1 | 2009.04.20.          | 25                       | hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , KOI, $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P, |
| 2 | 2009.04.27.          | 25                       | hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , KOI, $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P, |
| 3 | 2009.05.06.          | 25                       | hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , KOI, $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P, |

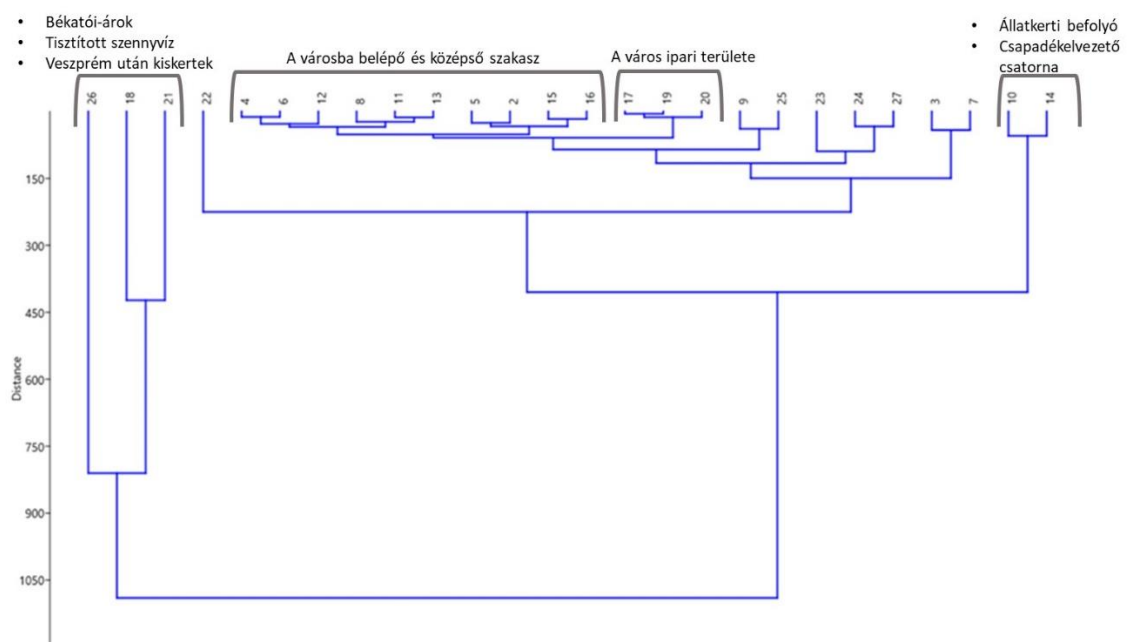
A **zavarosság** (2009.05.06) az Úrkút sétány mintavételi pontjáig emelkedett, majd ezen a mintavételi helyszínen a Veszprémi-Séd vízszintje szemlátomást néhány perc alatt megemelkedett és zavarossá vált a víz. A mért 50 NTU értékről 92 NTU zavarosság értékre ugrott, ami egy hirtelen nagy mennyiségű időszakos víz beengedésére engedett következtetni (pl. autómosás), amely egyszeri egyedi csúcsot eredményezett. A további mintavételi pontokon már kisebb értékeket (11 FNU/NTU) mértem.

A **laboratóriumi mérési eredmények** elemzése és értékelése alapján az alábbiakat állapítottam meg. Az **ammónium-N** koncentráció érték 0,02 – 0,25 mg/l között változott, az Aranyos-völgy városi csapadékelvezető csatorna vizében (1,9 mg/l) és a Békatói árokban (0,76 mg/l) mértem (2009.05.06) kiugró értékeket. A **nitrit-N** koncentrációja 0,01 – 0,04 mg/l között változott. Ennél a komponensnél is az Aranyos-völgy városi csapadékelvezető csatorna (0,39 mg/l), a Békatói árok (0,19 mg/l) és a Balaton Volán Zrt. telephelyéről a 2009.05.06-án vett elfolyó tisztított víz (0,16 mg/l) minták mutattak nagyobb koncentráció értékeket. A **nitrát-N** esetében megállapítottam, hogy a városon áthaladva a Veszprémi-Séd a városi belépési ponthoz viszonyított értékének (3,4-5,2 mg/l) többszörösét éri el a városon belül. A 2009.04.27-ei mérési napon a többi mérési eredményhez viszonyítva nagyobb értékeket (4,1-11,1 mg/l) tapasztaltam a vizsgált szakasz teljes hosszán. A szennyvíztisztító telep elfolyó tisztított vizében 4,4 mg/l

koncentrációt mértem, amelynek hatása mérhető a szennyvíztelep utáni mintavételi ponton (10,2 mg/l), majd Veszprémet elhagyva a Veszprémi-Séd jellemzően mezőgazdasági területen folyik, így a Kádárta közeli mintavételi ponton szintén nagy nitrát-N koncentrációt (18,8 mg/l) detektáltam. Az **ortofoszfát-P** értéke a város előtti és utáni részen 50 - 100 µg/l között változott, viszont a befolyó ágakban a Veszprémi-Sédhez viszonyítva kiugró értékek (690-1020 µg/l) voltak mérhetőek. Az Aranyos-völgy városi csapadékelvezető csatorna esetében 790 µg/l ortofoszfát-P koncentrációt mértem (2009.05.06). A Békatói-árokban két alkalommal (2009.04.15, 2009.05.06) kaptam kiugró ortofoszfát-P koncentráció (890 µg/l, 1020 µg/l) értéket. A szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizében a 2009. április 15-én vett mintában volt a legnagyobb a mért érték (1300 µg/l).

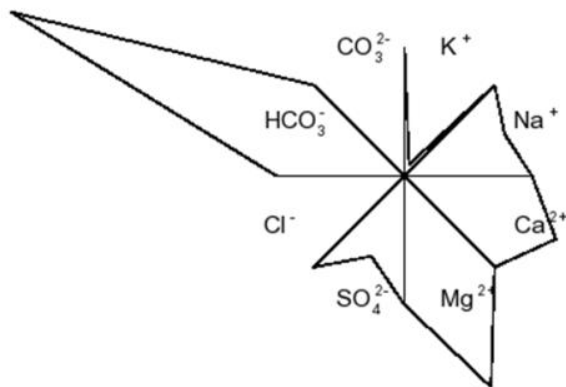
A részletes felmérés eredménye alapján kiválasztottam azokat a mintavételi helyeket és a mérendő komponenseket, amelyeket az eseti vizsgálatok során a következő években rendszeresen vizsgáltam a terepen és a laboratóriumban.

A mérési eredményeimre dendrogramot készítettem (14. ábra), abból a célból, hogy kritikus mintavételi helyeket meghatározzam. A klaszteranalízis eredménye, hogy elkülönültek a kiugró szennyezéssel bíró mintavételi helyek úgy, mint a Békatói-árok, tisztított szennyvíz, Veszprém ipari területe, valamint az állatkerti befolyó és a csapadékelvezető csatorna mintavételi pontjai.



14. ábra. ábra: A mérési eredmények alapján készített dendrogram (Euklidészi/UPGMA)

A részletes felmérés alapján a Veszprémi-Séd városi szakaszára elkészítettem a 8 főionra vonatkozó Maucha-diagramot, amely a területi hidrogeokémiai jellegét a karsztos terület dominanciáját mutatja (15. ábra).



15. ábra: Veszprémi-Séd Maucha-diagramja a 8 főionra

A 2009-2016 között végzett évi eseti állapotfelmérések alkalmával az előzetes felmérésem eredményei alapján kijelölt kilenc mintavételi helyen végeztem terepi és laboratóriumi méréseket, valamint VKI alapú vízminősítést.

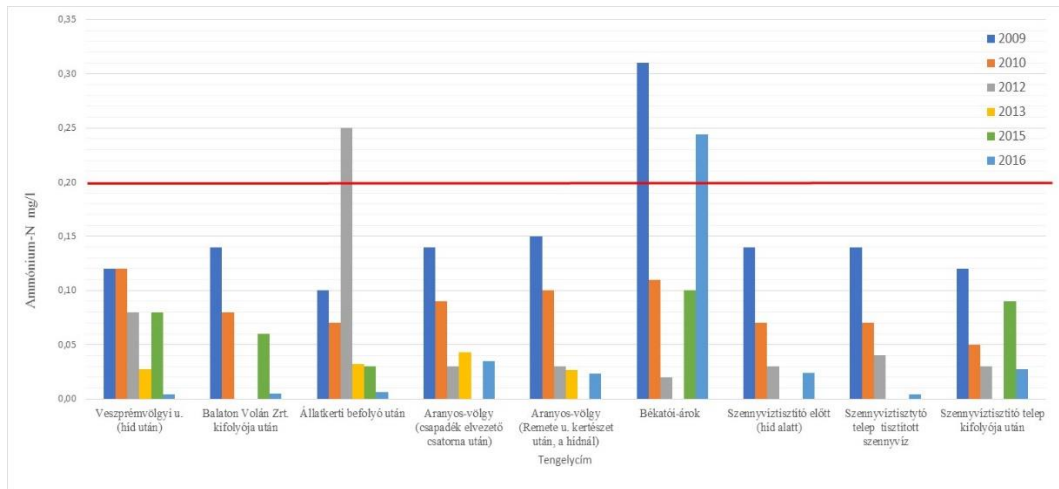
A terepi felméréssel kijelöltem a potenciális szennyezés terhelés szempontjából jelentős kibocsátási pontokat és a fizikai-kémiai paraméterek eredményei alapján pedig a kritikus szakaszokat. Ezen pontszerű és diffúz szennyező források hatásainak nyomon követése érdekében öt éven keresztül eseti vizsgálatokat végeztem a kiválasztott mintavételi helyeken. A dizertáciomban a N és P formák koncentráció változását mutatom be részletesen mivel a feldolgozott adatbázis (1994-2012) alapján ezen paraméterek minősége nem megfelelő volt a Veszprémi-Sédre.

A Veszprémi-Séd városi szakaszán meghatározott jelentős antropogén pontszerű kibocsátási helyek (17. táblázat) a következők: Balaton Volán Zrt. kibocsátási pontja; Aranyos-völgyi városi csapadékelvezető csatorna; Békatóti-árok mellékvízfolyás; Veszprémi szennyvíztisztító telep tisztított szennyvíz kibocsátása.

17. táblázat: A kritikusnak minősített mintavételi helyek

| Sorszám | Mérési eredmények alapján kritikusnak minősített mintavételi helyek | Fizikai-kémiai paraméterek  |
|---------|---|---|
| 1       | Veszprémvölgyi út (híd alatt)                                       | hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, ammónium, nitrit, nitrát, ortofoszfát |
| 2       | Balaton Volán Zrt. kifolyó után                                     |   |
| 3       | Állatkerti befolyó után   |   |
| 4       | Aranyos-völgy (csapadék elvezető csatorna után)                     |   |
| 5       | Aranyos-völgy (Remete u. kertészet után, hídnál)                    |   |
| 6       | <b>Békatóti árok</b>  |   |
| 7       | Veszprémi szennyvíztisztító telep előtt (hídnál)                    |   |
| 8       | <b>Veszprémi szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize</b>      |   |
| 9       | Veszprémi szennyvíztisztító telep kifolyója után                    |   |

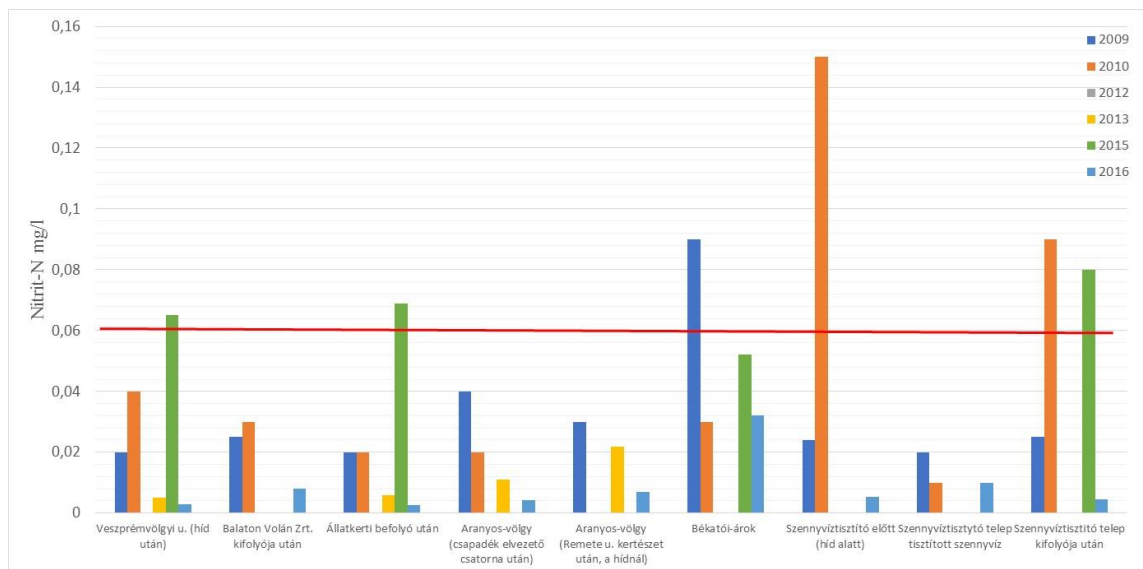
Az ammónium-N koncentráció változását a 2009-2016 években a 16. ábra mutatja.



16. ábra: A Veszprémi-Séd ammónium-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016)

A teljes adatbázisban az **ammónium-N** koncentrációra vonatkozóan a minimum és maximum érték 0,06-0,76 mg/l. A 16. ábrán jól látható, hogy a 2012-ben a Veszprémi-Séd esetében kiugró éves átlag értéket (0,25 mg/l) kaptam az Állatkerti befolyó utáni szakaszon, amely jelentős friss szennyezés megjelenését mutatta. A Békatói-árokban két alkalommal is, így 2009-ben és 2016-ban határérték (0,2 mg/l) feletti ammónium-N koncentráció átlag értéket (0,31 mg/l és 0,24 mg/l) mértem, ami alapján a mérsékelt vízminőségi kategóriába tartozik.

A nitrit-N koncentráció változását a 2009-2016 években a 17. ábra mutatja.

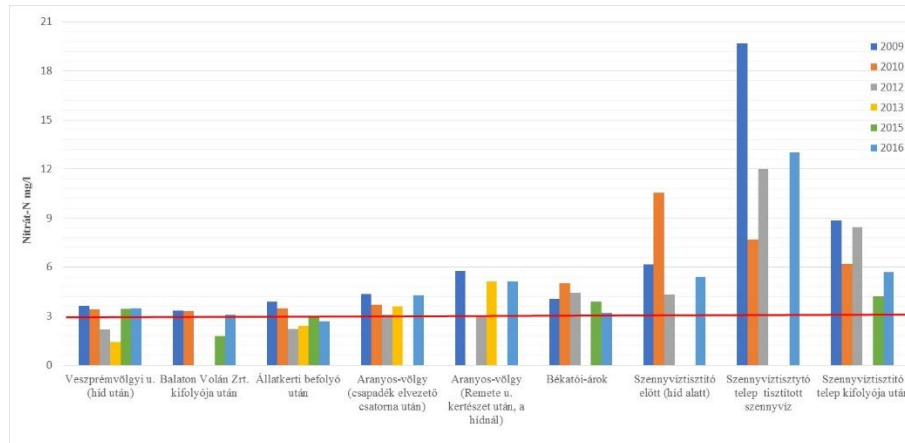


17. ábra: A Veszprémi-Séd nitrit-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016)

A **nitrit-N** koncentráció alakulását vizsgálva 2009-ben a Békatói-árok éves átlag értéke (0,08 mg/l) alapján a mérsékelt vízminőségi kategóriába került. A 2010 és 2015-ben a szennyvíztisztító telep előtt és után mértem kiugró és határértéket meghaladó

koncentrációt (0,15 és 0,09 mg/l). 2015-ben a nitrit éves átlag koncentráció értéke határérték felett alakult a Veszprémvölgyi u. és az Állatkerti befolyó utáni mintavételi pontokon.

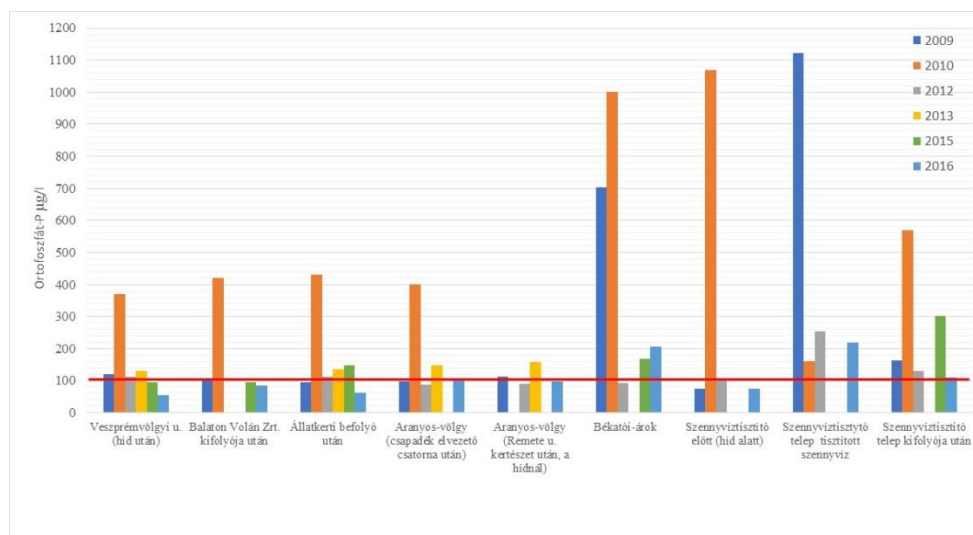
A nitrát-N koncentráció változását a 2009-2016 években a 18. ábra mutatja.



18. ábra: A Veszprémi-Séd Nitrát-N (mg/l) éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016)

A **nitrát-N** koncentráció alakulása a vizsgált évek alatt a 3 mg/l határérték felett volt. Ezen felül a veszprémi szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize jelentős hatással van a befogadóra, így folyamatosan a gyenge vízminőség kategória jellemző a telep utáni szakaszra. Továbbá a városi kiskertek és a csapadékelvezető csatornák terhelésének a hatása is megmutatkozik az eredményekben.

A ortofoszfát-P koncentráció változását 2009-2016 között a 19. ábra mutatja.



19. ábra: A Veszprémi-Séd ortofoszfát-P éves átlag értékeinek alakulása (2009-2016)

A 19. ábrán jól látható, hogy a 2010-es évben az ortofoszfát-P koncentráció éves átlagértéke a Békatói-árokban és a szennyvíztisztító telep kifolyó vizében tízszerese, a többi mintavételi helyen pedig jellemzően három-négyszerese a határértéknek (100 µg/l).

A többi évben az Veszprémi-Séd ortofoszfát-P koncentrációja a jó és a mérsékelt vízminőség határán mozgott.

Az **eseti méréseim** (2009, 2010, 2012, 2013, 2015, 2016) során pillanatképet kaptam az oxigén és a tápanyag háztartás paramétereinek elemzésével, hogy a település milyen terhelést jelent a Veszprémi-Sédre. 2009-től 2016-ig összesen 3930 eseti mérést végeztem a Veszprémi-Séd városi szakaszán.

A mérések alapján megállapítottam és ezzel alátámasztottam VGT2 értékelését, hogy a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek eredményei alapján nem éri el a jó állapotot (2009, 2010, 2012, 2013, 2015) a Veszprémi-Séd, és ezt a komponens csoportok közül a növényi tápanyagok (nitrát-N és ortofoszfát-P) okozzák (18. táblázat).

18. táblázat: Az eseti fiziko-kémiai paraméter méréseim éves átlag értékeinek a minősítése a Veszprémi-Séd városi szakaszán

| Évek                 | Mintavételi helyek |             |            |            |             |                  |             |                           |            | Éves átlag érték minősítése a Veszprémi-Séd városi szakaszára |
|----------------------|--------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------------|-------------|---------------------------|------------|---|
|                      | 1                  | 2           | 3          | 4          | 5           | 6 (Békatói árok) | 7           | 8 Szennyvíztisztító telep | 9          |   |
| <b>Ammónium-N</b>    |                    |             |            |            |             |                  |             |                           |            |   |
| 2009                 | 4                  | 4           | 4          | 4          | 4           | 3                | 4           | 4                         | 4          | 3,89  |
| 2010                 | 4                  | 5           | 5          | 5          | 5           | 4                | 5           | 5                         | 5          | 4,78  |
| 2012                 | 5                  |             | 3          | 5          | 5           | 5                | 5           | 5                         | 5          | 4,75  |
| 2013                 | 5                  |             | 5          | 5          | 5           |                  |             |                           |            | 5,00  |
| 2015                 | 5                  | 5           | 5          |            |             | 4                |             |                           | 5          | 4,80  |
| 2016                 | 5                  | 5           | 5          | 5          | 5           | 5                | 5           | 5                         | 5          | 5,00  |
| <b>Átlag értékek</b> | <b>4,6</b>         | <b>4,75</b> | <b>4,5</b> | <b>4,8</b> | <b>4,8</b>  | <b>4,2</b>       | <b>4,75</b> | <b>4,75</b>               | <b>4,8</b> | <b>4,66</b>   |
| <b>Nitrit-N</b>      |                    |             |            |            |             |                  |             |                           |            |   |
| 2009                 | 5                  | 5           | 5          | 4          | 4           | 3                | 5           | 5                         | 5          | 4,56  |
| 2010                 | 4                  | 4           | 5          | 5          |             | 4                | 3           | 5                         | 3          | 4,13  |
| 2012                 |                    |             |            |            |             |                  |             |                           |            |   |
| 2013                 | 5                  |             | 5          | 5          | 5           |                  |             |                           |            | 5,00  |
| 2015                 | 3                  |             | 3          |            |             | 4                |             |                           | 3          | 3,25  |
| 2016                 | 5                  | 5           | 5          | 5          | 5           | 5                | 5           | 5                         | 5          | 5,00  |
| <b>Átlag értékek</b> | <b>4,4</b>         | <b>4,6</b>  | <b>4,6</b> | <b>4,6</b> | <b>4,6</b>  | <b>4</b>         | <b>4,3</b>  | <b>5</b>                  | <b>4</b>   | <b>4,46</b>   |
| <b>Nitrát-N</b>      |                    |             |            |            |             |                  |             |                           |            |   |
| 2009                 | 3                  | 3           | 3          | 3          | 2           | 3                | 2           | 2                         | 2          | 2,56  |
| 2010                 | 3                  | 3           | 3          | 3          |             | 2                | 2           | 2                         | 2          | 2,50  |
| 2012                 | 4                  |             | 4          | 3          | 3           | 2                | 2           | 2                         | 2          | 2,75  |
| 2013                 | 4                  |             | 4          | 3          | 2           |                  |             |                           |            | 3,25  |
| 2015                 | 3                  | 4           | 3          |            |             | 3                |             |                           | 2          | 3,00  |
| 2016                 | 3                  | 3           | 4          | 3          | 2           | 3                | 2           | 2                         | 2          | 2,67  |
| <b>Átlag értékek</b> | <b>3,3</b>         | <b>3,25</b> | <b>3,5</b> | <b>3</b>   | <b>2,25</b> | <b>2,6</b>       | <b>2</b>    | <b>2</b>                  | <b>2</b>   | <b>2,66</b>   |
| <b>Ortofoszfát-P</b> |                    |             |            |            |             |                  |             |                           |            |   |
| 2009                 | 3                  | 3           | 4          | 3          | 3           | 2                | 4           | 1                         | 3          | 2,89  |
| 2010                 | 2                  | 2           | 2          | 2          |             | 1                | 1           | 3                         | 2          | 1,88  |
| 2012                 | 3                  |             | 3          | 4          | 4           | 4                | 3           | 3                         | 3          | 3,38  |
| 2013                 | 3                  |             | 3          | 3          | 3           |                  |             |                           |            | 3,00  |
| 2015                 | 4                  | 4           | 3          |            |             | 3                |             |                           | 3          | 3,40  |
| 2016                 | 5                  | 4           | 5          | 3          | 3           | 3                | 4           | 3                         | 3          | 3,67  |
| <b>Átlag értékek</b> | <b>3,3</b>         | <b>3,25</b> | <b>3,3</b> | <b>3</b>   | <b>3,25</b> | <b>2,6</b>       | <b>3</b>    | <b>2,5</b>                | <b>2,8</b> | <b>3,00</b>   |

Az ammónium-N és a nitrit-N négy évben (2009, 2010, 2012, 2015) több ponton, így a Veszprémi-Séd város előtti, Állatkerti befolyó utáni pontján, Békatói-árokban és a veszprémi szennyvíztisztító telep előtt és után nem érte el a jó állapotot. A nitrát-N koncentráció értéke a negyedik mintavételi hely után, vagyis az Aranyos-völgyi csapadék

elvezető utáni szakaszon szennyezett minőségű. A belvárosi kiépített részt elhagyva kertek mellett folyik tovább a Veszprémi-Séd, illetve a Házgyári út alatt átfolyva szintén mezőgazdasági területek mellett halad, majd eléri a veszprémi szennyvíztisztító telepet.

Az ortofoszfát-P koncentráció értéke alapján 2009-ben és 2010-ben erősen szennyezett vízminőségi kategóriába került 3 helyen is: a Békatói-árok, a szennyvíztisztító előtt és a tisztított szennyvíz mintavételi pontokon. A nitrát-N és az ortofoszfát-P minősítése alapján pedig minden évben a teljes városi szakaszon a nem megfelelő állapot jellemezte.

A 2009. évi eseti részletes mérési eredményeim (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P) alapján megállapítottam, hogy a Veszprémi-Séd vízminőségének alakulására a befolyók (Balaton Volán Zrt. kibocsátási pontja, Állatkerti befolyó, Békatói-árok), a csapadék elvezető-árkok (pl. Aranyos-völgyi városi csapadékelvezető csatorna) és a veszprémi szennyvíztisztító telep szignifikáns terhelést jelentenek.

- Ezeket tekintetem a további öt éves mérési sorozat potenciális szennyező pontforrásainak, és ezekre a mérési eredményekre támaszkodva jelöltem ki a szennyezettség szempontjából kritikus szakaszokat. Így kilenc mintavételi helyet határoztam meg, ahol szezonálisan mértem a biológiát támogató fizikai-kémiai paramétereket.
- A részletes felméréskor elkészítettem a nyolc fő ionra a Maucha-diagramot, amely mutatja a karsztos terület jellegzetességét.

Összefoglalásként a felmérés eredményei alapján elmondható, hogy a Veszprémi-Séd városi szakasza nem megfelelő állapotban van, amely értékelés alátámasztja az OVGT minősítését [26].

Ugyanakkor az is megállapítható, hogy bár az eseti méréseim eredményeiből egy általános képet kaphattam a városi szakasz vízminőségéről, de ezzel a módszerrel csak érinteni sikerült az egyedi specifikus problémákat, nem jutottam szennyezéscsúcsok megjelenési ütemének és tényleges nagyságának feltáráshoz szükséges kellő részletezettségű információhoz, ahhoz csak jelentős mintavételi sűrítéssel keresztül juthattam el.



## 8. A FOLYAMATOS MONITORING RENDSZEREK ALKALMAZÁSA

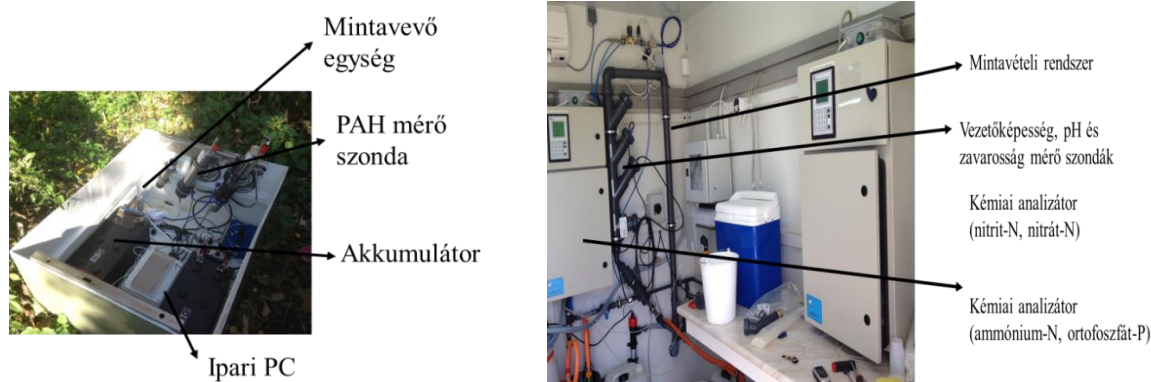
### 8.1 A feladathoz igazított monitoring állomások kialakítása és működtetési tapasztalatok

#### 8.1.1 A Veszprémi-Sédre telepített két monitoring állomás

Moduláris, komplex monitoring állomások kialakítását és működését végeztem. Egyszerű kialakítású és standard fizikai-kémiai paraméterek mérésére fókuszáltam: Az alkalmazható két mobil monitoring állomás felépítése (20. ábra) több szempontból is eltérő volt, amit a 19. táblázatban tüntettem fel. A főbb eltérések a mérőállomások méretében, áramellátásában, mintavételi gyakoriságában és a mért vízkémiai paraméterek számában nyilvánultak meg [86].

19. táblázat: A felmérés során alkalmazott Mobil MÉRŐÁLLOMÁSOK jellemzői

|                            | 1. számú mérőállomás<br>(Városba belépő szakasz)   | 2. számú mérőállomás<br>(Városból kilépő szakasz)  |
|----------------------------|--|--|
| <b>Telepítés helyszíne</b> | Veszprémi-Séd Veszprém városba belépő szakaszán, a vízmű belső védterületen  | Veszprémi-Séd Veszprém városból kilépő szakaszán, ipartelepen  |
| <b>Méret</b>               | 85x85x85 cm befoglaló méretű erősített műanyagból készült monitoring állomás   | 2,4 x 2,4 m alapterületű, 2,5 m magasságú konténer monitoring állomás  |
| <b>Szállítás</b>           | személygépkocsi  | darus teherautó  |
| <b>Áramellátás</b>         | két 12 V ólom-akkumulátor  | hálózati feszültség (220V)   |
| <b>Mért paraméterek</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH [90], [91]</li> <li>- zavarosság</li> <li>- vezetőképesség</li> <li>- vízhőmérséklet</li> <li>- oldott oxigén koncentráció</li> <li>- poliaromás szénhidrogén, klorofill-a koncentráció</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- zavarosság</li> <li>- vezetőképesség</li> <li>- NH<sub>4</sub>-N koncentráció (Systea)</li> <li>- PO<sub>4</sub>-P koncentráció (Systea)</li> <li>- NO<sub>3</sub>-N koncentráció (Systea)</li> <li>- NO<sub>2</sub>-N koncentráció (Systea)</li> </ul> |
| <b>Mintavétel</b>          | 15 perc vagy óránként  | óránként   |
| <b>Karbantartás</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- akkumulátor csere (hetente)</li> <li>- szondák tisztítása (lebegőanyag mennyisége befolyásolja)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- reagens csere, reagens vak, kalibrálás (2 hetente)</li> <li>- desztillált víz feltöltés (2 hetente)</li> <li>- minta elosztó edény, mintavételi csövek tisztítása</li> </ul>  |



20. ábra: A város előtti és a város utáni mobil mérőállomások felépítése

### 8.1.2 A várpalotai szennyvíztelepre telepített automata monitoring állomás

A 20. táblázat a várpalotai szennyvíztisztító telepre telepített monitoring állomás felszereltségét mutatja be.

A várpalotai lakossági szennyvíztisztító telep (2x3000m<sup>3</sup>/d kapacitású) elfolyó tisztított vizét vizsgáltam, amelynek a befogadója a Várpalotai bányasüllyedékes tavak (Birkástó) a kibocsátási pont a Nagybivalyos tó. A vízgyűjtő gazdálkodási terv alapján [31] ezek a mesterséges tavak csoportjába és az 5-ös tipológiai típusba tartoznak.

20. táblázat A mobil monitoring állomás jellemzői

| Paraméter                 | Monitoring állomás  |
|---------------------------|---|
| Mintavételi hely          | A szennyvíztisztító telep elfolyó tisztított szennyvíz kibocsátási pontjánál  |
| Monitoring állomás mérete | 2.4x2.4 m alap területű, 2.5 m magas monitoring állomás   |
| Szállítása                | teherautó (darus)   |
| Áramforrás                | tápfeszültség 220/V9  |
| Mért paraméterek          | pH<br>vezetőképesség<br>zavarosság<br>NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> -N koncentráció<br>PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P koncentráció |
| Mintavétel ideje          | Minden órában történt mintavétel  |
| Működtetés, fenntartás    | reagens és standard oldat cseréje, desztillált víz biztosítása, mintavételi cső és szűrőjének, edényzetek tisztítása                |

### **8.1.3 Akkreditálható Vízhőminőségi Távmérő Rendszer (AVITAR) és a mintavételi hely bemutatása**

Konzorciumi projekt (KMOP 1.1.1 K+F projekt 2008-2011 AVITAR [60]) fejlesztése keretében jött létre az **Akkreditálható Vízhőminőségi Távmérő Rendszer (AVITAR)**, amelynek kifejlesztésében és működtetésében aktív szerepet töltöttem be. Ugyanebben az időszakban az akkreditált ÖKORET Monitoring Laboratóriumnak a laboratórium (NAT-1-1629/2010) és minőségügyi vezetője voltam.

Az **Akkreditálható Vízhőminőségi Távmérő Rendszer (AVITAR)** a vízminőség meghatározására alkalmas komplex rendszer, amely magában foglalja a kialakított mérőhálózat informatikai rendszerét és a hozzá tartozó automata monitoring mérőállomásokat is. Az AVITAR előnye, hogy segítségével a folyamatos mérések „kvázi” akkreditálhatóvá tehetőek, valamint működtetése nem igényel folyamatos emberi jelenlétet, távműködésre alkalmas. A mérőállomás a szolgáltatott mérési eredményeket és működésre vonatkozó adatokat mobilinternetes kapcsolaton keresztül küldi a rendszerközpontba. Az akkreditálhatóságot a rendszerközpont szoftvere biztosítja, mely tetszőleges időpontokban és kiválasztott paraméterek esetén státusz riportokat generál [60]. A rendszer vízvizsgálata az akkreditálási specifikációban rögzítetteknek megfelelő, mely szerint a karbantartások, illetve a reagens cserék, standardok feltöltése ütemezetten és dokumentáltan történik, a kalibrációk automatikusan és ütemezett időközönként elvégzésre kerülnek, a mérési értékek folyamatosan dokumentáltak, ellenőrzöttek és a dokumentumok online elérhetőek a megfelelően szakképesítéssel bíró személyzet és laboratórium számára [60]. Az így kapott információk alapján a mérések akkreditálhatóvá tehetőek és fenntarthatók. Ezen feltételek biztosítják az akkreditálhatóság feltételeit. Az akkreditált működést pedig egy akkreditált partnerlaboratórium bevonásával lehet elérni, amely rendelkezik a megfelelő paraméterek méréséről a minőségirányítási kézikönyvében.

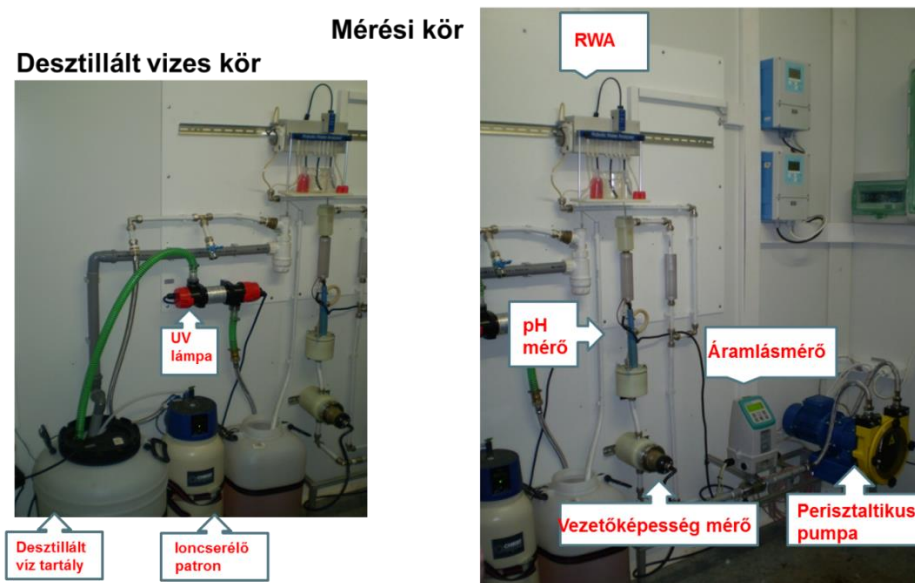
#### **Az AVITAR rendszer három fő részből áll:**

- A mérőállomás egy szabványos (1,4 x 2,4 x 2,6 m), hőszigetelt és klímaberendezéssel ellátott konténer. A monitoring állomás célja a megfelelő körülmények biztosítása a mérőberendezések működéséhez, védelmet nyújt a külső behatolók és az időjárás ellen, segíti a mintavételés a mérési folyamatok összehangolását. A felszerelt konténer lényegében egy mobil laboratórium, melyben valamennyi vízminőség vizsgálat könnyedén és automatikusan elvégezhető, legyen szó egyszerű szenzoros mérésről vagy analizátorok alkalmazásáról. A mérőállomások üzembe helyezése néhány óra alatt elvégezhető, szükség esetén könnyen mozgatható, áttelepíthető, igény esetén akár órák alatt is átköltöztethető más helyszínre (közvetlen vízkapcsolat és áramellátás szükséges).
- A vezérlőegység grafikus felületen keresztül biztosítja, hogy a mérőegységek megfelelően kontrollálhatók legyenek, megteremtve a kapcsolatot a kezelő és a kezelendő egységek között, emellett pedig biztonságos és hiteles kommunikációs

csatornát alkalmaz a laboratórium és a vezérlőközpont, valamint a vezérlőközpont és a mérőegység között. A mintavevő egység egy tömlős szivattyú, mely a vizsgálandó vízmintát kiemeli a víztestből. A megfelelő mintaáramot egy indukciós áramlásmérővel ellátott frekvenciaváltós fordulatszám-szabályozó biztosítja, melynek előnyei közé tartozik, hogy dugulás esetén az áramlás irányának megváltoztatásával a hiba megszüntethető.

- A mérésvezérlő és kommunikációs egység egy vezérlőszekrényben található és GPRS-internetkapcsolaton keresztül, továbbította a mért adatokat, a mérésre jellemző legfontosabb paramétereket és a működési állapotra vonatkozó információkat.

Az AVITAR monitoring állomás **telepítésének feltételei** a megfelelő terepviszonyok, áramellátás biztosítása, közvetlen vízkapcsolat, mintavevő és a túlfolyó cső kiépítése (mintavételre alkalmas csapok üzembe helyezése, fagyás veszély!), mintavevő cső végére szűrő (lebegőanyag tartalom kiszűrése), közvetlen víz hőmérséklet mérés, meteorológiai paraméterek mérése, víz minta felszívása perisztaltikus szivattyúval. A 21. ábra mutatja a AVITAR monitoring állomás kialakítását, a mérési- és a desztillált vizes kört.



21. ábra: Az AVITAR monitoring mérőállomás belső kialakítása

A KMOP konzorciumi projekt [60] keretében az eredetileg rendelkezésemre bocsátott mérőállomás kialakítása és funkcionalitása nem felelt meg a havária körülmények között alkalmazható folyamatos mérésnek, ezért átterveztem a mobil mérőállomás rendszerét.

A következő feladatokat kellett kidolgozni, hogy megfeleljen az elvárásoknak: az infrastrukturális háttér kialakítását (vízbevezetés, mintavétel, áramlási sebesség); a műszerek kiválasztását (robosztusság, kalibrálás, megbízhatóság, beépíthetőség); a mérés és ellenőrzés lebonyolításának módszertanát; az akkreditált dokumentációs rend alkalmazását a folyamatos monitoring rendszerre és a folyamatos karbantartás biztosítását (30 perces mérések, szivattyú kapacitás). Az AVITAR programrendszere a

szoftveres elvárásokat (SMS, e-mail, felhasználó igényéhez igazítható internetes felület) is biztosította.

A felhasználó által specifikált elvárások az alábbiak voltak, nyers adathozzáférés, átlagképzés a mérési eredményekből, diagramok készítése. A hatóság által igényelt mérési paraméterek a pH és vezetőképesség. A mérésére alkalmazott robosztus eszközök:

- 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 kapcsolódott. Jellemzők: mérés tartomány: 0-14; pH elektróda: ólom mentes üveg membrán folyamat alkalmazásokra.
- Vezetőképesség elektróda (Indumax CLS52): A vízminta vezetőképességének mérésére egy Indumax H CLS52 szenzor szolgál, amely egy Liquisys M CPM253 feldolgozó elektronikához kapcsolódott. Jellemzők: mérés tartomány: 0-2000 mS/cm.

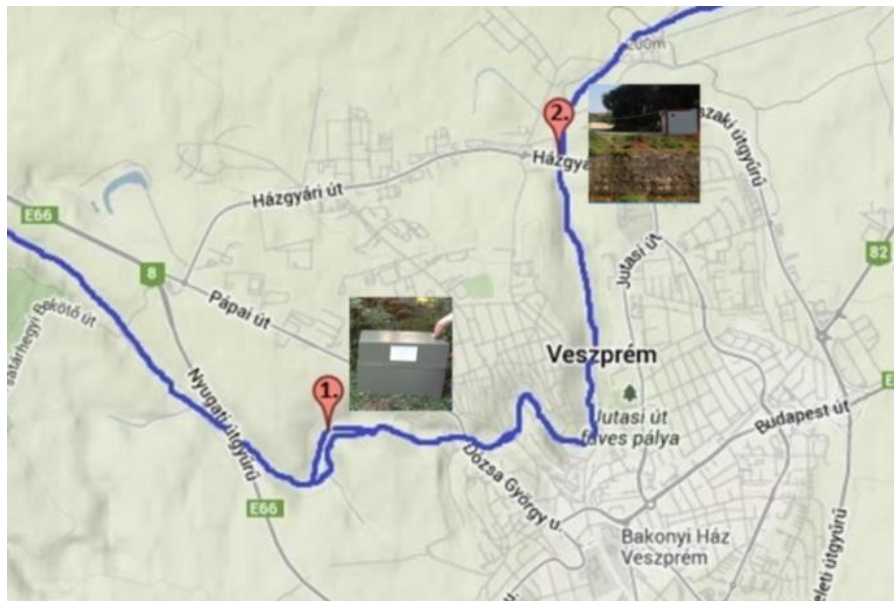
A mérések gyakorisága és a műszerek kalibrálása, pontosság ellenőrzése az alábbi rendszerességgel történt:

- Fél óránként pH és vezetőképesség mérés és adatszolgáltatás. Így minden félórában a szivattyú 2 perc alatt ürítette a rendszert és 5 perc folyamatos szívással biztosította a megfelelő átöblítést és a friss vízmintát a mérőműszereknek.
- Hetente végeztem a monitoring mérőállomás ellenőrzését, melynek során elvégeztem a szükséges karbantartási és tisztítási munkálatokat, valamint a pontosság ellenőrzését, amelyet, mint akkreditált ÖKORET Monitoring laboratórium végeztem el.
- Kéthetente helyszíni összemérés történt az AVITAR monitoring állomásnál az ÖKORET Monitoring Laboratórium és a KDT KTVF akkreditált laboratórium között.

## 8.2 A Veszprémi-Séd városi szakaszán történő folyamatos monitoring és a vízminőség értékelése

A Veszprémi-Séd városi szakaszának a vízminőségét lökészerűen befolyásoló szennyezések azonosítására automata online folyamatos mobil vízmonitoring állomásokat helyeztem ki és egy négyhónapos vizsgálati időszak eredményei alapján mutatom be a méréssűrítéssel kapott mérési eredményeket.

A 22. ábrán látható a mérőállomások elhelyezése. Az 1. számú mérőállomás a Veszprémi-Séd városba belépő pontjára, míg a 2. számú a Veszprémből kilépő pontjára került.



22. ábra: A telepített mérőállomások elhelyezése

A két online folyamatos méréseket biztosító automata mobil vízmonitoring állomást **2013. augusztus 05. és 2013. december 4 között** helyeztem ki a Veszprémi-Séd városi szakaszára. A mérési időszak során a város előtti szakaszon elhelyezett automata mobil vízmonitoring állomás (1) és a város utáni szakaszon elhelyezett automata monitoring állomás (2) órás méréseiből adatbázist hoztam létre és értékeltem a fizikai-kémiai paraméterek koncentráció változását, levonulásának dinamikáját, valamint elvégeztem a VGT alapú vízminősítést.

### 8.2.1 A mérési eredmények statisztikai feldolgozása

Az automata folyamatos monitoring állomások négyhónapos működési időszakából a megfelelő dinamikájú és részletezettségű adatsorokat és a hozzájuk igazított hidrológiai és meteorológiai adatsorokat dolgoztam fel (2879 óra, 13 paraméter). A város után elhelyezett monitoring állomás mérte a tápanyagháztartás elemeit. A 21. táblázat és a 22. táblázat a leíró statisztika eredményeit mutatja (minimum, maximum, medián, átlag, 25

és 75% percentilis; szórás, relatív szórás). Az ammónium-N, nitrit-N, ortofoszfát-P és a zavarosság esetében kiugróan nagy a relatív szórás értéke, ami azt jelenti, hogy az egyes mért értékek jelentősen eltértek az átlagtól.

A fizikai-kémiai paramétereket tekintve a pH értéke a vizsgált szakaszon 7,2-8,51 között mozgott. A vezetőképesség átlag értéke 658-715  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a zavarosság átlag értéke 27-39 NTU között állapítható meg. A nitrogénformák átlagértékei:  $\text{NH}_4\text{-N}$  0,028 mg/l,  $\text{NO}_2\text{-N}$  0,02 mg/l,  $\text{NO}_3\text{-N}$  4,4 mg/l, míg a  $\text{PO}_4\text{-P}$  koncentráció esetében az átlagérték 172  $\mu\text{g}/\text{l}$ . A táblázatból látható, hogy a pH, vezetőképesség, ammónium-N, nitrit-N esetében a folyamatos mérésből származó átlagértékek a típus specifikus határértékek (10/2010 (VIII.18) VM rendelet, VGT2 6-1 melléklet) alatt vannak. Az ortofoszfát-P koncentrációja a határérték (100  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) felett mozgott, míg a nitrát-N koncentráció értéke (4,4 mg/l) a határértéknél 46,7%-kal nagyobb.

Az átlagos koncentrációtól eltérő csúcsok elsősorban a városi terhelésből (pont és diffúz szennyezőforrások), városi burkolt felületekről, belterületi lefolyásból és csapadékhullás okozta erózióból származhatnak.

A mérési eredmények feldolgozása előtt hihetőségi vizsgálatot végeztem, mivel az átlagostól eltérő mérési eredmények származhatnak működés során fellépő üzemzavarból.

21. táblázat: A város előtti automata online monitoring állomás eredményeinek összefoglalása

| Statistikai jellemzők /Határértékek | Általános fizikai-kémiai paraméterek |                         |                   |                       | Hidrometeorológiai paraméterek |                |                |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|----------------|
|                                     | pH                                   | Vezetőképesség<br>μS/cm | Zavarosság<br>NTU | Oldott oxigén<br>mg/l | Hőmérséklet<br>°C              | Vízállás<br>cm | Csapadék<br>mm |
| <b>Mért adatok értékei</b>          |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Minimum                             | 7,58                                 | 331                     | 0,1               | 8,5                   | 9,1                            | 14             | 0,0            |
| Kvartilis-1                         | 7,78                                 | 609                     | 16                | 9,9                   | 11,3                           | 17             | 0,0            |
| Átlag                               | 7,82                                 | 658                     | 39                | 10,1                  | 11,7                           | 19             | 0,7            |
| Medián                              | 7,82                                 | 695                     | 24                | 10,1                  | 11,8                           | 18             | 0,0            |
| Kvartilis-3                         | 7,84                                 | 725                     | 39                | 10,4                  | 12,2                           | 19             | 0,0            |
| Maximum                             | 8,27                                 | 755                     | 300               | 11,0                  | 14,9                           | 82             | 55,0           |
| <b>Határértékek</b>                 |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Jó                                  | 6,5 - 9                              | <900                    | -                 | 7<                    | -                              | -              | -              |
| Mérsékelt                           | <=6,5 és 9<=                         | 900<=                   | -                 | <=7                   | -                              | -              | -              |
| 5 - kiváló                          | 7 - 8,5                              | <=700                   | -                 | 8<=                   | -                              | -              | -              |
| 4 - jó                              | 6,5-7; 8,5-9                         | 1000                    | -                 | 7                     | -                              | -              | -              |
| 3 - mérsékelt                       | 6                                    | 1500                    | -                 | 4                     | -                              | -              | -              |
| 2 - gyenge                          | 5,5                                  | 2000                    | -                 | 3                     | -                              | -              | -              |
| 1 - rossz                           | <5,5                                 | 2000<                   | -                 | <3                    | -                              | -              | -              |
| <b>Képzett mutatószámok</b>         |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Szórás                              | 0,05                                 | 90,23                   | 44,18             | 0,5                   | 0,8                            | 4              | 3,5            |
| Relatív szórás                      | 0,7%                                 | 13,7%                   | 114,0%            | 4,6%                  | 7,0%                           | 20,4%          | 517,0%         |

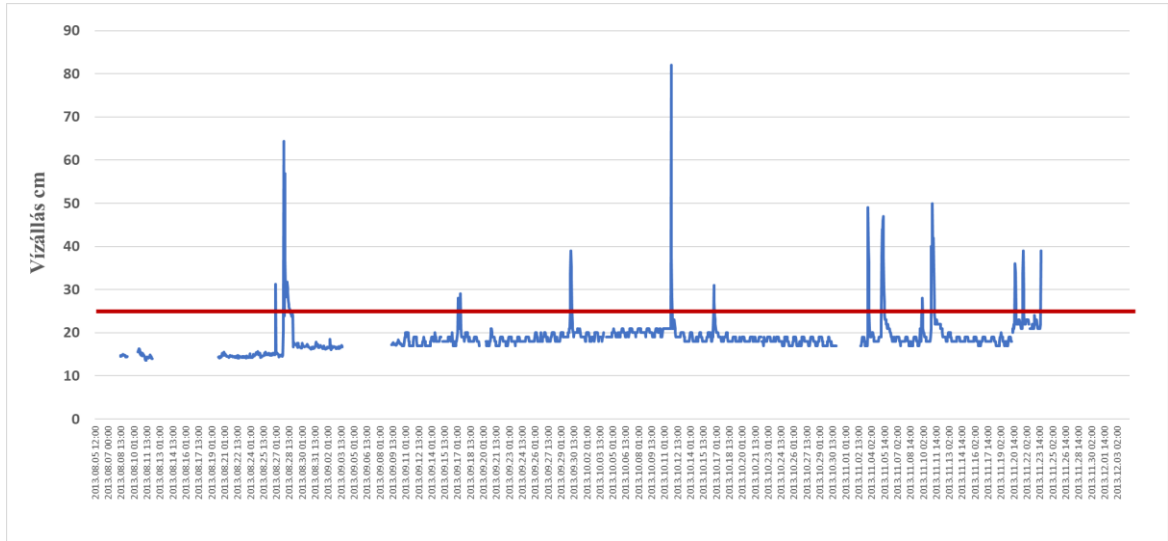
22. táblázat: A város utáni automata online monitoring állomás eredményeinek összefoglalása

| Statistikai jellemzők /Határértékek | Általános fizikai-kémiai paraméterek |                         |                   | Tápanyagháztartás paraméterei |                  |                  |                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------|
|                                     | pH                                   | Vezetőképesség<br>μS/cm | Zavarosság<br>NTU | Ammónium-N<br>mg/l            | Nitrit-N<br>mg/l | Nitrát-N<br>mg/l | Ortfoszfát-P<br>mg/l |
| <b>Mért adatok értékei</b>          |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Minimum                             | 7,20                                 | 104                     | 7                 | 0,001                         | 0,0002           | 1,19             | 0,136                |
| Kvartilis-1                         | 7,40                                 | 715                     | 20                | 0,020                         | 0,015            | 4,20             | 0,148                |
| Átlag                               | 7,48                                 | 715                     | 27                | 0,028                         | 0,019            | 4,39             | 0,172                |
| Medián                              | 7,44                                 | 721                     | 22                | 0,027                         | 0,016            | 4,42             | 0,167                |
| Kvartilis-3                         | 7,49                                 | 732                     | 36                | 0,034                         | 0,019            | 4,61             | 0,180                |
| Maximum                             | 8,5                                  | 789                     | 149               | 0,528                         | 0,576            | 6,15             | 0,715                |
| <b>Határértékek</b>                 |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Jó                                  | 6,5 - 9                              | <900                    | -                 | <0,2                          | <0,06            | <3               | <0,1                 |
| Mérsékelt                           | <=6,5 és 9<=                         | 900<=                   | -                 | 0,2<=                         | 0,06<=           | 3<=              | 0,1<=                |
| 5 - kiváló                          | 7 - 8,5                              | <=700                   | -                 | <=0,1                         | <=0,03           | <=2              | <=0,05               |
| 4 - jó                              | 6,5-7; 8,5-9                         | 1000                    | -                 | 0,3                           | 0,06             | 3,5              | 0,1                  |
| 3 - mérsékelt                       | 6                                    | 1500                    | -                 | 1                             | 0,3              | 5                | 0,3                  |
| 2 - gyenge                          | 5,5                                  | 2000                    | -                 | 2                             | 1                | 10               | 0,5                  |
| 1 - rossz                           | <5,5                                 | 2000<                   | -                 | 2<                            | 1<               | 10<              | 0,5<                 |
| <b>Képzett mutatószámok</b>         |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Szórás                              | 0,15                                 | 66,34                   | 13,36             | 0,02                          | 0,03             | 0,72             | 0,04                 |
| Relatív szórás                      | 1,9%                                 | 9,3%                    | 49,5%             | 82,6%                         | 131,7%           | 16,4%            | 23,8%                |

A monitoring állomások mérési eredményeinek az értékeléshez feldolgoztam a vízállás és a csapadék adatokat is. A veszprémi vízmérce ([www.vizugy.hu](http://www.vizugy.hu)) szolgáltatta a városi szakaszra jellemző vízállás adatokat.

A vízállás minimum értéke 14 cm, a maximum értéke 82 cm és az átlagos értéke 19 cm volt a vizsgált időszakban (23. ábra). A vízállás adatok közül a 25 cm-t meghaladó vízállás értékekhez tartozó események időpontjait tüntettem fel a 23. táblázatban.





23. ábra: A vizsgált időszakban mért vízállás adatok

A vízjárás változékonyságát a vízgyűjtő jellemzői és a csapadékviszonyok egyaránt befolyásolják. Az adatok alapján jól nyomonkövethető a csapadékos, illetve extrém csapadékos időszak, amit a fizikai-kémiai paraméterek mérési eredményei is alátámasztanak. 12 esetben fordult elő vízállás emelkedés, amit tápanyag koncentráció emelkedés követett.

Kiemelném azt a nehezítő problémát, hogy a 2013. október 11-i extrém időjárási körülmény hatására, amikor három óra leforgása alatt 21 cm-ről 80 cm-re emelkedett a vízállás a monitoring mérőállomás működése rövid idő múlva leállt, mivel a mederbe helyezett szondákat és a mintavevő csövet kisodorta a víz a partra.

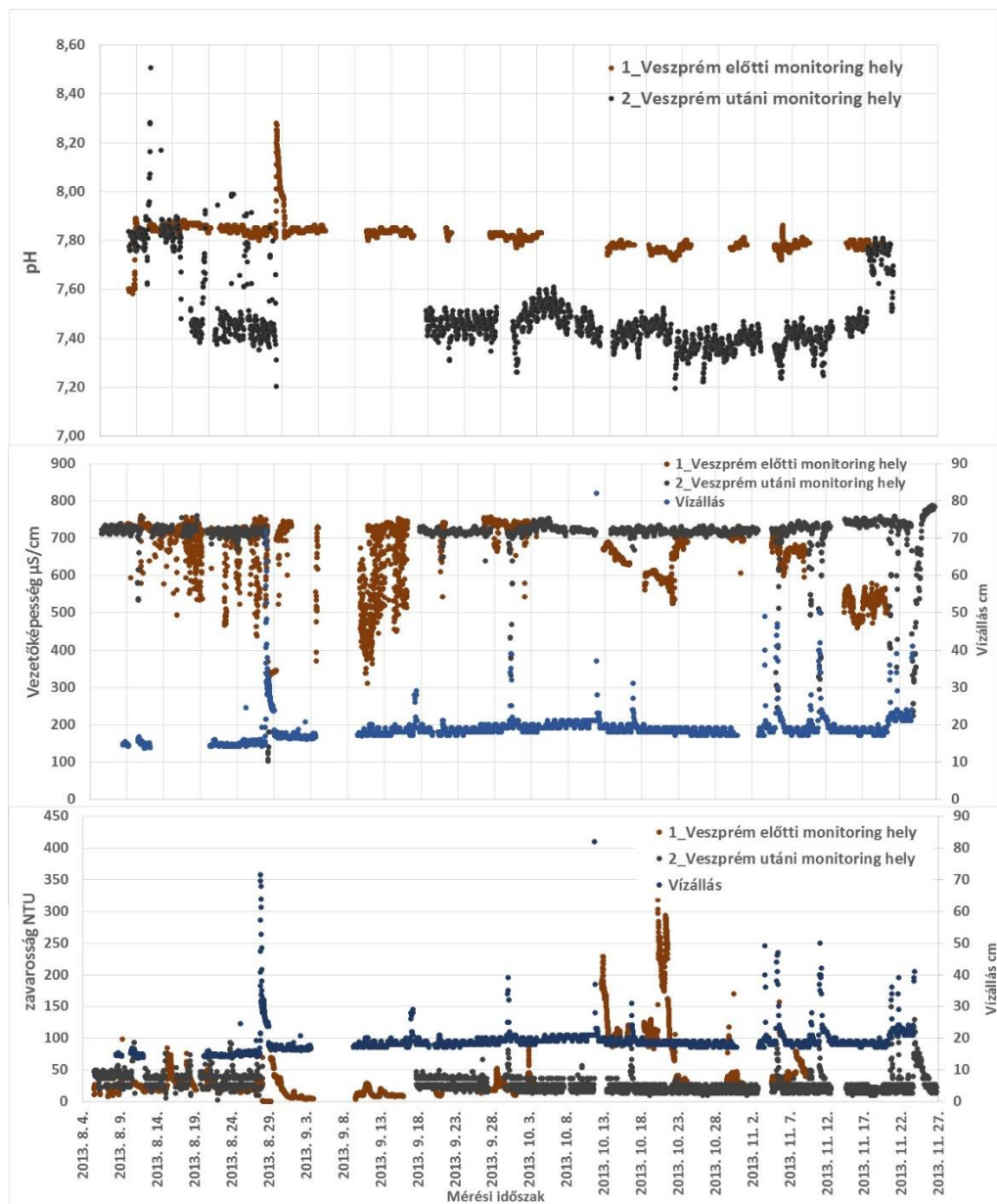
23. táblázat: Kiugró és extrém magas vízállás adatok összefoglalása

| Időpont                   | Mettől-meddig (óra:perc) | Vízállás (cm)     | Vízállás csúcsok   | Csapadék mennyiség 6 órás átlagok (mm) | Kiugró értéket képviselő paraméterek                             |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|--|--|--|
| 2013.08.27.               | 0:00-kor<br>22:00-23:00  | 31 cm<br>64-35 cm | 21:00-kor<br>64 cm   | 6 mm                                   | nitrit, zavarosság   |
| 2013.08.28.               | 0:00-13:00               | 26-57             | 1:00-kor<br>57 cm  | 55 mm<br>6 mm<br>6 mm                  | ammónium, nitrit, vezetőképesség                                 |
| 2013.09.30.               | 03:00-9:00               | 25-39             | 5:00-kor<br>39 cm  | 3mm<br>13 mm                           | ammónium, nitrit, nitrát, vezetőképesség zavarosság              |
| 2013.10.11.               | 20:00-22:00              | 28-80             | 20:00-kor<br>80 cm<br>(19:00-kor<br>21 cm volt a vízállás) | 7 mm<br>2 mm                           | extrém esőzés, uszadék megjelenése, monitoring állomás üzemzavar |
| 2013.10.16.               | 18:00-21:00              | 25-31             | 19:00-kor<br>31 cm   | 4 mm                                   | ammónium nitrit, nitrát, zavarosság                              |
| 2013.11.03.               | 17:00-20:00              | 36-49             | 17:00-kor<br>49 cm   | 12 mm                                  | monitoring állomás üzemzavar                                     |
| 2013.11.05.               | 7:00-15:00               | 27-47             | 11:00-kor<br>47 cm   | 6 mm<br>13 mm<br>15 mm                 | ammónium, nitrit, ortofoszfát                                    |
| 2013.11.09-<br>2013.11.10 | 22:00-01:00              | 25-28             | 0:00-kor<br>28 cm  | 29 mm<br>4 mm                          | ammónium, nitrit, zavarosság                                     |
| 2013.11.11.               | 00:00-10:00              | 25-50             | 04:00-kor<br>50 cm   | 5 mm<br>23 mm<br>2 mm                  | ammónium, nitrit, vezetőképesség, nitrát, zavarosság             |
| 2013.11.20.               | 15:00-22:00              | 25-36             | 18:00-kor<br>36 cm   | 9 mmm                                  | ammónium, nitrit, nitrát, ortofoszfát, vezetőképesség            |
| 2013.11.23-<br>2013.11.24 | 17:00- 9:00              | 25-50             | 21:00-kor<br>50 cm   | 5 mm<br>14 mm<br>26 mm                 | ammónium, nitrit, nitrát, vezetőképesség, zavarosság             |

A csapadékos időszakban a fizikai-kémiai paraméterek és a tápanyag háztartás komponenseinél észrevehető volt, hogy nem minden esetben jelentett terhelést minden egyes paraméter a Veszprémi-Séd városi szakaszára.

### A mérési időszakban a mért paraméterek koncentráció változása

A 24. ábra szemlélteti a vizsgált időszak eredményeit a vízállás függvényében (pH, vezetőképesség, zavarosság, ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N és ortofoszfát-P a városi szakasz előtti és utáni mérőponton), és így egyértelműen elválasztható, hogy a csapadékhullásból származó bemosódás, vagy a város területéről bekerülő szennyezőanyagok levonulása okozta a koncentráció emelkedést.



24. ábra: Az online monitoring rendszer pH, vezetőképesség és zavarosság mérési eredményei

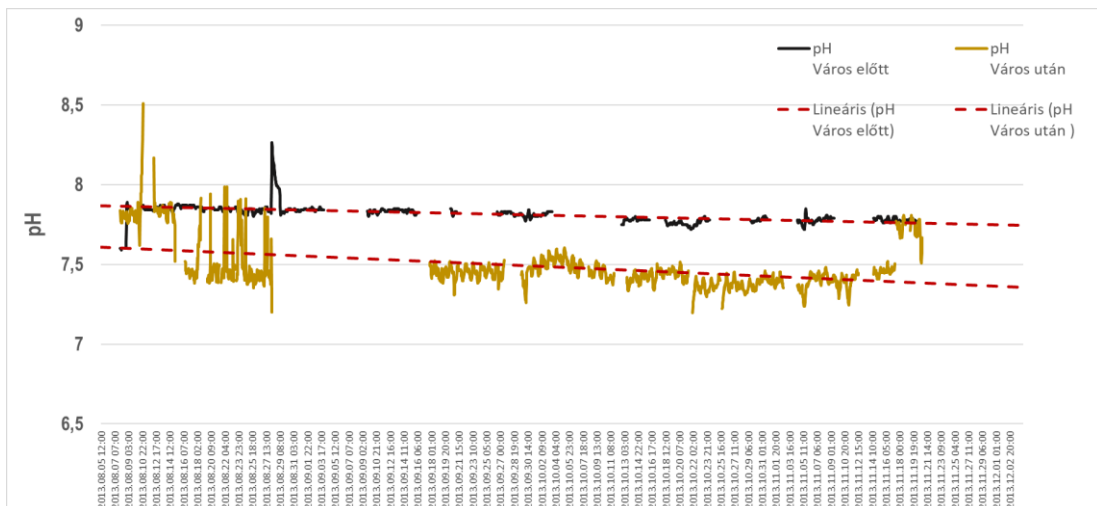
A két monitoring hely között a pH értékekben folyamatosan eltérés mutatkozott. A város előtti szakaszon a monitoring állomás átlag 0,4-0,5 értékkel nagyobb pH értékeket mért (pH=7,85), mint a város utáni monitoring állomás (pH=7,45). A városban a Veszprémi-Sédhez több helyen karsztvíz folyik, mely okozhatja a pH érték csökkenését. Továbbá a közutakról bemosódó szennyezőanyagok, a csapadékvíz bevezetések is pH csökkenést eredményezhetnek.

