



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

---

**NAGY-KOVÁCS ZSUZSANNA**

**Az ivóvízellátás-biztonság  
összefüggéseinek vizsgálata a Duna  
vízminőség-változásának tükrében (a  
Fővárosi Vízművek szolgáltatási  
területén)**

Témavezető:

Dr. Takácsné Prof. Dr. György Katalin  
egyetemi tanár

**Szigorlati/komplex vizsga bizottság:**

Elnök:

Prof. Dr. Berek Lajos

Tagok:

Dr. Maros Dóra

Dr. Felkai Beáta Olga

**Nyilvános védés teljes bizottsága:**

Elnök:

Prof. Dr. Rajnai Zoltán

Titkár:

Dr. Szilágyi Győző

Tagok:

Dr. habil. Nagy Rudolf

Dr. habil. Reicher Regina

Dr. Tokody Dániel

Bírálok:

Dr. Deák Zsuzsanna

Dr. Kolencsikné Dr. Tóth Andrea

**Nyilvános védés időpontja:**

2023.

Bevezetés.....	6
A tudományos probléma megfogalmazása .....	6
Célkitűzések .....	6
Kutatási módszerek .....	9
1. Irodalmi áttekintés.....	10
1.1. Az ivóvíz, mint stratégiai és biztonsági kérdés .....	10
1.2. Ivóvíz nyerési formák.....	12
1.3. A parti szűrés folyamata és jelentősége.....	15
1.4. A Duna vízszintjét befolyásoló tényezők .....	17
1.4.1. A klímaváltozás hatása az Alpok gleccsereire .....	17
1.4.2. Talajvízszintek változása.....	17
1.4.3. Csapadékváltozás .....	18
1.5. Az ivóvízbiztonság fogalma, történelmi áttekintés .....	19
1.5.1. A víz az emberiség történelmében .....	19
1.6. Az ivóvízbiztonság szabályozási háttere .....	23
1.6.1. Az ivóvíz-szolgáltatás, mint kritikus infrastruktúra.....	24
1.6.2. Minőségi követelmények .....	24
1.6.3. Mennyiségi elvárások.....	27
1.7. A vízbiztonsági terv, mint eszköz.....	28
1.7.1. A vízbiztonsági terv fogalma, felépítése és a jogszabályi háttér bemutatása.....	28
1.7.2. A HACCP rendszer és alkalmazása .....	30
1.7.3. Az EN ISO 22000:2018 szabvány alkalmazása az ivóvíz-szolgáltatásban.....	33
2. A Duna vízszint múltbeli trendjeinek bemutatása, a változások értékelése.....	37
2.1. Az adatok forrása, kezelése és az elemzés módszertana .....	37
2.1.1. Statisztikai próbák.....	38
2.1.2. Árvízvédelmi fokozatok.....	40

2.1.3.	Aszályos időszak fokozatai .....	40
2.2.	A Duna vízszintváltozás statisztikai értékelése az 1943-2021 közötti adatok alapján ...	41
2.2.1.	A Duna éves átlag vízszintértékeinek statisztikai elemzése.....	41
2.3.	A Duna havi átlag vízszint-változásainak statisztikai értékelése .....	44
2.4.	A Duna szélsőséges állapotainak (árvíz, kisvíz) értékelése idősoros és szezonális vonatkozásban .....	47
2.5.	Napi vízszintváltozások értékelése .....	53
3.	A Duna víz hőmérsékletének múltbeli trendje, változások értékelése 1946-2019 között.	56
3.1.	A Duna hőmérséklet adatainak kiértékelése.....	58
3.1.1.	Adatok és módszerek .....	58
3.1.2.	Az átlag Duna víz hőmérsékleti eredmények statisztikai elemzése .....	60
3.1.3.	A havi víz hőmérsékleti változások értékelése.....	62
3.1.4.	A szélsőséges víz hőmérsékleti állapotok elemzése .....	68
4.	A víz hőmérséklet hatásai az ivóvízbiztonságra .....	70
4.1.1.	A Dunában bekövetkező hatások .....	70
5.	Vízminőségi változások értékelése a Duna és a kapcsolódó parti szűrt rendszer vonatkozásában .....	73
5.1.	A Duna vízminőségére ható tényezők .....	73
5.2.	A parti szűrt víz minőségére ható tényezők.....	75
5.3.	A Duna és a parti szűrt vízbázisok vízminőségi változásainak értékelése a 2006-2021 közötti időszakban.....	78
5.3.1.	Fizikai paraméterek és ionok.....	78
5.3.2.	Redox folyamatokhoz köthető paraméterek.....	80
6.	A várható változások ivóvízbiztonsági vonatkozásainak összegzése és azok hatásmechanizmusainak feltárása .....	83
6.1.	Az ivóvízbiztonságra ható, a klímaváltozással kapcsolatos veszélyek .....	84
6.1.1.	Árvízzel kapcsolatos veszélyek bemutatása.....	85

6.1.2. Kisvízállással (aszállyal) közvetlenül összefüggésbe hozható azonosított veszélyek bemutatása .....	86
6.1.3. A hőmérsékletváltozás hatásai az ivóvízbiztonságra .....	87
6.1.4. Azonosított kockázatok egymásra hatása.....	87
7. A vízfogyasztás formái és a vízdíj hatásának értékelése.....	90
7.1. A víz felhasználási módjai.....	90
7.1.1. Az élelmiszerellátás kihívásai .....	90
7.1.2. Elvárosiasodás és klímaváltozás .....	90
7.1.3. Energiaigény és vízszükséglet.....	91
7.1.4. A környezet vízszükséglete .....	91
7.2. A víz közgazdasági vonatkozásai .....	92
7.3. A szükséges vízmennyiség .....	93
7.4. A vízdíj és a fogyasztásra gyakorolt hatása.....	97
Összegzett következtetések .....	101
Új tudományos eredmények.....	103
Következtetések, javaslatok .....	107
Irodalmi hivatkozások .....	109
Táblázatjegyzék.....	118
Ábrajegyzék .....	119
Függelék .....	121
Köszönetnyilvánítás .....	133

## **BEVEZETÉS**

### **A tudományos probléma megfogalmazása**

Napjainkban egyre komolyabb kihívássá válik az ivóvíz elérhetősége. A világ népessége, bár lassuló ütemben, de továbbra is nő. Társadalmunk életszínvonalának fenntartása és a fenntartható, folyamatos fejlődés egyre több jó minőségű vízre tart igényt. Azonban a környezetből érkező hatások, úgy, mint a klímaváltozás egyre kiszámíthatatlanabbá teszi ezen természeti kincs elérhetőségét.

A Fővárosi Vízművek a főváros és tizenegy környező település vízellátását biztosítja, 2019-ben az ivóvízzel ellátott lakosság 1 892 888 fő volt. Az üzemeltetési területén a szolgáltatott víz 100%-ban parti szűrt eredetű, ahol a nyersvíz forrása a Duna folyója. Ezáltal az időjárásból adódó szélsőségek közvetlen módon befolyásolják a termelés körülményeit. A Duna régiójáról is elmondható, hogy a klímaváltozás a szélsőséges üzemállapotok gyakoriságára és mértékére is kedvezőtlenül hat.

Mivel a víz alapvető feltétele az életnek és így társadalmunk működésének, hiánya komoly gazdasági és politikai destabilizációt okozhat. A migráció hajtóereje is közvetett módon a víz hiányával és ezáltal az életminőség romlásával függ össze: a Száhel övezet és a Közel-Kelet esetében egyaránt megfigyelhető, hogy az elhúzódó aszályok társadalmi következményei közvetlen konfliktusforrásként jelentkeznek a társadalomban. De a közelmúlt egyik legjelentősebb társadalmi katasztrófája Dárfúrban, valamint Szíriában, szintén elhúzódó aszályok következményeként robbant ki. Ezen események és következményeik világítottak rá arra, hogy az elérhető, biztonságos víz meglepte mekkora mértékben járul hozzá egy társadalom stabilitásához. Ezért, a disszertációmban kiemelt hangsúlyt kapott a vízbiztonság, és főleg annak a gyakorlatban alkalmazott vonatkozásai.

### **Célkitűzések**

Munkám során az ivóvízbiztonsággal összefüggő problémák körével foglalkozom, mely az ivóvízellátás minőségi és mennyiségi kérdéseit foglalja magába. Disszertációm célja, elsősorban az volt, hogy az elmúlt tizenhat év tudását rendszerezsem, a szakirodalom jobb megismerésével elmélyítsem és az általam megismert főbb összefüggésekre rávilágítsak. Különös tekintettel a klimatikus hatásokra, tekintve, hogy a víztermelésben használt parti szűrt vízbázis különösen kitett ezeknek a tényezőknek.

Célom volt, hogy a klímaváltozás minden jelentős aspektusát, ami közvetlenül hat a fővárosunkban szolgáltatott ivóvízre, összefüggéseiben bemutassam. Továbbá annak megismerése, hogy mely területek a legérintettebbek a probléma szempontjából. Ugyanakkor azt is fontosnak tartottam, hogy a folyamatok irányát és mértékét is meghatározzam a rendelkezésre álló idősoros adatok elemzésével.

Ezen okokból kifolyólag a disszertáció elkészítésével célom volt a vizsgált parti szűrt vízbázist érő klimatikus hatások trendjeinek értékelése, úgy, mint a folyó vízszintváltozása, a víz hőmérséklete és a vízminőségi paraméterek változásai. Mivel a vízbiztonsági tervek esetében elvárás, hogy a megelőzés elvét alkalmazva szolgálják a nagyobb ivóvízbiztonságot, ezért a veszélyelemzésbe olyan veszélyeket is figyelembe kell vennie az üzemeltetőnek, amely ritkán vagy még nem fordult elő, de potenciálisan bekövetkezhet az üzemeltetés területén. Ide sorolhatóak a különböző természeti katasztrófák (árvizek, súlyos aszályok vagy egyéb természeti szélsőségekkel összefüggő váratlan események). A disszertáció során a főváros víztermelő területeit érintő klimatikus hatásokat elemzem a rendelkezésre álló adatsorok segítségével. Célom annak értékelése, hogy a folyamatok mennyiben befolyásolják a vízszolgáltatást a vizsgált területen.

Célom volt a vízbiztonság értékelésénél a kockázatok adatokon alapuló, részletes elemzése, ami megfelel a jelenleg érvényes Európai Unió és magyar törekvéseknek – Európai Unió 2020/2184 Irányelve (2020. december 16.), 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet [1,2])

Harmadsorban a megállapított klimatikus eredetű kockázatok az üzemeltetésre gyakorolt hatásmechanizmusait és kölcsönhatásait elemzem, melyet egy kapcsolódási modellen keresztül összegzek. A disszertáció második nagy egységében a vízdíj lakossági fogyasztásra gyakorolt hatását értékelem a rendelkezésre álló magyar és nemzetközi fogyasztási adatok és vízdíjak változásának összefüggései alapján.

Az 1. táblázat a disszertáció célkitűzéseit foglalja össze:

Célkitűzések	
C1	A Duna vízszint 1943-2021 közötti adatok statisztikai elemzése
C2	A Duna vízhőmérséklet 1947-2021 közötti adatok statisztikai elemzése
C3	A Duna vízminőség 2006-2021 közötti adatainak elemzése
C4	A Duna és a parti szűrt vízbázis 2006-2021 közötti vízminőségi adatainak elemzése a Duna vízszint és az elérési idők függvényében
C5	A várható változások ivóvízbiztonsági vonatkozásainak összegzése és azok hatásmechanizmusainak feltárása, kapcsolódási modell (háló) felállítása
C6	A vízdíj vízfogyasztást befolyásoló hatásainak feltárása

### 1. táblázat: A doktori disszertáció célkitűzései

A kutatás során a célkitűzések mentén fogalmaztam meg hipotéziseimet (2. táblázat)

Hipotézisek		Célkitűzések
H1	A Duna átlagos éves vízszintje csökkenő trendet mutat és ezen belül havi szinten is kimutatható a csökkenés	C1
H2	A szélsőséges vízszintekhez köthető állapotok egyre nagyobb mértékben és egyre hosszabb ideig állnak fenn	
H3	A Duna átlagos éves vízhőmérséklete emelkedő trendet mutat és ezen belül havi szinten is kimutatható az emelkedés	C2
H4	A szélsőséges vízhőmérsékletekhez köthető állapotok egyre nagyobb mértékben és egyre hosszabb ideig állnak fenn	
H5	A főbb ionok és a szervesanyag eltávolítás szempontjából a vizsgált parti szűrésű rendszer megfelelő minőségű vizet biztosít, mely a klimatikus hatások alapján sem módosult.	C3
H6	A partiszűrt víz hőmérséklete szezonálisan változik, a változás mértéke összefügg az elérési idővel, azzal egyenesen arányos	C4
H7	A parti szűrt víz szulfát tartalma kisvízi állapot esetén a hosszabb elérési idejű kutaknál szignifikánsan emelkedik.	

### 2. táblázat: A doktori disszertáció hipotézisei



## **Kutatási módszerek**

Az alkalmazott kutatási módszerek közül elsőként az irodalomkutatást és annak feldolgozását, valamint szintézisét alkalmaztam.

Második lépésben az elérhető adatsorokat elemeztem statisztikai módszerekkel, ideértve a klasszikus statisztikai jellemzők (átlag, maximum, minimum, percentilis szintek), illetve a trendelemzések során alkalmazott próbákat (Standard normál homogenitás teszt, Buishand, Pettitt, von Neumann tesztek, Mann-Kendall és Sen-meredekség). Az eredmények kiértékelését követően alkalmaztam továbbá az indukció és a dedukció módszerét.

Harmadsorban az eddig, a parti szűrt vízbázis és a vízellátást biztosító rendszerben azonosított veszélyek újraértékelését végeztem el a statisztikai eredményeket szintetizálva.

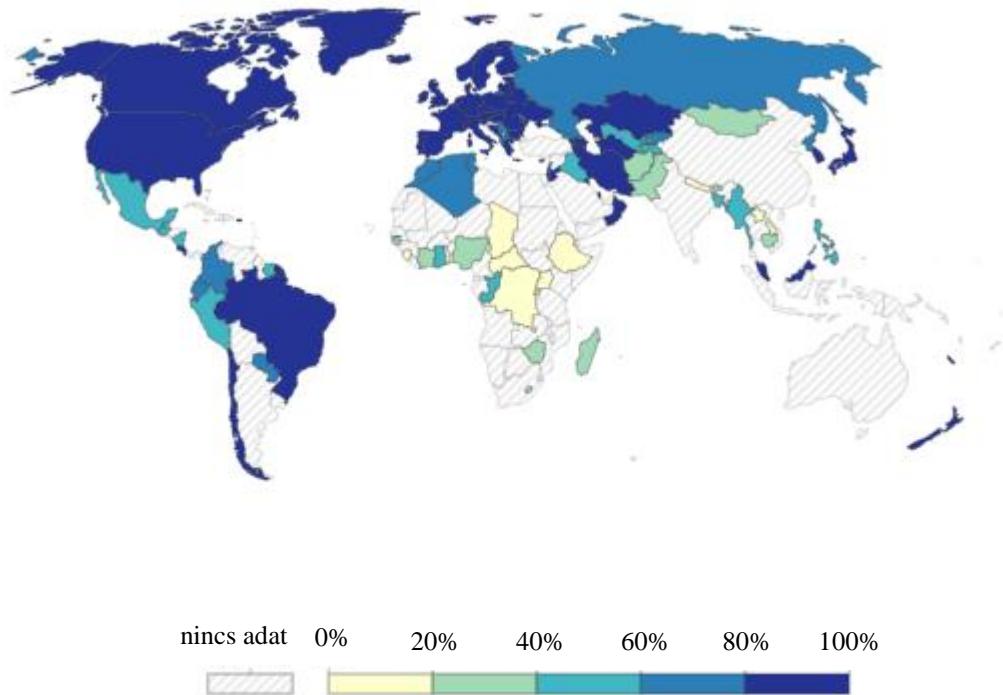
Végezetül az azonosított változások alapján összevettem az eddig azonosított veszélyeket és az eredmények alapján kiegészítést, illetve módosítási javaslatot dolgoztam ki a veszélyelemzés aktualizálására.

# 1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 1.1. Az ivóvíz, mint stratégiai és biztonsági kérdés

A víz számos formában előfordulhat Földünkön [3]. Az óceánok és tengerek a bolygó felületének több, mint két harmadát teszik ki. A teljes vízkészletnek a 96,5%-a tengerekben, óceánokban található meg, az édesvíz csak mintegy 2,5%-ban fordul elő. Ez az édesvíz azonban mintegy 2/3 részben gleccserekbe és a pólusok jégsapkájába zárva jóformán hozzáférhetetlen. Az emberi célokra - legkönnyebben és így leggazdaságosabban is - fordítható víz a talajvíz, a tavak, folyók vizei és a légköri nedvesség egy része mintegy 30,1%-ot foglal magába. A felszíni vízkészlet a maradék 1,2%-ot teszi ki. Vagyis, bár a víz az egyik leggyakrabban megtalálható vegyület a Földön, gazdaságosan, megfelelő minőségben csak korlátozottan férhető hozzá. Társadalmunk, valamint a technológia fejlődésével és a lakosság – bár egyre lassuló ütemű [4] – növekedésével a vízigény egyre emelkedik. Az ENSZ vonatkozó kutatásai alapján a növekedő trend 2024-ben fordul meg.

Fontos a víz elérhetősége szempontjából, hogy milyen típusú a vízhiány. Egyfelől, a világ számos régiójában a víz fizikai jelenléte szűkös, nem áll rendelkezésre kellő mennyiségben a keletkezett vízigény kielégítésére. Ezek az országok jellemzően a Közel-Keleten és a Szahara területén helyezkednek el. Másfelől, számos esetben megfigyelhető, hogy bár a víz kellő mennyiségben megtalálható, azonban a minősége nem felel meg a felhasználási igényeknek: tengervíz van, de öntözésre nem használható, nincs megfelelő infrastruktúra a vízzállításra, nem áll rendelkezésre kellő mennyiségben ivóvíz nagy folyók partján megfelelő vízkezelési technológiák hiányában. Az ivóvíz elérhetősége szempontjából a Szub-Szaharai régiók és Délkelet Ázsia közösségei a legkitettebbek (1. ábra) [5]. A biztonságos ivóvízhez való hozzáférés 2020-ban Csádban volt a legalacsonyabb, 5,59%-kal. Ami súlyosabb probléma, hogy 2000-ben ez az érték 5,64% volt – vagyis húsz évig közel stagnált, igen alacsony szinten, az ivóvízhez való hozzáférés. Ázsia középső régióiban szintén megfigyelhető, hogy ugyan magasabb ivóvízhez való hozzáférési rátával, de a húsz éves trend romló tendenciát mutat. Nepál esetében például ez az érték mintegy 9%-os csökkenést jelent 2000-2020 között.



**1. ábra: A világ lakosságának a biztonságos ivóvízhez való hozzáférése százalékos eloszlásban 2020-ban [5]**

Magyar vonatkozásban a LIFE-MICACC projekt eredményei [6] alapján Magyarország a kiszáradás útján halad előre. Három fő forrásból jutunk vízhez az országban: a felszín alatti vízkincsből, csapadékból és a folyókból.

Az országban hullott csapadékról elmondható, hogy – a csapadékmennyiség szempontjából legkritikusabb területen – az Alföldön 500 mm körüli az éves átlagcsapadék, míg akár 800 mm is lehet a potenciális párolgás, vagyis évente mintegy 300 mm eső hiányzik erről a területről. További probléma, hogy az éves csapadékmennyiség 90%-a 65-70 nap alatt hullik le. Az év mintegy 300 napja csapadékmentes, jellemzően a nyári vegetációs időszak idején. A télen hullott csapadék a klimatikus adottságok miatt kevésbé vagy egyáltalán nem hasznosul. A klímamodellek eredményei pedig a szélsőségek fokozódását vetítik előre. Az özőn víz erősségű esőzések során keletkező villámárvizek pedig nem csak nem hasznosulnak, de további kedvezőtlen folyamatokat erősítenek, mint például a talajerózió [6].

A felszín alatti vizek mennyisége nem csak az ivóvíz, hanem a mezőgazdasági és ipari tevékenységek folyamataira is közvetlenül hatnak. Elmondható, hogy hazánk egyes területein megfigyelhető a talajvízszint csökkenése. Legsúlyosabban a Duna-Tisza közén figyelhető meg a folyamat, ahol a talajvíz szintje akár 2 m-rel csökkent az 1970-2009 közötti értékeket összevetve [7]. Ez alapján kijelenthető, hogy a talajvíz, bár utánpótolódik, a felhasználás üteme

gyorsabb. Ez is az esőzések mennyiségével és eloszlásával függ össze, tekintve, hogy a gazdasági szereplők a talajvízből pótolják a csapadékhiányt [6].

Holott, országunk folyókban bővelkedik: medence jellegből adódóan kivételes helyzetben vagyunk. Gyakran mondják, hogy Magyarország víznagyhatalom. Ez azonban csak egy oldalról helytálló: 109 km<sup>3</sup>/év víz érkezik hazánkba. A folyószabályozások miatt azonban a jelenlegi kiépített vizes infrastruktúra elzárja az ártereket a folyóktól, pedig szabályozott elöntésekkel jelentős mennyiségű vizet tudnánk megtartani az országban. Egy köbméter talaj akár 500 l vizet is képes magában raktározni. Innen ered a kifejezés is, hogy a talaj, mint vízbank szerepelhetne a vízmegtartás stratégiájában. Ez azért is lenne különösen kritikus szempont, mert hazánkban jelenleg évente mintegy 7 km<sup>3</sup>-rel több víz távozik, mint amennyi befolyik – ez nagyjából négy teljes Balatonnyi víztömeg [6].

További fontos hozadéka lehetne a folyamatoknak, hogy a talajban megkötött, raktározott talajvíz kevésbé van kitéve a környezeti ártalmaknak, mint a felszíni vizek. A szennyeződések terjedése lényegesen lassabb a talajban, illetve nem elhanyagolható az ott lejátszódó lebontó folyamatok jelentős szerepe a szennyeződések mértékének csökkentésében sem.

A probléma komplexitása egyértelműen összefogást és összehangolt stratégiát követel. Ennek egyik lényeges hozadéka volt a Nemzeti vízstratégia (Kvassay Jenő terv, KJT) kidolgozása [8].

## **1.2. Ivóvíz nyerési formák**

A víznyerési formák között három fő csoportot különböztethetünk meg: csapadék-, felszíni- és felszín alatti víznyerési formákat.

A csapadék eredetű víz ivóvíz célú felhasználása (rain water harvesting) főleg a felszíni és felszín alatti vizekben egyaránt szűkös területeken figyelhető meg, illetve azon területeken, ahol elhúzódó súlyos aszályok tapasztalhatóak. A leginkább valamilyen tetőre vagy sík-felületre hullott csapadékvizet ciszternákban fogják fel. A hullott csapadék ideális esetben a legtisztább víz, azonban a különböző ipari tevékenységekből származó szennyezések – mint például a kéndioxid, nehéz fémek, szerves szennyezők – légköri jelenléte nagymértékben ronthatja minőségét. További probléma, hogy a felfogó felületek sem tiszták, madár és egyéb állati ürülékkel szennyezettek lehetnek. Jellemzően további tisztítási folyamatot nem alkalmaznak ezen esetekben a felhasználók, ezért a tározás folyamata is további kockázatokat rejthet magában. Ahhoz, hogy emberi fogyasztásra alkalmas legyen, jellemzően víztisztításra, sópótlásra és fertőtlenítésre is szükség van. További probléma, hogy rendelkezésre állása kiszámíthatatlan, a tárolt kapacitások pontos tervezése elengedhetetlen lenne, azonban csak

ritkán valósul meg. Ugyanakkor, amennyiben figyelembe vesszük a fenti korlátokat, környezetbarát és energia hatékony módja a víznyérésnek. Felhasználása mezőgazdasági és szürkevíz célokra kifogástalan, melyek jelentős fogyasztási kapacitásokat jelentenek.

A felszíni víznyerési formák az utóbbi időben egyre nagyobb jelentőséget nyertek. Folyók, természetes és mesterséges tavak formájában találhatóak meg. Hazánkban elmondható, hogy a felszíni vizek vízhozama szezonálisan definiált keretek között változik, melyet folyók esetében a vízjárással jellemezhetünk legjobban. Azonban a trendek első sorban a klimatikus változásoknak köszönhetően egyre szélsőségesebbek. Jellemzően kellő mennyiségű szervesanyagot tartalmaznak, azonban nagyon szennyezettek. Minőségük az EEA jelentése szerint mintegy 20%-ban van csak ökológiailag jó állapotban. Az ivóvízkivételre használt, vagy ivóvízbázisnak kijelölt felszíni vizek minőségi követelményeit és ellenőrzését a 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet mondja ki, egyben rögzítve a szóban forgó vízbázisokat is tételesen. A hazai folyóink közül a települések vízellátásában a Duna, Tisza, Maros, Dráva és Szamos meghatározóak, másodrendű jelentőségű a Rába, Sió, Sajó, Hernád és a Körösök. Tavaink közül a Balatonnak és a Velencei tónak van jelentősége a vízellátás szempontjából. Hazánkban jelenleg 17 felszíni ivóvízkivételi mű üzemel, melyek közvetlenül a fenti vízfolyásokból, ivóvízellátás céljára létesített völgyzárógátas tározóból, illetve a Balatonból termelik ki a nyers vizet [9]. Felszíni vízkivételhez kisebb kapacitások esetén felszíni kivételi csövet alkalmaznak, nagyobb kapacitások esetén felszíni kivételi mű létesítése szükséges. Ekkor több tízezer köbméter kitermelése is elérhető, mely a mederben vagy a partélnél is megvalósulhat. A létesítésnél fontos szempont a vízállás, ugyanis a medercsövet megfelelő mélységbe, azonban a mederfenéktől már kellő távolságban szükséges telepíteni.

A felszíni alatti vizek esetében a talajban és a kőzetekben levő vízről beszélünk. A víztározó képződmény alapján megkülönböztetünk talajvizet, rétegvizet, karsztvizet, hasadékvizet és parti szűrésű vizet.

Magyarországon az ivóvíz célú vízkivételek közel 95%-a felszín alatti vízbázisból származik. Vízbázis alatt a termelő objektumot és azt a felszín alatti térrészt értjük, ahonnan a termelőkhöz az utánpótlását kapja. A jelenlegi nyilvántartás szerint 1480 üzemelő, 118 tartalék és 66 távlati felszín alatti ivóvízbázis található Magyarországon. A vízbázisokat működésük szerint két típusba szokták besorolni: az üzemelő vízbázisok a jelenlegi szükségleteket fedezik, a távlati vízbázisok a jövőbeni igények kielégítésére szolgálnak. Ezek jó vízáradékokkal rendelkező területek és jelenleg még víztermelő telepektől mentesek. [10]

További 32 vízbázis üzemén kívül leállóban van (2018-tól már nem termel), valamint 326 üzemén kívül van jelenleg. A vízadó szerint négyféle vízbázist különböztet meg a jogszabály, mely azért lényeges, mert az egyes típusok elkülönítése fontos a védett vízkészletek veszélyeztetettsége szempontjából [9].

A talajvízbázis: olyan vízbázis, melyben az igénybe vett, vagy arra előirányzott vízkészlet a törmelékes felszín közeli képződmények telített zónájában helyezkedik el, vagy az első vízzáró vagy féligáteresztő réteg mélységéig, illetve nem mélyebben, mint 30-50 m. A 2021-es év szerinti nyilvántartásban 230 darab üzemelő talajvízbázis található, 17 darab távlati vízbázis.

A rétegvízbázis: olyan vízbázis, melynek megcsapolt rétegei az első vízzáró vagy féligáteresztő réteg alatti, vagy 30-50 méternél mélyebben települt törmelékes vízadó kőzetek. Az 1453 darab üzemelő rétegvízbázis adja az összes védett vízkészlet 21%-át, míg a 12 darab távlati rétegvízbázis a védett vízkészlet 3,5%-a.

A karsztvízbázis: olyan vízbázis, melyben az igénybe vett, vagy arra előirányzott vízkészlet a karsztosodott kőzetek (mészkö, dolomit) pórusaiban, hasadékaiban, üregeiben helyezkedik el. Lehet nyílt tükrű, mely a meteorológiai hatásoknak közvetlenül kitett, vagy fedett. A 2021-es nyilvántartásban 157 darab üzemelő karsztvízbázis található, ami a védett vízkészlet 9%-át adja [9].

A parti szűrésű vízbázisok: konszenzus alapján a felszín alatti vízbázisok közé kerültek besorolásra: a nyersvíz forrása ebben az esetben egy felszíni víztest, a víznyerés azonban a felszín alatt valósul meg. A parti szűrés folyamata későbbi fejezetben részletesen kerül bemutatásra. A nyilvántartásban 94 darab parti szűrésű vízbázis található, ebből 37 darab távlati. Az összes védett vízkészlet 29,5%-át az üzemelő parti szűrésű vízbázis, míg 25,5%-át a távlati parti szűrésű vízbázis adja [9].

A felszín alatti vizek esetében a víznyerés során az alábbi kúttípusokat különböztetjük meg: ásott kút, aknakút, csőkút, csáposkút, parti galéria és meder galéria. A termelő objektumok kiválasztása számos szempont mérlegelését igényli, mint a termelési kapacitások, a hidrogeológiai adottságok vagy a rendelkezésre álló infrastruktúra.

A távlati vízbázisok olyan, jó vízadó képességekkel rendelkező területek, melyek vízkészletét az állam, mint potenciális, kiaknázható a jövőben bevonható biztosítékként tart számon. A távlati vízbázisok esetében egy becsült (modellezett) vízkészletet tartanak nyilván. Jellemzően

diagnosztikai vizsgálat keretében próba termelő kutak segítségével pontosították a kitermelhető vízmennyiséget és minőséget, illetve meghatározásra kerültek a védőterületek is.

Ez sajnos előrevetíti annak lehetőségét, hogy a nyilvántartott értékek túlbecsültek. Figyelembe véve a Duna vízhozamát és a jelenlegi távlati vízbázisok becsült kapacitásait, az ország ivóvízellátása megfelelő infrastruktúra rendelkezésre állásával biztosított.

Összességében hazánkban az összes védett vízkészletnek a 4,7%-a üzemelő, míg a 7,5%- távlati talajvízbázis. A védendő vízkészlet mennyisége az esetek többségében jóval meghaladja a ténylegesen kitermelt mennyiséget.

### **1.3. A parti szűrés folyamata és jelentősége**

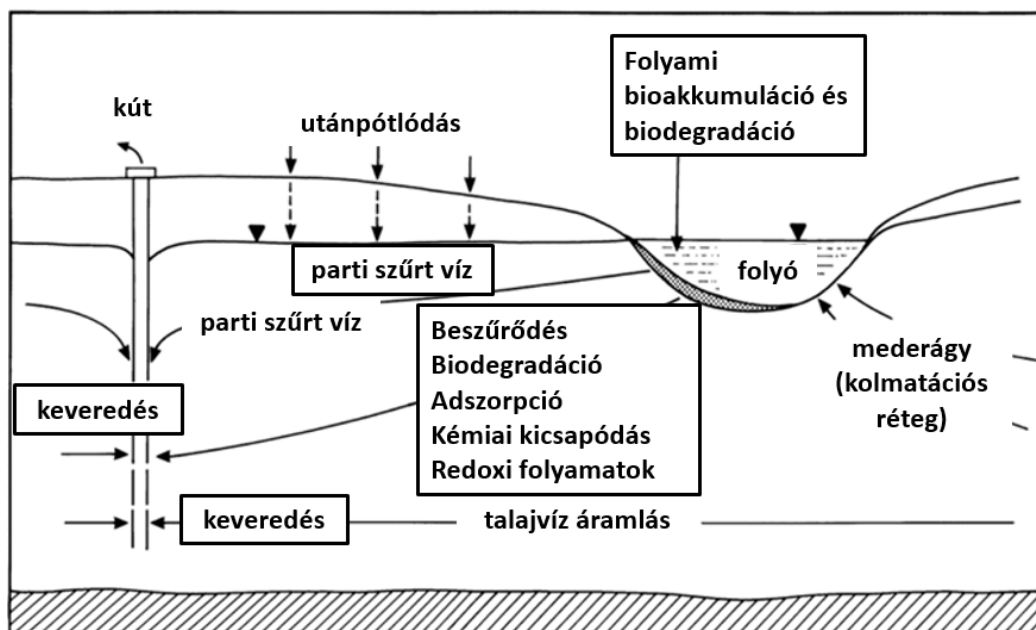
A fentiekben bemutatásra került, hogy a felszín alatti vizek és a hozzájuk kapcsolódó vízbázisok kiemelt jelentőséggel bírnak Magyarország védett és távlati vízkészletei szempontjából. Medence jellegéből adódóan, a Kárpátok és az Alpok hordaléka a folyómedrekben javarészt hazánkban rakódik le, ezzel kedvező feltételeket biztosítva a parti szűrésű rendszereknek. Budapest vízellátásának 100%-a, a Magyarországon megtermelt ivóvíz 30%-a származik parti szűrésből. A kijelölt távlati vízbázisok 50%-a alapul parti szűrésen. A 2022-ben elfogadott, legfrissebb Vízyűjtő-gazdálkodási Terv 2.1. melléklete alapján több, mint 3 millió m<sup>3</sup>/nap ivóvíztermelő kapacitás függ a parti szűréstől [9]. Jelenleg 104 parti szűrt vízbázist tartanak nyilván összesen Magyarországon vonatkozásában, melynek a fele távlati vízbázis, vagyis a jövőbeni vízigények biztosítását szolgálja.

A parti szűrésű vízbázisokat hagyományosan a felszín alatti vízbázisok között tartjuk számon, annak egy speciális eseteként. Definíció szerint, a kitermelt vízkészlet több mint 50%-a a felszíni vízből kell, hogy származzon, figyelembe véve a szélsőséges környezeti hatásokat is.

A parti szűrés egy olyan, a természetben is előforduló folyamatokon alapuló víztisztítási folyamat, melyben egy adott felszíni víztest a nyersvíz forrása (tó vagy folyó). A felszíni víztest környezetében elhelyezkedő laza szerkezetű szemcsés talaj, pedig biztosítja a szűrőréteget.

A folyamat maga mesterséges. A szűréshez biztosított indukált nyomáskülönbség a termelő objektumokba - vagy ahhoz közvetlenül kapcsolódó - telepített szivattyúk által jön létre. A létrejövő szűrés lassú szűrésnek minősül, mely során fizikai, kémiai és biológiai folyamatok segítségével akár ivóvíz tisztaságú minőséget is el lehet érni optimális körülmények és üzemeltetés mellett. Budapesten ezek a feltételek adóttak, a főváros vízellátása teljes mértékben parti szűrésen alapul. Tekintve, hogy a nyersvíz forrás ebben az esetben a Duna folyó, az

időjárásból adódó szélsőségek közvetlen módon befolyásolják az említett termelési körülményeket (2. ábra).



2. ábra: A parti szűrés folyamata [11]

A parti szűrésű vízbázisoknál a felszíni víz és annak medre, a háttér, valamint a felszínen érintett terület védelme is szükséges, mert csak így lehet biztosítani hosszú távon a megfelelő vízminőséget és mennyiséget.

Mivel a nyersvíz forrása felszíni víztest, ezért a parti szűrésű vízbázisok sérülékeny vízbázisként vannak nyilvántartva. A felszíni vizek minőségét és mennyiségét (utánpótlódását) befolyásoló tényezők itt is ugyanúgy hatnak, mint a felszíni vízbázisok esetében. Ezért is kiemelt jelentőségű ezen vízbázisok esetében mind a környezeti állapot monitorozása és védelme, mind a klimatikus tényezők folyamatos elemzése. A megfigyelt változások elleni felkészülés, illetve a hatékony beavatkozási eljárások az elsődleges eszközök a kockázatok csökkentésére.

A parti szűrés fontosságát tovább növeli, hogy a távlati vízbázisok zöme parti szűrésű vízbázis. Hazánkban a legnagyobb védendő vízkészlettel rendelkező vízbázisok a parti szűrésű vízbázisok között fordulnak elő. Stratégiailag a Duna-völgy kiemelt jelentőségű, mert ezen távlati vízbázisok javarészt itt helyezkednek el. A Duna melletti parti szűrésű vízbázisok esetén nem ritka, hogy a csápos kutak, a csökutak és a galériák több kilométer hosszan sorakoznak a folyó mellett. A legnagyobb kapacitású parti szűrésű és egyben az ország legnagyobb vízbázisa a Kisoroszi vízbázis, melynek védett vízkészlete mintegy 130 000 m<sup>3</sup>/nap [9].