További elemzést végeztem a pH vonatkozásában. A pH város előtti pontján a kiugró csúcsot hihetőség-vizsgálat alapján figyelmen kívül hagytam a trend becsléséből és az így észrevehető egyenletes lineáris változás pedig két okkal magyarázható:

- lassú, kismértékű savasodás a vizsgált időszakban - ez a **feltűnően egyenletes** változás azonban nehezen értelmezhető a vízfolyásból, illetve a vízgyűjtő területről **származó hatásokkal**.
- a pH érzékelő potenciometriás elektródrendszerében a referencia elektród belső elektrolitoldatának diffúziós hígulása a folyamatos minta érintkezés miatt ilyen potenciál-eltolódás effektus jellemzően akkor következik be, amikor a sóhid nem tartalmaz telített KCl/szilárd KCl diffúziós puffer szakaszt, vagy az már kimerült

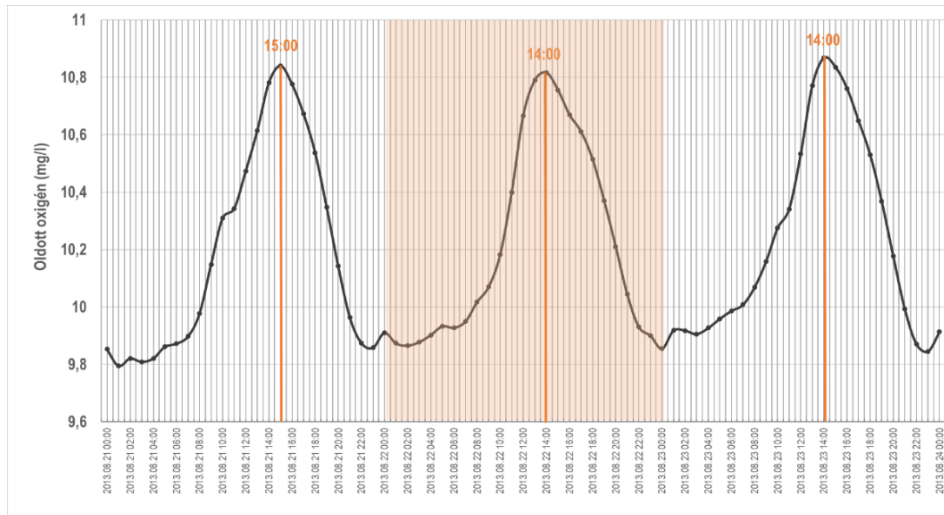
A város előtt és a város utáni pH változás:

- A város utáni pH változás egy hosszú idejű, határozott lépcsős ugrást mutat le/fel irányban. Az ugrás kezdete és vége átmenet nélküli, az eltolódott adatsor trendje lényegében nem változik (a város előtti adatsor pH-eltolódás magyarázata itt is érvényes) azaz nem valószínűsíthető a vízminőség okszerű megváltozása a pH adatok eltolódása mögött. A potenciometriás pH mérőcellák alkalmazási tapasztalatai alapján az adatsorban egy kalibrációs hiba hosszúidejű fennállása tükröződik.



25. ábra: A pH változása a város előtt és után

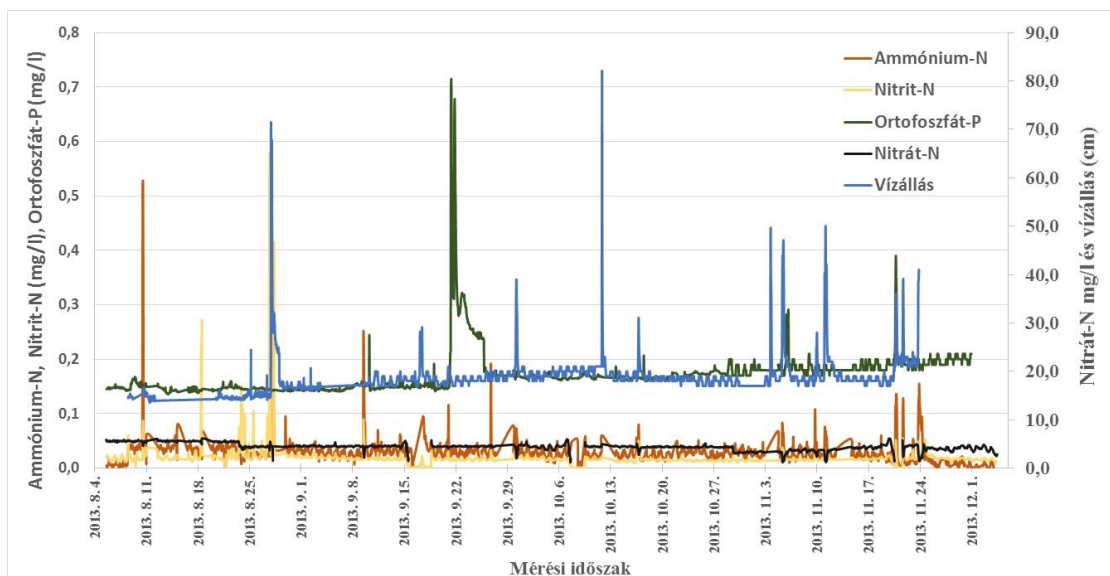
Az oldott oxigén napi változását a 26. ábra mutatja a Veszprémi-Sédben. Az oldott oxigén koncentrációja a vízi életközösségek szempontjából az egyik legfontosabb környezeti tényező. Az autómata folyamatos monitoring állomás működésének megbízhatóságát támasztja alá a kirajzolódó napi oldott oxigén görbéje.



26. ábra: A napi oxigéngörbe jellegzetes lefutása a Veszprémi-Sédben

Az oxigéngörbe napkeltekor a legalacsonyabb a vizek oxigén koncentrációja majd alkonyatig folyamatosan nő, de akkor (még napnyugta előtt) csökkeni kezd, mely a következő napkelteig folytatódik [142], amit a mérési eredmények alátámasztanak.

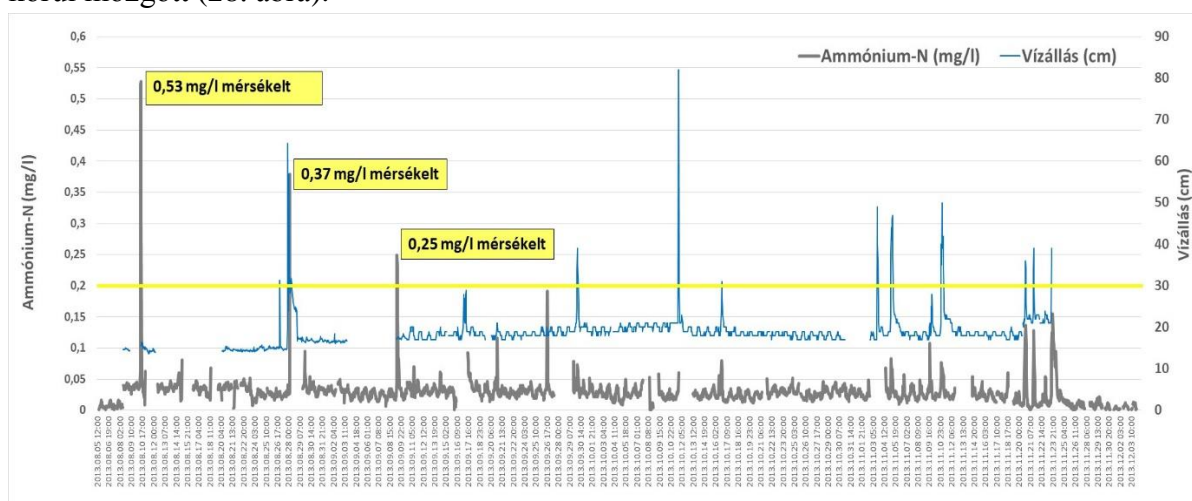
A 27. ábra jól mutatja az órás mérési eredmények változását a vízállás függvényében. A vízállás emelkedésével kiugró koncentráció értékeket detektáltam az ammónium-N (0,5 mg/l) és a nitrit-N (0,2 mg/l) esetében.



27. ábra: Az online monitoring rendszer  $NH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $PO_4$  mérési eredményei

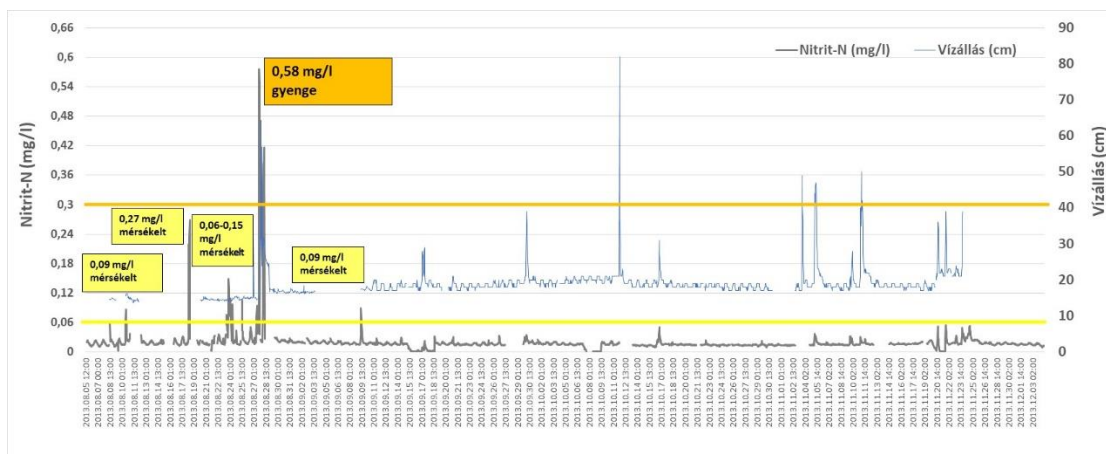
### A mérési időszak tápanyagháztartás paramétereinek koncentráció változásai

Az **ammónium-N** esetében háromszor volt határérték (0,2 mg/l) túllépés, amelyből egy esetben nem csapadék hullás okozta a koncentráció emelkedést, hanem városi tevékenységből származó antropogén szennyezés, mivel a vízállás átlag érték (18 cm) körül mozgott (28. ábra).



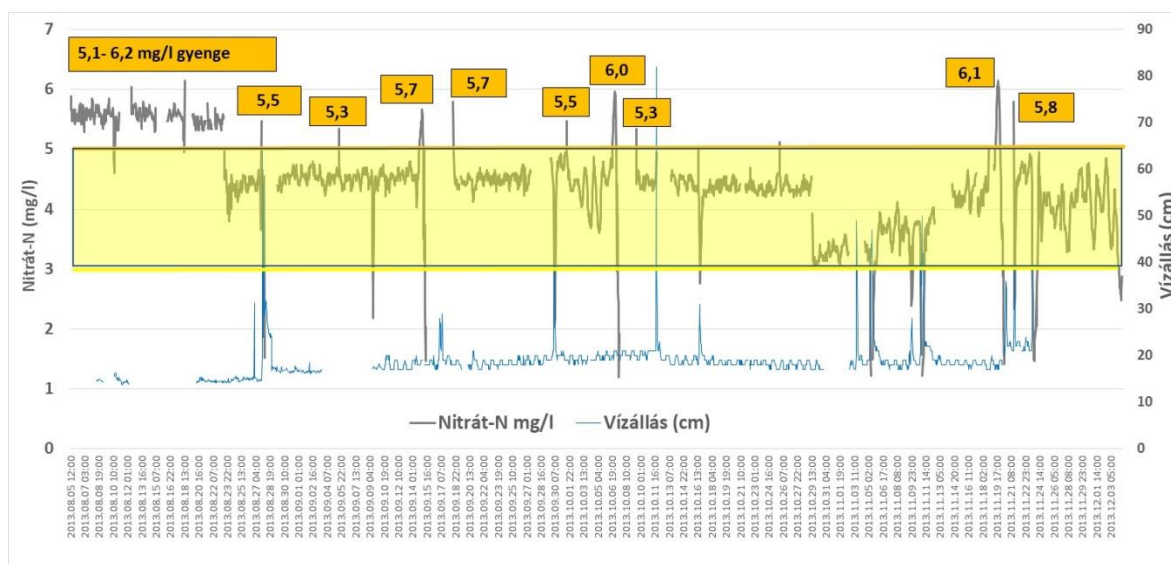
28. ábra: Az ammónium-N koncentráció változása (órás) a vizgált időszakban

A **nitrit-N** esetében 8-szor volt határérték (0,06 mg/l) túllépés, amelyből négy esetben érte a Veszprémi-Sédet közvetlen városi antropogén terhelés (29. ábra).



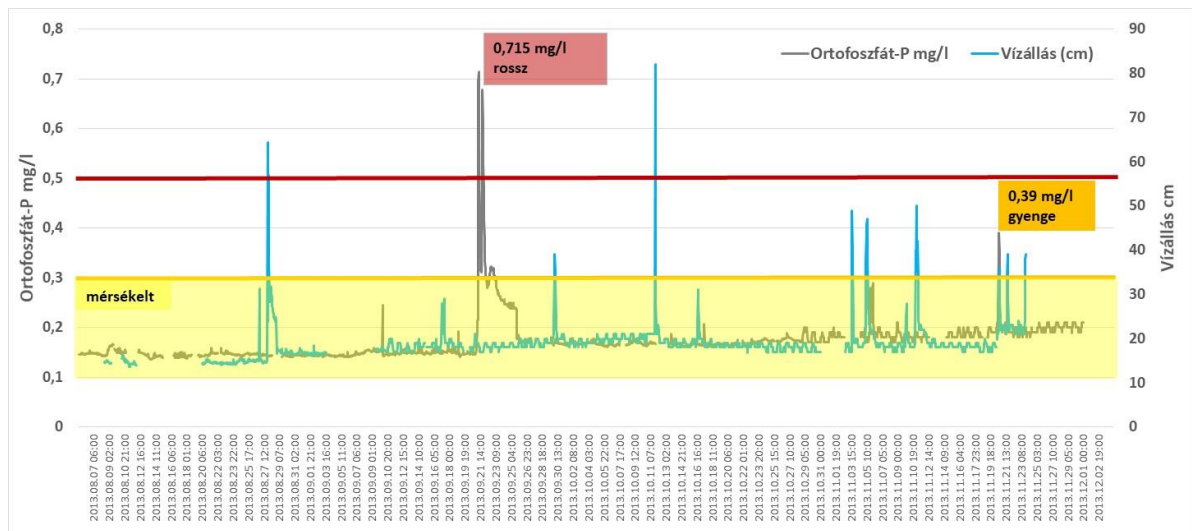
29. ábra: A nitrit-N koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban

A **nitrát-N** értéke folyamatosan határérték (3 mg/l) felett volt. A legnagyobb koncentráció érték 6,2 mg/l volt. Ebben az esetben a nitrát mért értéke alapján gyenge vízminőségi osztályba került (30. ábra).



30. ábra: A nitrát-N koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban

Az **ortofoszfát-P** koncentráció értékeit mg/l értékben tüntettem fel. A legnagyobb koncentráció értéket 0,715 mg/l-t csapadékhullás okozta, amikor gyenge vízminőséget mutatott a Veszprémi-Séd (31. ábra).



31. ábra: A ortofoszfát-P koncentráció változása (órás) a vizsgált időszakban

A mérési eredményeket a típus specifikus határértékekhez hasonlítva (10/2010 (VIII.18) VM rendelet, VGT2 6.3 melléklet), elmondható:

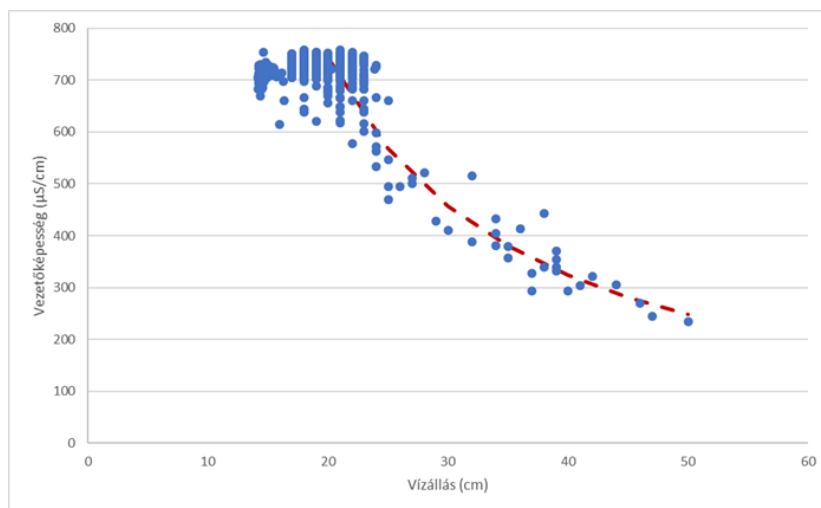
- pH, vezetőképesség és az oldott oxigén mérési eredményei a mérési időszak alatt a kiváló és a jó vízminőséget mutattak.
- Az ammónium-N esetében 3 kiugró esetben mérsékelt vízminőséget mutatott.
- A nitrit-N esetében a mérési időszakban mérsékelt és gyenge vízminőséget is mutatott.
- A nitrát-N és az ortofoszfát-P koncentráció értékei alapján folyamatosan a mérsékelt állapotban volt. Az ortofoszfát-P csapadékhullás idején a gyenge állapotba került. A nitrát-N esetében pont fordítva a csapadék okozta hígulás hatására csökken a koncentráció értéke 3 mg/l alá.

**A vezetőképesség és a mért fizikai-kémiai paraméterek közötti korreláció vizsgálatot végeztem.**

Először a vízállás és vezetőképesség közötti korrelációs kapcsolatot vizsgáltam (32. ábra)

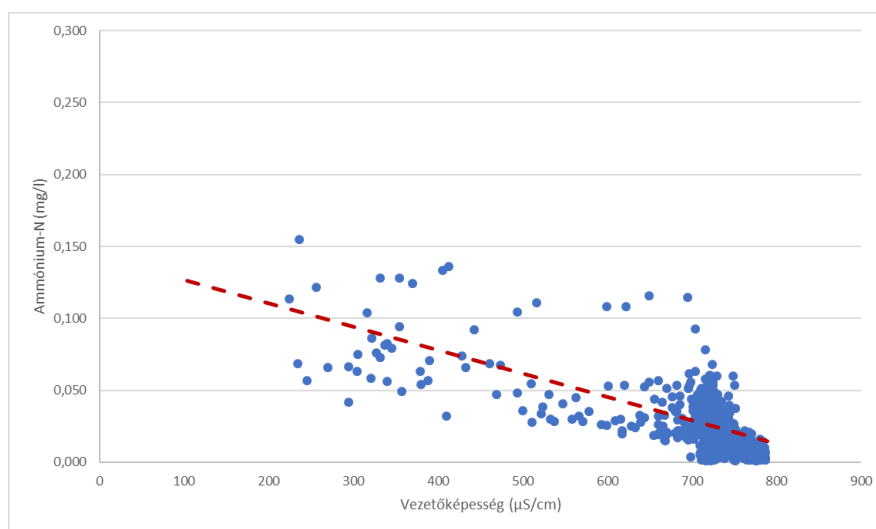
A vezetőképesség értéke a vízállás emelkedésével csökken, így egy hígulási folyamat detektálható a Veszprémi-Séd-ben. Erre alapozva megvizsgáltam a vezetőképesség változásával milyen korrelációt mutatnak a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek. A hígulásra jellemző hiperbolikus összefüggés (a kb. 5% mennyiségű kiugró adat figyelmen kívül hagyásával) jól felismerhető a diagramon.





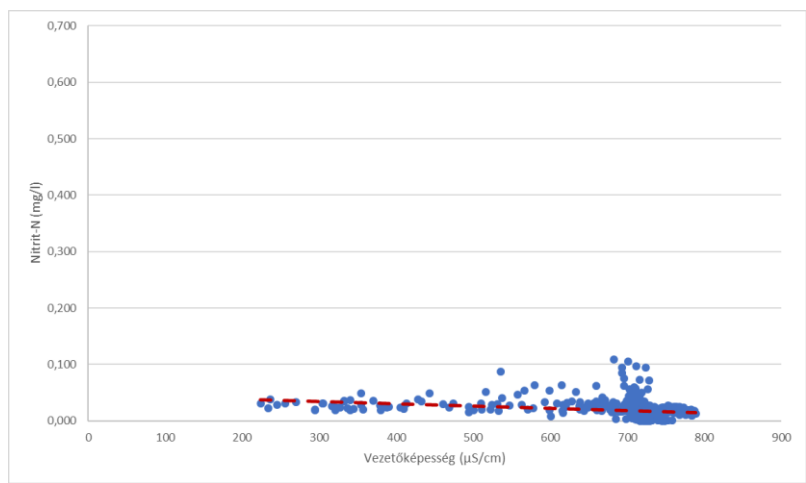
32. ábra: A vízállás és a vezetőképesség korreláció vizsgálata

Ammónium-N a vezetőképességgel negatív korrelációt mutat, ami azt jelenti, hogy a vezetőképesség csökkenésével az ammónium-N koncentráció értéke emelkedik (33.ábra). Az ammónium-N koncentráció emelkedés csapadék hullás okozta bemosódással azonosítható.



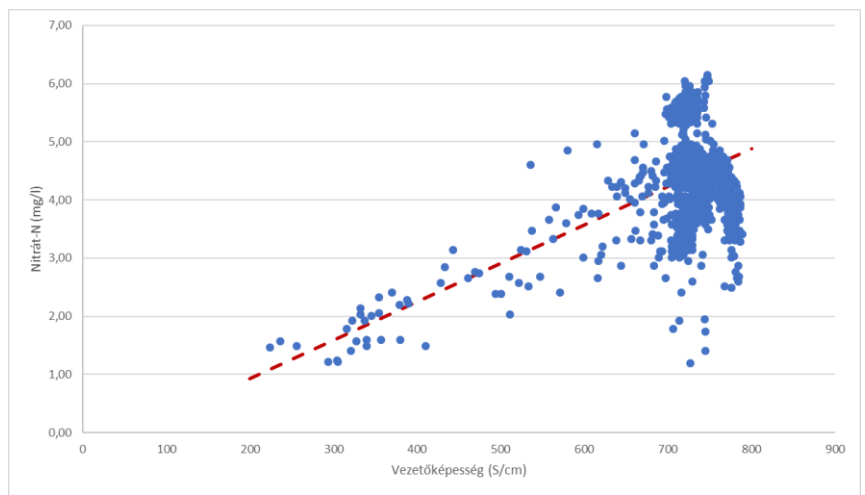
33. ábra: A vezetőképesség és az ammónium-N korreláció vizsgálata

A nitrit-N koncentráció változása a vezetőképesség függvényében. Hasonlóan negatív korrelációt mutat, ami azt jelenti, hogy vezetőképesség csökkenésével emelkedik a nitrit-N koncentráció értéke. Csapadék okozta bemosódás hatására emelkedett a nitrit koncentráció értéke.



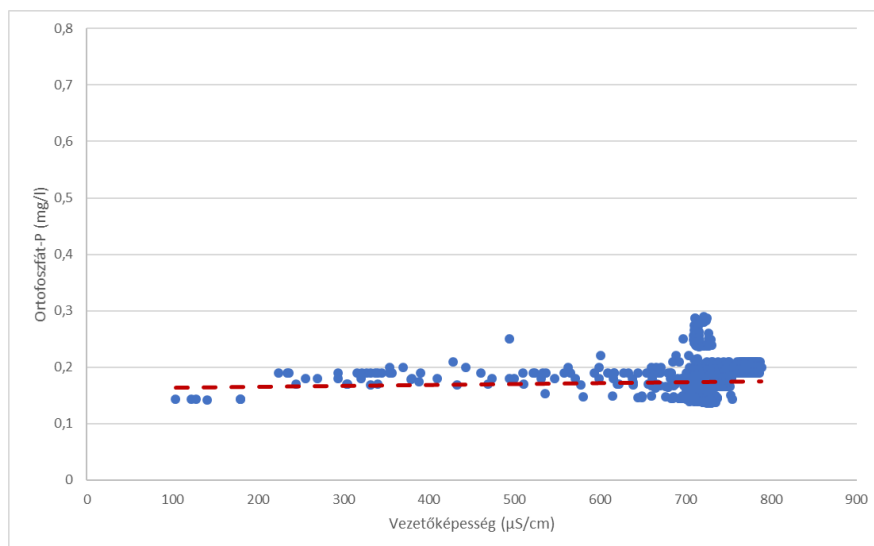
34. ábra: A vezetőképesség és a nitrit-N korreláció vizsgálata

A nitrát-N esetében más a helyzet, mert a vezetőképesség csökkenésével a nitrát-N koncentráció is csökken. Ebben az esetben a csapadéknak hígító hatása van. A vízfolyás nitrát tekintetében terhelt (egyenletes forrás intenzitást jelent a vízfolyásra).



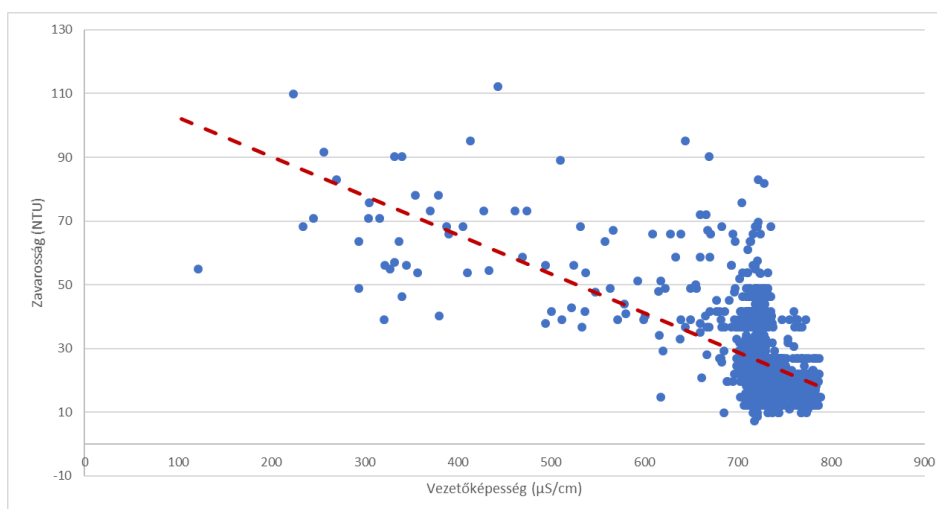
35. ábra: A vezetőképesség és a nitrát-N korreláció vizsgálata

Az ortofoszfát-P koncentráció értékét nem befolyásolja a vezetőképesség változás. Az ortofoszfát-P csúcs közeli szennyezőforrás jelenlétére ad információt. A kiugró szennyező csúcsok elhagyásával végeztem a korreláció és a trendvonal illesztését.



36. ábra: A vezetőképesség és az ortofoszfát-P korreláció vizsgálata

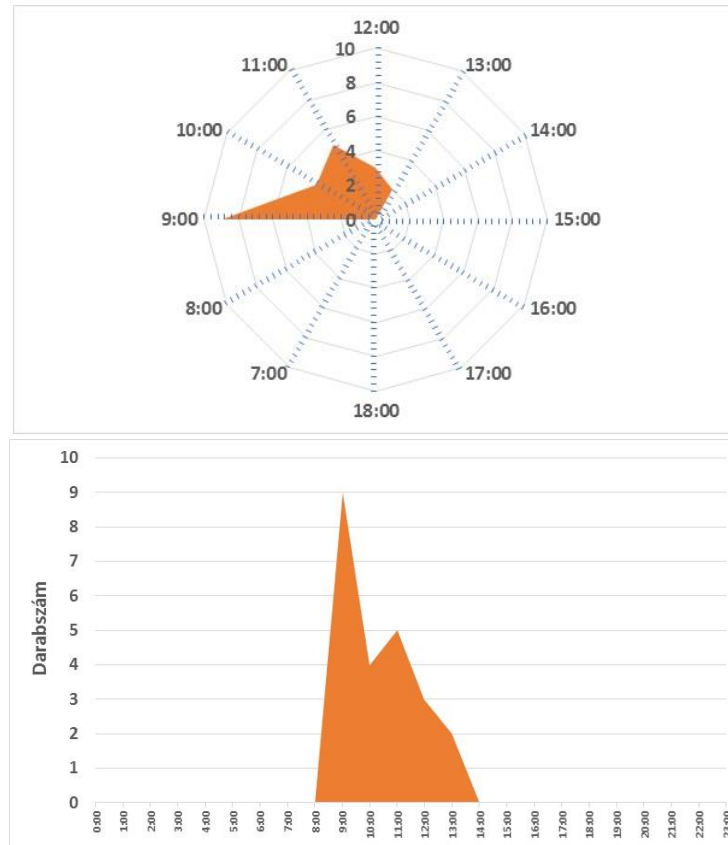
A zavarosság értéke fordítottan viselkedik, mint a vezetőképesség eredményei. A vezetőképesség csökkenés, csapadékhullást jelez, amely a zavarosság értékének emelkedésével jár. Ezt a koncentráció érték emelkedést a területről történő bemosódásnak, illetve a csapadékhullás okozta felkeveredésnek tulajdonítható.



37. ábra: A vezetőképesség és a zavarosság korreláció vizsgálata

## A négyhónapos folyamatos mérési adatsor értékelése

A KDKTVF mintavételi programterve alapján **elemeztem a mintavételi időpontok egy-egy napon belüli eloszlását**. Az látható az eredményekből, hogy a mintavételek délelőtt 9:00-11:00 között csúcsosodnak ki, illetve még délután 13:00-körül történnek további mintavételek (38. ábra). Elszórtan előforduló hajnali 04:00-kor vagy éjszakai mintavételeket nem tüntettem fel az ábrán.



38. ábra: A mintavételi időpontok eloszlása egy hatósági monitoring terv alapján

A pontmintavételek során kapott eredményeimmel és a hatósági mintavételi időpontok eloszlásával bizonyítottam, hogy a rendszeresen végzett mérések csak részben választ adnak a véletlenszerűen levonuló szennyezési hullámok dinamikájáról és mértékéről. Ehhez a négy hónapig tartó folyamatos mérési adatsorokból előállítottam egy hatósági mérési adatsort. Ez azt jelenti, hogy az óras adatokat ritkítottam. A ritkítás a hatósági monitoring tervnek megfelel, mivel minden hónap negyedik hétfőjén vesznek mintát a Veszprémi-Sédből. A kiválasztott napok esetében öt órát (9:00-13:00) tekintettem annak az időtartamnak, amikor a mintavétel megtörténhet. Ezután már összevettem a részletes (órás) mérési eredményeimet a feltételezett hatósági mérési időszak (ritkített) értékeivel.

A 24. táblázat és a 25. táblázat a leíró statisztika eredményeit mutatja (minimum, maximum, medián, átlag, 25 és 75% percentilis; szórás, relatív szórás). A mindkét mérőállomás mért fizikai-kémiai paramétereket, de csak a város után elhelyezett monitoring állomás műszerezettség mérte a tápanyagháztartás elemeit.

24. táblázat: A város előtti automata online monitoring állomás szűrt eredményeinek összefoglalása

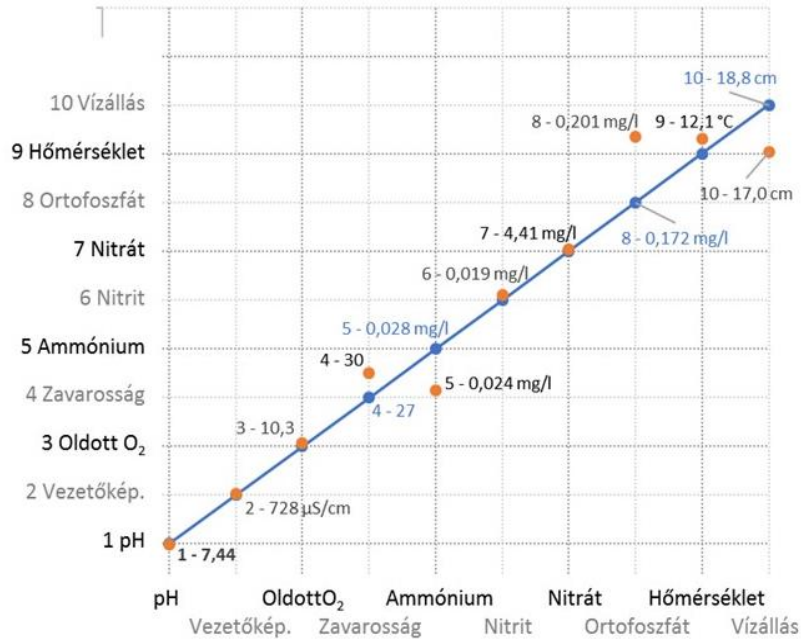
| Statistikai jellemzők /Határértékek | Általános fizikai-kémiai paraméterek |                         |                   |                       | Hidrometeorológiai paraméterek |                |                |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|----------------|
|                                     | pH                                   | Vezetőképesség<br>μS/cm | Zavarosság<br>NTU | Oldott oxigén<br>mg/l | Hőmérséklet<br>°C              | Vízállás<br>cm | Csapadék<br>mm |
| <b>Mért adatok értékei</b>          |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Minimum                             | 7,83                                 | 597                     | 16                | 10,2                  | 12,1                           | 15             | 0,0            |
| Kvartilis-1                         | 7,83                                 | 680                     | 17                | 10,2                  | 12,1                           | 15             | 0,0            |
| Átlag                               | 7,83                                 | 698                     | 17                | 10,3                  | 12,1                           | 17             | 0,5            |
| Medián                              | 7,83                                 | 731                     | 17                | 10,3                  | 12,1                           | 18             | 0,0            |
| Kvartilis-3                         | 7,83                                 | 732                     | 18                | 10,3                  | 12,1                           | 18             | 0,5            |
| Maximum                             | 7,84                                 | 750                     | 18                | 10,4                  | 12,2                           | 18             | 2,0            |
| <b>Határértékek</b>                 |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Jó                                  | 6,5 - 9                              | <900                    | -                 | 7<                    | -                              | -              | -              |
| Mérsékelt                           | <=6,5 és 9<=                         | 900<=                   | -                 | <=7                   | -                              | -              | -              |
| 5 - kiváló                          | 7 - 8,5                              | <=700                   | -                 | 8<=                   | -                              | -              | -              |
| 4 - jó                              | 6,5-7; 8,5-9                         | 1000                    | -                 | 7                     | -                              | -              | -              |
| 3 - mérsékelt                       | 6                                    | 1500                    | -                 | 4                     | -                              | -              | -              |
| 2 - gyenge                          | 5,5                                  | 2000                    | -                 | 3                     | -                              | -              | -              |
| 1 - rossz                           | <5,5                                 | 2000<                   | -                 | <3                    | -                              | -              | -              |
| <b>Képzett mutatószámok</b>         |                                      |                         |                   |                       |                                |                |                |
| Szórás                              | 0,00                                 | 61,97                   | 0,62              | 0,09                  | 0,05                           | 1,52           | 1,00           |
| Relatív szórás                      | 0,1%                                 | 8,9%                    | 3,6%              | 0,9%                  | 0,4%                           | 9,0%           | 200,0%         |

25. táblázat: A város utáni automata online monitoring állomás szűrt eredményeinek összefoglalása

| Statistikai jellemzők /Határértékek | Általános fizikai-kémiai paraméterek |                         |                   | Tápanyagháztartás paraméterei |                  |                  |                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------------|
|                                     | pH                                   | Vezetőképesség<br>μS/cm | Zavarosság<br>NTU | Ammónium-N<br>mg/l            | Nitrit-N<br>mg/l | Nitrát-N<br>mg/l | Ortfoszfát-P<br>mg/l |
| <b>Mért adatok értékei</b>          |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Minimum                             | 7,37                                 | 710                     | 13                | 0,009                         | 0,012            | 4,06             | 0,146                |
| Kvartilis-1                         | 7,39                                 | 713                     | 22                | 0,016                         | 0,015            | 4,30             | 0,166                |
| Átlag                               | 7,44                                 | 728                     | 30                | 0,024                         | 0,019            | 4,41             | 0,201                |
| Medián                              | 7,45                                 | 718                     | 32                | 0,024                         | 0,019            | 4,44             | 0,187                |
| Kvartilis-3                         | 7,49                                 | 735                     | 39                | 0,029                         | 0,024            | 4,51             | 0,226                |
| Maximum                             | 7,51                                 | 773                     | 49                | 0,046                         | 0,030            | 4,66             | 0,296                |
| <b>Határértékek</b>                 |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Jó                                  | 6,5 - 9                              | <900                    | -                 | <0,2                          | <0,06            | <3               | <0,1                 |
| Mérsékelt                           | <=6,5 és 9<=                         | 900<=                   | -                 | 0,2<=                         | 0,06<=           | 3<=              | 0,1<=                |
| 5 - kiváló                          | 7 - 8,5                              | <=700                   | -                 | <=0,1                         | <=0,03           | <=2              | <=0,05               |
| 4 - jó                              | 6,5-7; 8,5-9                         | 1000                    | -                 | 0,3                           | 0,06             | 3,5              | 0,1                  |
| 3 - mérsékelt                       | 6                                    | 1500                    | -                 | 1                             | 0,3              | 5                | 0,3                  |
| 2 - gyenge                          | 5,5                                  | 2000                    | -                 | 2                             | 1                | 10               | 0,5                  |
| 1 - rossz                           | <5,5                                 | 2000<                   | -                 | 2<                            | 1<               | 10<              | 0,5<                 |
| <b>Képzett mutatószámok</b>         |                                      |                         |                   |                               |                  |                  |                      |
| Szórás                              | 0,05                                 | 22,44                   | 10,16             | 0,01                          | 0,01             | 0,16             | 0,05                 |
| Relatív szórás                      | 0,7%                                 | 3,1%                    | 33,4%             | 39,9%                         | 26,4%            | 3,7%             | 26,1%                |

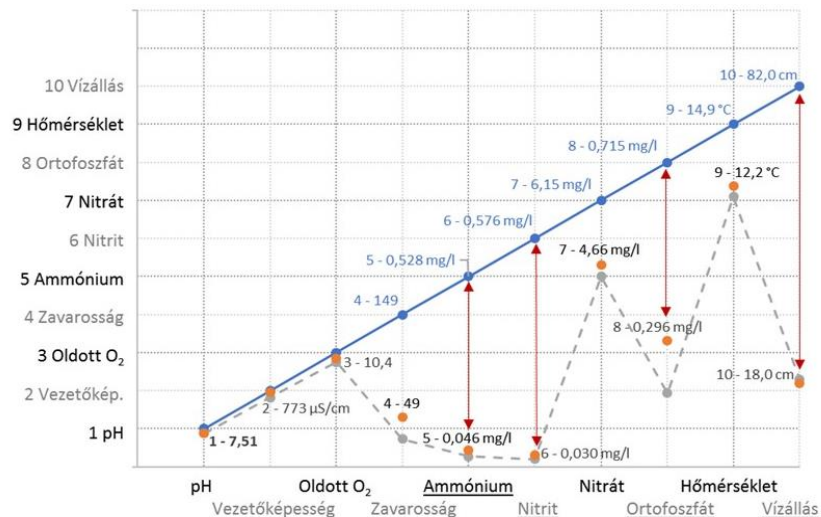
A négy hónapig tartó órás mintavételekből számított átlagos paraméter értékek összehasonlítását mutatja a 39. ábra, ahol az x tengelyen a mérési időszak órás mintavételeimből számított átlageredményeket, az y tengelyen pedig a feltételezett hatósági mérési időszakokra generált, azaz a hónapok utolsó hétfőjének 9-13 órás mintavételi időszakára ritkített mérési eredményeimből számított paraméterenkénti

átlagértékeket helyeztem el. Megállapítottam, hogy az így képzett x-y paraméter átlagértékek közel megegyezően, egy egyenes mentén helyezkednek el. A pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, nitrit és nitrát átlag eredményei azonosak, míg az ammónium-N és az ortofoszfát-P átlag koncentráció átlagértékei esetében a havi egy munkanapos eredmények között 14-16%-os eltérés tapasztalható.



39. ábra: A monitoring állomás órás mérések átlag eredményei és a feltételezett hatásági mintavételi gyakoriság átlag értékei

Ezzel alátámasztottam, hogy a hatásági eljárásrend szerinti havi rendszerességű mérések megfelelően reprezentált adatsorokkal pontosan mutatják a víztest állapotát és ezáltal kielégítik a feltáró operatív monitoring által kitűzött célok elvárásait.



40. ábra: A monitoring állomás órás mérések maximum eredményei és a feltételezett hatásági mintavételi gyakoriság maximum értékei

Hasonló ábrázolási metódus szerint, de itt már a négy hónapig tartó órás mintavételek és a feltételezett hatósági mérési időszakok maximális paraméter értékeinek összehasonlítását mutatja a 40. ábra (az előző ábrával való kapcsolódáshoz szaggatott vonallal feltüntettem a méréseim átlagos értékeit is). Ebben az esetben jól látható, hogy a hatóság eljárásrend szerinti havi egy napos mérések a levonuló hullámok bizonyos maximális koncentráció értékeiről nem adnak információt. A pH, vezetőképesség, oldott oxigén koncentráció értékek között lényegében nincs eltérés, de a tápanyagháztartás (ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P) és a zavarosság esetében a feltételezett hatósági mérési időszak (ritkített) értékei szignifikáns eltérést mutattak a folyamatos mérés eredményeitől.

Megállapítottam, hogy a hatósági eljárásrend szerinti havi rendszerességű mérések a terhelések azonosítására vonatkozóan és így az intézkedési tervek meghozatalához már nem adnak reális képet. A gyorsan levonuló nagy terhelést jelentő (időszakos, illetve időjárás vagy szennyezés okozta) szennyezőhullámok befolyásolják az ott jelen lévő élővilágot, hatást gyakorolva a VKI meghatározóan biológiai alapú minősítési rendszerére.

## **8.2.2 Kisvízfolyásra jellemző szennyezőhullám karakterisztika**

A leíró statisztika alapján meghatároztam a Veszprémi-Séd vízminőségét paraméterenként. Az látható, hogy a négy hónapos időszakban mért maximum koncentráció értékek közül

- az ammónium-N a mérsékelt,
- a nitrit-N, nitrát-N a gyenge, míg
- az ortofoszfát-P koncentráció érték a rossz határérték szintet is eléri.

Paraméterenként megvizsgáltam, hogy a víztest hány óráig volt besorolható egy egy vízminőségi kategóriában a mintavételi helyeken (27. táblázat). A szennyezési kiugró hullámcsúcsokra fókuszálva a legmeghatározóbb, azaz a nem megfelelő állapotú minősítésekkel és azok közül is a gyenge és a rossz kategóriákba sorolt mért adatokkal foglalkoztam. A Veszprémi-Séd, mint kisvízfolyás a szennyezési hullámok levonulásai alkalmával a vizsgált négyhónapos periódusban a nitrit-N szerint hét órát, a nitrát-N szerint 360 órát, az ortofoszfát-P szerint 34 órát tartózkodott gyenge, továbbá az ortofoszfát-P szerint hét órát a rossz állapotban.

26. táblázat: A minősített paraméterek statisztikai jellemzői és a mérőeszközök rendelkezésre állása

| Mérési jellemzők  |                |              | Mért paraméterek fontosabb statisztikai jellemzői |             |       |        |             |         |                 |                | Mérési időszak | Mérő-eszközök                          |     |
|---|----------------|--------------|---|-------------|-------|--------|-------------|---------|-----------------|----------------|----------------|--|-----|
| Hely  | Paraméter      | Mértékegység | Paraméter értékek                                 |             |       |        |             |         | Képzett mutatók |                | Mért órák      | Mérő-eszközök rendelkezésre állása (%) |     |
|   |                |              | Minimum   | Kvartilis 1 | Átlag | Medián | Kvartilis 3 | Maximum | Szórás          | Relatív szórás |                |  |     |
| Város előtt   | pH             | -            | 7,58  | 7,78        | 7,82  | 7,82   | 7,84        | 8,27    | 0,05            | 0,7%           | 1 464          | ▶                                      | 51% |
|   | Vezetőképesség | μS/cm        | 331   | 609         | 658   | 695    | 725         | 755     | 90,23           | 13,7%          | 1 381          | ▶                                      | 48% |
|   | Zavarosság     | NTU          | 0,1   | 16          | 39    | 24     | 39          | 300     | 44,18           | 114,0%         | 1 334          | ▶                                      | 46% |
|   | Oldott oxigén  | mg/l         | 8,5   | 9,9         | 10,1  | 10,1   | 10,4        | 11,0    | 0,46            | 4,6%           | 894            | ▶                                      | 31% |
|   | Hőmérséklet    | °C           | 9,1   | 11,3        | 11,7  | 11,8   | 12,2        | 14,9    | 0,82            | 7,0%           | 952            | ▶                                      | 33% |
|   | Vízállás       | cm           | 14  | 17          | 19    | 18     | 19          | 82      | 3,84            | 20,4%          | 2 117          | ▶                                      | 74% |
| Város után  | pH             | -            | 7,20  | 7,40        | 7,48  | 7,44   | 7,49        | 8,51    | 0,15            | 1,9%           | 1 676          | ▶                                      | 58% |
|   | Vezetőképesség | μS/cm        | 104   | 715         | 715   | 721    | 732         | 789     | 66,34           | 9,3%           | 2 032          | ▶                                      | 71% |
|   | Zavarosság     | NTU          | 7   | 20          | 27    | 22     | 36          | 149     | 13,36           | 49,5%          | 2 039          | ▶                                      | 71% |
|   | Ammónium-N     | mg/l         | 0,001   | 0,020       | 0,028 | 0,027  | 0,034       | 0,528   | 0,02            | 82,6%          | 2 389          | ▶                                      | 83% |
|   | Nitrit-N       | mg/l         | 0,0002  | 0,015       | 0,019 | 0,016  | 0,019       | 0,576   | 0,03            | 131,7%         | 2 482          | ▶                                      | 86% |
|   | Nitrát-N       | mg/l         | 1,19  | 4,20        | 4,39  | 4,42   | 4,61        | 6,15    | 0,72            | 16,4%          | 2 361          | ▶                                      | 82% |
| Külső forrásból   | Ortfoszfát-P   | mg/l         | 0,136   | 0,148       | 0,172 | 0,167  | 0,180       | 0,715   | 0,04            | 23,8%          | 2 408          | ▶                                      | 84% |
|   | Csapadék       | mm           | 0   | 0           | 0,7   | 0      | 0           | 55,0    | 3,51            | 517,0%         | 476            |  |     |
|   | Szélesség      | m/s          | 0   | 1           | 2,9   | 2,0    | 4,0         | 13,0    | 2,39            | 82,1%          | 476            |  |     |
| A 2013.08.05 - 2013.12.04. közötti mérési időszak összes mérési időtartama (óra): |                |              |   |             |       |        |             |         |                 |                | 2 879          |  |     |

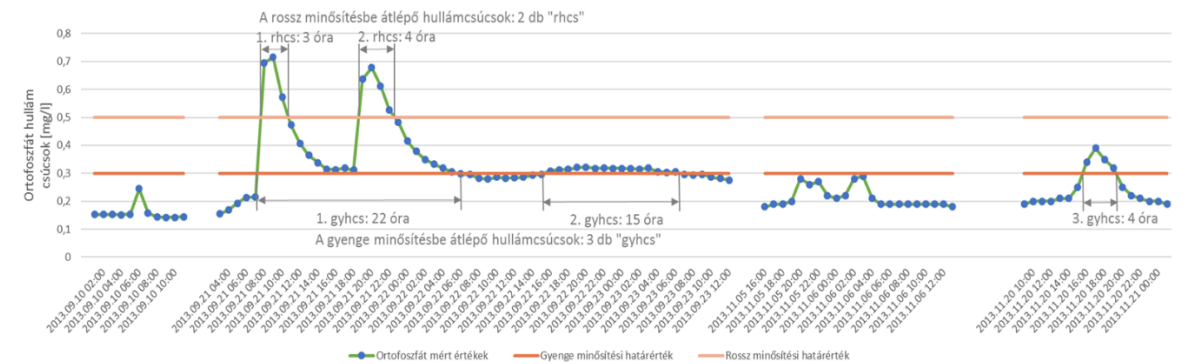
27. táblázat: A szennyezéshullámok kiugró csúcsainak időtartam és számossági jellemzői

| Mérési jellemzők        |                |              | Mérési időszak | A mérési időszak vízminősítési jellemzői |       |      |           |       |       | A szennyezéshullámok kiugró csúcsainak időtartama és darabszáma |   |                      |                                |                                  |   |                      |                                |                                  |   |
|-------------------------|----------------|--------------|----------------|--|-------|------|-----------|-------|-------|---|---|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---|
| Hely                    | Paraméter      | Mértékegység |                | Mért órák                                | JÓ    |      | MÉRSEKELT |       |       |   | GYENGE minősítésbe belépő               |                      |                                |                                  | ROSSZ minősítésbe belépő                |                      |                                |                                  |   |
|                         |                |              | óra            |  | %     | 5    | 4         | 3     | 2     | 1   | Határértéket meghaladó teljes időtartam | Hullám-csúcsok száma | Átlagos hullám-csúcs időtartam | Maximális hullám-csúcs időtartam | Határértéket meghaladó teljes időtartam | Hullám-csúcsok száma | Átlagos hullám-csúcs időtartam | Maximális hullám-csúcs időtartam |   |
| Város előtt             | pH             | -            | 1 464          | 1 464                                    | 0%    | 0%   | 1 464     | 0     | 0     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Vezetőképesség | μS/cm        | 1 381          | 1 381                                    | 0%    | 0%   | 717       | 664   | 0     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Zavarosság     | NTU          | 1 334          | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
|                         | Oldott oxigén  | mg/l         | 894            | 894                                      | 0%    | 0%   | 894       | 0     | 0     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Hőmérséklet    | °C           | 952            | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
|                         | Vízállás       | cm           | 2 117          | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
| Város után              | pH             | -            | 1 676          | 1 676                                    | 0%    | 0%   | 1 675     | 1     | 0     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Vezetőképesség | μS/cm        | 2 032          | 2 032                                    | 0%    | 0%   | 131       | 1 901 | 0     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Zavarosság     | NTU          | 2 039          | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
|                         | Ammónium-N     | mg/l         | 2 389          | 2 383                                    | 6%    | 0,3% | 2 366     | 20    | 3     | 0   | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Nitrit-N       | mg/l         | 2 482          | 2 450                                    | 32%   | 1,3% | 2 369     | 81    | 25    | 7   | 0                                       | 7                    | 2                              | 3,5                              | 5                                       | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
|                         | Nitrát-N       | mg/l         | 2 361          | 71                                       | 2 290 | 97%  | 25        | 232   | 1 744 | 360   | 0                                       | 360                  | 24                             | 15,0                             | 70                                      | 0                    | 0                              | 0                                | 0 |
| Külső forrás            | Ortfoszfát-P   | mg/l         | 2 408          | 0  | 2 408 | 100% | 0         | 0     | 2 367 | 34  | 7                                       | 41                   | 3                              | 13,7                             | 22                                      | 7                    | 2                              | 3,5                              | 4 |
|                         | Csapadék       | mm           | 476            | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
|                         | Szélesség      | m/s          | 476            | -  | -     | -    | -         | -     | -     | -   | -                                       | -                    | -                              | -                                | -                                       | -                    | -                              | -                                | - |
| Mérési időtartam (óra): |                |              | 2 879          |  |       |      |           |       |       |   |   |                      |                                |                                  |   |                      |                                |                                  |   |

Az átlagos hullámcsúcs időtartam értékeihez egy közelítő átlagérték számítással, azaz a határértéket meghaladó teljes időtartamnak a hullámcsúcsok számával történő osztásával jutottam.



Az ortofoszfát-P szennyezés kiugró hullámcsúcsait mutatja be a 41. ábra. Három esetben lépte át a gyenge minősítés határát, összesen 41 órán keresztül. A 41 órából pedig 7 órát a rossz állapotban töltött. A gyenge vízminőséget mutató 0,5 mg/l koncentrációnál nagyobb értéket egy 3 órás és egy 4 órás hullám adta. Az ábrából is megállapítható, hogy a rossz minősítést is elérő kiugró hullámok erős baloldali asszimetriájú egymódusú eloszlást mutattak.



41. ábra: Az ortofoszfát-P hullámcsúcsainak alakulása

### 8.2.3 A mintavételi frekvencia meghatározása

A rossz minősítési határt is átlépő szennyezés kiugró hullámcsúcsok mintavételi frekvenciájának megállapítását két módszer szerint végeztem el. Egyrészt elméleti oldalról az átlagos hullámcsúcsok számításával képzett minta hullámciklusra alkalmazott Nyquist- Shannon mintavételi törvényre alapozva, másrészt a méréssorozatnál alkalmazott órás mintavételi sűrűség ritkítási ciklusaival kapott eredmények feldolgozásával.

#### Mintavételi frekvencia átlagos hullámcsúcs számítással

Meghatároztam a hullámcsúcsok átlagos időtartalmát. A hegyvidéki kisvízfolyás (pl. Veszprémi-Séd) esetében az átlagos hullámcsúcs időtartamra a rossz minősítési kategóriába is eljutó ortofoszfát-P terhelés esetén 3,5 óra, míg a gyenge minősítést elérő hullámcsúcsok átlagos időtartama a nitrit-N esetében 3,5 óra, a nitrát-N esetében 15 óra, míg az ortofoszfát-P esetében 13,7 óra adódott.

Így a Shannon-Nyquist mintavételi törvénye ( $f_{\text{mintavétel}} > 2 * f_{\text{max}}$ ) alapján megállapítottam, hogy a terheléscsúcsok detektálásához az állapotot meghatározó tápanyagháztartást jellemző paraméterek esetében közel hasonló, pár órás mintavételi gyakoriság szükséges (nitrit-N:  $1/(2*1/3,5) = 1,75$  óra, nitrát-N: 7,5 óra, ortofoszfát-P: 6,8 óra).

#### Mintavételi frekvencia adatsor ritkítási hipotézisek alkalmazásával

A mintavétel ritkításával vizsgáltam melyik mintavételi időszak az, amikor még lehetőség van a szennyező csóvák levonulásáról információt szerezni.

A mintavételi gyakoriság meghatározásához elvégzett adatrítási hipotézis vizsgálat során a négy hónapig tartó órás eredmények mellett megvizsgáltam, hogy milyen információt szolgáltathatnak a 3, 6 és a 12 órás gyakoriságú mérések, illetve összevettem

az eredményeket a feltételezett hatósági mintavételi időtartamokhoz tartozó paraméter értéktartományokkal is.

Az adatrítási hipotézis vizsgálat város előtti szakaszához tartozó diagramokat a 29. táblázat, a város utáni mérőpont adataira épülő diagramokat a 30. táblázat mutatja, míg a hidrometeorológiai paraméter értékek ([145]) alakulását a 28. táblázat szemlélteti.

Az adatrítási hipotézis vizsgálata során alkalmazott 3, 6 és 12 órás ciklusok elemei oszlopokként jelennek meg a táblázatokban:

- A vizsgált időszak mérései 1 órás gyakorisággal történtek,
- a 3 órás adatrítási paraméter értékekhez: a 0:00-3:00-6:00-9:00-12:00-15:00-18:00-21:00-24:00 órákhoz tartozó,
- a 6 órás adatrítási paraméter értékekhez: a 0:00-6:00-12:00-18:00-24:00 órákhoz tartozó,
- a 12 órás adatrítási paraméter eredményeihez: a 0:00-12:00-24:00 órákhoz tartozó,
- míg a feltételezett hatósági program szerinti adatrítási paraméter értékek meghatározásához minden hónap negyedik hétfőjének 9:00-13:00 óráig tartó időtartama alatt mért, illetve részben külső forrásból beszerzett paraméter értékeket használtam.

Az elemzést két grafikon típus, mint eszköz alkalmazásával támogattam. A mérési periódus alatti paraméterértékek alakulását vonaldiagramok segítségével mutattam be. Az egyes adatrítási hipotézisekhez tartozó paraméter eloszlások és a kiugró értékek összevetéséhez box-plot (az interkvartilis terjedelem, a medián, a legisebb és a legnagyobb érték ábrázolására), azaz dobozdiagramokat használtam.

Kimutattam, hogy a szennyezőhullám kiugró csúcsok csak esetleg jelentek meg a grafikonokon. Míg az ammónium-N kiugró csúcsok csak a 12 órás ciklusú box-plot (doboz)diagramról tűntek el teljesen, addig az ortofoszfát-P kiugró értékek már a 6 órás ciklusnál sem voltak láthatóak.

A paraméter adatsorok vizsgálatával megállapítottam, hogy a mintavételi ciklusok kezdő időpontjának eltolása alapvetően befolyásolta a kiugró értékek detektálásának esélyét.

Ez ugyancsak következik abból a ciklusidő nagyságrendi egybeesésből, ami a 27. táblázatban meghatározott átlagos hullámcsúcs időtartamok és a ritkított mintavételi frekvenciákhoz tartozó ütemezések között adódott. A gyenge minőségbe belépő hullámcsúcsok átlagos időtartamára az egyes paraméterek esetében a következő értékeket mutattam ki: Nitrit-N - 3,5 óra, Nitrát-N – 15 óra, ortofoszfát-P – 13,7 óra, illetve a rossz minősítési szintet is elérő hullámcsúcsok átlagos időtartama az ortofoszfát-P esetében szintén 3,5 óra volt. Ezek az értékek nagyságrendileg egybeesnek az adatrítási hipotézisnél alkalmazott 3-6-12 órás ciklusokkal. A hullámcsúcsok erős baloldali asszimetriája pedig az azonos nagyságrendű (vagy ritkább) mintavételezési frekvencia esetén erősen esetlegessé teszi a hullámcsúcsok detektálását. Így a hullámcsúcsok észlelésére a további adatrítás is értelmét veszti.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a 3, a 6 és a 12 órás mintavételi ritkítás szerinti mintavételezési hipotézisek esetén még információhoz juthatunk a Veszprémi-Sédet érő

terhelésekről, de a szennyezések levonulásának detektálását már jelentősen befolyásolja a kiválasztott időpontok ütemezése.

28. táblázat: Adatritkítási hipotézis vizsgálat (külső adatsorok esetében)

| Paraméter          | Időszak mérési adatai                                |                  | Adatritkítások |        |         |          |  |
|--------------------|--|------------------|----------------|--------|---------|----------|--|
|                    | Idősoros vonaldiagram az óras paraméter adatsorokból | Box-Plot diagram |                |        |         |          |  |
|                    |  | 1 óras           | 3 óras         | 6 óras | 12 óras | Hatósá g |  |
| Vízállás (cm)      |  |                  |                |        |         |          |  |
| Csapadék (mm)      |  |                  |                |        |         |          |  |
| Szélereősség (m/s) |  |                  |                |        |         |          |  |

29. táblázat: Adatrítktási hipotézis vizsgálat a mintavételi gyakoriság meghatározásához (város előtt)

| Paraméter              | Időszak mérési adatai                                |                  | Adatrítktások |        |         |          |  |
|------------------------|--|------------------|---------------|--------|---------|----------|--|
|                        | Idősoros vonaldiagram az órás paraméter adatsorokból | Box-Plot diagram |               |        |         |          |  |
|                        |  | 1 órás           | 3 órás        | 6 órás | 12 órás | Ható-ság |  |
| pH                     |  |                  |               |        |         |          |  |
| Vezetőképesség (µS/cm) |  |                  |               |        |         |          |  |
| Zavarosság (NTU)       |  |                  |               |        |         |          |  |
| Oldott oxigén (mg/l)   |  |                  |               |        |         |          |  |
| Hőmérséklet (°C)       |  |                  |               |        |         |          |  |

30. táblázat: Adatrítktási hipotézis vizsgálata (város után)

| Par.                   | Időszak mérési adatai | 1 órás | 3 órás | 6 órás | 12 órás | Hatóság |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| pH                     |                       |        |        |        |         |         |
| Vezetőképesség (µS/cm) |                       |        |        |        |         |         |
| Zavarosság (NTU)       |                       |        |        |        |         |         |
| Ammónium-N (mg/l)      |                       |        |        |        |         |         |
| Nitrit-N (mg/l)        |                       |        |        |        |         |         |
| Nitrát-N (mg/l)        |                       |        |        |        |         |         |
| Ortofoszfát-P (mg/l)   |                       |        |        |        |         |         |

## 8.2.4 Különböző terhelésekből származó hullámcúcsok jellemzői

A hullámcúcsok kialakulását **csapadékhullás vagy antropogén terhelésből** származó szennyezőanyag bemosódás okozza.

A 31. táblázat alapján megállapítottam, hogy a néhány órás szennyezési hullámcúcsok 73 %-át az időjárási körülmények váltották ki. Ilyenkor a határértékeket is átlépő hullámcúcsok mellett számos alkalommal kísérté a vízszint emelkedését az egyes paraméterek koncentráció értékeinek az átlagos értéket meghaladó, de a határértéket el nem érő növekedése.

A mérési eredmények kiértékeléshez (31. táblázat - 34. táblázat) paraméterenként összefoglaltam a kiugró koncentrációkhoz tartozó mérési időpontokat és a koncentráció csúcsok levonulásának idejét. A táblázatokban pirossal jelöltem, ahol határérték túllépés is történt. A szennyezési csúvák egy-két óra alatt vonultak le a víztesten.

Az **ammónium-N** esetében háromszor volt tízszeres határérték (0,2 mg/l) túllépés, amelyből kettő esetben nem csapadékhullás okozta a koncentráció emelkedést, hanem városi tevékenységből származó antropogén szennyezés (31. táblázat), mivel a vízállás átlag érték 818 cm) körül mozgott.

31. táblázat: Eseményhez kapcsolt ammónium-N koncentráció változás

| Időpont                       | Mettől-meddig<br>(óra:perc) | Ammónium-<br>N (mg/l)      | Koncentráció<br>csúcsok (mg/l) | Szennyezés<br>típus            |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 2013.08.10.                   | <b>12:00-14:00</b>          | <b>0,294-0,528</b>         | <b>13:00-kor 0,528</b>         | <b>szennyezés</b>              |
| <b>2013.08.28.</b>            | 04:00                       | <b>0,379</b>               | 04:00-kor 0,379                | esőzés                         |
| 2013.08.29                    | <b>21:00</b>                | <b>0,095</b>               | <b>21:00-kor 0,095</b>         | <b>szennyezés<br/>eső után</b> |
| 2013.09.09.                   | <b>11:00-12:00</b>          | <b>0,229-0,249</b>         | <b>11:00-kor 0,249</b>         | <b>szennyezés</b>              |
| <b>2013.09.17.</b>            | 15:00                       | 0,092                      | 15:00-kor 0,092                | esőzés                         |
| 2013.09.21.                   | <b>0:00</b>                 | <b>0,116</b>               | <b>0:00-kor 0,116</b>          | <b>szennyezés</b>              |
| 2013.09.26.                   | <b>18:00</b>                | <b>0,190</b>               | <b>18:00-kor 0,190</b>         | <b>szennyezés</b>              |
| <b>2013.09.29.</b>            | 18:00                       | 0,078                      | 18:00-kor 0,078                | esőzés                         |
| <b>2013.09.30</b>             | 05:00                       | 0,073                      | 05:00-kor 0,073                | esőzés                         |
| <b>2013.10.16.</b>            | 19:00                       | 0,080                      | 19:00-kor 0,08                 | esőzés                         |
| <b>2013.11.04.</b>            | 16:00                       | 0,068                      | 16:00-kor 0,068                | esőzés                         |
| <b>2013.11.05.</b>            | 7:00                        | 0,083                      | 7:00-kor 0,083                 | esőzés                         |
| <b>2013.11.09.</b>            | 18:00                       | 0,108                      | 18:00-kor 0,108                | esőzés                         |
| <b>2013.11.20-<br/>21-23.</b> | 8:00; 17:00;<br>14:00       | 0,180;<br>0,128;<br>0,012. | 11.21-én<br>17:00-kor 0,128    | esőzés                         |

A **nitrit-N** esetében nyolcszor volt határérték (0,06 mg/l) túllépés, amelyből négy esetben érte a Veszprémi-Sédet közvetlen városi antropogén terhelés (32. táblázat).

32. táblázat: Eseményhez kapcsolt nitrit-N koncentráció változás

| Időpont               | Mettől-meddig<br>(óra:perc) | Nitrit-N<br>(mg/l)        | Koncentráció<br>csúcsok (mg/l) | Szennyezés<br>típus |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 2013.08.10            | 13:00                       | 0,087                     | 13:00-kor 0,087                | szennyezés          |
| 2013.08.18            | 10:00-13:00                 | 0,218-0,269               | 13:00-kor 0,269                | szennyezés          |
| 2013.08.23            | 21:00-22:00                 | 0,128-0,149               | 21:00-kor 0,149                | szennyezés          |
| 2013.08.24            | 02:00                       | 0,110                     | 02:00-kor 0,110                | esőzés              |
| 2013.08.25            | 13:00                       | 0,106                     | 13:00-kor 0,106                | esőzés              |
| 2013.08.27            | 17:00-18:00                 | 0,546-0,576               | 17:00-kor 0,576                | esőzés              |
| 2013.08.28            | 05:00-09:00                 | 0,317-0,416               | 8:00-kor 0,416                 | esőzés              |
| 2013.09.09            | 11:00                       | 0,089                     | 11:00-kor 0,089                | szennyezés          |
| 2013.09.26            | 18:00                       | 0,033                     | 18:00-kor 0,033                | szennyezés          |
| 2013.10.16            | 19:00                       | 0,050                     | 19:00-kor 0,050                | esőzés              |
| 2013.11.20-<br>21-23. | 17:00; 16:00;<br>18:00      | 0,052;<br>0,054;<br>0,049 | 11.21-én 17:00-kor<br>0,128    | esőzés              |

A **nitrát-N** értéke folyamatosan határérték (3 mg/l) felett volt. Ezért a 33. táblázatban a monitoring időszakban detektált legnagyobb koncentráció értékeket tüntettem fel. Legtöbbször átlagos vízállás (18 cm) mellett került detektálásra kiugró nitrát-N koncentráció.

33. táblázat: A nitrát-N eseményhez kapcsolt koncentráció változása

| Időpont     | Mettől-meddig<br>(óra:perc) | Nitrát-N<br>(mg/l) | Koncentráció csúcsok<br>(mg/l) | Szennyezés<br>típus |
|-------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| 2013.08.12. | 11:00                       | 6,0                | 11:00-kor 6,0                  | szennyezés          |
| 2013.08.18. | 14:00                       | 6,2                | 14:00-kor 6,2                  | szennyezés          |
| 2013.10.07  | 02:00-03:00                 | 6,0                | 02:00-03:00-kor 6,0            | szennyezés          |
| 2013.10.09  | 13:00                       | 5,3                | 13:00-kor 5,3                  | szennyezés          |
| 2013.10.16. | 14:00                       | 5,0                | 14:00-kor 5,0                  | esőzés              |
| 2013.11.19. | 19:00-23:00                 | 6,0-6,2            | 21:00-kor 6,2                  | esőzés              |

Az **ortofoszfát-P** 100 µg/l határértéknél a vizsgálat ideje alatt nagyobb koncentráció értékeket mértem (34. táblázat).

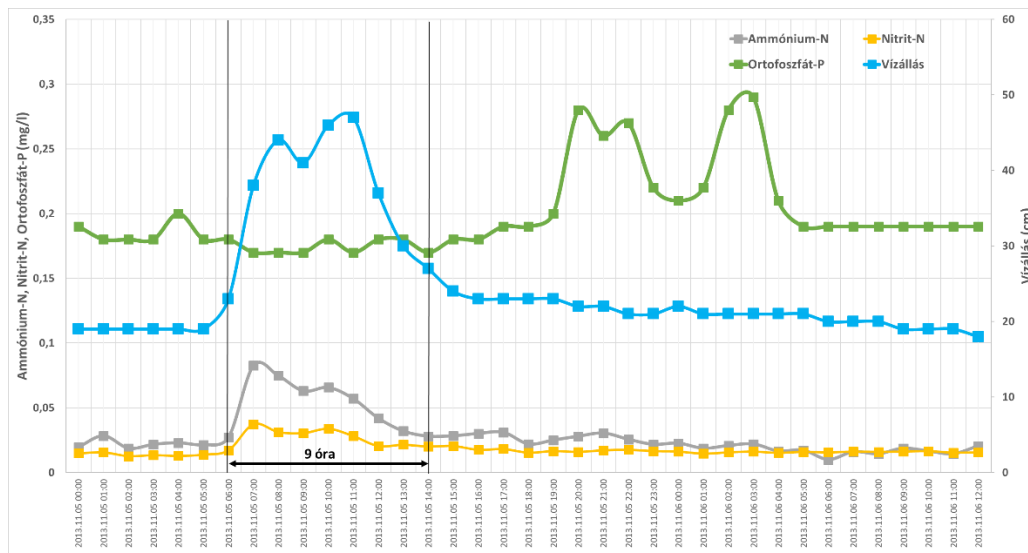
34. táblázat: Az ortofoszfát-P eseményhez kapcsolt koncentráció változása

| Időpont                | Mettől-meddig<br>(óra:perc) | Ortofoszfát-P<br>(µg/l)         | Koncentráció<br>csúcsok (µg/l) | Szennyezés<br>típus |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 2013.08.10.            | 12:00-15:00                 | 180-275                         | 12:00-kor 275                  | szennyezés          |
| 2013.08.11.            | 0:00-01:00                  | 179-467                         | 01:00-kor 467                  | szennyezés          |
| 2013.08.12.            | 11:00                       | 273                             | 11:00-kor 273                  | szennyezés          |
| 2013.08.20.            | 06:00                       | 179                             | 06:00-kor 179                  | szennyezés          |
| 2013.08.28.            | 04:00-9:00                  | 636-1000 (max.<br>mérési határ) | 04:00-től 636                  | esőzés              |
| 2013.09.09.            | 11:00-15:00                 | 401;285;264;<br>195; 185        | 12:00-kor 285                  | szennyezés          |
| 2013.09.17.            | 10:00                       | 185                             | 10:00-kor 185                  | esőzés              |
| 2013.09.26.            | 18:00                       | 179                             | 18:00-kor 179                  | szennyezés          |
| 2013.10.16.            | 18:00-21:00                 | 183;268;<br>221;177             | 19:00-kor 268                  | esőzés              |
| 2013.11.05             | 7:00-11:00                  | 219;190;188;<br>196; 179        | 07:00-kor 219                  | esőzés              |
| 2013.11.09.            | 19:00                       | 210                             | 19:00-kor 210                  | esőzés              |
| 2013.11.11             | 01:00                       | 178                             | 01:00-kor 178                  | esőzés              |
| 2013.11.20-<br>21; 23. | 17:00-18:00                 | 291-214                         | 17:00-kor 291                  | esőzés              |
|                        | 16:00-17:00                 | 193-194                         | 17:00-kor 194                  |                     |
|                        | 18:00                       | 201                             | 18:00-kor 201                  |                     |

A **csapadékhullásból származó szennyezőanyag** bemosódás levonulásának dinamikáját szemlélteti a 42. ábra. Az árhullám levonulásánál hirtelen megjelenik egy koncentráció csúcs majd azt követi a lecsengési ág a kiürülési folyamat. A vízállás 9 óra alatt lezajló hullámcúcs ciklusában az ammónium-N, nitrit-N szennyezés hirtelen az első 2 óra alatt megemelkedett és utána 7 óra alatt állt vissza az átlagos koncentráció értékre. Ellenben az ortofoszfát-P koncentráció emelkedése csak a csapadékhullám után jelentkezett, amit a vízgyűjtő területéről történő erózió okozhatott.

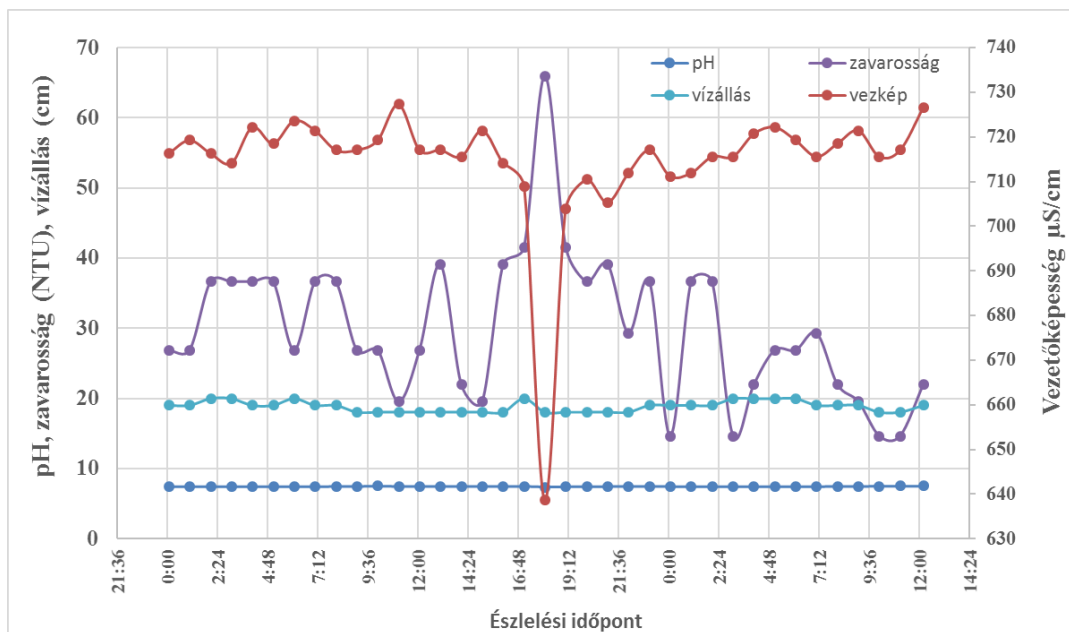
**Szennyezőhullám levonulásnak** (43. ábra és 44. ábra) azokat az eseményeket azonosítottam, amikor a vízszint emelkedés nem támasztja alá a komponensek átlagértéküktől való eltérését. Míg a csapadék következtében a Veszprémi-Séd vízállása az átlagértékének (18 cm) kb. négyszeresére (80 cm) is nőtt, addig a szennyező hullámok azonosításának időpontjában nincs emelkedés a vízszintben. Az azonosított időpontok közül 2013. szeptember 26-án történt eseményt mutatom be, mivel ezen a napon 15:00-kor történt kézi pont mintavétel. A szennyezés 17:00 és 19:00 között volt azonosítható, mely 18:00-ra érte el a csúcsot.





42. ábra: Csapadék okozta koncentráció növekedések

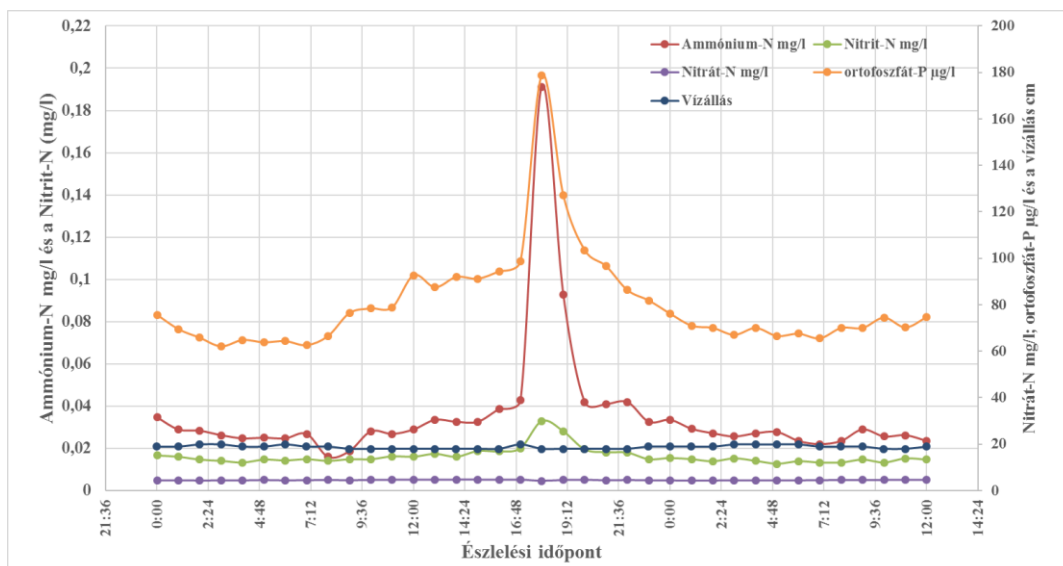
A fizikai paraméterek **zavarosság** az átlagértékének (39 NTU) több mint a kétszeresére (60 NTU) emelkedett. A **vezetőképesség** jelentősen csökkent, 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ről 640  $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re. A **pH** egy tizeddel csökkent (7,3) az előző értékekhez képest.



43. ábra: A szennyező hullám levonulása során a fizikai-kémiai paraméterek dinamikája

A kémiai komponenseket tekintve az **NH<sub>4</sub>-N koncentráció átlagértékéhez (0,028 mg/l)** képest hatszorosára emelkedett (0,19 mg/l). A **PO<sub>4</sub>-P** esetében a 100  $\mu\text{g}/\text{l}$  átlag koncentráció mellett a mért érték 180  $\mu\text{g}/\text{l}$  a **NO<sub>2</sub>-N** átlag koncentrációja 0,019 mg/l a szennyezés levonulásakor pedig a mért érték 0,03 mg/l, ami szintén jelentős koncentráció emelkedést mutat.

A **NO<sub>3</sub>-N** negatív csúcsként (4 mg/l) jelentkezett, vagyis ez a komponens reagált a legkevésbé a változásra. Az ammónium-N koncentráció emelkedése közvetlen antropogén szennyezésre utal.



44. ábra: A szennyező hullám levonulása során a tápanyagháztartás paramétereinek dinamikája

Az alkalmazott folyamatos online mobil monitoring állomások alkalmazásával olyan szennyezőanyag monitoring valósult meg, amely információt nyújtott a városi tevékenységből származó szennyezések mintázatáról, valamint az egyre inkább jellemzővé váló heves esőzések által bemosott szennyezőanyagok koncentrációjáról és a levonulásának dinamikájáról. Ezzel támogatva a rendszeres mintavételi program állapotértékelési rendszerét.

A vizsgálati periódus elemzéséből következik, hogy a vízállás emelkedése használható indikátor paraméterként, így a folyamatos monitoring költséghatékony alternatívájaként javaslom a Vízügyi Igazgatóságok vízmerce pontjaihoz kapcsolt automata vízmintavevők, csapadék és vízhőmérséklet mérők telepítésével képzett állomások kialakítását.

### 8.3 Várpalotai szennyvíztisztító telep elfolyó tisztított szennyvizének folyamatos monitoring felmérése és a vízminőség értékelése

A várpalotai kis szennyvíztisztító telep működésének vizsgálata folyamatos monitoring állomás segítségével. A kis szennyvíztisztító telepek működtetése során az előírt monitoring programterv teljesítése mellett már nincs kapacitásuk arra, hogy az egyedi eseteket és extrém időszakokat vizsgálják.

A várpalotai szennyvíztisztító telep nem rendelkezik online eszközparkkal a tisztítási technológia hatékonyságának monitorozására. Az önellenőrzéshez szükséges mintavétel hetente kétszer történik. Ez a mérési gyakoriság az általános működésről nyújt információt, de a napi ingadozásból származó eltérésekre, illetve az időszakonként fellépő üzemi problémákra viszont már nem ad tájékoztatást. A telepen végzett mérések ideje alatt a 35. táblázatban feltüntetett időpontokban végeztek iszapelvételel szivattyú segítségével.

35. táblázat: A szennyvíztisztító telep iszapelvételel időpontjai

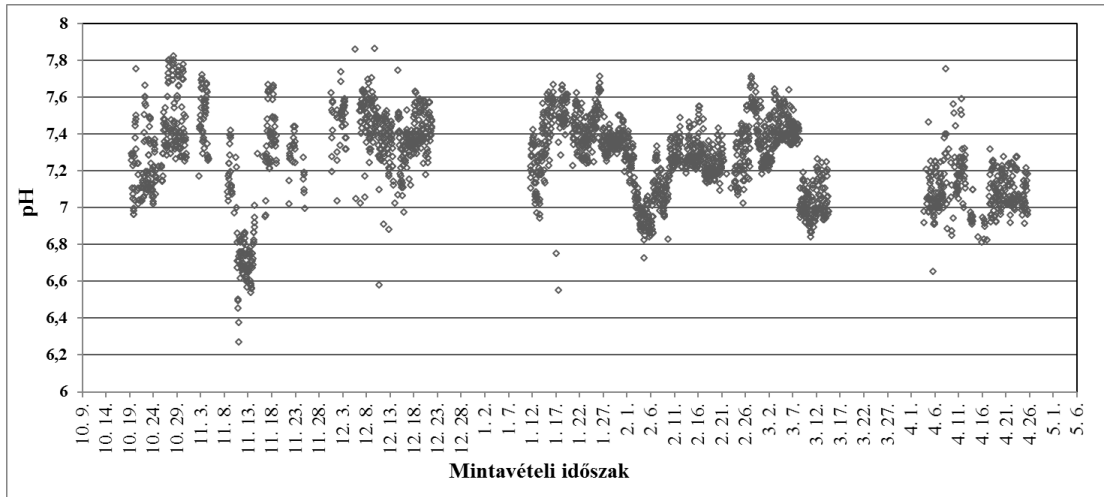
| <b>Iszapelvételel időpontja</b> | <b>Iszapelvételel időtartama</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 2012. január 24.                | 2.0                              |
| 2012. január 31                 | 5.4                              |
| 2012. február 27                | 4.0                              |
| 2012. március 12                | 3.4                              |
| 2012. március 13                | 4.0                              |

A kiválasztott fizikai-kémiai paraméterek a szennyvíztisztítás fontos befolyásoló tényezőire vonatkoznak, így vizsgáltam a hőmérsékletet, pH-t, vezetőképességet, ammónium-N, nitrát-N és ortofoszfát-P koncentráció változását. Az automata monitoring állomást egy téli és egy tavaszi üzemelési időszakban telepítettem ki. Az on-line monitoring rendszer biztosította a szennyezési csúcsok detektálását, amelyek egy-két óráig tartottak és jellemzően éjszakai órákban, illetve a hétvégi időszakokban jelentek meg.

A monitoring állomás által szolgáltatott adatok segítségével feltártam a hétvégi üzemeltetési problémát (pl. iszapelúszás), amely nem került volna felismerésre a szokásos heti kétszeri mintavétel alapján.

A következő diagramokon (45. ábra és 46. ábra) mutatom be a folyamatos mérés eredményeit.

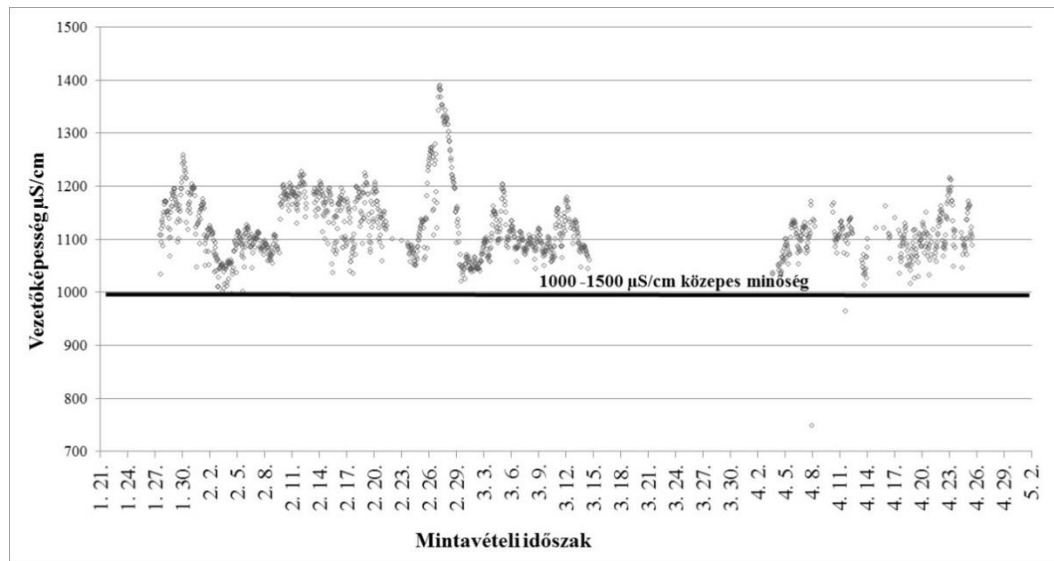
A **pH** érték az elfolyó tisztított szennyvízben 6,2 és 7,8 között volt, amit a 45. ábra mutatja.



45. ábra: A pH mérési eredményei

A felszíni vizekre megadott határérték (pH 6.5-8.5 jó minőség) alapján a pH nem jelentett többletterhelést a felszíni víztest (befogadó) részére.

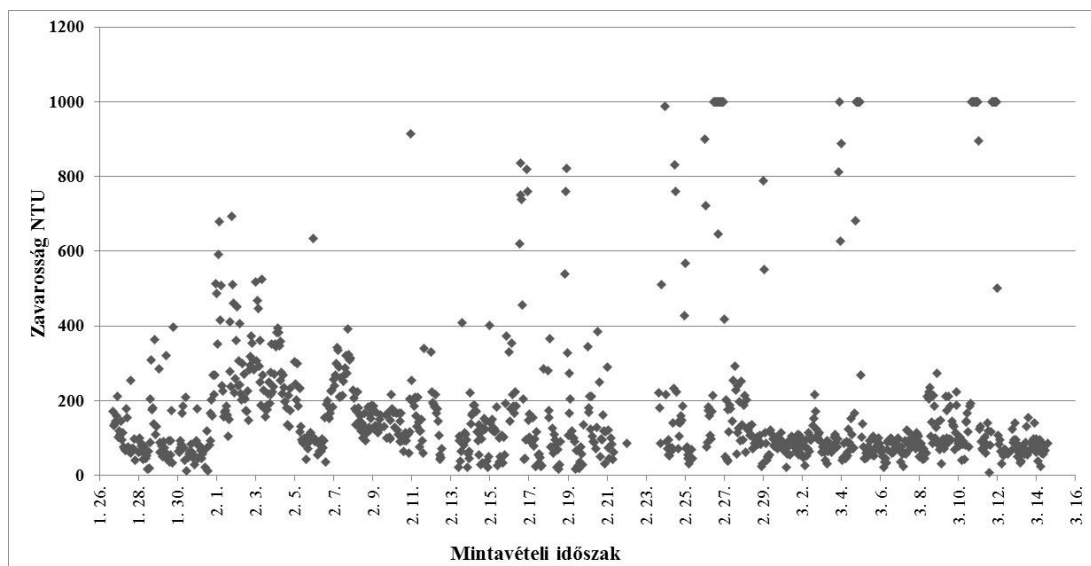
Az **elektromos vezetőképesség** értékét a 46. ábra mutatja a kibocsátott tisztított szennyvízben. A mért értékek folyamatosan 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  felett voltak. A befogadóra (Várpalotai süllyedékes bányatavak) vonatkozóan az 5 tipológiai típus alapján a vezetőképesség 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  felett nem megfelelő (10/2010 (VIII.18) VM rendelet).



46. ábra: A fajlagos vezetőképesség mérési eredményei

A monitoring állomás mérési eredményeiből látható, hogy a csúcsok hétfői napokra és az éjszakai órákban voltak (01.30. 01:00-1260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; 02.27 04:00-1390  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; 03.05. 01:00-1204  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 04.23. 1:00-1216  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

A tisztított szennyvíz **zavarosság** értéke 21-1000 NTU között van, amit a 47. ábra mutatja.



47. ábra: A zavarosság mérési eredményei

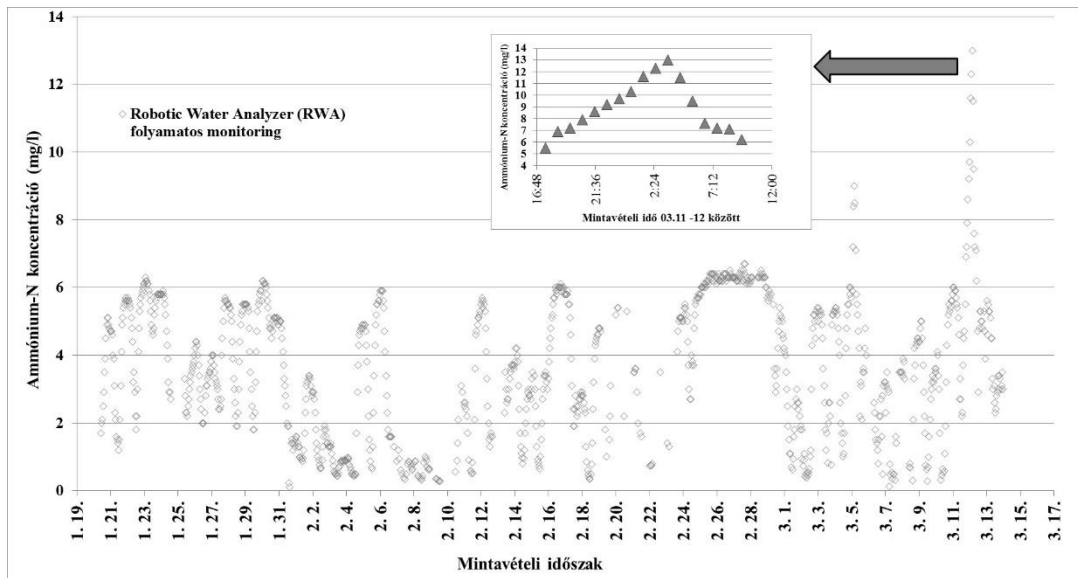
Az előző eredményekhez hasonlóan a kiugró értékeket a hétvégi és a késő éjszakai órákban lehetett mérni. A zavarosság extrém magas értékei (1000 NTU) alátámasztják a többszöri fölösiszap elfolyást a szennyvíztelepről (36. táblázat).

36. táblázat: A zavarosság mérés kiugró értékei

| Időpont           | Mérés ideje      | Nap       | Kiugró koncentráció érték (NTU) |
|-------------------|------------------|-----------|---------------------------------|
| 2012.február 1.   | 03:00            | csütörtök | 679                             |
| 2012.február 10.  | 23:00            | péntek    | 913                             |
| 2012. február 16. | 13:00            | szerda    | 835                             |
| 2012. február 18. | 22:00            | péntek    | 822                             |
| 2012. február 23. | 23:00            | szerda    | 987                             |
| 2012. február 26. | 11:00 -<br>15:00 | vasárnap  | 1000                            |
| 2012. március 3.  | 22:00            | szombat   | 888                             |
| 2012. március 4.  | 24:00            | vasárnap  | 1000                            |
| 2012. március 10. | 16:00-<br>18:00  | péntek    | 1000                            |
| 2012. március 11. | 17:00            | vasárnap  | 1000                            |

A telepen szivattyú segítségével időszakosan iszapelvétel történik. Összehasonlítottam a kiugró értékek időpontját az iszapelvétel időpontjaival és észrevehető, hogy a beavatkozások a szennyvíztisztító telepen a N és P mérési csúcsok után történtek.

Az **ammónium-N koncentráció** 0,35 mg/l és 13 mg/l között alakult (48. ábra). A telep elfolyó tisztított szennyvizére előírt NH<sub>4</sub>-N határérték <10 mg/l.



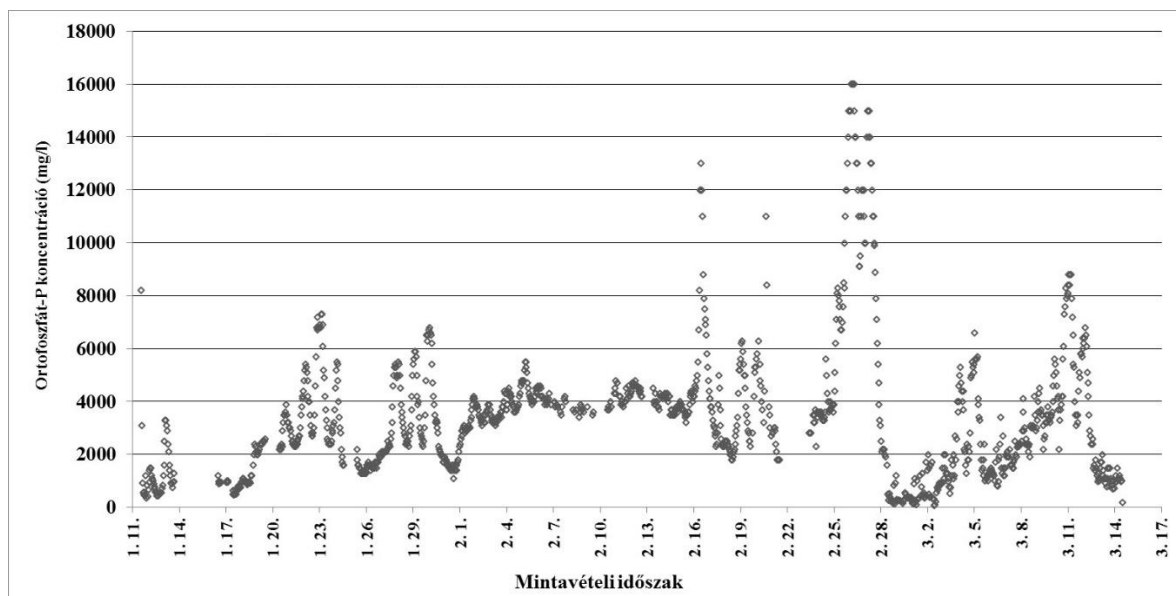
48. ábra: Az ammónium-N mérési eredményei

A szennyvíztelep tisztított szennyvizének ammónium-N koncentrációja márciusban nem érte el a 10 mg/l elfolyóra megadott határértéket, de az eredményekben látszik a telep működésének a periodicitása. A folyamatos mérési időszakban mért ammónium-N kiugró koncentráció értékeit a 37. táblázat mutatja. A kiugró értékek az iszapeluzásnak tulajdonítható.

37. táblázat: Az ammónium-N kiugró mérési eredményei

| Időpont             | Mérés ideje | Nap                            | Kiugró koncentráció értékek (NH <sub>4</sub> -Nmg/l)    |
|---------------------|-------------|--------------------------------|---|
| 2012. január 23     | 01:00       | hétfő                          | 6,3   |
| 2012. január 30     | 24:00       | hétfő                          | 6,2   |
| 2012. február 16    | 15:00       | szerda                         | 6,0   |
| 2012. február 25-28 | 14:00-21:00 | szombat, vasárnap, hétfő, kedd | 6,0-6,7 koncentráció csúcs: február 27, hétfő 14:00-kor |
| 2012. március 05    | 01:00       | hétfő                          | 5,8   |
| 2012. március 12    | 03:00       | hétfő                          | 13  |

Az **ortoszfózfát-P** koncentráció értéke 0,08 mg/l és 16 mg/l között alakult (49. ábra). A felszíni vizekre megadott jó vízminőségi határérték 0,05-0,1 mg/l. A levonuló szennyező hullámok időszakosan terhelik a víztestet. A telep elfolyó tisztított szennyvizére előírt határérték TP <2 mg/l.



49. ábra: Az ortofoszfát-P mérési eredményei

A  $PO_4\text{-P}$  kiugró csúcsok lefutási ideje a következőképpen alakult: 2012. február 25-én 04:00-kor 8,1 mg/l ortofoszfát-P koncentrációt detektált a monitoring rendszer és utána folyamatosan kezdett emelkedni az értéke. A legnagyobb koncentrációt (16 mg/l) 2012. február 26-án 02:00-3:00 között mérte a monitoring rendszer, majd 2012. február 27-én 18:00-kor kezdett csökkenni a koncentráció értéke. 2012. március 4-én 18:00-tól – március 5-én 04:00-ig az analizátor szennyező hullám levonulását detektálta (6,07 mg/l- 8,48 mg/l -4,77 mg/l). 2012. március 11-én 01:00-07:00 között is kiugró eredményeket mért (7,9 mg/l -8,8 mg/l -5,4 mg/l) a monitoring állomás. 2012. március 11. 17:00-tól - március 12. 04:00 között szintén kiugró ortofoszfát-P koncentráció került észlelésre (7,7-11,7-6,63 mg/l). Ezt mutatja be a 38. táblázat.

38. táblázat: Az ortofoszfát-P kiugró mérési eredményei

| Időpont            | Mérés ideje   | Nap             | Kiugró koncentráció értékek $PO_4\text{-P}$ (mg/l)        |
|--------------------|---------------|-----------------|---|
| 2012. január 22-23 | 18:00 – 07:00 | vasárnap, hétfő | 5,2-7,3<br>A koncentráció csúcs 02:00-03:00 között.       |
| 2012. január 29-30 | 20:00 – 5:00  | vasárnap, hétfő | 6,5-6,8<br>A koncentráció csúcs éjjel 01:00-02:00 között. |
| 2012. február 16   | 11:00         | szerda          | 13  |
| 2012. február 26   | 14:00-21:00   | vasárnap        | 16  |
| 2012. március 04   | 22:00         | vasárnap        | 8,48  |
| 2012. március 11   | 22:00         | vasárnap        | 11,7  |

Az online folyamatos monitoring rendszer mérési eredményeit értékelve arra a következtetésre jutottam, hogy a korábbi időszakokban is előfordulhattak hasonló esetek. Ezt támasztja alá, hogy a szennyvíztisztító telep gyakorlata a téli időszakban a túl magasan tartott iszapkoncentráció, emiatt ritkán vesznek el iszapot. Ez okozta azt az üzemi időszakos problémát, hogy időről-időre iszapelúszás (iszapelfolyás) következett be, amit a helyszíni automata mintavevővel vett magas lebegőanyag tartalmú és erősen szagos minták is alátámasztottak. Az ülepített szennyvíz lebegőanyag koncentrációjának leszorítása fontos követelmény a telepekkel szemben, mivel télen is betartandók az összes lebegőanyagra és az elfolyó vízminőségre vonatkozó előírások. A szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizével távozó fölösleges iszap a vízminőség egyéb paramétereit (KOI, BOI, nitrogén, foszfor) is rontja. Ez a jelenség akár 3-4 napig is eltartott a telepen.

A folyamatos monitoringgal ennek a problémának a nagyságát és az időbeliségét detektáltam. A 2012. február 25-28 időszak eredményei ezt jól mutatják. Először a monitoring állomás az ammónium-N koncentráció (4-5 mg/l között) emelkedését, majd 26-án vasárnap a zavarosság (1000 NTU) és az ortofoszfát-P (16 mg/l) esetében detektált koncentráció csúcsot. A hétfői napon hajnal 4:00-kor a vezetőképesség értéke elérte a mérési sorozat maximumát (1400  $\mu$ S/cm). Az ammónium-N koncentráció is ezen a napon 14:00-kor érte el a 6,7 mg/l-es értékét, amit a vizsgálat időtartama alatt a detektált események alkalmával rendszeresen elért. A telep az iszapelvételt ezen a hétfői napon végezte el, amit először az ortofoszfát-P koncentráció csökkenésében (18:00-kor 2-3 mg/l) lehetett látni. Az ammónium-N esetében kisebb koncentráció értéket (4 mg/l) 28-án este 21:00-kor mért a monitoring állomás.

Az óránkénti folyamatos monitoring eredmények azt mutatták, hogy időről-időre iszapelúszás következett be a telepen, amelyről részletes információval nem rendelkeztek az önellenőrzések pont és átlagminták eredményei alapján, valamint a kis szennyvíztisztító telep kapacitás hiánya miatt. Így a várpalotai kis szennyvíztisztító telep hatékonyabb üzemeltetését segítette a téli és tavaszi időszakban végzett folyamatos monitoring.

Az eredmények hétvégi koncentráció kiugrást mutattak az ammónium-N (5 mg/l), zavarosság (1000 NTU), ortofoszfát-P (16 mg/l) esetében. A hétvégi koncentráció emelkedés szombaton délután kezdődött, és hétfőn délelőtt csökkent vissza, amikor is a telepen megtörténik az iszapelvétel. A folyamatos monitoring mérőállomás szakaszos alkalmazása hozzájárulhat a hatékonyabb üzemeltetéshez azáltal, hogy jobban tervezhetővé tenné az iszapelvételt, így csökkentve a lebegőanyaggal távozó szerves anyag és tápanyag (N, P) koncentráció mennyiségét ezzel csökkentve a befogadó lökészerűen jelentkező terhelését.



## 8.4 Folyamatos monitoring állomás akkreditálhatósági feltételrendszerének kidolgozása

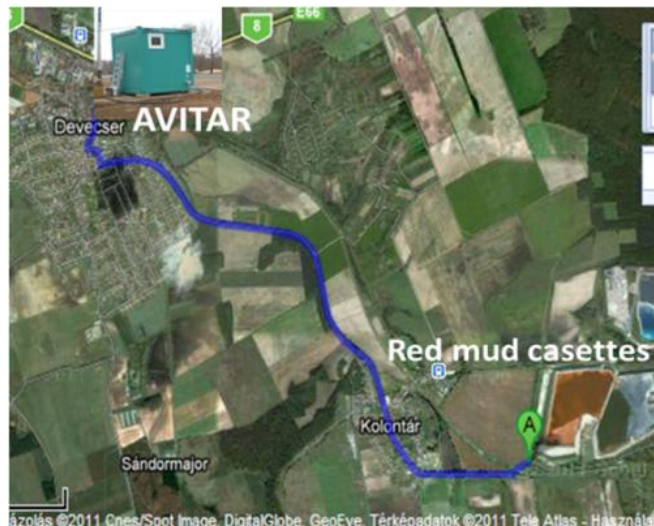
2010. október 4-én 12:30-kor bekövetkezett Magyarország legnagyobb ipari katasztrófája. Az ajkai timföldgyár X. számú zagytározó gátjának a szakadásával vörösiszapos zagy és lúgos víz öntötte el a területet. Így a Közép-dunántúli KTVF részéről felmerült, azaz igény, hogy a szennyezett területeken és a Torna-patakban végzett kármentesítési munkák hatását folyamatosan monitoringozzák, valamint az esetleges újabb váratlan eseményeket előre jelezzék a Torna-patakban.

Kutatási célom volt egy olyan módszertani javaslat kidolgozása, amellyel egy automata folyamatos monitoring állomás működtetése hatósági eljárásba illeszthető vagyis „kvázi” akkreditálhatóvá tehető.

Ehhez először elvégeztem az AVITAR fő mérőegységeinek és funkcióinak a feladatra való átstrukturálását a Közép-dunántúli KTVF felkérésére. Illetve az eredmények megbízhatóságának igazolásához pedig akkreditált laboratóriumi háttérrel szolgáltattam. A két rendszer összehangolt működtetését egy éven keresztül biztosítottam.

Az Oszágos Vízügyi Igazgatóság Műszaki Irányító Törzs és a központi Hatóságok részére a Torna-patak vízminőségének (pH, vezetőképesség) folyamatos mérése az AVITAR rendszerrel **2010. december 15-től - 2011. október 31-ig működött.**

A **monitoring hely** kiválasztásában együttműködtem a Közép-dunántúli KÖVIZIG-el. Az automatizált folyamatos vízmonitoring állomást (AVITAR) 2010. december 10-én a 8. sz. főútról Devecserbe vezető út közúti hídja mellé telepítettük (EOV koordináta: E 527986; N 197409) 8 km-re a X. számú vörösiszap kazettától (50. ábra).



50. ábra: Az AVITAR mobil mérőállomás elhelyezése

A Torna-patak medre ezen a részen betonlapokkal burkolt volt, ami jól látható az 51. ábrán. A mintavételi csövet a betonlapokhoz rögzítettük. A pH és a vezetőképesség mérő szenzorok a mérőállomáson belül kerültek elhelyezésre.



51. ábra: AVITAR monitoring állomás Devecserben

A mintavételi hely az évek során sokat változott. A katasztrófa előtt lakóházak és kiskertek voltak a patak mellett jelenleg pedig park és zöld övezet húzódik ugyanitt. A parkban egy dísztavat létesítettek, amelynek az elvezető csatornájának befolyója a Torna-patak ezen pontján található A bevezetés zsilip rendszerű (a 52. ábra jobb oldali részén látható).



52. ábra: A Torna-patakon kijelölt monitoring hely 2010-ben és 2015-ben

#### 8.4.1 Akkreditálhatósági feltételrendszer alkalmazása a Torna-patak vízminőségének változásának detektálására 2010-2011 között

Akkreditálhatósági feltételrendszer kialakításával az automata folyamatos monitoring rendszer az Országos Vízügyi Igazgatóság Műszaki Irányító Törzs, a Nemzeti Környezetügyi Intézet (NEKI) és a KDKTVF által megfogalmazott igények által beintegrálásra került a hatósági eljárás rendszerébe. A következő követelmény specifikáció került megvalósításra:

- A paraméterek (pH, vezetőképesség, hőmérséklet) fél órás gyakoriságú mérése
- A mérési eredmények továbbítása az általuk kijelölt személyek részére e-mailben, SMS-ben, valamint internete elérés kizárólag a hozzáférési jogosultsággal rendelkezők részére.
- Riasztási határérték beállítása pH 9,5-nél. A határérték túllépés jelzése SMS-ben és e-mailben.
- A mérőállomás üzemeltetését (szakmai felügyeletét és a mérőműszerek kalibrációját, karbantartását) akkreditált laboratórium végzi (ÖKORET MONITORING LABORATÓRIUM), amellyel biztosítja a mérési eredmények megbízhatóságát.
- A KDKTVF akkreditált laboratóriumával kéthetente összemérés és ezzel egyidőben három párhuzamos mérésről jegyzőkönyv (AVITAR mérőállomás, ÖKORET Laboratórium, KDKTVF laboratóriuma) elkészítése.
- Az akkreditált ÖKORET Monitoring Laboratórium (pl. határérték vagy műszer meghibásodás, illetve egyéb probléma megjelenésének jelzése és megoldása szükség esetén kézi terepi mérésre történő átállás) a felelőse a riasztások kezelésnek.

A megfogalmazott igények teljesítése mellett az alábbi eljárással biztosítottam a folyamatos mérési eredmények megbízhatóságát.

- A félóránkénti mérési adatszolgáltatás során, probléma lépett fel (pl. kiugró pH érték vagy mérési eredmény kimaradás) azonnal a helyszínre mentem. A probléma elhárításáig kézi mérésekkel kellett szolgáltatni a pH, vezetőképesség eredményeket, mivel adat kimaradást nem engedélyezett a Hatóság.

A működtetés teljes időszaka alatt biztosítottam az akkreditált laboratórium képviselőjét, illetve a megfelelő eszközparkot a kézi mérésekhez. A folyamatos mérési eredmények rendelkezésre állásához, hetente karbantartást (mintavevő cső és a mérőműszerek tisztítása) és ellenőrző méréseket (mérőműszerek pontosság ellenőrzése, kalibrálás), továbbá összeméréseket végeztem akkreditált laboratóriumi (ÖKORET Monitoring Laboratórium) háttérrel. Kéthetente pedig összemérés történt a monitoring állomásnál az ÖKORET Monitoring Laboratórium vezetőjeként és a KDKTVF munkatársaival együtt az adatok megbízhatóságának ellenőrzése végett.

#### **A Torna-patak vízminőségének változása a 2010-2011 között**

A mérési időszak két periódusra osztható egy kármentesítési és felügyeleti szakaszra.

Az első periódusban **2010. december 15 – 2011. január 22** között félóránként történtek pH és vezetőképesség mérések. Ez a katasztrófa utáni kármentesítés hatásának folyamatos monitoringozása során biztosított információt. A további szivárgások hatásának jelzéséről és a kármentesítési munkák hatásairól.

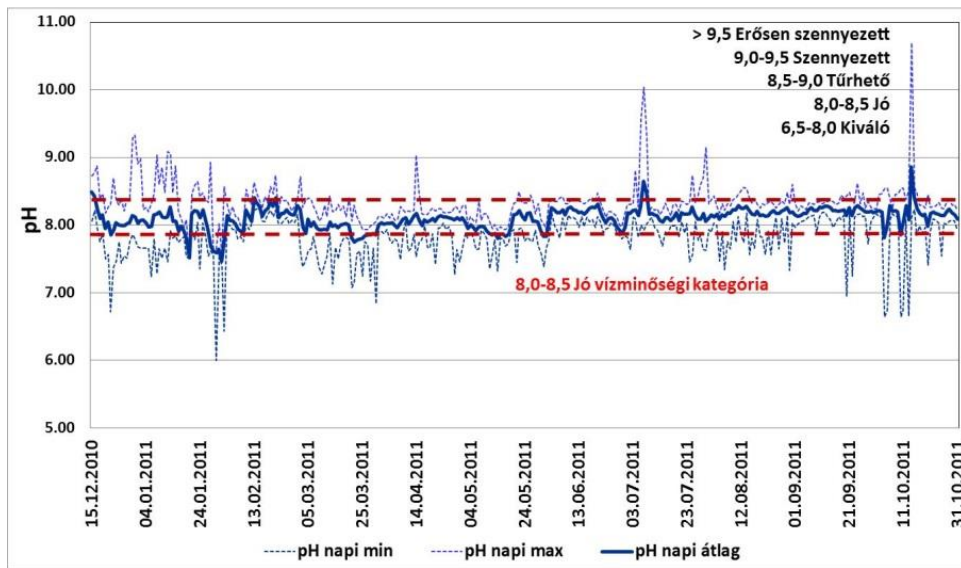
A helyreállítást követő felügyeleti szakasz **2011. január 23 – 2011. október 31** között volt, amikor is a 30 perces időközök helyett már csak óránként kellett a pH és vezetőképesség értékeket szolgáltatni.

**A folyamatos pH mérés eredménye 2010.12.15-2011.10.31. közötti időszakban.** A 53. ábra mutatja a napi minimum (pH=6), maximum (pH=11) és átlag értékeket. A pH átlag

értéke a vizsgált egy évben 7,5-8,5 között változott. A 10/2010 (VIII.18) VM rendelet alapján jó minősítésű. A napi minimum és maximum értékek szerint szennyezett kategóriát is elérte a víz minősége.

*A napi kiugró értékek eredményei és a probléma forrása.*

- 2010.12.30-31-én (pH=9,5), amelynek oka volt, hogy a semlegesítéshez használt tartályoknak a cseréjekor nem történt sav adagolás.
- 2011.07.6-8-án (pH=10), A mederbolygatása okozta, mivel riasztást kaptunk és a helyszínen ki kellett deríteni mi váltotta ki a pH kiugrást.
- 2011.10.14-én (pH=11): A vállalat valószínűleg csökkentette a sav mennyiségének adagolását.

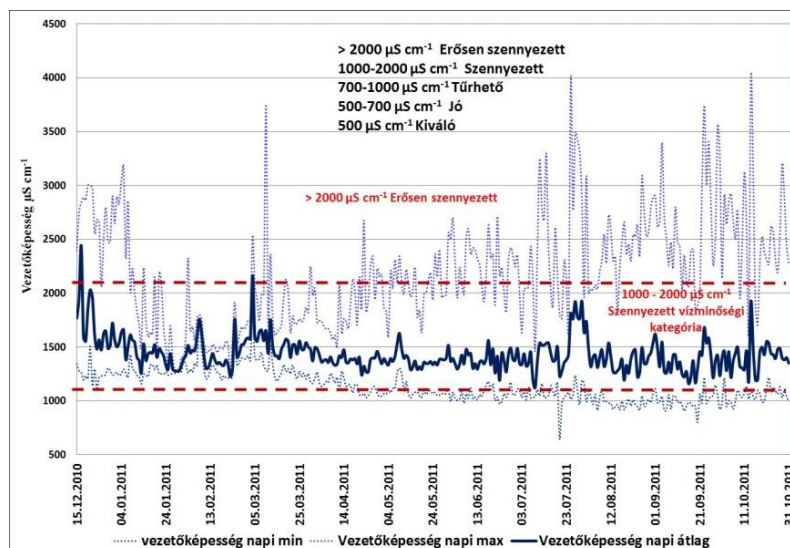


53. ábra: pH mérés napi átlag eredményei (2010 - 2011)

Az egy éves **folyamatos fajlagos vezetőképesség** mérési eredményei alapján a napi átlagok 1000 – 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  között voltak, ami szennyezett vízminőségi kategóriát jelent. A mérőállomás eredményei között a napi legnagyobb értékeknél előfordult 3090 és 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  érték is, ami már az erősen szennyezett vízminőségi kategóriába tartozik (54. ábra).

*A kiugró értékek eredményei és probléma forrása:*

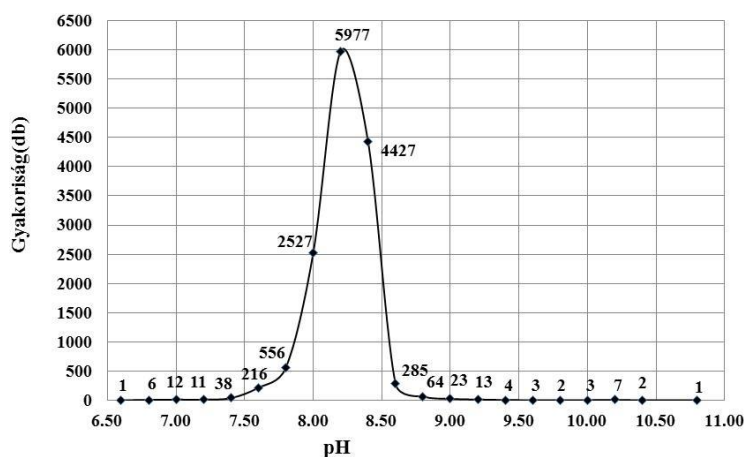
A 2011.03.10-én, 2011.07.25-29-én, 2011.10.14-én mért kiugró értékeket (3600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a vörösiszappal terhelt meder bolygatása és a semlegesítéshez használt anyagok koncentrált előfordulása okozta. A mért értékek az idővel csökkentek, de nagyságrendjük továbbra is a szennyezett vízminőségi kategóriába tartozott.



54. ábra: Vezetőképesség mérés napi átlag eredményei (2010 - 2011)

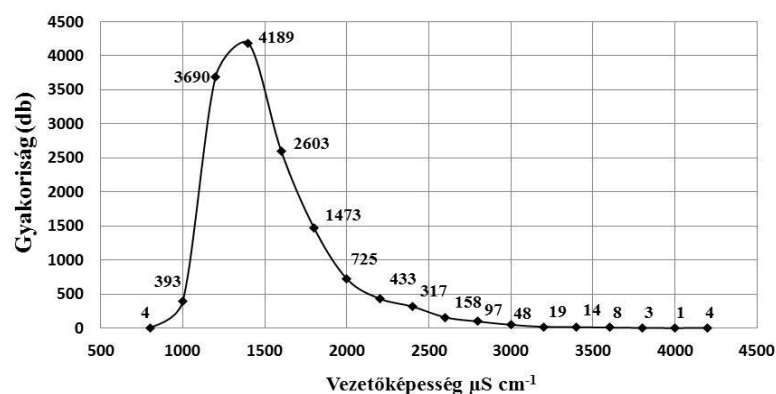
A bemutatott 52-53. ábrák mutatják, hogy a napi átlagok ábrázolásával eltűnnek az egyedi csúcsok, amelyek a kármentesítés során jelentős információval bírtak.

A pH és a vezetőképesség **mérési eredményeiből meghatároztam a pH és vezetőképesség mért értékeinek a gyakoriság eloszlását** (55. ábra és 56. ábra) a vizsgált időszakban. A folyamatos monitoring alatt a leggyakrabban mért pH érték 8,2 volt (5977 alkalommal), amit az 55. ábra mutat. A fajlagos vezetőképesség értéke pedig 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  volt (4189 alkalommal), amit az 56. ábra mutat.



55. ábra: A pH mérési eredményeinek gyakorisága

A kiugró pH=9,5-11 közötti értékek 22 alkalommal a pH=7,0-6,5 közötti értékek pedig 7 alkalommal kerültek detektálásra. Ezekben az esetekben minden körülmény között helyszíni ellenőrzést kellett tartani.



56. ábra: A vezetőképesség mérési eredményeinek gyakorisága

A vezetőképesség esetében 3000  $\mu\text{S/cm}$  fölötti értéket 97 alkalommal detektált a monitoring állomás. A sóháztartás értékeinek a csökkenéséhez hosszabb időre volt szükség, mint a pH érték esetében. A 2015-ben végzett mérések eredményei (900 S/cm) a tűrhető vízminőséget mutatják.

Az igények teljes körű kiszolgálása és az adatok megbízhatóságának garantálása lehetővé tette, hogy egy nem hatósági szerv részéről magvalósult folyamatos online mérést elfogadtak „kvázi” akkreditált mérési eredménynek. Az AVITAR monitoring állomás által szolgáltatott mérési eredményekre támaszkodva elemezték a Torna-patak vízminőségének változását a 2010. december 15 - 2011. október 31. között a kármentesítési folyamatok és a felügyeleti idő alatt. A pH és vezetőképesség eredmények értékelését az OVF honlapján lehetett nyomon követni.

Az egy éves folyamatos mérés során a Torna-patak kármentesítési munkálatait támogattam a beavatkozások hatásainak-, és a szivárgások nyomonkövetésével, illetve váratlan események felléptekor a riasztás biztosításával.

A folyamatos monitoring rendszert a felszíni vizeken bekövetkezett káresemények után meghatározott feladatokra és ellenőrzött működési rendszer mellett alkalmazható hatósági akkreditált mérésekkel párhuzamosan.

## 9. KORAI VÍZMINŐSÉG ELŐREJELZŐ RENDSZER (EWS) AJÁNLÁSÁNAK KIDOLGOZÁSA A TISZA RÉSZVÍZGYŰJTŐ RENDSZERÉRE

A felszíni vizeink minőségét csak akkor tudjuk megvédeni, ha folyamatosan a vízminőség javításán dolgozunk. Ennek egyik eszköze a vízminőség folyamatos ellenőrzése, mely adott esetben lehetőséget nyújt a nagyobb mértékű szennyeződés megelőzésére.

**Kutatási célom volt** a kezdeti „alap” korai early warning vízminőség jelzőrendszer alapjainak kidolgozása továbbá az, hogy definiáljam a skálázható (bővíthető, konfigurálható és specializálható) automatikus monitoring rendszer kereteit, amely egyaránt érinti a **telepítési, infrastrukturális és a fenntartható költséghatékony szempontrendszer kidolgozását.**

A természeti jelenségek nem ismernek országhatárt, tehát kezelésük, az ezekhez való alkalmazkodás a Víz Keretirányelvben lefektetett elveknek megfelelően a teljes vízgyűjtőre, jelen esetben a Tisza vízgyűjtőjére kiterjedő fellépést igényel.

A Tisza vízgyűjtő szintű vízminőségi korai riasztórendszer kiépítése mind a felvízi mind az alvízi országok szempontjából nélkülözhetetlen az esetleges szennyezések haváriák, katasztrófák időbeni (előre) jelzése és a kellő időben történő reagálás elősegítése céljából. Az ilyen események megelőzése, valamint gyors és hatékony kezelése érdekében tett lépések elengedhetetlenül fontosak az egész Duna régióban.

A Tisza vízgyűjtő területére létesítendő korai riasztórendszer nem váltja ki az előírt és az országok által vállalt monitoring folyamatokat, hanem a kiértékelések és a problémák megoldásában adna segítséget, mivel folyamatos idősorokat biztosítana, valamint a riasztási lehetőséggel beavatkozásra adna lehetőséget a teljes vízgyűjtő területén.

Az EWS rendszer határokon átnyúló skálázhatósága (adott területi igényekhez igazítható) érdekében az alábbiakat kell egységesíteni:

- **Mérőrendszer kialakítása:** A helyszínek előzetes megválasztása. Mérőhelyek kialakítása; Áramellátás (hálózati, akkumulátor vagy napelemmel táplált rendszer kerüljön kiépítésre); szenzorok száma, elhelyezésük, rögzíthetőségük, védelmük megoldási lehetőségei.
- **Adatszolgáltatások biztosítása:** Alkalmazandó kommunikációs szabványok, irányok definiálása (WIFI, GSM, műholdas, stb.); Adattartalmak kidolgozása; Értesítési, hozzáférési jogok definiálása; Megjelenítő módok, típusok definiálása.
- **Üzemeltetési feltételek biztosítása:** Telepítési módok és karbantartási idők rögzítése; Hibaelhárítási protokollok meghatározása; Mérési paraméterek bővítése, szűkítési rendjének meghatározása; Mintavételek és a minta kezelési módjának rögzítése.
- **Riasztási rendszer kiépítése:** Értesítési hálózat meghatározása; Kritikus paraméterek rögzítése a szennyezettségi térképek alapján; Riasztási szintek kijelölése.

## 9.1 A korai előrejelző, riasztási monitoring rendszer felépítésének módszertana

A felszíni vizekre érvényes előrejelző rendszer kialakításához kidolgoztam egy módszertani ajánlást, amihez a következő irodalmakat tekintetem át: ([48]; [68]; [72]; [143]).

**Háttérinformációk összegyűjtése** során meg kell adni a veszélyhelyzet kialakulásának okozóit, várható szennyező anyag megjelenéseket, jellemző indikátor paramétereket, valamint a veszélyhelyzet kialakulásának dinamikáját (hirtelen, vagy lassan alakul ki). A tervezett megoldás során a meglévő monitoring rendszerekkel és a VKI monitoring pontokkal és eredményeivel biztosítani kell az integrációt. Az Early Warning System (EWS) monitoring hálózat kialakításához először fel kell térképezni az adott vízgyűjtő területhez tartozó szennyező és állapotot befolyásoló paramétereket, figyelembe véve a kialakuló szennyezések környezetre gyakorolt hatását és annak nagyságát.

**A vizsgálandó vízgyűjtő terület szennyezőforrásainak feltárása:** fel kell mérni mind a pont, mind a diffúz szennyező forrásokat.

- Az ún. „hot spot”-ok: szennyvíztisztítók, ipari és városi szennyvíz bevezetései, termál fürdők terhelései.
- Diffúz szennyezőforrások: pl. mezőgazdasági területek, állattenyésztő telepek.

**A monitoring állomások helyének a kijelölése a monitoring rendszerek egyik legkritikusabb eleme.** A mérőhálózat kialakításának legfontosabb szempontja a mérőhelyek megtervezése (pl. pontforrások, után, lefolyási modellek alapján az összefolyási pontokhoz kapcsolódóan). A nem reprezentatív helyre telepített állomás – hiába felel meg az egyéb feltételeknek – értéktelen és félrevezető.

A tervezési elvek alapján meg kell különböztetni milyen célokat kívánunk szolgálni:

- **határon átterjedő szennyezések azonnali detektálását** – Nemzetközi hatáskör
- **potenciális szennyező források felmérését, vagy havária kezelést végzünk (itt van jelentősége az állomás-szennyezőforrás távolságnak).**

Nemzeti hatáskör a mérőállomás és a szennyezőforrás közötti távolság kijelölése. A szennyezésnek kitett felszíni vízfolyás szakasztól lejjebb létesített állomásról induló riasztásnak elegendő felkészülési időt kell biztosítani a szennyezés elhárítására a hatóságok számára. A működtető szervezet fenntartási költségeinek (pl. kijárási távolság optimalizálása, kalibráció, reagenscsere gyakoriság) a minimalizálása.

**A következő kritikus terület a mérendő paraméterek (indikátor paraméterek) kiválasztása:**

A mérendő paraméterek körét meghatározza a monitoring hely elhelyezkedése úgy, mint határszelvények ellenőrzésére (kvázi ismeretlen komponens) vagy konkrét potenciális szennyező forrás ellenőrzésére vagy havária esetére végezzük el a tervezést.



A szennyező források ismeretében a helyi kockázati tényezőkhöz igazítva eldönthetjük, mely fizikai-kémiai paraméterekre fókuszálunk az adott monitoring pontokon. A műszaki szempontok mellett a költséghatékonyság is kiemelt tényezőként jelentkezik a mérendő fizikai-kémiai paraméter kiválasztás során.

Ezért ún. indikátor paramétereket jelölök ki, melyek

- folyamatos monitorozás egyrészt viszonylag alacsony fajlagos költség szinten oldható meg, másrészt
- reprezentálnak bizonyos paramétercsoportot, azaz korrelációs algoritmusok alapján a mérési eredményekből következtethető más nehezen, vagy drágán mérhető paraméter értékeinek változása.

Összefoglalva az elvárásainkat a jól megválasztott indikátor paraméterek mérési módszerével szemben legyen olcsó, stabil és egyszerű mérési kivitelezés, amely jelzi hogyha drága és bonyolult mérésekre van szükség a helyzet egyértelműsítésére.

**A mintavételi/mérési, vezérlő és adatgyűjtő rendszerek specifikációja:** a mérőpont elhelyezkedések jellemzőihez, illetve a mérendő paraméterekhez igazítjuk a mérőállomások és a mérőberendezések specifikációit.

**Mérési gyakoriság meghatározása során** ki kell dolgozni az indikátor paraméterekre épülő monitoring programot. Bizonyos szennyezési értékek elérésekor szükségessé válhat bizonyos mérőberendezések/mérések elindítása, vagy a mérési frekvencia változtatása (a folyamatos üzem jelentős hatással bír a vegyszer és energiaigényre, az egység élettartamokra, a karbantartási időciklusokra, ezáltal az üzemeltetési költség szintre).

**A mérési eljárásrend kidolgozásakor** létre kell hozni a mért indikátor paraméterek adatainak kiértékelését végző folyamatokat (programok, eljárások), valamint meghatározni a riasztás hierarchikus szintjeit, dokumentációs rendjét.

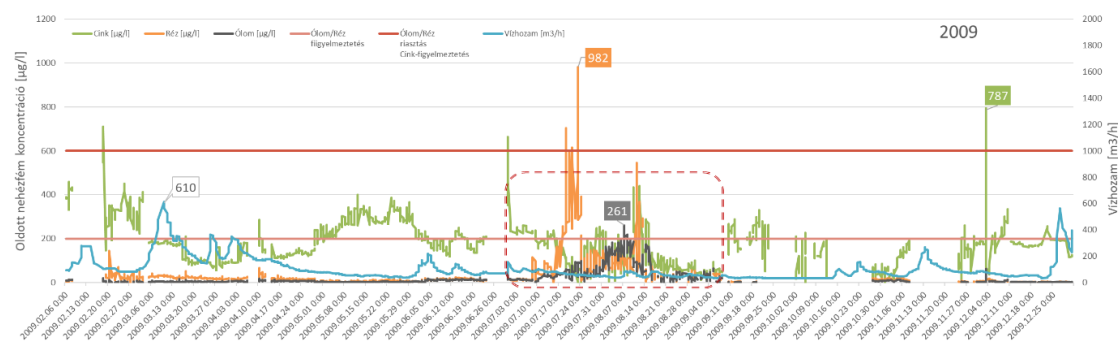
A kutatásom célja, hogy a monitoring állomások számának optimalizálása a Tisza vízgyűjtő területén úgy, hogy fenntartható módon működtethető legyen és az EWS monitoring hálózat feladatát teljes mértékben biztosítani tudja.

## 9.2 Az EWS optimalizált monitoring állomások kijelölése és az indikátor paraméterek kiválasztása a Tisza vízgyűjtőre

A Tisza részvízgyűjtő monitoring hálózatának megtervezésekor, vagyis a monitoring pontok kijelölésekor kiindulási kritériumként fogalmaztam meg, hogy a **Tisza Vízgyűjtő Monitoring Rendszer** három magyarországi (Hernád, Csenger, Pocsaj) és 1 ukrainai (Técső) monitoring állomásai minden esetben részei maradnak az EWS monitoring hálózatnak ([www.rivermonitoring.hu](http://www.rivermonitoring.hu)).

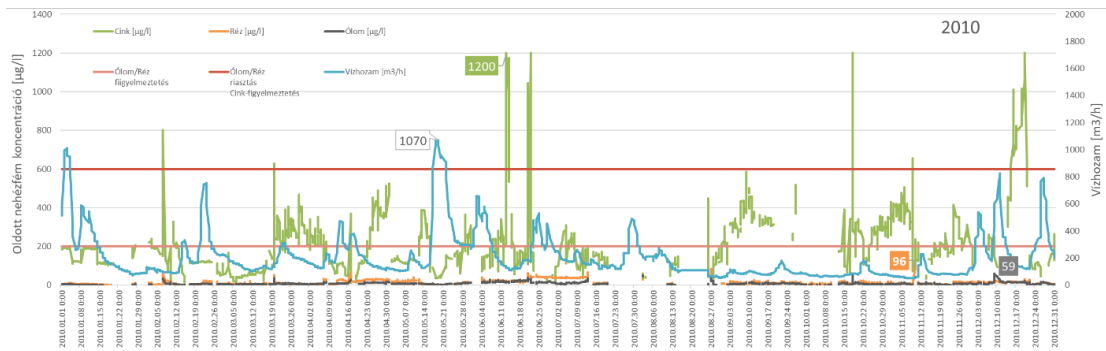
Ahhoz, hogy monitoring állomás működéséről és a terület vízminőségéről információt kapjak feldolgoztam az egyik legkritikusabb monitoring hely a Csengeri állomás oldott nehézfém koncentráció adatait 2009-2015 között. A Csengeri monitoring állomásra telepítettek nehézfém mérő készüléket (működési elve: polarográfia), mivel a Szamos felvízi szakaszon nagymértékű ipari (bányászat és fémfeldolgozás használtvíz kibocsátás) és kommunális eredetű szennyvízbevezetések terhelik. A Szamosban mért oldott fémek közül a cink, réz, ólom, eredményeit ábrázoltam. A következő diagramok mutatják a hét éves időszak nehézfém koncentráció változásait, illetve az oldott nehézfémekre meghatározott figyelmeztetési (ólom, réz 200  $\mu\text{g/l}$ ; cink 600  $\mu\text{g/l}$ ) és riasztási szinteket (ólom, réz 600  $\mu\text{g/l}$ ; cink 1800  $\mu\text{g/l}$ ). Ezek alapján megállapítást teszek a Szamos vízminőségében végbement változásokról.

A 2009 év júliusában vonult le egy jelentős nehézfém szennyezés a Szamoson. A réz (982  $\mu\text{g/l}$ ) és a cink (650  $\mu\text{g/l}$ ) kiugró koncentráció értéke meghaladta a riasztási határértéket (600  $\mu\text{g/l}$ ). Az ólom 261  $\mu\text{g/l}$  koncentrációja pedig a figyelmeztetési határértéket lépte át. A cink koncentráció értéke (400  $\mu\text{g/l}$ ) a márciusi jelentős vízhozam után emelkedett a figyelmeztetési határérték fölé (57. ábra).



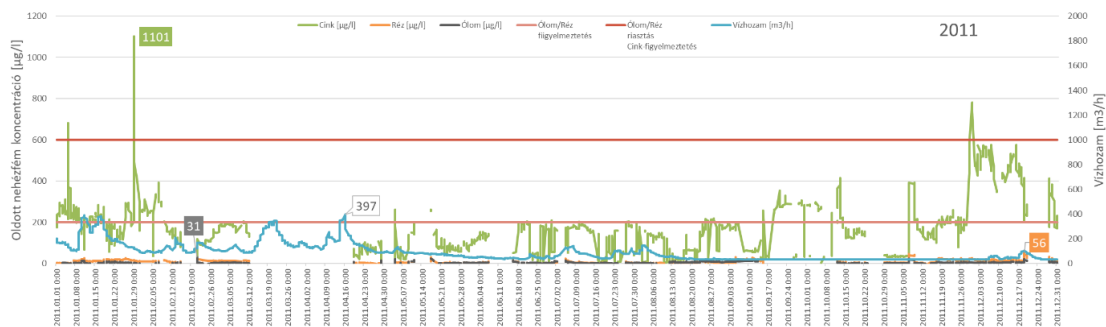
57. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2009-ben

A 2010 év a többi évhez képest csapadékosabb volt, ami jól látható a Szamos vízhozamából. A cink koncentráció értéke többször is átlépte a 600  $\mu\text{g/l}$  riasztási határértéket. A legnagyobb koncentráció értéket (1200  $\mu\text{g/l}$ ) június 13-án és június 22-én mérte a monitoring állomás. A diagramon az is jól látható, hogy a cink a levonuló vízhozam csúcsok után érkezik. A 2010. évben az ólom esetében 59  $\mu\text{g/l}$  a réz esetében 96  $\mu\text{g/l}$  koncentráció csúcsot detektált a monitoring állomás (58. ábra).