## **1.4. A Duna vízszintjét befolyásoló tényezők**

### **1.4.1. A klímaváltozás hatása az Alpok gleccsereire**

Az IPCC 2019-es riportja az óceánok és a jégtakarók klímaváltozással kapcsolatos helyzetéről leírja [56], hogy Európa legmagasabb hegyeiben a hőmérséklet mintegy 2°C-kal emelkedett az utóbbi 120 évben. Ez a globális átlag mintegy kétszerese. Az alpesi gleccserek kifejezetten érzékenyek a klímaváltozásra, tekintve, hogy az Alpok területe kisebb kiterjedésű, mint a többi magashegység és mert arányaiban kisebb a hótakaró a csúcsokon. Az Alpok átlag légköri hőmérséklete mintegy 0,3°C-kal emelkedik egy évtized alatt. Amennyiben az üvegház hatású gázok koncentrációja a jelenlegi szinten emelkedik tovább, az alpesi gleccserek jégtömegének mintegy 80%-a eltűnik az évszázad végére. Osztrák, francia, svájci és olasz gleccserkutatók szerint a 2022-es évben rekord olvadási szintek voltak megfigyelhetők a szélsőségesen forró, hosszú és száraz nyár okán. A XIX. század vége óta mintegy 200 gleccser tűnt el az Alpokból. Ez egyfelől azért ad okot aggodalomra, mert a jégolvadás okán a víz körforgásba egyre nagyobb mennyiségű csapadék kerül be – nincs lekötvén jég formájában a gleccserekben vagy a hótakaróban – másfelől, lokálisan a felmelegedés egyre nagyobb fokú, tekintve, hogy a sziklák a nyári napsütés hatására felmelegsznek és ezzel lokálisan szokatlan, az ökoszisztéma számára elviselhetetlen hóhullámokat okoznak akár magashegyi területeken is. Efi Rousi és kollégái 2022-ben a Potsdam-i Klímakutató Intézetben (Potsdam Institute for Climate Impact Research) megállapították, hogy a jelenlegi klímamodellek alulbecslik az európai felmelegedés mértékét [57].

Összefoglalva megállapítható, hogy az Alpokban tapasztalható felmelegedés egyre nagyobb méreteket ölt, jelenleg még a klímamodellek sem tudják még csak megbecsülni sem a mértékét, ami pedig a gleccserek után marad, az csak szikla és kőzúzalék: a gleccserek eltűnésének mértéke az utóbbi mintegy tíz évben 2% körülire tehető. [58]

### **1.4.2. Talajvízszintek változása**

Az elmúlt években a MAR (Managed Aquifer Recharge – Célzott felszín alatti vízutánpótlás) egyre inkább előtérbe került és elterjedt világszerte. Az 1960-as évektől kezdődően, amikor bevezetésre került ez a technológia, az alkalmazásának mértéke 5%-ot nöött évente. Ez azonban nem elég ahhoz, hogy a talajvíz kitermelés mértékével egyensúlyt tartson. Jelenleg a MAR évente mintegy 10 km<sup>3</sup>/év víz visszapótlást fedez, mely ~2.4%-a azon országok vízkivételének, melyek igazolhatóan alkalmazzák a MAR technológiáját. Világ szinten ez nagyjából 1%-ot jelent. Ez az arány fejlesztéssel és megfelelő eltökélt politikai szándékkal 10%-ra emelkedhet a közeljövőben [59].

### 1.4.3. Csapadékváltozás

Magyarországon az évi átlagos csapadék 500-750 mm kötött alakul, azonban tájaink között jelentős eltérések adódhatnak. [60]

A Kárpát-medence domborzati jellegéből adódóan alapvetően meghatározza az ország klimatikus helyzetét. De a kontinentális, szárazabb klímára hat a légköri folyamatok függvényében a Földközi-tenger és esetenként az Atlanti-óceán is. A széliránytól függően keveredve a mediterrán klíma is meghatározóvá válhat. Ökölszabály szerint 100 m-es magasságnövekedés nagyjából 35 mm-nyi évi csapadékhozam növekedést eredményez. Megfigyelhető továbbá egy dél-nyugat - észak-kelet irányú csapadék csökkenés is a tengerektől távolodó földrajzi elhelyezkedés okán. Ezen fő indokok mentén a legcsapadékosabb az ország délnyugati része és a középhegységek régiói. Itt helyenként akár a 800 mm-es csapadékösszeget is meghaladhatják a mért adatok. A legszárazabb tájunk a Tisza-völgy, ahol az átlag csapadékmennyiség nem éri el az 500 mm-t.

Fontos azonban megállapítani, hogy a csapadék jelentős változékonyságot mutat évről évre, éven belül, illetve földrajzi vonatkozásban is. Az évenkénti adatsorokat összehasonlítva akár háromszoros eltérés is megfigyelhető. Hónapok telhetnek el teljes csapadékhiányban. Általánosságban elmondható, hogy a legtöbb csapadék a május-július közötti időszakban hullik, a legkevesebb pedig január és március között. A ciklonaktivitástól függően az őszi periódusban szintén megfigyelhető egy másodlagos csapadékmaximum, jellemzően a csapadékosabb területeken fokozottabb mértékben.

Hazánk esetében a sok éves aszályok és csapadékos időszakok ritkák. A 80-as években volt megfigyelhető egy átmeneti csapadékhiányosabb időszak. Az utóbbi negyven évben szignifikánsan, mintegy 16,5%-kal növekedett az országban a lehulló összes csapadékmennyiség. Évszakos vonatkozásban a tavaszi csapadékösszeg kiegyenlített, de enyhe csökkenést mutat. A többi évszakban azonban mintegy 20%-os emelkedés figyelhető meg a 1900-2020 közötti adatsorok elemzése során [60].

Ezek alapján, az egyedi évek szélsőségeinek visszhangja, úgy, mint az elsivatagosodás, a természeti katasztrófák, a terménykiesések, önmagában a csapadékmennyiségek tekintetében nem indokolhatóak. A probléma az egyszerre lehullott csapadék növekedésével magyarázható, mely az özvízszerű esők egyre gyakrabban megfigyelhető jelenségét takarja. Sajnos, ezen események nagyon nehezen előre jelezhetőek és ezáltal a védekezés is nehezen oldható meg ellenük.

## 1.5. Az ivóvízbiztonság fogalma, történelmi áttekintés

A biztonságos ivóvíz a WHO definíciója szerint a fogyasztó várható teljes élettartamára vetítve nem jelent jelentős egészségügyi kockázatot, beleértve a különböző életszakaszokban előforduló érzékenységeket (csecsemőkor, időskori krónikus betegségek) [12]. Magyar szabályozói kontextusban a vízbiztonságot a 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet [2] határozza meg: *„az ivóvízfogyasztáshoz, illetve használatához kapcsolódó, ivóvíznyerésre szolgáló, vízkezelő és ellátó rendszerben, házi ivóvízhálózatban és vízvételre szolgáló helyeken elérhető legkisebb egészségkockázatot jelentő minőségi és működési jellemző”*. Mindkét definíció kiemeli, hogy a vízminőség fontos teljesítményjellemző, de megfogalmazzák, hogy a minőség mellett egyéb szempontok is fontosak. Az ENSZ Vízügyi Tagozata (UN Water) szerinti definíció nem tér ki arra a fontos szempontra, amely szintén lényeges az ivóvíz elérhetősége okán, ez pedig, a víz ára. Az 5/2023. (I. 12.). kormányrendelet pedig nem tesz utalást a mennyiségi követelményekre.

Bár a magyar nyelv egységesen értelmezi az ivóvízbiztonság tárgykörét, az angol szakirodalomban használatos „water safety”, illetve a „water security” fogalmak értelmezése átalakulóban van. Jellemzően a "water safety" az ellátórendszer normális esetben történő működéséből adódó ivóvíz biztonsági témakörre vonatkozik (műszaki, technikai vonatkozások), míg a „water security” fogalmának bevezetése az ivóvíz biztonságát befolyásoló külső tényezők körét fedi le (emberi szándékból fakadó vonatkozások) – tulajdonképpen a külső körülmények okozta extrém események következményeit vizsgálja. Ilyen tényezők például az első témakörre az aszályok és árvizek, másodikra pedig a terrortámadások veszélyei, illetve az infrastruktúra integritását veszélyeztető események. Egy másik megközelítés szerint, az UN Water definíciója [13] alapján az ivóvízbiztonság az a társadalmi kapacitás, mely képes megfelelő mennyiségben elfogadható minőségű vizet biztosítani az élet fenntartásához, az emberi jólléthez és a társadalmi-gazdasági fejlődéshez, védelmet tud nyújtani a vízzel terjedő betegségekkel és a vízhez köthető természeti katasztrófákkal szemben, valamint megőrzi az ökoszisztémák jó állapotát és a politikai stabilitást. [13]

### 1.5.1. A víz az emberiség történelmében

Az igény a jó minőségű ivóvízre az emberiség történetével egyidős: jellemzően azokon a területeken telepedtek meg nagyobb népcsoportok, ahol számos más kedvező feltétel mellett, az ivóvíz is rendelkezésre állt. Feltehetően az emberi népvándorlásokat is alapvetően befolyásolta a víz elérhetősége. A víz kellő mennyiségű és minőségű megléte azonban a

gyűjtögető életmód idején feltehetően nem volt limitáló tényező. A gyéren lakott vidékeken sokkal inkább volt kritikus az élelmezés biztosítása és a betegségek terjedése.

Amikor megkezdődött az emberiség letelepedése, úgy vált a víz biztosítása egyre fontosabbá. A társadalmi szempontból stratégiaileg fontos helyek környéken letelepülő népesség, ahogy nőtt, a vízellátás mennyiségi problémáját is meg kellett oldani. Ott alakulhattak ki a társadalmi, gazdasági és kulturális csomópontok és útvonalak.

Az ókori Egyiptomban már mintegy 5000 évvel ezelőtt üzemelt rézből készült a vízvezeték. A minoszi kultúrában feltehetőleg már i.e. 2000 évvel építettek öntözésre alkalmas csatornákat. Petra városában mind az esővizet, mind pedig az elérhető forrásvizet gyűjtötték és nyitott csatornákon keresztül juttatták el a felhasználási helyre. Peruban a Nazca kultúra – feltehetőleg az i.e. V. század környékén – az aszályos vízhiányra úgynevezett puquios-okat építettek Chile arid területein, melyek közül még napjainkban is többet használnak víztermelési célokra. Ezekhez igen hasonló kialakítású, a híres quanat vízrendszer, mely aknák kialakításával, a gravitáció segítségével juttatja el a talajvizet egy vagy több forráshoz. Nagy előnye ez utóbbi két rendszernek, hogy a párolgást is sikerült kiküszöbölniük, ami meleg, forró klímákon jelentős vízveszteséggel jár.

Nem hagyható ki a római vízvezetékrendszer bemutatása sem. Tarquinius Priscus római király i.e. kb. a VI. században etruszk mérnököket bízott meg a Róma környéki tavak vízlevezetési terveinek elkészítésével, mivel a csatornák szennyvizei megfertőzték a város lakói által ivásra, fürdésre használt Tiberis folyó vizét. A vízvezetékek felügyelője, Julius Frontinus forrásai alapján a rómaiak 18 forrás vizét vezették 12-70 km-es távolságról, mintegy 580 km hosszú csőrendszeren át a városba. Az ókori Római Birodalom idejéből már részletes leírások állnak rendelkezésünkre, melyben többek közt olvashatjuk, hogy az akár több száz km távolságból vezetett vizet mérőcsövön keresztül juttatták be a házak udvarába. Ezek a mérőcsövek az alaktartóságuk miatt rézcsőből készültek 230 mm hosszúságban, különböző átmérővel. A csőátmérő függvényében kellett fizetni a vízdíjat. Ahhoz, hogy a megfelelő nyomást biztosítani tudják a hálózaton, aqueductokra volt szükségük. Már alkalmaztak kezdetleges víztisztítási módokat: az Anio folyó vizét három mesterséges tó medrében átvezetve, ezzel ülepítve ki a jelentős mennyiségű hordalékot belőle. Rómában mind a mai napig nagy jelentőséggel bír a vízszolgáltatás különleges módja: a városban számos ivócsap (nasone) biztosította az ingyenes, forrásvíz minőségű ivóvizet az év minden szakaszában. Ezen ivócsapok elfolyó rendszere szolgáltatja mind a mai napig a Róma hírességeinek számító szökőkutak vizét - ezek emberi

fogyasztásra, néhány kivételtől eltekintve, alkalmatlanok. Illetve ezen elfolyó vizek a piacok és egyéb szűrkevíz igényű más szolgáltatások betáplálásául is szolgálnak.

Magyarország területének a Dunától nyugatra eső részét a rómaiak i.e. II. században hódították meg és Pannónia néven tartották számon. Az egyik jelentős régészeti lelőhelyet, a Duna jobb partján levő kelta várost, Aquincumnak (mai néven Óbuda) nevezték. Az elnevezés vagy a kelta eredetű Ak-ink – „bő víz” - szóösszetételből ered, vagy az „aquae quinque” (öt víz) szóösszetételből származik. A város lakosainak és az ott állomásozó légió vízellátásáról a környező források vizének magas vezetőségű csatornákon történő elvezetésével gondoskodtak. A vezeték pillérmaradványai még ma is láthatók. Számos egyéb régészeti emlék tanúskodik róla, hogy a római hódoltság idején az ivóvíz biztosítása mellett a szennyvíz és esővíz elvezetés is mérnöki színvonalon volt megoldott.

Budán, bár a Duna közelsége okán vízfordók biztosították első sorban a piacterek vízellátását, ciszternák feltöltésével. Másfelől a vár területén található lakóházak rendelkeztek kutakkal, ami szintén hozzájárult a lakosság vízellátásához. 1416-ban Zsigmond király Rottschmied Hartmann megbízásával nyomószivattyúk segítségével vezettette be a Duna vizet a budai palotájába. Az 1476 utáni években a királyi palotát övező városba feltehetőleg két forrás vizét vezették be (Városkút, Béla király kútja), 4 km-es ólom- és agyagszó vezetéseken. Mátyás király további egy forrás vizét közvetlenül a palotába vezettette be, feltehetőleg a közlekedőedények elvét alkalmazták. [14] Az 1500-as évek körül az igények rohamos növekedése miatt újabb szivattyús vízművet építettek. Ebben az időben már Pest városának (a Duna bal partján) is volt forrásvízműve. A középkor végén Buda és Pest városok vízművei tönkrementek. Buda három vízművét 1702 és 1750 között állították helyre, majd a század vége felé (1777-1784) – mivel az igényeket már kielégíteni nem tudták – bővítésükről gondoskodtak.

A XIX. század elején az Indiai szubkontinensről egy eddig ismeretlen kórokozó, a *Vibrio cholerae* jutott el Oroszországon keresztül Európába. A kórokozó baktériumot csak 1884-ben sikerült azonosítania Robert Kochnak. Az első nagy járvány 1831-ben ütötte fel fejét Máramarosban, majd terjedt tovább az ország keleti és északi régióba, illetve a fővárosba is. Júniustól szeptemberig 421 ezer (más számítások szerint 530 ezer) lakos betegedett meg, akik közül 236 ezerfő esett a járvány áldozatául - a Magyar Királyság akkori lakosságának 2,8 százaléka.

Az 1848-49-es járványhullám – hazánkban a második – több áldozatot követelt, mint a szabadságharc [15]. Az utolsó nagy kolerajárvány 1872-1874 között tombolt az országban,

mintegy 450 ezer megbetegedést és 190 ezer halálozást eredményezve. [16] Mindent összevetve, a XIX. században a kolerajárványok mintegy 1 millió magyar életét oltották ki. Hazánkban a 18. századtól megfigyelhető városiasodás hatására a vízellátás egyre problémásabbá vált. A meglévő vízvezetékek már nem tudták kiszolgálni a lakosságot, az ásott kutak több helyen kiszáradtak, vagy elszennyeződtek. Az 1800-as évek közepétől több kísérletet is tettek a probléma megoldására, de sokáig egyik sem bizonyult sikeresnek.

Azonban 1866-ban újabb kolerajárvány tört ki, mely olyan mértékben visszavetette a gazdasági fejlődést, hogy az 1867-es kiegyezést követően az egyik első fejlesztési javaslat a főváros ivóvízellátásának rendezése volt. 1868-ban William Lindley tervezésével megépült a mai parlament helyén az ideiglenes vízmű, melynek ellennyomó medencéje a mai Ihász utcai Kőbányai öreg medence volt. A szivattyúház a mai V. kerület egy részét látta el vezetékes ivóvízzel. A szolgáltatási területet nem érintette a 1872-es nagy kolerajárvány. A kolerajárványok hatékony megelőző eszközeként így jött létre a Fővárosi Vízművek [17].

Azonban a fejlesztések és bővítések ellenére ez a vízmű nem tudta kielégíteni a főváros rohamosan növekvő lakosságának igényeit, emiatt sokszor kellett a Duna szűretlen vizét használni. A lakosság gyakran elégedetlenkedett a víz minősége miatt.

1880-ban az egyesített főváros törvényhatósága úgy döntött, hogy végleges megoldást kíván találni a város vízellátásának problémájára. 1893-ban, Wein János tervei alapján végül egy olyan vízmű építése kezdődött meg, amely hosszú távon oldotta meg a főváros vízellátását.

A felszíni Duna vizet kavics- és homokszűrőkön át, tisztítva vezették a 32 köz- és magánépületbe a fogyasztókhoz, valamint a város közkútjába. A magyar gyáripár az 1860-as évek körül kezdett kialakulni. Az iparosodás főleg az élelmiszer-, malom-, cukor- és szesziparral indult meg. Az ipari felfejlődés és az ipari dolgozók számának növekedése következtében a vízigény nőtt. Ezért 1868-ban megkezdték Pest város ideiglenes vízművének építését. Az ideiglenes vízművet az 1878-as és 1880-as évek között egy 595 m<sup>3</sup>-es galéria és egy víztorony építésével bővítik. Ezzel a vízmű kapacitása kb. 20 000 m<sup>3</sup>/nap volt. Pest és Buda között a két vízművet 1893-ban kapcsolták össze, ezzel Budapest város végleges vízművének kiépítése megkezdődött. A XIX. század végén Szeged nagyvárossá fejlődött és Cegléd, Hatvan, Pécs, Sopron, Szombathely, valamint Veszprém városokkal együtt megkezdték az első hazai vízművek építését.

A XX. század első évtizedeiben indult meg számos település vezetékes vízellátásának kiépítése. A második világháború befejezése, valamint az újjáépítés éveinek eltelté után az utóbbi

évtizedekben az iparosodás és a városiasodási folyamat erősen felgyorsult, szükségszerűen a termelés és a vízszükséglet is ugrásszerűen megnőtt. Ugyanilyen mértékben növekedett a gyorsan fejlődő nagy iparvárosok vízigénye is. Számos új vízmű épült a lakótelepülések, valamint az ipartelepek ellátására. Ugyanebben az időben még számos elavult vízmű bővítését és korszerűsítési munkáit is elvégezték.

A települések lakosságának vezetékes vízellátása, illetve az ipartelepek egészségügyi és termelési frissvíz-szükségleteit jelenleg különféle típusú művekkel elégítik ki. A városi és a községi közüzemi ivóvízművek 1965. évi összes víztermelésének 10%-a felszíni és 90%-a pedig felszín alatti vízkészletből származott. A felszíni vízkészletet a nagyobb vízfolyások (Duna, Tisza) mentén, vagy azok közelében levő városainak ivóvízművei, vagy a vízművek egyes víztermelő telepei veszik igénybe.

A felszín alatti vízkészletre települt ivóvízművek víztermelő telepei nagyobb részben a felszín közeli kavicssteraszok és a 100 m alatti mélységbeli víztartó rétegek vizét termelik ki, kisebb részben a karsztforrások vizét hasznosítják. A kedvező vízbeszerzési lehetőségek csökkenése miatt, főként az utóbbi évtizedekben épített vízművek már a minőségileg kevésbé megfelelő vízkészletre (felszíni vizek, nagy vas- és mangántartalmú rétegvizek) települtek. Emiatt víztisztító berendezések kiépítése vált szükségessé. A mai ivóvíz termelésének nagy része tisztítás, kezelés után kerül fogyasztásra.

Összefoglalva, a jó vízminőség hiánya előbb vagy utóbb tömeges, súlyos megbetegedések fellángolásához vezetett, hozzájárulva számos esetben akár teljes városok elnéptelenedéséhez. Súlyosbította a helyzetet, hogy ezeknek a járványoknak a pontos eredete egészen Louis Pasteur és John Snow munkásságáig ismeretlenek voltak, ezáltal hatékony módja sem volt a megelőzésnek. Budapest esetében is, egészen a vízművek 1868-as megalapításáig rendszeres kolerajárványok terjedtek a városban, nem ritkán tízezrek halálát okozva. Bár már a XIX. század második felében megkezdődő tudományos kutatások és a talált összefüggések alkalmazásának támogatása fokozatosan előtérbe került, mégis, egészen a XX. század közepéig nem történt semmilyen átfogó nemzetközi egyeztetés az ivóvízbiztonság szabályozására vonatkozóan.

## **1.6. Az ivóvízbiztonság szabályozási háttere**

Fentiek alapján kijelenthető, hogy az ivóvízbiztonság minőségi és mennyiségi követelményeknek, valamint a víz „megfizethetőségének” kell, hogy eleget tegyen, ezen logika mentén kerül a fogalom szabályozási háttere is kifejtésre.

### **1.6.1. Az ivóvíz-szolgáltatás, mint kritikus infrastruktúra**

A 2008/114/EK (2008. december 8.) EU irányelv az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről definiálja a kritikus infrastruktúra fogalmát. Az irányelv kimondja, hogy azon eszközök vagy rendszerek tekinthetők kritikus infrastruktúrának, amelyek elengedhetetlenek az olyan társadalmi feladatok ellátásához, mint az egészségügy, a biztonság, az emberek gazdasági és szociális jóléte. Kiegészítve azzal, hogy azon rendszerek is ide értendők, melyek megzavarása vagy megsemmisítése jelentős következményekkel járna. Az irányelv 1. melléklete kritikus infrastruktúráként jelöli ki az energiaellátást és közlekedést biztosító hálózatokat. A 2008/114/EC Európai direktíva azonban nem sorolja az ivóvízellátó-rendszereket a kritikus infrastruktúrák körébe. Ennek ellenére minden kormány elismeri, hogy a vízellátás alapvető és nélkülözhetetlen szolgáltatás egy adott ország biztonságának megőrzéséhez. Elsőként a Magyarországon a 2080/2008. (VI. 30.) Korm. határozat 1. mellékleteként rögzített Zöld Könyv IV. ágazata definiálja, hogy az ivóvíz szolgáltatáshoz kapcsolódó infrastruktúrák kritikus infrastruktúrának minősülnek. A határozat részletes – de nem teljes – listát is szolgáltat a vízbiztonságot érintő potenciális veszélyekre vonatkozóan. Ebből megállapítható, hogy az elhúzódó aszályok és árvizek ebbe a körbe tartoznak. A határozat kimondja továbbá, hogy a kritikus infrastruktúra védelme a kormány, a tulajdonos(ok) valamint az üzemeltet(ők) kooperációján keresztül valósul meg, azok pénzügyi lehetőségeit figyelembe véve.

Jelenleg érvényes szabályozás a hazai jogszabályozásban a 2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről. A törvény 1. mellékletében a 28-32 pontok között összesen öt esetet különböztet meg, mint a vízzel kapcsolatos kritikus infrastruktúra (28. ivóvíz-szolgáltatás, 29. felszíni és felszín alatti vizek minőségének ellenőrzése, 30. szennyvízelvezetés és -tisztítás, 31. vízbázisok védelme, 32. árvízi védművek, gátak). Ezen pontok alapján a parti szűréseken alapuló ivóvíztermelés és szolgáltatás közvetlen vagy közvetett módon mind az öt esetben érintett. Kiemelt jelentőségű a klimatikus kitettséghez kapcsolódóan az ivóvíz-szolgáltatás, a felszíni és felszín alatti vizek minőségének ellenőrzése, a vízbázisok védelme és az árvízi védművek és gátak rendelkezésre állása.

### **1.6.2. Minőségi követelmények**

A víz jelenléte az élet alapvető feltétele. Minőségi oldalról számos fertőzés és szennyezés közvetítőjévé is válhat, melyek veszélyeztethetik a fogyasztó egészségét. Fizikai, kémiai és mikrobiológiai kockázatokat hordoz, amelyek közvetlenül egészségügyi, közvetett módon



pedig komoly gazdasági és társadalmi következményekkel járhatnak. A kifogásolt minőségű ivóvíz számos fertőzés forrása lehet. Akut kitettség esetén főleg a mikrobiológiai eredetű fertőzések, úgy, mint a hasmenés, a polio, a hastífusz, kolera és a vérhas járványok jelentenek problémát. Krónikus kitettség esetén inkább a kémiai szennyezők jelenléte okozhat megbetegedést – mint például az arzén és más nehézfémek, a különböző eredetű szerves mikroszennyezők csoportja – jellemzően az elmaradottabb infrastruktúrával rendelkező országokban. Másfelől, a minőség mellett nem elhanyagolható, hogy a mennyiségi követelményeknek is maradéktalanul eleget tudjon tenni a szolgáltató.

A légiforgalom elterjedésével a WHO 1958-ban elsőként fogalmazta meg, hogy szükség van valamiféle iránymutatásra a víz minőségét illetően. Ezt követően meg is jelentette a Nemzetközi vízminőségi ajánlások (International Standards on Drinking Water Quality) című kiadványát [18]. Ebben a dokumentumban rögzítésre kerültek azok a minőségre vonatkozó konkrét határértékek, amelyek betartásával az ivóvíz minőségi követelményei biztosíthatóak adott szolgáltatási területen. Megállapítja ugyanakkor, hogy a definiált határértékek és a meghatározásukhoz alkalmazott módszerek nemzetközi viszonylatban jelentősen eltérhetnek, ezért a dokumentum csupán iránymutatásul szolgál. Ez a megközelítés a WHO részéről a mai napig is megmaradt.

Az IWA támogatta a kockázat-alapú szemlélet felé való elmozdulást a Bonn Charter dokumentum segítségével és annak alkalmazásával. Ebben a dokumentumban már megjelent az a fajta szemléletmód, hogy a kockázatokat már a víznyeréstől kezdve figyelembe kell venni egészen a fogyasztó csapjáig bezárólag. [19] Természetesen a kockázat alapú megközelítés a WHO irányelveiben is megjelent.

Azóta számos kiadványa látott napvilágot – jelenleg az Ivóvízminőségi irányelvek negyedik, 2017-es kiadása van érvényben - köszönhetően a folyamatosan fejlődő igényeknek és a technikai vívmányoknak [12]. Ezzel a WHO nagyban hozzájárul ahhoz, hogy azokban az országokban, ahol nem elég erős az intézményrendszer a szabályozó környezet megalkotására és érvényre juttatására, egyfajta támogatást biztosítson a minőségi szempontból elfogadható ivóvíz viszonyítási alapjának kialakításáról. Itt fontos megemlíteni, hogy az ivóvíz minőségének szabályozása nemzeti hatáskörbe tartozik. Ebből adódóan a világban számos szennyező és általános vízminőségi paraméter esetében eltérő szabályozással, illetve meghatározási móddal találkozunk. A WHO egy külön kiadványban összefoglalva 2021-ben adta ki annak a dokumentumnak a jelenleg érvényben lévő kiadását, mely 125 országra vonatkozóan összesíti a vonatkozó, érvényes vízminőségi paraméterek határértékeit [20]. Célja

a nemzetközi szervezetnek ezzel is a vízminőséggel kapcsolatos jelenlegi szabályozások könnyebb összehasonlíthatósága, természetesen a szakmai feltételek figyelembevételével.

Az Egyesült Államokban 1974-ben megszavazták a Biztonságos ivóvíz törvényt (Safe Drinking Water Act SDWA), melyet aztán további két kiegészítéssel módosítottak. A törvény által felruházták az amerikai Környezetvédelmi Ügynökséget (EPA), hogy határozza meg az ivóvíz minőségére vonatkozó követelményeket és ellenőrizze azok teljesülését állami, helyi és szolgáltatói szinten is. Az EPA kilencven szennyezőre határozott meg konkrét határértéket és kezelési technológiát a Nemzeti Elsődleges Ivóvíz Szabályozás dokumentumban (National Primary Drinking Water Regulation, NPDWR) dokumentumban, melyet azóta többször frissítettek. [21] Itt tehát pontosan nyomon követhető, hogy egy nemzetközi szervezet ajánlása mellett elkezdnek megjelenni a nemzeti követelményrendszerek is.

Az első Európai irányelv 1961-ben jelent meg. Elsődleges célja, hogy a fejlettebb gazdaságú országok számára egy átfogóbb, a problémáikra „szabott” iránymutatást adjon a víz minőségét illetően. Már itt is konkrétan felmerül, hogy szükség van egy olyan keretrendszerre, mely végigvezeti a szolgáltatót a vízellátó rendszer együttes vizsgálatának lépésein. Ugyanakkor kiemeli, hogy a rendszerek és a környezeti tényezők jelentős eltérést mutathatnak. Továbbá kiemeli, hogy a technológiai fejlődés és a társadalmi vélemény évről évre változik a víz minőségét illetően, melyeket szintén fontos szem előtt tartani. Ezt követte a 80/778/EC direktíva, mely 2003. decemberében került hatályon kívül.

Egészen a 2020. december 16-án nyilvánosságra hozott új EU irányelv kidolgozásáig a 98/83/EC direktíva volt érvényben, mint egységes Európai Uniós szabályozás az ivóvíz minőségének tekintetében. A legújabb EU irányelv kidolgozását a 2012-ben indult civil kezdeményezés – a Right2Water – mozdította elő. Három fő alapelvet fogalmazott meg: „az uniós intézmények és a tagállamok kötelesek legyenek biztosítani, hogy a teljes lakosságot megillessze az ivóvízellátáshoz, a szennyvízelvezetéshez és -kezeléséhez való jog. A vízszolgáltatás és a vízkészlet-gazdálkodás ne tartozhasson belső piaci szabályok hatálya alá, a vízszolgáltatásokat zárják ki a liberalizációból, valamint az Unió fokozza a vízhez és a megfelelő higiénés körülményekhez való hozzáférést [22].

Ezzel párhuzamosan, a WHO is új perspektívára világított rá, azzal a felismeréssel, hogy nem elég a vízminőségi paraméterek esetében a vonatkozó határértékek megállapítása (ajánlása). A vízellátó rendszerek adott vízminősége nagymértékben függ a környezeti hatásoktól, illetve a rendszer adottságaitól. Ebből adódóan, sokkal előnyösebb, ha vízbiztonsági tervek készítésével

és üzemeltetésével egy kockázati alapon meghatározott veszélyelemzést végeznek el a közművek üzemeltetői.

A vízminőségre vonatkozó legfontosabb magyar szabályozás a korábban említett 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet [2]. A rendelet 4. § 6. pontja kimondja, hogy „a fogyasztók számára évi átlagban 10 m<sup>3</sup>/nap mennyiségnél több vizet szolgáltató vagy 50 fő-t meghaladó állandó népességet ellátó ivóvízellátó rendszerek ivóvízbiztonság-irányítási rendszerét ivóvízbiztonsági tervben kell rögzítenie az üzemeltetőnek”. Az ivóvízbiztonsági tervre vonatkozó előírásokat a rendelet tartalmazza, a tervben a veszélyek azonosítása és a kockázatértékelés elvégzése kiemelt hangsúlyt kap.

### **1.6.3. Mennyiségi elvárások**

A víz az egyik alapvető életfeltétel. Az emberi élet fenntartásához minimum 5-10 l/nap/fő víz szükséges. Az ENSZ és a WHO 20 l/nap/főben határozta meg a minimum szükséges mennyiséget – mely már a minimális higiéniai szükségleteket is kielégíti – azonban Gleick [23] amellet érvelt, hogy ez a mennyiség még mindig túl kevés és a napi minimum szükségletet 50l/nap/főben szükséges megállapítani. Ha ezt az értéket összehasonlítjuk az iparilag fejlett társadalmak napi vízszükségletével, megállapíthatjuk, hogy a vízigény meredeken emelkedik az életszínvonal függvényében.

Másfelől, fontos megállapítani, hogy a víz fizikai hiánya lehetetlenné teszi az élet fennmaradását. Ezért is, a vízbiztonság témakörében nem csak a minőségi, de a mennyiségi kihívások is lényegesek. Ezen két fontos összefüggés okán megállapítható, hogy nem a víz iránti igény a legfontosabb hajtóerő, hanem sokkal inkább az a vízmennyiség, amelyet a fogyasztó még hajlandó megfizetni. A Világbank kutatási eredményei alapján [24] arra a megállapításra jutott, hogy azon háztartások, ahol nem biztosított a vezetékes vízszolgáltatás többet költenek ivóvízre, mint bevételük 3-5%-a. Mégis, összehasonlítva az elektromos áramszolgáltatással szemben támasztott igényeket, a lakossági vízellátás iránti igény alacsonyabb szintű [25].

Elmondható, hogy legtöbb esetben az emberek kevésbé érzékenyek az ivóvíz minőségi kritériumaira – leszámítva az érzékszervvel tapasztalható eltéréseket, mint a szag, íz, szín. A mennyiségi hiány azonban rendszerint komoly visszhangra talál. Ugyanakkor ezekben az esetekben jellemzően elmondható, hogy a vizsgált víz minőségi követelményei is rendszerint kifogásoltak. Fontos felismerni, hogy a folytonos ellátás az ivóvíz szolgáltatás egyik olyan követelménye mely vízbiztonsági eszközként is felfogható: általa valósul meg számos olyan

üzemeltetési feltétel, mely fenntartja a kifogástalan vízminőséget is – szakaszos rendszerű ellátást üzemeltetni nagyságrendekkel nehezebb.

A Philippine Environment Monitor [26] szerint a városi fogyasztók átlagosan 120 l/nap vizet fogyasztanak, míg a vidéki fogyasztók ennek csak mintegy a felét. Megállapították, hogy a jelenség többek között a vezetékes vízhez való hozzáféréssel is összefügg.

## **1.7. A vízbiztonsági terv, mint eszköz**

Látható tehát, hogy a probléma lényegesen összetettebb annál, mintsem adott vízminőségi paraméterek határértékhez rendelése és annak betartatása. Már az 1958-ban megjelent első WHO irányelv is kitér rá, hogy szükség van az ajánlott kritériumokon túl egy olyan keretrendszerre, mely végig vezet a szolgáltatót a vízellátó rendszer integrált vizsgálatának lépésein. Később megállapítást nyert, hogy a rendszerszemlélet mellett, fontos a kockázat alapú megközelítés alkalmazása is. Ezen elmélet megvalósulása az ivóvízbiztonsági tervek bevezetésekor kezdett realizálódni, mely folyamat még jelenleg is tart.

### **1.7.1. A vízbiztonsági terv fogalma, felépítése és a jogszabályi háttér bemutatása**

A fenti felvetésekre jelenleg leghatékonyabban megoldást nyújtó eszköz az ivóvíz biztonsági terv, mely a megelőzés elvén alapuló, az ivóvízellátás során jelentkező közegészségügyi kockázatok csökkentését célzó, szakmai szempontrendszerű kockázatkezelési rendszer [27].

Az 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet előírja, hogy azoknak az üzemeltetőknek, akik a fogyasztók számára évi átlagban  $10 \text{ m}^3/\text{nap}$  mennyiségnél több vizet szolgáltatnak vagy 50 főt meghaladó állandó népességet ellátó ivóvízellátó rendszert üzemeltetnek, ivóvízbiztonság-irányítási rendszerüket ivóvízbiztonsági tervben kell rögzíteniük. A vízbiztonsági terv felépítését a kormányrendelet 6. számú melléklete szabályozza. A rendelet szerint a biztonsági tervet a víz útját követve szükséges felépíteni, részletesen kitérve és bemutatva a víznyerő helyeket, illetve a nyersvíz források védelmét, a vízkezelést, az elosztóhálózatot és a fogyasztói pontokat. A rendelet előírja, hogy a vízellátórendszer főbb elemein végig vezetve kell a szükséges adatokat, a lehetséges veszélyeket, a kockázatértékelés módját, a beavatkozási lehetőségeket, az ellenőrző pontokat, valamint az értékelő és ellenőrző rendszert az ivóvízbiztonsági tervben rögzíteni. A tervnek tartalmaznia kell továbbá a vízellátás lépéseit és a beavatkozási pontokat tartalmazó folyamatábrát is, részletesen be kell mutatni az alkalmazott kockázatértékelés módszertanát. Ezzel kapcsolatban a kormányrendelet csak annyit határoz meg, hogy a kockázatértékelés elvégzése során az MSZ EN 15975-2 szabványban, vagy azzal

egyenértékű nemzetközi vagy hazai ajánlásokban meghatározott általános kockázatértékelési elveket kell figyelembe venni.

A módszertan alkalmasságát az Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) szakvéleményezési eljárás során értékeli. Ehhez az ivóvízbiztonsági tervet az üzemeltetőnek évente felül kell vizsgálnia, az üzemeltetésben történt módosításokat át kell vezetnie és az NNK-nak be kell nyújtani a módosított hatályos ivóvízbiztonsági tervet, illetve a fogyasztásra szánt ivóvíz egészségre és fogyaszthatóságra vonatkozó veszélyeinek kezelésére, kockázatuk csökkentésére beállított egyedi szabályzó dokumentumokat és munkautasításokat, az illetékes népegészségügyi szerv által elfogadott vizsgálati programot valamint a vízjogi üzemeltetési engedélyt. A vázat egyrészt tehát a hatályos 5/2023 (I. 12.) kormányrendelet 6. számú melléklete, továbbá a különböző minőségirányítási rendszerek alkotják. A választott struktúrának következetesnek kell lennie. A munkacsoport által elfogadott struktúrát alkalmazva, dokumentálni kell tehát: a működésbe helyezett rendszer összes elemét, beleértve a rendszerértékelést, veszélyértékelést és kockázatelemzést, a monitoring rendszert, a nem megfelelőségek kezelését, a szükséges beavatkozások leírását, az eltérések kivizsgálását követően, a folyamatos fejlődés érdekében a megfelelő helyesbítő, megelőző tevékenységeket és a kommunikációs folyamatok meghatározását.