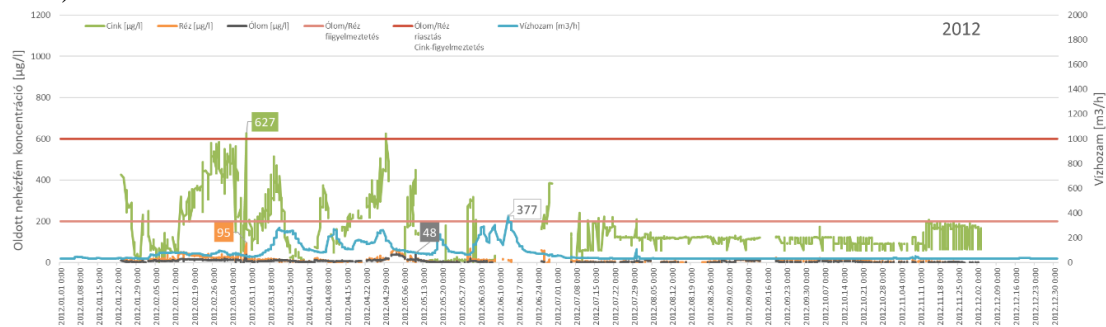
58. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2010-ben

A 2011 év eleje még csapadékos volt és a cink koncentráció értéke (1101 µg/l) újból átlépte a riasztási határértékét. Ebben az évben már jelentős adatkiesés is volt. Az év végén december szintén a cink mérési eredménye figyelmeztetési (772 µg/l) és riasztási határérték (545 µg/l) felett volt (59. ábra).



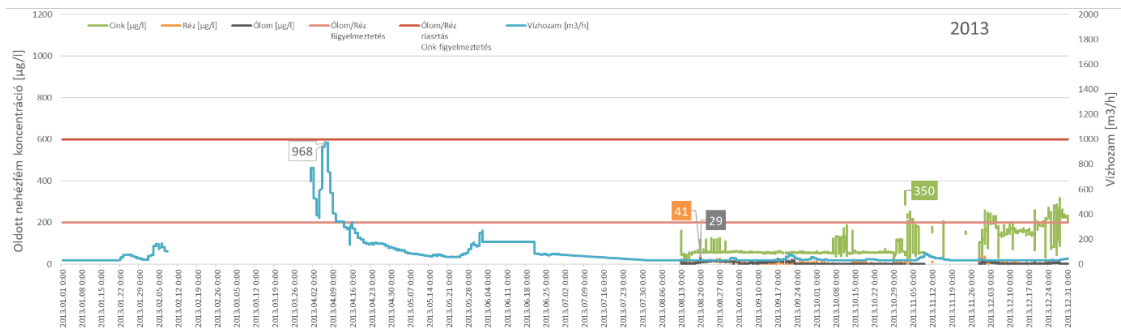
59. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2011-ben

A 2012-es időszakban az év elején a csapadékkal együtt mozgott a cink koncentrációja a 200-600 µg/l között. Egy esetben lépte túl a riasztási határértéket a 600 µg/l koncentrációt. A réz koncentrációja 95 µg/l, ami nem éri el a figyelmeztetési szintet (60. ábra).



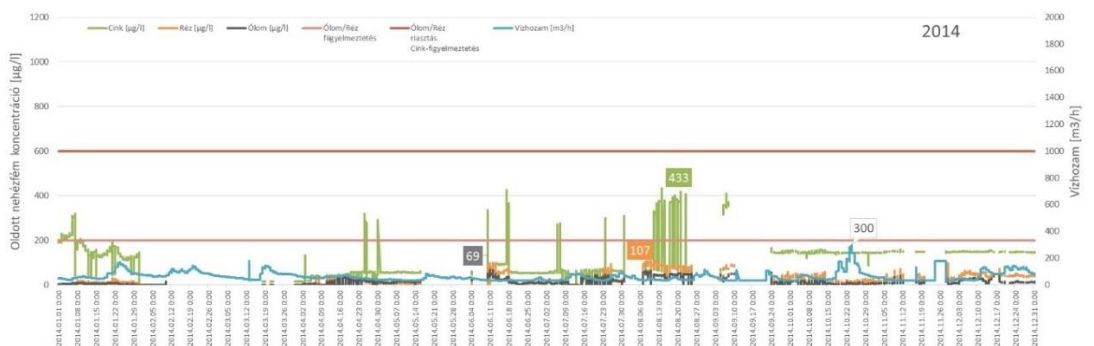
60. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2012-ben

2013-ban augusztus végéig nem működött az állomás. Itt már megjelent a finanszírozás hiányából fakadó üzemeltetési problémák: pl. műszerek karbantartása, csőhálózat cseréjének hiánya, reagens hiány (61. ábra).



61. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2013-ben

2014-ben szintén a cink koncentráció értéke (433 µg/l) figyelmeztetési szintet többször meghaladta. Az ólom csúcs 69 µg/l koncentráció júniusban a réz csúcs 107 µg/l csúcs augusztusban volt tapasztalható (62. ábra).



62. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2014-ben

A 2015-ös évben az értékek megbízhatósága megkérdőjelezhető, mivel ebben az évben történt a mérőállomás leállítása és az üzemeltetést végző miskolci Kormányhivatal már nem tartotta felügyelete alatt (63. ábra).



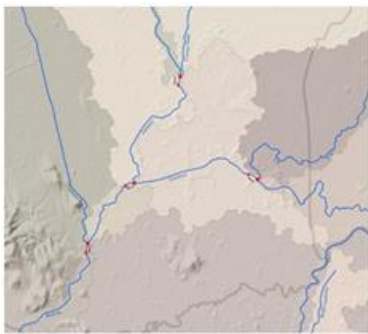
63. ábra: A Szamos cink, réz, ólom koncentráció változása 2015-ben

A teljes időszakot lefedő tisztított adatbázis alapján a folyamatos órás mérésekben adatkiesések tapasztalhatók. Ezt a következő működési problémák okozhatták: áramkimaradás, műszaki hiba, csőhálózat eltömődése, szivattyú meghibásodás, mérőeszköz kapcsolódó alkatrész hiba, időjárási körülmények nyári-téli időszakban pl. műszerek túlmelegedtek vagy túl hideg volt.

### 9.2.1 Az EWS monitoring helyek kijelölése és optimalizálása a Tisza vízgyűjtőre

Minden egyes részvízgyűjtőn egyedileg megvizsgáltam az ipari kibocsátók, szennyvíztisztító telepek hatását, hogy meghatározzam a monitoring állomások elhelyezésének pontos helyét.

A Tisza vízgyűjtőn kijelölésre kerülő EWS monitoring hálózat tervezése szempontjából az alábbi területeket vizsgáltam. Az EWS kidolgozásának az egyik legkritikusabb pontja a tervezési elvekhez igazodó **reprezentatív monitoring helyek kijelölése** a fenntartható, gazdaságosan működtethető monitoring állomások számának a megadása, valamint a **mérendő indikátor paraméterek kiválasztása**. A helyszínek kiválasztása döntő, mivel a nem reprezentatív helyre telepített állomás – hiába felel meg az egyéb feltételeknek jól-értékelhetetlen és félrevezető információt szolgáltat. (Zsófia Kovács et al 2013; Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014).



64. ábra: Monitoring helyek módosítása a torkolat alá

#### - Vízgyűjtő szerinti monitoring pontok kijelölése.

A vízhálózat elemzéséhez háromszintű, azaz 500, 1000, 3000 km<sup>2</sup>-es vízgyűjtőjű Ecrins (European catchments and Rivers network system) vízhálózat és a hozzájuk tartozó aggregált vízgyűjtők képezték a továbbiakban ismertetésre kerülő kijelölések alapját

Első lépésben megtörtént az 500, 1000, 3000 km<sup>2</sup> vízgyűjtőjű leválogatás, majd minden egyes vízfolyás végpontjára tettem egy pontot, ami egyben az adott vízfolyáshoz tartozó vízgyűjtő kifolyási pontja. A torkolati pontoknál annyi módosítást kellett tenni, hogy a

befogadó folyón a torkolat alatt 1 km-rel helyeztem el (64. ábra). Így az adott ponttal a befogadónak a torkollás fölötti, a következő mellékágig tartó közvetlen vízgyűjtője is monitorozható (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o 2014).

A **veszélyes objektumokhoz (ARS kibocsátási pontok)** rendelt monitoring helyek. A veszélyes objektumok alatti folyóvíz-szakaszok megfigyeléséhez a monitoring pontokat úgy kell megválasztani, hogy a pontszerű bevezetéseken át és a talajra történő kiömlést követően a vízbe kerülő szennyezőket egyaránt jelezze. Az előállt ARS pontállomány elemeire megvizsgáltam, hogy az adott pontból a domborzatmodell alapján milyen útvonalon folya le a felszínen egy esetleges szennyezés. Előfordult, hogy a kijelöléssel több egymáshoz közel eső ARS ponthoz is ugyanaz a monitoring hely tartozott. A vizsgálatban részt vevő 54 helyhez 50 monitoring pont adódott.

A részvízgyűjtőkön előforduló **alacsonyabb kockázatú pontszerű szennyező források** az ipari kibocsátók (E-PRTR) és a kommunális szennyvíztisztító telepek.

**Határvízi monitoring pontok kijelölése: RO-UA, RO-HU, UA-HU, UA-SK, SK-HU, HU-SRB.** A háromszintű Ecrins vízhálózatot vettem össze az országhatárral. Két módon viszonyulhat egymáshoz a vonalas országhatár és egy adott vízfolyás. Metszhetik egymást vagy határfolyók esetében közös szakaszaik lehetnek a vízfolyásoknak [Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)]. Oda kerültek elhelyezésre a határvízi monitoring pontok, ahol egy adott vízfolyás a

forrástól kezdve a lefolyási irányt végigkövetve először érintkezik az országhatárral. Ez lehet az országhatár és a vízfolyás egy metszéspontja, vagy pedig egy közös határvízi szakasz kezdőpontja. Határszelvényeknél kijelölt monitoring helyek minden esetben részei az EWS monitoring hálózatnak.

A síkvidéki területeken célszerű a ponthálózatot ritkítani. Egyrészt az Alföld az ember alkotta csatornahálózat nélkül javarészt lefolyástalan terület lenne, ezért természetes vízgyűjtőket képezni nem lehet. Javaslatom, hogy mindhárom vízgyűjtő szinten a vízhálózaton belül a teljes hosszukkal a tengerszint feletti 150 méternél alacsonyabb térszínen futó vízfolyások közül csak a 3000 km<sup>2</sup>-nél nagyobb vízgyűjtőjű folyók kerüljenek be a vizsgálatba. A meghatározónak ítélt szempontok alapján úgy, mint a határvízi szakaszok, veszélyes objektumok (ARS) alatti szakaszok, részvízgyűjtők és jelentős mellékvízfolyások felmérése, alacsonyabb kockázatú szennyező források (pl. ipari és kommunális szennyvíz kibocsátók) alatti szakaszok figyelembe vételével kijelöltem az 500 -, 1000-, 3000 km<sup>2</sup> területekre a monitoring helyek és állomások számát.

Az 500 km<sup>2</sup> területen összesen 159 monitoring állomást jelöltem ki, amihez még hozzá adódik a már meglévő 4 Tiszai Monitoring Állomás.

39. táblázat: Összevonás eredménye alapján a monitoring helyek száma

| Vízgyűjtő terület<br>(km <sup>2</sup> ) |  | Monitoring pontok |                           |                                  |                     |
|---|--|-------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|
|   |  | ARS<br>(pont)     | Határtmetsző<br>(állomás) | Vízgyűjtő<br>szintű<br>(állomás) | Összes<br>(állomás) |
| 500                                     | Összes vízfolyás                               | 50                | 23                        | 86                               | <b>159</b>          |
|   | 150 m alacsonyabban<br>futó vízfolyások nélkül | 50                | 23                        | 61                               | <b>134</b>          |
| 1000                                    | Összes vízfolyás                               | 50                | 21                        | 49                               | <b>120</b>          |
|   | 150 m alacsonyabban<br>futó vízfolyások nélkül | 50                | 21                        | 38                               | <b>109</b>          |
| <b>3000</b>                             | <b>Összes vízfolyás</b>                        | <b>50</b>         | <b>14</b>                 | <b>16</b>                        | <b>80</b>           |

A 3000 km<sup>2</sup>-es vízgyűjtő esetében kapott 80 monitoring pont (39. táblázat) még egyedi terület specifikus és antropogén források vizsgálatával tovább csökkenthető.



**Catchment Monitoring  
(500 km<sup>2</sup>)**



65. ábra: Az 500 km<sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)



**Catchment Monitoring  
(1000 km<sup>2</sup>)**



66. ábra: Az 1000 km<sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)



**Catchment Monitoring  
(3000 km<sup>2</sup>)**



67. ábra: A 3000 km<sup>2</sup> vízgyűjtő leválogatása a határvízi és a vízgyűjtő szintű monitoring helyek feltüntetésével (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014)

A monitoring állomások **számának csökkentése** fenntartható (gazdaságosan üzemeltethető, költséghatékony) szintre úgy, hogy az EWS monitoring hálózat célja teljes mértékben biztosítva legyen.

Távolságszámítás és közel eső pontok összevonása alapján megvizsgáltam, hogy az **egyes monitoring pontok 5 km-es környezetében van-e másik alkalmazott módszertan alapján megjelölt monitoring hely**. Ezeknél a helyeknél egyedi vizsgálat alapján lehet eldönteni az összevonást és a monitoring hely kijelölését. Pl. a 159 pontból 52 pont esetében található 5 km-en belül még másik pont. Ez azt jelenti, hogy ezt az 52 pontot egyedileg kell megvizsgálni, hogy összevonhatóak-e a monitoring helyek. Ha igen akkor pl. 159 pontból 26 pont kiesik, így a végleges monitoring helyek száma 133-ra módosulna.

A következő lépés volt a **Veszélyes objektumok alatti folyóvíz-szakaszok megfigyelése (18 ARS#)**. Az 54 ARS helyhez 50 monitoring pontot jelöltem ki. Az 500 km<sup>2</sup>-nél nagyobb vízgyűjtő területek összevonásával az 50 monitoring pontból 29 monitoring hely lett. Ezeket a helyeket megvizsgáltam és csoportok képzésével végül 18 ARS pontot jelöltem ki. **A csoportképzés szempontjai:**

- kockázatok limitálása (a WRI, a water risk index értéke 6 alatt legyen)
- a szennyezést jellemző paraméterek és terheléseik (pl. a bányászati tevékenység milyen szennyező anyagot bocsát ki)
- elhelyezkedés (pl. a vízfolyás lefolyási irányában egymáshoz közeli pontok).

Az elhagyásra kerülő ARS pontok terhelését adott szintű kockázati index esetén a csoportot jellemző ARS pont vizsgálatánál figyelembe vettem. Így a Tisza vízgyűjtőre összesen 18 ARS monitoring pontot jelöltem ki, országonként:

- Románia (8 állomás)
- Szlovákia (2 állomás)
- Ukrajna (2 állomás)
- Magyarország (6 állomás).

#### **Részvízgyűjtőket jellemző pontok és a jelentős vízfolyások feltérképezése (4 C#).**

A 3000 km<sup>2</sup> vízgyűjtőjű vízhálózat minden egyes vízfolyásának a végpontjára meghatároztam egy pontot, ami egyben az adott vízfolyáshoz tartozó vízgyűjtő kifolyási pontja is. Második lépésben a leszűrt összes 16 pontot egyesével végig nézve szűkítettem a listát. Az egyedi elbírálásnál figyelembe vehetők további szűrési szempontok.

Így az összesen kiszűrt pont (-12 pont):

- folyásirányban a kérdéses pont felett már kijelölésre került egy monitoring (ARS) pont (nagyobb koncentráció és korábbi jelzés). Kiszűrt pontok: (-8 pont)
- a vízgyűjtő alapján nem volt jelentős (ARS/WRI) szennyező forrás. Kiszűrt pontok: (-3 pont)
- kifolyási csoportokba tömörülő pontok (azonos vízfolyás esetében, viszonylag közeli vízgyűjtő pontok, relatíve nincs jelentős szennyezés). Kiszűrt pont: (-1 pont)



Az **egyedi vizsgálatok során megmaradt kifolyási vízgyűjtő monitoring pontok** száma 4 lett. Ezek a következők:

- a kifolyási csoportképzés során megmaradt pont: (1 pont)
- képzett monitoring pont: (több közeli ARS pontot reprezentáló kifolyási pontnak az ARS pontokat követő folyásirányban történő áthelyezésével adódott) (1 pont)
- nagyobb terület/több vízgyűjtő kifolyás figyelése/jellemzése: (2 pont).

Országoként összesítve a 4 vízgyűjtő monitoring pontot (*térképi jelölése C#*):

- Románia (1 pont), Magyarország (2 pont), Szerbia (1 pont).

A 40. táblázat mutatja, a kidolgozott módszertan alkalmazásával kapott EWS monitoring hálózat monitoring pontjait és az összevonások, egyedi vizsgálatok után kapott optimalizált monitoring állomás számot.

40. táblázat: A Tisza vízgyűjtőre javasolt monitoring állomások száma

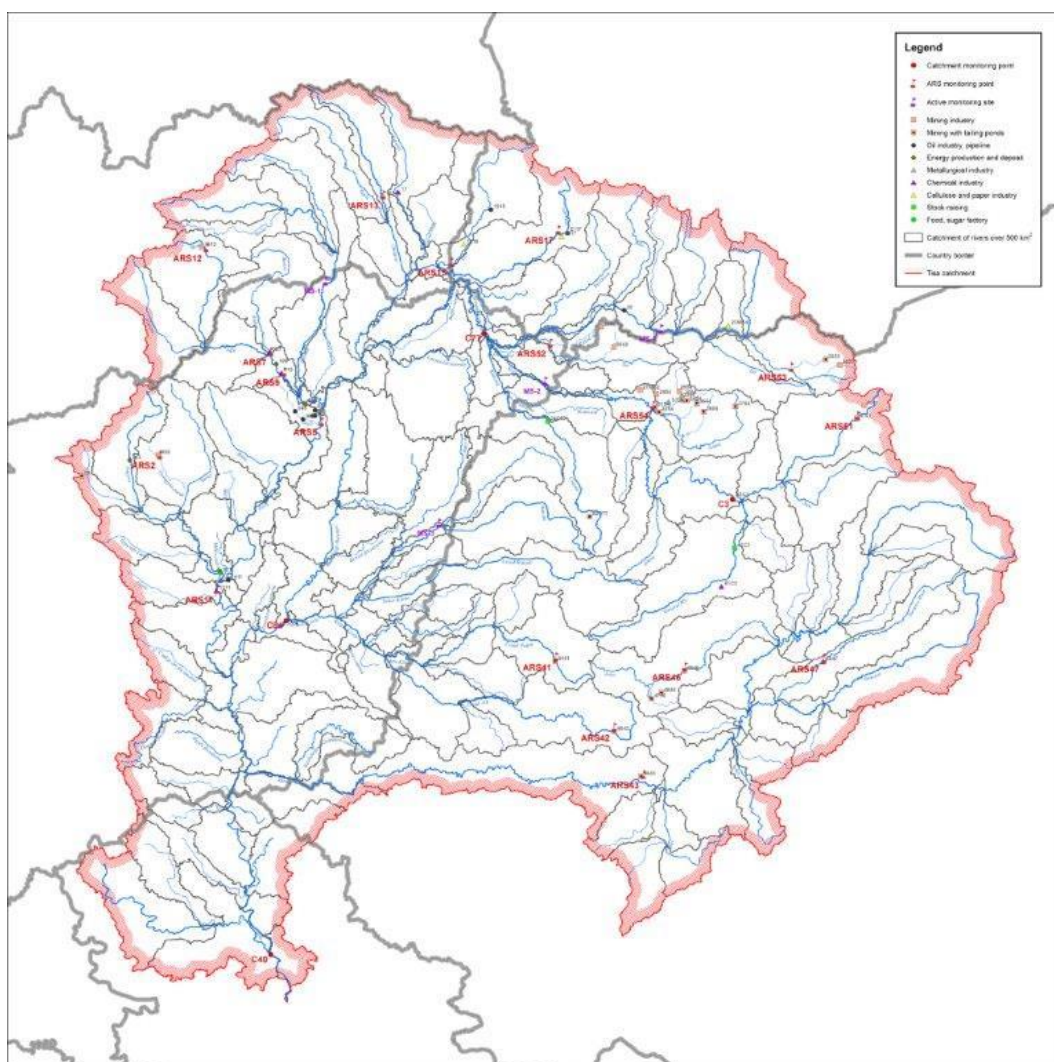
|   | Vízgyűjtő terület (km <sup>2</sup> ) | ARS (pont) | Határtmetsző (állomás) | Tiszai Monitoring Állomások (Hernád, Csenger, Pocsaj, Técső) | Vízgyűjtő szintű (állomás) | Összes (állomás) |
|---|--------------------------------------|------------|------------------------|--|----------------------------|------------------|
| <b>EWS monitoring hálózat</b>                     | 3000                                 | 50         | <b>14</b>              | <b>4</b>   | 16                         | 84               |
| <b>EWS monitoring hálózat egyedi összevonások</b> | 3000                                 | 18         | <b>14</b>              | <b>4</b>   | 4                          | 40               |

**Ezek alapján a Tisza vízgyűjtőre kidolgozott EWS monitoring hálózat állomásszáma országokra lebontva:**

A 18 ARS pont, 4 vízgyűjtő szintű monitoring pont, 14 határvízi pont és a 4 meglévő Tiszai Monitoring Állomás (a 68. ábrán látható):

- Románia (9 állomás): ARS46, ARS47, ARS43, ARS41, ARS42, ARS51, ARS54, ARS53, C3
- Ukrajna (2 állomás): ARS17, ARS15 (megj.: + 1 állomás: Técső)
- Szlovákia (2 állomás): ARS13, ARS12
- Magyarország (8 állomás): ARS7, ARS5, ARS2, ARS10, ARS11, ARS52 és C79, C84  
(megj.: + 3 állomás állomás: Hernád, Pocsaj, Csenger)

- Szerbia (1 állomás): C40
- Határvízi szelvények (14 állomás).



68. ábra: Javasolt monitoring állomások a Tisza részvízgyűjtőn (Zsófia Kovács 2014; VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014))

Összefoglalva az **összevonásokkal és egy-egy terület egyedi vizsgálatával úgy csökkentettem** a monitoring helyek számát, hogy közben figyelembe vettem a határtmetsző állomásokat (szakmai és szakmapolitikai szempontból szükséges) és a meglévő négy állomás adottságait (14 + 4 = 18 állomás). Ehhez kiindulásként a 3000 km<sup>2</sup> területre megadott állomás számokkal dolgoztam tovább, úgy mint:

- ARS monitoring állomások száma 50;
- vízgyűjtő szintű monitoring állomások száma 14.

Alkalmazva az összevonás és az egyedi területi vizsgálatokat az ARS pontok számát majdnem 50 %-kal (18 állomás); vízgyűjtő szinten pedig negyedére csökkentettem (4 állomás) a monitoring állomások számát.

### 9.2.2 Indikátor paraméterek meghatározása monitoring helyenként:

Az EWS hálózat tervezésének alapvető kritériuma, hogy a felszíni vizeken levonuló potenciális szennyezést minél hamarabb detektáljuk. Így a megfelelő EWS monitoring helyek megválasztásán túl fontos a terület szennyezési profiljára jellemző **mérendő paraméterek meghatározása**.

A működés fenntartható hatékonyságának érdekében a mérendő vízminőségi paraméterek kiválasztásánál több szempont vezérelt:

- Egyszerűen és olcsón mérhető paraméterek kiválasztására törekedtem
- Ugyanakkor a mért paraméterek tükrözzék a vizsgált problémát
- Indikátor paraméterek kiválasztásával növelhető a költséghatékonyság
  - o A komponensek közötti összefüggések (korreláció) meghatározásával egy drágábban mérhető paraméter kiváltható olcsóbb méréssel.
  - o Meghatározható a levonuló fémtartalom indikátor jellemzője, pl. réz
- A pontokon csak a vízgyűjtő részterületre vonatkozó potenciális szennyezőket mérjük.

Az **alap paramétereket (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság, klorofill-a, ortofoszfát, nitrát, ammónium, TP, TN)** a költséghatékonyság elve alapján mindig csak a részvízgyűjtőre vonatkozóan nagyobb kockázati valószínűséggel jellemezhető paraméterekkel kell kiegészíteni.

A **mérendő paraméterek** esetében többlépcsős moduláris rendszerre dolgoztam ki javaslatot, ami azt jelenti, hogy nem kell mindenhol mindent mérni, hanem elég a potenciális szennyezést detektáló paramétereket mérni.

Az összes monitoring állomáson rendelkezésre állna az alap fizikai-kémiai paraméterek (vízhőmérséklet, pH, vezetőképesség, redox potenciál) mérése, és mellette kijelölésre kerülnének azon indikátor paraméterek, amelyek biztosítanák azoknak a szennyezéseknek a detektálását, amelyek jellemző paramétereinek online folyamatos mérése nagyon költséges, illetve a területre jellemző antropogén forrásokhoz (pl. nehézfémek, cianid, olaj, réz, KOI) igazítva további fizikai-kémiai paraméterek bekapcsolásának lehetősége is megoldott lenne.

Az **automata monitoring állomások kialakításánál** az általános követelmények (korszerűség, szabványosság/egységesítés, megbízhatóság, kezelhetőség, kapcsolódás, biztonság és bővíthetőség) mellett elsősorban a beszerzési és beüzemelési, valamint kiemelten az erőforrásigényeket (pl. karbantartási, kalibrálási, vagy reagens igény) és fenntartási költségeket kell előtérbe helyezni. A rendszer elsődleges célja a felszíni vizek állapotában történő minőségi változások költséghatékony korai (időbeli) jelzése. Ennek a jellemzői:

- Mintavételezési gyakoriság (pl. óránként, havonta);
- Helyszíni ellenőrzési/karbantartási igény (havonta/kéthetente).

Az automata állomások laboratóriumi vizsgálatokkal történő kiegészítésének támogatása:

- Automata vízmintavevő: feladata a vízminőség hirtelen romlása (riasztási szint) esetén minták vétele további laboratóriumi vizsgálatok céljára.
- Passzív mintavevő: az EWS az eseti, riasztási határérték túllépések jelzésére szolgál. Ugyanakkor a passzív mintavevőkkel egy időszaki kumulálódó folyamatos terhelés összeadódásáról nyerhetünk képet/szerezhetünk információt.

A rendszernek a vízminőségi adatokon kívül egyéb, a megfelelő működést támogató, illetve a vandalizmusra utaló ellenőrző paraméterek mérését, továbbá az adatok tárolását/továbbítását is végre kell hajtania.

A vízfolyások véletlenszerű időpontokban előforduló, kritikus vízminőségi állapotának észlelése és hatásának előrejelzése rendkívül összetett feladat.

A Tisza vízgyűjtő rendszere 5 országot érint, ezért egy olyan EWS hálózat kialakítása a cél, amely az érintett országok számára az elvárt információkat megbízhatóan szolgáltatja, úgy hogy mellette optimálisan és költséghatékonyan működtethető. A kidolgozott módszertan alapján kijelölt monitoring pontok validálásához a helyi tudás, szakértelem és a vízrendszerükről és veszélyforrásaikról szóló részletes információknak a bevonása szükséges minden érintett országra vonatkozóan, hogy egy integrált, az adott területi igényekhez specifikált EWS monitoring hálózat kialakítása jöhessen létre.

## 10. HAZAI VÍZFOLYÁSOK TERÜLETSPECIFIKUS SZENNYEZÉSI PROFILJAINAK MEGHATÁROZÁSA

A vízminősítésnek a terület specifikusságára fókuszálva és ebben a formában történő értékelésével a kutatásom célja volt, hogy megállapítsam az adott térségben melyik komponens csoport eredményezte a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterekre vonatkozó minősítést. A vízmonitoring szempontjából ezekben a komponens csoportokban megjelenő paramétereknek, mint indikátor paramétereknek van jelentőségük.

- Egyrészt a tápanyag szennyezési profilok felügyelőségenkénti felrajzolásával azonosíthatók azok a térségek, ahol az antropogén szennyezések részletesebb felmérésére, az intézkedési tervek hatékonyságának ellenőrzésére bevonható a folyamatos monitoring rendszere.
- Másrészt, segíttem az automata folyamatos monitoring rendszer mérendő indikátor paramétereinek a kiválasztását.

Az elemenkénti osztályozáshoz a 10/2010 (VIII.18) VM rendelet 2. mellékletét használtam. A biológiát támogató 13 fizikai-kémiai paraméter komponens csoportba rendezése:

- savasodás: pH,
- sóháztartás: vezetőképesség, klorid,
- oxigénháztartás: KOI, BOI<sub>5</sub>, oldott oxigén, oxigéntelítettség, NH<sub>4</sub>-N,
- tápanyag háztartás: NO<sub>2</sub>-N; NO<sub>3</sub>-N, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, TP.

A vizsgálatomban a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott tipológiai csoportokat és a csoportokhoz tartozó határértékeket, továbbá a minősítésnél még az első vízgyűjtőgazdálkodási terv (VGT1 5.2 melléklet) öt osztályos minősítési osztályozást (kiváló 5; jó 4; mérsékelt 3; gyenge 2; rossz 1), valamint az osztályátlag képzésnél a  $\geq 4,5$  kiváló;  $4,5 \geq$  jó  $\geq 3,5$ ;  $3,5 \geq$  nem megfelelő kategóriákat használtam.

A felszíni vizek minősítése során az alábbi elemzéseket végeztem el:

- az egyes Kormányhivatalokhoz /Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek/ tartozó vízfolyásoknál tanulmányoztam a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek milyen eloszlást mutatnak, és
- a tipológia csoportok alapján vizsgáltam a komponens csoportok gyakoriságának eloszlását.
- továbbá vizsgáltam melyik komponens csoport okozta a nem megfelelő állapotot, Felügyelőségenként és tipológiai csoportonként

## 10.1 Elemzéshez szükséges háttérinformációk összefoglalása (380 és 320 víztest)

A felhasznált adatbázisok:

1. A Nemzeti Környezetvédelmi Intézet egy 380 felszíni vízfolyásból (természetes, mesterséges) álló adatbázist bocsátott rendelkezésemre, amely a vízfolyások biológiát támogató fizikai-kémiai paramétereinek a 2010. évi átlag értékeit tartalmazta.
  - A csoportátlag kiszámítása után a 3,5-nél kisebb átlagokkal rendelkező vízfolyásokra (**193** víztest), vagyis a nem megfelelő minőségű vízfolyásokat elemeztem felügyelőségenként és tipológiai csoportonként vagyis meghatároztam, melyik komponens csoport adta az egyes vízfolyások fiziko-kémiai minősítését (melyik komponens csoport átlagának minimuma adta a vízminősítést).
2. A **VGT2-ben elérhető 2009-2012 időszak** mérési eredményeire is elkészítettem az elemzést. A két adatbázist összevettem, majd a megfeleltetéseket megtartva a VGT2 adatbázisából **320 vízfolyással tudtam dolgozni**.
  - A csoportátlag kiszámítása után a 3,5-nél kisebb átlagokkal rendelkező vízfolyásokra (**126** víztest), vagyis a nem megfelelő minőségű vízfolyásokat vizsgáltam felügyelőségenként és tipológiai csoportonként vagyis kerestem azt, hogy melyik komponens csoport adta az egyes vízfolyások fiziko-kémiai minősítését.

A rendelkezésemre álló 2010. évi és VGT2 adatbázisában szereplő vízfolyások megoszlása a hét KTVF-ben:

1. Fejér Megyei Kormányhivatal - Közép-Dunántúl KTVF (16 víztest; 12 víztest)
2. B-A-Z Megyei Kormányhivatal - Észak-Magyarország KTVF (65 víztest; 63 víztest)
3. Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal - Észak-Dunántúl KTVF (85 víztest; 76 víztest)
4. Csongrád Megyei Kormányhivatal - Alsó-Tiszavidék KTVF (31 víztest; 23 víztest)
5. Baranya Megyei Kormányhivatal - Dél-Dunántúl KTVF (60 víztest; 50 víztest)
6. Pest Megyei Kormányhivatal - Közép-Duna-völgyi KTVF (53 víztest; 45 víztest)
7. Hajdú-Bihar Megyei Kormányhivatal - Tiszántúli KTVF (70 víztest; 51 víztest)

A **13 biológiát támogató fizikai-kémiai paraméter**: pH, vezetőképesség, klorid, biológiai oxigénigény (BOI<sub>5</sub>), kémiai oxigénigény (KOI), oldott oxigén, oxigéntelítettség, ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, összes-nitrogén, ortofoszfát-P, összes-P. Komponens csoportonkénti **átlagok** képzésével, majd a csoport átlagok közül a **legrosszabb érték** kiválasztásával adjuk meg a vízfolyások fiziko-kémiai minősítését.

A rendelkezésemre álló adatok feldolgozása során az előzetes elemzéseim azt mutatták, hogy adatellenőrzésre van szükség. Ezért különböző statisztikai módszerek segítségével (pl. box-plot elemzés) elvégeztem az adatok felülvizsgálatát, így kiszűrtem az adatbázisból a hihetőségi tartományon kívül eső (esetlegesen elgépelt) elemeket.

A területspecifikus szennyező profilok kidolgozásánál a következő jelöléseket alkalmaztam:

1. Fev380: a rendelkezésemre álló 2010. évi adatbázis 380 vízfolyása
2. VGT2-Fev380 víztesttel történő megfeleltetése. A VGT2 adatbázisából 320 víztest vizsgálata
3. A 42. táblázatban a sorok jelölik a **tipológiai csoportokat**, melyeket a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott csoportokat használtam. A **nyolc tipológiai csoport** és jelölésük [(B), (C), (D), (E), (F), (G), (H), (I)]:
  - B: Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyások felső szakaszai
  - C: Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyások
  - D: Dombvidéki közepes vízfolyások és nagy folyók
  - E: Síkvidéki kisvízfolyások
  - F: Síkvidéki közepes és nagy folyók
  - G: Síkvidéki pangó vízü vízfolyások
  - H: Síkvidéki szerves mederanyagú vízfolyások
  - I: Duna hazai szakasza.
4. A 42. táblázat oszlopai a minősítéshez alkalmazott komponens csoportokat (pH, sótartalom, oxigén- és növényi tápanyagháztartás) tüntettem fel.
  - savasodás: pH,
  - sóháztartás: vezetőképesség, klorid,
  - oxigénháztartás: KOI, BOI<sub>5</sub>, oldott oxigén, oxigéntelítettség, NH<sub>4</sub>-N,
  - tápanyag háztartás: NO<sub>2</sub>-N; NO<sub>3</sub>-N, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, TP.
5. A számok területspecifikusan mutatják, hogy hány esetben határozta meg a négy komponens csoport közül valamelyik a vízfolyások biológiát támogató fiziko-kémiai minőségét.

## **10.2 A 2010. évi és a VGT2 víztesteinek tipológiai csoportonkénti eloszlása biológiát támogató fizikai-kémiai minősítésük alapján Felügyelőségenként.**

### **10.2.1 380 és a 193 víztest területspecifikus dominancia vizsgálat (2010. évi adatbázis)**

Az országos és felügyelőség szinten is vizsgáltam a tipológiai csoportok szerint a 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő vízfolyások komponens csoportok közötti megoszlását (41. táblázat). Példaként az Észak-Magyarország KTVF területén összesen 65 vízfolyásból 25 vízfolyás nem érte le a jó állapotot.

A 69. ábra mutatja a vizsgált 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő állapotú vízfolyások esetében, melyik komponens csoport dominált a fizikai-kémiai vízminőség meghatározása során. A színes körcikkek pedig azt mutatják, hogy tipológiai csoportonként, melyik komponens csoport volt domináló (belülről kifelé haladva nő a dominancia).

Az elemzés eredménye, hogy a 380 vízfolyásból 149-nél a tápanyag (növényi) háztartás csoport ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{ÖN}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{ÖP}$ ) határozta meg a vizsgált vízfolyások fiziko-kémiai minősítését. A 193 nem megfelelő állapotú vízfolyás esetében is a meghatározó a tápanyag (növényi) háztartás paraméterei voltak.

Két különböző tipológiai csoport részletes elemzésekor látható, hogy a hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső tipológia csoportba tartozó 103 víztestből 37 esetében a tápanyag (növényi) háztartás csoport dominált vagyis ez a csoport határozta meg legtöbbször a vízfolyások minősítését. Ugyanebben a tipológiai csoportban az 56 nem megfelelő állapotú víztestnél is a tápanyag háztartás komponens csoport dominált. Azonban észrevehető, hogy második minősítő csoportként az oxigénháztartás helyett a sóháztartás jelent meg, mivel több volt itt az a víztest, amelynek ez a csoport átlag minimum adta a nem megfelelő vízminőséget.

A síkvidéki kisvízfolyás tipológiai csoportba összesen 71 víztest található. A legtöbb víztestnél (27 vízfolyás) az oxigénháztartás komponens csoport határozta meg a fizikai-kémiai minőséget. A 71 víztest közül 42 nem megfelelő állapotban van és ezt az állapotot a tápanyag (növényi) háztartás komponens csoport paraméterei okozták.

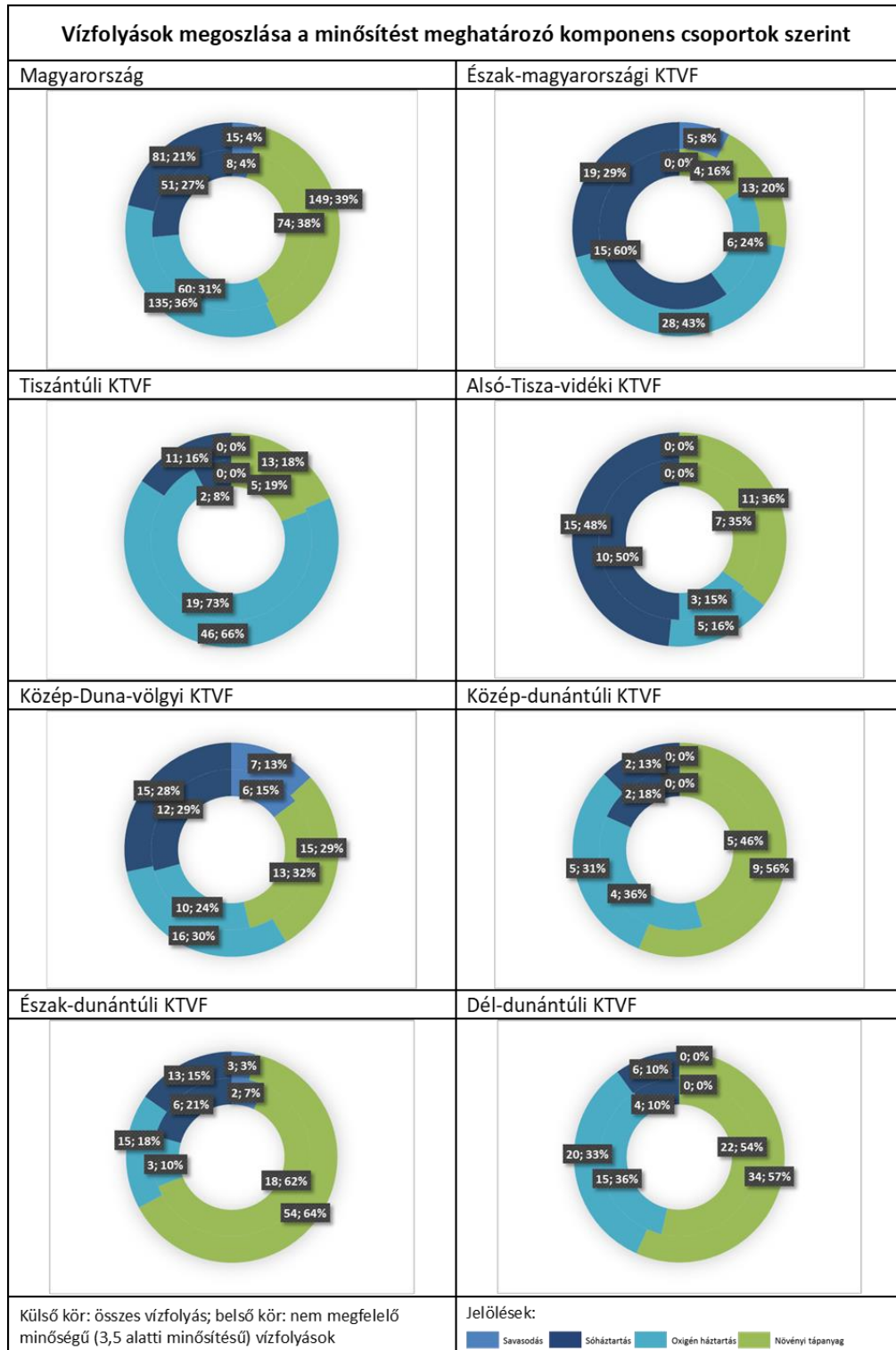




| Hazai víztestek   | Minősítést meghatározó komponens csoportok  | Tipológiai csoportonkénti komponens csoport dominancia   |
|---|---|--|
| <p><b>Összes vizsgált: 380 víztest</b></p>                              |   |  |
| <p><b>Víztestek eloszlása</b></p>                                       | <p>Savasodás: 15<br/>Sódhártartás: 81<br/>Oxigén háztartás: 135<br/>Növényi tápanyag: 149</p> | <p><b>Tipológiai csoportok</b> <b>Víztestek megoszlása</b><br/>(Savasodás; Sódhártartás; Oxigén háztartás; Növényi tápanyag) <b>Össz</b></p> <p>Hegy- és dombvidéki kisvízfolyás felső: (14;17;35;37) 103<br/>Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás: (0;12;15;27) 54<br/>Dombvidéki közepes/nagy: (0; 2; 2;11) 15<br/>Síkvidéki kisvízfolyás: (0;20;27;24) 71<br/>Síkvidéki közepes/nagy: (0; 8;17;21) 46<br/>Síkvidéki pangó: (0;19;31;20) 70<br/>Síkvidéki szerves meder: (0; 3; 8; 6) 17<br/>Duna: (1; 0; 0; 3) 4</p> |
| <p><b>Nem megfelelő minőség: (3,5 alatti minősítés) 193 víztest</b></p> |   |  |
| <p><b>Víztestek eloszlása</b></p>                                       | <p>Savasodás: 8<br/>Sódhártartás: 51<br/>Oxigén háztartás: 60<br/>Növényi tápanyag: 74</p>    | <p><b>Tipológiai csoportok</b> <b>Víztestek megoszlása</b><br/>(Savasodás; Sódhártartás; Oxigén háztartás; Növényi tápanyag) <b>Össz</b></p> <p>Hegy- és dombvidéki kisvízfolyás felső: (8;14;12;22) 56<br/>Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás: (0;12; 4;16) 32<br/>Dombvidéki közepes/nagy: (0; 0; 1; 1) 2<br/>Síkvidéki kisvízfolyás: (0;12;14;16) 42<br/>Síkvidéki közepes/nagy: (0; 2; 5; 4) 11<br/>Síkvidéki pangó: (0;11;19;12) 42<br/>Síkvidéki szerves meder: (0; 0; 5; 2) 7<br/>Duna: (0; 0; 0; 1) 1</p>     |
|   |   | <p>Jelölések: <span style="color:blue">■</span> Savasodás <span style="color:darkblue">■</span> Sódhártartás <span style="color:lightblue">■</span> Oxigén háztartás <span style="color:green">■</span> Növényi tápanyag</p>   |

69. ábra: A 380 vízfolyás és a 193 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok dominanciája szerint

A 70. ábra 380 és a 193 vízfolyás minősítését meghatározó komponens csoportok szerinti megoszlást mutatja országosan és felügyelőségenként.



70. ábra: Komponens csoportok megoszlása Felügyelőségenként

### **10.2.2 A vízgyűjtő gazdálkodási tervben (VGT2, 2015) elérhető vízfolyás adatokra is elvégeztem a területspecifikus komponens csoport alapú dominancia vizsgálatot.**

A 380 vízfolyáshoz 320 vízfolyást tudtam megfeleltetni a VGT2 adatbázisában elérhető adatok alapján (43. táblázat). Ezek közül 126 vízfolyás volt nem megfelelő állapotú.

Az elemzés alapján az látható (71. ábra), hogy az összes tipológiai csoport esetében a tápanyag (növényi) háztartás csoportja a domináló A 126 nem megfelelő állapotú víztest közül szintén a legnagyobb számban 85 vízfolyásnál a N és P paramétereket tartalmazó komponens csoport dominált.

A hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső (89 víztest) esetében például a tápanyag (növényi) háztartás csoport dominált (33 víztest) vagyis ez a csoport határozta meg a legtöbbször a vízfolyások minősítését. A nem megfelelő állapotú vízfolyások (29 víztest) vizsgálatakor szintén a tápanyag (növényi) háztartás adta legtöbbször a fiziko-kémiai minősítését a vízfolyásoknak.

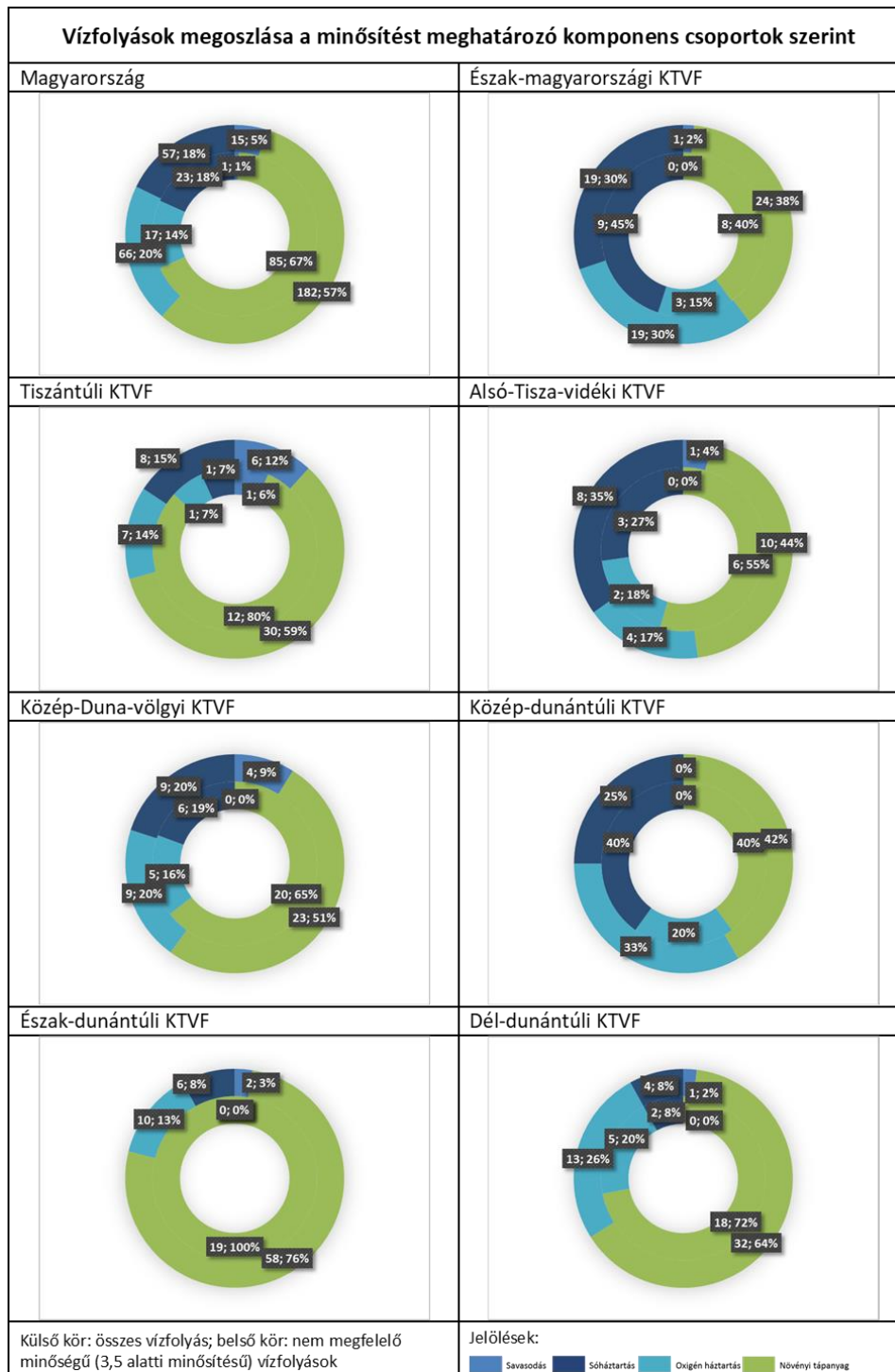
| VGT2-Fev380 adatbázisok<br>320 egyező vízfolyásai | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | VGT2-Fev380 adatbázisok 126 egyező<br>vízfolyásai (nem megfelelő minőségűek) | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
|---|----------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|--|----------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       | 5              | 11               | 28                  | 45                  | 89               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                | 5                | 5                   | 19                  | 29               |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 7                | 9                   | 32                  | 48               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                | 5                |                     | 21                  | 26               |
| Dombvidéki közepes/nagy                           | 1              | 2                | 1                   | 11                  | 15               | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  | 1                   | 1                   | 2                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            | 2              | 12               | 6                   | 35                  | 55               | Síkvidéki kisvízfolyás   | 1              | 4                | 2                   | 22                  | 29               |
| Síkvidéki közepes/nagy                            | 6              | 8                | 3                   | 26                  | 43               | Síkvidéki közepes/nagy   |                | 1                | 1                   | 5                   | 7                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 15               | 13                  | 28                  | 56               | Síkvidéki pangó  |                | 8                | 6                   | 16                  | 30               |
| Síkvidéki szerves meder                           | 1              | 2                | 6                   | 4                   | 13               | Síkvidéki szerves meder  |                |                  | 2                   | 1                   | 3                |
| Duna  |                |                  |                     | 1                   | 1                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>15</b>      | <b>57</b>        | <b>66</b>           | <b>182</b>          | <b>320</b>       | <b>Összesen</b>  | <b>1</b>       | <b>23</b>        | <b>17</b>           | <b>85</b>           | <b>126</b>       |
| Észak-magyarországi KTVF                          | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Észak-magyarországi KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       | 1              | 6                | 11                  | 8                   | 26               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                | 3                |                     | 1                   | 4                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 1                | 3                   | 4                   | 8                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                |                  |                     | 2                   | 2                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                | 1                |                     | 2                   | 3                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            |                | 2                |                     | 2                   | 4                | Síkvidéki kisvízfolyás   |                |                  |                     | 2                   | 2                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            | 1              | 1                | 1                   | 6                   | 8                | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  |                     | 1                   | 1                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 8                | 4                   | 2                   | 14               | Síkvidéki pangó  |                | 6                | 3                   | 2                   | 11               |
| Síkvidéki szerves meder                           |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>1</b>       | <b>19</b>        | <b>19</b>           | <b>24</b>           | <b>63</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>9</b>         | <b>3</b>            | <b>8</b>            | <b>20</b>        |
| Tiszántúli KTVF                                   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Tiszántúli KTVF  | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       |                |                  |                     |                     | 0                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                |                  |                     |                     | 0                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                |                  |                     |                     | 0                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            | 1              | 2                |                     | 6                   | 9                | Síkvidéki kisvízfolyás   | 1              | 1                |                     | 2                   | 4                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            | 5              | 2                | 2                   | 7                   | 16               | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  | 1                   | 3                   | 4                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 4                | 5                   | 17                  | 26               | Síkvidéki pangó  |                |                  |                     | 7                   | 7                |
| Síkvidéki szerves meder                           |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>6</b>       | <b>8</b>         | <b>7</b>            | <b>30</b>           | <b>51</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>1</b>       | <b>1</b>         | <b>1</b>            | <b>12</b>           | <b>15</b>        |
| Alsó-Tisza-vidéki KTVF                            | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Alsó-Tisza-vidéki KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       |                |                  |                     |                     | 0                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 1                |                     |                     | 0                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                |                  |                     |                     | 0                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            |                | 2                | 1                   | 4                   | 7                | Síkvidéki kisvízfolyás   |                | 1                |                     | 3                   | 4                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            | 1              | 3                |                     | 2                   | 6                | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 2                | 3                   | 4                   | 9                | Síkvidéki pangó  |                | 2                | 2                   | 3                   | 7                |
| Síkvidéki szerves meder                           |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>1</b>       | <b>8</b>         | <b>4</b>            | <b>10</b>           | <b>23</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>3</b>         | <b>2</b>            | <b>6</b>            | <b>11</b>        |
| Közép-Duna-völgyi KTVF                            | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Közép-Duna-völgyi KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       | 4              | 3                | 5                   | 6                   | 18               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                | 2                | 3                   | 6                   | 11               |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 2                |                     | 8                   | 10               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                | 2                |                     | 7                   | 9                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                |                  |                     | 1                   | 1                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            |                | 4                | 4                   | 7                   | 15               | Síkvidéki kisvízfolyás   |                | 2                | 2                   | 6                   | 10               |
| Síkvidéki közepes/nagy                            |                |                  |                     | 1                   | 1                | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  |                     | 1                   | 1                |
| Síkvidéki pangó                                   |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki pangó  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki szerves meder                           |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>4</b>       | <b>9</b>         | <b>9</b>            | <b>23</b>           | <b>45</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>6</b>         | <b>5</b>            | <b>20</b>           | <b>31</b>        |
| Közép-dunántúli KTVF                              | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Közép-dunántúli KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       |                |                  | 4                   | 3                   | 7                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                |                  | 1                   | 2                   | 3                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 1                |                     |                     | 1                | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                | 1                |                     |                     | 1                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                |                  |                     |                     | 0                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            |                |                  |                     | 1                   | 1                | Síkvidéki kisvízfolyás   |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            |                | 1                |                     |                     | 1                | Síkvidéki közepes/nagy   |                | 1                |                     |                     | 1                |
| Síkvidéki pangó                                   |                |                  |                     |                     | 0                | Síkvidéki pangó  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki szerves meder                           |                | 1                |                     | 1                   | 2                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>0</b>       | <b>3</b>         | <b>4</b>            | <b>5</b>            | <b>12</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>2</b>         | <b>1</b>            | <b>2</b>            | <b>5</b>         |
| Észak-dunántúli KTVF                              | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Észak-dunántúli KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       |                | 1                | 7                   | 13                  | 21               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                |                  |                     | 2                   | 2                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                |                  | 1                   | 15                  | 16               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                |                  |                     | 9                   | 9                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           |                | 1                |                     | 7                   | 8                | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            | 1              | 1                |                     | 12                  | 14               | Síkvidéki kisvízfolyás   |                |                  |                     | 7                   | 7                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            |                | 1                |                     | 8                   | 9                | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 1                |                     | 1                   | 2                | Síkvidéki pangó  |                |                  |                     | 1                   | 1                |
| Síkvidéki szerves meder                           | 1              | 1                | 2                   | 1                   | 5                | Síkvidéki szerves meder  |                |                  |                     |                     | 0                |
| Duna  |                |                  |                     | 1                   | 1                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>2</b>       | <b>6</b>         | <b>10</b>           | <b>58</b>           | <b>76</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>0</b>         | <b>0</b>            | <b>19</b>           | <b>19</b>        |
| Dél-dunántúli KTVF                                | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] | Dél-dunántúli KTVF   | Sava-<br>sodás | Só-<br>háztartás | Oxigén<br>háztartás | Növényi<br>tápanyag | Összesen<br>[db] |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső       |                | 2                | 8                   | 28                  | 38               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső                                  |                |                  | 1                   | 8                   | 9                |
| Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás             |                | 2                | 6                   | 20                  | 28               | Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás  |                | 2                |                     | 3                   | 5                |
| Dombvidéki közepes/nagy                           | 1              | 1                | 1                   | 8                   | 11               | Dombvidéki közepes/nagy  |                |                  | 1                   | 1                   | 2                |
| Síkvidéki kisvízfolyás                            | 1              | 2                | 1                   | 15                  | 19               | Síkvidéki kisvízfolyás   |                |                  |                     | 2                   | 2                |
| Síkvidéki közepes/nagy                            |                | 1                |                     | 10                  | 11               | Síkvidéki közepes/nagy   |                |                  |                     |                     | 0                |
| Síkvidéki pangó                                   |                | 1                | 1                   | 5                   | 7                | Síkvidéki pangó  |                |                  | 1                   | 3                   | 4                |
| Síkvidéki szerves meder                           | 1              | 1                | 6                   | 3                   | 11               | Síkvidéki szerves meder  |                |                  | 2                   | 1                   | 3                |
| Duna  |                |                  |                     |                     | 0                | Duna   |                |                  |                     |                     | 0                |
| <b>Összesen</b>                                   | <b>1</b>       | <b>4</b>         | <b>13</b>           | <b>32</b>           | <b>50</b>        | <b>Összesen</b>  | <b>0</b>       | <b>2</b>         | <b>5</b>            | <b>18</b>           | <b>25</b>        |

43. táblázat: A 320 vízfolyás és a 126 nem megfelelő minőségű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minőségüket meghatározó komponens csoportok szerint

| Hazai víztestek  | Minősítést meghatározó komponens csoportok   | Tipológiai csoportonkénti komponens csoport dominancia   |
|--|--|--|
| <b>Összes vizsgált: 320 víztest</b>                              |  |  |
| <b>Víztestek eloszlása</b>                                       | <p>Savasodás: 15<br/> Sós-háztartás: 57<br/> Oxigén háztartás: 66<br/> Növényi tápanyag: 182</p> | <p><b>Tipológiai csoportok</b> <b>Víztestek megoszlása</b><br/> <i>(Savasodás; Sós-háztartás; Oxigén háztartás; Növényi tápanyag) Össz</i></p> <p>Hegy- és dombvidéki kisvízfolyás felső: (5;11; 28;45) 89<br/> Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás: (0; 7; 9;32) 48<br/> Dombvidéki közepes/nagy: (1; 2; 1;11) 15<br/> Síkvidéki kisvízfolyás: (2;12; 6;35) 55<br/> Síkvidéki közepes/nagy: (6; 8; 3;26) 43<br/> Síkvidéki pangó: (0;15;13;28) 56<br/> Síkvidéki szerves meder: (1; 2; 6; 4) 13<br/> Duna: (0; 0; 0; 1) 1</p> |
| <b>Nem megfelelő minőség: (3,5 alatti minősítés) 126 víztest</b> |  |  |
| <b>Víztestek eloszlása</b>                                       | <p>Savasodás: 1<br/> Sós-háztartás: 23<br/> Oxigén háztartás: 17<br/> Növényi tápanyag: 85</p>   | <p><b>Tipológiai csoportok</b> <b>Víztestek megoszlása</b><br/> <i>(Savasodás; Sós-háztartás; Oxigén háztartás; Növényi tápanyag) Össz</i></p> <p>Hegy- és dombvidéki kisvízfolyás felső: (0; 5; 5;19) 29<br/> Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás: (0; 5; 0;21) 26<br/> Dombvidéki közepes/nagy: (0; 0; 1; 1) 2<br/> Síkvidéki kisvízfolyás: (1; 4; 2;22) 29<br/> Síkvidéki közepes/nagy: (0; 1; 1; 5) 7<br/> Síkvidéki pangó: (0; 8; 6;16) 30<br/> Síkvidéki szerves meder: (0; 0; 2; 1) 3<br/> Duna: (0; 0; 0; 0) 0</p>     |
|  |  | <p>Jelölések: <span style="color:blue">■</span> Savasodás <span style="color:darkblue">■</span> Sós-háztartás <span style="color:cyan">■</span> Oxigén háztartás <span style="color:green">■</span> Növényi tápanyag</p>   |

71. ábra: A 320 vízfolyás és a 126 nem megfelelő minősítésű vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a fizikai-kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok dominanciája szerint

A 72. ábra a 320 és a 126 vízfolyás minőségét meghatározó komponens csoportok szerinti megoszlást mutatja országosan és felügyelőségenként.



72. ábra: Komponens csoportok megoszlása Felügyelőségenként

### 10.2.3 Tipológiai csoportonkénti/régiónkénti vizsgálat a terület specifikus paraméterek (csoportok) kiválasztása céljából

A vízminősítés ebben a formában történő ábrázolásával a célom az volt, hogy meghatározzam egyes területek indikátor paramétereit, továbbá területspecifikusan azonosítsam vízmonitoring tevékenység (szabványos, automata folyamatos monitoring) során mérendő fizikai-kémiai paramétereket. Először az elemzést a 380 (2010) és a 320 (VGT2) víztestre végeztem el.

A meghatározó minősítési tényezőt a 73. ábrán a piros pókháló diagram mutatja, azaz mely komponens csoport adta a minimum csoport átlagot. Az egyes régiók vízfolyásai esetében jól megfigyelhető:

- Észak-Magyarország esetében az oxigén és a sóháztartás dominál, míg
- a Tiszántúlon pedig az oxigénháztartás,
- az Alsó-Tisza vidéken a sóháztartás csoportja,
- a Dunántúl (Észak-, Közép- és Dél-Dunántúl) esetében pedig meghatározó komponens csoport egyértelműen a növényi tápanyag volt.

Kiemelném a Közép-Duna völgye térséget, ahol a strukturálás alapján nem különültek el szignifikánsan a komponens csoport értékek, így itt a pH-t kivéve mind a további három csoport egyértelmű hatással bírt a víztestek minőségére.

A tipológiai csoportok esetében is megállapítható, hogy régiónként más komponens csoport játszik domináns szerepet a vízminősítésben.