Ha szükséges, az NNK a közegészségügyi szempontú értékeléshez további dokumentumok benyújtását kérheti. A szakvélemény kiállítását követően az aktuális vízbiztonsági tervet és az NNK szakvéleményét együttesen kell évente benyújtani az illetékes népegészségügyi szerv számára, aki a jóváhagyást végzi. Ezen túlmenően a dokumentumban foglaltakat évente helyszíni ivóvízbiztonsági hatósági ellenőrzés keretében is vizsgálják. Az üzemeltetőnek az ivóvízbiztonsági terv közegészségügyi felülvizsgálatát öt évente az illetékes népegészségügyi szervnél kérelmeznie kell. Az öt éves felülvizsgálatnak ki kell terjednie az ivóvízbiztonsági tervben foglaltak teljesülésére, a teljes vízellátó rendszer működtetésének közegészségügyi vizsgálatára, a kockázatbecslés és kockázatkezelés értékelésére és az üzemeltetői kivizsgálás, intézkedés és a veszélykezelési eljárás módosítására rendkívüli esemény vagy határérték-túllépés esetén.

A leglényegesebb pont pedig az, hogy egy jól felépített és folyamatosan napra készen tartott ivóvízbiztonsági tervet használni is kell. Amennyiben ténylegesen jól és alaposan kerül kidolgozásra, hatékony eszközévé válik a vízszolgáltatást – ideértve a termelés és elosztás folyamatait is – érintő veszélyek megelőzésére vagy elfogadható szintre csökkentésére. Hiszen a

mindennapi üzemeltetési gyakorlatba beépített terv egyidejűleg szolgálja a vízellátás biztonságát, mind mennyiségi, mind minőségi szempontból.

### **1.7.2. A HACCP rendszer és alkalmazása**

Az előző fejezetben bemutatott jogszabályi kikötés előírja megfelelő kockázatértékelés végrehajtását és annak integrálását a teljes vízellátó rendszerre, melyet a vízbiztonsági tervekben szükséges részletesen bemutatni. Ennek Dávidovits munkája alapján egyik hatékony eszköze a HACCP rendszer [27].

A HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) egy kockázat értékelő irányítási eszköz, amelyet a Pillsbury Cég fejlesztett ki a NASA-val közösen még az 1960-as években. Céljük az volt, hogy az űrhajósok ételmezésére olyan konzerveket tudjanak biztosítani, amik biztonsággal fogyaszthatóak az űrutazások során. Ez azért volt nagy kihívás, mert addig a termékeket a futószalagról lekerülve, kész állapotban vizsgálták, megfelelő minőségűek-e. Ez a módszer azonban az űrhajók súlykorlátja okán nem volt járható út. Nagy biztonsággal kellett biztosítani a kiváló minőségű élelmiszert akár hetek, hónapok időtartamára is, selejt keletkezése nélkül.

Ennek az új megközelítésnek a lényege abban állt, hogy már a gyártási folyamatok során szükséges azonosítani és ellenőrizni azokat a termelési lépéseket, ahol a „konzerv tartalma elromolhat”, vagyis ahol a minőség megtartása nem biztosított. A megközelítés jó eredményeket és átütő sikert hozott. Ezt követően, először az USA élelmiszeriparában terjedt el, majd a világon is egyre szélesebb körben kezdték el alkalmazni. Van olyan élelmiszeripari ágazat (amerikai húsfeldolgozás, üdítőgyártás) ahol kötelező az alkalmazása. Az utóbbi két évtizedben pedig az ivóvíz-szolgáltatásban is egyre szélesebb körben alkalmazzák, önkéntes vállalásként.

Tehát a HACCP módszer segítségével az úgynevezett kritikus szabályozási pont (Critical Control Point, CCP) azonosítása hajtható végre, ahol CCP egy olyan lépés a folyamat során, amely esetén a jelentős élelmiszer-biztonsági veszély megelőzéséhez vagy elfogadható szintre csökkentéséhez szabályozó intézkedést alkalmaznak, valamint meghatározott kritikus határérték(ek) és azok mérése teszi lehetővé a helyesbítések alkalmazását.

Ezen lépéseknek az azonosításához a HACCP hét alapelve nyújt segítséget, melyet végig követve ezekhez a kritikus lépésekhez tartozó veszélyek megfelelően kezelhetők:

1. A veszélyek azonosítása, súlyosságuk és valószínű bekövetkezésük gyakorisága szerint rangsorolásuk, a kockázat alapján;
2. Azon kritikus irányítási/szabályozási/felügyeleti pontok (CCP-k) kiválasztása, ahol a feltételezett (azonosított) veszély megelőzhető, kizárható vagy elfogadható szintre csökkenthető;
3. Kritériumok (határértékek) meghatározása, melyek biztosítják, hogy az azonosított CCP kézben van tartva;
4. A kritikus pontok felügyeletére (monitoring) alkalmas módszerek kiválasztása és alkalmazása;
5. Azon helyesbítő intézkedések, tevékenységek meghatározása, amelyeket akkor kell alkalmazni, ha monitoring szerint a CCP „nincs rendben”;
6. Annak az ellenőrzése és bizonyítása (igazolása, verifikálása), hogy a preventív rendszer megfelelően működik;
7. A HACCP-rendszer működtetését bizonyító dokumentumok vezetése.

Az évtizedek alatt számos módszert dolgoztak ki a kockázatértékelésre és a szabályozó intézkedések definiálására ám ezek összetettsége és sajátos nyelvezete legtöbbször csak túlbonyolította a módszert. Holott, a HACCP rendszer lényege éppen abban áll, hogy hatékonyan fókuszot biztosítson az élelmiszerbiztonság szempontjából lényeges lépésekre és eljárásokra.

A HACCP alapelvekből kiderül, hogy a veszélyek kezelési szintjének meghatározásában a legfontosabb eszköz a kockázatértékelés. Általa tudjuk meghatározni, hogy milyen intézkedési szint szükséges egy veszély megfelelő kezeléséhez. Ez a veszélyek súlyossága és bekövetkezésük valószínűsége szerinti kockázat meghatározásával valósul meg. Erre egyszerű példa a kockázatértékelés eszközéül szolgáló kockázati mátrix, ahol a két paraméter szorzataként adódó érték adja meg számszerűen a kockázat értékét, mely alapján a veszélyek egymáshoz viszonyított jelentősége jól meghatározható (3. ábra). Ilyen kockázati alapon történő besorolás a WHO vízbiztonsági tervek készítését támogató kiadványában is található [28].

		súlyosság			
		1	2	3	4
valószínűség	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

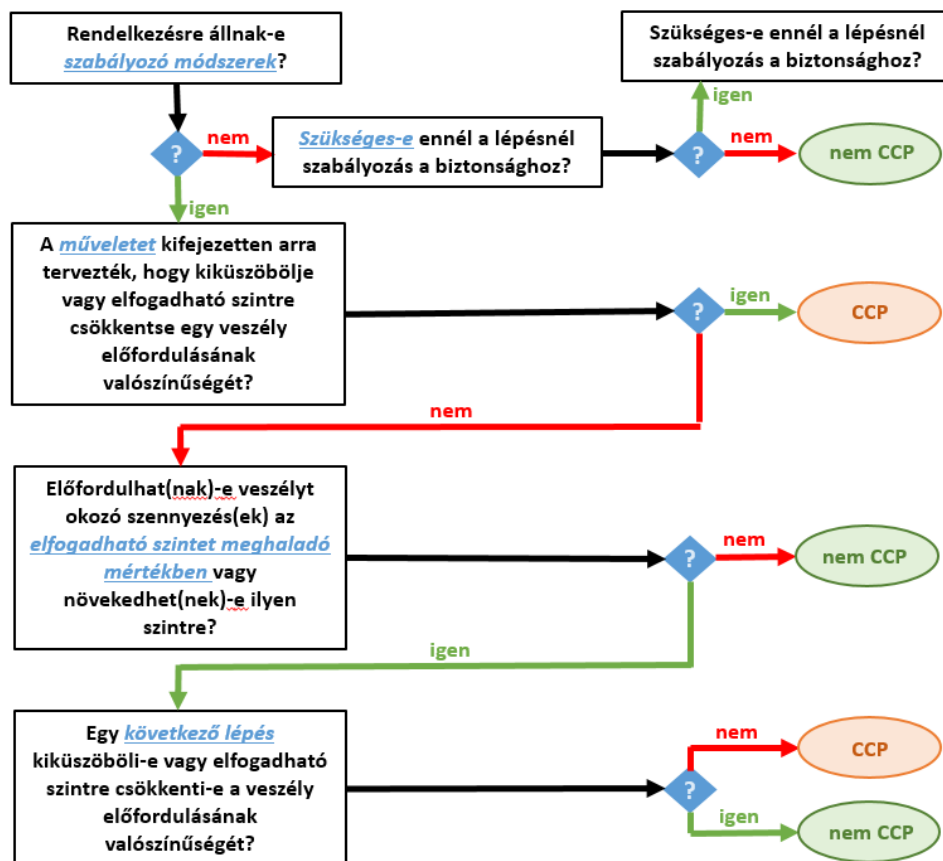
valószínűség paramétere		súlyosság paramétere	
1	évente előforduló esemény	1	szórványos megbetegedés
2	havonta előforduló esemény	2	gyakori megbetegedés
3	hetente előforduló esemény	3	tömeges megbetegedés
4	naponta előforduló esemény	4	előfordul halálozás

**3. ábra: Kockázatértékelési mátrix (halványsárga alacsony, sárga közepes, narancs sárga fokozott, piros extrém kockázati szint) forrás: saját szerkesztés**

Ha a kockázatelemzés eredményeként megállapított kockázat jelentős, melynek mértéke az üzemeltetői döntéstől függ, abban az esetben a veszélyt tovább visszük és az úgynevezett döntési fa segítségével értékeljük, abból a szempontból, hogy CCP-ről van-e szó az adott veszély kapcsán.

Számos döntési fát alkalmaznak és hivatkoznak az irodalomban, a legtöbbször alkalmazott a Codex Alimentarius Hungaricus szerint is ajánlott döntési fa, mely arra alkalmas, hogy eldönthető legyen az adott kockázathoz szükséges intézkedés CCP vagy sem, de arra már nem tér ki, hogy milyen szabályozás alkalmazandó abban az esetben, ha a kockázat történetesen nem CCP (4. ábra) [29].





4. ábra: HACCP döntési fa [29]

Mindezek mellett fontos megjegyezni, hogy bár a HACCP rendszer alkalmazása hatékony és kellő gyakorlattal könnyen alkalmazható adott élelmiszer irányítási rendszerek kockázatértékelésére, azonban nem tanúsítható. Ehhez adta meg a szükséges keretet az ISO 22000:2005 szabvány, melyet a szükséges fejlesztéseket átvezetve az ISO 22000:2018 szabvány váltott fel 2018 decemberében.

### 1.7.3. Az EN ISO 22000:2018 szabvány alkalmazása az ivóvíz-szolgáltatásban

Ahhoz, hogy tudjuk, az élelmiszer irányítási rendszerünk megfelelően működik, a folyamatok megfelelően kontrolláltak, meg kell róla győződni, hogy ez valóban így történik. Ez legtöbbször független, külső szakemberek bevonásával (audit során) valósítható meg. A legtöbb termelő folyamat azonban igen eltérő – a vízszolgáltatás esetében talán még hatványozottan igaz ez – ezért olyan objektív eszközre van szükség, mely sorvezetőként szolgál a rendszer hatékony átvizsgálására. Ez az eszköz legtöbbször valamilyen szabvány. Dávidovits [27] megállapítása szerint az ISO 22000:2018 a leghatékonyabb eszköz. A szabvány egy önkéntes vállalat arra irányulóan, hogy az adott szervezet fokozza az általa szolgáltatott élelmiszer biztonságát. A szabvány folyamatszemplétű megközelítést alkalmaz, amely magába foglalja a PDCA-ciklust

(plan-do-check-act) és a kockázat alapú gondolkodásmódot. Ezen megközelítések célja a folyamatok és kölcsönhatásaik módszeres meghatározása és irányítása, a lehetőségek kihasználása és a nem kívánt következmények megelőzése.

Összhangban a HACCP törekvésekkel, ez a szabvány is alapvetően a szabályozó tevékenységek meghatározását és megfelelő alkalmazását tűzi ki célul. Az ISO 22000 szabvány szerint szabályozó intézkedés alatt olyan intézkedést vagy tevékenységet értünk, amely elengedhetetlen egy jelentős élelmiszer-biztonsági veszély megelőzéséhez, vagy elfogadható szintre csökkentéséhez. Ez a definíció tág keretet hagy, tulajdonképpen érthetünk alatta bármilyen folyamatlépést, tevékenységet, feladatot, eljárást vagy módszert, amely egy adott kockázat csökkentését célozza.

A HACCP-ben három fontos és gyakran használt szabályozó intézkedést különböztetnek meg, melyek az alábbiak [30]:

- a CCP (Critical Control Point – kritikus szabályozási pont);
- az oPRP (operational Prerequisite Program – működési megelőző tevékenység);
- a PRP (Prerequisite Program – megelőző tevékenység).

Mit is értünk tehát a fenti három szabályozó tevékenység alatt a szabvány szerint?

A bemutatott CCP talán a legszélesebb körben ismert szabályozó tevékenység. Az ISO 22000:2018 szerinti definíció nem nagyon tér el a szabályozó tevékenységek meghatározásától, csak annyiban, hogy a CCP esetében egy lépésről van szó a folyamatban, nem pedig egy tevékenységről, vagy eljárásról. Ilyen a vízkezelés esetében például a fertőtlenítés bármely módja. Fontos kitétel továbbá, hogy a CCP-k esetében mindig alkalmazható szabályozás az adott lépésre, vagyis, megfordítva az érvelést, ha nem alkalmazható szabályozás az adott lépésben, nem beszélhetünk CCP-ről. Végezetül, fontos tényező még annak figyelembevétele, hogy mekkora kockázattal járna a folyamat során előállított termék a fogyasztóra nézve, ha kiiktatnánk a CCP-t?

Az oPRP olyan szabályozó intézkedés vagy szabályozó intézkedések kombinációja, amelyet azért alkalmaznak, hogy megelőzzenek egy jelentős élelmiszer-biztonsági veszélyt, vagy lecsökkentsék azt egy elfogadható szintre, valamint ahol beavatkozási kritérium, és mérés vagy megegyezés teszi lehetővé a folyamat és/vagy a termék eredményes szabályozását.

Az oPRP tehát lényeges és specifikus intézkedés ahhoz, hogy egy kockázati tényezőt elfogadható szintre csökkentsünk, de nem kritikus a biztonsági szempontokat tekintve. Vagyis, az oPRP hiányában a termék minősége nem válik elfogadhatatlanná, de egyértelműen romlik.

Egy másik döntési fa mindhárom szabályozó intézkedést figyelembe véve ad támpontot a kockázatok besorolását és kezelési szintjét illetően [31].

A PRP-eket az ISO 22000 szabvány, mint alapvető feltételeket és eljárásokat határoz meg. Gyakran hivatkoznak rá magyar kontextusban is, mint jó gyártási gyakorlat (Good Manufacturing Practice, GMP), jó higiéniai gyakorlat (Good Hygienic Practice, GHP), jó termelési gyakorlat (Good Production Practice, GPP), jó forgalmazási gyakorlat (Good Distribution Practice, GDP), vagy jó kereskedelmi gyakorlat (Good Trading Practice, GTP).

A szabvány szerint ide értjük az alábbi főbb területekre vonatkozó eljárásokat:

- az épített környezetet és a kapcsolódó infrastruktúrát;
- a munkaterületet és a kiszolgálóhelyiségeket;
- minden szükséges szolgáltatás rendelkezésre állását (áram, víz), valamint a kiegészítő szolgáltatások összességét (pld.: hulladékszállítás);
- az alkalmazott eszközök megfelelőségét, elérhetőségét, tisztaságát, megelőző karbantartását;
- a külső forrásból beszerzett, raktározott, elszállításra kerülő anyagok kezelését;
- a keresztzennyeződés megakadályozásának eljárásait;
- a kártevő-mentesítést, a személyes higiéniai előírásokat, illetve a területi higiénia biztosítására irányuló intézkedéseket.

A PRP-k általános tevékenységek, nem egy kiemelt lépést céloznak a folyamatban. Így például a megfelelő takarítás minden helyiségben szükséges, a munkavállalók egészségi állapota szintén egységesen kezelendő. Szintén elmondható a PRP-k esetében, hogy nem jelentenek azonnali és jelentős minőségromlást a termékben. Azonban a hozzájuk társított veszélyek kockázata szignifikánsan emelkedik. Időben elhúzódva és ismétlődés esetén hozzájárulhatnak a termék minőségének romlásához. Más szóval, jellemzően általános, alacsony kockázatú veszélyeket céloznak ezek az intézkedések.

Korábban bemutatásra kerültek azok az eszközök, melyek hatékonyan hivatottak szolgálni az üzemeltetők azon törekvéseit, hogy biztonságos ivóvizet tudjanak szolgáltatni a fogyasztók számára. Alapvetően az 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet a fogyasztói csapokra vonatkozó

határértékekkel a fogyasztás időpontjában (fogyasztó általi bevitelkor) jelen levő veszélyekkel van alapvetően kontextusban. A helyzetet árnyalja, hogy az ivóvíz-szolgáltatás számos különböző forrásból származhat, ezáltal különböző kezelési technológiákat alkalmazva, eltérő állapotú, korú és kiterjedésű elosztó hálózaton keresztül érkezhetsz különböző kialakítású és minőségű belső hálózatokon keresztül a fogyasztókhoz, akiknek fogyasztói szokásai igen különbözőek lehetnek. Vagyis ténylegesen, minden szempontot nem lehet figyelembe venni egyszerre, ezért szükséges a lényeges szempontok definiálása egészségügyi szempontból.

Az üzemeltetők munkájának támogatásához – ahogy azt az ivóvízbiztonsági tervek előrevetítik – mindenképpen folyamat alapú megközelítés szükséges. Ennek kiváltására hatékony eszköz a HACCP alapú megközelítés, mely alapvetően egy, az élelmiszeriparra kifejlesztett és ott alkalmazott szabvány. Itt egy folyamat alapú megközelítés kerül alkalmazásra, mely a termelés-szállítás-kezelés-fertőtlenítés-ellátás lépéseket veszi alapul, ezt ötvözi kockázatalapú szemléletmóddal.

## **2. A DUNA VÍZSZINT MÚLTBELI TRENDJEINEK BEMUTATÁSA, A VÁLTOZÁSOK ÉRTÉKELÉSE**

Annak érdekében, hogy kontextusba tudjuk helyezni a Duna vízszint változásait és a jövőben várható szélsőséges helyzetek súlyosságát az ivóvízbiztonság vonatkozásában, fontos, hogy értékeljük a múltban már lejátszott eseményeket és azok hatásait. Ehhez elsősorban az éves illetve havi átlageredmények változásait elemeztem, illetve megfigyelt szélsőséges időszakok hosszát és súlyosságát vizsgáltam. Ezen vizsgálatokat dolgozatom 2. fejezetében mutatom be.

### **2.1. Az adatok forrása, kezelése és az elemzés módszertana**

Az 1943-2021 közötti Vigadó téri vízmérce (Duna 1646,5 fkm, 94,97 mBf) Duna vízszint adatait a [www.hydroinfo.hu](http://www.hydroinfo.hu) honlapról töltöttem le. Az adatok rendszerezését követően megállapítottam, hogy az alábbi időpontokban nem került adat rögzítésre: 1944. XII. 26-31., 2006. V. 15., V. 20., X. 15., XI. 22., 2007. IV. 23., 2009. VIII. 3., 2010. VII. 1., XI. 1., 2016. I. 11., XI. 19., 2019. VIII. 19. Az 1944-es adatok rögzítésének hiánya egybe esik Budapest II. világháborús ostromával. Továbbá az adattisztítás során találtam kiugró értékeket, melyeket a számítások során adathiányként kezeltem.

A szezonális változások elemzésekor a rendelkezésre álló adatsort az évek napjai szerint elemeztem. A naptári év napjaihoz tartozó értékeket vettem közös adathalmaznak és ezen adathalmazra vizsgáltam meg a statisztikai jellemzőket. Így átfogó kép alakítható ki a tekintetben, hogy milyen évszakos változások figyelhetők meg a Duna vízjárásában.

Az idősoros változás esetén pedig az év 365 vagy 366 napjának adatait vettem egy adathalmaznak és azt elemeztem a statisztikai jellemzőkkel. Ezen megközelítés segítségével pedig az vizsgálható, hogy időben haladva milyen trendek figyelhetők meg a Duna vízjárásában a vizsgált közel 80 éves időtávon.

Az elemzést a rendelkezésre álló vízszint adatok minimum, átlag, medián, maximum, valamint a percentilis értékek (p5, p10, p25, p75, p90, p95) meghatározásával és értékelésével végeztem el.

A minimum, maximum értékek és a p5, p10, p90 és p95 értékek meghatározásakor az időszak során fellépő szélsőséges állapotok több szempontból történő elemzése volt a célom.

A p25, p50, az átlag és p75 értékek elemzése azt a célt szolgálta, hogy a legvalószínűbb vízjárások jellemző értékeit és megfigyelhető trendjeit elemeztem:

- növekszik vagy csökken az ehhez a tartományhoz kötődő vízszint?
- az évek során milyen trendet követ?

Ezután az átlag és a medián értékek alapján azt vizsgáltam, hogy melyik szélsőség torzítja inkább az eredményeket:

- az átlag > medián esetében a magasabb vízállások során fellépő szintkülönbségek felfelé torzíthatják az átlagot
- az átlag < medián esetében pedig a vízszint csökkenések lefele torzíthatják az eredményt.

Ezt követően azt vizsgáltam, hogy a napok egymást követően milyen változást mutattak (napok közötti változások) a vízjárás tekintetében, ehhez az alábbi egyszerű képletet használtam:

$$\Delta h_{\text{Duna}} = h_{i+1} - h_i$$

ahol  $\Delta h_{\text{Duna}}$  a Duna vízszintjének változása,  $h_{i+1}$  a Duna vízszintjének változása az év  $i$ -dik napján,  $h_i$  a Duna vízszintjének változása az év  $i+1$ -dik napján

Harmadsorban a vízszint adatok elemzésénél azt elemeztem, hogy a szélsőségesen alacsony vagy magas vízállások hány napig voltak megfigyelhetőek adott évben. Ehhez az árvizes, illetve az aszályos időszakok esetében három szintű súlyossági kategóriát rendeltem, melyet a 3.1.2. és 3.1.3. fejezetekben mutatok be.

### 2.1.1. Statisztikai próbák

Az idősor adatait a Pettitt, Standard normál homogenitás tesztet (SNHT), Buishand és Neumann tesztekkel vizsgáltam, annak megállapítására, hogy a vizsgált időszakban megfigyelhető-e töréspont az idősoros trendekben.

A Pettitt teszt egy nem parametrikus statisztikai teszt, mely nem igényel információt az adatok eloszlásáról. Pettitt 1979-ben publikálta ezt a statisztikai próbát, mely a Mann-Whitney  $u$ -próbán alapul. Általában hidrometeorológiai adatok elemzésekor használják, adott változó átlagértékeiben megfigyelhető hirtelen változás (töréspont) kimutatására. A teszt önmagában csak a változás helyét jelzi, a változó eloszlására nem érzékeny. Xie et al. 2014-es cikke igazolta, hogy a Pettitt teszt érzékeny a töréspont nagyságára és elhelyezkedésére is, kiemelve, hogy a próba elsősorban az adatsor közepén elhelyezkedő szignifikáns változásokat mutatja meg. [32]

A tesztben  $H_0$  szerint a  $T$  változó egy vagy több olyan eloszlást követ, melyeknek azonos az elhelyezkedési paramétere.  $H_a$  szerint pedig az elhelyezkedési paraméter  $t$  időben megváltozik.

A Standard normál homogenitás tesztet, mint eljárást töréspontok azonosítására Alexandersson 1986-ban publikálta. A teszt az idősor adatainak arányait használva állapítja meg, hogy van-e szignifikáns változás a vizsgált időintervallumban. Az arányokat ezt követően standardizálva ( $X_i$ )  $H_0$  hipotézis szerint az  $X_i \sim N(0,1)$  eloszlást követ.  $H_a$  szerint pedig  $t=1$  és  $n$  idő között a változó  $N(\mu_1, 1)$  eloszlást követ, ezt követően  $t=n+1$  és  $T$  időpontok között  $N(\mu_2, 1)$  eloszlással jellemezhető.

A Buishand teszt bármilyen eloszlást követő adatok esetében alkalmazható. Alapja a  $H_0$  hipotézis, mely szerint a  $t$  változó egy vagy akár több eloszlást követ, melyek azonos átlaggal rendelkeznek.  $H_a$  szerint a vizsgált időszakban azonosítható egy olyan időpont, amikor az adatok átlaga megváltozik.

A Neumann-hányados az egymást követő adatpontok közötti különbségek négyzeteinek összegén alapul. A Neumann teszt az adatsor elején és végén található töréspontokra a legérzékenyebb.

Mivel a négy teszt eltérő megközelítéssel vizsgálja az adott idősort, ezért egy esetleges eltérő eredmény esetében a négy tesztből, ha három azonos eredményt szolgáltat, akkor elfogadottnak tekintetem a töréspont meglétét a vizsgált adatokra vonatkozóan.

Ezt követően a Mann-Kendall és a Sen-mereedségi vizsgálatokkal a trendek meglétét és irányát határoztam meg.

A Mann-Kendall teszt segítségével megállapítható, hogy egy idősor monoton növekvő vagy csökkenő trendet követ-e. Nem szükséges, hogy az adatsor normális eloszlású vagy lineáris legyen. A teszt szerint  $H_0$  alapján nincs trend az adatsorban, míg a  $H_a$  szerint igazolható a növekvő vagy csökkenő trend az adatsor eredményei alapján.

Sen mereedség abban az esetben használható a regresszió analízis helyett, amikor az adatsor nem lineáris, illetve amikor az adatsorban előfordulnak kiugró értékek. A módszer alapja, hogy az idősor pontjainak párjaiból képezett mereedségek mediánját határozza meg.

A tesztek XLSTAT 2022.4.1.1363 szoftverrel készültek. 10000 Monte-Carlo szimuláció eredménye alapján, tesztenként elvégezve. A tesztek során 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztam minden teszt esetében Fischer nyomán. A konfidencia intervallum pedig 95%-ban lett meghatározva.

### **2.1.2. Árvízvédelmi fokozatok**

Mivel a disszertációban a Budapest Vigadó téri vízmérce adatai kerülnek értékelésre, ezért az ehhez tartozó árvízi fokozatok szintjeit vettem alapul, mint kritikus vízszinteket. Ezek az értékek nem esnek egybe a Fővárosi Vízművek által alkalmazott értékekkel, tekintve, hogy az üzemeltetés szempontjából kritikus vízszintek termelő területenként eltérőek, az adott terület magasságától, az üzemeltetési adottságtól, illetve az egyéb árvízi kockázatoktól függően. Ugyanakkor az egységes árvízi fokozatok vizsgálata jó képet ad arról, hogy milyen kitétség figyelhető meg a vízszolgáltató területein.

A disszertációban az árvízi védekezési készülség egyes fokozatait (I., II. és III.) vettem alapul, mint kritikus vízszintek. [33].

A fokozatok ennél a vízmércénél az alábbiak:

- I. fokozat. 620 cm
- II. fokozat: 700 cm
- III. fokozat: 800 cm

Ennek megfelelően az árvizek súlyosságát és az árvizes napok számát ezen három szint figyelembevételével határoztam meg. Lényeges szempont volt, hogy éven belül az elkülönülten jelentkező eseményeket szeparálva kezeljem.

### **2.1.3. Aszályos időszak fokozatai**

Az aszályos időszakok esetében egyszerűbben kezelhető a Fővárosi Vízművek által is használt kritikus vízszintek alkalmazása, tekintve, hogy nincs különbség az üzemeltetési területek esetében meghatározott értékek között, egységesen minden termő területre. Ennek megfelelően a kisvízi helyzet értékeléséhez az alábbi Duna vízszinteket vettem alapul:

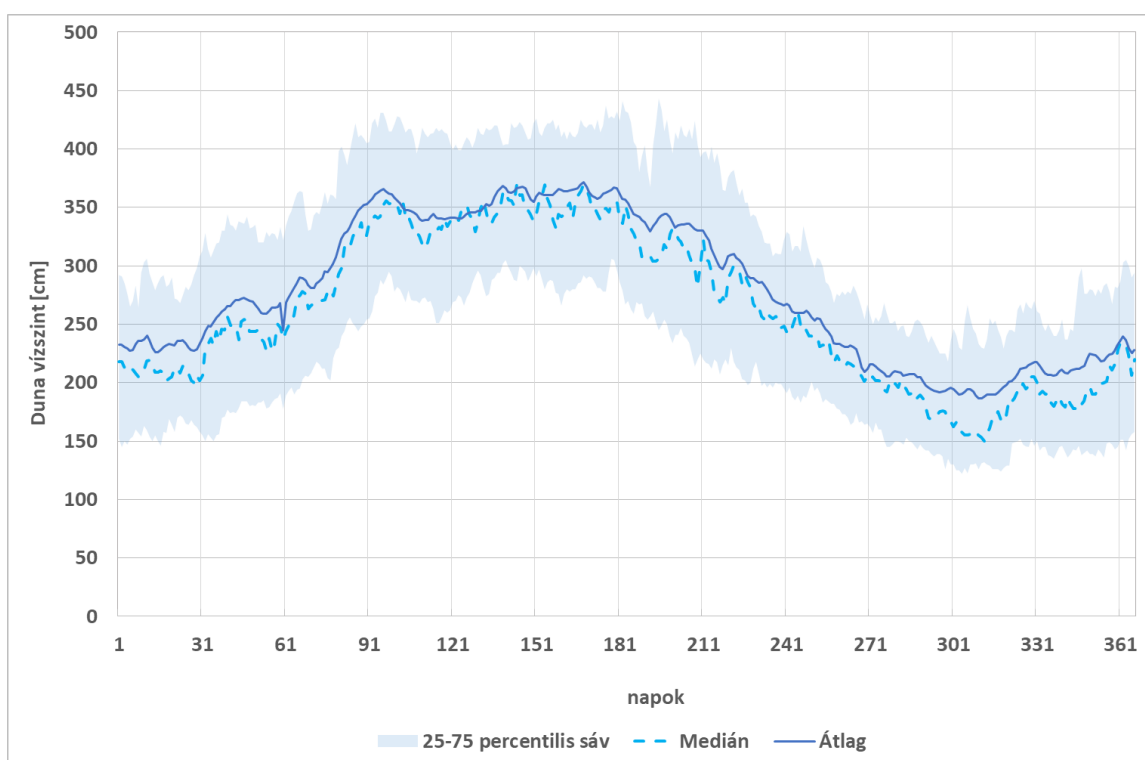
- 120 cm,
- 70 cm,
- 50 cm alatti vízállás

Ezek a folyó vízszintek a víztermelés tapasztalati útján nyert kritikus értékek. Hatásuk egyfelől megfigyelhető a kitermelhető vízmennyiség tekintetében, a kitermelt víz minőségében, illetve az alacsonyabb vízállások esetében a kútszerkezet potenciális károsodása is limitáló tényező.



## 2.2. A Duna vízszintváltozás statisztikai értékelése az 1943-2021 közötti adatok alapján

Első körben a napi átlag, medián, p25 és p75 Duna vízszint trendeket vizsgáltam meg az 1943-2021 közötti időszakban. Az 5. ábrán a Duna szezonális vízszint változásai láthatóak. Megállapítható, hogy a Duna jellemzően október elejétől január végéig 200-250 cm vízszintet tart az átlag és medián értékek tekintetében. Míg az esetek felében (p25-p75 sáv) a vízszintek a 120-300 cm közötti sávban mozognak. A tavaszi időszak - január vége és április vége között – végére ezek az értékek eléri a 350 cm átlag, illetve medián értéket. A p25- és p75 sáv pedig a 280 – 420 közötti értékekben mozog. Július elejétől október elejéig a Duna vízszint csökkenő tendenciát mutat, visszacsökkenve az előző éves értékekhez hasonló szintekre mind a négy statisztikai mutató tekintetében. A medián és átlag értékek összevetésekor megfigyelhető, hogy a medián értékek alacsonyabbak, mint az átlagértékek – melyek felfelé torzítanak ezáltal – vagyis igazolódik az a megfigyelés, hogy az átlag felett található értékek nagyobb mértékben változnak, mint a medián alatti értékek.

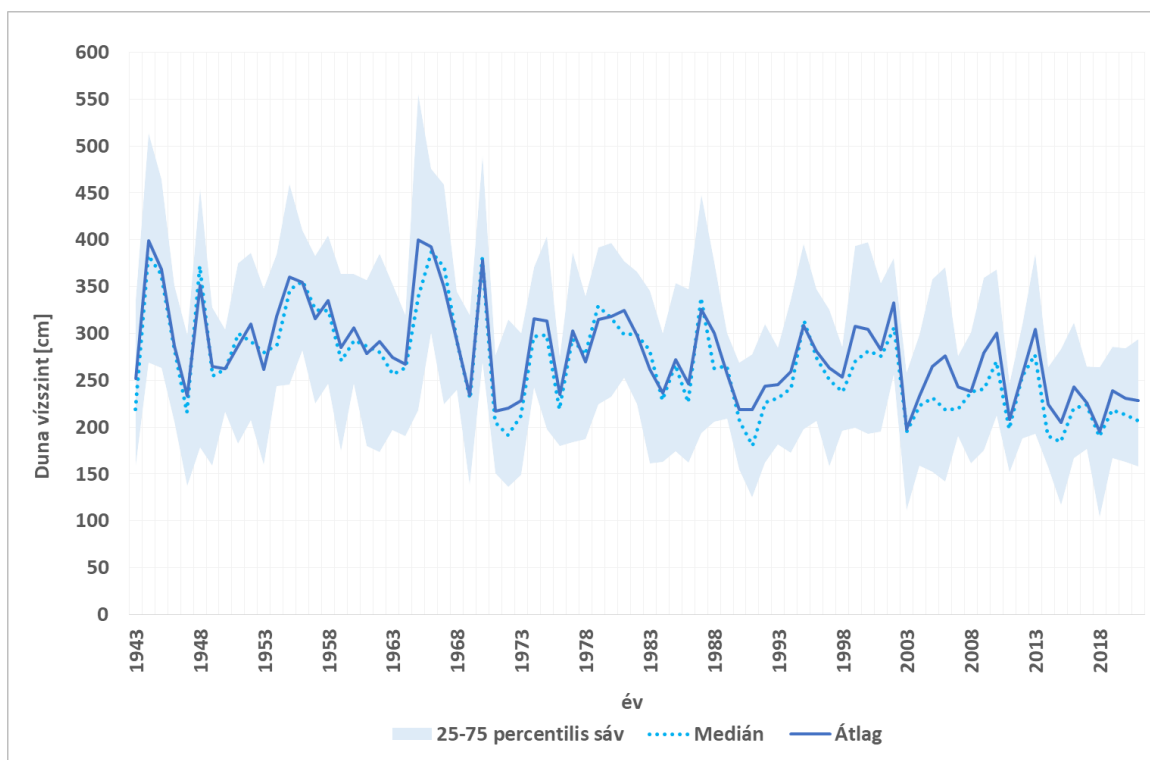


5. ábra: A Duna vízszint szezonális változása 1943-2021 között (átlag, p25, p50 és p75 szintek)

### 2.2.1. A Duna éves átlag vízszintértékeinek statisztikai elemzése

A szezonális változások mellett azonban fontos a vizsgált időszakban tapasztalható idősoros változás értékelése is. A medián, átlag, p25 és p75 statisztikai mutatók idősoros ábrázolását a

6. ábra foglalja össze. 1943-2021 között az átlag és medián értékek enyhe csökkenést mutatnak, a 40-es és 70-es évek között még 250 cm és 400 cm között váltakozva, míg az ezred forduló utánra a 200 cm és 300 cm közötti értékekre csökkenve. Az elmúlt évtizedre még inkább a 200 cm körüli átlag értékek a jellemzőek. A p25 és p75 sáv ábrázolása alapján elmondható, hogy a p25 értékek és az átlag értékek különbségei nagyobbak voltak a 40-es és 70-es évek között (100 cm -300 cm között mozog az érték), míg az ezredforduló utánra ezek jellemzően 50 cm -100 cm közötti értékeket mutatnak.



**6. ábra: A Duna vízszint idősoros változása 1943-2021 között, bemutatva az éves p25-p75 sávot, a mediánt és az átlag értékeket**

Az átlagértékeket a Pettitt, SNHT, Buishand és Neumann statisztikai tesztekkel elemeztem. A trend meglétét a Mann-Kendall próbával, a meredekségét pedig a Sen-meredekség képletével határoztam meg.

A statisztikai próbák paramétereit alapján látható, hogy mind a négy próba esetében a p érték kisebb, mint az  $\alpha$  szignifikancia szint, vagyis a  $H_0$  nullhipotézis elvetésre került és a  $H_a$  ellenhipotézis került elfogadásra: az adatsorok esetében van egy definiált pont, amely változást indikál a vizsgált paraméterek tekintetében. (3. táblázat)

Pettitt	K	822,000
	t	40
	p-érték (kétoldali)	0,000
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0001[
SNHT	T0	18,337
	t	28
	p-érték (kétoldali)	0,001
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0002[
Buishand	Q	18,407
	t	40
	p-érték (kétoldali)	0,000
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0001[
Neumann	N	1,290
	p-value (kétoldali)	0,001
	alpha	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0002[

### 3. táblázat: A próbastatisztikák eredményei

A Pettitt, az SNHT és a Buishand próbák ezen töréspontokat meg is határozzák. Az átlag értékek statisztikai értékelése alapján a Pettitt teszt eredménye szerint az 1983-es évben, a SNHT 1971-ben, a Buishand teszt 1983-ben azonosított töréspontot az átlagos vízszintek trendjében. A 4. táblázat az értékeket az 1. melléklet a diagramokat mutatja be a próbastatisztikákkal meghatározott átlagértékekkel a töréspontok előtt, illetve után.