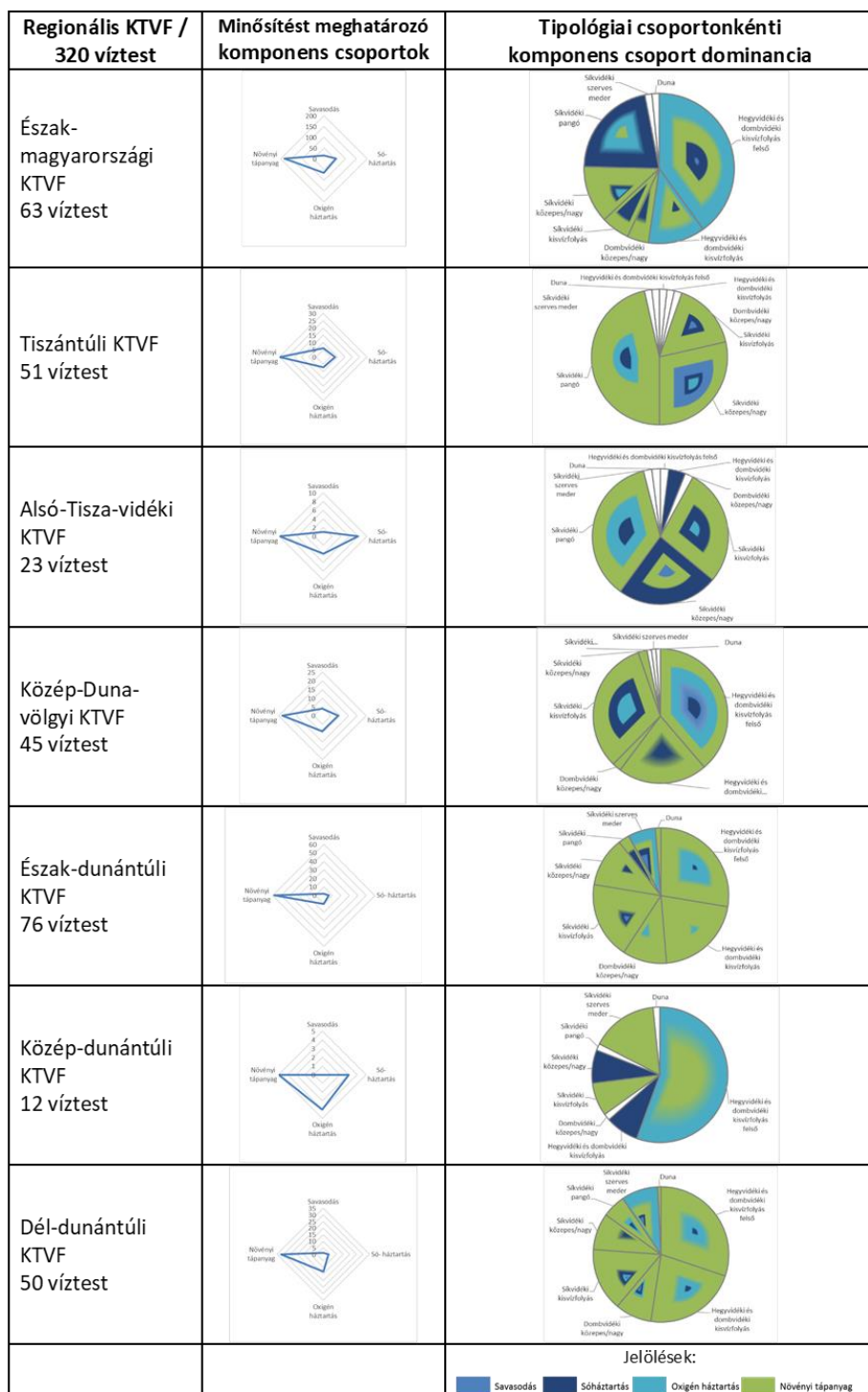
A VGT2 minősítési adatainak elemzése látható a 74. ábrán, a kék színű pókháló diagram mutatja, hogy

- Észak-Magyarország esetében a tápanyag (növényi) háztartás dominál,
- a Tiszántúlon is tápanyag (növényi) háztartás,
- az Alsó-Tisza vidéken a sóháztartás mellett tápanyag (növényi) háztartás is,
- Észak-Dunántúlon a tápanyag (növényi) háztartás, Dél-Dunántúlon a tápanyag (növényi) háztartás mellett az oxigén háztartás, míg a Közép-Dunántúlon már megjelenik a sóháztartás is a domináló csoportok között.
- Közép-Duna-völgyi térségben a tápanyag (növényi) háztartás és az oxigén háztartás csoportja jelentős.



| Regionális KTVF /<br>380 víztest              | Minősítést<br>meghatározó<br>komponens csoportok | Tipológiai csoportonkénti<br>komponens csoport dominancia  |
|---|--|--|
| Észak-<br>magyarországi<br>KTVF<br>65 víztest |  |  |
| Tiszántúli KTVF<br>70 víztest                 |  |  |
| Alsó-Tisza-vidéki<br>KTVF<br>31 víztest       |  |  |
| Közép-Duna-völgyi<br>KTVF<br>53 víztest       |  |  |
| Észak-dunántúli<br>KTVF<br>85 víztest         |  |  |
| Közép-dunántúli<br>KTVF<br>16 víztest         |  |  |
| Dél-dunántúli<br>KTVF<br>60 víztest           |  |  |
|   |  | <p>Jelölések:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Savasodás</li> <li><span style="color: darkblue;">■</span> Sós-hártartás</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> Oxigén hártartás</li> <li><span style="color: green;">■</span> Növényi tápanyag</li> </ul> |

73. ábra: 380 vízfolyás Felügyelőségenkénti elemzése a minősítést meghatározó komponens csoportonként



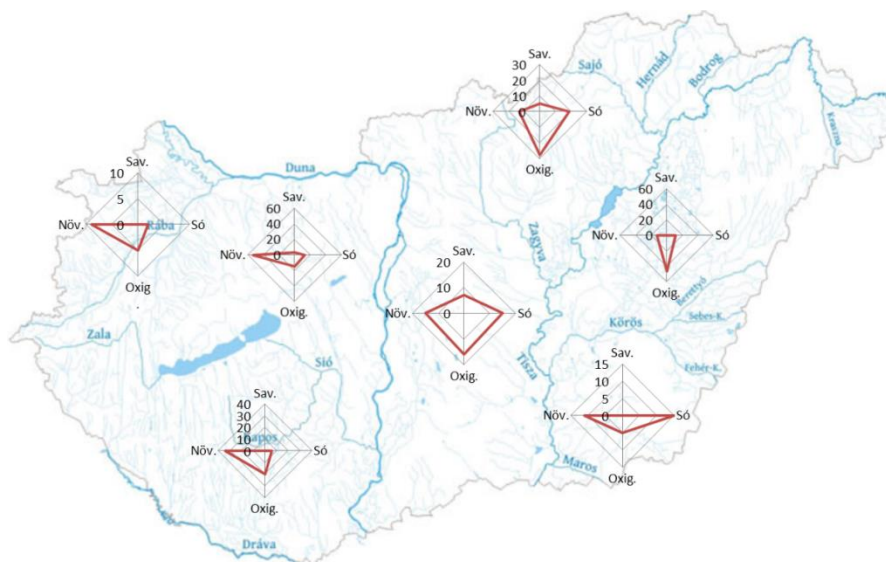
74. ábra: 320 vízfolyás Felügyelőségenkénti elemzése a minősítést meghatározó komponens csoportonként

Elsőként meghatároztam a vizsgált vízfolyásokra, melyik komponens csoport dominált a vízminőség meghatározásakor. Az látható, hogy leginkább a tápanyag (növényi) háztartás ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{ÖN}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{ÖP}$ ) határozza meg hazánk vízfolyásainak fiziko-kémiai minőségét. A nem megfelelő állapotú vízfolyások (193 víztest /126 víztest) esetében szintén a tápanyagháztartás dominált. A vizsgálataimat kiterjesztettem, hogy a tipológiai csoportonkénti komponens csoport dominanciát megállapítsam, vagyis azt, hogy melyik komponens csoport adta a fiziko-kémiai minőségét a vízfolyásoknak. Például a „Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső” tipológiai csoport domináns komponens csoportja a tápanyagháztartás 37 vízfolyással, de mellette az oxigénháztartás csoportja is jellemző volt 35 vízfolyással. A nem megfelelő vízminőségű vízfolyások esetében ugyanebben a tipológiai csoportban a tápanyagháztartás (22 vízfolyás) mellett a sóháztartás is megjelenik 14 vízfolyással.

A vízgyűjtő gazdálkodási tervben elérhető vízfolyásokra is elvégeztem a terüleetspecifikus komponens csoport alapú dominancia vizsgálatot. A 380 (2010. évi) vízfolyáshoz 320 (VGT2) vízfolyást tudtam megfeleltetni. Például a „Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás felső” tipológia csoportnál volt komponens csoport dominanciaváltás a vizsgált összes vízfolyás esetében. Továbbá a „Hegyvidéki és dombvidéki kisvízfolyás” tipológiai csoportban a 320 vízfolyás elemzésénél a savasodási csoporton kívül minden csoport jelen van, míg a nem megfelelő vízminőségű vízfolyások esetében csak a tápanyagháztartás és a sótartalom csoport jelenik meg

- Észak-Magyarországon és a Tisztántúlon a 2010. évi adatbázis alapján az oxigénháztartás ( $\text{KOI}$ ,  $\text{BOI}_5$ , oldott oxigén, oxigéntelítettség,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ), a VGT2 adatbázis alapján pedig a tápanyag (növényi) háztartás adta a fiziko-kémiai minősítést.
- Alsó-Tiszavidéken mindkét esetben a sóháztartás (vezetőképesség, klorid) volt a vízminőségért felelős csoport.
- Közép-Duna-völgyi térség esetében a 2010. évi időszakban a legtöbbször a növényi háztartás határozta meg a vízminőséget, de az oxigén és a növényi háztartás hatása is igen jellemző volt, míg a VGT2 adatbázis esetében már csak kimondottan a tápanyagháztartás dominált.
- Dunántúli régióknál a tápanyag (növényi) háztartás a domináló, így az  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{ÖN}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{ÖP}$ .

A kapott eredményeket a jobb szemléltetés érdekében térképen is feltüntettem és ezzel támogatva a VKI típus-specifikus minősítési rendszerét. A 75. ábrán látható, melyik területen, melyik komponens csoport dominál.



75. ábra: Víztestek csoportosítása komponens csoportok (pH, sótartalom, oxigén- és növényi háztartás) alapján

44. táblázat: A 380 hazai vízfolyás tipológiai csoportonkénti eloszlása a kémiai minősítésüket meghatározó komponens csoportok szerint

| Víztest tipológiai csoportok                              | A kémiai minősítést meghatározó komponens csoportok |                                       |   |  |
|---|---|---------------------------------------|---|--|
|   | pH<br>(víztestek száma)                             | Só-<br>háztartás<br>(víztestek száma) | Oxigén-<br>háztartás<br>(víztestek száma) | Növényi<br>tápanyag<br>(víztestek száma) |
| Hegyvidéki és Dombvidéki<br>kiszívfolyások felső szakasza | 14  | 17                                    | 35  | <b>37</b>                                |
| Hegyvidéki kiszívfolyások                                 |   | 12                                    | 15  | <b>27</b>                                |
| Dombvidéki közepes<br>vízfolyások                         |   | 2                                     | 2   | <b>11</b>                                |
| Síkvidéki kiszívfolyások                                  |   | 20                                    | <b>27</b>                                 | 24                                       |
| Síkvidéki nagy folyók                                     |   | 8                                     | 17  | <b>21</b>                                |
| Síkvidéki pangóvízű<br>vízfolyások                        |   | 19                                    | <b>31</b>                                 | 20                                       |
| Síkvidéki szerves<br>mederanyagú vízfolyások              |   | 3                                     | <b>8</b>                                  | 6  |
| Duna hazai szakasza                                       | 1   |                                       |   | <b>3</b>                                 |

Megj.: A táblázatban kiemeltem a meghatározó komponens csoportban lévő víztestek számát

Az adatok feldolgozása után elmondható, hogy régióként kirajzolódik, hol melyik komponens csoport adta a víztest meghatározó minősítését (42. táblázat). Így monitoring szempontjából ezeknek a paramétereknek, mint indikátor paramétereknek a mérését javaslom.

#### 10.2.4 Tipológiai csoportonkénti /régiókénti vizsgálat a nem megfelelő állapotú víztesteken a specifikus paraméterek kiválasztása érdekében

A továbbiakban már csak azokat a víztesteket elemeztem, amelyek a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterekre vonatkozóan **nem érték el a jó állapotot**, vagyis a csoport átlag kisebb volt mint 3,5 (ezeknél intézkedési terv szükséges ahhoz, hogy jó állapotba kerüljenek). A 380 vízfolyás (2010. évi adatok) listából leválogattam azokat, melyek vízminőségi átlagértéke 3,5 alatt volt. A szűréssel előállt vizsgált víztestek száma összesen: 193. A VGT2 320 vízfolyás közül pedig 126 esetében volt a vízminősége nem megfelelő.

Az elemzési lépések megegyeztek az 380 vízfolyás vizsgálatánál már ismertetett tipológiai csoportonként domináló komponens csoport meghatározásával. Azt vizsgáltam, hogy a vízfolyások esetében melyik paramétercsoport határozza meg (legrosszabb minősítéssel rendelkező komponens csoport) a legnagyobb számban a vízminőséget.

A nem megfelelő víztestek estében a következőképpen alakult a komponens csoportoknak a területspecifikus eloszlása (76. ábra):

- Észak-Magyarország esetében a sóháztartás dominált,
- Tisztántúlon az oxigénháztartás,
- Alsó-Tisza-vidéki területen a sóháztartás,
- Észak-Dunántúlon a tápanyag (növényi) háztartás
- Közép-Dunántúlon a tápanyag (növényi) háztartás mellett az oxigén háztartás a Dél - Dunántúlon a sóháztartás is megjelent.
- Közép-Duna-völgye mind a négy komponens csoport a savasodás, sóháztartás, tápanyag (növényi) háztartás és az oxigénháztartás is jelen volt.

A VGT2 adatbázisból leszűrve a nem megfelelő vízfolyásokat maradt 126 (77. ábra). A minősítést meghatározó komponens csoport dominancia alapján, a Tisztántúlon, Közép-Duna-völgyében és a Dél-Dunántúlon egyértelműen a tápanyag (növényi) háztartás dominált. A Közép-Dunántúlon a tápanyag mellett a sóháztartás is dominált, Alsó-Tisza vidéken a tápanyag mellett a só- és az oxigénháztartás is megjelent. Egyedül Észak-Magyarországon volt a sóháztartás dominanciája jelentős. A két adatbázist összehasonlítva a VGT2 esetében itt is a tápanyagháztartás volt a domináló a minőség meghatározásában.

| Regionális KTVF /<br>193 víztest              | Minősítést meghatározó<br>komponens csoportok | Tipológiai csoportonkénti<br>komponens csoport dominancia |
|---|---|---|
| Észak-<br>magyarországi<br>KTVF<br>25 víztest |   |   |
| Tiszántúli KTVF<br>26 víztest                 |   |   |
| Alsó-Tisza-vidéki<br>KTVF<br>20 víztest       |   |   |
| Közép-Duna-völgyi<br>KTVF<br>41 víztest       |   |   |
| Észak-dunántúli<br>KTVF<br>29 víztest         |   |   |
| Közép-dunántúli<br>KTVF<br>11 víztest         |   |   |
| Dél-dunántúli<br>KTVF<br>41 víztest           |   |   |
|   |   | <p>Jelölések:</p>   |

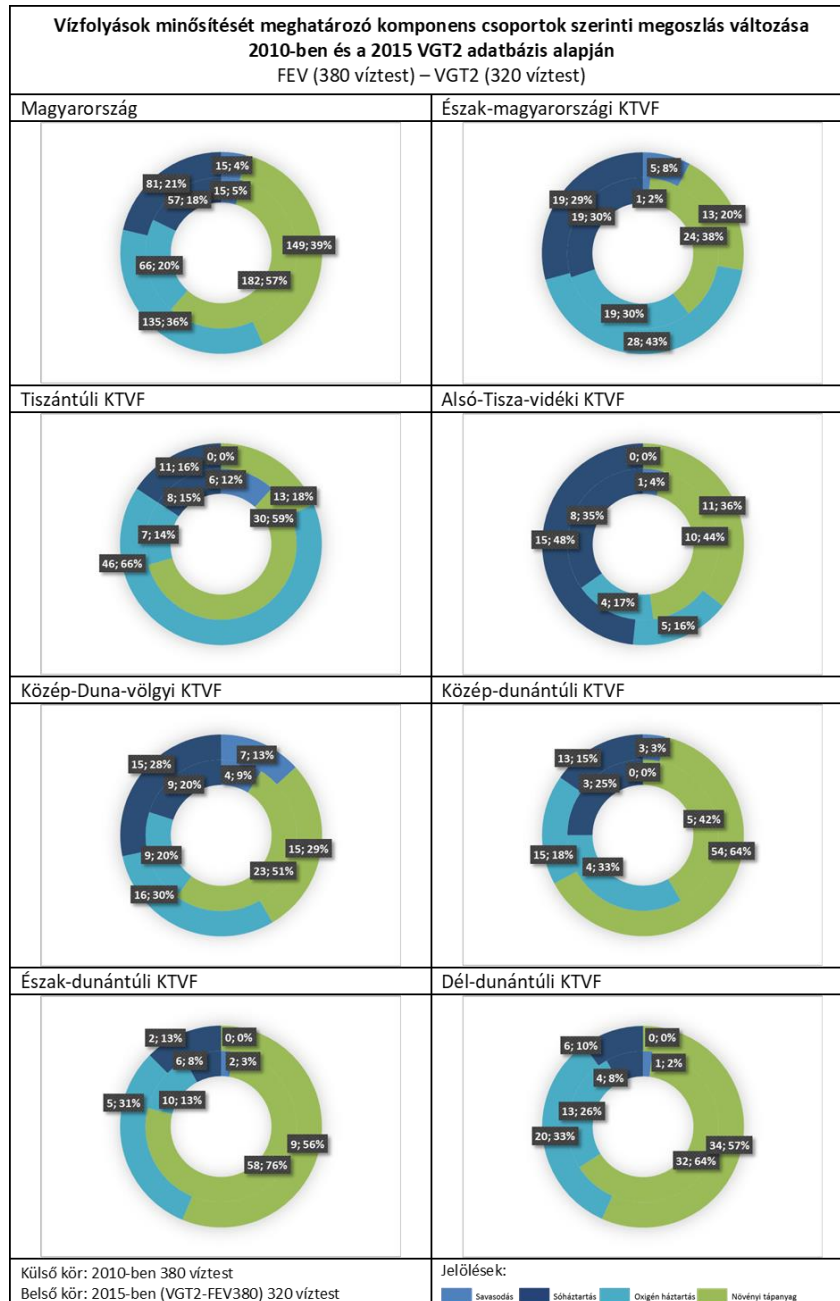
76. ábra: A nem megfelelő állapotú vízfolyások (193 víztest) elemzése Felügyelőségeként a minősítést meghatározó komponens csoportonként

| Regionális KTVF/<br>126 víztest           | Minősítést meghatározó<br>komponens csoportok                      | Tipológiai csoportonkénti<br>komponens csoport dominancia |
|---|--|---|
| Észak-magyarországi<br>KTVF<br>20 víztest |  |   |
| Tiszántúli KTVF<br>15 víztest             |  |   |
| Alsó-Tisza-vidéki KTVF<br>11 víztest      |  |   |
| Közép-Duna-völgyi KTVF<br>31 víztest      |  |   |
| Észak-dunántúli KTVF<br>19 víztest        |  |   |
| Közép-dunántúli KTVF<br>5 víztest         |  |   |
| Dél-dunántúli KTVF<br>25 víztest          |  |   |
|   | Jelölések: Savasodás Sós-hátartás Oxigén-hátartás Növényi tápanyag |   |

77. ábra: A nem megfelelő állapotú vízfolyások (126 víztest) elemzése Felügyelőségenként a minősítést meghatározó komponens csoportonként

### 10.2.5 A komponens csoportok alapján történő összehasonlítás

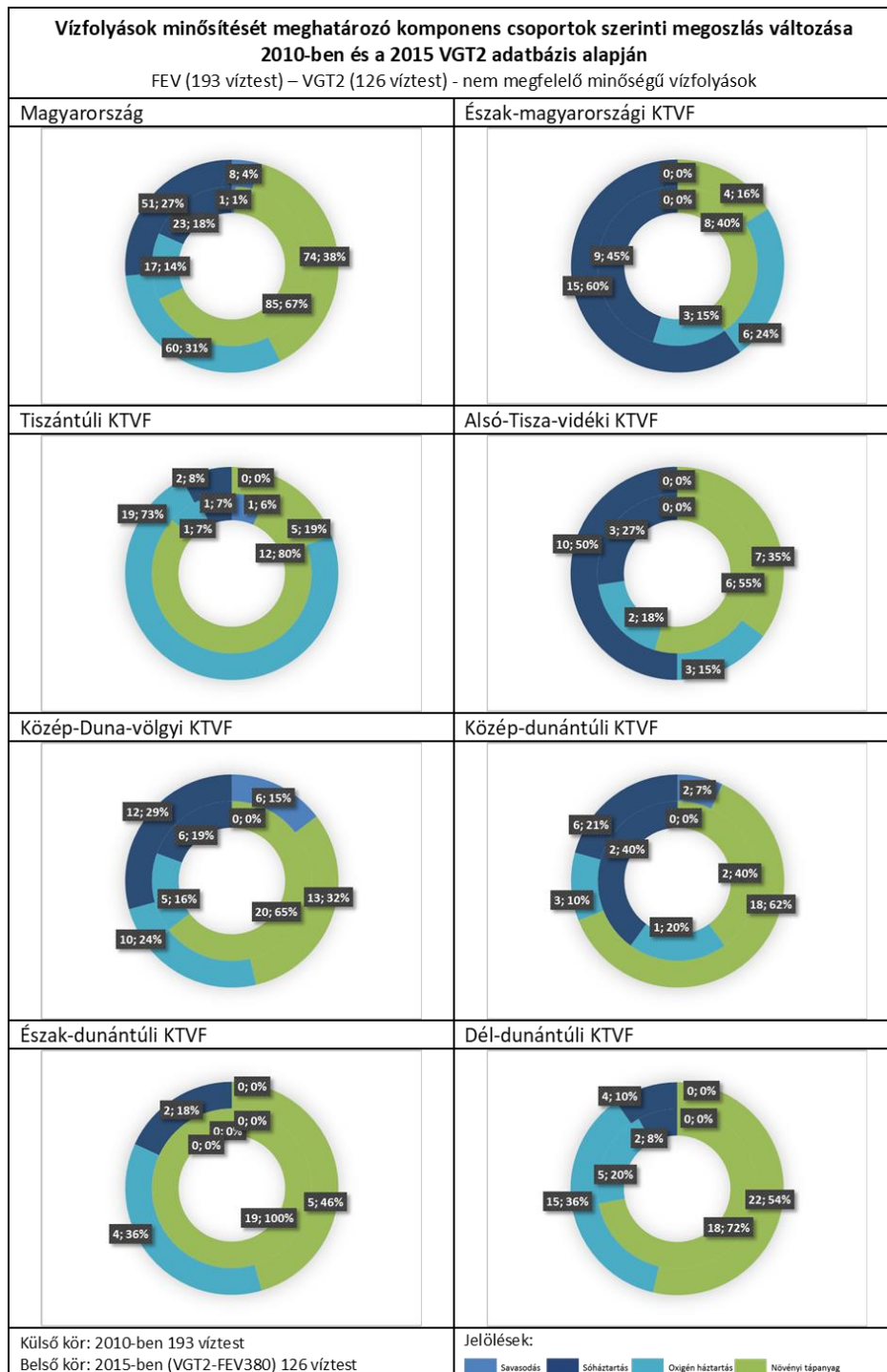
A következő 78. ábrán a 2010. és 2016. évi adatok összehasonlítását mutatom be (380-320 vízfolyás). A komponens csoport dominanciájában való változás leginkább a Tiszántúlon vehető észre. Az oxigénháztartás helyett a tápanyag (növényi) háztartás vette át a dominanciát. A Közép-Duna-völgyben 7 vízfolyásnál a savasodási csoport határozta meg a fiziko-kémiai minőségét a vízfolyásoknak.



78. ábra: Komponens csoportok megoszlás változása Felügyelőségenként 2010. évben és a VGT2 időszakban



A nem megfelelő vízminőségű vízfolyások elemzésének eredménye (79. ábra) is azt mutatta, hogy a VGT2 időszakában a tápanyag (növényi) háztartás dominál. A Tiszántúli és az Észak-Dunántúli térségek esetében jól látható is ez a változás. Az Alsó-Tisza vidéki térségben pedig a sóháztartás dominanciáját csökkentette az oxigénháztartás csoportja.



79. ábra: Komponens csoportok megoszlás a nem megfelelő állapotú vízfolyások esetében Felügyelőségekre bontva 2010. évben és a VGT2 időszakában

**A nem megfelelő víztestek esetében** két vizsgált időszakban a következőképpen alakult a komponens csoportok területspecifikus eloszlása.

- Mind a két esetben megegyezett, hogy Észak-Magyarországon a sóháztartás (vezetőképesség, klorid), az Észak-Dunántúl és a Közép-Dunántúl esetében pedig a tápanyag (növényi) háztartás (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, ÖP) volt a felelős a nem megfelelő vízminőség kialakulásáért.
- A Tisztántúlon dominanciaváltás történt a komponens csoportok esetében: az első vizsgált időszakban az oxigénháztartás, majd a növényi tápanyag háztartás adta a nem megfelelő állapotot.
- Szintén csoportváltás volt az Alsó-Tisza-vidéki térségben, ahol a sóháztartás helyett a tápanyag háztartás lett domináló.
- A Közép-Duna-völgyi térségben és a Dél-Dunántúlon is minden komponens csoport megjelent a 380 vízfolyás adatbázis elemzése során, de a VGT2-ben jellemzően már csak a tápanyag háztartás adta a problémás vízminőséget.

## 11. FELSZÍNI VIZEK MINŐSÉG ALAPÚ OSZTÁLYOZÁSA TÖBBVÁLTOZÓS STATISZTIKAI ÉS DISZKRÉT MATEMATIKAI MÓDSZEREK ÖSSZEVETÉSE ALAPJÁN

### 11.1 FELSZÍNI VÍZTESTEK ÉVI ÁTLAG MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK FUTTATÁSA A BOOL-AN PROGRAMBAN

A BOOL-AN szoftver alkalmazása felszíni víztestek klaszterezésére és a jó/nem megfelelő vízminőség határán lévő víztestek csoportosítására (jelenleg a biológiát támogató fizikai-kémiai paramétereket vizsgáltam - 13 paraméterre)

#### 11.1.1 FUTTATÁSI EREDMÉNYEK A 380 VÍZFOLYÁSRA (2010. évi adat)

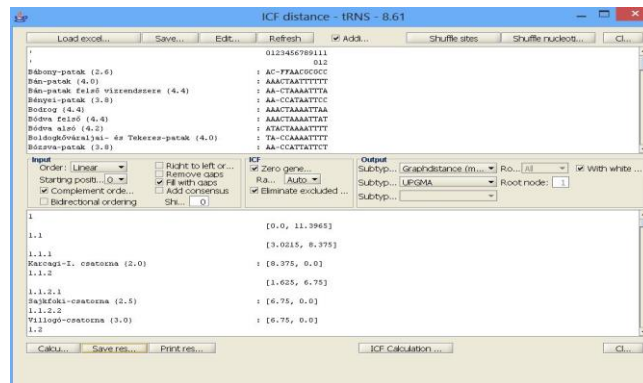
A program fejlesztőivel történő konzultáció és az ELTE-s szakértők [Jakó és munkatársai] tapasztalatai alapján három beállítási változatot próbáltam ki (80. ábra). A három futtatási paraméter struktúra beállításai közül a 2. beállítás alapján kaptam a legjobb csoportosítást az azonos vízminőségi kategóriába tartozó vízfolyásokra. A vizsgálataim a nem megfelelő vízminőségű vízfolyásokra fókuszálnak és erre vonatkozóan mutatom be az eredményeimet. Az ICF módszerrel kapott csoportosításokat összehasonlítottam a Víz Keretirányelv alapján megadott minősítések eredményeivel.

##### 1. változat: Beállítás módja:

(fillg=Yes)+Coder(cdir=3'-5', order=Linear)+ICF+Graph distance (to any)(wwp=No)+UPGMA

##### 2. változat: Beállítás módja:

(fillg=Yes)+Coder(cdir=3'-5', order=Linear, fromz=Yes)+ICF(zg=Yes)+Graph distance (merged)+UPGMA

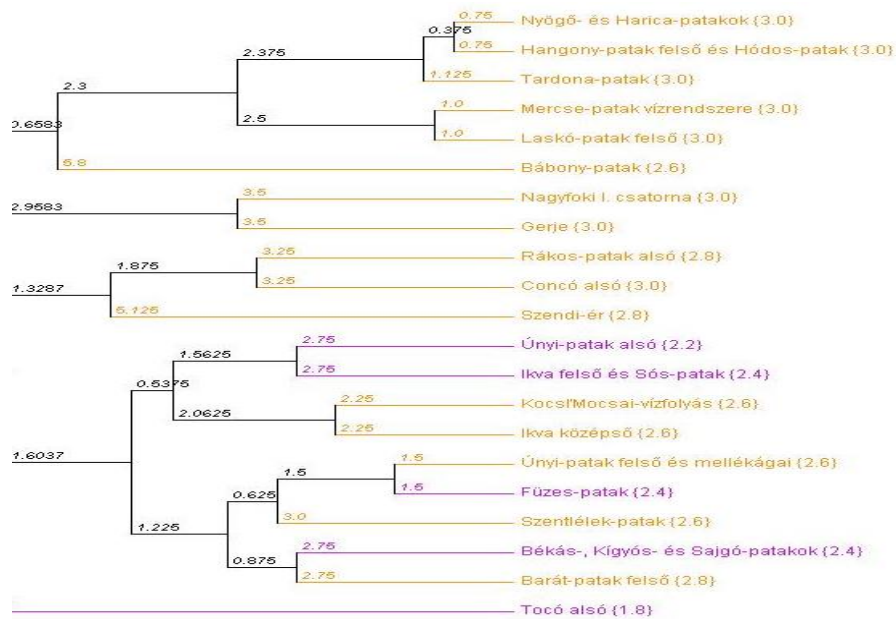


80. ábra: ICF futtatás - 2. változat

##### 3. változat: Beállítás módja:

(fillg=Yes)+Coder(cdir=3'-5', order=Linear, fromz=Yes)+ICF(zg=Yes)+Graph distance (to any)(wwp=No)+UPGMA

A 2. változat beállítási rendszere alapján a 380 víztestre készített színezett dendrogramból kiemeltem egy részletet, ahol a nem megfelelő állapotú víztesteket mutatom be (gyenge és közepes minőség), ami elősegíti a további egyedi vizsgálatokat és intézkedési tervek kivitelezését (81. ábra).



81. ábra: Kiemelt részlet a 380 víztest dendrogramjából (2. változat)

További egyedi vizsgálati példaként a Barát-patak felső - Békás, Kígyós- és Sajgó-patakok dendrogramon belüli összekapcsolását elemzem.

**Megállapítás:** A dendrogramon a Barát-patak felső (2,8 minősítéssel barna színnel jelölve) és a Békás, Kígyós- és Sajgó-patakok (2,4 minősítéssel lila színnel jelölve) hasonló vízminőségük alapján összevonásra kerültek.

| Vízgyűjtő<br>azonosító | Környezeti jellemzők<br>Vízfelület<br>Felügyelőhelyek | Típus | Vízkeletkezés<br>pH | Kőzet<br>Bővíz | Kőzet<br>Kőzet | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | NH <sub>4</sub> -N | O <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | ÖN  | PO <sub>4</sub> | ÖP | pH | Vék | O | BOI | KOI | O <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | ÖN | PO <sub>4</sub> | ÖP | Csop. kémiai |   | Csop. Cso |    |
|------------------------|---|-------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|----|----|-----|---|-----|-----|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|-----------------|----|--------------|---|-----------|----|
|                        |   |       |                     |                |                |                    |                    |                    |                |                |                 |                 |                 |     |                 |    |    |     |   |     |     |                |                |                 |                 |                 |    |                 |    | rt           | i | rt        | rt |
| 20                     | Barát-patak felső vízgyűjtő                           | 2     | 8.18                | 1346           | 104            | 5.98               | 18.00              | 8.20               | 75.7           | 0.052          | 0.020           | 10.760          | 11.05           | 158 | 270             | 5  | 3  | 3   | 3 | 3   | 3   | 3              | 3              | 3               | 3               | 3               | 3  | 3               | 3  | 2.8          | 3 | 2.8       | 3  |
| 21                     | Békás- Kígyós- és Sajgó-patak                         | 9     | 8.18                | 1850           | 1391           | 6.43               | 21.33              | 7.88               | 69.13          | 0.195          | 0.119           | 10.750          | 11.35           | 521 | 778             | 5  | 3  | 3   | 3 | 3   | 3   | 3              | 3              | 3               | 3               | 3               | 3  | 3               | 3  | 2.4          | 2 | 2.4       | 2  |

82. ábra: A Barát és a Békás patakok adatsorai

**Indoklás:** A csoportosítás alátámasztásánál a 82. ábra fizikai-kémiai paraméter értékeiből indultam ki.

A két vizsgált vízfolyás esetében

megegyezik:

- pH, vezetőképesség, klorid,
- BOI, KOI, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>-N,
- NO<sub>3</sub>-N, ÖN, ÖP

különbözik

- NO<sub>2</sub>-N: 4 vs 3
- PO<sub>4</sub>-P : 3 vs 2

A két paraméter eltérése jelentősen módosítja növényi tápanyag háztartás komponens csoport átlagát: 2,8 (azaz 3-as) vs 2,4 (azaz 2-es). A növényi tápanyag háztartás komponens csoport átlagában mutatkozó vízminőség kategória váltás miatt a VKI besorolás alapján a Barát patak a közepes, a Békás-, Kígyós- és Sajgó-patakok a gyenge kategóriába került.

## 11.1.2 FUTTATÁSI EREDMÉNYEK A 380 VÍZFOLYÁSRA FELÜGYELŐSÉGEK SZERINT

A BOOL-AN programcsomag segítségével futatott eredmények közül itt is a 2. verzió (*fillg=Yes*) + *Coder(cdir=3'-5', order=Linear, fromz=Yes)* + *ICF(zg=Yes)* + *Graph distance (merged)* + *UPGMA*) adta a legjobb eredményeket a vízfolyások vízminőség alapú csoportosítására. Az Alsó-Tiszavidéki Felügyelőség dendrogramjának alábbi kiemelése azt illusztrálja, hogy esetenként minimális mindössze 0,1 eltérés során a VKI minősítéskor egyes vízfolyások más-más vízminőségi osztályba kerülhetnek, illetve a végső minősítés akár jelentős különbségeket is elfedhet, ha ez nem a minimumot adó csoportnál fordul elő.

A dendrogram részletből (81. ábra) leolvasható, hogy

- a VKI minősítés szerint a Veker-ér csatorna és Felső Válica közepes minősítésű kategóriába tartoznak (3.4 és 3.0 átlag érték), míg a Vidi-ér és Hortobágyi/Kadarcs összekötő csatorna és Kurca-csatorna 3.5 - 3.5 átlagértékkel a jó vízminőség kategóriába került.
- míg a VKI minősítés alapján a Felső-Válicka (átlagérték 3,0) és a Veker-ér csatorna (átlagérték 3,4) a közepes minősítésű, az ICF gráf távolság alapján a jó minőségű vízfolyások közé sorolta.



83. ábra: AlsóTiszavidék dendrogram részlet

A víztestek feltüntetett (82. ábra) fizikai-kémiai paramétereinek VKI minősítése alapján megállapítható, hogy - bár a Veker-ér 7 db 3-as minősítésű paramétert kapott (vezetőképesség, KOI, O<sub>2</sub>, O%, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, ÖP) – de ennek ellenére csupán 0,1 minősítési értékkel különbözik a 3,5 értékű jó minősítésű vízfolyásoktól, így a Kurca ér esetében: vezetőképesség(4), KOI(4), O<sub>2</sub>(5), O%(5), ÖN(4), PO<sub>4</sub>-P(3), ÖP(3), míg a Vidi-ér és Hortobágy/Kadarcs összekötő csatorna esetén: vezetőképesség(4), KOI(3), O<sub>2</sub>(4), O%(4), ÖN(4), PO<sub>4</sub>-P(5), ÖP(3).

| Vízfolyás                                       | pH | Vezk | Cl | Átlag | BOI | KOICr | O2 | O% | NH4 | Átlag | NO2 | NO3 | ÖN | PO4 | ÖP | Átlag | Min |
|---|----|------|----|-------|-----|-------|----|----|-----|-------|-----|-----|----|-----|----|-------|-----|
| Vidi-ér és Hortobágy-Kadarcs-összekötő-csatorna | 5  | 4    | 3  | 3,5   | 4   | 3     | 4  | 4  | 4   | 3,8   | 5   | 4   | 4  | 5   | 3  | 4,2   | 3,5 |
| Kurca-csatorna                                  | 5  | 4    | 3  | 3,5   | 4   | 4     | 5  | 5  | 4   | 4,4   | 4   | 4   | 4  | 3   | 3  | 3,6   | 3,5 |
| Felső-Válicka és felső vízgyűjtője              | 5  | 3    | 3  | 3,0   | 4   | 2     | 5  | 4  | 4   | 3,8   | 5   | 4   | 3  | 2   | 3  | 3,4   | 3,0 |
| Veker-ér-csatorna                               | 5  | 3    | 4  | 3,5   | 4   | 3     | 3  | 3  | 5   | 3,6   | 4   | 4   | 3  | 3   | 3  | 3,4   | 3,4 |

84. ábra: Kurca-csatorna és a Veker-ér paramétereinek összehasonlítása

A példák alapján részletes tesztet futtatam az egyes Felügyelőségekhez tartozó víztestek paraméter adataival mind a két ICF gráf távolság alkalmazásával (to any és merge), illetve dendrogramokon jelenítettem meg az eredményeket. Az így kapott csoportokat összehasonlítottam a VKI vízminősítésének értékeivel.

Az eredmények alapján azt a következtetést tudtam levonni, hogy a VKI csoportátlag alapú minősítése információvesztéssel jár és elfedi a paraméterek értékei közötti különbségeket.

Ezért jelentős a felszíni vizekre adaptált ICF algoritmus szerepe, mivel egyértelműen meghatározza a mintázatot, valamint az ICF iteráció eredménye alapján keletkező részhalmozokból információvesztés nélkül visszaállítható az eredeti részhalmoz.

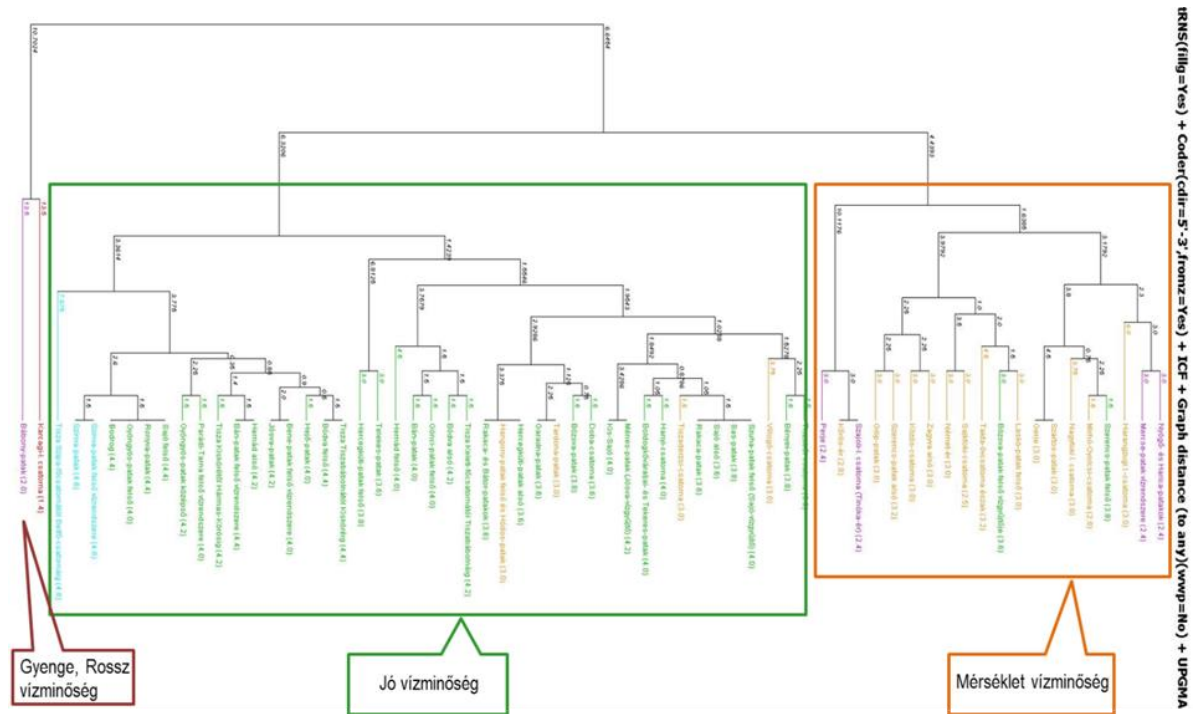
## **11.2 BOOL-AN ÉS A SYN-TAX 2000 PROGRAM EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

Az ICF eljárással kapott eredmények minőségét hagyományos statisztikai módszerrel történő összevetéssel ellenőriztem. Az ELTE eScience-RET fejlesztésű ICF BOOL-AN programmal (Jakó et al, 2009, 2011) kapott eredményeket a szintén ELTE-s SYN-TAX 2000 programcsomag (Podani J., 2001) futtatási eredményeivel hasonlítottam össze. Az összevetéshez a két program futtatásait a 380 vízfolyás biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek 2010. évi átlagértékei alapján (NEKI, 2012), illetve Felügyelőségek szerinti bontásban végeztem el.

A mérési eredmények hierarchikus elemzése során csoportátlag (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean azaz UPGMA) módszerét, illetve a korreláció elemzéshez a főkoordináta analízist (PCoA – Principal Coordinates Analysis) (Podani, 2001) alkalmaztam.

Az összehasonlításhoz kapcsolódik, hogy amennyiben egyforma eredményeket kapunk teljesen független módszerekkel az már egy biztató alap az osztályozás helyességére, ha nem egyezés áll fenn (konfliktus), akkor még egyedi vizsgálatot szükséges végezni.

Észak-Magyarországi Felügyelőség mintapéldáján keresztül mutatom be BOOL-AN szoftver/Syn-tax 2000 program eredményeit, illetve az eltérő csoportosításokra elkészítettem a víztestek gráfjait. A program futtatásából kapott dendrogram alapján megállapítottam, hogy a különböző minősítésű csoportokat jól elkülönítette az Észak-Magyarországi Felügyelőség vízfolyásainak BOOL-AN szoftverrel történő feldolgozása (85. ábra).



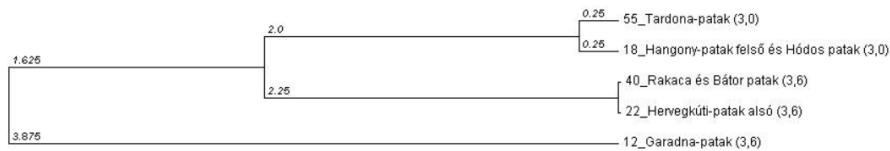
85. ábra: Észak-Magyarországi Felügyelőség vízfolyásainak feldolgozása BOOL-AN szoftverrel

### Határesetek vizsgálata

A dendrogramon a jó állapotú vízfolyások közé és teljesen hasonlóan csoportosította az ICF módszer a Hangony-patak felső vízfolyást a Hercegkúti-patak alsó és Rakaca-és Bátor patakkal. A Garadna-patakhhoz pedig az ICF teljesen hasonlóan tekintette a Tardona-patakot. A VKI alapján a Hangony-patak minősítése: 3,0 (méréslet); Hercegkúti-patak alsó (3,6 vagyis jó) és a Rakaca-és Bátor patak szintén (3,6 jó állapotú). A Garadna-patak (3,6 – jó) és a Tardona-patak (3,0 -méréslet).

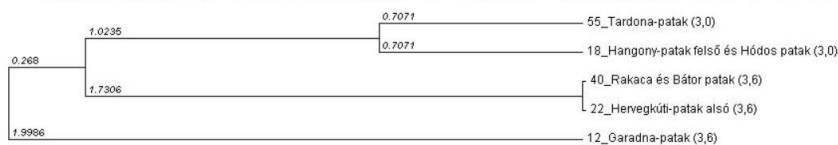
További egyedi vizsgálatot végeztem a mintapéldán (5 víztest) és elkészítettem a BOOL-AN szoftverrel az öt kiválasztott (jó/méréslet) víztestre különböző metrikák alkalmazásával a dendrogramokat (86. ábra, 87. ábra), jól látható, hogy megfelelően csoportosította a méréslet és a jó állapotú vízfolyásokat.

**ic acid(fillg=Yes) + Coder(cdir=5'-3',order=Linear,fromz=Yes) + ICF + Graph distance (merged) + U**



86. ábra: ICF+Gráf távolság (merge)+UPGMA

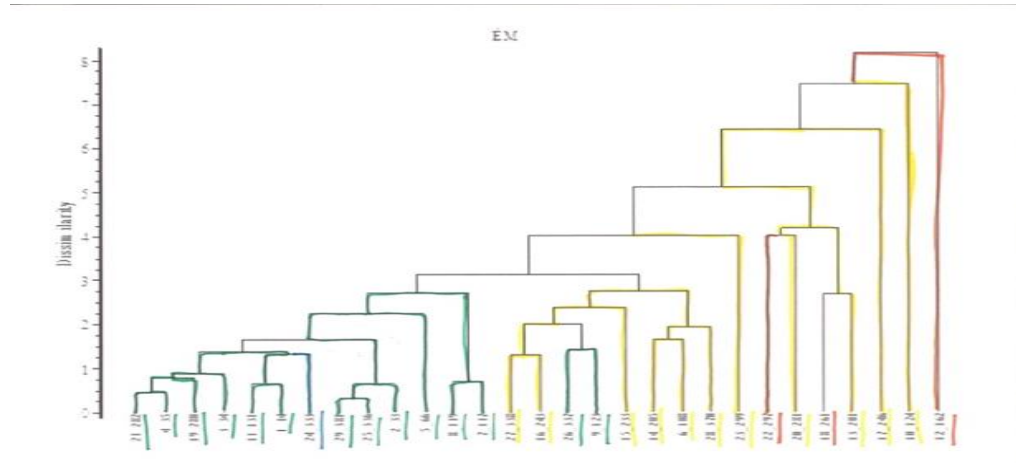
**Nucleic acid(fillg=Yes) + Coder(cdir=5'-3',order=Linear,fromz=Yes) + ICF + E + UPGMA**



87. ábra: ICF+Euclides +UPGMA

### A Syn-Tax 2000 program futtatási eredménye

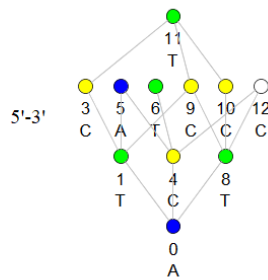
A vizsgált vízfolyások közül 65 víztest került ide. A Syntax program futtatásához 34 víztestet töröltem (a hiányos adatok miatt, FÜGGELÉK 2).



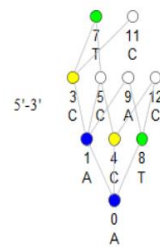
88. ábra: Syntax program futtatása (UPGMA)

A diszkrét matematikai módszer eredményét összevettem a statisztikai módszer eredményével. Eltérő csoportosítást kaptam, ezért még gráfokkal is ellenőriztem és vizualizáltam a kérdéses eseteket.

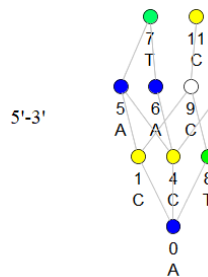
#### 12\_Garadna-patak (3,6)



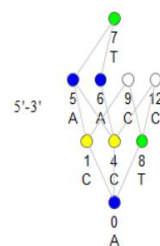
#### 22\_Hercegkúti-patak alsó (3,6)



#### 55\_Tardona-patak (3,0)



#### 18\_Hangony-patak felső és Hódos patak (3,0)



89. ábra: A futtatás során hasonlóknak ítélt vízfolyások gráfjai



A gráfokon alkalmazott jelölések: az ATCG nukleotid szekvencia a fizikai-kémiai paraméterek határérték alapú minősítését mutatja a10/2010 (VIII.18) VM rendelet és a VGT2 6-3 melléklete alapján. Ehhez kapcsolódik a körök színezése, ami a VKI által használt színskálának megfeleltethető: kék: kiváló; zöld: jó; sárga: mérsékelt; narancssárga: rossz; fekete: gyenge). A számok jelentik a 13 fizikai-kémiai paraméter rendezését az n-kockán.

1. Hamming távolság

|   |   |      |     |     |     |      |
|---|---|------|-----|-----|-----|------|
| 12_Garadna-patak (3,6)                      | : | [0.0 | -   | -   | -   | -]   |
| 18_Hangony-patak felső és Hódos patak (3,0) | : | [5.0 | 0.0 | -   | -   | -]   |
| 22_Hervegkúti-patak alsó (3,6)              | : | [5.0 | 2.0 | 0.0 | -   | -]   |
| 40_Rakaca és Bátor patak (3,6)              | : | [5.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | -]   |
| 55_Tardona-patak (3,0)                      | : | [6.0 | 1.0 | 3.0 | 3.0 | 0.0] |

2. Euklidészi távolság

|   |   |   |        |        |        |        |      |
|---|---|---|--------|--------|--------|--------|------|
| 12_Garadna-patak (3,6)                      | : | [ | 0.0    | -      | -      | -      | -]   |
| 18_Hangony-patak felső és Hódos patak (3,0) | : | [ | 4.0    | 0.0    | -      | -      | -]   |
| 22_Hervegkúti-patak alsó (3,6)              | : | [ | 3.873  | 3.3166 | 0.0    | -      | -]   |
| 40_Rakaca és Bátor patak (3,6)              | : | [ | 3.873  | 3.3166 | 0.0    | 0.0    | -]   |
| 55_Tardona-patak (3,0)                      | : | [ | 4.2426 | 1.4142 | 3.6056 | 3.6056 | 0.0] |

3. Icf gráf távolság (to any)

|   |   |   |      |      |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|------|------|
| 12_Garadna-patak (3,6)                      | : | [ | 0.0  | -    | -    | -    | -]   |
| 18_Hangony-patak felső és Hódos patak (3,0) | : | [ | 16.0 | 0.0  | -    | -    | -]   |
| 22_Hervegkúti-patak alsó (3,6)              | : | [ | 14.0 | 12.0 | 0.0  | -    | -]   |
| 40_Rakaca és Bátor patak (3,6)              | : | [ | 14.0 | 12.0 | 0.0  | 0.0  | -]   |
| 55_Tardona-patak (3,0)                      | : | [ | 17.0 | 1.0  | 13.0 | 13.0 | 0.0] |

4. ICF gráf távolság (merged)

|   |   |      |     |     |     |      |
|---|---|------|-----|-----|-----|------|
| 12_Garadna-patak (3,6)                      | : | [0.0 | -   | -   | -   | -]   |
| 18_Hangony-patak felső és Hódos patak (3,0) | : | [8.5 | 0.0 | -   | -   | -]   |
| 22_Hervegkúti-patak alsó (3,6)              | : | [6.5 | 4.0 | 0.0 | -   | -]   |
| 40_Rakaca és Bátor patak (3,6)              | : | [6.5 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | -]   |
| 55_Tardona-patak (3,0)                      | : | [9.5 | 0.5 | 5.0 | 5.0 | 0.0] |

90. ábra: Az egyes metrikákhoz tartozó távolságháromszögek

A kirajzolt ICF dendrogram és a vizualizált víztest ICF gráfok alapján a szakértő részletes elemzést végezhet a problémás esetekkel kapcsolatban.

A Rakaca és Bátor patak, illetve a Hercegkúti-patak alsó vízfolyások ICF gráfjai megegyeznek, ez a magyarázata a dendrogram felépítésen látható korai összepárosításnak.

Az osztályozás a Garadna-patak és a Tardona-patak esetében az egyes vízfolyásokhoz tartozó ICF gráfok felépítését meghatározó paraméter minősítés kombináció (a víztestek kiváló /jó /mérsékelt minősítésű paramétereinek száma) összetétele alapján a vízfolyásokat hasonlónak tekintette, ami alátámasztotta a dendrogrammal kapott csoportosítás eredményét (a dendrogram struktúra azonos, vagy közeli ágára kerülnek).

Hasonlóképpen történt a statisztikai módszerekkel kapott dendrogram esetében a problémás esetek besorolásának ellenőrzése is.

## 12. DISZKUSSZIÓ

**Kutatásaim központjában** a felszíni vízmonitoring három főbb különböző alkalmazási területe található.

**Első alkalmazási terület** a VKI céljainak elérése érdekében alkalmazásra kerülő általános felszíni víz monitoring. Elsősorban a Veszprémi-Séd városi szakasz vízminőségének a VKI tükrében történő meghatározásával foglalkoztam.

2009-2016 között a megbízhatóság kapcsán többször megismételt, kiterjedt (a területhasználatok ismeretében 25 kijelölt mintavételi helyen, majd az eredmények alapján a további vizsgálatok céljára kilenc kritikus mintavételi helyen) terepi és laboratóriumi vizsgálatokat végeztem és kimutattam, hogy a Veszprémi-Séd vízminősége azért nem megfelelő állapotú, mert a pont és diffúz szennyező forrásokból (pl. a veszprémi Állatkert befolyója, csapadékelvezető csatornák, veszprémi szennyvíztisztító telep, családi házas kiskertek) származó nitrát-N (5-6 mg/l) és az ortofoszfát-P (200-300 g/l) nagy koncentráció értékei jelentős terhelést okoznak. Azaz a komponens csoportok közül a tápanyagháztartás paraméterei okozták, amely összhangban van a VGT2-vel.

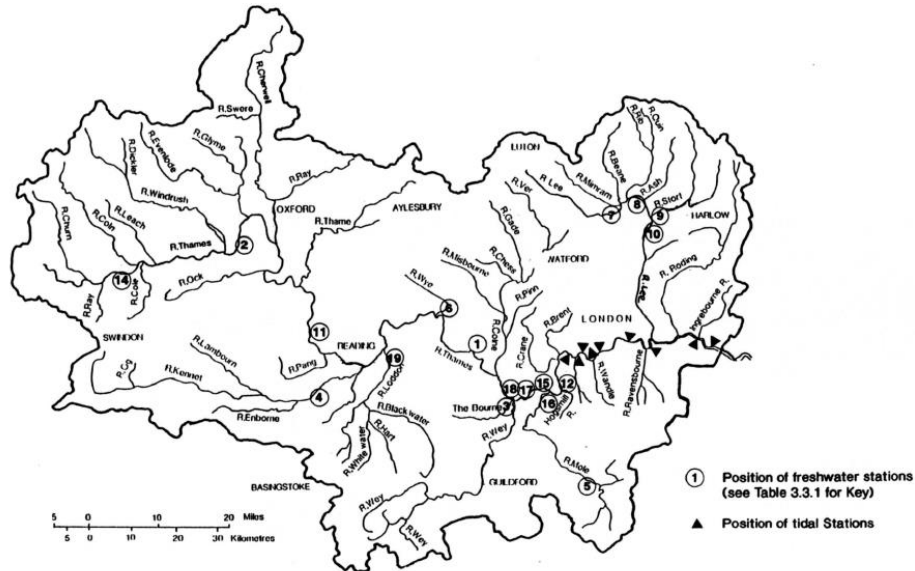
A felszíni vízfolyások részletes vízkémiai felmérésének szakmai területe szintén több tudományos dolgozatban jelenik meg [38], [44], [45],[46] [47].

A kiugró értékeket jelentő (a tűrhető/szennyezett kategóriába sorolandó minősítésű) mérési eredmények elemzésekor felmerült az automata folyamatos monitoring állomások igénye. A szennyezések egy része időben változó jellegű és véletlenszerű esemény, melynek megismeréséhez nélkülözhetetlen az automata folyamatos monitoring rendszer adott célra optimalizált kialakítása és működtetése. Azaz az automata felszíni víz monitoring állomások kialakítását mindig az adott célfüggvény határozza meg. Közös vonásuk, hogy céljuk a költséghatékony működés és működtetés, így az olcsó és egyszerű mérések kivitelezése. Az automata monitoring rendszerek folyamatos mintavételt és elemzést végeznek, jellemzően moduláris rendszerűek, meghatározott helyeken rendszeres időközönként korlátozott számú vízminőségi paramétert mérnek, de sűrű időközönként, nagy mintavételi frekvenciát (pl. általában órás mintavételezést) alkalmazva nagy mennyiségű adatot generálnak, aminek kezeléséhez az adatkommunikációs terület utóbbi években bekövetkezett robbanásszerű fejlődése is nagy lökést adott.

**Második alkalmazási területként** az automata folyamatos monitoring alkalmazási lehetőségeit, feltételeit és kötöttségeit tekintettem át.

A fogyasztói (ipari) társadalom negatív mellékhatásainak következményeként a felszíni vizek minőségének állapota már hosszú ideje foglalkoztatja mind a szakembereket, mind a téma iránt fogékony civil szektort. A pillanatnyi minőséget tükröző fizikai-kémiai paraméterek, mint a rendszeres mintavételekből meghatározandó állapotjelzők használata is régen használatos. Ugyanakkor már közel 30 éve felismerték a mintavételi sűrítéssel

kinyerhető információ-tömeg előnyeit, így már az 1990-es évek elején megjelentek az automata monitoring rendszerek csírái is (91. ábra), melyek már akkor is az alap fizikai-kémiai paramétereket mérték (pl. az angliai állomások a Temzén a pH, vezetőképesség, oldott oxigén, ammónia, nitrát, hőmérséklet értékeket, [48]).



**The River Thames catchment showing position of automatic quality monitoring stations**

91. ábra: A Temze folyón telepített automata vízmonitoring állomások [48]

Természetesen az időközben bekövetkezett technikai fejlődést követte a monitoring eszköz és módszerfejlesztés is (92. ábra).



92. ábra: A Temze számos pontján telepített „green box” zöld doboz nevű automatikus monitoring állomás [146]

Ugyancsak hasonló fejlődéstörténettel bírnak a felszíni vizekre telepített korai riasztási rendszerek. Ezeket elsősorban a nagyobb vízfolyások melletti ipari szennyezések megfigyelésére alkalmazták [147], így többek között a nagy európai folyók esetében, azaz

a Rajnán (Prof. Dr. Manfred Spreafico, 1994, 2009), Ile-de France, vagyis a Párizsi Régió kerülete területén (Ile-de France, Mousty *at al.*, 1990) az Elbán (IKSE, 1992) és természetesen az igénye megjelent a Dunán is (EPDRB, 1994).

Folyamatos monitoring állomások kialakítására és működtetésére találunk példát a legtöbb országban, így Ausztriában (2001), Belgiumban (1999).

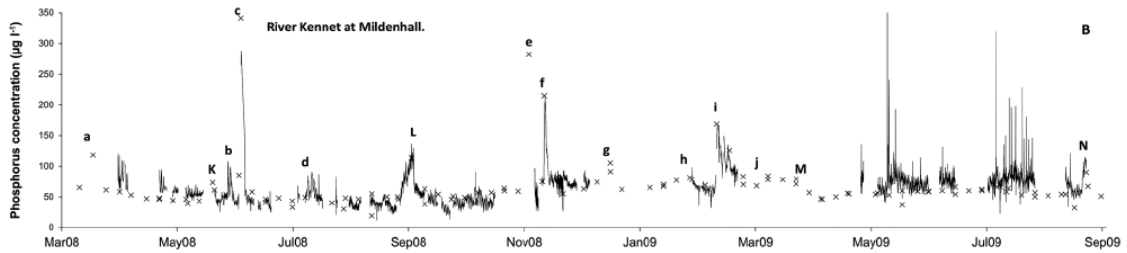
Az automatikus felszíni vízmonitoring rendszerek leírásaiból közös vonásként megállapítható, hogy elsősorban itt is az ún. alap fizikai-kémiai paraméterek mérésére fókuszálnak, ami kiegészülhet egy területspecifikus szennyezési jellemző méréssel (pl. az írországi Burrishoole vízgyűjtő automata állomásaiban alkalmazott sztenderd szenzorok: pH, vezetőképesség, oldott oxigén, vízhőmérséklet és vízszint mellett méri a lebegőanyag tartalmat is, [148]).

A Duna vízminőség változásának vizsgálatával rendszeresen számos publikáció és kiadvány foglalkozik [15],[69],[70],[71]. Természetesen a hazánkkal szomszédos Romániában is felmerült az automatikus monitoring állomásokon alapuló vízminőség ellenőrzés pl. a Bahlui River városi szakaszán [72]. A korai előrejelző rendszerek kiépítése is megjelenik pl. Szerbiában készült egy koncepció, mely négy automata állomás telepítését irányozta elő a Duna, Tisza és Száva folyókhoz.

A Tisza vízgyűjtő vízminőségének változását is szintén több tudományos mű, illetve kiadvány mutatta be [17],[16].

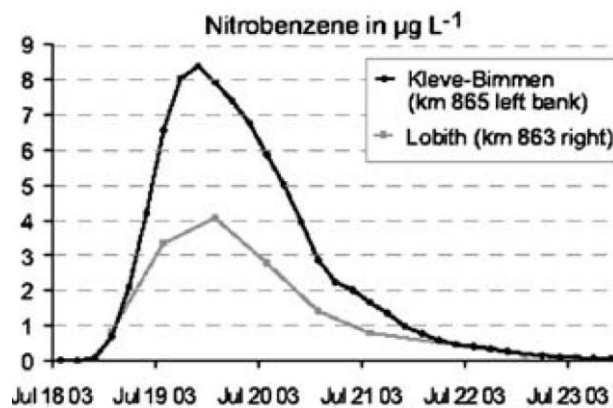
***A városi csapadék lefolyási viszonyok ismerete*** kiemelt figyelmet érdemel. A vízgyűjtő területekről lefolyó vízmennyiséggel szállított terhelésre vonatkozóan is ismerethiány van – VKI felé emisszióeltárt kell készíteni (EU IRÁNYELV). Az általános monitoring témához tartozó szakmai terület ismereteinek bővítését, megfelelő ütemezésű és mennyiségű mérési adatsor előállítását automata monitoring állomás alkalmazásával lehet biztosítani.

- A Veszprémi-Séd városi előtti és utáni mintavételi pontokra kihelyeztem két automata folyamatos monitoring állomást és a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően és is a fizikai-kémiai paraméterekre fókuszáltam. Így a mintavételi gyakoriság sűrítésével vizsgáltam a Veszprémi-Séd tápanyagháztartás (ammónium-N, nitrit-N, nitrát-N, ortofoszfát-P) paramétereinek koncentráció változását. Az óras mérési eredmények alapján elmondható, hogy az ammónium-N, nitrit-N koncentráció emelkedését csapadékhullás során történő bemosódás okozta, míg nitrát-N tekintetében különösen terhelt a Veszprémi-Séd, amelyre a csapadék hígító hatást fejt ki.
- A hatósági mintavételi időpontok (minta ritkítás) és a mérési adataim (minta sűrítés, 93. ábra) összevetésével alátámasztottam a hatósági mintavételezési eljárás helyességét a vízfolyások fizikai-kémiai paraméterekre vonatkozó átlagos állapotának jellemzéséhez, vagyis kielégítik a feltáró operatív monitoring által kitűzött célokat.



93. ábra: 18 hónapig tartó 60 perces intervallummal történő mintavétel a Kennet folyón [149]

A vízfolyások vízminőségi állapotának megállapításához a szélsőséges hatások felmérése egyre jobban előtérbe kerül, mint megoldandó probléma, mivel nincs elég információ ezen állapotokról. A vízfolyások tekintetében egyre lényegesebb szerepet kapnak a rövid időtartamú (kiszívfolyásoknál a nagy intenzitású csapadék okozta) terhelések vizsgálatai (94. ábra), valamint a lökésszerű szennyezőhullámok detektálása és dinamikájának elemzései.



94. ábra: Emelkedett koncentrációk a Bimmen-Lobith Nemzetközi Monitoring Állomáson [150]

- A Veszprémi-Sédre kihelyezett automata folyamatos monitoring állomás mérési eredményeiből meghatároztam, hogy a Veszprémi-Séd kiszívfolyás esetében az átlagos hullámcsúcs időtartam a rossz minősítési kategóriába is eljutó ortofoszfát-P terhelés esetén 3,5 óra, míg a gyenge minősítést elérő hullámcsúcsok átlagos időtartama a nitrit-N esetében 3,5 óra, a nitrát-N esetében 15 óra, míg az ortofoszfát-P esetében 13,7 óra.
- A Shannon-Nyquist mintavételi törvény alapján megállapítottam, a vizsgált tápanyagháztartás paraméterek szennyezőhullám csúcsainak detektálásához szükséges időtartam nitrit-N esetében 1,75 óra; nitrát-N esetében 7,5 óra; ortofoszfát-P esetében 6,8 óra.

Kiszívfolyásokra van a legnagyobb hatással az éghajlatváltozás okozta extrém időjárás és ezeknek a folyamatoknak a megismerésével hozzájárulok a szennyezési hullámok levonulás dinamikájának és karakterisztikájának, ezáltal a kiszívfolyások vízminőség állapotának részletesebb megismeréséhez.

***Terhelés vizsgálatokat végeztem a pontszerű szennyező források*** hatásainak megismeréséhez (pl. szennyvíztisztító telepek, csapadékelvezető csatorna kifolyója).

A kis szennyvíztisztító telepek működtetése során az előírt monitoring programterv teljesítése mellett már nincs kapacitásuk arra, hogy az egyedi eseteket és extrém időszakokat vizsgálják.

A várpalotai kis szennyvíztisztító telep nem rendelkezik online eszközparkkal a tisztítási technológia hatékonyságának monitorozására. A telep működésének vizsgálatát folyamatos monitoring állomás segítségével végeztem. A kiválasztott fizikai-kémiai paraméterek a szennyvíztisztítás fontos befolyásoló tényezőire vonatkoznak, így vizsgáltam a hőmérsékletet, pH-t, vezetőképességet, ammónium-N, nitrát-N és ortofoszfát-P koncentráció változását. Az automata monitoring állomást egy téli és egy tavaszi üzemelési időszakban telepítettem ki. Az on-line monitoring rendszer biztosította a szennyezési csúcsok detektálását, amelyek egy-két óráig tartottak és jellemzően éjszakai órákban, illetve a hétvégi időszakokban jelentek meg. A monitoring állomás által szolgáltatott adatok segítségével feltártam a hétvégi üzemeltetési problémát (pl. iszap elúszás), amely nem került volna felismerésre a szokásos heti kétszeri mintavétel alapján. A folyamatos monitoring mérőállomás szakaszos alkalmazása hozzájárulhat a hatékonyabb üzemeltetéshez azáltal, hogy jobban tervezhetővé tenné az iszapelvételt, így csökkentve a lebegőanyaggal távozó szerves anyag és tápanyag (N, P) koncentráció mennyiségét ezzel csökkentve a befogadó lökészerűen jelentkező terhelését.

***A Havária esetek kármentesítési*** munkáinak támogatása, illetve a ***harmadik alkalmazási területet*** képviselő ***Korai előrejelző rendszer (Early Warning Systems, EWS)*** speciális követelményeket támaszt.

Az Európai Unió Víz Keretirányelve a kormányzati felügyeleti szervek és jogalkotó testületek között Európa-szerte ösztönzi olyan vízminőségi megfigyelő rendszerek megjelenését, amelyek rendszeres időközönként megbízhatóan ellenőrizhetik a főbb vízminőségi paramétereket (95. ábra)

Ugyanakkor a várt monitoring célok elérése képzett személyzetet, megbízható műszereket igényel és hosszú távon magas laboratóriumi költségeket jelenthet. A VKI célkitűzéseinek eléréséhez ezért olyan költséghatékonyan üzemeltethető műszerek fejlesztésére van szükség, amelyek a fejlett technológiák alkalmazásával az automatizálás felé mozdulnak el a valós idejű mérések analitikus költségeinek csökkentése érdekében.

## There are a lot of other articles where the WFD calls for automatic monitoring stations.

|   |  |  |  |   |   |  |
|---|--|--|--|---|---|--|
| <b>Preamble</b><br><u>Statement</u><br>In addition to Directive and concrete impact prevent def   | <b>Article 1</b><br><u>Statement</u><br>In Article 1 t   | <b>Article 4</b><br><u>Statement</u><br>Article 4 is programme underline prevent def | <b>Article 7</b><br><u>Statement</u><br>Article 7 is drinking water Paragraph 3 water identified with the al | <b>Article 8</b><br><u>Statement</u><br>Article 8 ref waters. | <b>Article 13 (5)</b><br><u>Statement</u><br>Article 13 (5) s more detailed particular aspe | <b>Article 16</b><br><u>Statement</u><br>This article is concerned with strategies for combating water pollution. Paragraph (9) states: "The Commission may prepare strategies against pollution of water by any other pollutants or groups of pollutants, including any pollution which occurs as a result of accidents." |
| <b>Annex V</b><br><u>Statement</u><br>Annex V 1.1 s surface waters priority subst significant qual As well as ove undertake "ope Operational m objectives, cr The monitori pressures can          | <b>Annex VII</b><br><u>Statement</u><br>Annex VII lists the information which must be provided in a river basin management plan. It requires a list of the environmental objectives and the measures designed to achieve these objectives.<br><br>Specifically:<br><br>7. a summary of the programme or programmes of measures adopted under Article 11, including the ways in which the objectives established under Article 4 are thereby to be achieved;<br><br>7.8. a summary of the measures taken to prevent or reduce the impact of accidental pollution incidents. |  |  |   |   |  |
| Investigative monitoring is to be performed if the reasons for failure to achieve the environmental objectives are not known, and to establish the magnitude and impacts of accidental pollution. |  |  |  |   |   |  |

95. ábra: Az automata felszíni vízmonitoring állomások, mint az EU VKI része [143]

Különösen igaz ez a riasztási eseményekre vonatkozóan, ahol a valós idejű monitorozás fő célja a véletlen kiömlések okozta szennyezések hatásainak minimálisra csökkentése.

A 2006-ban indult Water Risk Management in Europe (WARMER) az EU hatodik keretprogramjából az IST-Environmental Risk Management (környezetvédelmi kockázatkezelési program) keretében finanszírozott egyik legnagyobb volumenű olyan kutatási projekt, amelynek célja az automatizált vízminőség-ellenőrzés valós idejű monitorozással történő megvalósítása során tapasztalt hiányosságok feltöltése volt. A projektet hét európai ország kilenc partnere közösen végezte és a szenzor alapú mérés technika ráépült az egyszerű, olcsó eszközök létrehozását megcélzó 2005-ös SEWING projektre (System of European Water monitoring). Itt már jelentős szerepet szántak a lokális adatgyűjtő egységnek, és mind a moduláris adatfeldolgozó, mind az internet alapú integrált vízszennyezés kockázat menedzsment szoftvernek.

Az aktuális nemzetközi szakmai közlemények alapján elmondható, hogy az automata vízminőség monitoring állomások esetében egyrészt az egyszerűen (költséghatékonyan), de megbízhatóan mérhető vízminőségi paraméterekre helyezték a hangsúlyt. A WARMER projekt esetében használt szondák által mért fizikai-kémiai paraméterek [151]: pH/Redox potenciál, hőmérséklet/vezetőképesség, zavarosság, oldott oxigén, klorofill-A, vízhozam. Kémiai paraméterek:  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}/\text{Cl}^-$ ,  $\text{Pb}/\text{Cd}/\text{Cu}$ ,  $\text{Hg}/\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{NH}_3/\text{PO}_4$ , Fenol. Megállapítható, hogy ez a paraméter kör megegyezik a hazai gyakorlattal.

Másrészt a sztenderdek mondható mérési eljárások elvárt mérési tartományai várják a mért értékek körét, így a szerbiai nagyfolyókra (Duna, Tisza, Száva) tervezett monitoring állomás mérőberendezéseinek technikai specifikációja [152] a következő értékeket tartalmazza:

vízszint: 0-10 m, vízhőmérséklet: 0-50 °C, pH érték: 0-14,  
vezetőképesség: 0 – 1 x 10<sup>-1</sup> S/m, oldott oxigén: 0 – 20 x 10<sup>-6</sup> kg/L.

Az EWS két fő feladata a riasztás és a detektálás [147]. A riasztásnak a víz felhasználói körét kell mielőbb elérnie, hogy időben intézkedni tudjanak, míg a detektálásnak kell biztosítania a nyomonkövetést.

- A 2010. évi vörösiszap katasztrófát követően a Torna-patakon Devecserben az egy éves időszakban az általam üzemeltetett „kvázi” akkreditált folyamatos monitoring állomás működtetése során a fél, majd egy órás mérési gyakoriság, illetve a riasztási szint meghatározása (pH 9,5) biztosította a beavatkozások hatékonyságának nyomonkövetését.
- A Tiszai riasztási jelzőrendszer működtetési tapasztalataira építve, azokat kiterjesztve kidolgoztam hazánk egyik legkritikusabb vízgyűjtő területére, a teljes Tiszai vízgyűjtőre vonatkozó EWS riasztási mérőállomás hálózat, mint költséghatékony, fenntartható korai előrejelző rendszer koncepcióját. Figyelembe vettem a vízgyűjtőterület méretét, az összefolyási pontokat, a határt metsző szakaszokat és a pontforrásokat. A potenciális kockázatot jelentő és specifikus szennyezőforrások területi jellegzetességeire építve két lehetséges monitoring hálózatnak a koncepcióját vázoltam fel: egy 84, illetve egy – szűkített - 40 vízmonitoring állomásból álló EWS hálózatot.  
A hálózati struktúra kidolgozásához kapcsolódóan összeállítottam a monitoring helyekhez igazított olcsó, robusztus eszközökkel mérhető indikátor paraméterek listáját.

***Kutatásaim másik területe*** a felszíni vízmonitoring fókuszainak az adatelemzés segítségével történő költséghatékony támogatása, mely jellemzően indikátorjellemzők meghatározására irányul (osztályozó algoritmussal csoportosított hasonló víztestek állapotára történő következtetés, szennyezési profilból levezetett mérendő indikátor paraméterek).

Meghatároztam a hazai vízfolyások *terület-specifikus szennyezési profiljait*. Kimutattam, hogy az adatbázisok alapján (2010. évi; VGT2) hazánk vízfolyásainak a biológiát támogató fiziko-kémiai minősítését dominánsan a tápanyag (növényi) háztartás (NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, ÖN, PO<sub>4</sub>-P, ÖP) csoportja határozza meg. Régióként a minősítést meghatározó komponens csoportok eloszlás vizsgálatával meghatároztam melyik térségben melyik komponens csoport határozza meg a felszíni vízfolyások vízminőségi állapotát, amiből a határozottan kirajzolódott hazánk terület-specifikus regionális szennyezési profilja.

Vizsgáltam a *többszörös statisztikai módszerek* adatelemzési alkalmazási lehetőségeit és korlátait a felszíni vizek minősítését meghatározó biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterekre vonatkozóan.

A víztestek vízminőség alapján történő osztályozásánál az egyik legfontosabb feladat a különböző paraméterkombinációkon alapuló mintázatok felismerése, elemzése és összehasonlítása. Az adatelemzésre használt statisztikai módszerekről elmondható, hogy



rendszerint megfelelő hatékonysággal kimutatják a keresett információt és kellően pontosan írják le a vizsgálandó folyamatot, ha elegendő megfigyelés áll rendelkezésre.

Ugyanakkor az eredmények alapján azt a következtetést tudtam levonni, hogy a VKI csoportátlag alapú minősítése információvesztéssel jár és elfedi a paraméterek értékei közötti különbségeket, amely probléma a statisztikai módszerek alkalmazása során is megjelenik. Ezért is fogalmazódott meg az az igény, hogy egy új, olyan csoportosító eljárást vezessünk be, mely a minősítést meghatározó paraméterek struktúráját jobban tükrözi, és ezáltal mutatja ki, osztályozza az egymáshoz hasonlóknak minősülő vízfolyásokat.

Helytelen következtetésekre juthatunk továbbá a kiugró és extrém értékek jelenléte esetén, amelyeknek egyedi vizsgálatát végre kell hajtani. Különösen fontos annak eldöntése, hogy egy adott paraméter értékei olyan változékonysággal bírnak, hogy a kiugró vagy extrém értékek elfogadhatók, vagy esetleg adatrögzítési problémáról van szó.

A többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásánál további feltétel, hogy az adatok táblázata hiánytalan legyen. Ez azt jelenti, hogy az elemzésbe bevett összes mintavételi egységre az összes változó értékét ismernünk kell. Az elemzések előkészítő lépéseként a többváltozós statisztikai módszer alkalmazási feltételeként hiánytalan adatbázist állítottam elő. Esetemben ugyanakkor viszonylag sok vízfolyás mért adataiból képzett átlag egy vagy akár 50%-a is hiányzott a fizikai-kémiai paraméter mért értékeinek, így ezen paraméterre vonatkozó adatsort, és egyúttal teljes vízfolyásokat a vizsgálatból ki kellett volna hagynom. Ezért a sorok (víztestek) kivétele előtt először megvizsgáltam, hogy nem hagyhatók-e ki oszlopokat (azaz fizikai-kémiai paramétereket), így csökkentve az egyes hiányzó értékek számosságát.

A paraméterszám csökkentésére a paraméter korreláció kimutatását, mint az egymással korreláló paraméterek kiszűrésének eszközt használtam fel. A feladatot, a főkoordináta analízist (*Principal coordinate analysis*, PCoA) a SYN-TAX 2000 programcsomag segítségével végeztem el, mely folyamatot részletesen a FÜGGELÉK 2 fejezetben ismertetem.

A főkoordináta analízis azt mutatta, az oxigéntelítettség szoros korrelációt mutat az oldott oxigénnel, valamint az összes foszfor (TP) az ortofoszfát-P paraméterrel, így két paramétert elhagyva az elemzéseket 11 biológiát támogató fizikai-kémiai paraméter alapján végeztem el. Azaz a rendelkezésemre álló kétdimenziós éves vízfolyás paraméter adattáblából tehát mind oszlopokat (2 paramétert), mind sorokat (60 víztestet, ami a számosság 16%-át jelentette) elhagytam.

A futtatási eredményei alapján az a következtetés vonható le, hogy azok a víztestek kerültek a közepes és a gyenge kategória határára, ahol a minősítéshez tartozó csoportátlag értékek is a minősítés határon voltak (pl. csoportátlag értéke 2,2-2,6 között mozgott), de az elkülönítésükre nem volt eszköz.

Az előzőekben említett problémák orvoslására és igények kielégítésére (a csoportosítás-alapú minősítési rendszer előkészítéséhez) egy széleskörűen alkalmazható *diszkrét matematikai osztályozó módszer és szoftver* (Boolean analysis vagy BOOL-AN) adaptálásával egy új vízminőségi adatok osztályozására és a határesetek kimutatására szolgáló eljárást vezettem be, mely támogatja a jó és a nem- megfelelő állapot határán lévő vízfolyások kijelölését és a hasonló víztestek összevonását. A módszer alkalmazhatóságát az egyes Felügyelőségekhez tartozó víztestek paraméter adataival futtatott tesztekkel és a VKI vízminősítésének értékeivel történő összevetésekkel igazoltam.

Előzetesen a feladat előkészítéseként kidolgoztam a vízminőségi adatok diszkrét matematikai formába való átkódolásának egy célszerű módját, figyelembe véve a paraméterek közötti kapcsolatokat és a Boole-függvények Iteratív Kanonikus Formáján (ICF) alapuló algoritmus sajátosságait.

Az ICF módszer segítségével a vizsgált adathalmazokban rejtett strukturális jellegzetességek is kimutathatók, az ICF algoritmus egyértelműen meghatározza a mintázatot. További előnyös tulajdonsága, hogy a vizsgált adatszerkezetet kompakt formában, matematikai értelemben vett „ujjlenyomatok” vagy szerkezeti invariánsok alapján tömöríti, így az összehasonlítások egyszerűbbé válnak.

Azért is célszerű volt bevezetni ezt az alternatív módszert, mert hatékonyabbá teszi a határesetek kiszűrését, valamint a különböző módszerekkel és/vagy metrikákkal kapott csoportosítások, osztályozások ellenőrzését és összevetését. Egymással ellentmondó eredmények esetén lehetőség van a víztestek vízminőségen alapuló csoportosítási eredményeinek ellenőrzésére, vizualizációjára paraméterkombinációk szintjén ICF-gráfok segítségével. Ez lehetővé teszi részletesebb elemzések elvégzését és a víztest mintázatok dendrogramokon és gráfokon való együttes vizualizációjával segíti az adatelemzési eredmények szakértők általi könnyebb értelmezhetőségét.

**További célom** a vízminőséget meghatározó paraméterkészlet bővítése az EU-s követelmények alapján meghatározott biológiai elemekkel, veszélyes- és elsőbbségi anyagokkal, melyek háttér teszteléseit a sokváltozós statisztikai és diszkrét matematikai módszerek kombinálásával tervezem elvégezni. A módszertan továbbfejlesztése hozzájárulhat a csoportosítás-alapú minősítési rendszer hazai víztestekre történő kijelölési módszertanának kidolgozásához, valamint az új vizsgálati rendszerünk nemzetközi elfogadottságának biztosításához.

A vizsgálataim során azt is kimutattam, hogy a néhány órás szennyezési hullámcsúcsok 73 %-át az időjárási körülmények váltották ki, azaz a vízállás emelkedése egyértelműen felhasználható indikátorként, így jövőbeli könnyen kivitelezhető költséghatékony alkalmazási lehetőségként javaslatot tettem a vízmérce pontokhoz kapcsolt automata mintavevők telepítésével bővített állomások kialakítására.

## 13. ÖSSZEFOGLALÁS

Disszertációmban **integrált megközelítést alkalmaztam** a vízmonitoring és a vízminősítés területének összefüggéseire vonatkozóan. A kutatási munkám során a lokális mérésektől eljutottam a nagyobb vízvédelmi területekig. A Veszprémi-Séden végzett pont mintavételek eredményeiből kiindulva kidolgoztam az automata folyamatos mobil monitoring rendszer specifikált alkalmazásának lehetőségeit, különös tekintettel azokra a pont és diffúz szennyezés terhelésekre, amelyek hirtelen és lökészerűen érintik a vízfolyásokat. Az így szerzett tapasztalataimra építve a Tisza vízgyűjtő területére egy moduláris, fenntartható működtetésű monitoring állomásokból álló korai előrejelző riasztási rendszer (EWS) hálózatát dolgoztam ki.

A Veszprémi-Séd városi szakaszán **mérésekkel igazoltam**, hogy az eseti mérések eredményei egy pillanatképet adtak az éppen aktuális állapotról és csak részben választ a véletlenszerűen detektált szennyezőhullám levonulás dinamikájának és mértékének meghatározásához. A pont mintavételekkel 2009-2016 években végzett felmérés alapján megállapítottam a városra jellemző tipikus antropogén hatásokat és a problémákat. Az éves átlageredmények azt mutatták, hogy a városi szakasz vízminőség szempontjából további szakaszokra osztható. A biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek eredményei alapján a Veszprémi-Séd városi szakaszának nem megfelelő a vízminőség állapota. A nem megfelelő állapotot a komponens csoportok közül a tápanyagháztartás (nitrát-N, ortofoszfát-P) okozza.

A Veszprémi-Séd és a várpalotai szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizének példáján keresztül mutattam be, hogy a jól definiált feladatokhoz alkalmazott **automata folyamatos mobil monitoring rendszer** segítségével kapott információk hozzájárulnak a szélsőséges időszakok folyamatainak megértéséhez.

A **Veszprémi-Séd város előtti és a város utáni pontjára** folyamatos mobil monitoring állomást telepítettem. Így folyamatos méréssel detektáltam az egy-két órás terhelések okozta csúcsok nagyságát és levonulásának az idejét. A mérőállomások által mért fizikai-kémiai paraméterek: hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság; a város utáni szakaszon mért paraméterek: hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oldott oxigén, zavarosság,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ .

A **várpalotai szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizére telepített** folyamatos monitoring állomás segítségével olyan időszokról kaptam információt, amelyre a kis szennyvíztisztító telep működtetése mellett az üzemeltetőknek már nincs kapacitásuk. A mérésekkel sikerült az iszapelúszás problémájának a nagyságát és időbeliséget detektálni. Az ammónium-N, zavarosság, vezetőképesség, ortofoszfát-P koncentráció emelkedés mutatta az iszapelúszást, majd a telep iszapelvétele után lassan csökkentek a koncentráció értékek, amit először az ortofoszfát-P koncentráció csökkenése jelzett.

**Megállapítottam**, hogy a várpalotai kis szennyvíztisztító telep működése olyan ciklikus szennyezési hullámokat jelent a befogadóra (bányatavak), amelyeket a szabványos mintavételi programok keretében nem képesek kimutatni.

A folyamatos monitoring eredmények alapján **kimutattam**, hogy időről-időre iszap elúszás következett be. Ezekben az esetekben a legjellemzőbb volt a hétvégi koncentráció kiugrás az ammónium-N (5 mg/l), zavarosság (1000 NTU), ortofoszfát-P (16 mg/l) esetében. A hétvégi koncentráció emelkedés szombaton délután kezdődött és hétfőn délelőtt csökkent vissza, amikor is a telepen megtörtént az iszapelvétele. Így a folyamatos mérési eredmények hozzájárulhatnak a hatékonyabb üzemeltetéshez azáltal, hogy jobban tervezhetővé tennék az iszapelvételeket, így csökkentve a lebegőanyaggal távozó szerves anyag és tápanyag (N, P) koncentrációját és a befogadóban lökésszerűen jelentkező terheléseket

A 2010. évi **vörösiszap katasztrófa bekövetkezése után automata monitoring állomást** (AVITAR) működtettem egy éves időtartamban (2010. december 15 – 2011. október 31. között) a Torna-patakon Devecserben. Hátterül kidolgoztam és bevezettem egy hatósági eljárásban elfogadott havária esetére alkalmazható kvázi akkreditált folyamatos mobil monitoring rendszer üzemeltetési módszertani elemeit, amiket az adott havária eseménynél történt alkalmazással igazoltam. A monitoring állomás üzemeltetésével - a módszer szerint eljárva - támogattam a kármentesítési munkálatokat, mivel a mérési eredmények biztosították a beavatkozások hatásainak a részletes nyomon követését. A mérések a kért két kiemelt paraméterre, a pH-ra és a vezetőképességre vonatkoztak. A helyreállítási munkákon túl más feladatokhoz is segítséget nyújtottak, pl. visszajelzést lehetett adni a MAL Zrt-nek, hogy a vörösiszap zagy savazásának a beállítását módosítsák, vagy a Torna-patak erősödő vörös színét és a pH emelkedését nem további szivárgás okozza, hanem a területen végzett mederkotrás. A kimutatásaim alátámasztották, hogy a rendelkezésre álló folyamatos monitoring eszközök a megadott keretfeltételekkel bevonhatóvá tehetők a hatósági mérések közé.

Kidolgoztam a **korai előrejelző, riasztási monitoring** [Early Warning System (EWS)] **rendszer felépítésének módszertanát és alkalmaztam a Tisza vízgyűjtőjére**. A Tisza vízgyűjtő területének jellegzetességeire építve egy 84 monitoring állomásból álló hálózatot terveztem. A monitoring hálózat részei: ARS monitoring állomások száma 50; 3000 km<sup>2</sup>-es vízgyűjtő szintű állomások száma 16, határtmetsző állomások száma 14 és a meglévő négy Tiszai Monitoring Állomás. Az öt országot érintő vízgyűjtő esetében a monitoring állomások számát tekintve kiemelkedő jelentőségű a költséghatékony működtetés úgy, hogy az elvárt információk megbízhatóan rendelkezésre álljanak. Ezért elvégeztem az állomások helyszíneinek egyedi vizsgálatát és kidolgoztam egy összefolyási pontokra illesztett 40 monitoring állomásból álló hálózatot. Ehhez összevonást alkalmaztam, így az ARS pontokat 32 állomás számmal, a 3000 km<sup>2</sup>-es vízgyűjtő szintű állomások számát pedig 12 állomással csökkentettem. A nemzetközi vízgyűjtő esetében a határtmetsző állomások (14 állomás) és a négy meglévő Tiszai Monitoring állomás megtartása adott volt. Az EUSDR Priority Area 4 7th Steering Group találkozóján is bemutatott koncepciójú EWS hálózat kiegészítő információt szolgáltat

a folyamatos mérési adatsoraival, illetve kritikus helyzetek időbeli észlelését biztosíthatja.

A vízminőségi fizikai-kémiai paraméterek éves átlagértékeiből kiindulva elkészítettem a hazai **vízfolyások területspecifikus szennyezési profilját**. Ennek eredménye, hogy **térségenként kirajzolódik, hol melyik** komponens csoport (savasodás, só-, oxigén-, tápanyagháztartás) adta a víztestre jellemző biológiát támogató fiziko-kémiai minősítést. Így a monitoring szempontjából ezeknek a paramétereknek, mint **indikátor paramétereknek a mérését javaslom**. A területekre jellemző szennyezési profilok felrajzolásával azonosíthatók azok a térségek, ahol az antropogén szennyezések részletesebb felmérésére, az intézkedési tervek hatékonyságának ellenőrzésére bevonható lehetne a folyamatos monitoring rendszere.

Egy diszkrét matematikai megközelítésen alapuló osztályozó módszer és szoftver (BOOL-AN) adaptálásával a vízminősítés területére egy új, **vízminőség alapú osztályozó eljárást vezettem be, mely támogatja a jó és a nem megfelelő** állapot határán lévő vízfolyások kijelölését, ezzel segítve az intézkedési tervek kidolgozását, valamint a hasonló víztestek **összevonását, ezzel pedig hozzájárulva az optimális monitoring hálózatok kialakításához**. Javaslatom szerint az általánosan használt statisztikai módszereket kombinálni célszerű a diszkrét matematikára épülő ICF vízminőség alapú osztályozó eljárással. Az **új típusú vízminőség osztályozó** eljárást 380 vízfolyáson teszteltem. Az ICF eljárással és BOOL-AN szoftverrel kapott eredményeket hagyományos statisztikai módszerrel (SYN-TAX) és a VKI minősítés eredményeivel validáltam. Az ICF eljárás vízminősítési területre történő adaptációjához továbbfejlesztési elképzelést (hipotézist) specifikáltam és a hipotézis tesztet kis mintán (8 vízfolyáson) elvégezve ellenőriztem a pozitív eredményt (FÜGGELÉK 3).

## **14. EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA ÉS TOVÁBBI FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK**

Munkám gyakorlati visszaigazolását tükrözi a már említett 2010. évi vörösiszap katasztrófát követő egy éves időszakban „kvázi” akkreditált folyamatos monitoring állomás üzemeltetésére vonatkozóan a kármentesítést végző hatósággal kötött szerződés.

Több kiemelt nemzetközi fórumon is szakmai állami felkérésre ismertethettem az automata állomásokon alapuló általános korai riasztási rendszerrel kapcsolatos eredményeimet:

- Duna Makro Regionális Víz Konferencia, 2013.09.11.12, Budapest: Dr. Török Andreával tartott közös előadás során bemutattam az általam kidolgozott főbb módszertani elemeket.
- EUSDR Priority Area 4 7th Steering Group (2014.03.28, Budapest) és
- Tisza Group (2014.11.26-27, Szolnok): bemutattam a teljes Tiszai vízgyűjtőre vonatkozó korai riasztási rendszer (EWS) mérőállomás hálózat koncepciót.

Az ICF módszer lehetőségeit kihasználva, további célom a vízminőséget meghatározó paraméterkészlet bővítése biológiai elemekkel, veszélyes- és az elsőbbségi anyagokkal. A bővített paraméterkészleten alapuló teszteléseket a sokváltozós statisztikai és diszkrét matematikai módszerekkel kapott eredmények összevetése alapján tervezem elvégezni. Ez egyrészt lehetővé teszi az alkalmazott eljárások és szoftverek továbbfejlesztését, másrészt hozzájárulhat a csoportosítás-alapú minősítési rendszer hazai víztestekre történő kijelölési módszertanának kidolgozásához, valamint az új vizsgálati rendszerünk nemzetközi elfogadottságának biztosításához.

## 15. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet a belém vetett bizalmáért témavezetőmnek **Prof. Dr. Rédey Ákos** egyetemi tanárnak, aki lehetőséget biztosított számomra, hogy szakmailag kiteljesedhettem mellette és olyan feladatok megoldásában vehettem részt (ÖKORET Tudásközpont, KMOP AVITAR és SZETIKO), amelyek tapasztalatait sikerrel kamatoztathatom a jövőben.

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek **Dr. Jakó Éena** tudományos főmunkatársnak, aki bevezetett az általa kifejlesztett módszer rejtelseibe és vele együtt gondolkodva iránymutatásával sikerült az eljárást adaptálnom a vízminőség területére.

Köszönettel tartozom **Dr. Domokos Endre** intézetvezető úrnak, aki támogatta és lehetővé tette, hogy befejezzem a doktori munkámat.

Köszönettel tartozom Pannon Egyetem, Általános és Szeretlen Kémiai Intézeti Tanszékről **dr. Zsilák Zoltán adjunktusnak**, aki sok éven keresztül gyakorlati tapasztalataival és tanácsaival ellátott mind a terepi mind a laboratóriumi munkáim során.

Köszönettel tartozom a romániai Gheorge Asachi Technical University of Iasi egyetemről **dr. Igor Cretescu professzornak**, akinek számos nemzetközi publikációm elindítását köszönhetem és akihez bátran és gyakran fordulhattam szakmai tanácsokért.

Köszönettel tartozom a Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA kutatóprofesszorának, **dr. Cserfalvi Tamásnak** az analitikai monitorok elmélete és gyakorlati kérdésköreivel kapcsolatos mély ismereteinek megosztásáért, szakmai segítségért.

Köszönet illeti a **környezetmérnök hallgatóimat**, akik az értekezésben bemutatott Veszprémi-Séd évről-évre történő felmérésében közreműködtek.

**ÖKORET Monitoring Laboratórium Mintavételi munkacsoportomnak**, akik részt vettek az akkreditált laboratórium működtetésében és akik a Torna-patakra telepített monitoring állomás működtetésének a háttérmunkáiban segítettek.

Köszönettel tartozom az általam megkeresett **Tóth Tünde** térinformatikai szakértőnek, akivel a Tisza vízgyűjtő területére javasolt monitoring hálózatra vonatkozóan – specifikációim szerint iteratív módon - a logikai összevonási lehetőségek figyelembevételével leszűrtük a monitoring hely struktúrákat és elkészítettük a részletes domborzati- és lefolyásmodelleket magába foglaló GIS alapú térképi megjelenítés ábrákat.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni **Családomnak** a folyamatos támogatásukat, türelmüket, amellyel segítettek a céljaim elérésében

## 16. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. **10/2010 (VIII. 18) VM** rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértkeiről és azok alkalmazásának szabályairól hatályos joganyag alapján
2. **31/2004 (XII.30.) KvVM** rendelet a felszíni vizek megfigyelésének és állapotértékelésének egyes szabályairól hatályos joganyag alapján
3. **1127/2010. (V. 21) Kormány Határozat** Magyarországi vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről
4. **2000/60/EC Water Framework Directive (WFD)**; On 23 October 2000, the "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy" EU Water Framework Directive (WFD).
5. **2008/105/EC Directive of the European Parliament** and of the Council of 16. December 2008 on environmental quality standard in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council
6. **2013/39/EU Directive of the European Parliament** and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance
7. **2009/90/EK Irányelv** a vizek állapotának kémiai elemzésére és figyelemmel kísérésére vonatkozó műszaki előírásoknak a 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv szerinti megállapításáról
8. **2015/495 Végrehajtási Határozat** A 2008/105/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv alapján a vízpolitika keretében uniós szintű monitoring alá helyezendő anyagok megfigyelési listájának összeállításáról
9. **220/2004 (VII.21.) Kormány** rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
10. **28/2004 (XII.25) KvVM** rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértkekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
11. **221/2004 (VII.21) Kormány** rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól
12. **24/2004 (XII.18) KvVM** rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértkekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
13. **25/2002 (II.27) Kormány** rendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és tisztítási Megvalósítási Programról
14. The Council Directive **91/271/EEC concerning** urban waste-water treatment was adopted on 21 May 1991. on-line elérés:  
[http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index_en.html)
15. **The Danube River Basin District Management Plan, Part A (2015):, Basin-wide overview**, Update, 2015. ICPDR-International Commission for the Protection of the Danube River pp 164
16. **Tisza River Basin Analysis (2007):** Summary Report- A call for action: Published by ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna International Center, DO412 on-line elérés:  
[https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/tisza\\_report\\_summary\\_01\\_07.pdf](https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/tisza_report_summary_01_07.pdf)



17. **Integrated Tisza River Basin Management Plan (2011)**: Published by ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna International Center, DO412 on-line elérés:  
[https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/Uploaded%20-%20ITRBM%20Plan%20-%20Jan%202011\\_V2GWcomprev%20Okt2011.pdf](https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/Uploaded%20-%20ITRBM%20Plan%20-%20Jan%202011_V2GWcomprev%20Okt2011.pdf)
18. Inventory of Potential **Accidental Risk Spots in the Danube River Basin** (2001;2003): Prepared by the ARS-ad-hoc Expert Panel of the AEPWS EG /icpdr, November 2001 és Final Report of the UNDP/GEF Danube Regional Project, Component 2.3-2/2.3-3 Support for the Extension of Accident Risk Spots Inventory and Preventive Measures, March 5, 2003)
19. Map 8: Potential Accident Risk Spots (2005): (WRI 5-6, WRI 6-7, WRI 7-8, WRI 8-9) Danube River Basin District; Vienna, June 2005, ICPDR on-line elérhetőség: [https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/Map08\\_Potential\\_Accident\\_Risk\\_Spots.pdf](https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/Map08_Potential_Accident_Risk_Spots.pdf)
20. Regional Inventory of Potential Accidental Risk Spots in the Tisa catchment area of Romania, Hungary, Ukraine and Slovakia (2000): Prepared by the Permanent Secretariat of the ICPDR in cooperation with Zinke Environment Consulting for Central and Eastern Europe, Vienna August, 2000 on-line elérés: <http://www.zinke.at/ICPDR-TisaARS%20WWW.htm>
21. Industrial Hot Spots Tisza river Basin (2004): on-line elérés: <http://www.grida.no/search?query=industrial+hot+spots+tisza+river+basin>
22. Kétoldalú határvízi Egyezmények
  - Ausztria – 1959. évi 32. törvényerejű rendelet, 1985/17. Osztrák-magyar szerződés
  - Szlovákia – 55/1978. (XII. 10.) MT rendelet, 1999/17. Nemzetközi Szerződés
  - Szerbia – 1995. évi egyezmény a Magyar Népköztársaság és a Jugoszláv Szövetségi Népköztársaság Kormánya között
  - Ukrajna – 117/1999. (VIII. 6.) Korm. rendelet, 1993/11. Nemzetközi Szerződés
  - Románia – 196/2004. (VI. 21.) Korm. rendelet, 2001/9. Nemzetközi Szerződés
23. Water Quality in the Danube River Basin-2013, TNMN-Yearbook 2013, Published by: ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, Overall coordination and preparation of the TNMN Yearbook and database in 2015: Lea Mrafkova, Slovak, Hydrometeorological Institute, Bratislava in cooperation with the Monitoring and Assessment Expert Group of the ICPDR. Editor: Igor Liska, ICPDR Secretariat, 2015 <https://www.icpdr.org/main/publications/tnmn-yearbooks>
24. International Operations Manual for PIACs of the Danube AEWS, International Operations Manual for Principal International Alert Centres of the Danube Accident Emergency Warning system, Published by: ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River, 2014 <https://www.icpdr.org/main/activities-projects/aews-accident-emergency-warning-system>
25. VGT1 (2010): A Duna-vízgyűjtő magyarországi része Vízgyűjtő-Gazdálkodási terv, 2015.; 2016 április, Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány u. 1/d; Elérhetősége: [www.ovf.hu](http://www.ovf.hu); [www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu)
26. VGT2 (2015): A Duna-vízgyűjtő magyarországi része Vízgyűjtő-Gazdálkodási terv, 2015.; 2016 április, Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány u. 1/d; Elérhetősége: [www.ovf.hu](http://www.ovf.hu); [www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu)

27. VGT2\_8-15 melléklet (2015): A Duna-vízgyűjtő magyarországi része; 8-15 melléklet: Terhelhetőség meghatározása/Módszertani útmutató a felszíni vizek vízminőség-szabályozásának tervezéséhez, a kibocsátási határértékek megállapításához; készítette: Dr. Clement Adrienne, BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, 2015 október.
28. 1-13 Észak-Mezőföld és Kelet-Bakony (2010): közreadja a Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Közép-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, 2010 április
29. 1-13 Észak-Mezőföld és Kelet-Bakony Vízyűjtő-gazdálkodási Terv; Kiadja: Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2016 április, Elérhetőség: Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 8000 Székesfehérvár, Balatoni út 6, [www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu)
30. Jelentős Vízgazdálkodási Kérdések (2007): 1-13 Észak-Mezőföld és Kelet-Bakony tervezési alegység, Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Székesfehérvár, 2007 pp 1-16
31. 1-4 Marcal tervezési alegység (2016): kiadta Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2016. április. on-line elérhetőség: [http://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/87AEC60B-330F-46BC-83AF-EE47EE51CADA/VGT2\\_1-4%20Marcal\\_vegleges.pdf](http://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/87AEC60B-330F-46BC-83AF-EE47EE51CADA/VGT2_1-4%20Marcal_vegleges.pdf)
32. 1-4 Marcal tervezési alegység (2010): Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Észak-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, 2010. április
33. „Jelentős Vízgazdálkodási kérdések 1-1-3 Marcal tervezési alegység, Győr, 2007. november, Janák Emil igazgató on-line elérhetőség: [http://www2.vizeink.hu/files/vizeink.hu\\_0015.pdf](http://www2.vizeink.hu/files/vizeink.hu_0015.pdf)
34. A Torna-patak és vízgyűjtője területi vízminőségi kárelhárítási terve, 2001. június Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság
35. Jelentés (2006): Vállalkozási szerződés a Víz Keretirányelv végrehajtásának elősegítése II. fázis 3. előrehaladási Jelentés: Víz Keretirányelv végrehajtásának elősegítése II fázis (Jelentés a 11 és 12 feladatokról) II. Felszíni vizek kémiai állapota, Budapest, 2006. október hó, 11. feladat: Referencia viszonyok és a jó állapot a mintaterületen levő víztestekre 12. feladat: A mintaterületen található víztestek jelenlegi állapotának jellemzése p 65 oldal; Közreműködők: dr. Clement Adrienne (BME VKKT); Kovács Ádám Sándor (BME VKKT); Bácskai György (EVI-QUA Bt.) Budapest, 2006 október on-line: <http://www3.vizeink.hu/files/319mell.pdf>
36. Jelentés (2006): Vállalkozási szerződés a Víz Keretirányelv végrehajtásának elősegítése II. fázis 3. előrehaladási Jelentés: Referenciaviszonyok és a jó állapot a mintaterületen lévő víztestekre, a víztestek jelenlegi állapotának jellemzése, I. Felszíni vizek biológiai állapota (zárójelentés a 11 és 12 feladatokról), Készítette: BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Intézet, Budapest, 2006. október hó, p 86 oldal, Budapest, 2006 október, on-line <http://www3.vizeink.hu/files/318mell.pdf>
37. BME VKKT (2004): A fenntartható vízgazdálkodás tudományos megalapozása az EU Víz Keretirányelv végrehajtásának elősegítésére: Az ökológiai minősítés kérdései , BME VKKT témabeszámoló. Kézirat
38. RAGACS (2006): „Komplex monitorozó rendszer és adatbázis kidolgozása különböző környezetterhelésű kisvízfolyásokon az EU VKI ajánlásainak figyelembe vételével”, című K+F projekt zárójelentése.
39. Somlyódy László (szerkesztő): (2011) Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest 2011, ISBN 978-963-508-608-5 pp

40. Somlyódi László (szerk), (2000): A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, Magyar Tudományos Akadémia, Vízgazdálkodás Tudományos Kutatócsoportja, Magyarország az ezredfordulón, ISBN 963-508-176-6 p 369 oldal
41. Katona Emil (1989): A vízminőség-szabályozás kézikönyve; Budapest, Aqua Kiadó pp 463 oldal, ISBN 963 602 459 6
42. David Freedman, Robert Pisani, Roger Purves (2005): Statisztika, TYPOTEX, Budapest, 2005, ISBN 963 9548 63 4
43. Dolgosné Kovács Anita (2008): Antropogén tevékenységek hatásainak megjelenése a Dráva és főbb hazai mellékvízfolyásainak vízminőségében, PhD. értekezés, PTE TTK Földtudományok Doktori Iskola, Pécs, 2008
44. Mátrai Ildikó (2013): Baja környéki vizes élőhelyek helyreállításának tájökológiai vizsgálata, PhD értekezés, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományok Doktori Iskola, Pécs, 2013
45. Szlepák Emőke (2010): Kis vízfolyások komplex monitoring rendszerének kidolgozása a Galga patak példáján; Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Doktori (Ph.D.) értekezés, Gödöllő, 2010
46. Nagy Zsuzsanna (2007): Biológiai elemek állapotát befolyásoló főbb hidromorfológiai tényezők meghatározása magyarországi kisvízfolyásokra, Kertészettudományi Doktori Iskola, Budapest Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, Doktori értekezés pp 150, Budapest, [http://phd.lib.uni-corvinus.hu/282/1/nagy\\_zsuzsanna.pdf](http://phd.lib.uni-corvinus.hu/282/1/nagy_zsuzsanna.pdf)
47. Türk Gábor (2016): Vízminőség-vizsgálat a Lónyay-főcsatornán és a Tisza Tiszabercel-Tokaj közötti szakaszán, Debreceni Egyetem, Természettudományi Doktori Tanács, Földtudományi Doktori Iskola, Debrecen, 2016 pp. 163 oldal
48. Ian Martin Griffiths (1991): Automatic River Quality Monitoring, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Biology and Biochemistry, Brunel University, pp 414 oldal, on-line: <http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/7870>
49. Clement Adrienne (2004): A foszforterhelés meghatározása és csökkentésének hatása sekély tavak foszforforgalmára, Ph.D. értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízi Közmű és környezetmérnöki Tanszék, pp. 136 oldal
50. László, F. (1998) "Water quality data collection and sharing between Hungary and neighbouring countries" In T. Naff (ed.) Managing Environmental Degradation: Dialogue, Cooperation, Data Sharing, (in press), Kluwer Academic Publishers. 70-72 oldal <http://www.isep.at/publications/determine1.pdf>
51. Balogh E., (2007): Egy nagyváros hatása a rajta keresztülfolyó kisvízfolyásra – első eredmények. Hidrológiai Közlöny, 87(6). pp.166-167 Balogh Edina Nyírségivíz Zrt. Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék,
52. Clement Adrienne (2013): Magyarország „Víznyagyhatalmi” szerepének értékelése nemzetközi/európai összehasonlításban, Vízkészleteinek minősége; BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, pp 18 oldal; on-line: <http://www.doksi.hu>; <http://doksi.hu/get.php?lid=19135>
53. Csányi B., Zagyva A., (2006): „Komplex monitorozó rendszer és adatbázis kidolgozása különböző környezetterhelésű kisvízfolyásokon az EU VKI ajánlásainak figyelembe vételével”, című K+F projekt zárójelentése. Kézirat

54. Bárdóczyné Sz. E., Loksa G., Harkányiné Székely Zs., (2000): Útmutató a kis vízfolyások és vízgyűjtő területeik revitalizációját megalapozó „komplex tanulmányok készítéséhez, Gödöllő SZIE Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
55. Ian J. Allan, Branislav Vrana, Richard Greenwood, Graham A. Mills, Benoit Roig, Catherine Gonzalez, (2006): A toolbox for biological and chemical monitoring requirements for the European Union’s Water Framework Directive, *Talanta*, 69. 302-322 pp, doi:10.1016/j.talanta.2005.09.043
56. Nikolai Friberg, Annette Baattrup-Pedersen, Morten Lauge Pedersen, Jens Skriver, (2005): The new danish stream monitoring programme (NOVANA) – preparing monitoring activities for the Water Framework Directive Era. *Environmental Monitoring Assessment*, 111, 27-42p; DOI: 10.1007/s10661-005-8038-3
57. Vanrolleghem P. A., Benedetti L., Meirlaen L., (2005): Modelling and real-time control of the integrated urban wastewater system. *Environmental Modelling and Software*, 20; 427-442 pp
58. Clement Adrienne (2010): Felszíni vizek minősége és terhelhetősége: a vízminőség-szabályozás új feltételrendszere a VKI tükrében, BME, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest
59. Clement A., Szilágyi F.: Környezeti monitoring, BME VKKT, 2011 JEGYZET
60. KMOP. 1.1.1 K+F projekt (2008-2011): Akkreditálható Vízminőségi Táv mérő Rendszer, Konzorcium vezető: Combit Zrt.; Partnerek: Miskolci Egyetem Alkalmazott Kémiai Kutatóintézete, Pannon Egyetem, Aquacontrol Kft, Apertech Kft, Ökoret Spin-off Zrt.
61. Csonki I., (2011), R Jelentés a Torna-patak mentén végzett vízügyi vízminőségi kárelhárítási munkákról a 2010 október 4-2011. június 30 közötti időszakról, KÖDU KÖVIZIG, 2011, július 5, Székesfehérvár; on-line elérhetőség: [http://www2.kdtvizig.hu/WEB/KDTVIZIG/KDTWEB.NSF/0/f21cc6e2993ff32dc12578df0064ddad/\\$FILE/Jelent%C3%A9s%20K%C3%96DU%20K%C3%96VIZIG.pdf](http://www2.kdtvizig.hu/WEB/KDTVIZIG/KDTWEB.NSF/0/f21cc6e2993ff32dc12578df0064ddad/$FILE/Jelent%C3%A9s%20K%C3%96DU%20K%C3%96VIZIG.pdf)
62. IMPEL, (2011), Massive alumina red sludge release after the failure of a containment dam 4 October 2010, Kolontár, Hungary; IMPEL –French Ministry for Sustainable Development-DGPR/BARPI- Hungarian Ministry for Rural Development
63. Padisák J., (2010), Vörösiszap szennyezés hatása a Torna és a Marcal ökoszisztémájára, 2010 október 8. Limnológia Intézet, Pannon Egyetem
64. Griuz K., Feigh V., Klebercz O., Anton A., Vaszita E., (2012), Environmental risk assessment of red mud contaminated land in Hungary, GeoCongress 2012, ASCE 2012, 4156-4165
65. Igor Cretescu, Ioan Craciun, Roxana Elena Benchea, Zsófia Kovács, Anatolie Iavorschi, victor Sontea, Matei Macoveanu (2013): Development of an expert system for surface water quality monitoring in the context of sustainable management of water resources, *Environmental Engineering and Management Journal*, August 2013, Vol.12, No 8, 1721-1734, <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>
66. Igor Cretescu, Zsófia Kovács, Sorin Mihai Cimpeanu (2016): Monitoring of surface water status in the Lower Danube Basin (Chapter 10), *River Basin Management*, Edited by Daniel Bucur, pp205-223; ISBN: 978-953-51-2604-1; <http://dx-doi.org/10.5772/61557>
67. VRIC Ltd; Environmental Institute s.r.o (2014) Water Quality early warning system on Transboundary watercourses of the Tisza River Basin; Chapter 1-4 on-line elérhetőség

68. Fehér János, LázárAttila Kiss Adrienn (2003): A felszíni és felszín alatti vízkészletek európai szintű megfigyelő és értékelő rendszere, VITUKI Consult Rt, MHT XIX. vándorgyűlésen elhangzott előadások 1/3,
69. Hamchevici C., Udrea I. The Danube River Basin, Pollution nutrients in the Danube Basin. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. 9 July 2015th ed. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg; 2015. pp. 39–60. DOI: 10.1007/698\_2015\_388
70. László Ferenc: The Danube River Basin, Pollution by Metals in the Danube River Basin. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. 9 July 2015th ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg; 2015. pp. 85–94. DOI: 10.1007/698\_2015\_388
71. Liška I. The Danube river basin, managing an international river basin towards water quality protection: the Danube case. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. 9 July 2015th ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg; 2015. Vol. 39, pp. 1–20. DOI:10.1007/698\_2015\_388
72. Benchea R.E., Cretescu I., Macoveanu M. Monitoring of water quality indicators for improving water resources management of Bahlui River. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2011;10(3):357–366.
73. D.Scannapieco, V. Naddeo, T.Zarra, V. Belgiorno (2012): River water quality assessment: A comparison of binary and fuzzy logic based approaches, *Ecological Engineering*, 47(2012) pp132-140
74. Ari Eszter (2012): Molekuláris filogenetikai elemzések egy diszkrét matematikai módszer, a BOOLE analízis segítségével, Doktori értekezés, ELTE, Biológiai Doktori Iskola, Elméleti és Evolúciobiológiai Doktori Program, Genetikai Tanszék, Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék p 111 oldal
75. Ittész Péter (2005): egy diszkrét matematikai módszer és biológiai alkalmazásai, Doktori értekezés, Elméleti biológia és ökológiai doktori program, ELTE TTK Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék p 110 oldal
76. Jakó E (1983) Iterative canonical decomposition of Boolean functions and its application to logical circuits design. PhD dissertation. University of Technology (MEI), Moscow;
77. Jakó E, Ari E, Ittész P., Horváth A., Podani J. (2009) BOOL-AN: A method for comparative sequence analysis and phylogenetic reconstruction. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 52: 887-898 pp
78. Ittész, P., Jako, E., Kun, A., Kun, A., Podani, J., (2005). A discrete mathematical method for the analysis of spatial pattern. *Community Ecology* 6, 177–190.
79. Podani J. (2001): SYN-TAX 2000. Computer Programs for Data Analysis in Ecology and Systematics. Scientia Publishing, Budapest
80. Podani János (1997) Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe, avagy „Mit is kezdünk azzal a rengeteg adattal?”, Budapest, Scientia Kiadó, ISBN 963 8326 06 9
81. Szilágyi Eszter; Szilágyi Ferenc; László Balázs; Heltai György (2004): Referencia értékű kisvízfolyások Víz Keretirányelven alapuló költséghatékony monitorozása egyes fiziko-kémiai minőségi elemekre
82. Kovács, Zs., Yuzhakova T., Vörös, Cs., Jónap, K., Rédey, Á. (2012): New Direction in Terms of Water Quality Monitoring Application, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 3, 597-602, 2012
83. Kovács, Zs, Yuzhakova, T., Lakó, J., Domokos, E., Kurdi, R., Horváth, E., Utasi, A., Vincze-Csom, V., Ráduly, I., Ráduly, L., Rédey, Á. (2012): Water Monitoring

- Following the Hungarian Red Mud Disaster, *Environmental Engineering and Management Journal*, November 2012, Vol.11, No. 11, 2047-2051
84. Kovács Zs., Magyar I., Kohlrusz G., Kovács J., Rédey Á., (2009): Examination of condition of small streams and results displaying in Environmental Information System; Exposure and Risk assessment of Chemical Pollution, Netherland: Springer 487-500 pp
  85. Zs. Kovács, S. Balogh, É. Jakó (2015): Analysis of surface water quality data by using statistical tools and novel discrete mathematical approach, *Conferentia Chemometrica*, 2015 Sept. 13-16 Budapest
  86. Bobek J., Kovács Zs., Zsilák Z., (2014): Application of online and laboratory methods for the investigation of surface waters, *Hungarian Journal of Industry and Chemistry Veszprém*, Vol. 42(1) pp.13-18 (2014).
  87. Kovács Zs., YuzhakovaT., Cserfalvi T., Kovács Sz., Rédey Á., (2013): Application of early warning system to identify surface water pollution, 14th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment, ICCE 2013, Barcelona, June 25-28, 2013. ppt-presentation
  88. Zsófia Kovács, Zoltán Zsilák, Andrea Török (2013): Complex and Innovative monitoring system for River Basin, Budapest, 11-12 September 2013, Makroregionális konferencia
  89. Kovács Zsófia (2014): Water Qaulity Early Warning System on Transboundary Watercourses of Tisza River Basin, PA4 Streering Group 7th Meeting, 28 March, 2014
  90. NOETEK-PONSEL Digital sensor PHEHT: pH, Redox, Temperature Datasheet, NEOTEK-PONSEL in France, 2009, Available from: [http://www.ponsel-web.com/cbx/s747\\_cat15034.htm](http://www.ponsel-web.com/cbx/s747_cat15034.htm)
  91. NOETEK-PONSEL Digital sensorC4E: Conductivity/Salinity Datasheet, NEOTEK-PONSEL in France, 2009, Available from: [http://www.ponsel-web.com/cbx/s747\\_cat15034.htm](http://www.ponsel-web.com/cbx/s747_cat15034.htm)  
NOETEK-PONSEL Digital sensor Nephelometric Turbidity Datasheet, NEOTEK-PONSEL in France, 2009, Available from: [http://www.ponsel-web.com/cbx/s747\\_cat15034.htm](http://www.ponsel-web.com/cbx/s747_cat15034.htm)
  92. SZETIKO GOP-2008-1.3.1/B Szennyvíztisztító Szolgáltató Központ kialakítására (2008-2012)
  93. Várpalota Város Önkormányzata, Rövid ismertető (1997): A Várpalota város 2X3000 m<sup>3</sup>/d kapacitású szennyvíztisztító telep működéséről, OMS-Hungary Kft, Hidro Plan Kft.
  94. Szilágyi Ferenc, Orbán Vera (2007): Alkalmazott Hidrobiológia, Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest, 2007 ISBN: 978 963 87507 0 9 pp 604 (KÖNYV)
  95. MSZ 12749:1993 Felszíni vizek minősége, minőségi jellemzők és minősítés
  96. Nemzeti Vízstratégia (Kvassay Jenő Terv), 2017
  97. Deborah V. Chapman, Chris Bradley, Gretchen M. Gettel, Isván Gábor Hatvani, Thomas Hein, József Kovács, Igor Liska, David M. oliver, Péter Tanos, Balázs Trásy, Gábor Várbíró (2016): Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. *Environmental Science & Policy* 64 pp.141-154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.015> 1462-9011/ 2016 Elsevier Ltd.

98. Sandow M. Yidana, Duke Ophori, Bruce Banoeng-Yakubo (2008): A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data – The Ankobra Basin, Ghana, *Journal of Environmental Management* 86 (2008) pp 80-87, doi: 10.1016/j.jenvman.2006.11.023 ANKWASO
99. Gaetano Ragno, Michele De Luca, Giuseppina Ioele (2007): An application of cluster analysis and multivariate classification methods to spring water monitoring data; *Microchemical Journal* 87 (2007) 119-127 Geatano Ragno 2007 doi:10.1016/j.microc.2007.06.003
100. Kovács, J., et al., Classification into homogeneous groups using combined cluster and discriminant analysis, *Environmental Modelling & Software* (2014),
101. Péter Tanos, István Gábor Hatvani, solt Kovács, Angéla Anda and József Kovács (2014): Seasonal behavior in the water quality of the river Tisza around the turn of the 21st Century; *LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE CLIMATIC VARIABILITY IN THE CARPATHIAN - BALKAN REGION 2014*, Abstracts Volume, pp 163-167
102. József Kovács et al. (2012): Analysis of Water Quality Data for Scientists, *Water Quality Monitoring and Assessment*, pp 65-94, DOI: 10.5772/32173 Source: InTech <https://www.researchgate.net/publication/258439523>
103. Péter Tanos et al. (2015): Optimization of the monitoring network on the river Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonability into account, *Environ Monit Assess* (2015) 187:575; DOI 10.1007/s10661-015-4777-y
104. Norbert Magyar, István Gábor Hatvani: Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See –, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.02.005>
105. V. Simeonov, J.A. Stratis, C. Samara, G. Zachariadis, D. Voutsas, A. Anthemidis, M. Sofoniou, Th. Kouimtzis (2003): Assessment of the surface water quality in Northern Greece, *Water Research* 37 (2003) 4119-4124; doi:10.1016/S0043-1354(03)00398-1
106. G.H. Huang and N.B.Chang (2003): Perspective of Environmental Informatics and System Analysis; *Journal of Environmental Informatics* 1 (1) 1-6 2003, 1726-2135/1684-8799; [www.iseis.org/jei.htm](http://www.iseis.org/jei.htm)
107. Petr Praus (2005): Water quality assessment using SVD-based principal component analysis of hydrological data; Available on website: <http://www.wrc.org.za>; ISSN 1816-790 WATER SA on-line
108. Petr Praus (2007): Urban water quality evaluation ióusing multivariate analysis, *Acta Montanistica Slovaca, Rocnik* 12 2007, cislo 2, pp150-158
109. Lori A. Sprague et al (2017): Challenges with secondary use of multi-source water quality data in the United States, *Water Research* 110 (2017) 252-261; <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.024>

110. Szabó Attila Péter (2008): Háttérváltozók szerepe a Duna és a Tisza ökológiai minőségében, Doktori (Ph.D) értekezés, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Debrecen, 2008. 168 pp
111. Thomas G. Sanders; D. Dean Adrian (1978): Sampling frequency for river quality monitoring; Water Resources Research, Vol.14, No. 4, August, 1978/Paper number 8W0233; pp:569-579
112. Robert C. Ward and Jim C. Lofits (1986): Establishing statistical design criteria for water quality monitoring systems: Review and synthesis, Water Resources Bulletin, Vol. 22; No.5/Papaer No. 85066; pp: 759-767
113. Paul H. Whitfield (1988): Goals and data collection designs for water quality monitoring; Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, Vol. 24; No. 4. Paper No. 86099, pp 775-780.
114. Lorin E. Reinelt, Richard R. Horner, and Brian W. Mar, Members, ASCE (1988): Nonpoint sources pollution monitoring program design, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 114, No. 3, May, 1988. ISSN 0733-9496/88/0003-0335/ Paper No. 22469. pp: 335-352.
115. Lorin E. Reinelt, Richard R. Horner, and Reinhold Castensson(1992): Non-point source Water Pollution Management: Improving Decision-making information through quality Monitoring, Journal of Environmental Management (1992)34; 15-30.
116. Dennis P. Lettenmaier (1976): Detection of trends in water data from records with dependent observations, Water Resources research, Vol. 12; No. 5, pp 1037-1046
117. N.C. Matalas and W.B. Langbein (1962): Information content of the mean, Journal of Geophysical Research, Volume 67., No. 9; pp 3441-3448
118. Nilgun B. Harmancioglu, Okan Fistikoglu, Sevinc D. Ozkul, Vijay P. Singh, M. Necdet Alpaslan (auth.) 1999: Water Quality Monitoring Network Design; Water Science and Technology library 33; Springer Netherlands, ISBN: 978-90-481-5150-9, 978-94-015-9155-3
119. Vincenzo Naddeo, Tiziano Zarra, Vincenzo Belgiorno (2007): *Optimization of sampling frequency for river water quality assessment according to Italian implementation of the EU Water Framework Directive*; Environmental Science & Policy (2007) 243-249 doi: 10.1016/j.envsci.2006.12.003
120. V.Naddeo, T. Zarra, V. Bergiorno (2005): European procedures to river quality assessment, Selected from papers presented in 9th International Conference on Environmental Scinece and Technology (9CEST2005), Globel Nest Journal, Vol 7, No 3, pp 306-312-2005
121. Fehér J., Galambos I., and Lehocki Z., (1999): *Water Quality Management Options for a Downstream Transboundary River Basin – The Sajó River Case Study. Wat. Sci. Tech., 40 810); 95-102*



122. V.Naddeo, D. Scannapieco, T. Zarra, V. Belgiorno (2013): River water quality assessment: Implementation of non-parametric tests for sampling frequency optimization, *Land use policy* 30 (2013) 197-205,
123. J. David Allan (1995): *Stream Ecology: The structure and function of running waters*; Kluwer Academic Publishers, ISBN 0 412 29430 3 (HB)
124. Martina Zelenakova, Vlasta Ondrejka Harbulakova, Pavol Purcz, Martina Rehankova (2014): Water quality modelling in river station Krasny Brod, The 9th International Conference „environmental engineering” 22-23 May 2014, Vilnius, Lithuania, Selected Paper, Available online at: <http://enviro.vgtu.lt>
125. Martina Zelenakova, Pavol Purcz, Anna Oravcová (2015): Trends in water quality in Laborec River, Slovakia; *Procedia Engineering* 119 (2015) 1161-1170; 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015, available online at: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
126. Kisvízfolyások vízminőségének veszélyeztetettsége, a megfigyelés és a védelem társadalmi szerveződése Magyarországon, Balogh Judit főtanácsos OKTVF Víziközmű Főosztály, Nemzeti Programok Osztálya,
127. Halász János; Hannus István, Kiricsi Imre (2012): *Környezetvédelmi technológia*, JatePress Szeged, 2012 Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, ISBN 978-963-315-094-8 pp 335-398
128. László, F. (1998) "Water quality data collection and sharing between Hungary and neighbouring countries" In T. Naff (ed.) *Managing Environmental Degradation: Dialogue, Cooperation, Data Sharing*, (in press), Kluwer Academic Publishers. 70-72 oldal <http://www.isep.at/publications/determine1.pdf>
129. Ferenc László (1998): Use of telematics in Water Quality Management and Monitoring in Hungary, *Water Quality and Resource Management, Environment and Related transport telematics Results*, International Conference June 4-5, 1998, Szentendre, Hungary pp 70-72; <http://www.isep.at/publications/determine1.pdf>
130. Ferenc László (2015). The Danube River Basin, Pollution by Metals in the Danube River Basin. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. 9 July 2015th ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg; 2015. pp. 85–94. DOI: 10.1007/698\_2015\_388
131. Barótfi István: *Környezettechnika kézikönyv*, ISBN 963 02 9031 6
132. G. Borics et al (2016): Water bodies in Hungary-an overview of their management and present state, *Hidrológiai Közlöny*, Vol 96; No 3; 2016 pp 57-67; HU ISSN 0018-1323
133. Zs. Kerekes-Steindl (2016): Water quality protection in Hungary-policy and status, *Hidrológiai Közlöny*, Vol 96; No 3; 2016 pp 43-56; HU ISSN 0018-1323
134. Guidance document No 7 (2003): *Monitoring under the Water Framework Directive produced by Working Group 2.7 – Monitoring*, European Communities, 2003, ISBN 92-894-5127-0

135. Jana Marková1, Vlasta Ondrejka Harbuláková (2016): Monitoring of water quality of selected wells in Brno district, SSP - JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING Vol. 11, Issue 1, 2016, DOI: 10.1515/sspjce-2016-0004
136. Szabó Katalin Zsuzsanna (2014): Geogén radonpotenciál térképezés Pest és Nógrád megye területén, Doktori (Ph.D.) értekezés ELTE, TTK, FFI, Közzetani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Labor, Budapest, 2014
137. Ilker T. Telci, Kijin Nam1, Jiabao Guan, Mustafa M. Aral\* (2009): Optimal water quality monitoring network design for river systems, Journal of Environmental Management 90 (2009) 2987-2998
138. Tongxin Shu (2016): Power management in a sensor network for automated water quality monitoring, b.sc., xiamen university, 2014, a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science in the faculty of graduate and postdoctoral studies (mechanical engineering) the university of british columbia Vancouver, April 2016
139. Technical Focus Paper, Integrált Vízgazdálkodás Kelet-és Közép-Európában, IVG kontra EU Víz keretirányelv (2015): Global Water Partnership (GWP), ISBN: 978-963-12-5983-4, [www.gwpmo.hu](http://www.gwpmo.hu)
140. Truzsi Alexandra (2015): Felszíni víz állapotértékelése és monitoringja a Hortobágy-Berettyó főcsatorna példáján keresztül, szakdolgozat, Debreceni Egyetem, Műszaki kar, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
141. Brian A. Pellerin, Beth A. Stauffer, Dwane A. Young, Daniel J. Sullivan, Suzanne B. Bricker, Mark R. Walbridge, Gerard A. Clyde Jr., Denice M. Shaw (2016): Emerging Tools for Continuous Nutrient Monitoring Networks: Sensors Advancing Science and Water Resources Protection, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA-15-0091-P), Vol. 52; Issue 4 August 2016, pp 993-1008; DOI: 10.1111/1752-1688.12386
142. Padisák Judit (2005): Általános limnológia, Egyetemi Tankönyv, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2005 pp 166; p 307.
143. Blohm W., Lechelt M. (2006): Automated Surface Water Monitoring Stations in the City of Hamburg as part of the EU Water Framework Directive, előadás: [file:///C:/Users/Ladmin/Downloads/Blohm\\_Automated\\_Surface\\_Monitoring\\_Stations\\_in\\_HH%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Ladmin/Downloads/Blohm_Automated_Surface_Monitoring_Stations_in_HH%20(2).pdf)
144. Nikolic, S., Jakó É., Rastija, V., Basic I. (2015): A Similarity study of benzene derivatives with acute toxicity, Math/Chem/Comp 2015 27th MC2 Conference, Dubrovnik, Hrvatska, (poster) <https://www.bib.irb.hr/815325>
145. Vizügyi Igazgatóságoktól és Önkormányzati forrásból származó adatbázisok, strukturált adathalmazok
146. Catchment Monitoring Network Protects Thames River, YSI Environmental, <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Application%20Notes/A566-Catchment-Monitoring-Network-Protects-Thames-River.pdf>
147. Richard Helmer, Ivanildo Hespanhol (1997): Water Pollution Control: A Guide to the Use of Water Quality Management Principles, CRC Press, 2002.09.11 ISBN 0 419 22910 8

148. Martin Rouen, Glen George, Jack Kelly, Mike Lee Windermere, Enrique Moreno-Ostos Granada (2005): High-resolution automatic water quality monitoring systems applied to catchment and reservoir monitoring, Freshwater Forum 23, pp 20-37
149. Mike Bowes (2016): High-frequency water quality monitoring of UK rivers, előadás: <http://www.swig.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/Mike-Bowes-2016.pdf>
150. Peter Diehl, Thomas Gerke, Ad Jeuken, Jaqueline Lowis, Ruud Steen, Jaap van Steenwijk, Peter Stoks, Hans-Günter Willemsen (2005): Early Warning Strategies and Practices Along the River Rhine, Hdb Env Chem Vol. 5, Part XX (2005): 1 – x DOI 10.1007/015 Springer-Verlag Berlin Heidelberg
151. Amara Gunatilaka, Pompeo Moschetta, Luca Sanfilippo (2007): Recent Advancements in Water Quality Monitoring – the use of miniaturized sensors and novel analytical measuring techniques for in-situ and on-line real time measurements, Conference paper, June 2007, International Workshop on Monitoring and Sensor for Water Pollution Control At: Beijing
152. Svetomar Mijovic, Bojan Palmar (2012): Water quality monitoring automation of rivers in Serbia, FACTA UNIVERSITATIS Series: Working and Living Environmental Protection Vol. 9, No 1, 2012, pp. 1 – 10
153. Progressio Mérnöki Iroda Kft., Veszprém Megye Környezetvédelmi Programja 2011-2016, Helyzetértékelés, 2010. május-szeptember
154. Robert Chan, Ty Le, Alan Manlucu, Lee-Ann Tsan (2007): Environmental Monitoring and Early Warning System Design, paper, Proceedings of the ENGG 3100: Design III projects, pp 61-62
155. Geoff Phillips, Martyn Kelly, Fuansanta Salas, Heliana Teixeira (2017): Best Practice Guide on establishing nutrient concentrations to support good ecological status, Draft, ECOSTAT (CIRCA) online:[https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jspx?\\_afPfmPrincipal:\\_idcl=FormPrincipal:\\_idJsp35&\\_afPfmPrincipal\\_SUBMIT=1&\\_afPfmId=9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d&\\_afPfmJavax.faces.ViewState=7yJALrxcJ5rvaUkpK1CSRZq2NYINJrvNG1YuIdWm0TP00pJx7BvDoX2sTZlh077aJuSYjw6bUBntUsKhGvJqw4rqthOljSi1P3pnqwBrYWXrLb6dDA6Tg9E0ekWp1QCC8C8JXWCqLmm73rWMXe4fmRpXdNw%3D](https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jspx?_afPfmPrincipal:_idcl=FormPrincipal:_idJsp35&_afPfmPrincipal_SUBMIT=1&_afPfmId=9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d&_afPfmJavax.faces.ViewState=7yJALrxcJ5rvaUkpK1CSRZq2NYINJrvNG1YuIdWm0TP00pJx7BvDoX2sTZlh077aJuSYjw6bUBntUsKhGvJqw4rqthOljSi1P3pnqwBrYWXrLb6dDA6Tg9E0ekWp1QCC8C8JXWCqLmm73rWMXe4fmRpXdNw%3D)
156. 1-13 Észak-Mezőföld és Kelet-Bakony Vízgyűjtő-gazdálkodási terve 6-3. melléklet FEV ökológiai állapota ([www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu))
157. Llopart-Mascaró A., Gil A., Cros J., Alarcón F., Guidelines for on-line monitoring of wastewater and stormwater quality, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008. Available on website: [https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th\\_International\\_Conference\\_on\\_Urban\\_Drainage\\_CD/ICUD08/pdfs/560.pdf](https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/560.pdf)

## 17. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

### Az értekezés témájához közvetlenül kapcsolódó közlemények

1. Igor Cretescu, **Zsófia Kovács** and Sorin Mihai Cimpeanu (2016): Monitoring of surface water status in the Lower Danube Basin, River Basin Management, Chapter 10; publikálta: InTech <http://dx.doi.org/10.5772/64399>
2. **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Lakó, J., Domokos, E., Kurdi, R., Horváth, E., Utasi, A., Vincze-Csom, V., Ráduly, I., Ráduly, L., Rédey, Á. (2012): Water Monitoring Following the Hungarian Red Mud Disaster, Environmental Engineering and Management Journal, November 2012, Vol.11, No. 11, 2047-2051; **IF: 1,004**
3. **Kovács, Zs.**, Yuzhakova T., Vörös, Cs., Jónap, K., Rédey, Á. (2012): New Direction in Terms of Water Quality Monitoring Application, Environmental Engineering and Management Journal, 11, 3, 597-602, 2012.; **IF: 1,435**
4. **Zs. Kovács**, Cs. Szalkay, Z. Zsilák, Á. Rédey (2010): Comparison of physical and chemical measurements of Séd stream in Veszprém and Holt-Sebes-Körös together with Sebes-Körös in Békés, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Volume 38 Number 1 HU ISSN: 0133-0276, 47-51pp
5. Cserny A., **Kovács Zs.**, Domokos E., Rédey Á. (2009): Environmental information system for visualizing environmental impact assessment information; Environmental Science & Pollution Research, Volume 16 Number 1 2009 pp 36-41; **IF: 2,411**

### Az értekezés témájához közvetlenül kapcsolódó előadások, poszterek és közlemények:

1. Dragoi E., Curteanu S., Yuzhakova T., **Kovács Zs.**, Cretescu I., (2018): Environmental Assessment of surface waters based on monitoring data and neuro-evolutive modelling, Sustainable Production and Consumption, (submitted paper)
2. **Kovács Zs.**, Jakó É., Cretescu I., Domokos E. (2017): Applying of new method based on the ICF algorithm to the water quality evaluation of the Hungarian-Romanian cross-border rivers, 9th International Conference on Environmental Engineering and Management, 6-9.09.2017, Bologna, Italy, ICEEM09
3. **Zs. Kovács**, S. Balogh, É. Jakó (2015): Analysis of surface water quality data by using statistical tools and novel discrete mathematical approach, Conferentia Chemometrica 2015; <http://cc2015.ttk.mta.hu/index.html>
4. **Zsófia Kovács** (2015): Water Quality Early Warning System in a pilot demonstration cross-border area, European funding opportunities in the water sector, Second Stakeholder Seminar of the EU Strategy for the Danube Region PA4 and PA5 Priority Areas, Budapest, 19-20. November 2015, ppt presentation (networking session)
5. **Zsófia Kovács** (2014): Water Quality early warning system on Transboundary Watercourses of Tisza River Basin, PA4 Steering Group, Budapest, 2014. 03.28. ppt
6. **Zsófia Kovács** (2014): Water Quality Early Warning System on Transboundary Watercourses of Tisza River Basin, EUSDR PA4 7th Steering Group, Budapest, 28 March, 2014. ppt presentation
7. Janka Bobek, **Zsófia Kovács**, Zoltán Zsilák (2014): Application of online and laboratory methods for the investigation of surface waters, Hungarian Journal of Industry and Chemistry, Veszprém, Vol.42(1) pp. 13-18 (2014)

8. **Kovács, Zs.**, Cretescu, I., Zsilák, Z., Dreaban, I.G., Rédey, Á.: Water Quality Monitoring on Transboundary Watercourses, The 3rd Romanian-Bulgarian- Hungarian-Serbian Conference, 2014, September, Belgrade
9. **Zsófia Kovács**, Z. Zsilák, I. Cretescu, L. Simon, T. Yuzhakova, Á. Rédey (2014): Applying of automated surface water quality monitoring system on river basins and connected to an expert system, 5th EuChems Chemistry Congress, August 31-September 4, 2014, Istanbul, Turkey
10. Igor Cretescu, Ioan Craciun, Roxana Elenea Benchea, **Zsófia Kovács**, Anatolie Iavorschi, Victor Sontea, Matei Macoveanu (2013): Development of an expert system for surface water quality monitoring in the context of sustainable management of water resources, Environmental Engineering and Management Journal, August 2013, Vol.12, No. 8, 17021-1734; IF:1,117
11. **Zsófia Kovács**, Andrea Török (2013): Complex and Innovative Monitoring System for River Basins, Transboundary water issues in a macro-regional context: the Danube basin, Joint Stakeholder Conference within the framework of the Pillar „Protecting the Environmental of the European Union Strategy for the Danube Region, Macro-regional Water Conference: Budapest, 11-12 September 2013, ppt presentation
12. **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Cserfalvi, T., Kovács, Sz., Utasi, A., Rédey, Á.: Application of Early-Warning System to Identify Surface Water Pollution, 14th EuCheMS International Conference of Chemistry and the Environment 2013, Barcelona, Spain, June 25-28, 2013
13. **Zsófia Kovács**, Zoltán Zsilák, Brigitta Anda, Janka Bobek, Tatiana Yuzhakova, Tamás Cserfalvi, Szilárd Kovács, László Dióssy and Ákos Rédey (2014): Application of on-line water monitoring system, IconSWM 2014, 28-30. January 2014, India
14. **Zsófia Kovács**, Szilárd Kovács, Tatiana Yuzhakova, László Dióssy, Dr. Ákos Rédey (2013): On-line monitoring of the water pollution using Robotic Water Analyser (RWA), AWERProcedia Advances in Applied Sciences1, 537-543, 2013, 1st Global Conference on Environmental Studies, Antalya, Turkey, 2013. április 24-27.
15. Rédey, Á., **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Kovács, Sz., Cserfalvi, T. (2013): On-line Water Monitoring Applications and Developments in Hungary in Light of the Water Framework Directive, 3 Konferencja Naukowa Monitoring Analiza Wody, Torun, Poland, April 7-9, 2013.
16. **Zs. Kovács**, I. Magyar, G. Kohlrusz, J. Kovács, Á. Rédey (2009): Examination of condition of small streams and results displaying in environmental information system, Exposure and Risk Assessment of Chemical Pollution Contemporary Methodology (NATO-Advanced Study Institute), Published by Springer 2009, ISBN 978-90-481-2334-6 (PB) 2009 pp 487-499

#### Tudományos közlemények nemzetközi folyóiratban

1. Balogh Csilla, Csaba Judit, **Kovács Zsófia**, G.-Tóth László és Serfőző Zoltán (2014): Az amuri kagyló, mint invazív kagylók megtelepedésére alkalmas felület (előzetes eredmények). A Balaton ökológiája, 2 (1): 43-50.
2. **Kovács, Zs.**, Zsilák, Z., Yuzhakova, T., Rédey, Á. (2012): Environmental State Assessment of Stream Séd in Veszprém, Studia Universitatis Babes-Bolyai Ambientum, Volume 57 (LVII) December 1-2, 2012 pp 67-75
3. Szalkay, Cs., **Kovács, Zs.**, Zsilák, Z., Rédey, Á., Penksza, K. (2012): Comparison Between Main Hydrological Characters of Séd Stream in Veszprém and Sebes-Körös

Together with Holt-Sebes-Körös in Békés as Simple Areas of the Water Framework Directive, *Studia Universitatis Babes-Bolyai Ambientum* Volume 57 (LVII) December 1-2, 2012 pp 145-157

4. Rédey, F. Husvéth, **Zs. Kovács**, A. Utasi, E. Domokos (2010): Relation between global environmental issues and surface water quality, *Egyptian J of Phycol.* 11, 123-132, 2010, *The Second International Conference on Phycology, Limnology and Aquatic Sciences, 14-15 February, 2010, Egypt*

#### Tudományos közlemények hazai folyóiratban

1. **Kovács Zsófia**, Kovács Csilla, Királykúti Ildikó, Soróczki-Pintér Éva és Padisák Judit (2005): A magyarországi folyóvizek csoportosítása az EU Víz Keretirányelv tipológiai követelményei szerint. *Hidrológiai Közlöny* 85:78-81.