	Pettitt	SNHT	Buishand's
	$\mu$	$\mu$	$\mu$
töréspont előtt	301,6 cm	311,0 cm	301,6 cm
töréspont után	256,7 cm	262,1 cm	256,7 cm

### 4. táblázat: Statisztikai tesztek (Pettitt, SNHT, Buishand) által meghatározott átlagértékek töréspont előtt és után

Az eredmények alapján tehát kijelenthető, hogy a változás mindhárom esetben csökkenő trendet jelez, ugyanakkor a trendben van töréspont, melynek dátuma tesztenként eltérő (1983, 1971, 1983).

A Mann-Kendall teszt eredménye (5. táblázat) szerint a p érték alacsonyabb, mint a szignifikancia szint ( $\alpha=0,05$ ), ezért a  $H_0$ -t el kell utasítani és elfogadni a  $H_a$ -t. Ahol  $H_0$  szerint nincs trend az adatokban,  $H_a$  szerint pedig van trend az adatsorban.

	Kendall $\tau$	S	Var(S)	p (kétoldali)	$\alpha$
átlag	-0,328	-1011	55800,333	<0,0001	0,05

### 5. táblázat: Mann-Kendall teszt adatai

A Sen-meredekség -1,0 cm, vagyis évente 1,0 cm átlagos vízszintcsökkenés figyelhető meg a vizsgált időszakban.

A vizsgált időszakban az átlagos Duna vízszintek csökkenő trendet mutattak az idősoros vizsgálat alapján. Továbbá, nem csak az átlagértékek, de a p25-p75 sáv szélessége is csökkenő tendenciát követ. Ez alapján kijelenthető, hogy az üzemeltetés során az esetek legalább felében a Duna vízszintje alacsonyabb, mint az az 1940-es években megfigyelhető volt.

*Vagyis a Pettitt, SNHT és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható, 1971 illetve 1983 évekre vonatkozóan. A Duna éves átlagos vízszintje az 1943-2021 közötti időszakban csökkenő tendenciát a Mann-Kendall teszt alapján. A Sen-meredekség csökkenő trendet indikál, a vizsgált időszakra vonatkozóan -1,0 cm értékkel.*

### 2.3. A Duna havi átlag vízszint-változásainak statisztikai értékelése

A fenti eredmények alapján felmerül a kérdés, hogy, vajon a havi vízszint értékeket vizsgálva milyen trend igazolható az adatokban (2. melléklet).

		január	február	március	április	május	június
Pettitt	K	252	506	504	675	620	700
	t	53	41	28	46	46	45
	p-érték (kétoldali)	<i>0,50</i>	<i>0,13</i>	<i>0,14</i>	0,01	0,03	0,01
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,485;0,510[	]0,118;0,136[	]0,128;0,146[	]0,006;0,011[	]0,021;0,029[	]0,005;0,009[
SNHT	T0	2	8	7	16	10	8
	t	77	6	28	67	46	28
	p-érték (kétoldali)	<i>0,92</i>	<i>0,09</i>	<i>0,14</i>	0,00	<i>0,06</i>	<i>0,10</i>
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,910;0,924[	]0,086;0,100[	]0,131;0,149[	]0,0004;0,002[	]0,049;0,061[	]0,089;0,105[
Buishand	Q	5	12	11	14	14	13
	t	47	41	28	28	46	45
	p-érték (kétoldali)	<i>0,79</i>	0,04	<i>0,06</i>	0,00	0,01	0,02
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,775;0,796[	]0,056;0,069[	]0,056;0,069[	]0,003;0,007[	]0,005;0,009[	]0,015;0,022[
Pettitt		július	augusztus	szeptember	október	november	december
	K	880	720	348	320	426	526
	t	40	45	28	42	39	60
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001	0,00	<i>0,75</i>	<i>0,96</i>	<i>0,35</i>	<i>0,10</i>
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SNHT	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[	]0,001;0,003[	]0,739;0,761[	]0,950;0,960[	]0,334;0,358[	]0,092;0,108[
	T0	18	13	4	4	4	7
	t	33	28	72	3	60	60
	p-érték (kétoldali)	0,00	0,01	<i>0,53</i>	<i>0,45</i>	<i>0,52</i>	<i>0,15</i>
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Buishand	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,0005[	]0,005;0,009[	]0,517;0,543[	]0,432;0,458[	]0,505;0,531[	]0,138;0,157[
	Q	19	16	7	8	8	10
	t	33	45	28	42	39	60
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001	0,00	<i>0,43</i>	<i>0,31</i>	<i>0,31</i>	<i>0,09</i>
	$\alpha$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[	]0,001;0,002[	]0,415;0,440[	]0,296;0,320[	]0,296;0,319[	]0,086;0,101[	

**6. táblázat: A próbastatisztikák eredményei (Pettitt, SNHT, Buishand)**

A kérdés vizsgálatára az adatokat havi bontásban elemeztem a korábban alkalmazott statisztikai próbákkal. A statisztikai tesztek paramétereinek eredményeit a 6. táblázat foglalja össze. Ahol a p értéke meghaladta a szignifikancia-szintet, ( $\alpha > 0,05$ ), az értéket vastag kiemeléssel jelöltem. A  $H_0$  hipotézis, mely szerint az adatok homogének, elfogadásra került, amennyiben  $p > \alpha$ . Ha a  $p < \alpha$   $H_0$  hipotézis elvetésre kerül és a  $H_a$  ellenhipotézis került elfogadásra, miszerint - van az idősor trendjében (legalább) egy töréspont, ahol - a trend megváltozik.

A hipotézisvizsgálatok numerikus eredményeit a 7. táblázat, grafikus eredményeit pedig a 3. melléklet mutatja be. Itt, amennyiben a hipotézisvizsgálat eredményeként a  $H_a$  ellenhipotézis került elfogadásra, a töréspontok időpontja és a trendet jellemző  $\mu$  átlagértékek láthatóak a vonatkozó cellában.

		Pettitt	SNHT	Buishand's	Neumann	Mann-Kendall	Sen meredekség
		$\mu$	$\mu$	$\mu$			
január	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	-0,3 cm
	előtt						
	után						
február	töréspont	$H_0$	$H_0$	1985	$H_0$	$H_a$	-1,0 cm
	előtt			287,959			
	után			235,224			
március	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_a$	$H_a$	-0,8 cm
	előtt						
	után						
április	töréspont	1990	2011	1972	$H_a$	$H_a$	-1,9 cm
	előtt	380,2 cm	368,3 cm	401,2 cm			
	után	305,7 cm	241,8	320,5 cm			
május	töréspont	1990	$H_0$	1990	$H_0$	$H_a$	-1,2 cm
	előtt	380,2 cm		380,2 cm			
	után	321,3 cm		321,3 cm			
június	töréspont	1989	$H_0$	1989	$H_0$	$H_a$	-1,5 cm
	előtt	390,0 cm		390,0 cm			
	után	327,9 cm		327,9 cm			
július	töréspont	1984	1977	1977	$H_a$	$H_a$	-2,1 cm
	előtt	385,4 cm	396,3 cm	396,3 cm			
	után	288,3 cm	296,3 cm	295,3 cm			
augusztus	töréspont	1989	1972	1989	$H_a$	$H_a$	-1,5 cm
	előtt	321,2 cm	339,8 cm	321,2 cm			
	után	243,9 cm	259,4 cm	243,9 cm			
szeptember	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	-0,4 cm
	előtt						
	után						
október	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	-0,4 cm
	előtt						
	után						
november	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	-0,5 cm
	előtt						
	után						
december	töréspont	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	$H_0$	-0,7 cm
	előtt						
	után						

**7. táblázat: A hipotézisvizsgálatok eredményei, ahol  $H_a$  került elfogadásra, ott az eredmények szerepelnek**

Mivel a statisztikai próbák eltérő érzékenységek az adatsorok változásaira, ezért az alábbi módszert alkalmaztam a töréspont meglétének igazolására: amennyiben az elvégzett négy próbastatisztika közül legalább három elfogadta a  $H_0$  nullhipotézist, az adatsor homogénnek tekinthető. Ha legalább kettő eredmény elvetette a  $H_0$  nullhipotézist, az adatsorban változás található. Ez alapján megállapítható, hogy a január, február, március, szeptember, október, november és december hónapok átlagos vízszint adatai nagy valószínűséggel homogének, a próbastatisztikák alapján maximum egy esetben lett elvetve a nullhipotézis. A május és június hónapok esetében a Pettitt és a Buishand próbák esetében került elutasításra a nullhipotézis, a próbastatisztika eredményei mindkét hónap esetében megfeleltethetőek egymásnak. Az áprilisi,

júliusi és augusztusi hónapokra minden próbastatisztika elvetette a nullhipotézist, elfogadta az ellenhipotézist, vagyis változás található az adatsorban a vizsgált időszakra.

A Mann-Kendall teszt eredménye szerint amennyiben a  $p$  érték alacsonyabb, mint a szignifikancia szint ( $\alpha=0,05$ ), a  $H_0$ -t el kell utasítani és elfogadni a  $H_a$ -t. Ahol  $H_0$  szerint nincs trend az adatokban,  $H_a$  szerint pedig van trend az adatsorban. A 7. táblázatban összefoglalva látható, hogy február-augusztus hónapokban a  $H_a$  került elfogadásra, vagyis ezekben a hónapokban statisztikailag igazolható, hogy trendváltozás figyelhető meg az adatsorokban. A Sen-meredekség eredményei alapján a legnagyobb változás júliusban figyelhető meg, ahol a meredekség  $-2,139$ , vagyis mintegy 2cm-rel csökkent, az április-augusztus időszakban pedig rendre mintegy 1,5 cm-es csökkenés volt kimutatható. Februárban és márciusban 0,8-0,9 cm-es csökkenés mutatható ki. A többi hónapban is kivétel nélkül csökkenés figyelhető meg az eredményekben.

*Vagyis a Pettitt, SNHT és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható legalább három statisztikai próba tekintetében az április, július és augusztus hónapokban. A Duna átlagos havi vízszintje az 1943-2021 közötti időszakban csökkenő tendenciát mutat február-augusztus hónapokra vonatkozóan. A Sen-meredekség minden hónapban csökkenő trendet indikál, legkifejezettebb mértékben április és július hónapokban – 1,9 cm illetve 2,5 cm értékekkel.*

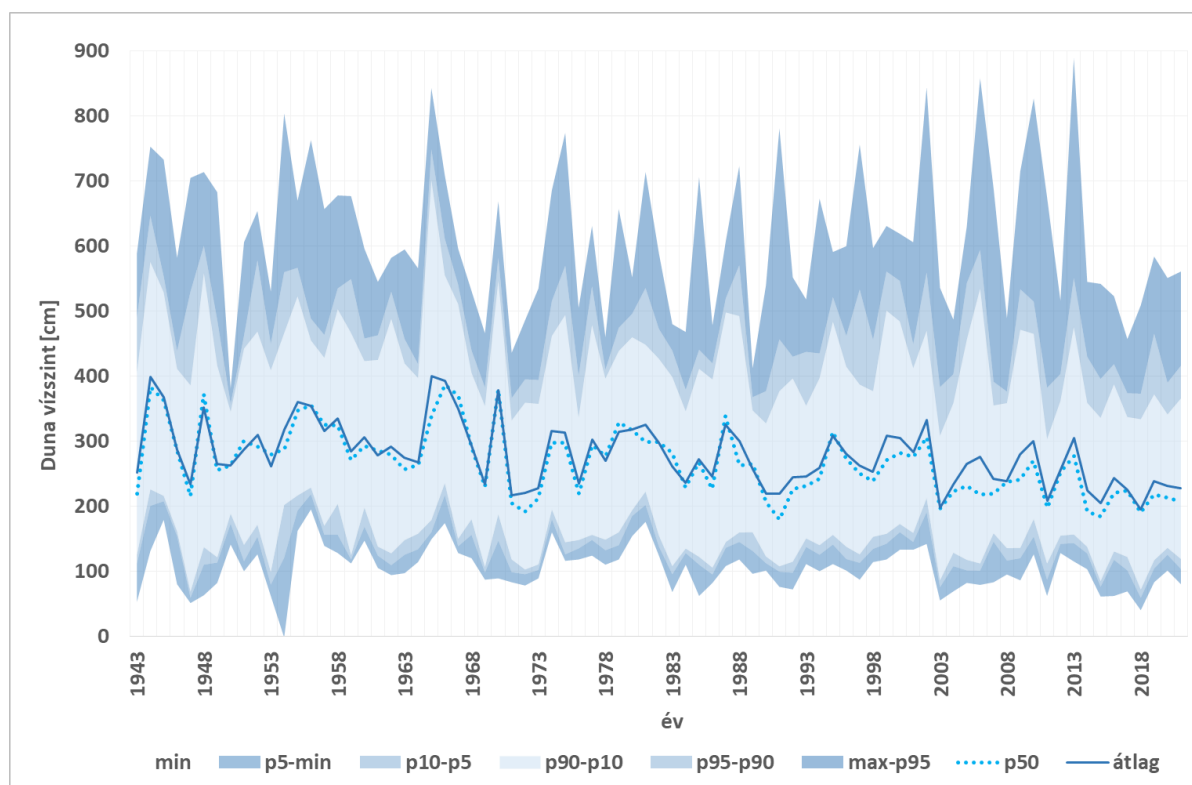
#### **2.4. A Duna szélsőséges állapotainak (árvíz, kisvíz) értékelése idősoros és szezonális vonatkozásban**

Mindazonáltal, ivóvízbiztonsági szempontból lényeges a szélsőséges állapotok értékelése is, ezért az alábbiakban az árvizek, illetve az aszályos (kisvízi) időszakok elemzését is elvégeztem.

A 7. ábra a szélsőséges esetek ( $p_{90}$ ,  $p_{95}$  és maximum értékek, illetve a  $p_{10}$ ,  $p_5$  és minimum értékek) idősoros ábrázolását mutatja be. Megfigyelhető, hogy – leszámítva az utóbbi tíz évet – a maximum értékek mind mértéküket, mind frekvenciájukat tekintve nőttek. Az idősor elején ábrázolt 700 cm körüli jellemző vízszint értékeket a 2000-es évek elején többször (2002, 2006, 2010 és 2013) is meghaladta a 800 cm-t, az utolsó alkalommal történelmi vízszinten, 896 cm-en tetőzve. A  $p_{90}$ - $p_{95}$  sáv és a  $p_{50}$ - $p_{90}$  sávok értékei ugyanakkor enyhe csökkenést mutatnak, szétválva a maximum értékektől.

Az átlag alatt mért értékek esetében azonban elmondható, hogy a 40-es évek környékén is megfigyelhető volt többször is az 50 cm körüli vízszint – a történelmi negatív rekord is az idősor elején található. Majd az 1960-as és a 2000-es évek között a minimum értékek inkább a 100 cm körüli értéket tartották, míg az ezt követő időszak (2000-es évek elejétől) ismét az 50 cm-hez közeli tartományba csökkent.

Az utóbbi tíz évben a trendben markáns változás figyelhető meg: elmaradt a 3-7 évente megfigyelhető, legalább 600 cm-t meghaladó árvíz, illetve az extrém alacsony vízállások gyakorisága megnőtt.

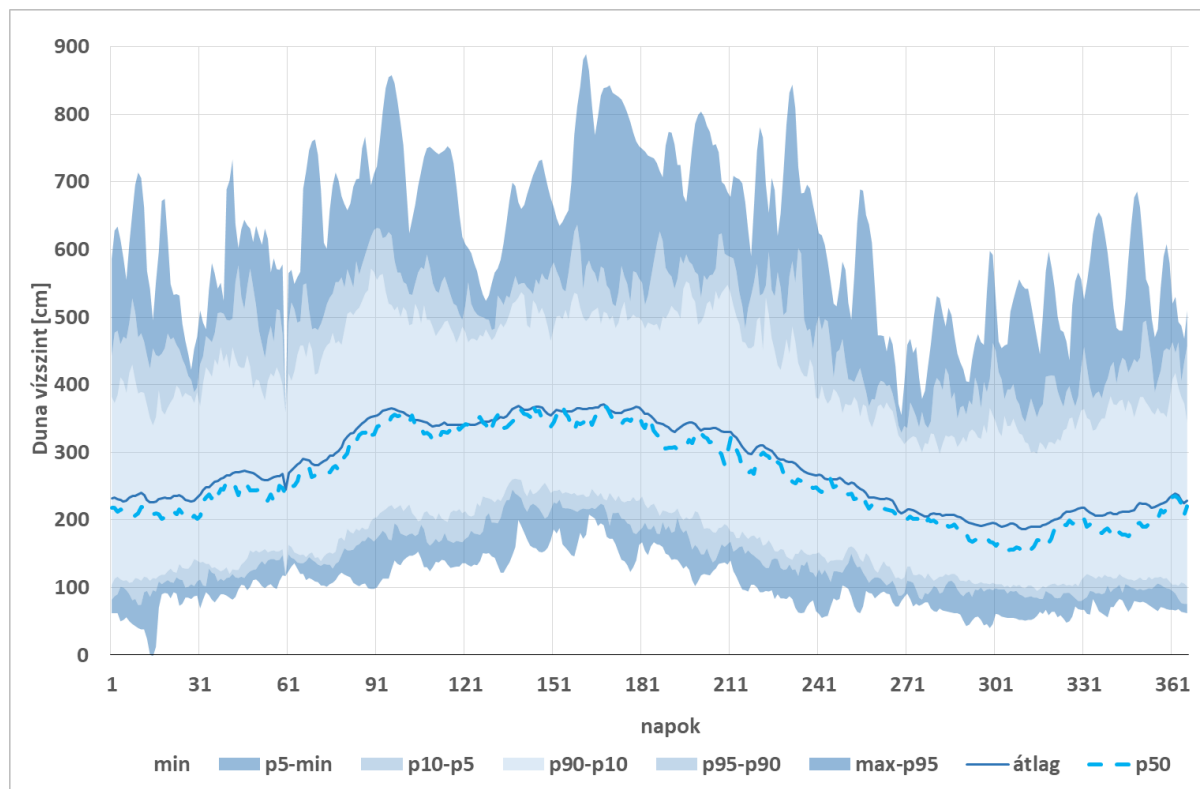


**7. ábra: A Duna vízállás szélsőségeinek idősoros ábrázolása 1943-2021 (minimum, p5, p10 valamint p90, p95, maximum és átlag, medián)**

A szezonális változásokat (átlag, medián és szélsőségek) vizsgálva még szembe ötlőbb a p50-p75 sávban és a p25-p50 sávban látható különbség. (8. ábra) A maximum értékek és a p95 értékek közötti sáv a tavaszi (február vége – április közepe és május eleje – július közepe közötti) időszakban láthatóan szélesebb, két definiált csúccsal, vagyis ekkorra tehetőek az árvízzel terhelt időszakok. Ezek az események a régebben jegesárként és zöldárként emlegetett árvizekkel feleltethető meg. A másik érdekesség, hogy ez a sáv lényegesen szélesebb, mint a p90-p95 közötti sáv, vagyis az árvizek rövid idő alatt lezajlanak ezen a szakaszán a Dunának.



A p50-p75 sáv különösen a téli hónapokban a 100 cm körüli értékeket tartja, vagyis ebben az időszakban az esetek legalább 10%-ban kisvízi időszakokról beszélhetünk.

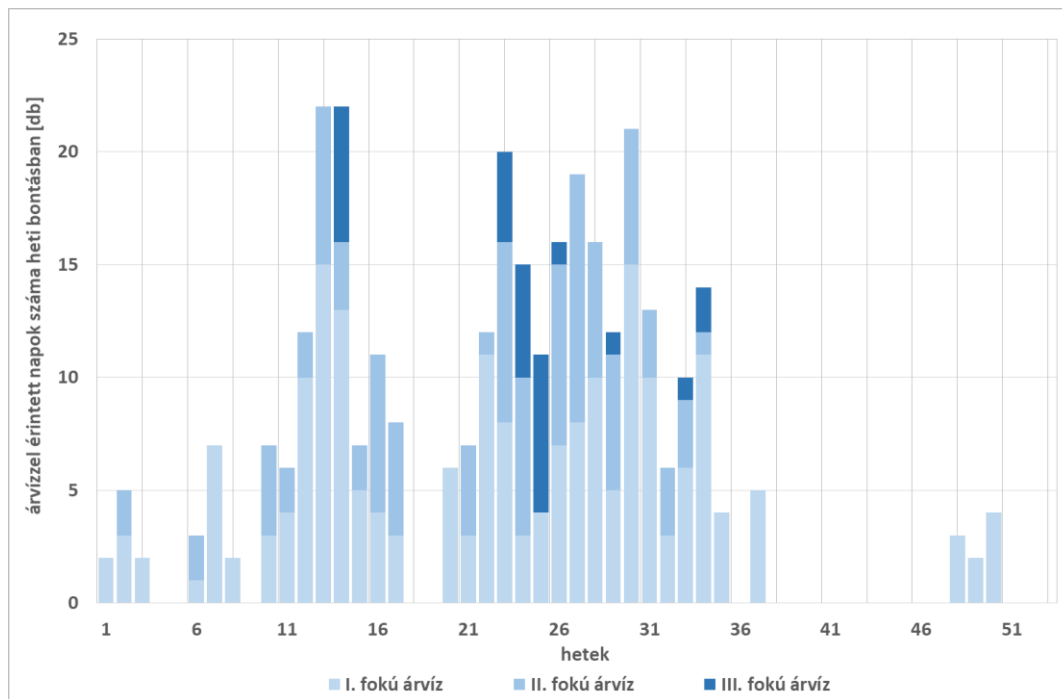


**8. ábra: A Duna szezonális szélsőségeinek ábrázolása 1943-2021 (minimum, p5, p10 valamint p90, p95, maximum és átlag, medián)**

Vagyis összességében megállapítható, hogy a Duna átlagos vízszintje a vizsgált 1943 és 2021 közötti időszakban csökkenő trendet mutatott. Másfelől a vizsgált eredmények szerint az esetek legalább felében (p25-p75 sáv) szintén kimutatható a csökkenés. Harmadsorban, a szélsőségeket tekintve, a kisvízes állapotok egyre kifejezettebben jelentkeznek az utóbbi mintegy húsz évben. Az árvizek a 2002-2013 időszakban súlyosabb formában, voltak megfigyelhetőek, 4-5 éves ismétlődéssel. A 2013 rekord árvizet követően azonban az utóbbi tíz évben elmaradtak.

Az árvizes napok számának szezonális ábrázolása a 9. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a 620 cm feletti napok nagyrészt a 10 – 17 hét között (jegesár), illetve a 20-34 hetekben (zöldár) figyelhetőek meg. Ezen periódusokon kívül rövid időre és jellemzően csak a 620 cm, első szintű árvízi készültséget figyelhetjük meg a rendelkezésre álló adatokból. Szintén megállapítható az adatokból, hogy a súlyos árvizek – harmadfokú készültség – jellemzően a második hullámban a nyári időszakban figyelhetőek meg. Itt érdemes összevetni az eredményeket a havi bontású vízszintadatok próbastatisztika eredményeivel (7. táblázat), mely

szerint az április, július és augusztus hónapok egyértelműen trendváltozást mutatnak, továbbá az idősoros szélsőségeket bemutató ábrával (8. ábra). A márciusi hónapra egyedül a Neumann próba jelzett töréspontot, mely próba főleg az adatsorok elejét és végét vizsgálja érzékenyebben. Vagyis a statisztikai eredmények alapján látható, hogy az árvízzel érintett időszakokban (március eleje-április vége, május közepe-augusztus vége) trendváltozás volt kimutatható.



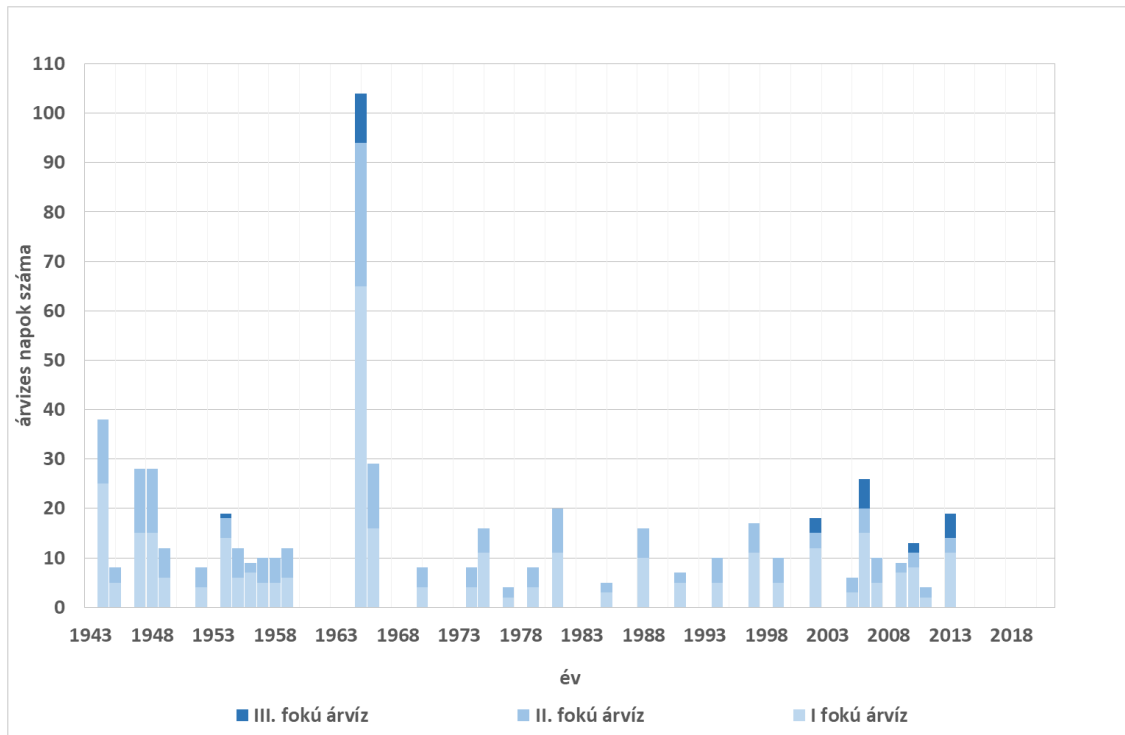
**9. ábra: Árvizes napok száma szezonális heti bontásban**

Idősorosan ábrázolva a folyamatokat látható, hogy a magas vízzinttel lehaladó árvizek nem csak az utóbbi húsz évben voltak megfigyelhetőek. (10. ábra) Az eredmények alapján az 1965-ös év volt az egyik legkritikusabb év, mintegy 105 legalább I. fokozatú árvizes nap volt megfigyelhető egyetlen évben. Ekkor esett – a történelmi rekord 1937-es évet leszámítva – a legtöbb csapadék az országban, meghaladva az 1300 mm-es mennyiséget – az éves átlagos csapadékmennyiség 500-750 mm között szokott alakulni az országban. Az 1954-1959 közötti időszakban minden évben volt legalább II. fokú árvíz, melyből az 1954-es volt a legsúlyosabb, ekkor a készütség II. fokú volt.

A 2002, 2006, 2010 és 2013 években jelentkező nagy árvizek ellenben rövid idő alatt, de rekord magas vízzintekkel vonultak le, egyik esetben sem haladva meg a 30 napot.

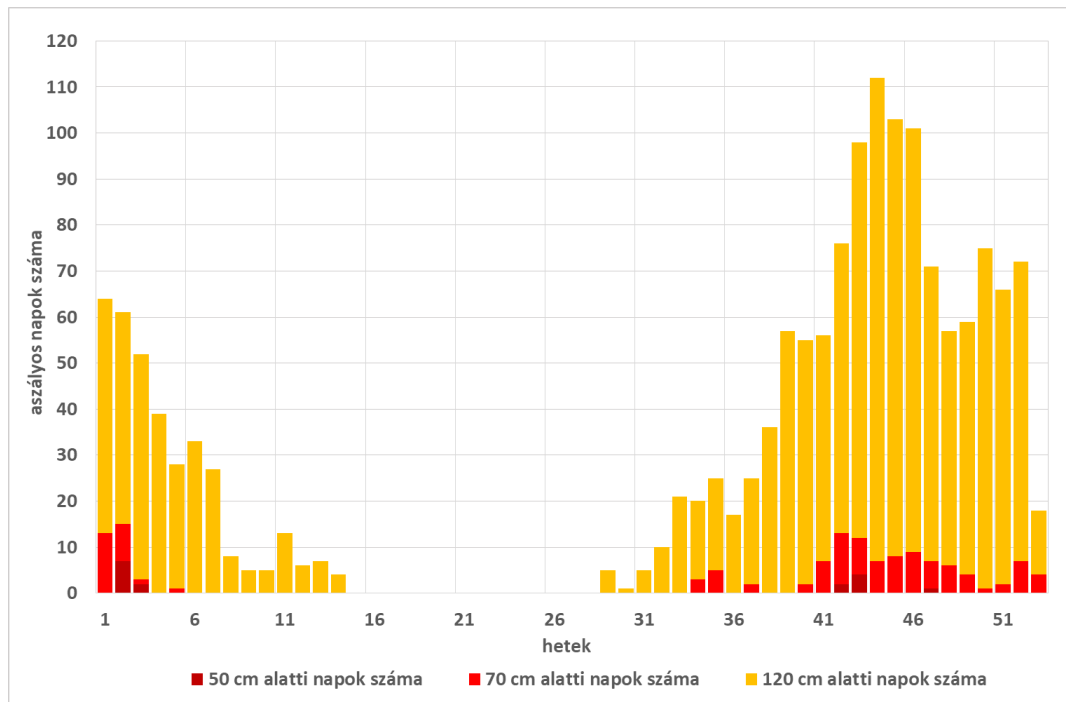
A másik érdekesség, hogy a 2013-as rekord árvizet követően egyetlen 600 cm vízzintet meghaladó napi érték sem került rögzítésre – ellenben szélsőséges alacsony vízállások többször is megfigyelhetőek voltak. Ez a megfigyelés még inkább azt támasztja alá, hogy alapvetően kell

másképp viszonyulunk az időjárási mintázatokhoz és az azokra történő felkészüléshez. A szélsőséges események váratlanul, az eddig érvényes szabályszerűségeket („népi megfigyelések és időjárással kapcsolatos jóslatok) felülírva, nagyobb intenzitással fognak bekövetkezni, vagyis a kockázatok valószínűsége nehezebben/pontatlanabban lesz majd csak becsülhető.



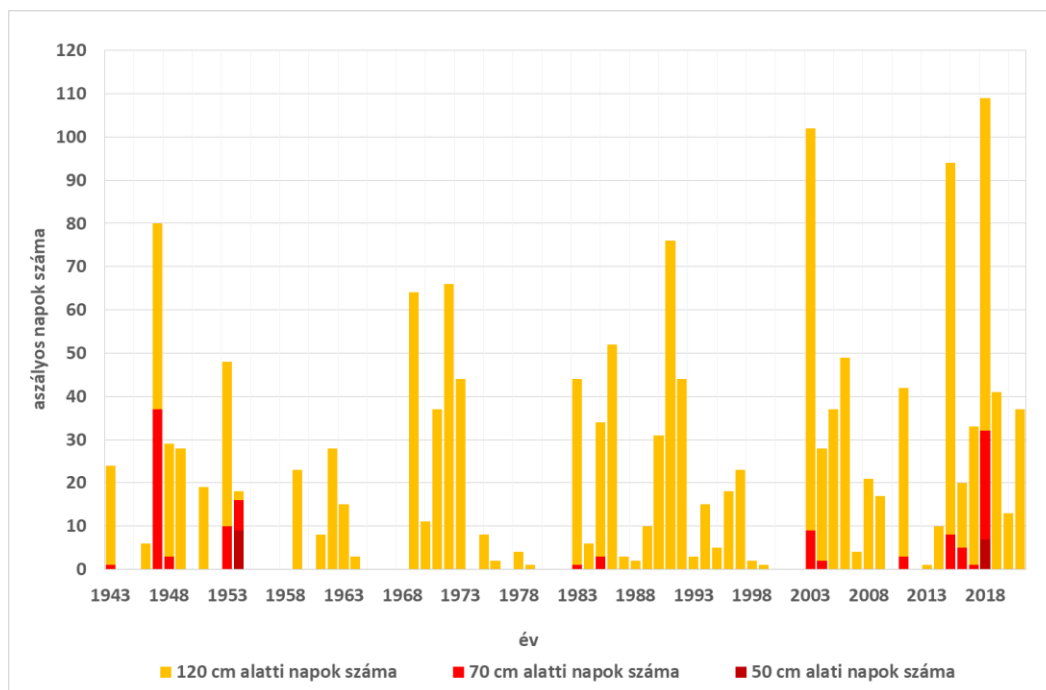
**10. ábra: Árvizes napok száma idősoros bontásban**

A 11. ábrán a kisvizes adatok alapján aszályosnak minősített – legfeljebb 120 cm-es vízzinttel rögzített – napok száma látható. Ez alapján egyértelműen látszik, hogy a 15. és 28 hetek között egyetlen aszályos nap sem került rögzítésre az elmúlt 80 év során. Szélsőségesen alacsony vízállás az ősz közepén (42. és 43. hét) és tél közepén (2. és 3. hét) volt megfigyelhető. Összességében a legaszályosabb időszak a 42 – 47 hetek között figyelhető meg, amikor legalább 70 kisvízi nap került meghatározásra.



**11. ábra: Kisvizes napok száma szezonális heti bontásban**

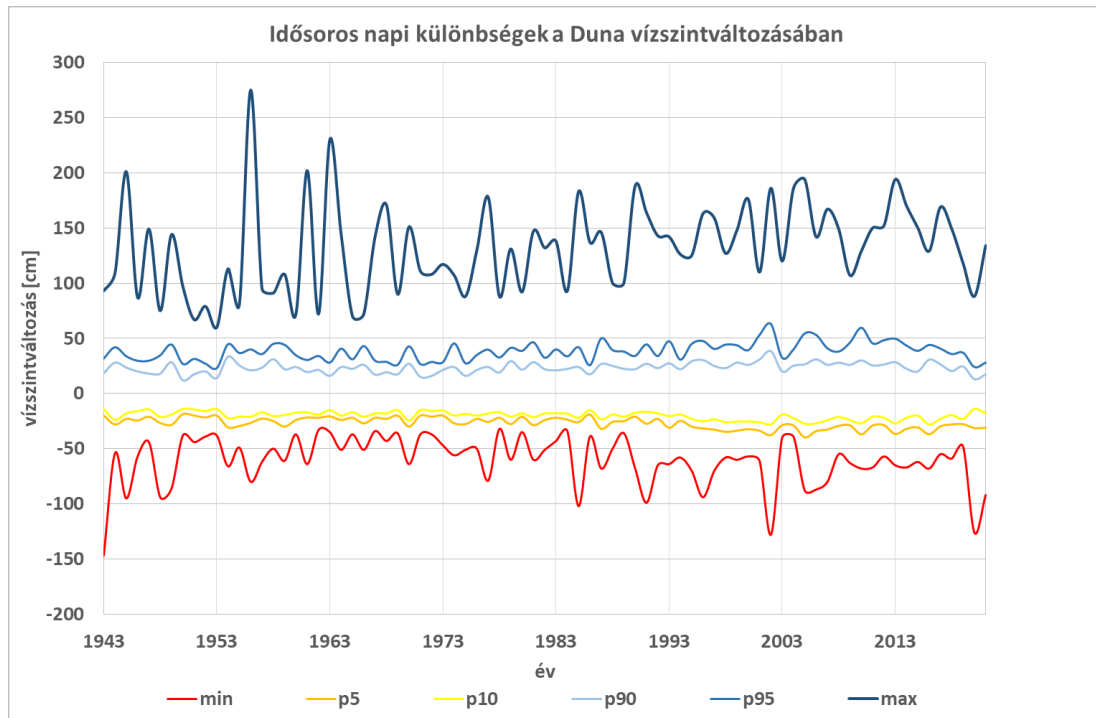
A kisvizes napok idősoros ábrázolásán látható, hogy 1954-ig szélsőségesebb kisvízállások voltak megfigyelhetőek, melyek aztán a 2003-as időszakot követően ismét jelentkeztek (12. ábra). Ekkor azonban a kisvizes napok száma már háromszor meghaladta a 90 napot, vagyis egyetlen év alatt legalább három hónapig tartott a kisvízi helyzet. Az utóbbi húsz évben összesen két év volt, amikor nem volt egyetlen kisvizes nap sem regisztrálva, 2010 és 2012. Kevésbé súlyos időszak azonban, hasonló gyakorisággal 1983 és 1997 között is megfigyelhető. Ekkor minden évben volt kisvízi állapot, azonban kevésbé súlyos formában és rövidebb időszakokat érintve.