#### Tudományos előadások nemzetközi konferenciákon (absztrakt megjelenés):

1. Bobek Janka, Dr. Zsilák Zoltán, **Kovács Zsófia**, Stoller Krisztián (2014): On-line mérési technikák alkalmazása a felszíni vizek ellenőrzésére, LVI. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2014. október 1-3.
2. Bobek Janka, Dr. Zsilák Zoltán, **Kovács Zsófia**, Stoller Krisztián (2014): ProPs On-line szonda alkalmazásának lehetőségei a felszíni vizek minőségének ellenőrzésére, XXI. Ifjúsági Napok Mosonmagyaróváron, Magyar Hidrológiai Társaság, 2014. szeptember 18-19.
3. **Kovács Zsófia** (2014): Új típusú felszíni vízmonitoring rendszerek alkalmazási lehetőségei, „Természet és társadalom a Balaton régióban” Sekély tavas területek multidiszciplináris kutatása, Kaposvár, 2014. június 5.
4. **Kovács Zsófia**, Dr. Zsilák Zoltán, Bobek Janka, Stoller Krisztián, Dr. Rédey Ákos (2014): Automata mobil mérőállomások létjogosultsága a felszíni vizek vizsgálatánál, A Környezetvédelmi mérés és mintavétel aktuális kérdései, Szakmai konferencia, Budapest, 2014. május 27.
5. **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Lakó, J., Domokos, E., Kurdi, R., Horváth E., Utasi, A., Vincze-Csom, V., Ráduly, I., Ráduly, L., Rédey, Á.: The Hungarian Red Mud Disaster and Its One and Half Year Environmental Impact Assessment, International Conference on Centenary of Education in Chemical Engineering CECE2012, Iasi, Romania, November 28-30, 2012.
6. **Kovács, Zs.**, Zsilák, Z., Rédey, Á.: Environmental State Assessment of Séd Stream in Veszprém, Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management International Conference, Cluj-Napoca, Romania, October 25-27, 2012.
7. **Kovács, Zs.**, Szalkay, Cs., Zsilák, Z., Rédey, Á., Penksza, K.: Comparison of the Physical and Chemical Measured Parameters of Séd Stream in Veszprém and Sebes-Körös Together with Holt-Sebes-Körös in Békés as Simple Areas of the Water Framework Directive, Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management International Conference, Cluj-Napoca, Romania, October 25-27, 2012.
8. Ákos Rédey, **Zsófia Kovács**, Anett Utasi, Tatiana Yuzhakova, Veronika Vincze-Csom, János Lakó, Erzsébet Horváth, Róbert Kurdi, József Kovács, Endre Domokos, Pál Bui, Viola Somogyi, Csaba Katona, Gabriela Emilia Popita, István Ráduly, Lenke Ráduly (2012): The red mud disaster of Ajka in Hungary and its consequences, 4thEuCheMS Chemistry Congress, August 26-30 2012, Prague, Czech Republic

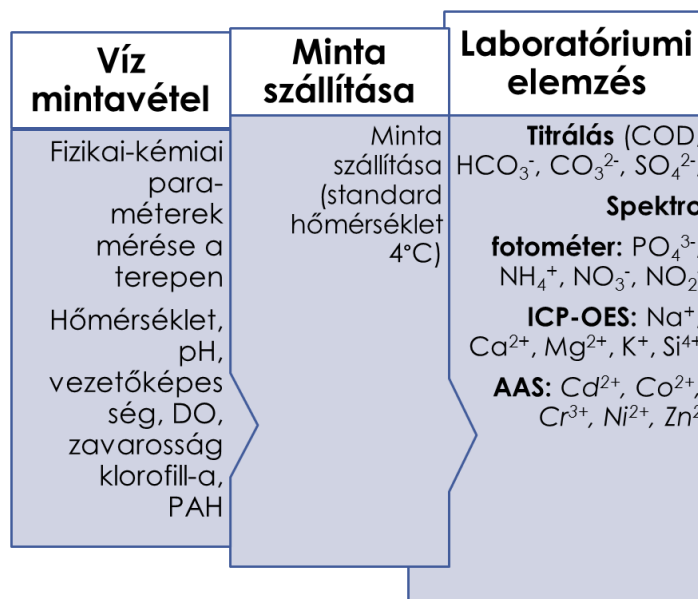
9. Rédey, Á., Horváth, E., Kurdi, R., Kovács, J., Utasi, A., Domokos, E., Yuzhakova, T., **Kovács, Zs.**, Somogyi, V., Katona, Cs., Bui, P., Csom, V.: The Ajka Red Mud Disaster and its Environmental Impact Assessment, International Conference on Chemistry and the Environment ICCE 2011, Zürich, Switzerland, September 11-15, 2011.
10. **Kovács Zs.** (2011): New direction in terms of water quality monitoring, case study: Impact of red mud catastrophe on torna stream, ECOCYCLES PROGRAM, Veszprém, 3. June 2011 ppt előadás
11. **Zsófia K.**, Noémi Barabás (2011): Application of a complex accredited water quality telemetry system for monitoring system of water quality in Torna stream's. ICEMT 2011 International Conference on Emergency Management Technology, May 23, 2011 in Budapest
12. Rédey, Á., Domokos, E., Kurdi, R., **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Somlai, J., Somogyi, V., Utasi, A., Bui, P., Lakó, J., Csom, V.: The Ajka Red Mud Disaster and its Environmental Impact, International Conference on Emergency Management Technology, Budapest, Veszprém, May 23-25, 2011.
13. Rédey, Á., Domokos, E., Kurdi, R., **Kovács, Zs.**, Yuzhakova, T., Somlai, J., Somogyi, V., Utasi, A., Bui, P., Lakó, J., Csom, V. (2011): Környezeti katasztrófák és azok hatásai. VII. Kárpáti medencei Környezettudományi Konferencia, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvár, Románia, 2011. március 24-27.
14. Kovács Zs., Magyar I., Kohlrusz G., Speiser F., Jamniczky R., Domokos E. és Rédey Á. (2007): Kistérségek felszíni vízfolyásainak környezeti információs rendszer alapú feldolgozása, I. Országos Környezetgazdaságtani Ph.D-konferencia, 2007. november 27, Budapest (Szekció legjobb előadása I. helyezés)
15. **Kovács Zs.**, Magyar I., Kohlrusz G., Kovács J. & Rédey Á. (2009): Kisvízfolyások vízgyűjtő területének jellemzése a Víz Keretirányelv tükrében, V. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2009. március 26-29, Kolozsvár

## 18. FÜGGELÉKEK

### 18.1 FÜGGELÉK 1: A Veszprémi-Séd terepi és laboratóriumi mérések szabványai, illetve mintavételi helyek bemutatása

A mintavételeket a vonatkozó szabvány (MSZ EN ISO 5667-1:2007) szerint végeztem. A vízfolyás sodorvonalából vettem (MSZ ISO 5667-6:1995) a vízmintákat. A hozzáfolyások előtt és után, illetve alkalmanként közvetlenül a szennyező forrásból is vettem mintát. A vízmintákat műanyag (polietilén) palackba gyűjtöttem és hűtve szállítottam a laboratóriumba (2-4°C) az MSZ EN ISO 5667:3-2004 szabvány leírása alapján.

A 96. ábrán összefoglaltam a eljárás menetét a mintavételtől a laboratóriumi vizsgálatokig.



96. ábra A vizsgálati paraméterek és módszerek

Terepi vizsgálatok során az alábbi paramétereket mértem: vízhőmérséklet, pH, oldott oxigén, oxigéntelítettség, vezetőképesség, zavarosság. A laboratóriumban mért paraméterek: ammónium, nitrit, nitrát, ortofoszfát.

A vizsgálataim során a terepi PONSEL Odeon készüléket használtam, amelyhez az alábbi szondák csatlakoztathatók:

- PONSEL digitális pH/redox szenzor: A szonda kialakítása lehetővé teszi a szélsőséges környezeti körülmények közötti pH mérést. A méréstartomány pH esetben 0-14, a vízhőmérséklet esetben -10 és + 50 °C közötti. Mérési elv: potenciometria, elektrolit+referencia elektród (Ag/AgCl gél).
- PONSEL digitális vezetőképesség szenzor: A szonda négy elektróddal rendelkezik (2 platina + 2 grafit elektród). Méréstartomány: 0-200 mS cm<sup>-1</sup>. Mérési elv: amperometriás mérés négy elektródás rendszer.



- PONSEL oldott oxigénmérő szenzor: Mérés optikai (lumineszcenciás) érzékelővel. Méréstartomány 0-20 mg/l és 0-200% oxigéntelítettség.
- PONSEL zavarosság mérés: A mérés optikai infravörös nefelometria mérésen alapul (90° IR). Alkalmazott hullámhossz: 870 nm. A módszer megfelel a nemzetközi ISO 7027 szabványnak. A mérés tartománya 0-4000 NTU.

A laboratóriumi fotometriás mérésekhez a Lovibond SpectroDirect egyfényutas spektrofotométert használtam a tápanyagháztartás paramétereinek meghatározásához: Nitrit koncentráció (N-NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>); Nitrát koncentráció (NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>); Ammónium koncentráció (NH<sub>4</sub>-N, NH<sub>4</sub>); Ortofoszfát koncentráció (PO<sub>4</sub>-P, PO<sub>4</sub>). A 45. táblázatban tüntettem fel a mérésekhez alkalmazott szabványokat.

45. táblázat: Az alkalmazott terepi és laboratóriumi eszközök és módszerek

| Paraméter      | Mértékegység | Módszer       | Szabvány            |
|----------------|--------------|---------------|---------------------|
| hőmérséklet    | °C           | elektrokémiai | MSZ 448/2:1967      |
| pH             | -            | elektrokémiai | MSZ 11484-22:2009   |
| vezetőképesség | µS/cm        | elektrokémiai | MSZ EN 27888:1999   |
| ammónium-N     | mg/l         | fotometria    | MSZ ISO 7150-1:1992 |
| nitrit-N       | mg/l         | fotometria    | MSZ 448/12-82       |
| nitrát-N       | mg/l         | fotometria    | MSZ 448/12-82       |
| ortofoszfát-P  | µg/l         | fotometria    | MSZ EN 1189.1998    |

A 46. táblázat mutatja be a 2009-ben végzett részletes felmérés 25 mintavételi helyét (97. ábra), kiemelve azt a kilenc vízminőség szempontjából kritikusnak minősített mintavételi helyet (46. táblázatban sötét háttérrel jelöltem), ahol a további években (2010, 2012, 2013, 2015, 2016) a vizsgálatokat végeztem.



**A mintavételi helyek bemutatása a Veszprémi-Séd városi szakaszán**

46. táblázat: A mintavételi helyek a Veszprémi-Séden

| Sor | Mintavételi hely neve                            | Koordináta                     | Leírás  | Mérések időpontja                            | Kijelölt pont        |
|-----|--|--------------------------------|---|--|----------------------|
| 1   | Veszprém város 8. számú környűrű előtt           | N 47°05,784';<br>E 017°52,453' | A Veszprémi-Séd ezen a részen lép be a városba, így viszonyítási alap lehet arra nézve, hogy a későbbi városi szakaszon hogyan változik a minősége. A híd alatt betonozott a meder, a városi rész felé iszapossá válik. A mintavétel ez utóbbi részből történt.                         | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)               | -                    |
| 2   | „Forrás”   | N 47°05,776';<br>E 017°52,500' | Betonozott meder és füves part jellemző a forrás környékére. A forrás 2009. április 27-én mért sebessége 2,2 m/s volt, vize a Sédet táplálja.<br>A későbbiekben kiderült a Bakonykarszt Zrt. vezérigazgatójával történt egyeztetés után, hogy <b>egy komoly csőtörést fedeztem fel.</b> | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)               | -                    |
| 3   | Veszprémi-Séd                                    | N 47°05,773';<br>E 017°52,509' | A „forrás” utáni részen történt mérés és a mintavétel. Betonos, kavicsos aljzat, füves, csalános part volt jellemző.  | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)               | -                    |
| 4   | Veszprém-völgyi u. (híd után)                    | N 47°05,868';<br>E 017°52,998' | <b>Apró kavicsos, iszapos az aljzat, néhol nagyobb kövek is megfigyelhetők; füves, gyomos part jellemző, a híd előtt hozzáfolyás van.</b>   | <b>2009 -2016</b><br><b>(27 eseti mérés)</b> | <b>Kontroll hely</b> |
| 5   | Betekints völgyben a Vidámparki-tó utáni szakasz | N.47°05,845';<br>E 017°53,367' | A felduzzasztott víztározó utáni részen történt a vizsgálat. Betonos meder; füves part pl. csalán, lóhere, pitypang, vérrehulló fecskefü található.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)               | -                    |
| 6   | Balaton Volán Zrt. kifolyócső (kibocsátott víz)  | N.47°05,828';<br>E 017°53,462' | A Balaton Volán Zrt. telephelyéről kérésre engedtek ki a csövön 4 m <sup>3</sup> vizet. Az általam mért vízminőségi paraméterek a későbbiek folyamán összevethetők a Balaton Volán Zrt. telepen mért értékekkel.  | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)               | -                    |

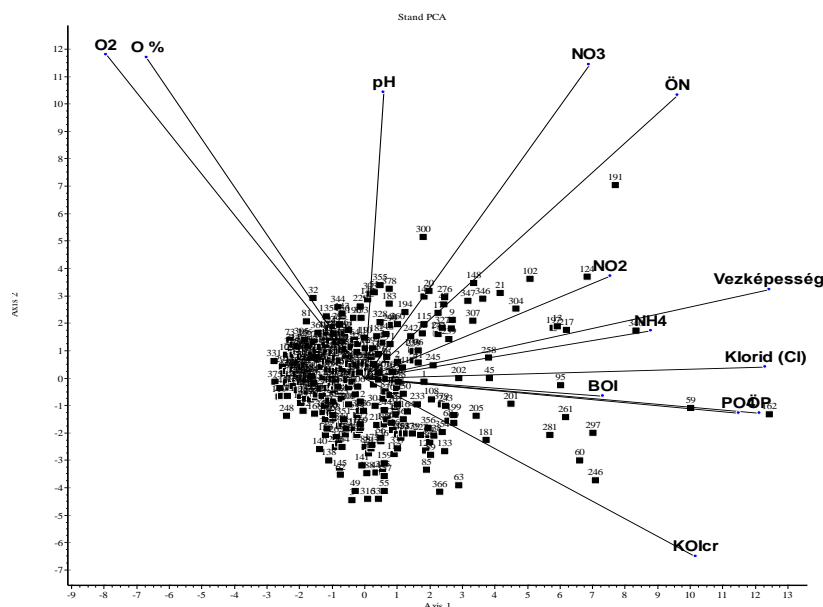
| Sor | Mintavételi hely neve                                  | Koordináta                      | Leírás  | Mérések időpontja                    | Kritikus pont              |
|-----|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| 7   | Balaton Volán Zrt. kifolyó után                        | N.47°05,835';<br>E 017°53,461'  | <b>2009: Balaton Volán Zrt. telephelyről a Veszprémi-Séd víztestbe engedett víz esetében a kifolyást követően 20 perc keveredési idő után végzett mintavétel és vizsgálat folyásirányban történt.</b> | <b>2009-2016</b><br>(27 eseti mérés) | <b>pontszerű szennyező</b> |
| 8   | Betekints völgy (sziklafal, forrás után)               | N.47°05,829';<br>E 017°53,569'  | Köves, iszapos meder, süppedős, füves, kavicsos part jellemző.  | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)       | -                          |
| 9   | Állatkerti befolyó után                                | N.47°05,820';<br>E 017°53,740'  | <b>A meder széle kőlapokkal kirakott. A meder alja iszapos, kavicsos. Gyér parti növényzet jellemző.</b>  | <b>2009-2016</b><br>(27 eseti mérés) | <b>pontszerű szennyező</b> |
| 10  | Patak tér (híd után)                                   | N.47°05,877';<br>E 017°54,080'  | Kőlapokkal kirakott mederperem, durva nagy kavicsos meder jellemző.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)       | -                          |
| 11  | Úrkút sétány (híd után)                                | N.47°05,939';<br>E 017°54,151'  | Kövekkel kirakott meder, kavicsos mederaljzat jellemző.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)       | -                          |
| 12  | Aranyos-völgy városi csapadék elvezető csatornából     | N.47°05,845';<br>E 017°54,460'  | Ráccsal lezárt a befolyó, melynek vize a Veszprémi-Sédbe torkollik. A környéke kövekkel kirakott.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)       | -                          |
| 13  | Aranyos-völgy (városi csapadék elvezető csatorna után) | N.47°05,847';<br>E 017°54,461'  | <b>A városból érkező befolyó víz a Séddelel keveredik, a befolyás után néhány méterrel történt a vizsgálat.</b>   | <b>2009-2016</b><br>(27 eseti mérés) | <b>pontszerű szennyező</b> |
| 14  | Aranyos-völgy (Remete út, kertészet után a hídnál)     | N.47°06,492';<br>E 017°54,431'  | <b>Apró kavicsos, zagyos, néhol betontörmelékes meder figyelhető meg.</b>   | <b>2009-2016</b><br>(27 eseti mérés) | <b>várható szennyezés</b>  |
| 15  | Házgyári út és az LB-Knauf Kft. között (híd alatt)     | N.47°06,966';<br>E 017°54,293'  | Köves, kavicsos mederaljzatú, a part helyenként kövekkel, betonlapokkal kirakott.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés)       | -                          |
| 16  | Békatói-árok (Veszprémi-Séd mellékága)                 | N. 47°07,130';<br>E 017°54,164' | <b>A mellékág vize a Sédbe folyik. A part és a vízfolyás szemetes, a víz iszapos, habzó. Helyenként nád is megfigyelhető.</b>   | <b>2009-2016</b><br>(27 eseti mérés) | <b>jelentősen terhelt</b>  |

| Sor | Mintavételi hely neve  | Koordináta                     | Leírás  | Mérések időpontja              | Kritikus pont        |
|-----|--|--------------------------------|---|--------------------------------|----------------------|
| 17  | Veszprémi Vízmérce   | N.47°07,134';<br>E017°54,346'  | A VIZIG vízmércéjénél történt a mintavétel. A parti rész betonlapokkal kirakott, a meder köves, kavicsos.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |
| 18  | Szennyvíztisztító telep előtt (híd alatt)                        | N.47°07,35';<br>E 017°54,574'  | A szennyvíztisztító előtti részen a híd alatt történtek vizsgálatok. A híd mentén négy betonos csapadékvíz-lefolyó lett kialakítva. A meder homokos, iszapos, kavicsos, nagyobb kődarabok is megfigyelhetők. A partoldal innentől kezdve növényzettel sűrűn benőtt. | 2009-2016<br>(27 eseti mérés)  | várható szennyezés   |
| 19  | Szennyvíztisztító telepről elfolyó tisztított szennyvíz          | N.47°07,440';<br>E 017°54,785' | Betonozott meder, fás, bokros parti rész figyelhető meg. A szennyvíztisztító telepről elfolyó tisztított szennyvíz széles betoncsövön hagyja el a szennyvíztisztító telepet.  | 2009-2016<br>(27 eseti mérés)  | tisztított szennyvíz |
| 20  | Szennyvíztisztító telep kifolyója után                           | N47°07,456';<br>E017°54,799'   | A patakmeder bokrokkal és magas növényzettel sűrűn benőtt. Köves, iszapos meder jellemző.   | 2009-2016<br>(27 eseti mérés)  | pontszerű szennyezés |
| 21  | Kádárta (Veszprémi-Séd befolyó mellékág-1) 82 főút bal oldala    | N.47°07,866';<br>E017°54,799'  | A mellékág parti része a befolyásnál kövekkel kibetonozott, minkét partról kb. 60-80 cm, a meder feléig benyúló hordalékfogót alakítottak ki. Kavicsos, enyhén iszapos aljzat figyelhető meg.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |
| 22  | Kádárta (befolyás előtt) 82 főút baloldal                        | N.47°07,874';<br>E 017°56,734' | A Veszprémi-Séd befolyása előtti részen történt a vizsgálat.  | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |
| 23  | Kádárta (Veszprémi-Sédbe befolyó mellékág-2) 82 főút jobb oldala | N.47°07,768';<br>E017°57,100'  | A mintavétel a Veszprémi-Sédbe torkolló mellékágból történt még az összefolyás előtt.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |
| 24  | Kádárta (befolyás előtt) 82 főút jobb oldal                      | N.47°07,776';<br>E 017°56,096' | A mellékág befolyása előtt a Veszprémi-Sédből történt mintavétel.   | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |
| 25  | Veszprémi Séd (Kádárta után)                                     | N.47°07,811';<br>E 017°57,335' | Kádártát elhagyó szakaszon történt mintavétel.  | 2009 tavasz<br>(3 eseti mérés) | -                    |

## 18.2 FÜGGELÉK 2: SYN-TAX 2000 program alkalmazásához adatbázis tisztítás, paraméter korreláció vizsgálat

A többváltozós statisztikai módszerek alkalmazásánál feltétel, hogy az adatokban ne legyen hiányzó rész. Ez azt jelenti, hogy az elemzésbe bevett összes mintavételi egységre az összes változó értékét ismernünk kell. Esetemben ugyanakkor viszonylag sok vízfolyás mért adataiból képzett átlag egy vagy akár 50%-a is hiányzott a fizikai-kémiai paraméter mért értékeinek, így ezen paraméterre vonatkozó adatsort, azaz a teljes vízfolyásokat a vizsgálatból ki kellett volna hagynom. Ezért a sorok (víztestek) kivétele előtt először megvizsgáltam, hogy nem hagyhatok-e oszlopokat (azaz fizikai-kémiai paramétereket), így csökkentve az egyes hiányzó értékek számosságát.

A paraméterszám csökkentésére a paraméter korreláció kimutatását, mint az egymással korreláló paraméterek kiszűrésének eszközt használtam fel. A feladatot, a főkoordináta analízist a SYN-TAX 2000 programcsomag (Podani J., 2001) segítségével végeztem el. A főkoordináta analízis (*Principal coordinate analysis*, PCoA) egy olyan ordinációs módszer, mely hatékony dimenzió-redukcióra törekedve megadja azokat koordináta tengelyeket, melyek mentén az adataink legjobban ábrázolhatók. A PCoA során annyi ordinációs tengelyt állítunk elő, amennyi a távolság-mátrixban lévő információ megtartásához szükséges – de ábrázolni maximum három koordináta tengely mentén tudunk (David Freedman et al , 2005). A PCoA metrikus, mert az ordinációban megőrzi az objektumok közötti távolságviszonyokat. Feltétele, hogy a távolságok teljesítsék a metrikus axiómákat. Így, a 380 víztestből 60 víztestet ki kellett az elemzésből hagyni a fenti feltételek teljesülése miatt. A 13 biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterre a főkoordináta analízis eredményét a 98. ábrán mutatom be:

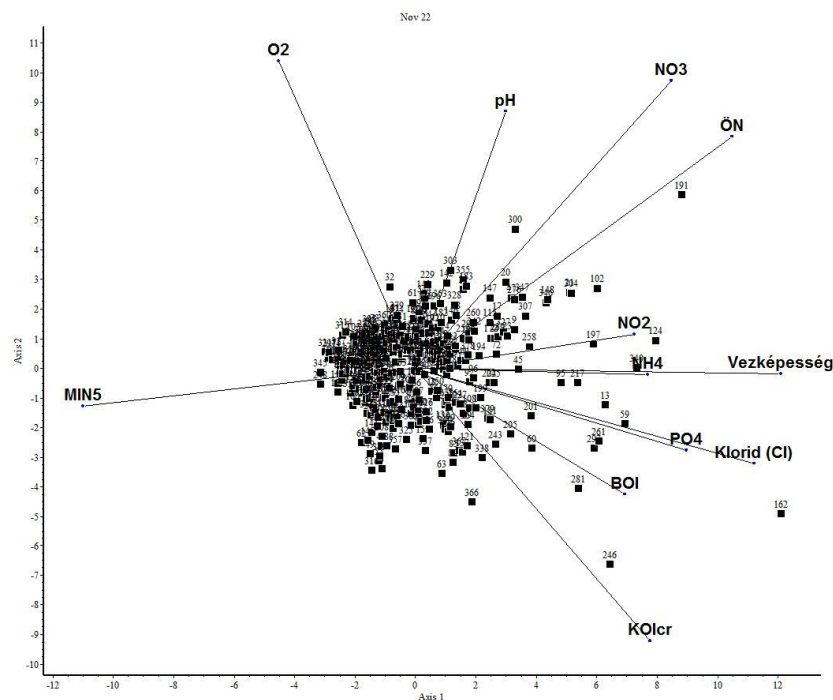


98. ábra: Főkoordináta analízis a 13 fizikai-kémiai paraméterre (SYNTAX 2000)

A főkoordináta analízis eredményét szemléltető ábrából látható:

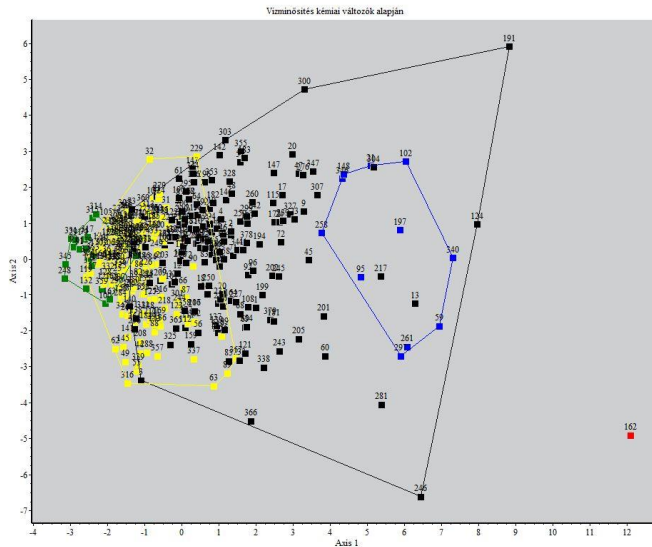
- hogy az oxigéntelítettség szoros korrelációt (pozitív) mutat az oldott oxigénnel, az TP (összes foszfor) pedig az ortofoszfáttal. Ez azt jelenti, hogy a koncentráció értékük együtt mozog. Így ebben az esetben javasolható, hogy elegendő csak az egyik paraméternek a mérése és elemzése,
- negatív korreláció van a kémiai oxigén (KOI mg/l) és az oldott oxigén (DO mg/l) között, amit azt jelenti, hogy ahol nagy az oldott oxigén koncentráció ott alacsony a KOI (szerves anyag) tartalom.

A két paraméter az oxigéntelítettség és a TP törlése után 11 paraméterre is elkészítettem a főkoordináta analízis ábrát. A 99. ábra a 11 biológiát támogató fizikai-kémiai paraméter futtatási eredményeit mutatja be, amelyhez szintén a SYN-TAX 2000 programot használtam (Podani J., 2001).



99. ábra: Főkoordináta analízis a csökkentett számú 11 fizikai-kémiai paraméterre (SYNTAX 2000)

A 100. ábra mutatja az újabb futtatási eredményt: a kék szín jelöli a kiváló, a zöld szín a jó, a sárga szín a mérsékelt, a fekete szín a gyenge és a piros szín a rossz állapotú víztesteket. Összehasonlítottam a VKI minősítés eredményét a SYN-TAX program futtatási eredményével és az látható, hogy azok a víztestek kerültek a közepes és a gyenge kategória határára a SYN-TAX programmal történt ábrázolásánál, ahol a minősítéshez tartozó csoportátlag értékek is a minősítés határon voltak (pl. csoportátlag értéke 2,2-2,6 között mozgott).



100. ábra: Főkoordináta analízis újabb futtatása 11 paraméterre (SYNTAX 2000)

47. táblázat: Az összehasonlító elemzésbe bevont és elhagyott paraméterek

| Sorszám | Fizikai-kémiai paraméterek                                      | Elhagyott |
|---------|---|-----------|
| 1       | pH  |           |
| 2       | vezetőképesség ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )                      |           |
| 3       | Klorid ( $\text{mg}/\text{L}$ )                                 |           |
| 4       | BOI <sub>5</sub> ( $\text{mg}/\text{L}$ ) biológiai oxigénigény |           |
| 5       | KOI <sub>Cr</sub> (kémiai oxigénigény ( $\text{mg}/\text{L}$ )) |           |
| 6       | oldott oxigén ( $\text{mg}/\text{l}$ )                          |           |
| 7       | oxigén telítettség (%)  | x         |
| 8       | NH <sub>4</sub> -N ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ammónium-N          |           |
| 9       | NO <sub>2</sub> -N ( $\text{mg}/\text{L}$ ) nitrit-N            |           |
| 10      | NO <sub>3</sub> -N ( $\text{mg}/\text{L}$ ) nitrát-N            |           |
| 11      | TN ( $\text{mg}/\text{L}$ ) összes nitrogén                     |           |
| 12      | PO <sub>4</sub> -P ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ortofoszfát-P       |           |
| 13      | TP ( $\text{mg}/\text{L}$ ) összes foszfor                      | x         |



Az elemzések előkészítő lépéseként a SYN-TAX 2000 program (Podani J., 2001) többváltozós statisztikai módszer alkalmazási feltételeként hiánytalan adatbázist állítottam elő. Így a rendelkezésemre álló kétdimenziós éves vízfolyás paraméter adattáblából tehát mind oszlopokat (paraméterek), mind sorokat (vízfolyások) elhagytam. A paraméterek (oszlopok) tekintetében: Regionálisan meghatároztam, hogy leginkább melyik biológiát támogató fizikai-kémiai paramétercsoport befolyásolja a terület vízminőségét. Az előző pontban ismertettem, hogy a főkoordináta analízis azt mutatta, az oxigéntelítettség szoros korrelációt mutat az oldott oxigénnel, valamint az összes foszfor (TP) az ortofoszfát-P paraméterrel, így két paramétert elhagyva az elemzéseket 11 fizikai-kémiai paraméter alapján végeztem el (47. táblázat).

### **18.3 FÜGGELÉK 3: Továbbfejlesztési hipotézis az ICF gráftávolságon alapuló eljáráshoz**

Az adatelemzéshez egy új diszkrét matematikai megközelítésen alapuló módszert Iteratív Kanonikus Forma ICF (Jakó É., 1983) és az eljárás számítógépes adaptációját, a BOOL-AN szoftvert (Jakó et al., 2009) alkalmaztam.

Összehasonlításként többváltozós statisztikai elemzést a Syn-Tax 2000 programcsomag (Podani, 2001). segítségével végeztem el a fizikai-kémiai komponensekre.

A mérési eredmények hierarchikus elemzése során csoportátlag (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean azaz UPGMA) módszert alkalmaztam, illetve a korreláció elemzéshez a főkoordináta analízist (PCoA – Principal Coordinates Analysis) alkalmaztam (Podani, 2001).

Az ICF módszer (Jakó et al. 2009) tesztelését a rendelkezésemre álló 380 vízfolyás 2010. évi mérési adatainak átlagértékei alapján végeztem el (NEKI, 2012). A vonatkozó adatbázis részletes bemutatása a 2.3.1 fejezetben található.

#### **A VKI alapú minősítés egy mintapéldán keresztül**

A VKI a biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek minősítéséhez három osztályos rendszert használ: kiváló állapot:  $\geq 4,5$ ; jó állapot:  $\geq 3,5$ ; nem érte el a jó állapotot:  $< 3,5$ . A tesztelés során még az első VGT-ben (VGT, 2010) meghatározott osztályozással dolgoztam.

A BOOL-AN programcsomagban a vízminősítéshez nem a VKI szerinti háromszintű minősítési osztályt használtam. Ennek oka, hogy a VKI a jó állapotot el nem érő (pl. a 3,4 vagy 2,4 átlagértékű) víztesteket együtt kezeli, holott már az elején célszerű lenne ismerni milyen szintű beavatkozást igényelne az adott víztest. Ezért a programcsomagban öt osztályos minősítést alkalmaztam, hogy lássam milyen szintű a nem megfelelő állapot. Az ábrázolásokhoz használt színskálám megegyezik a VKI által az ökológiai állapothoz (öt osztályos minősítés) használt színskálával.  $\geq 4,5$  kiváló (kék);  $\geq 3,5$  jó (zöld)  $< 4,5$ ;  $\geq 2,5$  mérsékelt (sárga)  $< 3,5$ ;  $\geq 1,5$  gyenge (lila/barna)  $< 2,5$ ; (piros)  $\leq 1,5$  rossz.

A VKI alapú minősítés menete a 10/2010 (VIII.18.) VM rendelet alapján a következő. A víztest tipológiai besorolása alapján a mért értékeket összehasonlítjuk a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott határértékekkel (minősítés 1-5 kategória alapján). A mérési eredmények alapján elvégezzük az elemenkénti osztályozást az ötfokozatú skálán: A 13 fizikai-kémiai paraméterből képzett sav, sóháztartás, oxigén-és tápanyagháztartás csoportoknak az átlag értékét kiszámoljuk. A csoportátlagok közül a legrosszabbat választjuk, és ez alapján történik a víztest biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterre történő minősítése (48. táblázat).

A komponens csoportok átlagértékei közül a növényi háztartás kapta a legrosszabb átlagértéket (2,4), ezért a Pécsi-víz középső vízfolyás fizikai-kémiai paraméterre vonatkozóan nem megfelelő állapotú.

48. táblázat: VKI alapú minősítés menete

| Sorszám | Vízfolyás   | Tipológiai típus | Sav                    |            |        | Sóháztartás |                   |                |     |                   | Oxigénháztartás   |                   |      |                   |      | Növényi háztartás |  |  |  |  |
|---------|---|------------------|------------------------|------------|--------|-------------|-------------------|----------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|--|--|--|--|
|         |   |                  | pH                     | Vezképeség | Klorid | BOI         | KO <sub>lcr</sub> | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> N | NO <sub>2</sub> N | NO <sub>3</sub> N | ÖN   | PO <sub>4</sub> P | ÖP   |                   |  |  |  |  |
| 1       | Pécsi-víz középső                                 | 9                | 7,94                   | 1289       | 91     | 2,68        | 20                | 6,48           | 59  | 0,531             | 0,194             | 5,950             | 8,03 | 994               | 1142 |                   |  |  |  |  |
|         | 10/2010 (VIII.18) VM rendelet alapján a minősítés |                  | 5                      | 3          | 3      | 4           | 3                 | 3              | 3   | 3                 | 3                 | 2                 | 3    | 2                 | 2    |                   |  |  |  |  |
|         |   |                  | 5                      | 3          |        | 3,2         |                   |                |     |                   | 2,4               |                   |      |                   |      |                   |  |  |  |  |
|         |   |                  | 2,4                    |            |        |             |                   |                |     |                   |                   |                   |      |                   |      |                   |  |  |  |  |
|         |   |                  | nem megfelelő állapotú |            |        |             |                   |                |     |                   |                   |                   |      |                   |      |                   |  |  |  |  |

### Gráf alapú klaszterező algoritmus a felszíni vizek minőség alapú osztályozásához

BOOL-AN program vizes moduljának kidolgozása. Az ICF vízminőség osztályozó módszere a víztestek mérési adatainak a paraméter alapú minősítési értékét veszi alapul. Minden egyes víztestet egy sorszám és egy név jelöl és a fizikai-kémiai minősítési értékeknek megfelelő A,T,C,G,F,'-' karakterekből álló szekvencia írja le (példa: Pécsi víz: ACCTCCCCGCGG).

49. táblázat: ICF kódolási menete

| Sorszám | Vízfolyás   | Tipológiai típus | Sav  |            |        | Sóháztartás |                   |                |     |                   | Oxigénháztartás   |                   |      |                   |      | Növényi háztartás |  |  |  |  |
|---------|---|------------------|------|------------|--------|-------------|-------------------|----------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|--|--|--|--|
|         |   |                  | pH   | Vezképeség | Klorid | BOI         | KO <sub>lcr</sub> | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> N | NO <sub>2</sub> N | NO <sub>3</sub> N | ÖN   | PO <sub>4</sub> P | ÖP   |                   |  |  |  |  |
| 1       | Pécsi-víz középső                                 | 9                | 7,94 | 1289       | 91     | 2,68        | 20                | 6,48           | 59  | 0,531             | 0,194             | 5,950             | 8,03 | 994               | 1142 |                   |  |  |  |  |
|         | 10/2010 (VIII.18) VM rendelet alapján a minősítés |                  | 5    | 3          | 3      | 4           | 3                 | 3              | 3   | 3                 | 3                 | 2                 | 3    | 2                 | 2    |                   |  |  |  |  |
|         | Át kódolás  |                  | A    | C          | C      | T           | C                 | C              | C   | C                 | C                 | G                 | C    | G                 | G    |                   |  |  |  |  |
|         | Paraméterek pozíció száma az n-kockán             |                  | 0    | 1          | 2      | 3           | 4                 | 5              | 6   | 7                 | 8                 | 9                 | 10   | 11                | 12   |                   |  |  |  |  |

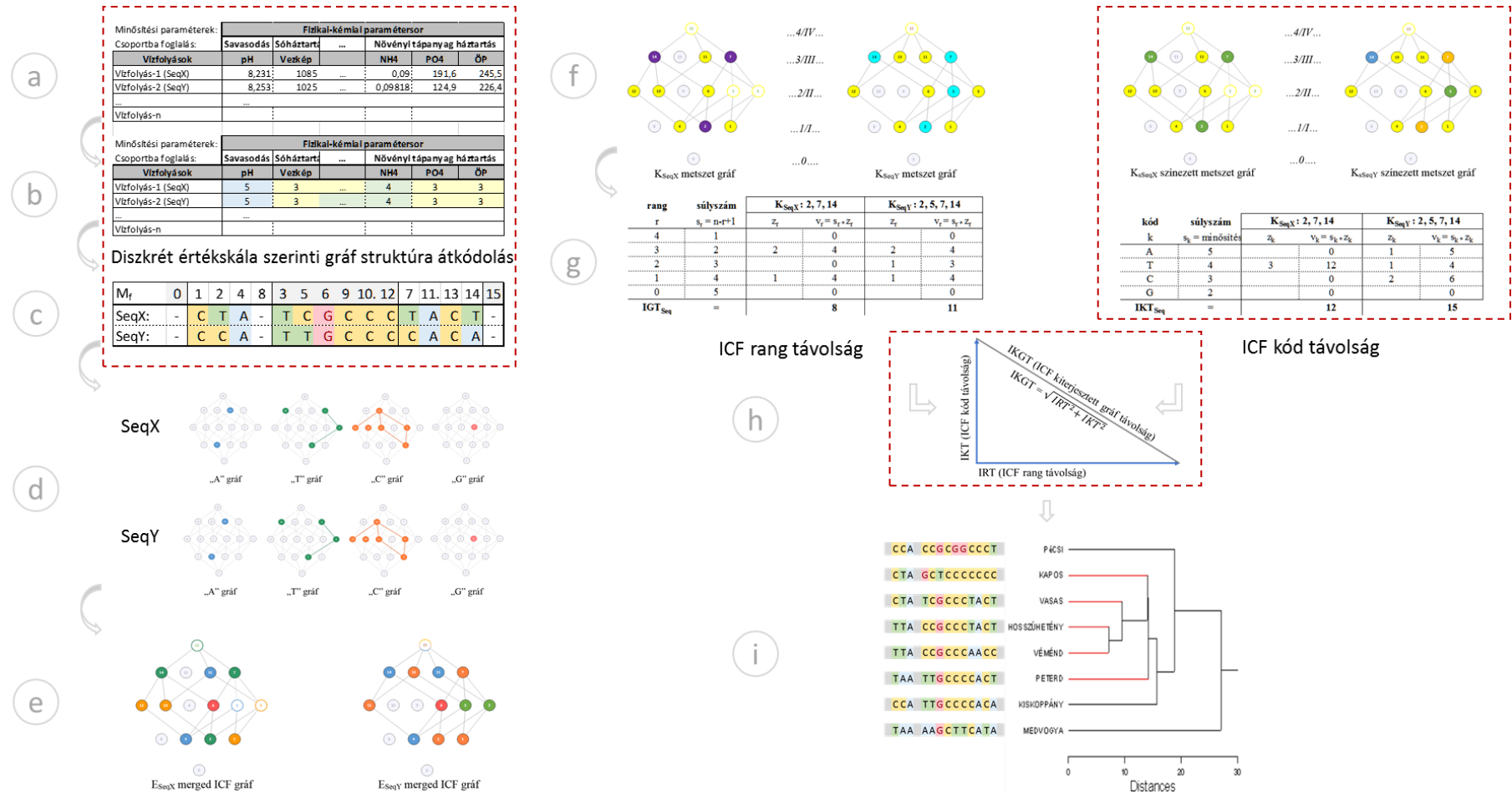
A karakterek pozíciószámai a fizikai-kémiai paramétereket jelölik és különböző rendezési módokat teszteltem. Az 49. táblázat a VKI minősítésben alkalmazott csoportképzési logikát követi.

Az ICF gráf kiszámítása az input adatok n-kockán való rendezése után történik. (három lépésben: rendezés, particionálás, iteráció).

A futtatások során a távolságszámításhoz több ismert metrikát is kipróbáltam (Hamming, Jaccard, Euklidészi, Manhattan) (Podani J., 1997), a ICF gráf távolságok („to any” és „merged”) mellett.

- To any gráf távolság azt jelenti, hogy páronként annyi n-kockán rendezett ICF gráf alapján számoljuk a távolságokat, ahány karaktert használunk az input szekvenciákban (esetünkben ez 5 karakter).
- Merged (egyesített) gráf távolság számítása esetén, egy n-kockán vannak rendezve az összes karaktert leképező ICF gráfok egy-egy vízfolyásra. Ez azt jelenti, hogy két vízfolyás adatainak összevetéséhez két merged ICF gráf szükséges.

A 101. ábra a BOOL-AN eljárás vizes moduljának a főbb lépéseit mutatja. A vizes modulhoz fejlesztett részeket piros keret mutatja.



101. ábra: A BOOL-AN eljárás vizes moduljának főbb lépései (szerkesztette: Kovács Zsófia)

A 101. ábra részletes leírása:

*A vizsgált vízfolyás adatbázis előkészítése:* Az egyes vízfolyások mérési eredményei éves átlag értékeinek **(a)** a 10/2010 (VIII.18) VM rendeletben megadott határértékek alapján 1-5 osztályos skálán történő a VKI alapú minősítése **(b)** még abban a formában, hogy az ötös jelenti a kiváló állapotot. A **(c)** pontban történik a diszkrét értékkála szerinti gráf struktúra átkódolása (nukleotid szekvenciát alkalmaztam: 5-A/4-T/3-C/2-G/1-F, illetve ahol nincs adat „-” jelölés).

*A vizsgált vízfolyások távolságmátrixának meghatározása:* Páronkénti összevetéssel (aktuális párként: SeqX és SeqY) a vízfolyások átkódolt paraméter értékeinek n-kockán való elrendezése: az X és Y vízfolyásra vonatkozó A-T-C-G gráfok **(d)**. Ezt követi az adatok logikai particionálása és minimalizálása a Boole-függvények Iteratív Kanonikus (ICF) előállító algoritmus alapján, melynek eredményei az A-T-C-G ICF gráfok. Az eredeti A-T-C-G gráfok összevonásával kapott merged gráfok: az  $M_{seqX}$  és  $M_{seqY}$ , illetve az A-T-C-G ICF gráfok összevonásával az ICF merged gráfok:  $E_{seqX}$  és  $E_{seqY}$  **(e)**.

Az  $E_{seqX}$  és  $M_{seqY}$ , illetve az  $E_{seqY}$  és  $M_{seqX}$  gráfok metszetképzésével kapjuk a konszenzus gráfokat **(f)**. Az adatelemzéshez különböző metrikák (ICF rang és kódtávolság) alapján **(g)** és ezek kombinációjával **(h)** számolhatjuk ki a gráftávolságot.

Az előzőekben ismertetett eljárásnak a vizsgált vízfolyás adatbázis elemeinek variációjával képzett párokra történő alkalmazásával határozhatjuk meg a távolság mátrix értékeit.

*A vizsgált vízfolyás adatbázis klaszterezése:* Az eredmények megjelenítéséhez dendrogram **(i)** készíthető.

### Az összehasonlítandó vízfolyások paraméter szekvenciáinak kódolása

Első lépésben kiválasztottam a két összehasonlítandó vízfolyást: röviden KisKoppány és Vasas.

(Az 50. táblázatban az első oszlop az adatbázisban levő sorszám azonosítót jelöli).

50. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások fizikai-kémiai paraméter mérési átlagértékei

| #   | Vízfolyás                      | Típus | Típuscsp. | pH   | Vezkép | Cl   | BOI  | KOICr | O <sub>2</sub> | O %  | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> N | ÖN   | PO <sub>4</sub> P | ÖP  |
|-----|--------------------------------|-------|-----------|------|--------|------|------|-------|----------------|------|--------------------|--------------------|-------------------|------|-------------------|-----|
| 183 | Kis-Koppány felső              | 8     | B         | 8,23 | 1085   | 57,9 | 1,89 | 16,27 | 8,72           | 78,1 | 0,09               | 0,027              | 8,27              | 9,39 | 192               | 246 |
| 353 | Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | 8     | B         | 8,25 | 1025   | 39,2 | 2,33 | 17,09 | 9,41           | 85,4 | 0,09               | 0,064              | 5,64              | 6,51 | 125               | 226 |

A vezetőképesség értékét  $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben a KOI, BOI, Cl, oldott oxigén, N és P formákat mg/l-ben adtam meg.

A VKI minősítési eljárás alapján a paraméter értékeket diszkrét minősítési értéknek feleltetem meg (51. táblázat):

51. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások fizikai-kémiai paraméter minősítési értékei

| Vízfolyás                      | pH | Vezkép | Cl | BOI | KOICr | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> N | ÖN | PO <sub>4</sub> P | ÖP |
|--------------------------------|----|--------|----|-----|-------|----------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|----|-------------------|----|
| Kis-Koppány felső              | 5  | 3      | 3  | 5   | 3     | 5              | 3   | 4                  | 4                  | 2                 | 3  | 3                 | 3  |
| Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | 5  | 3      | 4  | 4   | 3     | 5              | 4   | 4                  | 3                  | 2                 | 3  | 3                 | 3  |

A diszkrét minősítési értékeket átkódoltam az ATCG értékskálára (A=5, T=4, C=3, G<=2, 52. táblázat):

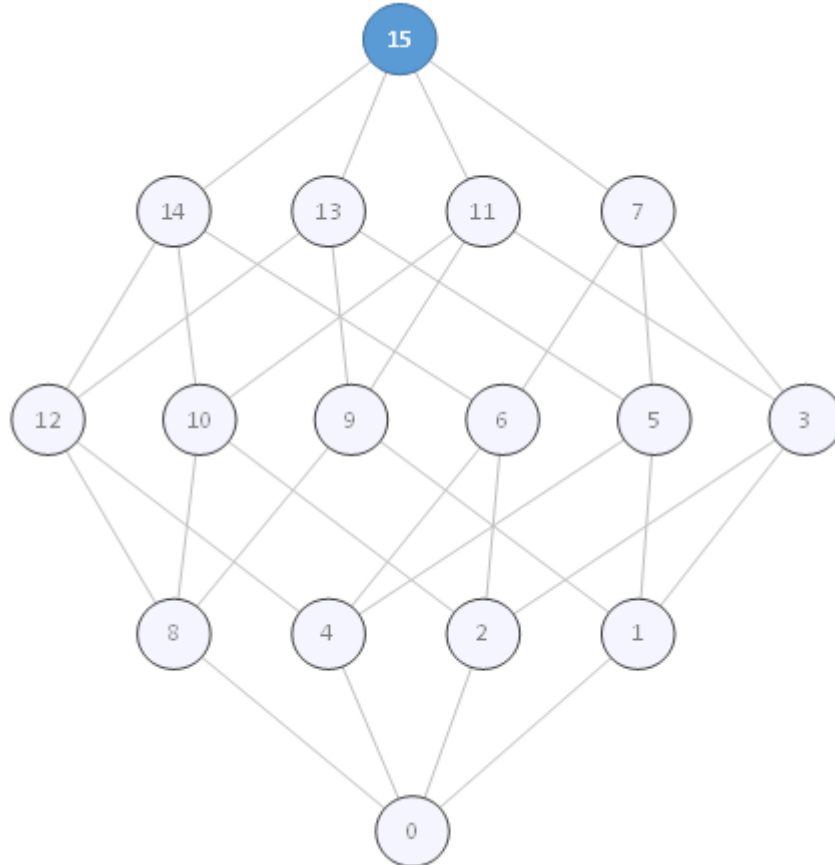
52. táblázat: Az összehasonlítandó vízfolyások ATCG kódolt értékei a vízminősítési csoportok szerinti besorolással:

| Vízfolyás                      | Sav. | Sótartalom |    | Oxigén háztartás |       |                |     | Növényi tápanyag   |                    |                   |    |                   |    |
|--------------------------------|------|------------|----|------------------|-------|----------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|----|-------------------|----|
|                                | pH   | Vezkép     | Cl | BOI              | KOICr | O <sub>2</sub> | O % | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> N | ÖN | PO <sub>4</sub> P | ÖP |
| Kis-Koppány felső              | A    | C          | C  | A                | C     | A              | C   | T                  | T                  | G                 | C  | C                 | C  |
| Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | A    | C          | T  | T                | C     | A              | T   | T                  | C                  | G                 | C  | C                 | C  |

### A fizikai-kémiai paraméterek kiosztása a gráfon

A 13 fizikai-kémiai paraméter esetében  $n = 4$  dimenziós  $n$ -kockát használtam, hiszen  $(2^3 =) 8 < (\text{paraméterszám} =) 13 < (2^4 =) 16$ .

Az  $n = 4$  esetben az  $n$ -kocka felépítése: (102. ábra)



102. ábra: A négydimenziós  $n$ -kocka parciális rendezése

A gráfból látszik, hogy az egyes szinteken levő (azonos rangú) csúcspontok esetében nincs összekötő él.

Ezért az  $n$ -kocka ranghoz igazított paramétercsoport alapú gráfokra történő paraméter leosztást úgy valósítottam meg, hogy

- a gráf kezdő és végpontját az algoritmus szempontjából speciális viselkedésük miatt nem párosítottam paraméterrel,
- az egyes csoportokat az egyes szintekhez rendeltem,
- mivel ilyen közbenső szint (rang) csak három volt a négy komponens csoporttal szemben, ezért a minimális paraméterszámmal bíró Savasodást (csak a pH) és a Sótartalom (vezetőképesség és klorid) csoportokat azonos szinten helyeztem el,
- az ammónium-N átcsoportosítottam a többi nitrogénformát is tartalmazó Növényi háztartás csoportba,
- így biztosított volt a korábbi elemzésekből következő domináns Oxigén és Növényi háztartás komponens csoportok külön szinten történő elhelyezése.

Az eredeti paraméter kiosztást a 53. táblázat mutatja:

53. táblázat: Az eredeti paraméter kiosztás

| Rang             | 0  | 1      |    |     |     | 2              |    |                 |                 | 3               |    |                 |    | 4  |    |    |
|------------------|----|--------|----|-----|-----|----------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|----|-----------------|----|----|----|----|
| Paraméterek      | pH | Vezkep | Cl | BOI | KOI | O <sub>2</sub> | O% | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | ÖN | PO <sub>4</sub> | ÖP | -  | -  | -  |
| n-kocka rendezés | 0  | 1      | 2  | 4   | 8   | 3              | 5  | 6               | 9               | 10              | 12 | 7               | 11 | 13 | 14 | 15 |

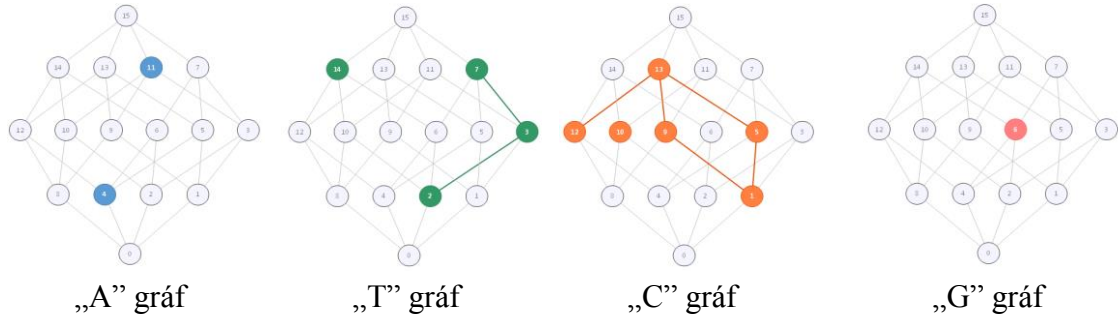
Az új csoportosítási elveknek megfelelő paraméter kiosztás az n-kockán (54. táblázat):

54. táblázat: Az új csoportosítási elveknek megfelelő paraméter kiosztás

| Rang =                         | 0 | 1      |    |    |   | 2               |                 |                 |    | 3               |    |    |                | 4   |     |    |
|--------------------------------|---|--------|----|----|---|-----------------|-----------------|-----------------|----|-----------------|----|----|----------------|-----|-----|----|
| Paraméterek =                  | - | VezKep | Cl | pH | - | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | ON | PO <sub>4</sub> | OP | O% | O <sub>2</sub> | KOI | BOI | -  |
| Vízfolyás                      | 0 | 1      | 2  | 4  | 8 | 3               | 5               | 6               | 9  | 10              | 12 | 7  | 11             | 13  | 14  | 15 |
| Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | - | C      | T  | A  | - | T               | C               | G               | C  | C               | C  | T  | A              | C   | T   | -  |
| Kis-Koppány felső              | - | C      | C  | A  | - | T               | T               | G               | C  | C               | C  | C  | A              | C   | A   | -  |

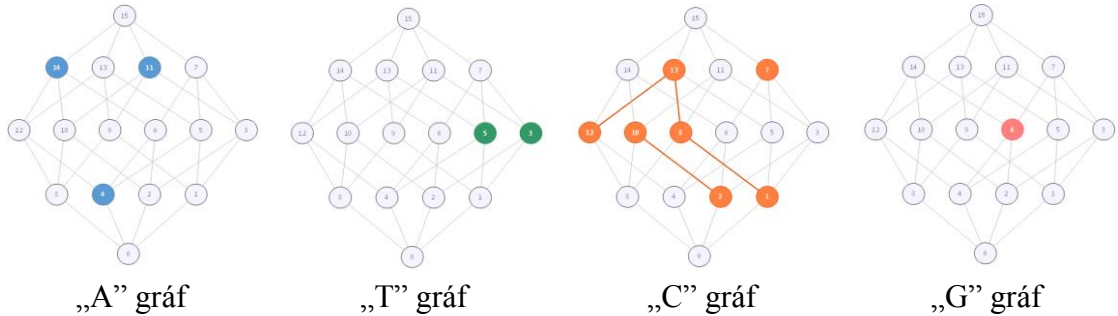
A táblázatban a minősítésnek megfelelő színnel jelöltem a paraméter értékeket (kiváló – kék, jó - zöld, közepes – sárga, gyenge, rossz – piros).

Az A-T-C-G 4 gráf a Vasas-Belvárdi vízfolyás esetében ( $M_{fSeqX}$ , 103. ábra):



103. ábra: A kiinduló A-T-C-G gráfok (Vasas-Belvárdi:  $M_{fSeqX}$ )

Az A-T-C-G 4 gráf a Kis-Koppány felső vízfolyás esetében (jelölése:  $M_{fSeqY}$ , 104. ábra):

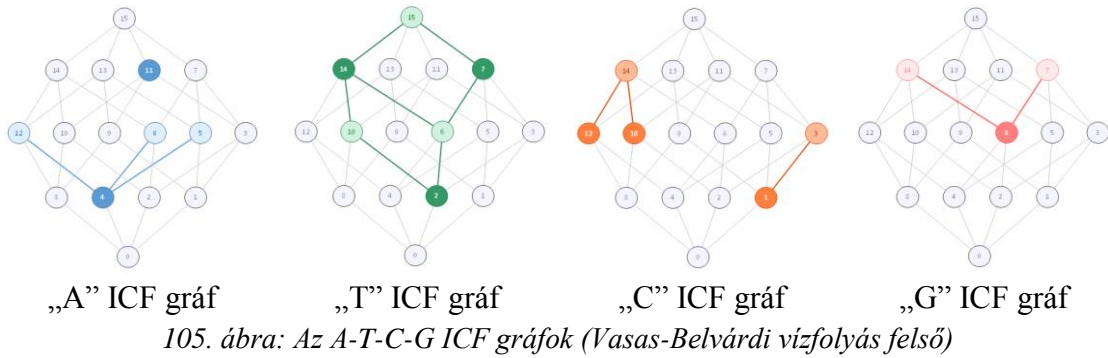


104. ábra: A kiinduló A-T-C-G gráfok (Kis-Koppány:  $M_{fSeqY}$ )

### Az egyesített ICF gráf távolság (IGT) számítása

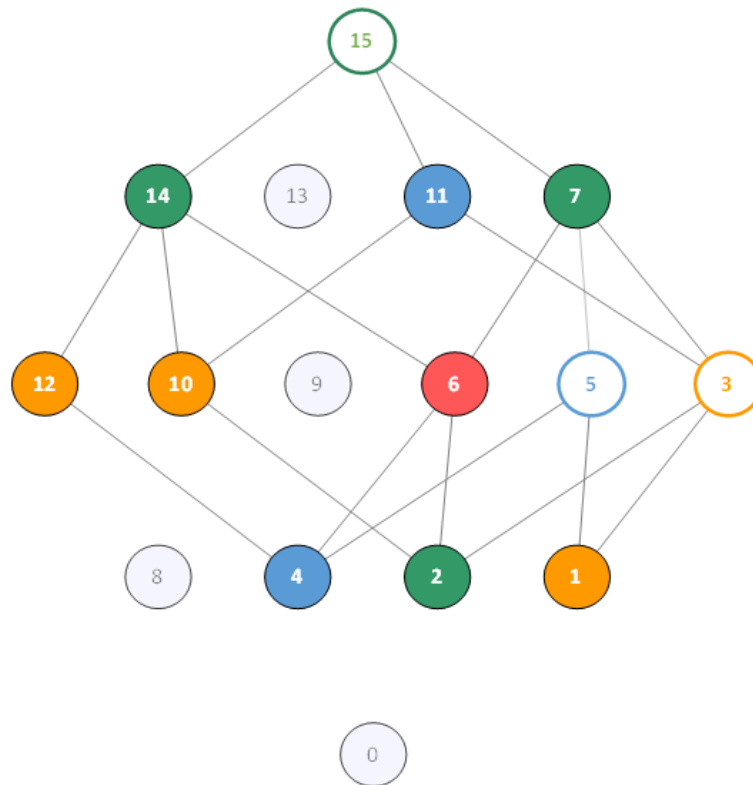
Vízfolyásonként kiindulva az egyes gráfokból több iterációs ciklussal megkaptam a paramétersor adatok Iteratív Kanonikus Formáit, azaz vizuálisan ábrázolva az ICF gráfokat (105. ábra):





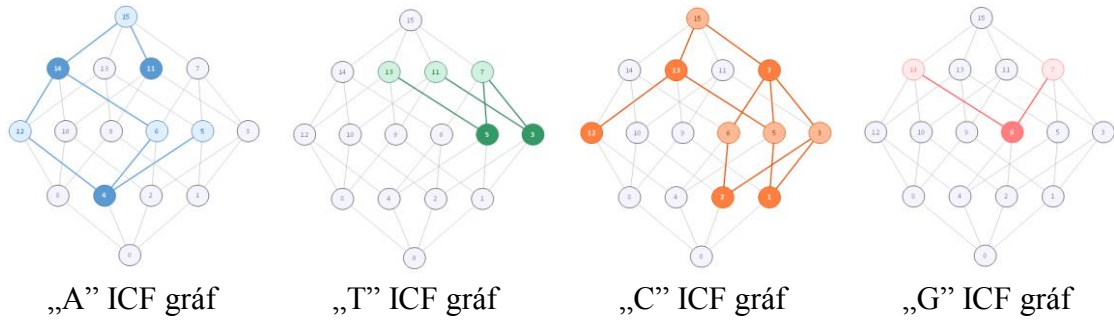
Az egyesített (merged) ICF gráfot a négy ICF gráf (A – T – C – G gráfok) összevonásával kaptam meg. A sötét színű (generáló) csúcspontok az eljárásnak megfelelően felülírták a másik gráfhoz tartozó világos (tiltó) csúcspontokat. A merged gráfon a megmaradó tiltó pontokat üres karikával és a származtató ATCG forrásra utaló színű körvonallal jelöltem. Szürke csúcspontok jelölik azokat az n-kocka csúcspontokat, amelyek nem találhatók meg a négy ICF és így az egyesített (merged) gráfban sem. Mivel ezeknek nincs szerepük a gráfban, így az éleket is töröltem.