**12. ábra: Kisvizes napok száma idősoros bontásban**

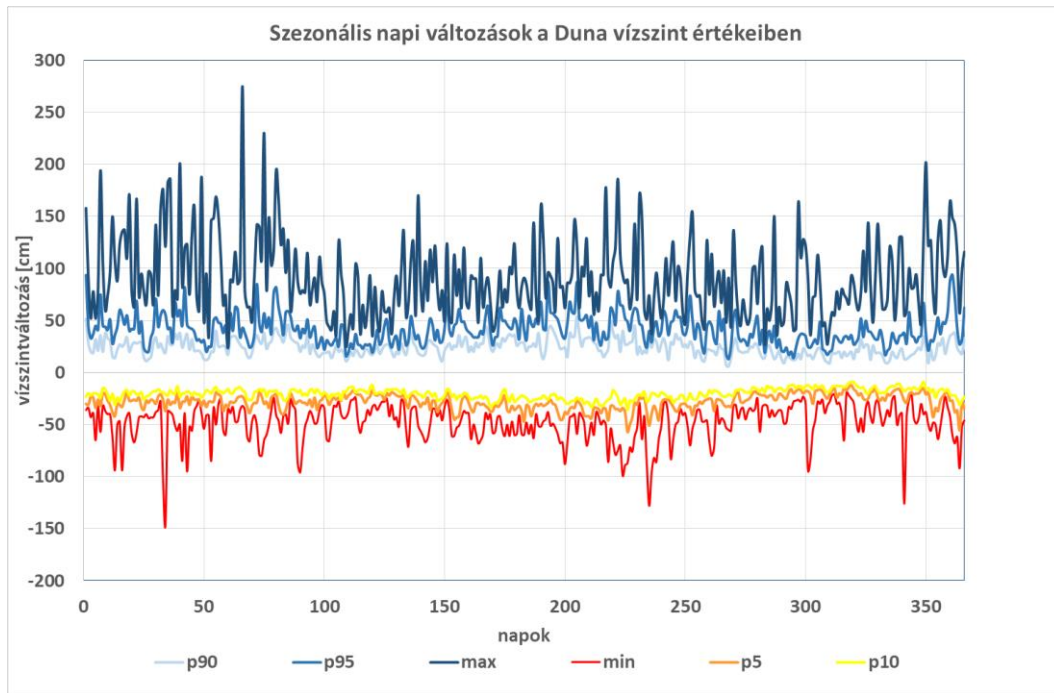
## 2.5. Napi vízsztváltozások értékelése

Végül, utolsó elemzési szempontként a napok közötti különbségek elemzését végeztem el, annak megállapítására, hogy van-e változás az idősoros adatok, illetve a szezonális adatszoportosítás tekintetében. Az idősoros adatok ábrázolását a 13. ábra mutatja be. Itt látható, hogy a maximum napi változások jellemzően az 50-es és 60-as években adtak nagyobb csúcsokat, meghaladva a naponkénti 250 cm-es vízsztváltozást is akár, míg a 2000-es évektől kezdődően a maximális változások 100 – 200 cm között váltakoznak jellemzően. Ellenben vízsztcsökkenés tekintetében az 50-es években kevésbé kritikus ez a trend, általában 50 cm körül alakult. A 90-es évektől pedig ez az érték fokozatosan csökken, elérve a -120 cm-t is. A vízszt adatok zöme (p10- p90 sáv) kiegyenlítettnek mondható, +/-25 cm körüli értékeket mutat, az utóbbi 15-20 évben figyelhető meg a csökkenések tekintetében eltolódás lefelé, közelítve a -40 cm körüli értékeket.



**13. ábra: Idősoros napi vízszintváltozások ábrázolása a minimum, p5, p10 és p90, p95, maximum értékekkel**

A Duna napi vízszintváltozásait szezonális bontásban ábrázolva (14. ábra) a vízszint változások jellemzően nem haladják meg a 25 cm-es változást az esetek 80%-ban. Egyértelműen megfigyelhető az árvízi szélsőségek éven belüli jellemző időpontja: a késő téli és kora tavaszi időszakokra tehető. A maximum értékek esetében azonban a napi változás akár a 270 cm-t is meghaladhatja, jellemzően a tavaszi időszakban. Azonban főleg az év második felében 100 cm körüli vagy azt meghaladó érték figyelhető meg az ábrázolt maximum értékekben. A minimum értékek esetében az 50 cm -100 cm közötti napi vízszint változások figyelhetőek meg, esetenként kiugró, 100 cm-t meghaladó értékek is megfigyelhetőek.



**14. ábra: Szezonális napi vízszintváltozások ábrázolása a minimum, p5, p10 és p90, p95, maximum értékekkel**

*Összefoglalva, megállapítható, hogy az 1943-2021 közötti adatok Duna vízszint adatok elemzése alapján, hogy az aszályos időszakok jellemzően a 29. héttől kezdődnek meg és a következő év 14. hétig tartanak, súlyosabb formában a 41. héttől a következő év 3. hetéig tartanak intenzitásukat tekintve, a legvalószínűbb pedig a 39-43 hetek közötti periódus, ahol mintegy 10 aszályos nap adódott a 80 éves időszáv tekintetében. Továbbá az árvizes időszakok két elkülönülő csúccsal figyelhetőek meg, először a 10-17 hét közötti időszakban, majd a 20-35 közötti periódusban; intenzitás tekintetében mindkét esetben megfigyelhetőek voltak III. fokú árvizek, de a második periódusban gyakrabban és súlyosabb formában.*

### **3. A DUNA VÍZHŐMÉRSÉKLETÉNEK MÚLTBELI TRENDJE, VÁLTOZÁSOK ÉRTÉKELÉSE 1946-2019 KÖZÖTT**

A Duna a világ legnemzetközibb folyója, vízgyűjtőterülete, mely 801 463 km<sup>2</sup>, 19 országra terjed ki, hossza mintegy 2850 km. A Brigach és a Breg folyók találkozásánál ered Donaueschingennél és a Fekete-tengerbe torkollik. A Duna vízgyűjtő területét három nagyobb egységre osztja a szakma. A Felső-Duna a forrástól Pozsonyig terjed, a Középső-Duna szakasz Pozsony és a Vaskapu között helyezkedik el a Kárpát-medencében. Az Alsó-Duna szakasza a Vaskaputól a Duna deltájáig tart [34].

A Duna hőmérséklete a földrajzi elhelyezkedésnek megfelelően változik: az óceáni éghajlat hatásának érvényesülése figyelhető meg egészen Bécsig, majd a Pannon-, végül az alsó szakaszon a mediterrán-kontinentális hatás mellett a Kárpátokra jellemző hegyvidéki klíma is befolyásolja a légköri viszonyokat és így közvetve a folyó hőmérsékletét is [35]. A dolgozatban a Budapest és környékén található dunai parti szűrt vízbázisokra gyakorolt klimatikus hatásokat vizsgálom, mely a Középső-Dunaszakaszon található. Itt kevert mediterrán-óceáni-kontinentális hatás érvényesül, melyre egyaránt jellemző a heves esőzésekben, illetve az elhúzódó száraz, aszályos időszakokban megmutatkozó szélsőség.

A BOKU a nagyobb európai folyók és tavak vízhőmérséklet adatait rögzíti és ábrázolja [36]. Eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy igaz az az általános trend, mely szerint földrajzi elhelyezkedéstől függetlenül Európa felszíni víztesteinek hőmérséklete az elmúlt száz évben – a Duna esetében 1901 és 1998 között - folyamatosan emelkedő trendet követett. A Duna Bécsben mért adatai szerint a vízhőmérséklet éves átlagértéke a trend meredeksége alapján 0,014°C/évben határozható meg.

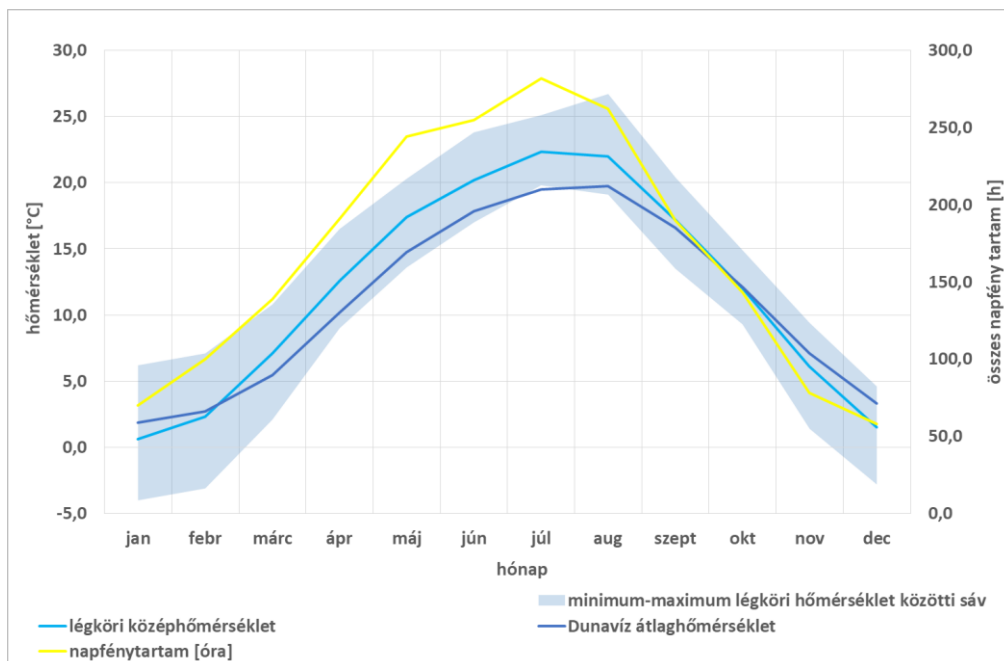
Hassan *et al.* [37] munkája szerint a klímaváltozás közvetlen hatása a folyók és tavak hőmérséklet-emelkedésében fog megmutatkozni a jövőben, mivel a víztestek közvetlen egyensúlyt tartanak a légköri hőmérséklettel. A légköri hőmérséklet emelkedése direkt vonja maga után a víztestek hőmérsékletének emelkedését. Ennek magyarországi vonatkozásait széles és átfogó körben a VAHAVA projekt vizsgálta, mely szerint fontos, hogy felismerjük a klímaváltozás hatásait hazánkban és megfelelően felkészüljünk ezen változásokra. Továbbá kiemelték, hogy nem elég tudományos körökben megfogalmazni az eredményeket, de fontos, hogy társadalmi szinten is tudatosuljon, milyen folyamatok történnek környezetünkben [38].



Pekarova *et al.* [39] azt vizsgálták, mely környezeti hatások befolyásolják a Duna vízhőmérsékletét Pozsonynál. Kimutatták, hogy a légköri hőmérséklet és a vízhőmérséklet között késleltetett összefüggés figyelhető meg, melyet szezonalitáson alapuló hiszterézisnek neveznek. Kimutatták továbbá, hogy a folyó térfogatáramának drasztikus csökkenése (3000 m<sup>3</sup>/s-ról 1400 m<sup>3</sup>/s-ra) ugyanazon körülmények között mintegy 2°C-kal emelné meg a vízhőmérsékletet.

Lovász [40] 2013-as tanulmányában azt vizsgálta, hogy a Duna vízhőmérséklete milyen változást mutatott a Dunaremete és Mohács közötti magyarországi szakaszon az 1951-2010 közötti időszakban. Eredményei szerint a Duna átlagos éves vízhőmérséklete 10,4°C Dunaremeténél és 11,7°C Mohácsnál. Az átlagos vízhőmérséklet emelkedése 1951-2010 között 1,2°C fok volt a teljes évre vonatkoztatva. A július és augusztus hónapokban azt találta, hogy a vizsgált periódusban +2,7°C volt az emelkedés, míg december-január-február hónapok esetében nagyon enyhe hőmérsékletcsökkenés volt megfigyelhető.

A Duna hőmérsékletváltozását első sorban a környezeti hőmérséklet és annak változásai, illetve a direkt napsütés mértéke határozza meg [39]. (15. ábra) Az OMSZ által Budapesten mért adatokból egyértelműen megfigyelhető, a légköri átlaghőmérséklet értékek 22,4°C-os júliusi csúccsal, a Duna átlagos vízhőmérséklet értékek 19,7°C-os augusztusi csúccsal tetőznek. Ezek az adatok Pekarova *et al.* szezonalitáson alapuló hiszterézis elméletét támasztják alá.



**15. ábra: Budapesti átlag légköri hőmérséklet, napfénytartam és Duna átlagos vízhőmérséklet adatok (2007-2019) (adatforrás: OMSZ)**

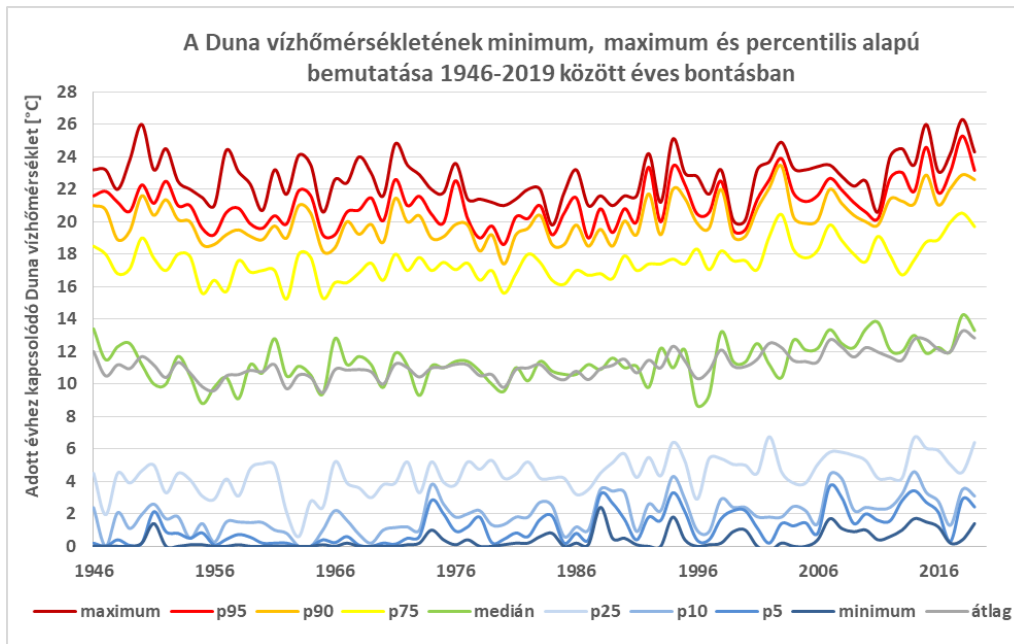
### 3.1. A Duna hőmérséklet adatainak kiértékelése

#### 3.1.1. Adatok és módszerek

Az alábbi fejezetben a Duna Budapesti mintavételi pontjának 1947-2019 közötti eredményei kerülnek kiértékelésre. A mérési azonosító: OVF állomás kód: 001026, távolság a torkolattól: 1646.5 fkm. Az adatok a vizügy.hu honlapról kerültek letöltésre 2020.június 9-én. A hiányzó adatokat az OVF adatszolgáltatásával sikerült kiegészíteni. Ennek ellenére szórványosan előfordul adathiány a 2004-et követő időszakban, illetve 2010 november 1 - december 31 egyáltalán nem áll rendelkezésre adat az elemzéshez.

Az adatok statisztikai értékeléséhez a vízszintek elemzéséhez hasonlóan jártam el: a percentilis tartományok ábrázolása és elemzése, illetve a Pettitt, SNHT, Buishand és Neumann próbák, valamint a Mann-Kendall-teszt és a Sen-meredekség vizsgálatát és kiértékelését hajtottam végre.

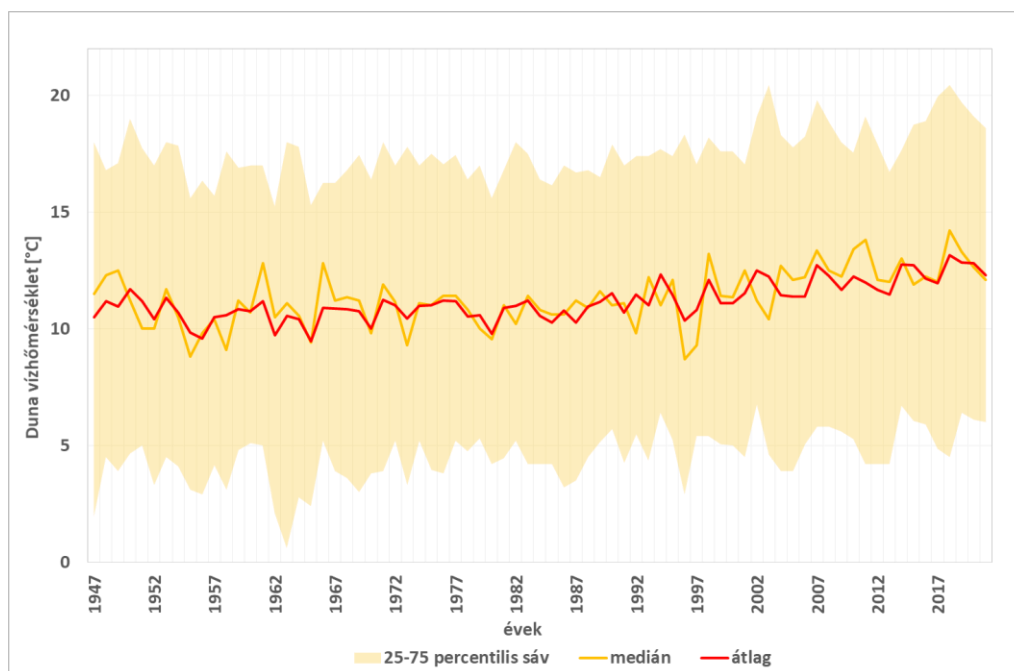
A Duna vízhőmérséklet éves statisztikai jellemzői az 1947-2021 közötti időszakban alakulásában az 1950-es években az átlagos értékek átmeneti csökkenése volt megfigyelhető: a 11-12°C-os tartományból a 10°C-os tartományban találhatóak az átlagos hőmérsékletértékek. Majd a nyolcvanas évek közepétől a hőmérséklet értékek emelkedő trendet kezdtek követni, mely leginkább az 1990-es évektől kezdődően szembeötlő. (16. ábra) Míg a XX. század második felében jellemzően 10-11°C-os volt az átlag vízhőmérséklet, addig ez az érték a 2010-es évekre 13°C-ra emelkedett. Ez a folyamat feltételezhetően jelenleg is tart és a jövőben is hasonló emelkedésre lehet számítani, figyelembe véve a klímaváltozással kapcsolatos előrejelzéseket. A maximum értékek alapján megállapítható, hogy a trend hasonló képet mutat: az 50-es években akár a 26°C-t is elérte a maximális mért vízhőmérséklet, de jellemzően a 22-24°C értékek között volt. A 70-es évek közepére, illetve a 80-as években jellemzően 21°C-os maximális hőmérsékletek voltak megfigyelhetőek. Majd az elmúlt 10 évben ismét a 23-26°C sávban mértek eredményeket. A minimális hőmérsékletek –, illetve a fagypont miatt a p90 és p95 értékeket is figyelembe véve, az 50-es évektől a 80-as évek közepéig a 2°C alatti tartományban voltak találhatóak a hőmérsékletadatok, majd a 1990-es évektől ez az érték a 2-4°C tartományba tolódott.



**16. ábra: A Duna víz hőmérséklet éves statisztikai jellemzői idősoros bontásban 1947-2021 között**

### 3.1.2. Az átlag Duna víz hőmérsékleti eredmények statisztikai elemzése

Az előző fejezet alapján indokolt, hogy a megfigyelt változásokat statisztikailag is értékeljem, tekintve, hogy a víz hőmérséklet mind a fizikai-kémiai, mind a biológiai folyamatokra ezáltal pedig a parti szűrés folyamatára is egyértelműen hat. Ehhez először az éves átlagos víz hőmérséklet-változást vizsgáltam statisztikai próbákkal. A rendelkezésre álló 1947-2021 közötti időszakban mért napi víz hőmérséklet adatok éves átlagait vettem alapul. (17. ábra)



**17. ábra: A Duna víz hőmérséklet adatok átlaga, mediánja és a p25-p75 percentilis sáv bemutatása 1947-2021 között**

A statisztikai próbák paramétereit a 8. táblázat, a próba grafikus megjelenítését a 4. melléklet mutatja be, ahol a piros szaggatott vonal a törés pont előtti, a zöld szaggatott vonal pedig a töréspont utáni átlagos víz hőmérsékletet ( $\mu$ ) jelenti. Látható, hogy mind a négy próba esetében a p érték kisebb, mint az  $\alpha$  szignifikancia szint, vagyis a  $H_0$  nullhipotézis elvetésre került és a  $H_a$  ellenhipotézis került elfogadásra: az adatsorok esetében van egy definiált pont, amely változást indikál a vizsgált paraméterek tekintetében.

Átlag értékek		
Pettitt	K	1136
	t	42
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[
SNHT	T0	40,144
	t	54
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[
Buishand	Q	26,034
	t	45
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[
Neumann	N	0,684
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001
	$\alpha$	0,01
	99% konfidencia intervallum p-re	]0,000;0,000[

**8. táblázat: Az éves átlagos vízhőmérséklet statisztikai próbákkal meghatározott paramétereinek eredményei**

Az eredmények alapján tehát kijelenthető, hogy a trendben van töréspont, melynek dátuma tesztenként eltérő (1990, 2002, 1993), a változás mindhárom esetben növekvő trendet jelez (9. táblázat).

Adatsor neve	Töréspont jell.	Pettitt	SNHT	Buishand's	Neumann
átlag	töréspont éve	1990	2002	1993	$H_a$
	töréspont előtt $\mu$	10,7	10,8	10,7	
	töréspont után $\mu$	11,8	12,2	11,9	

**9. táblázat: A statisztikai próbák eredményei**

A Mann-Kendall teszt eredménye szerint a p érték alacsonyabb, mint a szignifikancia szint ( $\alpha=0,05$ ), ezért a  $H_0$  –t el kell utasítani és elfogadni a  $H_a$ -t. Ahol  $H_0$  szerint nincs trend az adatokban,  $H_a$  szerint pedig van trend az adatsorban (10. táblázat).

	Kendall $\tau$	S	Var(S)	p (kétoldali)	$\alpha$
átlag	0,498	1381	47791,667	<0,0001	0,05

**10. táblázat: A Mann-Kendall próba parametrikus eredményei**

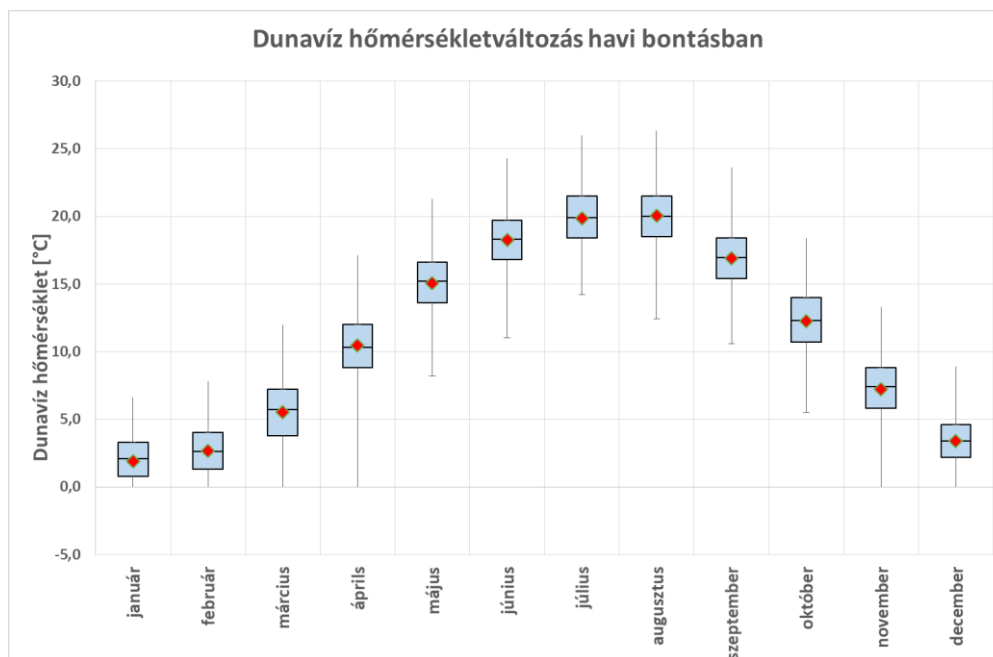
A Sen-meredekség vizsgálata 0,026 eredményt adott. Vagyis 0,026°C-kal emelkedett átlagosan a Duna vízhőmérséklet a vizsgált időszakban 1947-2021 között évente.

*Vagyis a Duna átlagos vízhőmérséklete az 1947-2021 közötti időszakban emelkedő tendenciát mutat minden hónapra vonatkozóan. A Pettitt, SNHT és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható az 1990-2002 közötti időszakban. A Mann-Kendall teszt szerint az adatpontok trendszerűen emelkednek a vizsgált idősor egészére vonatkoztatva, ahol a Sen-meredekség értéke 0,026.*

### 3.1.3. A havi vízhőmérsékleti változások értékelése

Tekintve, hogy kimutatható trendszerű emelkedés az éves átlagos vízhőmérsékletben, felmerül a kérdés, hogy ez a trend vajon egyenletesen oszlik el éven belül, vagy vannak olyan időszakok, amelyeket jobban érint.

Az 1947-2021 közötti időszakban a napi vízhőmérséklet értékek havi bontású ábrázolását a 18. ábra mutatja be. A vizsgált időszakban a Duna január közepén a leghidegebb (1,9°C átlagos vízhőmérséklettel) és augusztusban a legmelegebb (20,0°C átlagos vízhőmérséklettel). A legnagyobb eltérés a minimum és maximum értékek közt májusban volt tapasztalható 17,1°C eltéréssel, a legkisebb 6,6°C a januári hónapban volt tapasztalható. A p25-p75 sáv a márciusi 3,4°C különbséggel volt a legnagyobb és a decemberi 2,4°C-kal a legkisebb.



**18. ábra: Az 1947-2021 között Duna vízhőmérséklet adatok havi bontásban. A doboz diagramok a minimum, p25, medián, p75 és maximum értékeket, a piros pontok az átlag értékeket mutatják be**

A Duna átlagos havi vízhőmérséklet adatok ábrázolását az 5. melléklet mutatja be az 1947-2021 közötti adatokra vonatkozóan. .

Az elvégzett statisztikai próbák alapján megállapítható, hogy ahol a p érték nem haladta meg az  $\alpha=0,01$  szignifikancia szintet, ott a p érték vastagon kiemelt. (11. táblázat) Látható, hogy mind a négy próba esetében a p érték kisebb, mint az  $\alpha$  szignifikancia szint március, május, június, július, augusztus és november hónapokban. Vagyis mind a négy próba alapján a  $H_0$  nullhipotézis elvetésre került és a  $H_a$  ellenhipotézis került elfogadásra: ezen hónapok adatsorai esetében van egy definiált pont, amely változást indikál a vizsgált paraméterek tekintetében. A többi hónap adatsorainak értékelésénél kivétel nélkül a Neumann próba fogadta csak el a  $H_0$ -t, vagyis nem volt kimutatható változás. Általánosságban az a konszenzus, hogy mind a négy próbát elvégezve, ha legalább három esetben elvetésre kerül a  $H_0$ , akkor az adatsor a vizsgált időszakban törésponttal – vagyis szignifikáns változással – rendelkezik a vizsgált időszakban. Továbbá a Neumann teszt jellemzően a végponti töréspontokra szenzitív próba, vagyis az adatsorok elején és végén kimutatható töréspontokról ad információt.

		január	február	március	április	május	június
Pettitt	K	790,000	734,000	635,000	733,000	786,000	732,000
	t	36	41	42	51	46	49
	p-érték (kétoldali)	0,000	0,001	0,007	0,000	< 0,0001	0,001
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,001[	]0,000;0,001[	]0,005;0,009[	]0,000;0,001[	]0,000;0,000[	]0,000;0,002[
SNHT	T0	17,782	15,787	12,069	19,522	18,718	16,974
	t	27	41	42	52	46	49
	p-érték (kétoldali)	0,000	0,001	0,006	< 0,0001	0,000	0,001
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,001[	]0,000;0,001[	]0,004;0,008[	]0,000;0,000[	]0,000;0,000[	]0,000;0,001[
Buishand	Q	18,228	17,245	15,035	17,861	18,369	17
	t	36	41	42	51	46	49
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001	0,000	0,002	0,000	0,000	< 0,0001
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,000[	]0,000;0,001[	]0,001;0,003[	]0,000;0,000[	]0,000;0,000[	]0,000;0,000[
Neumann	N	1,519	1,490	1,430	1,492	21,754	1,61
	p-érték (kétoldali)	0,017	0,012	0,004	0,013	0,000	0,047
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,014;0,020[	]0,010;0,015[	]0,003;0,006[	]0,001;0,016[	]0,000;0,000[	]0,041;0,052[
		július	augusztus	szeptember	október	november	december
Pettitt	K	706,000	860	642,000	724,000	812,000	664,000
	t	54	45	54	34	54	35
	p-érték (kétoldali)	0,001	< 0,0001	0,006	0,000	0,000	0,003
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,001[	]0,000;0,000[	]0,004;0,008[	]0,000;0,001[	]0,000;0,001[	]0,001;0,004[
SNHT	T0	18,842	22,150	15,780	12,339	22	14,108
	t	65	45	54	54	54	32
	p-érték (kétoldali)	< 0,0001	0,000	0,002	0,007	< 0,0001	0,003
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,000[	]0,000;0,000[	]0,001;0,003[	]0,005;0,009[	]0,000;0,000[	]0,001;0,004[
Buishand	Q	16,029	20,102	15,550	14,832	18	16,117
	t	55	45	54	34	54	32
	p-érték (kétoldali)	0,001	0,000	0,001	0,002	< 0,0001	0,001
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,000;0,001[	]0,000;0,000[	]0,000;0,002[	]0,001;0,004[	]0,000;0,000[	]0,000;0,002[
Neumann	N	1,375	1,429	1,602520087	1,698	1,380	1,539
	p-érték (kétoldali)	0,003	0,006	0,0393	0,093	0,003	0,025
	$\alpha$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	99% konfidencia int	]0,001;0,004[	]0,004;0,008[	]0,034;0,044[	]0,086;0,1[	]0,002;0,004[	]0,021;0,029[

### 11. táblázat: A Pettitt, SNHT, Buishand és Neumann próbák paramétereinek értékei

A fentieket alátámasztja a 12. táblázat, illetve a 6. melléklet, ahol a próbák által meghatározott töréspontok is bemutatásra kerülnek. Jellemzően a töréspontok 1979-2002 között találhatóak. Vagyis ezen időszakban a legtöbb hónapban szignifikáns változás állt be az átlagos folyóvíz hőmérsékletek tekintetében.



Hónapok	Töréspont jell.	Pettitt	SNHT	Buishand's	Neumann
január	töréspont éve	1983	1974	1983	Ho
	μ előtte	1,3°C	1,1°C	1,3°C	
	μ utána	2,5°C	2,3°C	2,5°C	
február	töréspont éve	1988	1988	1988	Ho
	töréspont előtt μ	2,1°C	2,1°C	2,1°C	
	töréspont után μ	3,4°C	3,4°C	3,4°C	
március	töréspont éve	1989	1989	1989	Ha
	töréspont előtt μ	4,9°C	4,9°C	4,9°C	
	töréspont után μ	6,3°C	6,3°C	6,3°C	
április	töréspont éve	1998	1999	1998	Ho
	töréspont előtt μ	10°C	10°C	10°C	
	töréspont után μ	11,5°C	11,5°C	11,5°C	
május	töréspont éve	1993	1993	1993	Ha
	töréspont előtt μ	14,5°C	14,5°C	14,5°C	
	töréspont után μ	16°C	16°C	16°C	
június	töréspont éve	1996	1996	1996	Ha
	töréspont előtt μ	17,7°C	17,7°C	17,7°C	
	töréspont után μ	19,2°C	19,2°C	19,2°C	
július	töréspont éve	2001	2012	2002	Ha
	töréspont előtt μ	19,3°C	19,5°C	19,3°C	
	töréspont után μ	20,9°C	21,8°C	21°C	
augusztus	töréspont éve	1992	1992	1992	Ha
	töréspont előtt μ	19,3°C	19,3°C	19,3°C	
	töréspont után μ	21,1°C	21,1°C	21,1°C	
szeptember	töréspont éve	2001	2001	2001	Ho
	töréspont előtt μ	16,5°C	16,5°C	16,5°C	
	töréspont után μ	18°C	18°C	18°C	
október	töréspont éve	1981	2001	1981	Ho
	töréspont előtt μ	11,7°C	11,9°C	11,7°C	
	töréspont után μ	12,8°C	13,2°C	12,8°C	
november	töréspont éve	2001	2001	2001	Ha
	töréspont előtt μ	6,8°C	6,8°C	6,8°C	
	töréspont után μ	8,4°C	8,4°C	8,4°C	
december	töréspont éve	1982	1979	1979	Ho
	töréspont előtt μ	2,9°C	2,8°C	2,8°C	
	töréspont után μ	3,9°C	3,8°C	3,8°C	

**12. táblázat: Statisztikai tesztek (Pettitt, SNHT, Buishand) által meghatározott vízhőmérséklet átlagértékek töréspont előtt és után**

A Mann-Kendall teszt eredményeit a 13. táblázat foglalja össze. Ennek értelmében, ahol a p érték alacsonyabb, mint a szignifikancia szint ( $\alpha=0,05$ ), a  $H_0$ -t el kell utasítani és elfogadni a  $H_a$ -t. Ez egyetlen hónap esetében sem teljesül, azaz a  $H_a$  kerül elfogadásra, mi szerint kivétel nélkül, minden hónap esetében megfigyelhető trendszerű változás az adatsorokban.

	Kendall $\tau$	S	Var(S)	p (kétoldali)	$\alpha$
február	0,301	835	47791,67	0,000	0,05
március	0,254	704	47790,67	0,001	0,05
április	0,157	436	47790,67	0,047	0,05
május	0,209	579	47791,67	0,008	0,05
június	0,214	594	47790,67	0,007	0,05
július	0,277	769	47791,67	0,000	0,05
augusztus	0,327	908	47790,67	<0,0001	0,05
szeptember	0,195	541	47791,67	0,014	0,05
október	0,300	833	47791,67	0,000	0,05
november	0,368	993	45914,00	<0,0001	0,05
december	0,253	682	45915,00	0,001	0,05

**13. táblázat: Mann-Kendall teszt adatai**

A Sen-meredekség értékei alapján megállapítható, hogy a legmagasabb trendek február, március, július és augusztus hónapokban figyelhetőek meg. (14. táblázat) Az augusztusi 0,0357 érték 80 évre kivetítve mintegy 3,5°C átlagos vízhőmérséklet emelkedést jelez. Mérsékeltebb az emelkedés április, május, szeptember és december hónapokban, azonban ez is mintegy 1,5°C emelkedést mutat a statisztikai elemzés.

Hónapok	Mann-Kendall	Sen meredekség
január	$H_a$	0,02°C
február	$H_a$	0,03°C
március	$H_a$	0,02°C
április	$H_a$	0,02°C
május	$H_a$	0,02°C
június	$H_a$	0,02°C
július	$H_a$	0,03°C
augusztus	$H_a$	0,03°C
szeptember	$H_a$	0,02°C
október	$H_a$	0,03°C
november	$H_a$	0,03°C
december	$H_a$	0,02°C

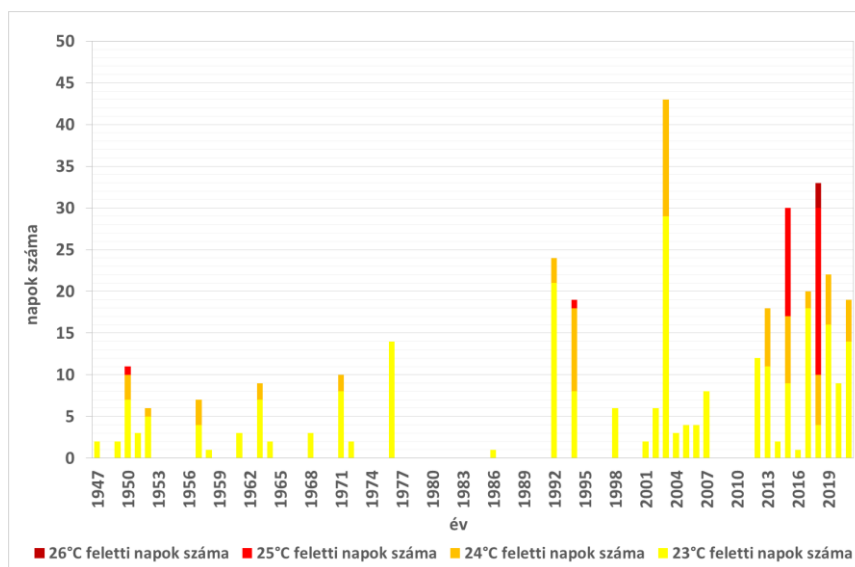
**14. táblázat: Sen-meredekség értékek átlagos havi Duna vízhőmérsékletekre 1947-2021 között**

*A Duna átlagos havi vízhőmérsékletei az 1947-2021 közötti időszakban emelkedő tendenciát mutatnak minden hónapra vonatkozóan 1,5-3°C tartományban. A Pettitt, SNHT és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható. A Mann-Kendall teszt szerint az adatpontok trendszerűen emelkednek minden hónap esetében a vizsgált időszak egészére vonatkoztatva, ahol a Sen-meredekség értéke 0,0173-0,0347 tartományban található.*

Megfigyelhető, hogy a nyári hidrológiai félév hónapjaiban a Sen-meredekség értékei magasabbak, mint a téli hidrológiai félévben kapott értékek. Azonban a téli hónapok esetében is igazolható február és március hónapokban a vízszintek szignifikáns csökkenése. Azon túlmenően, hogy megállapítható, hogy a Duna éves átlagos és havi átlagos vízhőmérsékletei emelkedő trendet mutatnak, mely az utóbbi legfeljebb 30 évben szignifikánsan változott meg, azt is érdemes megvizsgálni, hogy a hőmérsékleti szélsőségek mennyire közelítik meg, és meddig tartják a kritikusnak tekinthető hőmérsékleti szinteket. Ezek a szempontok az alábbi két fejezetben kerülnek bemutatásra.

### 3.1.4. A szélsőséges vízhőmérsékleti állapotok elemzése

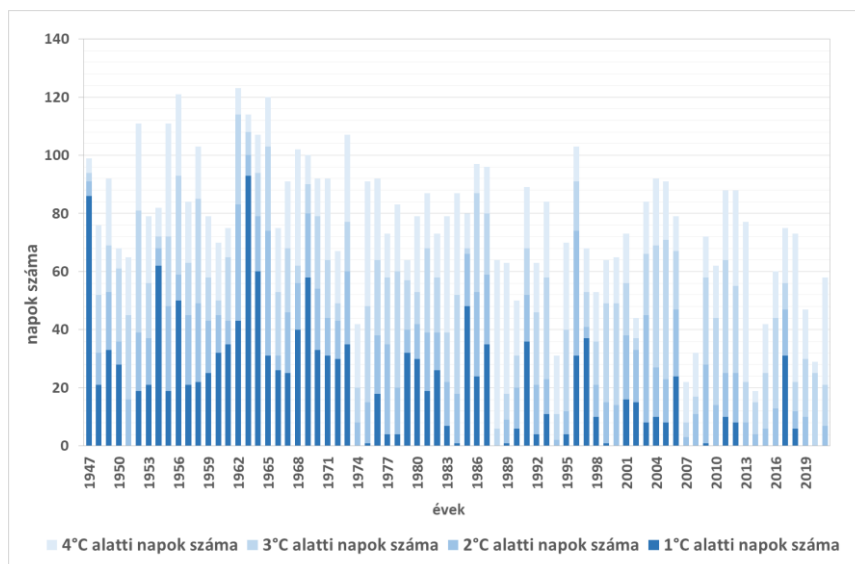
A nyári szélsőségek vizsgálatára az adott időszak azon napjainak számát és előfordulását határoztam meg, melyek során a Duna vízhőmérséklete meghaladta a 23°C, a 24°C, a 25°C, illetve a 26°C-ot. Ezek az értékek a legmagasabb hőmérséklet értékek voltak a vizsgált időszakban, ezért elemeztem részletesebben őket. (19. ábra)



**19. ábra: A Duna 23°C, a 24°C, a 25°C, illetve a 26°C hőmérsékletet meghaladó napok száma 1947-2021 között**

Az eredményekből egyértelműen látszik, hogy a 70-es évek közepéig a Duna vízhőmérséklete elszórta emelkedett 23°C fölé, öt alkalommal, maximum három napra 24°C fölé és egyetlen alkalommal, egy napra emelkedett 25°C fölé. Ezt követően, a 70-es évek közepétől a 2000-es évek elejéig a maximális vízhőmérséklet két alkalommal mutatott emelkedettebb értékeket (1992 és 1994 években). Ezt követően rendszeressé vált a 23 °C-t meghaladó vízhőmérséklet, azonban a napok száma nem tekinthető kiugróan magasnak. Végül, 2010 után vízhőmérséklet minden évben meghaladta a 23 °C-ot, az esetek felében meghaladta a 24 °C-ot, eddig példátlan mértékben hosszú ideig a 25 °C-ot és 2018-ban elérte a 26 °C-ot. Ez utóbbi a vizsgált időszakban a legmagasabb mért értéket jelenti. A havi eredmények alapján – Lovász eredményeivel összhangban [40] – kijelenthető, hogy ezen változások a július és augusztus hónapokban a legkifejezettebbek, amikor mind a légköri hőmérséklet, mind pedig a napsütéses órák száma a legmagasabb a térségben.

A téli időszak elemzésekor szintén a szélsőségesen alacsony értékek (1 °C, 2 °C, 3 °C és 4 °C) előfordulását és időtartamát vizsgáltam éves bontásban. A vízhőmérséklet értékeit tekintve, elmondható, hogy az adatok itt csökkenő tendenciát követnek (20. ábra).



**20. ábra: A Duna 1°C, 2°C, 3°C és 4°C hőmérséklet alatti napok száma 1947-2021 között**

Míg az ötvenes évek környékén a legfeljebb 4 °C-ot tartó napok száma jellemzően éves szinten 70-120 nap körül alakult, addig az elmúlt évtizedben a 2018-as évet leszámítva nem haladta meg a 80 napot. Az 1 °C alatti hőmérsékletek pedig az átlagos évi 20 napról az elszórtan jelentkező néhány napos periódust leszámítva tulajdonképpen eltűntek. Elmondható, hogy a Duna vízhőmérséklet télen nem csökken 1°C hőmérséklet alá. Összehasonlítva a szélsőségesen magas vízhőmérsékletek trendjével, itt is megfigyelhető, hogy a 70-es évektől a legfeljebb 1°C-os vízhőmérsékletet tartó napok száma csökkenést mutat. Az évente jellemző, rendszeres 30 napról az előfordulás ritkábbá vált, majd a 2000-es évek végétől 2017-et leszámítva el is tűnt.

Ezek az eredmények azt vetítik előre, hogy mind a fizikai, a kémiai, a mikrobiológiai és az ökológiai folyamatok is várhatóan változni fognak a Duna környezetében. A hőmérsékleti optimuma számos fajnak kifejezetten szűk, ezáltal igen érzékenyen reagál bármilyen változásra. Kiszorulhatnak élőhelyükről, helyettük jellemzően eddig ismeretlen, invazív fajok jelenhetnek meg, melyek az eddig jellemző egyensúlyt kibillentve a teljes ökoszisztémára kedvezőtlenül és gyakran visszafordíthatatlanul hatnak. A fenti változások vízminőségi paraméterekre gyakorolt hatását az 5. fejezetben mutatom be.

**Megállapítható tehát, hogy a Duna vízhőmérséklete a szélsőségek tekintetében is változást mutat. A nyári időszakot érintő maximális vízhőmérsékletek egyre hosszabb ideig és egyre magasabb értékekkel jelentkeznek, míg a téli hónapokban a minimális vízhőmérséklet értékek emelkedő trendet mutatnak és egyre rövidebb ideig állnak fenn.**

## 4. A VÍZHŐMÉRSÉKLET HATÁSAI AZ IVÓVÍZBIZTONSÁGRA

Mivel a parti szűrt rendszerek nyersvíz forrásai felszíni víztestek, ezek kitettsége a légköri hőmérsékletváltozásnak sokkal jelentősebb, mint a réteg- vagy talajvizek esetében. A 3. fejezetben bemutatottak alapján kijelenthető, hogy a Duna víz hőmérséklete emelkedő trendet mutatott az elmúlt 80 évben és ez a trend az utóbbi közel húsz évben felgyorsult. Emellett, az elérhető klíma modellek alapján várhatóan az emelkedő trend folytatódik. Ezek alapján indokolt, annak vizsgálata, hogy a parti szűrt víz hőmérsékletét hogyan befolyásolja a folyó víz hőmérséklete. Tekintve, hogy a parti szűrt rendszerekben lejátszódó fizikai-kémiai és mikrobiológiai folyamatok egyaránt érintettek a hőmérsékletváltozás tekintetében, ez a témakör kiemelt jelentőséggel bír vízbiztonsági szempontból.

### 4.1.1. A Dunában bekövetkező hatások

A Duna víztömege átlagosan 2000 m<sup>3</sup>/s térfogatárammal rendelkezik. Ezáltal a folyó jelentős puffer kapacitással bír, mely következtében kevésbé kitett a hőmérsékletváltozásnak. További előnyt jelent, hogy a magasabb vízállások főleg a május-június időszakra jellemzőek, mely trend hatása augusztus közepéig kitart, vagyis a magasabb víz hőmérsékletek idején a víztömeg is jelentősebb. Az alacsony vízállások jellemzően az őszi-téli időszakban figyelhetőek meg a vizsgált időszak adatai alapján.

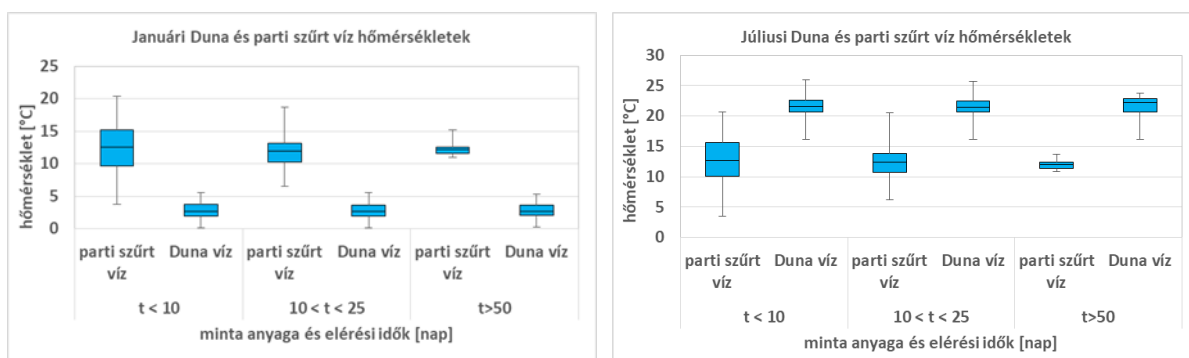
Ugyanakkor, a víz hőmérséklet közvetlen hatással van az oldott oxigén, illetve az egyéb, vízben oldott gázok koncentrációjára. A levegővel érintkező víz egyensúlyi koncentrációban tartalmaz oxigént, amelynek mennyisége függ a légnyomástól, a hőmérséklettől, a víz oldott sótartalmától, a szennyezettség jellegétől és fokától, a vízi életfolyamatoktól. Az oldott oxigén szintje 0°C-on 14,65 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, 25°C-on 8,18 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Vagyis az oldott oxigén tartalom a víz hőmérséklet emelkedésével csökken [41]. A fenti folyamatok miatt csökkenő oldott oxigénkoncentrációt tovább csökkentheti a szerves szennyező anyagok relatív koncentrációjának emelkedése miatt a biológiai oxigénigény növekedése. A szennyvíztisztító telepek kibocsátása során a foszfát koncentráció emelkedése, a magasabb hőmérsékleteken az ammónium koncentráció csökkenése várható, mert a nitrifikációs folyamatok felgyorsulnak, ez pedig a nitrát koncentráció emelkedését vonja maga után.

Sheili *et al.* [42] regresszió analízissel állapították meg, melyek azok a legkritikusabb klimatikus faktorok és vízminőségi paraméterek, amelyek egyértelműen összefüggésbe hozhatóak a vízminőségi változásokkal. Arra jutottak, hogy a két legkritikusabb tényező a mintavétel során mért UV254 érték, illetve a mintavételt megelőzően 15 nappal mért nyersvíz hőmérséklet volt.

A hőmérséklet a vízi élőszervezetekre is közvetlen hatással van tekintve, hogy alapvető élettani folyamataikat befolyásolja. Hőmérsékleti optimumuk az a determinált, adott esetben néhány °C-os tartomány, ahol szaporodásuk, anyagcseréjük a lehető leghatékonyabban valósulhat meg. A vízhőmérséklet változása ezáltal szelekciós hatást is kifejthet, akár jelentős mértékben eltolva ezáltal adott esetben a folyó ökoszisztémájának érzékeny egyensúlyát. A vízhőmérséklet a fentiekén túl egyértelműen hatással van a pH, vezetőképesség, viszkozitás, sűrűség fizikai-kémia paraméterekre is.

A 0°C- 20°C közötti hőmérséklettartományban a dinamikai viszkozitás  $1,79 \times 10^{-3} \text{Pa} \times \text{s}$ -ról  $10^{-3} \text{Pa} \times \text{s}$ -ra csökken. Ezzel a Duna jellemző vízhőmérséklet tartományára vonatkoztatva mintegy 45%-os kapacitás különbség figyelhető meg a kitermelhető vízmennyiség tekintetében. Davidesz *et al.* [43] vizsgálta Budapest vízellátásának viszkozitás-változásból adódó kitermelhetőségét. Megállapították, hogy egy adott kútcsoport esetében a téli és a nyári időszakban eltérő depressziókkal lehetett ugyanazon kutakból adott mennyiségű vizet kitermelni. A nyári időszakban kisebb viszkozitás értékek mellett nagyobb volt a kitermelhető víz mennyisége. Vagyis a hőmérsékletváltozás közvetett módon a kitermelhető víz mennyiségére (kútkapacitások) így a vízbiztonságra is hatással van.

Mivel a főváros vízellátását biztosító vízbázisok nyersvíz forrása, a Duna, ezáltal a folyóban megfigyelhető bármilyen változás hatásának vizsgálata a parti szűrésű rendszerekben is indokolt. A vizsgált termelő területen üzemelő kutak három definiált csoportba sorolhatóak a modellezéssel meghatározott elérési idők alapján. Ezek alapján 10 nap alatti elérési idejű, 10-25 nap közötti elérési idővel rendelkező, illetve 50 napot meghaladó elérési idővel rendelkező kutak [44].



**21. ábra: A Duna víz és eltérő elérési idővel rendelkező parti szűrt víz hőmérsékletének szezonális változása, havonként**

Megfigyelhető, hogy a rövidebb elérési idejű kutak esetében a hőmérséklet ingadozás nagyobb, mint a hosszabb elérési idejű kutak esetében, mivel a hosszabb elérési idők mellett biztosított a beszűrődő nyersvíz temperálása a talaj hőmérséklet-kiegyenítő hatásának érvényesülésével. (21. ábra illetve 7. melléklet minden hónapra vonatkozóan) Adott elérési idővel rendelkező kútcsoportok eredményei azonban a hónapok között nem mutatnak jelentős eltérést, a Duna hőmérséklet-változásához képest a kutak hőmérséklet értékei kiegyenlítettebbek. Látható, hogy a  $t > 50$  nap elérési idővel rendelkező kutak esetében a hőmérséklet értékek jellemzően a 11-12°C közötti tartományban találhatóak. A hőmérsékletváltozásnak leginkább kitett  $t < 10$  nap kútcsoportok esetében is a p25 - p75 sáv értékei a 10 - 15°C értékek között maradnak. Ezen kutak esetében is a maximum értékek nagyon ritkán haladják meg a 20°C értéket (8. melléklet).

*Fentiek tükrében megállapítható, hogy bár a Duna hőmérsékletváltozása emelkedő trendet követ az 1947-2021 közötti időszakban, mely mind a téli mind a nyári szélsőséges állapotok esetében fennáll, a parti szűrt víz hőmérséklet értékei éven belül nem mutatnak jelentős változást. A parti szűrt víz esetében meghatározóbb a hőmérséklet értékek tekintetében a kútból kitermelt vízre jellemző elérési idő. Továbbá a parti szűrt víz hőmérséklet értékei a p25 és p75 tartomány esetében nem haladják meg a 8°C - 15,5°C tartományt.*



## **5. VÍZMINŐSÉGI VÁLTOZÁSOK ÉRTÉKELÉSE A DUNA ÉS A KAPCSOLÓDÓ PARTI SZŰRT RENDSZER VONATKOZÁSÁBAN**

### **5.1. A Duna vízminőségére ható tényezők**

Az előző fejezetben bemutattam, hogy milyen mértékű hőmérsékletváltozás figyelhető meg a Duna, illetve a parti szűrt víz tekintetében. Jelen fejezetben azon összefüggéseket elemzem, melyek közvetlenül hatnak a Duna, illetve a parti szűrt víz minőségére.

A felszíni vízfolyásokra vonatkozóan Whitehead *et al.* 2009-es publikációjában [45] megállapítja, hogy alacsonyabb vízszintek esetén kevésbé biztosítható a hígulás és ezért a szennyvíz terhelések hatása jobban megmutatkozik a felszíni vizek esetében, valamint a foszfor koncentráció magasabb nyáron, amikor alacsonyabb a vízállás. Továbbá a szerves szennyezők relatív koncentrációja magasabb így a BOI igény is nő, mely által az oldott oxigén koncentráció csökken. Ez utóbbi tényező hatása egyértelműen azonban csak az alacsony vízhozamú patakok, csermelyek esetében figyelhető meg, a jellemzően nagyobb szennyezőforrások közelében. Ugyanakkor az árvizek a folyók felső szakaszáról nagy mennyiségben mossák ki a lebegőanyagokat és kiülepedő szennyezéseket is, emellett nagyfokú talajeróziót okoznak, továbbá a nagy esőzések szennyvíz kiömlésekhez vezethetnek. Másfelől a folyó hordaléka alkalmasint új élőhelyek kialakításában is szerepet játszhat, ezzel hozzájárulva a folyó ökoszisztémájának épüléséhez, vagyis a megfigyelhető folyamatok több szempontból is értékelhetőek.

Meghatározta továbbá, hogy az eutrofizációt (vízvirágzás) befolyásoló környezeti tényezők: a tartózkodási idő, a fényviszonyok, a tápanyagok elérhetősége és az áramlási körülmények.

Zwolsman [46] négy paramétercsoportba rendezte a vizsgált vegyületeket, úgy, mint általános jellemzők (vízhőmérséklet, oldott oxigén, klorofill-a); főbb ionok (klorid, nátrium, szulfát, fluorid, bromid); tápanyagok (nitrát, foszfát, ammónia); nehézfémek. Azt találta, hogy az aszályos időszakok eredményei összevetve az átlagos vízállás során mért eredményekkel vízminőségi mutatót adtak a hőmérséklet, klorofill-a, főbb ionok és nehézfémek tekintetében. A tápanyagok esetében ugyanez nem volt kimutatható. Három főbb aszályos időszakot vizsgált (1976, 1991, 2003). 1976-ban volt a legrosszabb a helyzet, amiből arra jutott, hogy az aszály a problémákat még jobban súlyosbítja. Megállapította, hogy relatíve jobb vízminőségben kevésbé figyelhető meg a negatív hatás.

Fleit *et al.* 2010-es tanulmányában [47] a Duna vízminőségi eredményeit elemezte 1977-2002 közötti vízminőségi adatok idősoros trendjének vizsgálatával. A trendek értékelése hat törzshálózati mintavételi szelvény, sodorvonalban mért értékein alapulnak a főváros alvízi szakaszát elemezve az országhatárig az MSZ 12749 (Felszíni vizek minősítése) alapján. Megállapítja, hogy mivel 100%-os hatékonyságú szennyvízkezelési technológia nem létezik, ezért a felszíni vizek KOI, N és P formák tekintetében várhatóan fokozottabb terhelést fognak elszenvedni a jövőben a vizsgált Duna szakaszon, a főváros alvizétől a déli országhatár területéig. A Duna hazai vízgyűjtőjén ipari, kommunális és mezőgazdasági szennyező forrásokkal egyaránt számolni kell. A 2010. szeptemberében átadott Budapesti Központi Szennyvíztisztító telep azóta jelentős mértékben hozzájárul a főváros szennyvízkezeléséhez, mely a Duna vízminőségét is kedvezően befolyásolta.

Az időszakra vonatkozó  $KOI_{ps}$  és  $KOI_{Cr}$  értékek tendenciózus csökkenést mutattak. A  $KOI_{Cr}$ : 24 mg/l-ről 15 mg/l-re, a  $KOI_{ps}$  8 mg/l-ről 4 mg/l-re változott, leszámítva azokat a kisvízes időszakokat, ahol a Duna térfogatáram jelentősen kisebb volt. Az oxigén koncentráció 9-10 mg/l körüli értékekről megközelítette a 12 mg/l körüli értékeket. A  $BOI_5$  szintén csökkenő tendenciát mutatott 5 mg/l körüli értékekről jellemzően 4 mg/l alatti értékekre csökkenve, ezzel kiváló minősítésűnek ítélve. A  $BOI_5/KOI_{ps}$  arány 0,6-ról közelíti az 1 körüli értékeket – megjegyezve, hogy a  $KOI_{ps}$  csökkenés jobban hozzájárult ehhez a trendhez.

A tápanyagok csoportjának esetében az N-NH<sub>4</sub> 0,5 mg/l átlagos koncentráció 0,1 mg/l-re csökkent, a N-NO<sub>3</sub> 1,5 mg/l-ről 2 mg/l-re emelkedett. Az ortofoszfát a 80-as években jellemző 150 mg/m<sup>3</sup>-es koncentrációi a 90-es évek közepére 50 mg/l körüli értékekre csökkentek. A vezetőképesség idősoros elemzésben nem mutatott szignifikáns változást. Az értékek a 380-440  $\mu$ S/cm között változtak, mely változás elsősorban a csapadékmennyiséggel és a vízállással mutat összefüggést. A pH tekintetében pedig elmondható, hogy a jellemző 8-8,3 körüli érték a nagyobb víztestekkel azonos értéket mutatott. A pH változás jellemzően komplex hidrobiológiai folyamatokkal függ össze, mely a lebontó-felépítő folyamatok egyensúlyán, de akár napi cikluson belül is jelentős eltérést okozhat.

Elmondható, hogy az eutróf állapot (megfelelő állománysűrűségű fitoplankton kialakulásának valószínűsége) 100% a Dunán, amennyiben az aktuális vízhozam nem éri el a 2000 m<sup>3</sup>/sec értéket. Érdekes azonban, hogy a 2003-as szélsőségesen aszályos év kivételes hidrometeorológiai viszonyai mellett – a vízhozama a teljes vegetációs időszakban 2500 m<sup>3</sup>/sec alatt maradt és a napsütés szinte folyamatos volt és alig hullott csapadék – sem volt megfigyelhető fokozott alga növekedés. Ellenben a kisebb, rövid áradások hirtelen csökkentik

le az algaszámot. Fontos tény, hogy számos víztestben az algásodás komoly problémát jelent napjainkban a klímaváltozással szoros összefüggésben is.

Érdekes és határozottan reménykeltő, hogy a Dunán ismét megfigyelhető a dunavirág rajzás. A dunavirág (*Ephoron virgo*) a kérészek rendjébe tartozó rovar. Csak tiszta, oxigéndús vízben tud kifejlődni, emiatt a Dunán mintegy negyven évig nem rajzottak egészen 2012-ig. Köszönhetően azonban a Duna vízminőség folyamatos javulásának, a dunavirágok több évben is rajzottak a folyón, ahol nem szokatlan egy helyen a 10-11 rajzás sem. A fényszennyezés azonban a dunavirág millióinak petezés előtti pusztulását okozza, mivel a mesterséges fények a repülő nőstényeket magukhoz vonzzák. Ezért fénySOROMPÓK kiépítését tervezték meg az ELTE TTK Biológiai és Fizikai Intézetének, valamint az MTA ÖK Duna-kutató Intézetének munkatársai. Ezen természeti jelenség is azt bizonyítja, hogy a természet megújuló ereje kis segítséggel is akár gyors regeneráción tud áthaladni és ezzel az ökoszisztéma képes helyreállni, akár néhány éven belül is. [48]

## **5.2. A parti szűrt víz minőségére ható tényezők**

A parti szűrt víz minőségét illetően általánosságban elmondható, hogy aszályos időszakban a parti szűrt kutak kapacitása csökken, valamint a vízminőség is romlik. Magas hőmérsékleti viszonyok esetén pedig a hidrogeokémiai folyamatok is módosulnak. Azonban a multi-barrier tisztítási módnak köszönhetően a kitermelt víz minősége továbbra is megbízható. [49]

Sprenger *et al.* (2011) [50] olyan klíma érzékenységi tényezőket határozott meg munkájában, melyek a parti szűrt vízbázisok teljesítményét befolyásolhatják hipotetikus aszályos és árvizes események során. Megfigyelései szerint ezek a klimatikus tényezők nem csak a víz mennyiségét és minőségét befolyásolják, hanem a szennyezőanyag eltávolítási folyamatokat is, úgy, mint a redox körülmények vagy az elérési idő. Aszályok során az anaerob folyamatok felé tolódnak el a körülmények, miközben az árvizek drasztikusan lecsökkenthetik az elérési időket, ezzel patogének, nehézfémek, DOC és szerves mikroszennyezők bejutását okozhatják az ivóvíztermelő objektumokba. Megállapítja továbbá, hogy csak az oxikustól az anoxikusig végig lejátszódó parti szűrt folyamatok képesek ezen kémiai reakciók teljes kiaknázására. Megjegyzi, hogy a parti szűrésű rendszerek egy fokkal biztonságosabbak, mint a felszíni vízkivétel. Tekintve, hogy a partmeder tároló kapacitása, valamint a két külön vízbázis alkalmazása pufferként hat a termelés során. Ugyanakkor, a parti szűrés folyamata érzékeny a klímaváltozásra, azonban az emberi tényezők is jelentősen veszélyeztetik ezen folyamatokat.

Krishan 2022-es tanulmánya [51] szerint a nehézfémekkel szennyezett csurgalékvizek kúttestbe történő szivárgása elsősorban a vízbázis felszínének szennyezettségével függ össze. A tapasztalható vertikális szivárgás által szignifikánsan nagyobb koncentrációk jutnak el a kitermelt vízbe keveredve, mint a folyó/utánpótlását biztosító víztest felől. Ezért kifejezetten fontos, hogy ezen területek megfelelően védve legyenek nem csak az ipari tevékenységektől, de például a nagyobb árvizek okozta elöntésektől is, melyek szintén nagy mennyiségű nehézfém szennyeződést hordhatnak az árterekbe.

Covetti 2020-ban [52] 40 parti szűrt vízbázis esettanulmányait elemezve azt vizsgálta, milyen forrásai és lebontási útvonalai lehetnek az ammónium ionnak. A parti szűrt vízben megfigyelhető ammónium koncentrációk 0,1-1,7 mg/l között váltakoztak. Az ammónium a szerves ammónium mineralizációja során jelenik meg legtöbbször a folyómederben. Az ammónium aztán nitrifikáció során nitráttá alakul. Mindazonáltal a folyók ammónium koncentrációja és a parti szűrt víz ammónium koncentrációja között nincs direkt kapcsolat, tekintve, hogy a magas szervesanyag tartalom szintén, mint potenciális elektron donor limitálhatja az oxigén elérhetőségét az ammóniumionnal történő reakcióhoz, ezáltal gátolva annak nitráttá történő lebomlását.

A lebontáshoz magas oxigén koncentrációt igénylő vegyületek rontják a parti szűréssel kinyerhető vízminőséget nem csak közvetlen, de közvetett módon is. Egyfelől megfigyelhető, hogy az ilyen szennyezett folyók esetében a kolmatáció kialakulásának kockázata fokozott. Másfelől az oxigénkoncentráció csökkenése miatt a mederágyban lejátszódó folyamatok szuboxikus/anoxikus közegben mennek végbe, ezzel emelkedett vas- és mangán-koncentrációt okozva a kitermelt nyers vízben. A vas és mangán „beoldódás” a parti szűrt rendszerek esetében évszázadok óta ismert probléma, melyet vas-mangántalanító technológiai lépéssel (levegőztetés, ózonkezelés) sikeresen lehet kezelni. Külön eljárás a felszín alatti vastalanítási mód, melyet szintén számos helyszínen alkalmaznak Európában [53]

Grischek et al egy másik, 2017-es cikke [54] megállapította, hogy a vas és mangán visszaoldódása elsősorban az anoxikus körülmények létrejöttével hozható összefüggésbe. Létrejöttét egyfelől befolyásolja a nyersvíz hőmérséklete, a talajvízben található nitrát és a magas TOC koncentráció. Megjegyzi továbbá, hogy a szervesanyag tartalom értékelésénél nem elég a nyersvíz TOC és DOC koncentrációinak meghatározása, ugyanis a parti szűrést végző homokos-kavicsos sóderágyban a részecske fázisú szervesanyag (particulate organic matter, POM) kiülepedik, adszorbeálódik, hozzájárulva az oxigén és nitrát redukciójához. A kialakult redukzív környezetben a Fe(II) koncentrációja magasabb, mint a folyó nyersvízében, de

lényegesen alacsonyabb, mint a háttér talajvíz Fe(II) koncentrációi. Megfigyelték, hogy a hosszú idősorok adatai alapján a vaskoncentráció kiegyensúlyozott. Egyenletes üzemeltetés mellett az évtizedek alatt szignifikánsan csökkent. Ezt úgynevezett kimosódási hatásnak nevezik. Továbbá kimutatták, hogy a partélhez közelebb elhelyezkedő kutak esetében a vas visszaoldódásából adódó koncentrációemelkedés kisebb mértékű, vagyis a háttér kisebb mértékű hatása figyelhető meg. Ezért javasolt a kutakat a lehető legközelebb elhelyezni a partélhez. Az egymás mellett elhelyezkedő kutak áthatása is jelentősen csökkenti a vaskoncentráció mértékét a parti szűrt vízben. A nyersvíz DOC tartalma a hyporheikus zóna első néhány centiméterében oxigén jelenlétében 50%-kal csökken, azonban az oxigén koncentrációcsökkenés sztöchiometrikus értékelése alapján arra jutottak, hogy a DOC mellett a POM is mint redukív ágens hozzájárul az oxigén koncentráció csökkenéséhez.

Parti szűrt vízbázisok esetében megfigyelték [44], hogy az algaszám jó indikátor a nyersvíz betörés monitoringozására és így a parti szűrési folyamatok „sérülésére”. A nyersvíz betörése azonban nem csak a termelő objektumok sérülése okán kerülhet a gyűjtőhálózatba. Az előtött területeken úgynevezett „short-cut”-ok alakulhatnak ki, ahol a lényegesen rövidebb elérési idők okán az optimális tisztítási folyamatok nem, vagy csak részlegesen mennek végbe. Az algaszám változás figyelése több szempontból is kiváló monitoring eszköz: a vizsgálat maga alacsony anyagigénnyel jár és gyorsan eredményt szolgáltat, ellentétben a mikrobiológiai eljárásokkal, ahol az inkubációs lépés akár több napot is igényelhet. Az eredménytől függően az érintett objektum(ok) rövid idő alatt kizárhatóak és fertőtleníthetőek. A biológiai módszerek megbízhatóságát elsősorban a tapasztalt szakemberek elérhetősége, valamint a műszeres eszközök rendelkezésre állása befolyásolja.

A Szentendrei-sziget parti szűrt vízbázisait 2003-ban érintő extrém aszály során a 20°C-t meghaladó Duna víz hőmérséklet és a 100 cm-t nem meghaladó Duna vízszintek együttes fennállása során megnőtt a mikrobiológiai kifogásoltságok mértéke a parti szűrt víz vonatkozásában. A kifogásoltság jellemzően coliform, enterococcus, *Clostridium perfringens* és *Pseudomonas aeruginosa* paraméterek kapcsán jelentkezett, az *Escherichia coli* és telepszám kifogások csak sporadikusan jelentkeztek a gyűjtőhálózaton. A jó fertőtlenítési gyakorlat – emelt klóradagolás – hatékonyan kezelte a problémát – a betáplálási és fogyasztói pontokon nem volt kifogásoltság detektálható.

Sprenger és kollégái 2014-ben [55] munkájuk során az indiai Yuma-folyó erősen szennyezett vizének tisztítási lehetőségeit vizsgálták, azt bizonyítandó, hogy a parti szűrés elég hatékony módszer-e a különböző mikrobák és vírusok eltávolítására. Humán adenovírusok és

norovirusok egyaránt megtalálhatóak a folyó vizében mintegy 105 genóm/100ml koncentrációban. A mintegy 50 m-es szakaszon parti szűrt víz, kb. 119 napos tartózkodási idő mellett kimutatási határ alatti eredményeket szolgáltatott. Eredményeik alapján már az 1 – 2,4 m és 2,4 – 3,8 m közötti tartományok is egyenként 0,7lg eltávolítási hatékonyságot eredményeztek a vizsgált szomatikus colifágok esetében – ezzel bizonyítva, hogy a parti szűrés alkalmas a mikrobiológiai szennyezések eltávolítására is.

Ugyanakkor, eddig nem sikerült direkt kapcsolatot találni a nyers kútvíz hőmérséklet és a vízminőségi kifogások tekintetében. A hőmérséklet változása azonban lokálisan a mikrobiológiai és a kémiai folyamatokra is bizonyítottan hatással van. Egyfelől, számos mikroorganizmus hőmérsékleti optimuma a 20°C vagy ahhoz közeli hőmérséklettartományban található, amely fokozza a mikroorganizmusok proliferációját. Másfelől, a redox folyamatok magasabb hőmérséklettartományokban gyorsabban játszódnak le, illetve magasabb hőmérsékleteken a klór emésztődés is intenzívebb, vagyis intenzívebb fertőtlenítésre van szükség, ami klórozási melléktermékek képződésének fokozott kockázatával hozható összefüggésbe.

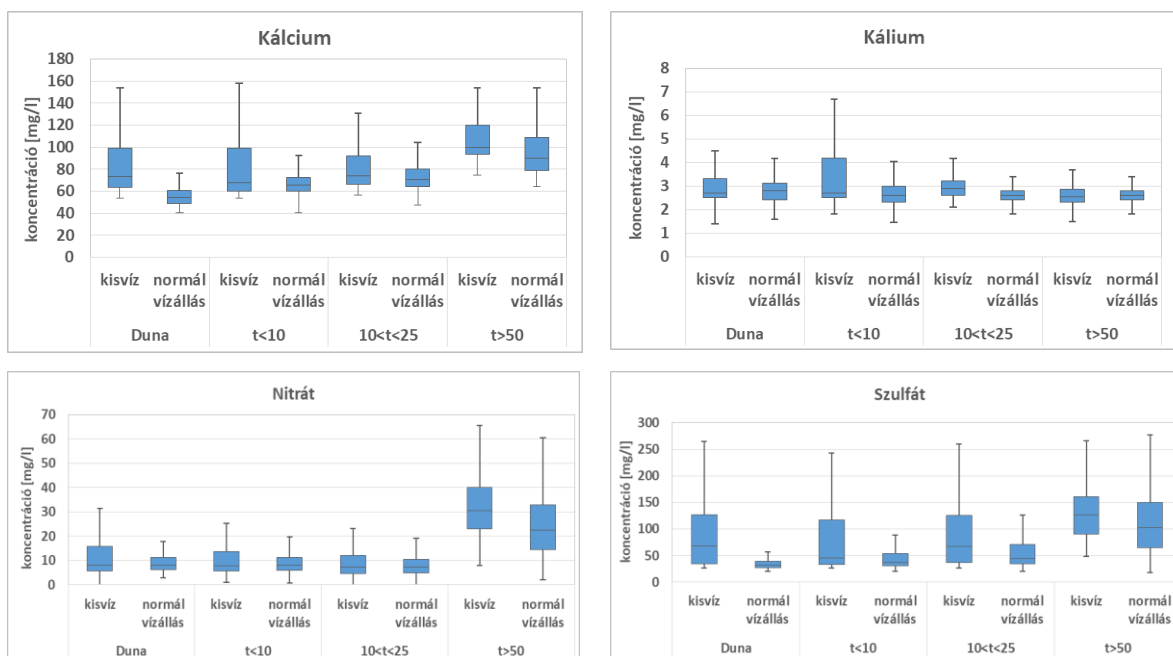
### **5.3. A Duna és a parti szűrt vízbázisok vízminőségi változásainak értékelése a 2006-2021 közötti időszakban**

A vízminőségi mutatók értékeléséhez a paramétereket csoportokba rendezve elemeztem, követve Nagy-Kovács et al [44] metodikáját.

#### **5.3.1. Fizikai paraméterek és ionok**

Mind a Duna, mind pedig a parti szűrt víz tekintetében az egyik legátfogóbb tanulmány a Budapesti vízbázisok tekintetében László B. *et al.* 2013-as tanulmánya [61]. A mintegy két évig tartó monitoring vizsgálatok során mind a Duna, mind pedig két parti szűrt kút vízminőségét rendszeresen mérték és elemezték több, mint húsz paraméterre. Eredményeik alapján a vizsgált ionok a Dunában megfigyelt ciklikusságot követték. A mért koncentrációk közel azonosak voltak a Dunában és a parti szűrt kutak esetében. Az összefüggés szorosabb volt a nitrát, klorid, nátrium, szulfát esetében, tél végi maximum értékekkel és nyári minimumokkal. A káliumion esetében is megfigyelhető volt bizonyos mértékű ciklikusság, azonban kevésbé volt szoros az összefüggés, valamint a koncentráció értékek a Duna - parti szűrt víz vonatkozásában mintegy fél éves eltolódást mutattak. A teljes rendszerre vonatkozóan rendelkezésre állnak a paraméterekre a jellemző mért értékek Nagy-Kovács *et al.* tanulmányában [44].