Az „X” szekvenciának tekintett Vasas-Belvárdi vízfolyás felső esetében az egyesített gráfja ( $E_{SeqX}$ , 106. ábra):



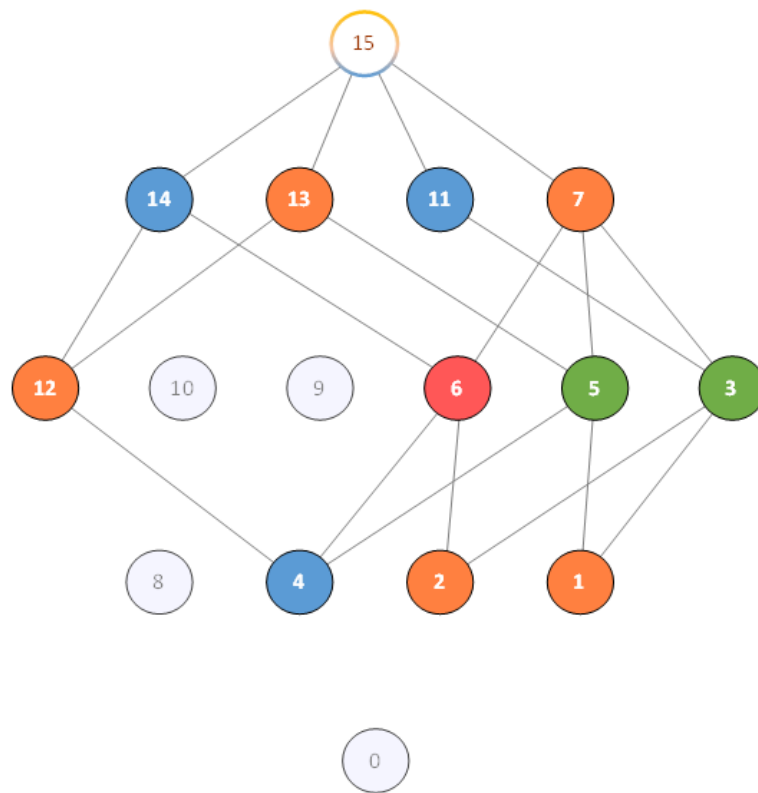
106. ábra: Az egyesített (merged) ICF gráf (Vasas-Bezerédi:  $E_{SeqX}$ )

A lépéssort végrehajtottam a Kis-Koppány felső vízfolyás gráf adatsoraira is. A kapott ICF gráfok (107. ábra):



107. ábra: Az A-T-C-G ICF gráfok (Kis-Koppány felső vízfolyás)

Az „Y” szekvenciának tekintett Kis-Koppány felső vízfolyás esetében az egyesített gráfja ( $E_{SeqY}$ , 108. ábra):



108. ábra: Az egyesített (merged) ICF gráf (Kis-Koppány:  $E_{SeqY}$ )

A világos csúcspontok összevonása esetén adódott olyan eset is, amikor két ICF gráfnál is szerepelt ugyanaz az elem. A Kis-Koppány felső vízfolyás esetében ilyen a 15-ös csúcs, amely mind az „A”, mind a „C” ICF gráfon tiltó elemként szerepelt. Ezért ezt az egyesített (merged) gráfon dupla, a forrásra utaló kék és narancs kombinációs színátmenetes körvonal színezéssel jelöltem. A két vízfolyás szekvencia egyesített (merged) gráf távolság számításához az egyes szekvenciák merged gráfjaiból kivontam a másik szekvencia induló gráf csúcspontjait, hogy megkapjam az úgynevezett Konszenzus gráf (K gráf) azon pontjait, amelyek között a gráf távolság számítandó. A metszet képzésnél a két vízfolyás esetében a következő jelöléseket használtam.

Az eredeti paraméter szekvenciák alapján képzett gráfok jelölései:

- az egyes A-T-C-G  $M_f^{(1)}_{SeqX}$  és  $M_f^{(1)}_{SeqY}$  gráfok a megfelelő kódú csúcspontokat tartalmazzák (109. ábra)
- míg az egyes A-T-C-G  $M_f^{(0)}_{SeqX}$  és  $M_f^{(0)}_{SeqY}$  gráfok a maradék csúcspontokból állnak.

Az egyesített (merged) gráfok jelölései:

- az  $E_{SeqX,1}$  és  $E_{SeqY,1}$  gráfok a megfelelő A-T-C-G kódú (teli színezésű) generáló csúcspontokat tartalmazzák
- az  $E_{SeqX,0}$  és  $E_{SeqY,0}$  gráfok a megfelelő A-T-C-G kódú (körvonal színezésű, de üres körrel jelölt) tiltó csúcspontokból állnak.

| $M_f$ | Vízfolyás      | 0 | 1 | 2 | 4 | 8 | 3 | 5 | 6 | 9 | 10. | 12 | 7 | 11. | 13 | 14 | 15 |
|-------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|----|---|-----|----|----|----|
| SeqX: | Vasas-Belvárdi | - | C | T | A | - | T | C | G | C | C   | C  | T | A   | C  | T  | -  |
| SeqY: | Kis-Koppány    | - | C | C | A | - | T | T | G | C | C   | C  | C | A   | C  | A  | -  |

109. ábra: A két vízfolyás eredeti szekvenciái ( $M_f^{(1)}_{SeqX}$  és  $M_f^{(1)}_{SeqY}$ )

A két vízfolyás egyesített (merged) ICF gráf távolság számításához az E és M gráfok metszésével A-T-C-G kódonként határoztam meg a képzendő K gráf csúcspontjait, amit a következő, 55. táblázat szemléltet (Jakó Éena által bevezetett és Kézdi Norbert által továbbfejlesztett egyesített ICF gráfok rangok szerint súlyozott távolsága, *merged ICF graph distance*, röviden IGT, Jakó et al, 2009; Jakó et al, 2012).

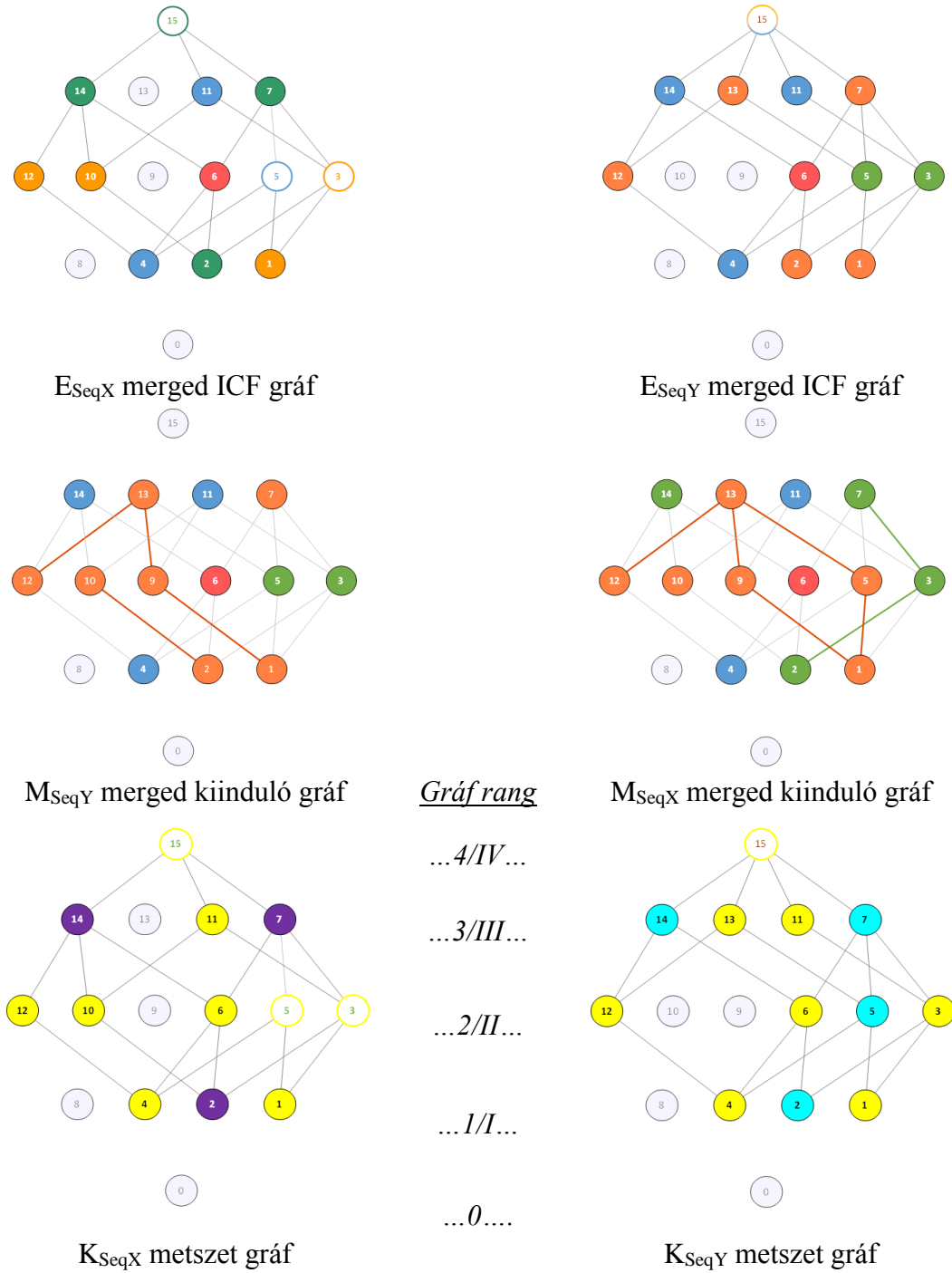
55. táblázat: A  $K_{SeqX}$  és  $K_{SeqY}$  gráfok csúcspontjainak meghatározása

| ATCG kód | $E_{SeqX,1}$     | $M_f^{(1)}_{SeqY}$                      | $E_{SeqX,0}$ | $M_f^{(0)}_{SeqY}$  | $E_{SeqY,1}$                     | $M_f^{(1)}_{SeqX}$                   | $E_{SeqY,0}$ | $M_f^{(0)}_{SeqX}$  |
|----------|------------------|---|--------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---|
| A        | <u>4, 11</u>     | <u>4, 11, 14</u>                        | <u>5</u>     | 0, 1, 2, 3,<br><u>5, 6, 7, 8,</u><br>9, 10, 12,<br>13, 15         | <u>4, 11, 14</u>                 | <u>4, 11</u>                         | <u>15</u>    | 0, 1, 2, 3,<br>5, 6, 7, 8,<br>9, 10, 12,<br>13, 14, <u>15</u> |
| T        | <u>2, 7, 14</u>  | 3, 5                                    | <u>15</u>    | 0, 1, 2, 4,<br>6, 7, 8, 9,<br>10, 11,<br>12, 13,<br>14, <u>15</u> | <u>3, 5</u>                      | 2, <u>3, 7, 14</u>                   | -            | 0, 1, 4, 5,<br>6, 8, 9,<br>10, 11,<br>12, 13, 15              |
| C        | <u>1, 10, 12</u> | <u>1, 2, 7, 9,</u><br><u>10, 12, 13</u> | <u>3</u>     | 0, <u>3, 4, 5,</u><br>6, 8, 11,<br>14, 15                         | <u>1, 2, 7,</u><br><u>12, 13</u> | <u>1, 5, 9,</u><br><u>10, 12, 13</u> | <u>15</u>    | 0, 2, 3, 4,<br>6, 7, 8,<br>11, 14, <u>15</u>                  |
| G        | <u>6</u>         | <u>6</u>                                | -            | 0, 1, 2, 3,<br>4, 5, 7, 8,<br>9, 10, 11,<br>12, 13,<br>14, 15     | <u>6</u>                         | <u>6</u>                             | -            | 0, 1, 2, 3,<br>4, 5, 7, 8,<br>9, 10, 11,<br>12, 13,<br>14, 15 |

A K gráfok képzésénél használt jelölések:

- aláhúzás a gráf metszet képzéseknél:  
 $E_{SeqX,1} \cap M_f^{(1)}_{SeqY}$ ;  $E_{SeqX,0} \cap M_f^{(0)}_{SeqY}$ ;  $E_{SeqY,1} \cap M_f^{(1)}_{SeqX}$ ;  $E_{SeqY,0} \cap M_f^{(0)}_{SeqX}$
- színezés a metszésekből megmaradó pontok alkotta K gráf csúcspontoknál:  
 $K_{SeqX}$ : lila;  $K_{SeqY}$ : türkiz.

A táblázatos számítási módszer bemutatása mellett gráfokon is szemléltetem a metszetképzésnél kiinduló  $E$ ,  $M_f$  és az eredmény  $K$  gráfokat és ezek rang értékeit (110. ábra):



110. ábra: A Kis-Koppány és a Vasas-Belvárdi paraméter szekvenciák merged E,  $M_f$  és K gráfjai

A két vízfolyás, a Kis-Koppány felső és a Vasas-Belvárdi felső paraméter szekvenciáinak, azaz az alkalmazott matematikai jelölésekkel a SeqX és a SeqY egyesített (merged) gráf távolságainak a kiszámítási eljárása a  $K_{SeqX}$  és a  $K_{SeqY}$  gráfok csúcspontjainak a gráfon való elrendeződéséből indul ki (Ari E., 2012):

- $n$  ... az n-kocka dimenziója, esetünkben  $n = 4$
- $r$  ... a gráf struktúrájából adódó aktuális csúcsponthoz, szinthez tartozó rang értéke, alulról felfelé sorban 0, 1, 2, 3, 4
- $s_r = n-r+1$  ... az egyes rangokhoz rendelt súlyszám értékek, felfelé sorban 5, 4, 3, 2, 1
- $z_r$  ... meghatározásra kerül az egyes szinteken (rangokon) levő csúcspontok száma
- $v_r = s_r \times z_r$  ... kiszámoljuk az adott ranghoz tartozó súlyozott csúcspontszám értékeket
- $IGT_{Seq} = \sum v_{r,Seq}$  ... az így képzett súlyozott távolságok összesítésével megkapjuk az ICF SeqX és SeqY távolság értékeket
- $IGT = \sum (IGT_{SeqX} + IGT_{SeqY}) / 2$  ... végül az ICF gráf távolságot a SeqX és SeqY szekvenciák  $IGT_{Seq}$  értékeinek számtani átlagaként kapjuk.

56. táblázat: Az egyesített (merged) ICF gráf távolság ( $IGT_{Seq}$ ) kiszámítása

| rang<br>$r$                   | súlyszám<br>$s_r = n-r+1$ | $K_{SeqX} : 2, 7, 14$ |                   | $K_{SeqY} : 2, 5, 7, 14$ |                   |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|                               |                           | $z_r$                 | $v_r = s_r * z_r$ | $z_r$                    | $v_r = s_r * z_r$ |
| 4                             | 1                         |                       | 0                 |                          | 0                 |
| 3                             | 2                         | 2                     | 4                 | 2                        | 4                 |
| 2                             | 3                         |                       | 0                 | 1                        | 3                 |
| 1                             | 4                         | 1                     | 4                 | 1                        | 4                 |
| 0                             | 5                         |                       | 0                 |                          | 0                 |
| <b><math>IGT_{Seq}</math></b> | =                         |                       | <b>8</b>          |                          | <b>11</b>         |

$$IGT = \sum (IGT_{SeqX} + IGT_{SeqY}) / 2 = (8+11) / 2 = \mathbf{9,5}$$
 (56. táblázat)

Megállapítottam, hogy a Kis-Koppány felső és a Vasas-Belvárdi felső vízfolyások paraméter szekvenciáinak (5' => 3' irányú) egyesített ICF gráf távolsága: 9,5!

### Mintahalmaz elemzése egyesített (merged) ICF gráf távolság számításal

Az egyesített (merged) ICF gráf távolság számító módszert egy kis mintaszámú halmazon alkalmaztam. A teszt eljáráshoz a mintahalmazt a következő szempontok szerint szűrtem ki a rendelkezésemre álló 380 vízfolyás adattáblából:

- a vízfolyás paraméter szekvenciák minden ATCG értéket tartalmazzanak, azaz egyaránt előforduljon a kiváló, jó, közepes és gyenge paraméter minősítési érték
- egy tipológiai típuscsoportkörből kerüljenek ki,
- egy regionális besoroláshoz tartozzanak,
- a számosságuk közelítsen a tízhez.

Így válogattam le a következő vízfolyás mintahalmazt (57. táblázat), amely:

- egyaránt tartalmazza az A-T-C-G értékeket,
- tipológiájuk szerint a „dombvidéki meszes” ,
- intézményi oldalról mind a Dél-dunántúli KTVF-hez tartozott
- 8 elemből állt: Hosszúhetény(-Hirdi vízfolyás alsó), Kapos(-közép vízfolyás), Kis-Koppány (felső), Medvonya-(patak mellékvízfolyásai); Pécsi(-víz középső), Peterd(-Szemelyi-vízfolyás), Vasas(-Belvárdi vízfolyás felső), Véménd(-Bári-vízfolyás). (Megj.: Az elemzések egy részénél a jobb láthatóság miatt elhagytam a zárójelbe tett megnevezés részeket.)

57. táblázat: A vízfolyás mintahalmaz paraméter értékei

| Rang =                         | 0 |        |       |       | 1 |         |         |       |       |       |       |       | 2     |       |       |  | 3 |  |  |  |
|--------------------------------|---|--------|-------|-------|---|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|---|--|--|--|
|                                |   | VezKep | Cl    | pH    |   | NH4     | NO2     | NO3   | ON    | PO4   | OP    | O%    | O2    | KOI   | BOI   |  |   |  |  |  |
| Vízfolyás                      | 0 | 1      | 2     | 4     | 8 | 3       | 5       | 6     | 9     | 10.   | 12    | 7     | 11.   | 13    | 14    |  |   |  |  |  |
| Hosszúhetény-Hirdi             | - | 807,9  | 33,13 | 8,386 |   | 0,1182  | 0,06464 | 7,022 | 7,815 | 178,9 | 341,8 | 87,91 | 9,764 | 18,09 | 2,782 |  |   |  |  |  |
| Kapos-közép                    | - | 747,9  | 32,37 | 8,114 |   | 1,282   | 0,1455  | 2,23  | 4,762 | 216,7 | 432,5 | 60,75 | 6,567 | 32,42 | 5,075 |  |   |  |  |  |
| Kis-Koppány felső              | - | 1085   | 57,92 | 8,231 |   | 0,09    | 0,02727 | 8,271 | 9,39  | 191,6 | 245,5 | 78,09 | 8,727 | 16,27 | 1,891 |  |   |  |  |  |
| Medvonya                       | - | 790    | 27,78 | 8,162 |   | 0,03545 | 0,01391 | 8,599 | 9,445 | 51,3  | 81,82 | 77,82 | 8,591 | 14,09 | 1,909 |  |   |  |  |  |
| Pécsi-víz                      | - | 1289   | 91,4  | 7,942 |   | 0,5308  | 0,1942  | 5,947 | 8,032 | 994   | 1142  | 59,75 | 6,483 | 20    | 2,683 |  |   |  |  |  |
| Peterd-Szemelyi-vízfolyás      | - | 783,6  | 21,46 | 8,291 |   | 0,09909 | 0,02227 | 8,989 | 9,756 | 118,4 | 253,6 | 81,82 | 9,045 | 15,18 | 2,473 |  |   |  |  |  |
| Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | - | 1025   | 39,22 | 8,253 |   | 0,09818 | 0,06436 | 5,643 | 6,515 | 124,9 | 226,4 | 85,36 | 9,418 | 17,09 | 2,327 |  |   |  |  |  |
| Véménd-Bári                    | - | 830,9  | 44,17 | 8,397 |   | 0,1409  | 0,09991 | 7,915 | 8,91  | 134,7 | 310   | 95,91 | 10,17 | 28    | 4,364 |  |   |  |  |  |

A vízfolyások paraméter értékeit minősítettem, majd az így kapott 5-4-3-2 minősítési értékeket átkódoltam az A-T-C-G értéktartománynak megfelelően, így kaptam meg az 58. táblázatban látható paraméter szekvencia értékeket.

58. táblázat: A vízfolyás mintahalmaz paraméter szekvencia értékei

| Rang =                         | 0 |        |    |    | 1 |     |     |     |    |     |    |    | 2   |     |     |    | 3 |  |  |  | 4 |
|--------------------------------|---|--------|----|----|---|-----|-----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|---|--|--|--|---|
|                                |   | VezKep | Cl | pH |   | NH4 | NO2 | NO3 | ON | PO4 | OP | O% | O2  | KOI | BOI |    |   |  |  |  |   |
| Vízfolyás                      | 0 | 1      | 2  | 4  | 8 | 3   | 5   | 6   | 9  | 10. | 12 | 7  | 11. | 13  | 14  | 15 |   |  |  |  |   |
| Hosszúhetény-Hirdi             | - | T      | T  | A  | - | C   | C   | G   | C  | C   | C  | T  | A   | C   | T   | -  |   |  |  |  |   |
| Kapos-közép                    | - | C      | T  | A  | - | G   | C   | T   | C  | C   | C  | C  | C   | C   | C   | -  |   |  |  |  |   |
| Kis-Koppány felső              | - | C      | C  | A  | - | T   | T   | G   | C  | C   | C  | C  | A   | C   | A   | -  |   |  |  |  |   |
| Medvonya                       | - | T      | A  | A  | - | A   | A   | G   | C  | T   | T  | C  | A   | T   | A   | -  |   |  |  |  |   |
| Pécsi-víz                      | - | C      | C  | A  | - | C   | C   | G   | C  | G   | G  | C  | C   | C   | T   | -  |   |  |  |  |   |
| Peterd-Szemelyi-vízfolyás      | - | T      | A  | A  | - | T   | T   | G   | C  | C   | C  | C  | A   | C   | T   | -  |   |  |  |  |   |
| Vasas-Belvárdi vízfolyás felső | - | C      | T  | A  | - | T   | C   | G   | C  | C   | C  | T  | A   | C   | T   | -  |   |  |  |  |   |
| Véménd-Bári                    | - | T      | T  | A  | - | C   | C   | G   | C  | C   | C  | A  | A   | C   | C   | -  |   |  |  |  |   |

Meghatároztam az egyes vízfolyás paraméter szekvencia párosításokból képzett ICF gráfokat, majd kiszámoltam az egyesített ICF távolság mátrix értékeket, amit a 59. táblázat mutat.

Az adatokat a Systat programcsomag Cluster Analysis funkciójával elemeztem (60. táblázat, Systat Software 13.1 free version). A 59. táblázatban szereplő távolság értékeknél egyre sötétedő színnel jelöltem a dendrogram építés lépéseit.

59. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF távolság mátrix értékei

|              | Pécsi | Kapos | Vasas | Véménd | Hosszúhetény | Kis-Koppány | Peterd | Medvogy |
|--------------|-------|-------|-------|--------|--------------|-------------|--------|---------|
| Pécsi        | 0     |       |       |        |              |             |        |         |
| Kapos        | 14    | 0     |       |        |              |             |        |         |
| Vasas        | 15,5  | 8     | 0     |        |              |             |        |         |
| Véménd       | 19    | 12,5  | 10    | 0      |              |             |        |         |
| Hosszúhetény | 18    | 13,5  | 7     | 3      | 0            |             |        |         |
| Kis-Koppány  | 11,5  | 13    | 9,5   | 17     | 18           | 0           |        |         |
| Peterd       | 16    | 14    | 10    | 10     | 9            | 10          | 0      |         |
| Medvogy      | 20,5  | 22,5  | 22    | 17     | 18           | 20,5        | 15     | 0       |

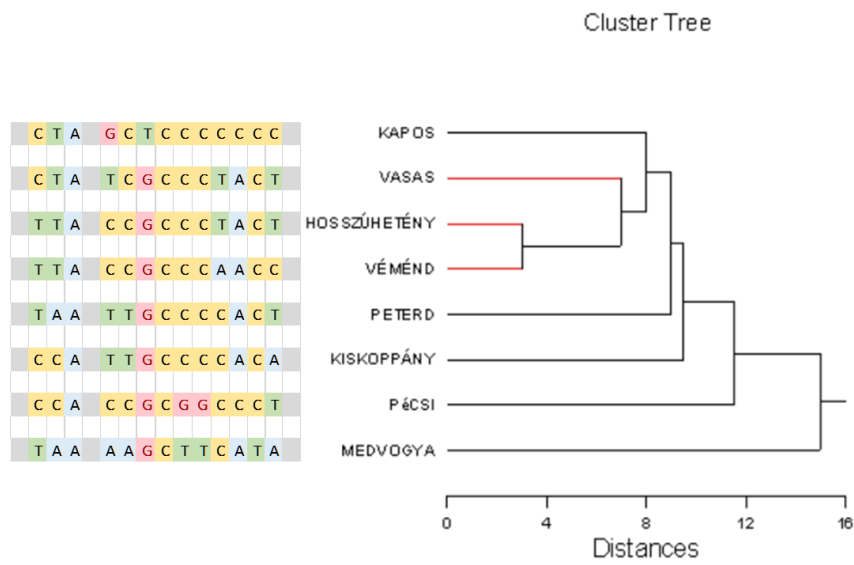
60. táblázat: A mintahalmaz klaszter analízisének alkalmazott távolságok és csoportosítások

▼ Hierarchical Clustering

Single Linkage Method (Nearest Neighbor)

| Clusters Joining |              | at Distance | No. of Members |
|------------------|--------------|-------------|----------------|
| HOSSZÚHETÉNY     | VÉMÉND       | 3,000       | 2              |
| VASAS            | HOSSZÚHETÉNY | 7,000       | 3              |
| VASAS            | KAPOS        | 8,000       | 4              |
| VASAS            | PETERD       | 9,000       | 5              |
| VASAS            | KISKOPPÁNY   | 9,500       | 6              |
| PÉCSI            | VASAS        | 11,500      | 7              |
| MEDVOGYA         | PÉCSI        | 15,000      | 8              |

A futtatás eredményeképpen a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrán látható dendrogramot („cluster tree”-t) kaptam („Single Linkage Method/Nearest Neighbor” eljárás):



111. ábra: A mintahalmazra készített dendrogram (IGT alapján)

A kapott eredmények elemzése visszaadta az egyesített ICF gráf távolság számító eljárás pozitív vonásait és az alkalmazásom során meglévő korlátjait is; vagyis az IGT távolság számító eljárásában:

- a paramétercsoportok azonos szintre helyezésével részben sikerült elérni a hasonló víztestek csoportba foglalást (a módszer a rangokat kezeli), de



- az egyes diszkrét értékek eltérései között nem tesz különbséget (pl. az A-T, A-C, A-G differenciákat egyenrangúnak tekinti), ami a vízminősítés hierarchikus értékelésében korlátozó tényező.

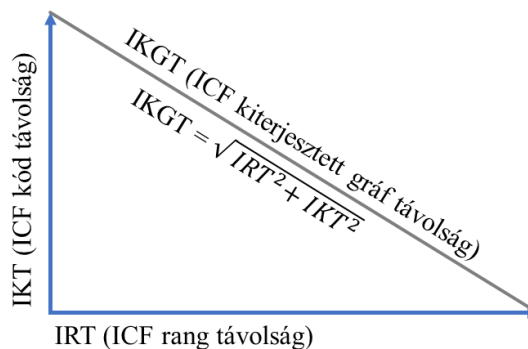
## ÚJ FOGALOM, AZ EGYESÍTETT ICF KITERJESZTETT GRÁF TÁVOLSÁG (IKGT) BEVEZETÉSE

A rang távolság korlátjainak feloldásához az IGT számítási algoritmust tovább fejlesztve kidolgoztam egy, a kódtávolságokat is kezelő módszert.

Fogalmi definíciók és lépések (112. ábra):

- Egyesített ICF gráf rang távolság (IRT): az IGT-t, azaz az egyesített ICF gráf távolságot – mivel csak a rangbeli különbségeket kezeli – átneveztem IRT-re.
- Egyesített ICF gráf kód távolság (IKT): az IRT számítási algoritmusához hasonló eljárás bevezetésével meghatároztam egy új, immár az ATCG kódok közötti különbségeket is figyelembe vevő távolság értéket.
- Egyesített ICF kiterjesztett gráf távolság (IKGT): a kétdimenziós gráf távolság értékeket x-y koordinátának tekintve definiáltam a kiterjesztett gráf távolságot:

$$IKGT = \sqrt{IRT^2 + IKT^2}$$



112. ábra: Az ICF kiterjesztett gráf távolság fogalmának bevezetése

### Az egyesített ICF kiterjesztett gráf távolság (IKGT) számítása

A korábbi mintahalmaz számítások kapcsán már rendelkezésemre álltak az egyes vízfolyások fizikai-kémiai paraméter szekvencia párosításokból képzett gráfjai.

Az egyesített ICF gráf távolság mátrix értékeket a továbbiakban az egyik (x) dimenzióknak, az IRT (ICF rang) távolság mátrixnak tekintettem.

Az IKT (ICF kód) távolság mátrix kiszámításához az alábbiakban ismertetésre kerülő eljárást alkalmaztam:

Kiinduló számoló táblázatként a 61. táblázatot, gráf alakzatban a 113. ábrán látható a paraméter szekvenciák gráf távolság meghatározásának alapját képező ATCG kódonkénti metszetképző lépéssort tekintem.

Amennyiben most nem abból indulok ki, hogy a metszési műveletet követően megmaradt K gráf csúcspontok, mely rang szinteken helyezkednek el, hanem a másik dimenziója, az ATCG minősítési diszkrét értéksor (kód) szerint csoportosítom és súlyozom, akkor megkapom a SeqX és SeqY szekvenciák kód távolság értékeit.

A 61. táblázat elemzésében jól látszik, melyik soron maradt meg a csúcspont: (színekkel jelölve: A: kék, T: zöld, C: sárga, G: piros)

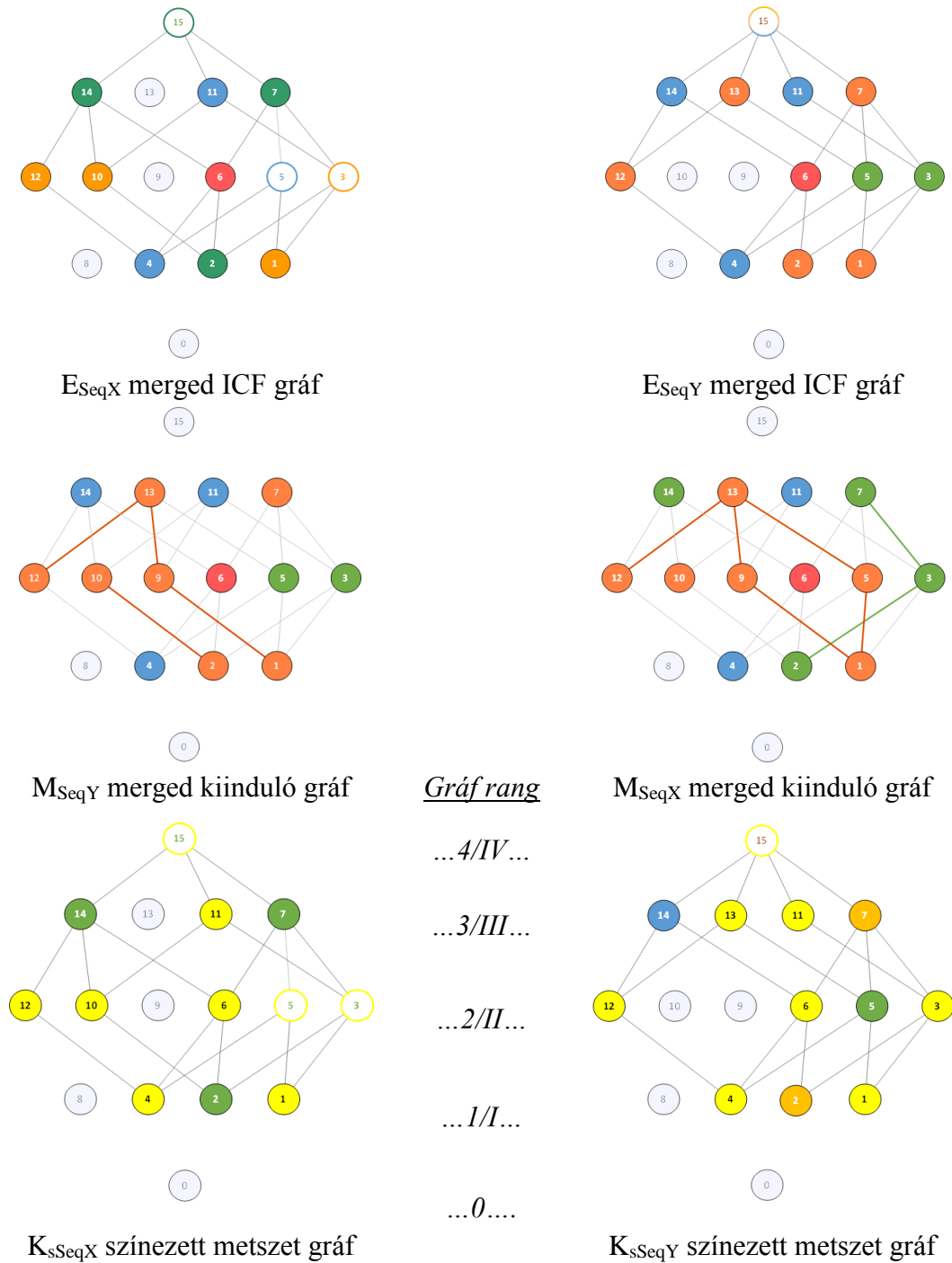
$K_{SeqX}$ : A(14), T(5), C(7), G(-)

$K_{SeqY}$ : A(-), T(7, 14), C(-), G(-)

61. táblázat: A  $K_{SeqX}$  és  $K_{SeqY}$  gráfok csúcspontjainak ATCG kódolása

| ATCG kód | $E_{SeqX,1}$     | $M_{SeqY}^{(1)}$                        | $E_{SeqX,0}$ | $M_{SeqY}^{(0)}$  | $E_{SeqY,1}$                     | $M_{SeqX}^{(1)}$                     | $E_{SeqY,0}$ | $M_{SeqX}^{(0)}$  |
|----------|------------------|---|--------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|---|
| A        | <u>4, 11</u>     | <u>4, 11, 14</u>                        | <u>5</u>     | 0, 1, 2, 3,<br><u>5</u> , 6, 7, 8,<br>9, 10, 12,<br>13, 15        | <u>4, 11, 14</u>                 | <u>4, 11</u>                         | <u>15</u>    | 0, 1, 2, 3,<br>5, 6, 7, 8,<br>9, 10, 12,<br>13, 14, <u>15</u> |
| T        | <u>2, 7, 14</u>  | 3, 5                                    | <u>15</u>    | 0, 1, 2, 4,<br>6, 7, 8, 9,<br>10, 11,<br>12, 13,<br>14, <u>15</u> | <u>3, 5</u>                      | 2, <u>3</u> , 7, 14                  | -            | 0, 1, 4, 5,<br>6, 8, 9,<br>10, 11,<br>12, 13, 15              |
| C        | <u>1, 10, 12</u> | <u>1, 2, 7, 9,</u><br><u>10, 12, 13</u> | <u>3</u>     | 0, <u>3</u> , 4, 5,<br>6, 8, 11,<br>14, 15                        | <u>1, 2, 7,</u><br><u>12, 13</u> | <u>1, 5, 9,</u><br><u>10, 12, 13</u> | <u>15</u>    | 0, 2, 3, 4,<br>6, 7, 8,<br>11, 14, <u>15</u>                  |
| G        | <u>6</u>         | <u>6</u>                                | -            | 0, 1, 2, 3,<br>4, 5, 7, 8,<br>9, 10, 11,<br>12, 13,<br>14, 15     | <u>6</u>                         | <u>6</u>                             | -            | 0, 1, 2, 3,<br>4, 5, 7, 8,<br>9, 10, 11,<br>12, 13,<br>14, 15 |

A gráfokon való megjelenítéshez bevezettem a színezett  $K_{s,Seq}$  metszet gráf fogalmát. Vizuálisan bemutatva ez azt jelenti, hogy a metszet képzést követően megmaradó csúcspontok esetében meghagyom az eredeti  $E_{Seq}$  gráf szerinti csúcspont színeket.



113. ábra: A Kis-Koppány és a Vasas-Belvárdi paraméter szekvenciák kód szerinti színezett metszet gráfjai ( $K_{sSeq}$ )

A két vízfolyás, a Kis-Koppány felső és a Vasas-Belvárdi vízfolyás felső fizikai – kémiai paraméter szekvenciáinak, azaz az alkalmazott matematikai jelölésekkel a SeqX és a SeqY egyesített ICF gráf kód távolságainak a kiszámítási eljárása  $K_{sSeqX}$  és a  $K_{sSeqY}$  gráfok csúcspontjainak az ATCG besorolásából (azaz a színezéséből) indul ki és a másik dimenzió figyelembe vételét leszámítva (rang helyett az ATCG besorolás) megegyezik a korábban bemutatott IGT számítási eljárással:

- $n$  ... az  $n$ -kocka dimenziója, esetünkben  $n = 4$
- $k$  ... a  $K_{sSeq}$  gráf színezett csúcspontjainak kódolt értéktartománya, azaz A, T, C, G
- $s_k$  ... a kódolási értékhalmoz hierarchikus struktúrájából adódó súlyszám, jelen esetben a minősítési érték, azaz az A, T, C, G kódok esetében 5, 4, 3, 2
- $z_k$  ... meghatározásra kerül az egyes kód értékeket (színeket) felvevő csúcspontok száma
- $v_k = s_k \times z_k$  ... kiszámoljuk az adott diszkrét kódhoz tartozó súlyozott csúcspontszám értékeket
- $IKT_{Seq} = \sum v_{k,Seq}$  ... az így képzett súlyozott távolságok összesítésével megkapjuk az ICF SeqX és SeqY kód távolság értékeket
- $IKT = \frac{\sum(IKT_{SeqX} + IKT_{SeqY})}{2}$  ... végül az ICF gráf távolságot a SeqX és SeqY szekvenciák  $IKT_{Seq}$  értékeinek számtani átlagaként kapjuk.

62. táblázat: Az egyesített (merged) ICF gráf kód távolság ( $IKT_{Seq}$ ) kiszámítása

| kód<br>k                      | súlyszám<br>$s_k = \text{minősítés}$ | $K_{SeqX} : 2, 7, 14$ |                   | $K_{SeqY} : 2, 5, 7, 14$ |                   |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|                               |                                      | $z_k$                 | $v_k = s_k * z_k$ | $z_k$                    | $v_k = s_k * z_k$ |
| A                             | 5                                    |                       | 0                 | 1                        | 5                 |
| T                             | 4                                    | 3                     | 12                | 1                        | 4                 |
| C                             | 3                                    |                       | 0                 | 2                        | 6                 |
| G                             | 2                                    |                       | 0                 |                          | 0                 |
| <b><math>IKT_{Seq}</math></b> | =                                    |                       | <b>12</b>         |                          | <b>15</b>         |

$$IKT = \frac{\sum(IKT_{SeqX} + IKT_{SeqY})}{2} = \frac{(12+15)}{2} = \mathbf{13,5} \text{ (62. táblázat)}$$

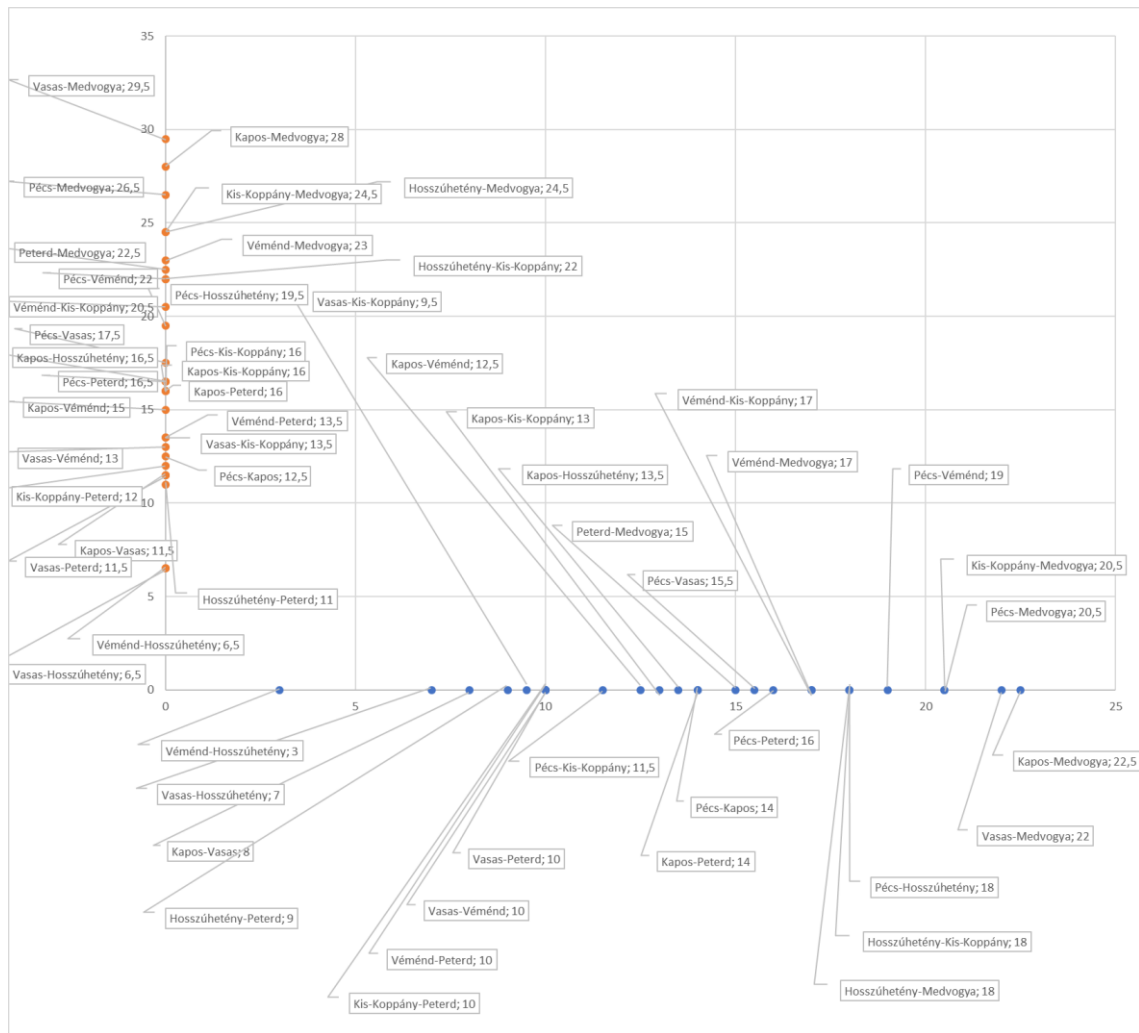
Megállapítottam, hogy a Vasas-Belvárdi vízfolyás felső és a Kis-Koppány felső vízfolyás paraméter szekvenciáinak (5' => 3' irányú) egyesített ICF gráf kód távolsága: 13,5!

### Mintahalmaz elemzése egyesített ICF kiterjesztett gráf távolság számítással

A korábban meghatározott ICF rang távolság mátrix (mint  $x$  dimenzió) mellé kiszámoltam az egyes vízfolyások paraméter szekvencia párosításokból képzett egyesített ICF kód távolság mátrix (63. táblázat) értékeket (mint az  $y$  dimenziót):

63. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF kód távolság mátrix értékei ( $IKT$ )

|           | Pécsi | Kapos | Vasas | Véménd | Hosszúhet | Kis-Koppá | Peterd | Medvogyás |
|-----------|-------|-------|-------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
| Pécsi     | 0     |       |       |        |           |           |        |           |
| Kapos     | 12,5  | 0     |       |        |           |           |        |           |
| Vasas     | 17,5  | 11,5  | 0     |        |           |           |        |           |
| Véménd    | 22    | 15    | 13    | 0      |           |           |        |           |
| Hosszúhet | 19,5  | 16,5  | 6,5   | 6,5    | 0         |           |        |           |
| Kis-Koppá | 16    | 16    | 13,5  | 20,5   | 22        | 0         |        |           |
| Peterd    | 16,5  | 16    | 11,5  | 13,5   | 11        | 12        | 0      |           |
| Medvogyás | 26,5  | 28    | 29,5  | 23     | 24,5      | 24,5      | 22,5   | 0         |



114. ábra: A vízfolyás párosítások IRT (rang - x) és IKT (kód - y) távolság értékeinek szemléltetése

A két távolság mátrix értékeiből meghatároztam a kiterjesztett gráf távolság mátrix értékeket (64. táblázat, **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**-115. ábra):  $IKGT_{xy} = \sqrt{IRT_{xy}^2 + IKT_{xy}^2}$

64. táblázat: A mintahalmaz egyesített ICF kiterjesztett távolság mátrix értékei

|              | Pécsi  | Kapos  | Vasas  | Véménd | Hosszúhet Kis-Koppá | Peterd | Medvogy |
|--------------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|---------|
| Pécsi        | 0      |        |        |        |                     |        |         |
| Kapos        | 18,768 | 0,000  |        |        |                     |        |         |
| Vasas        | 23,377 | 14,009 | 0,000  |        |                     |        |         |
| Véménd       | 29,069 | 19,526 | 16,401 | 0,000  |                     |        |         |
| Hosszúhetény | 26,538 | 21,319 | 9,552  | 7,159  | 0,000               |        |         |
| Kis-Koppány  | 19,704 | 20,616 | 16,508 | 26,632 | 28,425              | 0,000  |         |
| Peterd       | 22,984 | 21,260 | 15,240 | 16,800 | 14,213              | 15,620 | 0,000   |
| Medvogy      | 33,504 | 35,920 | 36,800 | 28,601 | 30,401              | 31,945 | 27,042  |
|              |        |        |        |        |                     |        | 0       |

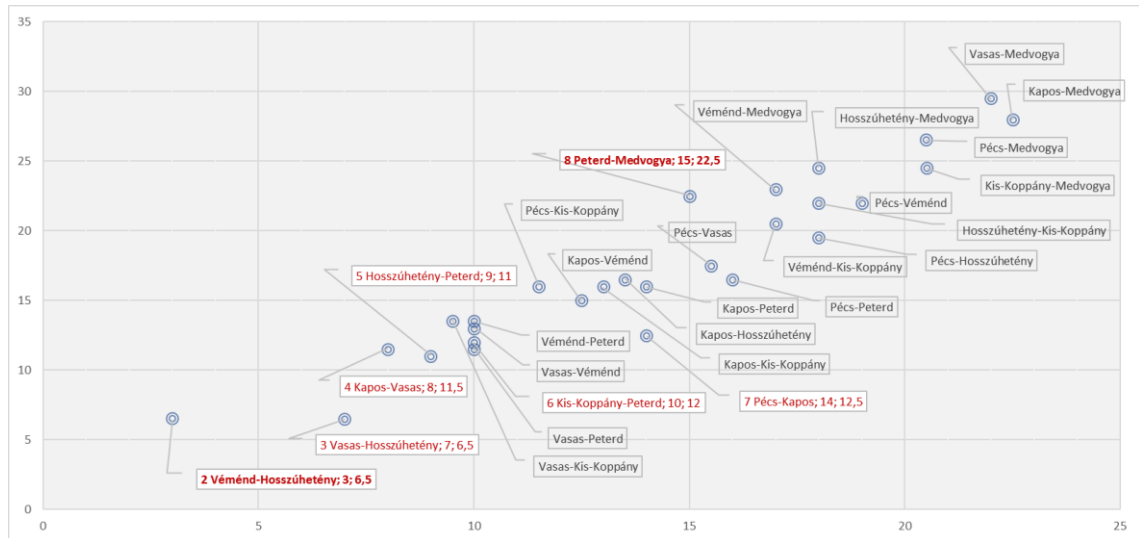
A képzett távolság mátrix adatokat a Systat programcsomag (Systat Software 13.1 free version) Cluster Analysis funkciójával elemeztem (65. táblázat):

65. táblázat: A mintahalmaz klaszter analizésénél alkalmazott távolságok és csoportosítások

▼ Hierarchical Clustering

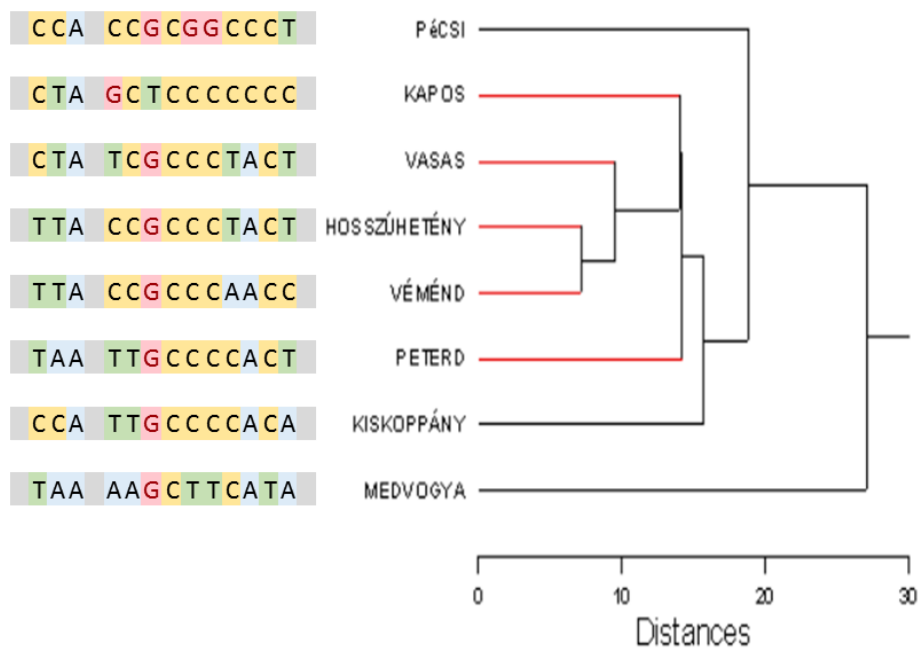
Single Linkage Method (Nearest Neighbor)

| Clusters Joining |              | at Distance | No. of Members |
|------------------|--------------|-------------|----------------|
| HOSSZÚHETÉNY     | VÉMÉND       | 7,159       | 2              |
| VASAS            | HOSSZÚHETÉNY | 9,552       | 3              |
| VASAS            | KAPOS        | 14,009      | 4              |
| VASAS            | PETERD       | 14,213      | 5              |
| VASAS            | KISKOPPÁNY   | 15,620      | 6              |
| VASAS            | PÉCSI        | 18,768      | 7              |
| VASAS            | MEDVOGYA     | 27,042      | 8              |



115. ábra: A dendrogram lánc felépítési lépéseinek szemléltetése az IRT-IKT (x-y) bontásban

A programcsomag alkalmazásával az alábbi dendrogramot („cluster tree”-t, 116. ábra) kaptam („Single Linkage Method/Nearest Neighbor” eljárás):



116. ábra: A mintahalmazra készített dendrogram (IKGT alapján)

## **AZ IGT ÉS A KITERJESZTETT IKG TÁVOLSÁG SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEVEVÉSE**

Az egyesített ICF gráfok távolságának meghatározására használt két módszer eredményeit két szempont szerint vettem össze.

### **A vízfolyások sorrendje a dendrogramon**

Először a Jakó Éna és Kézdi Norbert által specifikált, a merged ICF gráfon belüli rang szerinti súlyozást alkalmazó IGT, azaz ICF gráf távolság (merged ICF graph distance, Jakó et al, 2009; Jakó et al, 2012) felhasználásával kapott táblázatot építettem fel.

Ezt követően az általam továbbfejlesztett, a rang távolság mellett már a kódtávolság fogalmát is bevezető ICF kiterjesztett gráf távolságon (IKGT) alapuló, de az összevetés céljára ugyanolya szerkezetű táblázatot állítottam össze. A két módszer szerinti mintahalmaz számítások eredményeivel kapott dendrogramokból kiindulva a vízfolyás rendezettségek elemzéséhez a táblázatokban úgy rendeztem az adatsorokat, hogy a vízfolyások sorrendje a dendrogramon belüli elhelyezkedést kövesse.

Három szempont szerint rendeltem minősítési értéket a vízfolyás adatsorokhoz:

1. A vízminőségi paraméterek értéke esetén a szomszédos párok esetén különbséget képeztem (vagyis meghatároztam a súlyozott Hamming távolságot) és a különbségeket vízfolyásonként, vagyis soronként összegeztem (szürke számszaki értékek sorai), továbbá az összes sorra egy végösszeget képeztem.
2. Meghatároztam a vízminőségi paramétercsoport átlagokat is, továbbá külön oszlopba kiemeltem ezek minimumát, amely az adott vízfolyás minőségét meghatározza.
3. Kontrolszámként megjelenítettem az összes, azaz 13 paraméter szerinti átlagot is.

Az elvárásom az volt, hogy a kiterjesztett IKG Távolság számító módszer alkalmazása pontosítja az IGT szerinti sorrendet, ami visszatükröződik az említett három metrikában is. A három metrika értékelése:

### ***1./ A fizikai-kémiai paraméter értékváltozások súlyozott Hamming távolsága***

A 66. táblázatból és a 67. táblázatból látható, hogy az IKG Távolság tábla esetén kapott 37 egység távolság kisebb, mint az IGT tábla 44 összesített távolsága, azaz kedvezőbb értéket adott.

66. táblázat: A mintahalmaz IGT szerinti rendezettség

| Vízfolyás<br>neve                               | Fizikai-kémiai paraméterek |    |      |                  |     |     |    |     |    |     |    |         |     |     |     | Fizikai-kémiai minősítés |      |                |      |     |  |                          |                         |  |
|---|----------------------------|----|------|------------------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|---------|-----|-----|-----|--------------------------|------|----------------|------|-----|--|--------------------------|-------------------------|--|
|   | Sóházt.                    |    | Sav. | Növényi tápanyag |     |     |    |     |    |     |    | Szerves |     |     |     |                          | Diff | Csoportátlagok |      |     |  | Legrosszabb<br>Kerekítve | Össz.átlag<br>(kontrol) |  |
|   | Vezk                       | Cl | pH   | NH4              | NO2 | NO3 | ÖN | PO4 | ÖP | O % | O2 | KOICr   | BOI | só  | sav | táp.ag.                  |      | szerv.         | min. |     |  |                          |                         |  |
| Kapos   | 3                          | 4  | 5    | 2                | 3   | 4   | 3  | 3   | 3  | 3   | 3  | 3       | 3   | 3,5 | 5,0 | 3,0                      | 3,0  | 3,0            | 3    | 3,2 |  |                          |                         |  |
| Vasas   | 3                          | 4  | 5    | 4                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 4   | 5  | 3       | 4   | 3,5 | 5,0 | 3,0                      | 4,0  | 3,0            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Hosszúhetény                                    | 4                          | 4  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 4   | 5  | 3       | 4   | 4,0 | 5,0 | 2,8                      | 4,0  | 2,8            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Véménd  | 4                          | 4  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 5   | 5  | 3       | 3   | 4,0 | 5,0 | 2,8                      | 4,0  | 2,8            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Peterd  | 4                          | 5  | 5    | 4                | 4   | 2   | 3  | 3   | 3  | 3   | 5  | 3       | 4   | 4,5 | 5,0 | 3,2                      | 3,8  | 3,2            | 3    | 3,7 |  |                          |                         |  |
| Kis-Koppány                                     | 3                          | 3  | 5    | 4                | 4   | 2   | 3  | 3   | 3  | 3   | 5  | 3       | 5   | 3,0 | 5,0 | 3,2                      | 4,0  | 3,0            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Pécsi   | 3                          | 3  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 2   | 2  | 3   | 3  | 3       | 4   | 3,0 | 5,0 | 2,5                      | 3,3  | 2,5            | 3    | 3   |  |                          |                         |  |
| Medvonya  | 4                          | 5  | 5    | 5                | 5   | 2   | 3  | 4   | 4  | 3   | 5  | 4       | 5   | 4,5 | 5,0 | 3,8                      | 4,3  | 3,8            | 4    | 4,2 |  |                          |                         |  |
|   | 0                          | 1  |      | 2                |     |     |    |     |    |     |    | 3       |     |     |     |                          | 4    |                |      |     |  | 44                       |                         |  |
| n-kocka rang<br>(minterm: 0-15, gráf: 4 szintű) |                            |    |      |                  |     |     |    |     |    |     |    |         |     |     |     |                          |      |                |      |     |  |                          |                         |  |

67. táblázat: A mintahalmaz IKGt szerinti rendezettség

| Vízfolyás<br>neve                               | Fizikai-kémiai paraméterek |    |      |                  |     |     |    |     |    |     |    |         |     |     |     | Fizikai-kémiai minősítés |      |                |      |     |  |                          |                         |  |
|---|----------------------------|----|------|------------------|-----|-----|----|-----|----|-----|----|---------|-----|-----|-----|--------------------------|------|----------------|------|-----|--|--------------------------|-------------------------|--|
|   | Sóházt.                    |    | Sav. | Növényi tápanyag |     |     |    |     |    |     |    | Szerves |     |     |     |                          | Diff | Csoportátlagok |      |     |  | Legrosszabb<br>Kerekítve | Össz.átlag<br>(kontrol) |  |
|   | Vezk                       | Cl | pH   | NH4              | NO2 | NO3 | ÖN | PO4 | ÖP | O % | O2 | KOICr   | BOI | só  | sav | táp.ag.                  |      | szerv.         | min. |     |  |                          |                         |  |
| Pécsi   | 3                          | 3  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 2   | 2  | 3   | 3  | 3       | 4   | 3,0 | 5,0 | 2,5                      | 3,3  | 2,5            | 3    | 3,0 |  |                          |                         |  |
| Kapos   | 3                          | 4  | 5    | 2                | 3   | 4   | 3  | 3   | 3  | 3   | 3  | 3       | 3   | 3,5 | 5,0 | 3,0                      | 3,0  | 3,0            | 3    | 3,2 |  |                          |                         |  |
| Vasas   | 3                          | 4  | 5    | 4                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 4   | 5  | 3       | 4   | 3,5 | 5,0 | 3,0                      | 4,0  | 3,0            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Hosszúhetény                                    | 4                          | 4  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 4   | 5  | 3       | 4   | 4,0 | 5,0 | 2,8                      | 4,0  | 2,8            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Véménd  | 4                          | 4  | 5    | 3                | 3   | 2   | 3  | 3   | 3  | 5   | 5  | 3       | 3   | 4,0 | 5,0 | 2,8                      | 4,0  | 2,8            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Peterd  | 4                          | 5  | 5    | 4                | 4   | 2   | 3  | 3   | 3  | 3   | 5  | 3       | 4   | 4,5 | 5,0 | 3,2                      | 3,8  | 3,2            | 3    | 3,7 |  |                          |                         |  |
| Kis-Koppány                                     | 3                          | 3  | 5    | 4                | 4   | 2   | 3  | 3   | 3  | 3   | 5  | 3       | 5   | 3,0 | 5,0 | 3,2                      | 4,0  | 3,0            | 3    | 3,5 |  |                          |                         |  |
| Medvonya  | 4                          | 5  | 5    | 5                | 5   | 2   | 3  | 4   | 4  | 3   | 5  | 4       | 5   | 4,5 | 5,0 | 3,8                      | 4,3  | 3,8            | 4    | 4,2 |  |                          |                         |  |
|   | 0                          | 1  |      | 2                |     |     |    |     |    |     |    | 3       |     |     |     |                          | 4    |                |      |     |  | 37                       |                         |  |
| n-kocka rang<br>(minterm: 0-15, gráf: 4 szintű) |                            |    |      |                  |     |     |    |     |    |     |    |         |     |     |     |                          |      |                |      |     |  |                          |                         |  |

## 2./ Fizikai-kémiai paraméterek szerinti vízminőség értékelés

Az egymást követő sorok (vízfolyások) esetében mind a két táblában látható bizonyos hullámzás a csoportosításban. Amíg az IKGt táblában ez minimális, addig az IGT szerint a Pécsi-víz 2,5-es minősítési értéke kiugróan rossz helyre került.

## 3./ A paramétersor átlaga, mint kontrolszám

A metrika szerint sorrend szinte megegyezik az IKGt szerinti sorrenddel, a gráf struktúrára felépített csoportképzés a Kis-Koppány felső vízfolyás esetében okozott minimális eltérést.



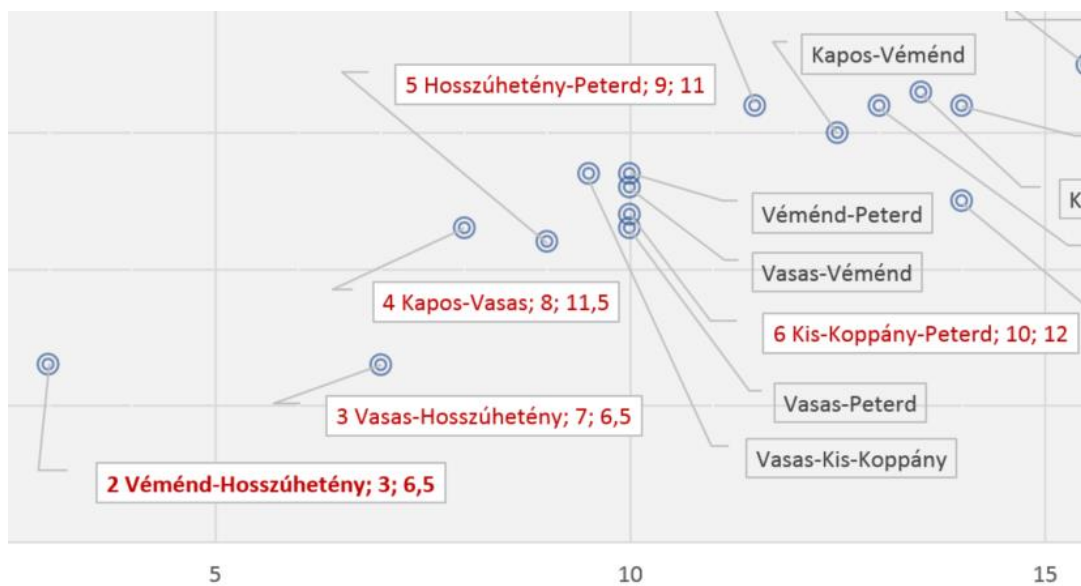
Az IKG T szerinti értékek kisebb csoportosításban látható hullámzást vizsgálva láthatjuk, hogy

- a Pécsi-víz és a Medvogya egyértelműen a legrosszabb és legjobb adatsorokkal bír, így egyértelmű a két szélső helyen történő elhelyezkedésük
- a Hosszúhetény és a Véménd vízfolyás adatsorai a szerves anyagtartalom (oxigén háztartás) csoport minimális eltérésétől eltekintve megegyeznek, így egy blokkba kerültek
- a Hosszúhetény vízfolyás különbséget képező szerves anyagtartalom adatsora viszont azonos a Vasas szerves anyagtartalom csoport értékeivel, így a módszer ahhoz kötötte a Hosszúhetény-Véménd blokkot
- a Kapos és a Peterd vízfolyások viszonylag alacsony, ill. magas minősítési értékekkel bírnak, így indokolt a Pécsi-víz, ill. a Medvogya vízfolyás közeli elhelyezkedésük.

### Dendrogramok felépítési sorrendje

A Peterd – Kis-Koppány vízfolyás dendrogram felépítési sorrendjét jól szemlélteti a 64. táblázat-65. táblázat.

A mintahalmaz vízfolyásainak rang és kódtávolságait x-y tengelyeken bemutató 115. ábra vonatkozó részeinek nagyítása látható a következő ábrán.



117. ábra: A dendrogram építés logikai szemléltetése a Peterd – Kis-Koppány vízfolyás esetében

A 117. ábrán láthatjuk, hogy az első négy elemet követő bővítés során a Hosszúhetény-Peterd vízfolyás távolság sokkal közelebb esett a dendrogram részhalmazhoz, mint a legközelebbi Kis-Koppány, azaz a Vasas-Kis-Koppány után 5. elemként a Peterd jelent meg.

*Összefoglalásként elmondható, hogy a két dendrogram elemzésével megállapítottam, hogy a továbbfejlesztett eljárás pontosabb eredményt biztosított, így az IKG T metrika a tesztben sikeresen bizonyított.*