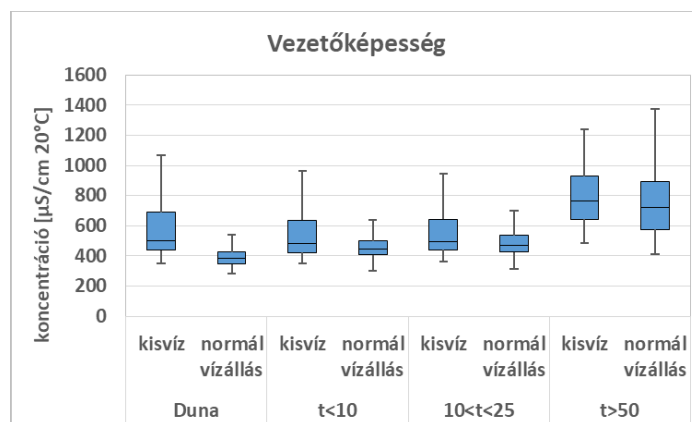
Az alábbiakban a teljes termelő terület minden kútjának eredményei kerülnek bemutatásra, az elérési időket alapul véve. (22 ábra) A kalciumion esetében az ionkoncentrációk alacsonyabb vízállások esetében megemelkednek, illetve az elérési idők függvényében is megfigyelhető egy emelkedő trend. A káliumion esetében a trend kiegyenlített, nem figyelhető meg lényegi változás, leszámítva a 10 napnál rövidebb elérési idejű kutakat, ahol magasabb kálium értékek figyelhetők meg. A nitrát ionok esetében szintén megállapítható, hogy a kisebb elérési idővel rendelkező kútcsoportok a Duna nitrátion koncentrációjával megegyező értékeket tartanak. Az 50 napnál magasabb elérési idejű kutak esetében a nitrát-koncentráció mintegy négyszer magasabb normál Duna vízszintek mellett, míg kisvíz esetében ez az arány akár hatszorosára is emelkedhet. Ennek legvalószínűbb oka a mezőgazdasági eredetű nitráatterhelés beszűrődése a talajvízbe, mely a magasabb elérési idővel rendelkező kutak esetében arányaiban magasabb, ezáltal hatásuk is nagyobb. A szulfátion esetében a kisvízi állapotok hatása jelentősebben mutatkozik meg, mind a Duna, mind pedig a parti szűrésű vizeket tekintve. A Dunához közelebbi kutak a Duna szulfátion koncentrációját tartják, akárcsak a nitrát esetében. Az elérési idők vonatkozásában az emelkedő trend azonban sokkal kifejezettebb. A háttér hatása ugyanúgy megfigyelhető, mint a nitrát esetében. Vagyis a szulfát koncentráció emelkedése függ az elérési időktől.



**22 ábra: A Duna és a parti szűrt vízben található ionok koncentráció változása**

A fajlagos elektromos vezetőképesség átlagos vízállás esetén a jellemző értékek 350-425  $\mu\text{S}/\text{cm}$  körül alak a Duna esetében, ez az érték kisvíz idején jellemzően a 440-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tartományba

tolódik fel. Normál vízállás esetén a vezetőképesség enyhe emelkedő trendet mutat az elérési idők tekintetében, mely az 50 napnál magasabb elérési idejű kutaknál kifejezettebb. (23 ábra) A kisvízállások hatása nem olyan hangsúlyos, mint a szulfát esetében [61].



**23 ábra: A fajlagos elektromos vezetőképesség változása a kisvíz állás, illetve az elérési idők függvényében**

Figyelembe véve az 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet által előírt, szolgáltatott ivóvízre vonatkozó határértékeket, a fent bemutatott ionkoncentrációk nem jelentenek ivóvízbiztonsági szempontból semmilyen kockázatot.

Összességében megállapítható, hogy az ionok koncentráció változása a Duna és a parti szűrt kutak esetében változó mértékben, de összefügg. A parti szűrésen jellemzően akadály nélkül, lényegi koncentráció változás nélkül áthaladnak. A Duna vízállása a szulfát esetében határozottan befolyásoló tényező. Az elérési idők hatása a szulfát és a nitrát esetében megfigyelhető, mely a kisvízi állással is összefüggést mutat. A vezetőképesség változása jellemzően a normál vízállások esetében tekinthető indikatívnak. A Dunától távolabb elhelyezkedő kutakban mért vezetőképesség változás nem hozható összefüggésbe a Duna vízállásával.

### 5.3.2. Redox folyamatokhoz köthető paraméterek

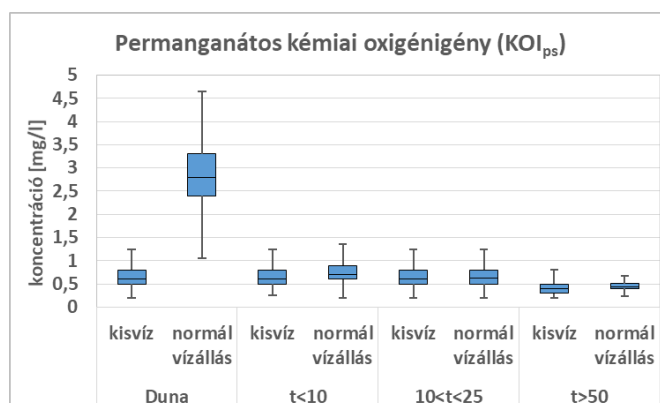
A parti szűrés során a Duna nyersvíz utánpótlódása biztosítja a sóderes kavicságy rétegeiben kialakuló biofilm tápanyag- és optimális esetben oxigén-utánpótlódását. A létrejövő lebontó folyamatok során szerves kötésben megtalálható szén atomok oxidációjával felszabaduló energia biztosítja a biofilm mikroorganizmusai számára az élethez szükséges energiát. Ezek a lebontó folyamatok azok, amelyek a Duna vizét tulajdonképpen ivóvízzé alakítják. A lebontásra kerülő szerves szén azonban vegyületek mátrixában helyezkedik el, vagyis mérése nem egzakt, számos közelítéssel próbálják meghatározni. A rendelkezésre álló mérési módszerek közül itt a

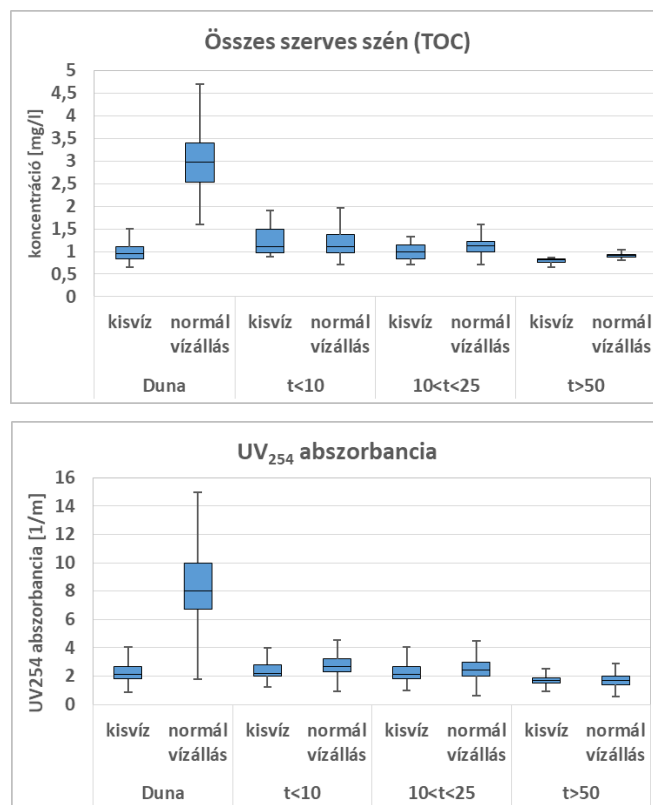


KOI<sub>ps</sub> (permanganátos kémiai oxigénigény), a TOC (összes szerves szén), illetve az UV254 abszorpció mértéke kerül kiértékelésre, mintegy bemutatva a parti szűrés szervesanyag eltávolításának hatékonyságát.

Szintén László B. *et al.* [61] tanulmánya vizsgálta a redox folyamatokhoz köthető fenti három paraméter változásait két parti szűrt kút esetében. A KOI tekintetében feltételezi, hogy a Duna KOI koncentrációja feltehetően a lebegőanyag-tartalommal tart összefüggést, a vízállás változás tekintetében azonban nem tudott egyértelműen összefüggést találni. A TOC mérések eredményei alapján megállapította, hogy a Duna ciklikus változást mutatott, mellyel jól korrelált a két vizsgált kútban megfigyelhető TOC koncentrációk változása is. Az eltávolítási hatékonyság az eredményei alapján 40-60%-ra tehetőek. Az UV 254 érték tekintetében a Duna esetében nem, de a kutakban mért eredmények alapján megállapítható volt ciklikusság, téli maximumokkal és őszi minimum értékekkel.

A minták eredményeit típusuk szerint külön vizsgálva, megállapítható, hogy a Duna esetében a kisvízi helyzetek során lényegesen alacsonyabb a folyóban található szervesanyag koncentráció. A kutak esetében lényeges különbség nem figyelhető meg, a koncentrációk kiegyenlítettek, 0,5 – 1 mg közötti értékeket tartanak. A nagyobb elérési idők esetén a koncentrációk enyhén alacsonyabbak, ez azonban az eltérő mintaszám miatt nem állapítható egyértelműen meg. Az elérési időket is figyelembe véve, a 24. ábra alapján látható, hogy a redox paraméterek esetében a parti szűrés mintegy hatodára csökkenti a KOI, TOC és UV254 értékeket a 120 – 620 cm vízszintek esetében. Kisvízi helyzet során az eleve alacsonyabb szervesanyag koncentráció nem csökken érdemben tovább a parti szűrés során.





24. ábra: KOI, TOC és UV<sub>254</sub> koncentrációk változása a vízállás és az elérési idők tekintetében

Figyelembe véve az 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet által előírt határértékeket, a fent bemutatott paraméterek nem jelentenek ivóvízbiztonsági szempontból semmilyen kockázatot.

*A fentieket összefoglalva, tehát megállapítható, hogy a folyó és a parti szűrt vízben található ionok koncentrációváltozásai hasonlóak. A Duna és a folyóhoz közelebbi kutak értékei között nincs számottevő különbség. A szulfát és a nitrát ionok esetében a háttérből beszivárgó talajvíz okoz jelentősebb eltérést a folyótól távolabb elhelyezkedő, hosszabb elérési idejű kutak esetében. A szervesanyag eltávolítás a parti szűrés során normál körülmények között 11-75% közötti eltávolítási hatékonyságot biztosít. Ez az eltávolítási hatékonyság a szervesanyag koncentrációjának csökkenésével arányos, kisvíz esetében a folyó alacsonyabb szervesanyag-koncentrációja közel megegyezik a kutakban mért értékekkel [61]. Figyelembe véve, hogy a parti szűrést követően más, a fenti elemzett vegyületekre és ionok ható egyéb vízkezelési technológiát nem alkalmaznak, ezért az 5/2023 Korm. rendelet szerinti értékek tekinthetők mérvadónak. Ezen rendeletben foglalt határértékek alapján a termelt víz minőség megfelelő.*

## **6. A VÁRHATÓ VÁLTOZÁSOK IVÓVÍZBIZTONSÁGI VONATKOZÁSAINAK ÖSSZEGZÉSE ÉS AZOK HATÁSMECHANIZMUSAINAK FELTÁRÁSA**

Ebben a fejezetben egyfelől célom annak bemutatása, hogy a klímaváltozás hogyan hat a felszíni vízfolyásokra, konkrétan a Duna folyóra. Továbbá annak ismertetése és összefoglalása, hogy ezek a trendek hogyan hatnak a parti szűrés folyamatára, mind a minőségi, mind a mennyiségi aspektusok bemutatásán keresztül.

A 2. fejezetben bemutattam, hogy a Duna éves átlagos vízszintje a vizsgált 1947-2021 közötti időszakban csökkenő trendet mutatott. A trend töréspontjai az alkalmazott statisztikai próbák alapján 1971, illetve 1983 évekre tehető. A trend meredeksége alapján a csökkenés évente mintegy 1cm-re tehető. Vagyis a folyó vízszintje lassú, kiegyenlített csökkenést mutat.

Az árvizes szélsőségek tekintetében elmondható, hogy 2002 és 2013 között négy harmadfokú árvíz is levonult a Dunán, de az azt követő időszakban egészen napjainkig nem volt szélsőségesen magas vízállás. Azonban ilyen hosszabb rövidebb árvízmentes időszakok korábban is előfordultak, például a 80-as években. Az árvizek lefolyását tekintve jelentős eltérést nem sikerült kimutatni, az egyetlen lényegesen különböző árvíz az 1965-ös volt. A z árvizes események az év adott időszakában, két valószínűbb periódusban terhelhetik a vízellátást (9. ábra). Vagyis, az árvízi helyzetekre úgy fel kell készülni, hogy az év tekintetében nem tudunk biztosat előre jelezni, de éven belül az árvíz eseménye valószínűbb kora tavasszal, illetve kora nyáron.

A kisvízzel terhelt vízjárások azonban egyre gyakrabban és sajnos egyre súlyosabb formában jelentkeznek (12. ábra). Itt is megállapítható, hogy a terület adottságai okán (klimatikus, hidrológiai) a kisvizes időszakok meghatározott időszakban tapasztalhatóak, jellemzően július végétől március végéig. Vagyis itt is éven belül jól megkülönböztethető az az időszak, amikor a kisvízi kockázatok relatíve magasabbak.

Az átlagos vízhőmérséklet elemzéséből megállapítható volt, hogy a Duna vízhőmérséklete emelkedett vizsgált 1947-2021 közötti időszakban. Az alkalmazott statisztikai próbák alapján a trendben szignifikáns változások a 90-es évek, illetve az ezredfordulóra tehetőek. A magasabb vízhőmérséklet emelkedés a nyári hónapokban figyelhető meg inkább (július, augusztus hónapokban) de a február és március hónapokban is jelentősnek tekinthetőek az eredmények.

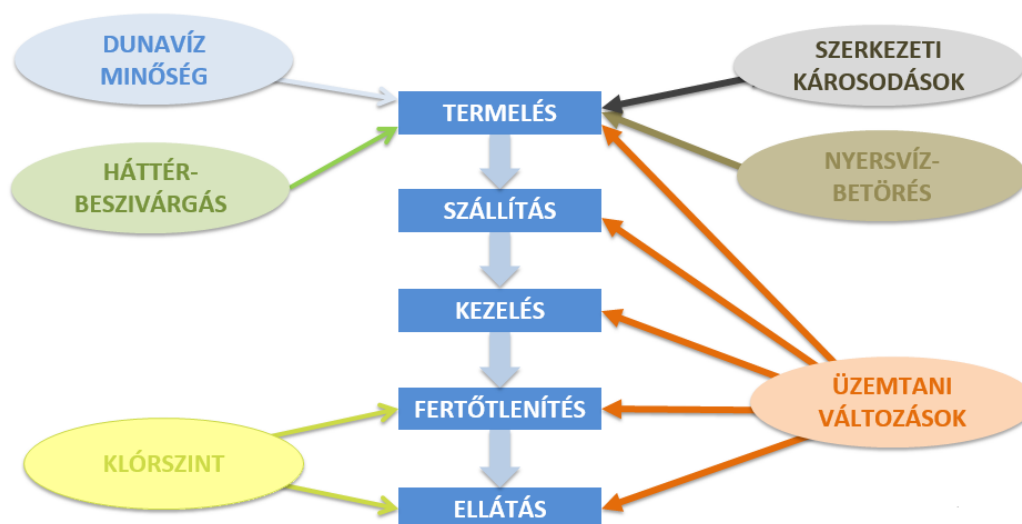
Tehát a víz felmelegedése a kora tavaszi és nyári időszakban tekinthető a legkritikusabbnak, de az év minden hónapjában, ha kisebb mértékben is, megfigyelhető.

Ahogy az korábban bemutatásra került, a klímaváltozás kapcsán kimutathatóak olyan változások, amelyek a vízbiztonsági kockázatok bekövetkezésének valószínűségét és/vagy súlyosságát növelik. Amit még fontos meglátni, hogy ezen kockázatok az éves ciklusokon belül eltérő módon változnak, vagyis vannak olyan időszakok éven belül, melyek kockázatosabbnak tekinthetőek, míg egyéb időszakokban a kockázat vagy kisebb valószínűséggel, vagy enyhébb formában jelentkezik csupán.

Fentiek fényében az alábbi fejezetben a bizonyított klimatikus hatások változásait és az ivóvízbiztonság kapcsolatrendszerét mutatom be.

### 6.1. Az ivóvízbiztonságra ható, a klímaváltozással kapcsolatos veszélyek

Az ivóvízbiztonságra ható, a klimatikus változásokkal kapcsolatba hozható főbb veszélyeket a 25. ábra mutatja be. Itt öt jól elkülöníthető lépéssel végig követhető a vízszolgáltatás, úgy, mint termelés, szállítás, kezelés, fertőtlenítés és ellátás. Ezt a szemléletet a HACCP folyamat alapú megközelítésére alapozott kockázatelemzéssel lehet legjobban bemutatni. A klimatikus hatások elsősorban, közvetlenül a termelésre hatnak. De tekintve, hogy a folyamat lépései egymásra épülnek, a teljes rendszer értékelése szükséges. Az alábbiakban ezeket a főbb veszélycsoportokat mutatom be a Duna vízszint illetve hőmérsékletváltozásainak tükrében.



25. ábra: Az ivóvízbiztonságra ható, klimatikus eredetű veszélycsoportok forrás: saját szerkesztés

### **6.1.1. Árvízzel kapcsolatos veszélyek bemutatása**

Az árvízzel kapcsolatba hozható veszélyek két külön szempontból csoportosíthatóak. Egyfelől, az árvíz lefolyása során kiemelt jelentőségű az infrastruktúra védelme: a termelőobjektumok és gyűjtővezetékek, valamint a villamoshálózat vonatkozásában is. Tekintve, hogy az árvíz a termelő objektumok sérülésekor a vízkivétel helyét, illetve annak továbbítását veszélyeztetheti, az áramkimaradások pedig a víz kiszivattyúzását és továbbítását korlátozzák. Ezen infrastruktúrák sérülése (akár kismértékű érintettség esetén is) tartós kapacitás-kieséshez vezethet.

Ezen túlmenően, magas vízállás esetén fennáll a veszélye annak, hogy a termelő objektumokba nyersvízbetörés során Duna víz kerül. Ez az esemény főleg azért jelent problémát, mert olyan dunai eredetű szennyeződések kerülhetnek a parti szűrt vízbe ekkor, amelyek normális üzemtani körülmények között a parti szűréssel eltávolításra kerülnek. Ezek a szennyeződések fizikai, kémiai, mikrobiológiai vagy biológiai eredetűek lehetnek. A nyersvíz betörést leghatékonyabban zavarosság-méréssel – hirtelen zavarosság emelkedést okoz a folyamat –, illetve mikroszkópos vizsgálattal lehet kimutatni. Ez utóbbi módszerrel a gyűjtő-elosztó rendszer távolabbi pontjain is kimutatható az esetleg szennyeződés hatása. A nyersvíz betörés elsősorban a kutakat és a szifonált rendszereket veszélyezteti. Ezért kiemelten fontos az árvízzel veszélyeztetett termelő területek megfelelő szintű védelme.

Az árvízi érintettség a termelő objektumok esetében tehát kettős veszélyt is hordoz. Tekintve, hogy az érintett objektumok esetében kizárás, fertőtlenítés és öblítés szükséges az újbóli üzembe helyezést megelőzően, minden ilyen esemény csökkenti a rendelkezésre álló víztermelő kapacitásokat. Másfelől, ha az árvízi érintettség komolyabb strukturális károkat okoz, az objektum kizárása tartósan csökkentheti a kitermelhető vízmennyiséget.

Másik fontos aspektus, hogy a parti szűrt rétegben pusztán a vízszint emelkedés okán, olyan talajrétegeken keresztül is beszivárgás indulhat meg a kúttest irányába, ahol a biológiai szűrést végző biofilm nem alakult ki. Ezért a termelt parti szűrt víz vízminőségi szempontból átmenetileg megváltozhat: magasabb oldott oxigén és szerves oldott szénkoncentráció figyelhető meg [56]. Közvetve mikrobiológiai proliferációt okozva. Ennek egyik lehetséges kiküszöbölésére a klór alapú fertőtlenítés alkalmazásakor a szabad aktív klórszint megemelésével a mikrobiális kifogásoltság kockázata csökkenthető. Azonban az oldott szerves szén koncentráció (DOC) emelkedése magasabb klóradagolás mellett felvetheti az AOX és THM képződés fokozott kockázatát. Tekintve, hogy a mikrobiológiai eredetű kockázat a vonatkozó magyar és európai uniós szabályozások szerint is kiemelt súlyosságú (fekális

szennyeződés esetében a termelt víz kifogásolt, nem ivóvíz minőségű) a fertőtlenítés optimalizálása mindenképp prioritás. Mindazonáltal a fertőtlenítés során kialakuló melléktermékek és azok egészségügyi hatásai jelenleg is kiemelten kutatott terület, számos hazai és nemzetközi projekt is vizsgálja.

Ismeretes továbbá, hogy az árvíznek egyéb, a vízminőséget érintő hatása is van. Egy intenzívebb árhullám jelentősen módosíthatja a folyómedret, a meder alján található kiülepedett hordalékot is eltávolítva. Tekintve, hogy ez a réteg a hyporheikus zóna része, mely a parti szűrés legintenzívebb folyamatainak a helyszíne, az árvízi események befolyásolják a parti szűrés folyamatait is, melyek hatása nem egyértelmű a jelenlegi irodalmi forrásokat tekintve.

Összességében tehát az árvízi kitettség egyfelől a vízminőség, másfelől az infrastruktúra érintettsége okán kapacitás-kieséshez vezethet. Amennyiben az árvíz nem csak az elöntés okán, hanem strukturálisan is hat, vagyis objektumok rongálódnak meg, az tartós kapacitás kieséshez is vezethet.

#### **6.1.2. Kisvízállással (aszállyal) közvetlenül összefüggésbe hozható azonosított veszélyek bemutatása**

Alacsony vízállás esetében a folyamatok összetettebbek. A parti szűrés során a folyó felől érkező parti szűrt víz mellett legfeljebb 50%-ban a háttér felől is érkezhetsz víz a kúttestbe. Ennek mértéke számos tényezőtől függ, de döntően befolyásolja a folyó vízállása. Egyfelől, az alacsony vízállás során a víztartó rétegből kiáramlás indul meg a folyó fele, ezáltal a háttér eredetű víz aránya megemelkedik a parti szűrt víz arányához képest a termelő objektumokban. Így a háttér eredetű szennyeződések koncentrációja és ezáltal a kockázatuk is emelkedik, mely a vízminőség tekintetében fontos. Súlyos esetben akár a kút kizárása is indokolt lehet, mely az elérhető kapacitást is csökkentik a termelési folyamatokban. Általánosságban elmondható, hogy a háttérből érkező víz rosszabb minőségű, mint a parti szűrt víz. Jellemzően a háttérben zajló tevékenységek által mezőgazdasági, ipari szennyeződések kerülhetnek az ivóvízbe. Ezért tekintjük a parti szűrt vízbázisokat minden esetben sérülékeny vízbázisnak.

Ennek hatékony megakadályozására szolgál az ivóvízbázisok védelmét szabályozó 123/1997. (VII. 18.) kormányrendelet [10] a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről.

Másfelől, alacsony vízállás esetében a kutak termelő kapacitása is csökken, mely a kitermelhető vízmennyiség miatt aggályos. Adott vízszinthez kapcsolódóan meghatározható az a depressziós szint, mely a kutak szerkezeti károsodása nélkül tartható. Ezt a szintet meghaladva mind a

kutak, mind pedig a vízáadó réteg károsodása megkezdődik. Ez a folyamat azért sem kívánatos, mert a kút szerkezeti sérüléseinek elhárítása költséges és nagy szakértelmet követelő eljárásokkal valósítható meg, másfelől a víztartó réteg helyreállítása nem kivitelezhető egyszerű és költséghatékony módon. Ezen túlmenően az alacsony vízállások esetén megfigyelhető megnövekedett zavarosság értékek a kút „homokolását” jelzik, mely a vízminőség romlásán túlmenően a kútszerkezet fokozott amortizációjához járulhat hozzá.

Harmadik fontos következmény a kisvízi állapot tekintetében, hogy a parti szűrést végző biológiai szűrőréteg elvékonyodik, mely a tartós alacsony vízállások mellett hosszabb idő alatt regenerálódik, ezért a folyó vízszintjének hirtelen emelkedése esetén átmeneti vízminőség romlás felléphet, hasonló okokból adódóan, mint amelyek az árvíz esetében is fennállnak.

Vagyis, alacsony vízállás esetében szükségszerűen csökken a kitermelhető kapacitás a parti szűrt vízbázisok esetében.

### **6.1.3. A hőmérsékletváltozás hatásai az ivóvízbiztonságra**

Mint az 3. fejezetben bemutatásra került, a Duna esetében az átlagos éves és havi vízhőmérsékletek egyaránt emelkedő trendet mutatnak a vizsgált 1947-2021 közötti időszakban. A hőmérsékletváltozás hatására a vízben lejátszódó változások a 4.1.1. fejezetben kerültek kifejtésre. Ezen folyamatok igen összetettek és közvetett módon a vízbiztonságra is hatással vannak. Elsősorban a szélsőségesen magas vízhőmérsékletek tekinthetőek kockázatosnak az ivóvízellátás szempontjából. Egyfelől, a magasabb hőmérséklet tartományokban fokozódik a mikrobiológiai proliferáció, mely a mikrobiológiai kifogásoltság kockázatát növeli. A telepszám emelkedés magasabb hőmérsékleti tartományok esetében kimutatható, azonban a klórozás segítségével hatékonyan kezelhető, nincs szükség módosított üzemállapotra sem.

A magasabb hőmérsékleti értékek összefüggést mutatnak a légköri hőmérséklet-értékekkel (15. ábra), amikor a fokozott lakossági vízfogyasztás is megfigyelhető, jellemzően a nyári „csúcsideszakban”. Ekkor a vízmennyiség válhat kritikussá, nem is feltétlenül a termelés korlátosságából, hanem az elosztóhálózat kapacitásainak méretezése okán.

### **6.1.4. Azonosított kockázatok egymásra hatása**

Megállapítható tehát, hogy a parti szűrés folyamata során olyan törekeny egyensúly mentén valósul meg a víztisztítás, melyre a klimatikus változások mind mennyiségi mind minőségi vonatkozásokban kockázatot jelenthetnek, ezzel befolyásolva az ivóvízbiztonság mértékét. Ezen kockázatok külön-külön az előző fejezetben bemutatásra kerültek. Azonban összevetve a

11., 13., és 21. ábrákat, megállapítható, hogy ezen kockázatok együttesen jelentkeznek, ezáltal fokozva egymás hatását (26. ábra).

hónapok	január				február				március					április				május					június			
hetek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
kisvíz vízszintek	2	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
kisvíz napok	1	1																								
árvíz	1	2	1			2	1	1		2	2	2	2	3	2	2	2						1	2	2	3
magas vízhőmérséklet																							1	1	2	3
összesítve	4	6	4	1	2	3	2	2	1	3	3	3	3	4	2	2	2	0	0	1	3	3	5	6	5	6

hónapok	július				augusztus					szeptember					október					november				december			
hetek	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
kisvíz vízszintek			1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	
kisvíz napok																1	1	1	1	1	1			1		1	
árvíz	2	2	3	2	2	2	3	3	1		1												1	1	1		
magas vízhőmérséklet	3	3	3	3	3	4	3	3	2	2	1	1															
összesítve	5	5	7	6	6	7	7	8	5	3	4	2	1	2	2	4	4	3	3	3	4	3	3	4	2	3	

3	50 cm alatti nap
2	70 cm alatti nap
1	120 cm alatti nap

3	800 cm feletti nap
2	700 cm feletti nap
1	620 cm feletti nap

1	23 °C feletti hőmérséklet
2	24 °C feletti hőmérséklet

3	25 °C feletti hőmérséklet
4	26 °C feletti hőmérséklet

## 26. ábra: A vizsgált vízbiztonsági kockázatok összesítése idősoros vonatkozásban forrás: saját szerkesztés

A legsúlyosabb kisvízi helyzet jellemzően októberben, illetve januárban figyelhető meg. Az árvizek két hullámban jelentkeznek, egyfelől tél végétől tavasz közepéig, másodsorban május közepétől nyár végéig. Az árvizek szempontjából a legkritikusabbnak a júniusi hónap tekinthető. A Duna vízhőmérséklete május közepétől szeptember közepéig tekinthető kockázatosabbnak, a legkritikusabb időszak a július közepétől augusztus végéig terjedő időszak. Mindhárom kockázati tényezőt figyelembe véve az augusztusi hónap az, ahol a vízbiztonság szempontjából a legnagyobb mértékű kockázat volt azonosítható a vizsgált időszakokban.

Az azonosított kockázati besorolásokat a korábban meghatározott kategóriák alapján vettem számításba, mely alapján a súlyosságokat összeadva meghatároztam az összesített kockázatot.

Ez a veszélyelemzés szempontjából egy új értékelési szempont. Jelenleg a kockázatelemzés során a bekövetkezés súlyosságát, illetve valószínűségét időben konstansnak tekintik. Ugyanakkor egyértelműen megállapítható, hogy éven belül a kockázatok jelentős mértékben eltérhetnek egymástól. (26. ábra) Az április végi-május eleji időszak például nem tekinthető kockázatosnak a fenti hatások tekintetében, ami például nagyobb karbantartási vagy beruházási feladatok elvégzéséhez mindenképp optimális időzítésnek tekinthető például.



*Összefoglalva a fenti kockázatokat, a megfelelő jó gyakorlat és az üzemeltetett robosztus rendszer biztosítja a szükséges ivóvizet mind mennyiségi, mind minőségi szempontból. A parti szűrés folyamatára hatnak természetesen a külső körülmények, azonban a Duna adottságai, illetve a parti szűrési rendszer hidrogeológiai jellemzői valamint a rendszerben jelenleg rendelkezésre álló tartalék kapacitások képesek biztosítani a szükséges ivóvizet a főváros lakosságának akár szélsőséges körülmények között is.*

## 7. A VÍZFOGYASZTÁS FORMÁI ÉS A VÍZDÍJ HATÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE

### 7.1. A víz felhasználási módjai

A világ vízigényének pontos meghatározása máig komoly kihívás. A Világbank új módszert dolgozott ki, hogy meghatározhatóvá tegye a víz legfőbb felhasználási formáit. Egyik tanulmányuk a kiterjesztett vízi kapcsolatrendszer (expanded water nexus) megalkotásával négy fő szereplőt – vízfelhasználót – állapított meg, mint a társadalom, az ipar, a mezőgazdaság és az ökoszisztémák [24]. A négy szereplőből két esetben igen erős profit orientáció érvényesül – kevésbé meghatározó a közös érdek képviselője –, a negyedik, az ökoszisztémák, mint szenvedő fél jelenik meg: „*ami és amilyen állapotban jut alapon*”.

Elképzelésük szerint az elkövetkező három évtizedben a Föld lakóinak élelmiszer-ellátásához 40-50%-kal több ivóvízre lesz szükség, a lakossági és ipari felhasználás várhatóan 50-70%-kal fog megemelkedni, míg az energiaszektorra vonatkozó előrejelzések 85%-os robbanásszerű változást prognosztizálnak. Az élő környezet számára hozzáférhető vízkészlet ebből adódóan egyre csökken és a környezetszennyezés mértékét tekintve a minőség is egyre rosszabb lesz a jövőben [24].

#### 7.1.1. Az élelmiszerellátás kihívásai

2050-re a Föld lakossága az előrejelzések szerint eléri a 9 milliárd főt. Ennyi ember élelmiszerszükségletének fenntartható módon történő biztosítása az egyik legnagyobb kihívás napjainkban. A mezőgazdaság már jelenleg is a teljes vízfogyasztás mintegy 70%-át teszi ki [24]. A Föld számos területén már nincs, vagy nagyon korlátozott mértékben érhető el felszíni vízforrás. Ezzel párhuzamosan a talajvíz-kitermelés jelentős mértékben megnőtt, annak ellenére, hogy a szivattyúzás több energiát igényel, mint a felszíni vízzel történő öntözés. India esetében ez a teljes széndioxid kibocsátás mintegy 4-6%-át jelenti évente. Ehhez még hozzáadódik a műtrágyák használata, melynek következményeként a fejlett régiók talajvízeinek foszfor és nitrogén koncentrációja számos esetben meghaladja a biztonságosnak ítélt koncentrációszinthez [24].

#### 7.1.2. Elvárosiasodás és klímaváltozás

A világ lakosságának több, mint fele városokban él, itt termelődik meg a világ GDP-jének 80%-a. A világban ez a DGP termelő koncentráció trendje várhatóan csak egyre erősödni fog: azon városokban, ahol az elmúlt évtizedekben robbanásszerű népességnövekedés volt megfigyelhető, várhatóan 50-70%-kal fog megemelkedni a vízigény a következő harminc

évben. Mindezek mellett, a világon négy városból egyben probléma a vízhiány. A klímaváltozás miatt a nagyobb árvizek, aszályok, hőség hullámok és az egyre emelkedő tengervízszint mind az ivóvízbiztonság ellen hatnak. Ezáltal közvetlenül zavarva ezen városok gazdasági működését. Jakartában 2007-ben a város területének 25%-át érintette egy nagyobb árvízi elöntés, mely mintegy 900 millió dolláros kárt okozott. És nem csak a helyzet rossz, de a trend is. Az elmúlt 100 évben a tengerszint legalább 60 cm-rel emelkedett, ezzel várhatóan Jakarta mintegy harmada – a teljes északi terület - húsz éven belül 4-5 méterrel lesz a tenger szintje alatt [24]. Ehhez hozzájárul még a kontrollálatlan talajvíz-kitermelés a sűrűn lakott területeken, amely a talajszint süllyedését okozva tovább súlyosbítja a helyzetet.

Mindazonáltal, fontos azt is meglátni, hogy az ivóvíz-szolgáltatás – sőt, tulajdonképpen a szanitáció maga – gazdaságilag könnyebben kialakítható és fenntarthatóbb is, ha sűrűbben lakott területek ellátását kell biztosítani.

A távoli, ritkán lakott településeken történő szolgáltatás nem csak üzemeltetési, de gazdasági szempontból is sokkal több kihívást tartogat.

#### **7.1.3. Energiaigény és vízszükséglet**

A megújuló, illetve alternatív energia kiaknázása meglepően vízigenyes, mely határozott következményekkel jár a jövőbeni vízigenyek tekintetében. A legnagyobb vízigenyt a napenergia-szektor támasztja, mint fogyasztó. Ha a vízszükségletet is figyelembe vesszük, a szélturbinák alkalmazása az optimális alternatív energiát termelő lehetőség [24]. A tengervíz fordított ozmózison alapuló sótalánítása nem megtérülő vállalkozás, ha a megtisztított víz hozzáadott értéke nem kiemelkedő. Sajnos, ezzel előrevetítve, a sótalánítási eljárások alkalmazása jelenleg csak indokolt, gazdaságilag megtérülő beruházások esetében valósulhat meg.

#### **7.1.4. A környezet vízszükséglete**

Környezetünk az utolsó a sorban: bár az ökoszisztémák fenntartásához is nélkülözhetetlen a víz, itt csak a „maradék” oszlik el, gyakran sajnos csak kifogásolható minőségben. Becslések szerint az elérhető teljes vízkészlet 20-50%-át kellene a minket is szolgáló természeti rendszerek, mint amilyen a parti szűrés folyamata is, fenntartására fordítanunk. Azonban a klímaváltozás hatásait figyelembe véve, még ez az arány is kevésnek bizonyul. Mindezek mellett nagy kihívás megállapítani a környezet vízigenyét, tekintve, hogy minden vízgyűjtő egyedi igényekkel és földrajzi adottságokkal rendelkezik. Ausztráliában már rendelkezésre áll

jó kezdeményezés a környezeti igények és azok védelmére, mely, hacsak részben is, de hatékony eszközzé válhat a környezetet ért káros hatások csökkentésére [24].

## **7.2. A víz közgazdasági vonatkozásai**

Ahhoz, hogy a vízdíj fogalmáig és az „árazásig” eljuthassunk, először a víz, valamint az ivóvíz közgazdasági vonatkozásait szükséges végig venni. A víz közgazdasági szempontból mint természeti erőforrás igen kivételes kategóriába tartozik, mert nélkülözhetetlen, de egyben mindenhol megtalálható valamilyen formában. Ezen kettősége és mivel mindig is fontos szerepet töltött be az emberi történelemben és ezáltal a gazdaságban is, a víz, mint jószág a közgazdaságtan szemléletmódját is jelentősen formálta.

Ward és Michelsen eredetileg úgy tartották, hogy a víz értéke a piaci értékével képezhető le legpontosabban, amilyen hasznot hoz egy adott felhasználási mód során, olyan árat kell érte fizetni [62]. Ezt a szemléletet később Maler elmélete váltotta fel, akinek sikerült bizonyítania, hogy a természet valójában egy közjószág, ennek megfelelően a víz is az, s mint ilyen, pusztán léte okozhat a „fogyasztóinak” örömet vagy hasznot [63]. Maler szerint bármit tekinthetünk jószágnak, mely felhasználójának hasznot hajt.

Az 1992-es Nemzetközi Víz és Környezet Konferencián meghatározásra került a négy Dublin-i elv, melyek közül az egyik szerint a víz gazdasági értékkel bír minden egyes felhasználási módja esetén, ezáltal pedig gazdasági jószággá kell rá tekinteni [64]. Mindazonáltal a víz különleges árucikknek tekinthető, ha figyelembe vesszük széles körű gazdasági felhasználási módjait.

A víz ugyanis lehet közjószág és gazdasági jószág is. Mint közjószág, jogi helyzete már a Római jogban is konkrétan definiálásra került, mint mindenki számára elérhető jószág (*res communis omnium*), melyet nem lehet birtokolni, csupán használni [65].

Mindazonáltal, a víz mobilitása, használata és újra használata jelentősen komplikálja gazdasági értelmezhetőségét. Ezért is lenne nagyon fontos, hogy internalizálni tudjuk ezen tulajdonságaiból adódó externáliákat. Sőt, ezen túlmenően egyenetlen eloszlása és elérhetősége is jelentősen befolyásolja értékét – akár relatíve kis távolságok esetén, vagy különböző évszakok idején. A téma összetettsége átvezet a fenntartható fejlődés gondolkörébe. Az értekezés készítésekor nem volt céлом ennek feltárása.

Közjószág minden olyan jószág, amelynek fogyasztásából más fogyasztók nem zárhatók ki, de azok fogyasztása nem is zavarja a többi fogyasztó szükségleteit, valamint nincs versengés a

fogyasztók között a jószághoz való hozzáférésben. Az elnevezés onnan származik, hogy a közjóságokat rendszerint közpénzből finanszírozzák, hiszen gyümölcseiket mindenki élvezheti. Egy másik megközelítés szerint a közjavakat azért biztosítják közpénzekből, mert finanszírozhatóságuk piaci körülmények között nem biztosítható [66]. Lényeges látni, hogy a közjóságok előállítására és jó minőségének megtartására tehát mindazok érdeke, akik fogyasztják. Azonban megfigyelhető, hogy ezen jószágok használatát gyakran az opportunisták magatartása jellemzi, csak a hasznait élvezi egy adott fél, a jószággal kapcsolatos szabályokat és költségeket azonban nem vállalja.

A közlegelők tragédiáját Garrett Hardin 1968-ban a Science-ben megjelent cikkében fogalmazta meg [67]. A Garrett által felállított modell szerint a közjavak természetükből adódóan szabad utat adnak az önző viselkedési formák megnyilvánulásainak. Garrett modelljében - a kiindulási esetet leszámítva - már nem beszélhetünk a Rosen féle meghatározás szerinti közjóságról, ugyanis nem teljesül a többi fogyasztó szükségleteinek maradéktalan kielégítése. Sőt, előrevetíti, hogy szélsőséges esetben a közjóság szűkössége folytán, illetve a dezertőrök számának növekedése miatt, akár a Thomas Malthus-i katasztrófa lehetősége is felmerül [68].

Ha a fenti forgatókönyvet a vízre vonatkoztatjuk, nagyon hasonló párhuzamot tudunk levonni következtetésként. A helyzetet tovább súlyosbítja, hogy a víz egy olyan nélkülözhetetlen közjóság (essential economic good), mely nélkül nem csak az emberi, de bármilyen földi élet elképzelhetetlen. Elérhetősége ezáltal a teljes földi ökoszisztémát befolyásolja a gazdaságunkon túl.

### **7.3. A szükséges vízmennyiség**

A vízlábnyom (water footprint) fogalmát Arjen Hoekstra vezette be 2002-ben [69]. A vízlábnyom az emberiség által elfogyasztott és/vagy szennyezett vízmennyiségben kifejezett édesvíz mennyiségének mértéke. A fogalom bevezetésének egyik célja az volt, hogy országok, cégek, de akár egyéni fogyasztók is meg tudjanak válaszolni olyan kérdéseket, mint például „*Mennyire szennyezem a vízkészleteket fogyasztásommal?*”, illetve „*Adott termék gyártása során mely lépések a legkritikusabbak a víz elérhetősége szempontjából?*” Így egy sokkal integráltabb szemléletet biztosít azok számára, akik szeretnék életmódjukat vagy az általuk üzemeltetett technológiát részletesebben értelmezni abból a szempontból, hogy az milyen hatással van a Föld vízkincsére.

Jelen dolgozat a lakossági fogyasztók ivóvíz felhasználására fókuszál, tekintve, hogy az eddig bemutatott szerteágazó felhasználási módok részletes bemutatása túlmutat egy disszertáció keretein.

A WHO részletes vizsgálatai alapján megállapítható, hogy azon háztartások, melyek számára könnyen hozzáférhető a jó minőségű és kellő mennyiségű víz, szignifikánsan jobb általános egészségnek örvendenek, mint azon háztartások, melyek esetében a vízforrás messzebb található. A vízfogyasztás mértékét annak elérhetősége (megtett távolság és szükséges idő), a szolgáltatás megbízhatósága, valamint költsége határozza meg [70]. Az első három meghatározó szempont, valamint a jellemző vízfelhasználás kapcsolata azt mutatja, hogy az elfogyasztott víz mennyisége és a fogyasztók egészségi állapota között összefüggés van. A WHO optimális esetben 100 l/fő/napban határozza meg a szükséges vízmennyiséget. (15. táblázat)

Otthoni hozzáférés szintje és a jellemző vízfelhasználás mértéke *	Vízvétel helye	Egészségügyi szükségletek kielégítése	Egészségügyi kockázat**
Nem megfelelő hozzáférés (a hozzáférhető vízmennyiség 5,3l/nap alatt lehet)	több, mint 1000m vagy 30 percnél hosszabb idő alatt érhető el	ivás - nem biztosított főzés - nem biztosított higiénia - otthon nem biztosított***; ételmeiszerhigiénia sérült, kéz- és arcmosás talán biztosított, fürdés és mosás otthon nem biztosított	Nagyon magas
Alapszintű hozzáférés (az átlagos mennyiség valószerűtlen, hogy meghaladja)	100-1000m távolságra vagy 5-30 perc alatt elérhető	ivás - biztosított (kellene, hogy legyen) főzés - biztosított (kellene, hogy legyen) higiénia - otthoni ételmeiszerhigiénia, kéz- és arcmosás biztosított kellene hogy legyen, fürdés és mosás otthon nem biztosított, de a vízvételi helynél valószínűleg biztosítható	Magas
Középes hozzáférés (az átlagos mennyiség 50l/nap körüli)	víz hozzáférése egy csapon biztosított, vagy 100m-nél kevesebb távolságra vagy 5 percnél kevesebb idő alatt elérhető	ivás - biztosított (kellene, hogy legyen) főzés - biztosított (kellene, hogy legyen) higiénia - otthoni ételmeiszerhigiénia, kéz- és arcmosás biztosított kellene hogy legyen, fürdés és mosás otthon nem biztosított, de a vízvételi helynél valószínűleg biztosítható	Középes
Optimális hozzáférés (az átlagos vízmennyiség több, mint 100l/nap****)	víz hozzáférés több csapon, folyamatosan biztosított	ivás - minden igény biztosított főzés - minden igény biztosított higiénia - otthon nem biztosított az ételmeiszerhigiénia, kéz- és arcmosás valamint a fürdés és mosás biztosított, takarítás elvégezhető	Alacsony

\* a vízmennyiség kisebb lehet, amennyiben a rendelkezésreállítás nem folyamatos, megfelelő vagy túl drága rendelkezésreállításától

\*\*\* alkoholos kézfertőtlenítők segíthetnek a higiénias állapotban

\*\*\*\* <http://www.waterstatistics.org/graph/18> alapján

### 15. táblázat: A háztartási vízfogyasztás és a rá ható főbb tényezők [66]

A Brett által az alábbi főbb vízfogyasztási formák különbözethetők meg a lakossági fogyasztók esetében: WC használat, vízcsapon történő vízvétel, tusolás, fürdés, mosás, csőtörés, mosogatógép és egyéb felhasználási módok [71].

2017-ben az Európai Unióban a lakosság átlagos napi vízfogyasztása 147 l/fő/nap volt, a szélső értékek 61-243 l/fő/nap között alakultak. Jellemzően 100-150 l/fő/nap közötti a fogyasztás, mely nem hozható direkt összefüggésbe a vízszolgáltatás költségeivel. Még annak tükrében sem, ha az adott országok vásárlóerejét is figyelembe vesszük. A nyugat-európai és dél-európai országokban a vízfogyasztás 120 l/fő/nap vagy ennél magasabb érték (27. ábra). A közép-kelet európai országokban azonban nem haladja meg a 100 l/fő/nap értéket [72].

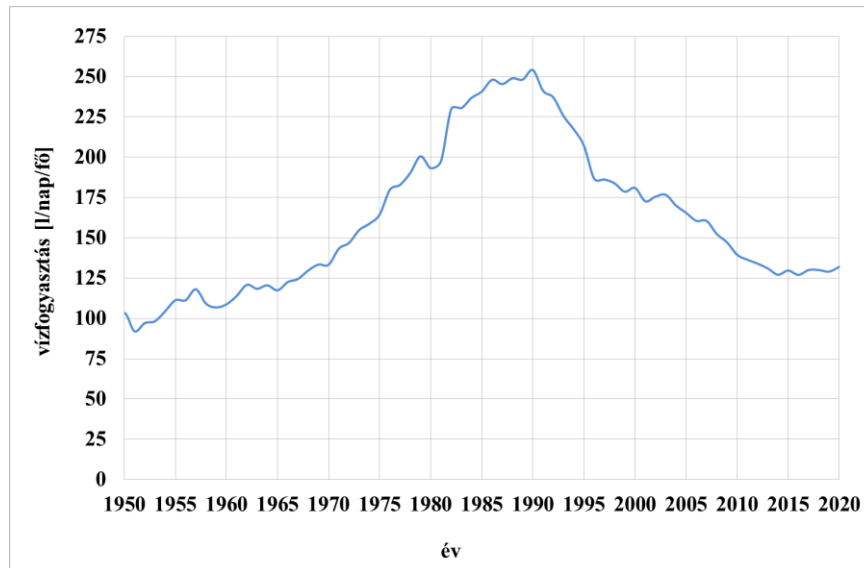


**27. ábra: Az Európai Unió egy főre jutó napi vízfogyasztási adatai – 2017-es adatok, literben [67]**

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai alapján a háztartási gépek fejlesztéseinek köszönhetően a háztartási vízfogyasztás mintegy 16%-kal csökkent az Európai Gazdasági Térség országaiban, miközben a lakosság lélekszáma körülbelül 11%-kal emelkedett az elmúlt három évtizedben. Nyugat-Európában 1990-ben átlagosan 194 l/fő/nap volt a fogyasztás, mely 152 l/fő/napra csökkent 2017-re [73].

Vagyis, bár időben egyértelműen látszik szignifikáns csökkenés a vízfogyasztásban, jól megfigyelhető egy területi különbség az európai országok esetében, melynek úgy történelmi, mint inkább gazdasági okai egyaránt lehetnek.

Magyar vonatkozásban megállapítható, hogy a vidéki vízfogyasztás jellemzően alacsonyabb, mint a városi, kiemelten pedig a fővárosi vízfogyasztás mértéke.



**28. ábra: Egy főre eső napi vízfogyasztás Budapesten 1949-2019 között [74]**

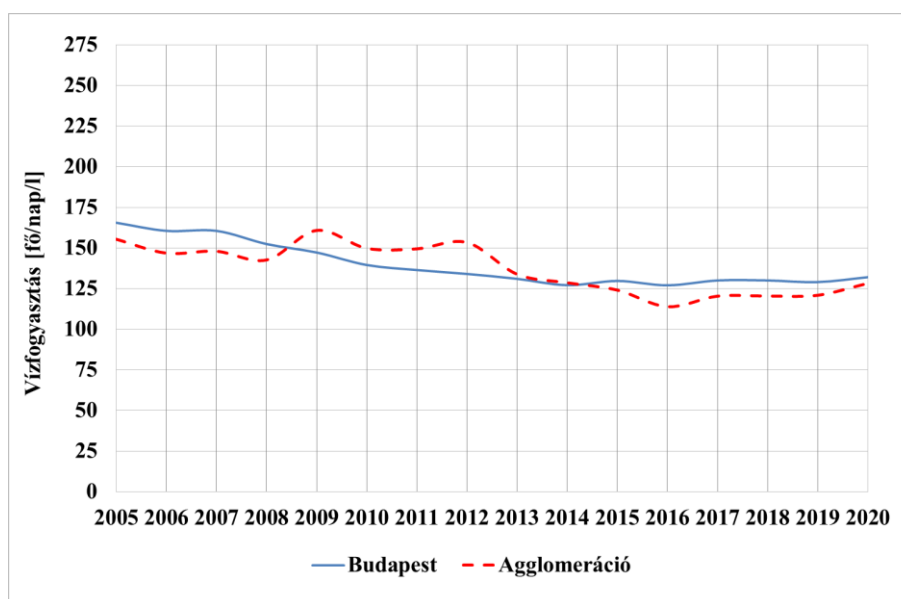
A fővárosi vízfogyasztási adatok 1949-től állnak rendelkezésemre (28. ábra). Ezen adatok alapján megállapítható, hogy:

- Már az 1950-es években a higiéniai igényeket kielégítő mennyiségben – több, mint 50 fő/nap/l – rendelkezésre állt ivóvíz a lakosság számára, közelítőleg 100 l/nap/fő fogyasztási szinttel
- Ez a fogyasztási szint 1990 körül, 254 l/fő/nap fogyasztással tetőzött, ezalatt a negyven év alatt folyamatos emelkedő trend figyelhető meg, amikor a vízdíj állami támogatás keretében nem a fogyasztók általi direkt befizetésekből került kiegyenlítésre, hanem a központi költségvetésből, illetve, amikor a vezetékes ivóvízhálózat a főváros külsőbb kerületeiben is kialakításra került
- 1990-ben a vízdíj bevezetésével a vízfogyasztás gyorsütemű csökkenése figyelhető meg, egyfelől az árérzékenység, másfelől a modern, víztakarékos háztartási gépek megjelenése és elterjedése miatt
- a vízfogyasztás csökkenő trendje 2014-re megállt, azóta közel azonos szintet tart, mintegy 130 fő/nap/l értéken. Érdekes megfigyelni, hogy ez az érték inkább a nyugat-európai országok fogyasztásának feleltethető meg, nem pedig az átlagos magyarországi vízfogyasztási értékeknek. A vízdíj 2013 óta változatlan, mely szintén befolyásolja a fogyasztás mértékét mely összhangban van a WHO által korábban bemutatott eredményekkel [70].



A főváros agglomerációs területein is közel azonos értékek adódnak (29. ábra). Ebből arra lehet következtetni, hogy ezen a területen él az ország lakosságának közel 30%-a, ezért az ország többi fogyasztója biztos, hogy kevesebb, mint 92 l/fő/nap hálózati vizet fogyaszt.

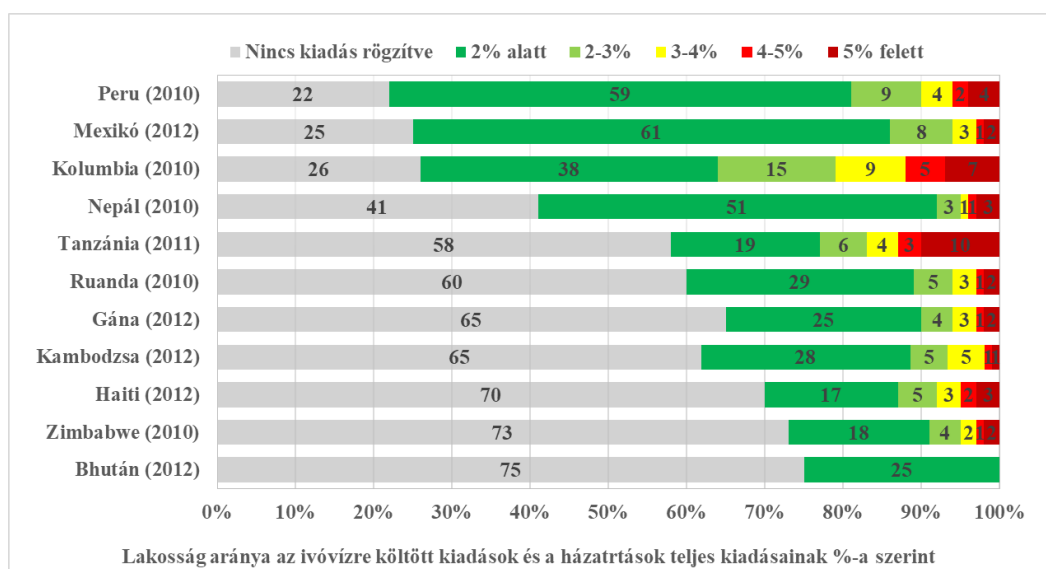
Érdekes megfigyelni ugyanakkor, hogy az agglomerációs területeken magasabb vízfogyasztás is akár indokolt lehetne, tekintve, hogy ezek a területek jellemzően kertes házas övezetek, ahol a kerti locsolás lényegesen megemelhethé a fogyasztott víz mennyiségét. Ez azonban a fenti adatok tükrében nem mutatható ki.



**29. ábra: Napi vízfogyasztás a Fővárosi Vízművek szolgáltatási területein a fővárosban és agglomerációban (2005-2020) [69]**

#### 7.4. A vízdíj és a fogyasztásra gyakorolt hatása

A víz definíció szerint az egyik legalapvetőbb élelmiszerünk. Hoekstra szerint „*bármit is gyártunk, ahhoz vízre szükség van*”, ha más miatt nem, a higiénia állapotok biztosítása végett [69]. A víz nem is annyira a mennyiségi, sokkal inkább a minőségi elvárások, illetve a hozzáférhetőség tekintetében kritikus. Ezen érvelés mentén fontos megvizsgálnunk mekkora hajlandóság mutatkozik a lakosságban a biztonságos és elérhető ivóvíz megfizetésére. A Világbank ezt a jellegzetes magatartási mintát is vizsgálta. Azt találta, hogy az elfogadható vízdíj háztartásonként az összevételek 3-5%-a közötti tartományban található [75,76]. Ugyanakkor, ha a vízellátás nem központosított, a vízre fordítandó költségek ezt a tartományt meghaladják, jellemzően a szegényebb, fejlődő országokban (30. ábra).



**30. ábra: Az ivóvíz költsége a háztartások teljes kiadásának arányában [77]**

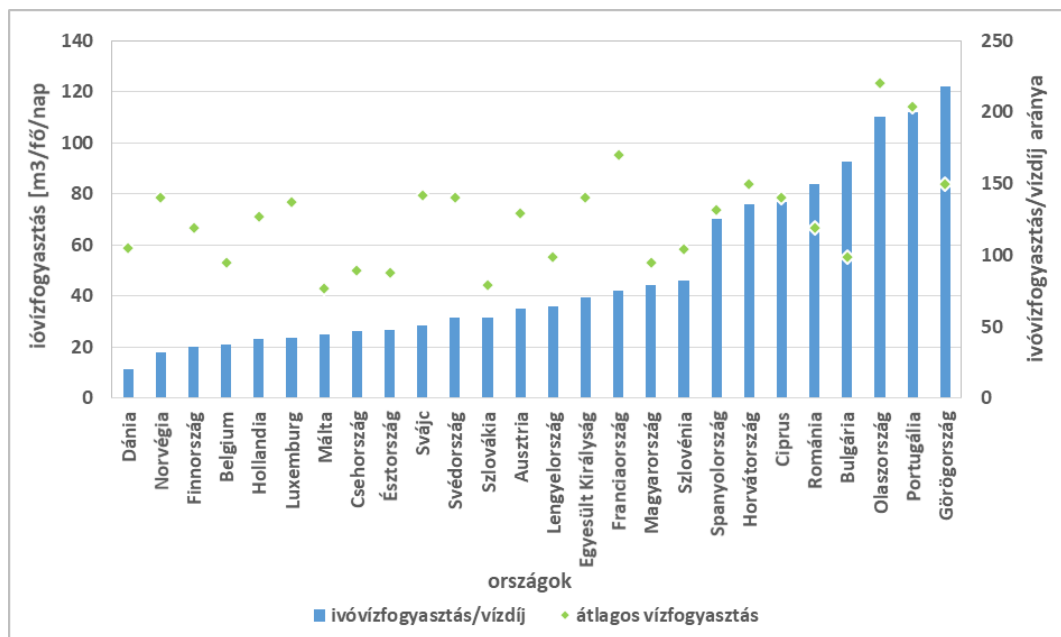
A hozzáférés hiánya okán aránytalan és sokszor méltánytalan időráfordítást követel a víz biztosítása, rendszerint a társadalom női tagjai részéről, gyakran nem csak az iskoláztatást hátráltatva, hanem biztonságukat, sőt akár életüket is veszélyeztetve [77].

Felmerül a kérdés, hogy mindezek mellett, a lakosság mennyire értékeli a vezetékes ivóvízellátást? A Világbank kutatási eredményei alapján kijelenthető, hogy a lakosság számára fontosabb az áramellátás biztosítása és többet is hajlandóak érte fizetni [78]. Mégis, megfigyelhető, hogy ahol a biztonságos ivóvízhez való hozzáférés akadályokba ütközik, ott a lakosság aránytalanul többet is hajlandó fizetni a vízszolgáltatásért, a minimális higiéniai igények kielégítésének szintjéig.

Ugyanakkor, Michigan államban (az USA-ban) az emelkedő víziközmű-szolgáltatási költségek kifizetésekor megfigyelték, hogy a vízdíj rendezése problémát jelent a szegényebb közösségek esetében. Az 1980-as 1,6%-os szintről 6,7%-ra emelkedett 2018-ra azoknak a száma, akik 5%-nál többet költenek éves bevételeikből a közműszolgáltatás kiegyenlítésére, ez az arány pedig egyértelműen meghaladta azt a határt, amit a társadalom szegényebb rétegei gond nélkül ki tudnak fizetni a szolgáltatásra [79]. A Világbank által végzett kutatások is azt támasztják alá, hogy a vízdíj-fizetés szempontjából fontos a társadalmi rétegek között különbséget tenni, ezáltal támogatva a megfizethetőséget, illetve a szolgáltatás megtérülésének elvét [80].

Elmondható, hogy a vízdíj – Írországot leszámítva, ahol 2017 óta nem kell a szolgáltatásért fizetni – 1~9 €/m<sup>3</sup> között változik. Magyar vonatkozásban a 2€-s költség az alsó harmadban található. Érdekes megfigyelni, hogy a jellemzően melegebb, mediterrán klímájú országok

többségének esetében a vízdíj alacsonyabb, mint a magyar ár, pedig az életszínvonal ezekben az országokban magasabb, mint hazánkban (31. ábra) [79].



**31. ábra: Európai háztartások vízfogyasztása [nap/fő/l] és az átlagos vízdíj aránya [€/m³] [80]**

A 2011. évi CCIX. törvény kimondja, hogy a költségmegtérülés elvén alapulva a víziközműszolgáltatás igénybevételéért fizetendő díjban a víziközmű működtetésével kapcsolatos indokolt költségeknek meg kell térülniük. A vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról szóló, 2000. október 23-i 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv 9. cikkének rendelkezéseivel összhangban [81].

Összefoglalva, megállapítható, hogy:

- a vízszolgáltatás költségeit valamilyen módon vagy a fogyasztóknak kell megfizetnie direkt módon, vagy valamilyen állami támogatással részben kiegészítve a központi költségvetésből – ellenkező esetben a szolgáltatási színvonal csökkenése előbb utóbb bekövetkezik;
- a vízdíj befolyásolja a vízfogyasztást, ami így a közmű szektor bevételeire is hatással van, ezek azonban nem hirtelen változások és a fogyasztási szint is jól definiált trendek szerint mozog, vagyis a két folyamat változásai megfelelő üzemeltetői tervezéssel kezelhetőek;
- a vízdíjak az alacsonyabb jövedelmű háztartásokat sújtják elsősorban, tekintve, hogy arányosan az ő jövedelmükben nagyobb %-ban jelentkezik ez a tétel, ezért ezek a

háztartások jellemzően kevesebb vizet is fogyasztanak – sávós tarifa bevezetése igazságosabb rendszert biztosítana, arról nem is beszélve, hogy a napi „első 50 liter” elfogyasztása szükséglet, 150 literen túl pedig már inkább igényről beszélünk.

A víz és az ivóvíz, elfogadva, hogy közjóságnak tekintjük, minden ember számára elérhető kellene, hogy legyen, anélkül, hogy ezáltal más fogyasztók igényei korlátozódnának tekintve, hogy a vízhez való jog az egyik legalapvetőbb emberi jogok egyike. Azonban a Föld népességének növekedése, a lassuló ütem ellenére, a nyersanyagkészletek teljes felélését, illetve kizsákmányolását vetíti előre.

Meg kell látnunk tehát, hogy a fenntartható, biztonságos és a szükségleteket – nem pedig az igényeket – maradéktalanul kielégítő vízszolgáltatás minden társadalom első számú prioritásai között kell, hogy szerepeljen. Ahhoz, hogy ezt a célt világszinten sikerüljön megvalósítani, első sorban már nem technológiai korlátokat kell áthidalni, hanem az anyagi feltételeket és a politikai szándékot kell megteremteni.

Sajnos megfigyelhető, hogy főleg a szegényebb társadalmak azok, ahol ez a probléma nehezebben kezelhető. Ugyanakkor, tekintve, hogy a víz a gazdasági fejlődéshez is elengedhetetlen, külső segítségnyújtás nélkül nehéz ebből az ördögi körből kilépnie egy fejlődő társadalomnak. Víz nélkül nem fejlődhet hatékonyan, de kellő fejlettségi szint és összefogás nélkül nem tudja véghez vinni a vízszolgáltatás kiemelten tökeintenzív, jellemzően csak társadalmi szinten megtérülő beruházását.

Bizakodásra ad okot, hogy az UN felismerve a kihívás buktatóit a fenntartható fejlődési célok között az ivóvíz és szanitáció problémáját is megfogalmazta, mint a hatodik célt. Ez a tiszta ivóvíz és közegészségügy biztosítása. Ezen cél keretében a biztonságos ivóvízhez, a szanitációhoz, illetve a higiéniahoz való hozzáférés került megfogalmazásra, annak érdekében, hogy 2030-ra sikeresen minden ember számára elérhetővé váljanak ezen alapvető szükségleteket kielégítő szolgáltatások [82]. A célt annál is inkább tartom indokoltnak és abszolút jogosnak, mert miközben számos kihívással áll szemben az emberiség, ezen fejlesztések műszaki háttere biztosított és technikailag elérhető. Csupán a társadalmi elhatározás és összefogás szükséges, melyet jelen esetben a tőke biztosítása jelent. Ez azonban a négy fő vízfelhasználási forma egyikére jelent csak megoldást. Az ökoszisztémák egyre nagyobb mértékű kiszolgáltatottsága továbbra is nyitott kérdés marad.

## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Disszertációm témája az elmúlt közel 80 év Duna vízszint és hőmérséklet adatok, valamint a rendelkezésre álló Duna és parti szűrt víz vízminőségi adatainak elemzése volt, annak megállapítására, hogy a megfigyelhető változások milyen mértékűek, illetve milyen hatással vannak az ivóvízbiztonságra.

A téma különösen fontos, tekintetbe véve, hogy a terület Magyarország fővárosában, illetve a környező agglomerációs területen élő mintegy 1,9 millió fő vízellátását biztosítja. Másfelől, a vízbázis parti szűrősen alapuló ivóvízkezelést biztosít, mely egyfelől sérülékenysége okán közvetlenül kitett a környezeti ártalmaknak – így a klímaváltozásnak – másfelől, mérete okán, a maga 756 termelőkútjával és 1.000.000 m<sup>3</sup>/nap névleges kapacitásával kiemelkedő jelentőségű.

Ezen túlmenően, földrajzi és társadalmi tekintetben, a Duna, Európa egyik legjelentősebb folyója. Mindazon változások, melyek lokálisan megfigyelhetőek, valójában a folyó teljes szakaszára vonatkoztatva is hatnak a víz minőségén és mennyiségén keresztül. Az ICPDR adatai alapján mintegy 20 millió ember ivóvízellátása függ a Dunától.

Ugyanakkor, mivel már nem csak a klímaváltozás, de annak antropogén eredete is [83] – ha nem is egyértelműen 100%-ban de legalább nagyrészt – tudományosan igazolt és elfogadott tény. Éppen ezért, fontos, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján értékeljük, mennyit változott a helyzet – jelen esetben az ivóvízbiztonság szempontjából. A biztonságos ivóvízhez való hozzáférés alapvető emberi jog, mert az ivóvíz-szolgáltatást biztosító infrastruktúra fenntartása és biztonságos üzemeltetése szélsőséges környezeti állapotokban kiemelt figyelmet és szaktudást igényel és legfőképpen azért, mert fontos látnunk azt, mekkora mértékű változások történtek a vizsgált időszakban, mennyi mozgásterünk van még: szakemberként a legfontosabb annak megállapítása, hogy a klímaváltozás objektív szempontból mennyiben érinti a szakterületemet és a mindennapi munkámat.

Egyre határozottabb törekvés, hogy a Föld minden lakója számára elérhetővé tegyék a biztonságos ivóvízhez – és a hozzá szorosan kapcsolódó szanitációhoz és higiénias vízhasználathoz – való hozzáférést. Jelenleg 5,3 milliárd ember számára biztosított a megfelelően kezelt, kifogástalan minőségű ivóvíz. Az emberiség fennmaradó hányada, mintegy 2,2 milliárd ember az alábbiakból legalább egy kitévelt nélkülözni kényszerül: vezetékes, kezelt ivóvíz, hozzáférhető, amikor szükséges, illetve szennyeződésektől mentes. Pontosabb bontásban: 1,4 milliárd ember csak az alap szolgáltatáshoz fér hozzá – mely azt jelenti, hogy

lakóhelyétől legfeljebb 30 perces úttal elérhető számára biztonságos ivóvíz. 206 millió ember csupán korlátozott hozzáféréssel rendelkezik – ami azt jelenti, hogy a vízvételhez szükséges út hosszabb, mint 30 perc. Ami ennél is sürgetőbb probléma, hogy 2017-ben 435 millió ember nem védett vízforrásból nyeri az ivóvizet. 144 millió embernek pedig csak felszíni vízből származó ivóvíz fogyasztására van lehetősége [84]. Ez azt jelenti, hogy a fenti esetekben a fizikai-infrastrukturális feltételek nem adottak ahhoz, hogy a biztonságos ivóvíz mindenki számára elérhető legyen. Sajnos további kihívásokat rejt magában, hogy ahol nem biztosított a vezetékes ivóvízellátás, ott annak költségei is jóval meghaladják a központosított, vízi közmű rendszereken keresztül szolgáltatott ivóvíz díját. Vagyis megállapítható, hogy főleg azon társadalmak – vagy társadalmi szegmensek – fizetnek aránytalanul sokat az ivóvízért, akik gazdaságilag is hátrányosabb helyzetben vannak.

Azonban azt is fontos meglátni, hogy az ivóvíz-szolgáltatást biztosító infrastruktúra kiépítése az egyik legtőkeigényesebb vállalkozások egyike, ami mindenképpen társadalmi összefogást és központi finanszírozást igényel. A kezdeti beruházásokat követően az infrastruktúra fenntartása és esetleges további fejlesztése már nagyságrendekkel kevesebb ráfordítással is megvalósítható.

Ehhez a fellelt szakirodalom, illetve az elérhető adatok elemzése és értékelése folyamán az alábbi felsorolt tudományos következtetéseket sikerült meghatároznom.

## Új tudományos eredmények

A disszertáció készítése során felállított hipotézisek (2. táblázat) vizsgálata során kapott eredményeim mentén az alábbi téziseket sikerült tudományosan alátámasztanom: (16. táblázat)

Célkitűzések	Hipotézisek		Kutatás eredményei
C1	H1	A Duna átlagos éves vízszintje csökkenő trendet mutat és ezen belül havi szinten is kimutatható a csökkenés	Igazoltam
	H2	A szélsőséges vízszintekhez köthető állapotok egyre nagyobb mértékben és egyre hosszabb ideig állnak fenn	Igazoltam
C2	H3	A Duna átlagos éves vízhőmérséklete emelkedő trendet mutat és ezen belül havi szinten is kimutatható az emelkedés	Igazoltam
	H4	A szélsőséges vízhőmérsékletekhez köthető állapotok egyre nagyobb mértékben és egyre hosszabb ideig állnak fenn	Igazoltam
C3	H5	A főbb ionok és a szervesanyag eltávolítás szempontjából a vizsgált parti szűrésű rendszer megfelelő minőségű vizet biztosít, mely a klimatikus hatások alapján sem módosult.	Igazoltam
C4	H6	A partiszűrt víz hőmérséklete szezonálisan változik, a változás mértéke összefügg az elérési idővel, azzal egyenesen arányos	Igazoltam
	H7	A parti szűrt víz szulfát tartalma kisvízi állapot esetén a hosszabb elérési idejű kutaknál szignifikánsan emelkedik.	Igazoltam

### 16. táblázat: A disszertáció célkitűzéseinek, hipotéziseinek és kutatási eredményeinek összefoglalása

T1 - Tudományos módszerességgel igazoltam, hogy a Vigadó téri vízmércénél (Duna 1646,5 fkm, 94,97 mBf) a Duna átlagos éves és a február - augusztus hónapok közötti időszakban mért havi vízszintje az 1943-2021 közötti időszakban csökkenő tendenciát mutat, 5%-os szignifikancia szinten a Pettitt, Standard normál homogenitás és Buishand tesztek alapján.

Az éves vízszint 301,6 cm; 302,0 cm; 301,6 cm értékekről 256,7 cm, 262,1 cm; 256,7 cm értékekre csökkent 1983, 1971, illetve 1983 évi töréspontok esetén. A Mann-Kendall teszt szerint az adatsorok értékei trend szerint csökkennek, mely a teljes idősorra vonatkoztatva - 1,006cm.

A havi bontású idősoros adatokban a Pettitt, Standard normál homogenitás és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható április, július, augusztus hónapokban. A Mann-Kendall teszt szerint az adatpontok trendszerűen csökkennek február - augusztus hónapok közötti időszakban. Az összes hónapra vonatkozóan a Sen-meredekség értéke  $-0,3$  —  $-2,1$  cm tartományban található.

T2 - Igazoltam, hogy a Duna szélsőséges vízállásai a vonatkozó kritikus szintek szerint meghatározva a vizsgált időszakban egyfelől egyre intenzívebben jelentkeznek, másfelől egyre hosszabb ideig álltak fenn.

Az OVF nyilvánosan elérhető Duna víz hőmérséklet adatsorának elemzésével a nyersvíz hőmérséklet-változását vizsgáltam az 1947-2021 közötti időszakban.

T3 - Igazoltam, hogy a Duna átlagos víz hőmérséklete az 1947-2021 közötti időszakban emelkedő tendenciát mutat az éves átlag értékek, valamint minden hónapra vonatkozóan  $1,5-3$  °C tartományban.

Az éves átlagértékek esetében a Pettitt, Standard normál homogenitás és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható az 1990-2002 közötti időszakban. A Mann-Kendall teszt szerint az adatpontok trendszerűen emelkednek a vizsgált idősor egészére vonatkoztatva, ahol a Sen-meredekség értéke  $0,026$ . A legjelentősebb emelkedés február-március és július-augusztus hónapokban volt megfigyelhető. A havi bontású átlagértékek a Pettitt, Standard normál homogenitás és Buishand tesztek alapján 5%-os szignifikancia szinten változás (töréspont) volt kimutatható. A Mann-Kendall teszt szerint az adatpontok trendszerűen emelkednek minden hónap esetében a vizsgált idősor egészére vonatkoztatva, ahol a Sen-meredekség értéke  $0,01-0,03$  °C tartományban található.

T4 - Alátámasztottam, hogy a Duna víz hőmérséklete a szélsőségek tekintetében is változást mutat. A nyári időszakot érintő maximális víz hőmérsékletek egyre hosszabb ideig és egyre magasabb értékekkel jelentkeznek, míg a téli hónapokban a minimális víz hőmérséklet értékek emelkedő trendet mutatnak és egyre rövidebb ideig állnak fenn.

Továbbá eredményeim alapján megállapítható, hogy a Duna víz hőmérséklete a szélsőségek tekintetében is változást mutat: a nyári időszakot érintő maximális víz hőmérsékletek egyre hosszabb ideig és egyre magasabb értékekkel jelentkeznek, míg a téli hónapokban a minimális víz hőmérséklet értékek emelkedő trendet mutatnak és egyre rövidebb ideig állnak fenn. Mindez



összefüggést mutat a Duna vízszintváltozásával [39, 40] és az egyre emelkedő légköri hőmérséklettel. Várhatóan, ezen két hatás a vizsgált trendek fokozódását okozza majd a jövőben. Mindazonáltal, a vízminőségi paraméterek tekintetében még nem jelentkezett egyértelmű kockázatként – azonban a mikrobiológiai folyamatok alapján ez csak idő kérdése.

A Duna és a parti szűrt víz minőségi értékelése a Fővárosi Vízművek Zrt laboratóriumának vizsgálati eredményei alapján valósult meg. Az eredmények alapján igazoltam a hipotézist, mely szerint

T5 - A vizsgált termelő területre vonatkozóan a kisvízi állapotok hatását elemezve kimutattam, hogy a főbb ionok és a szerves anyag eltávolítás kapcsán a szélsőségesen alacsony Dunai vízszintek lényeges vízbiztonsági kockázatot a vizsgált időszakban nem okoztak. [44]

Mindez javarészt a Duna megfelelő vízminőségének, a rendszer robusztusságának és az üzemelő vízbázis tartalékkapacitásainak köszönhetően biztosított. Ezen „adottságok” megfelelő óvása, illetve fenntartása mindannyiunk közös érdeke amint a szakirodalomban olvasható [39, 47, 61]

T6 - Igazoltam, hogy a vizsgált termelő terület kútjaiból kitermelt parti szűrt víz hőmérséklete elsősorban az elérési időktől függ, a szezonális változások elhanyagolhatóak a mérési eredmények alapján. [87]

T7 - A vizsgált parti szűrt rendszer kútadatai alapján a parti szűrt víz szulfáttartalma a kisvízi állapotok során szignifikánsan emelkedik, mely változás a folyóban, illetve a rövidebb elérési idejű kutak esetében nem figyelhető meg. [87]

Fontos megállapítani, hogy sem vízminőségi, sem vízmennyiségi probléma nem jelentkezett a vonatkozó kormányrendeletben meghatározott feltételek szerint a szolgáltatási területen. Vagyis a vízbiztonság színvonala jelenleg kifogástalan. Ezen megállapításomat a vizsgált időszakok esetében azonosított kritikusan alacsony, illetve árvizes időszakok, továbbá a magasabb Duna víz hőmérséklettel járó periódusok éven belüli azonosításával és összevetésével határoztam meg: bekövetkezésük és mértékük alapján az azonosított nyári fogyasztási csúccsal esnek egybe. Vagyis éppen, amikor a legmagasabb a vízigény a klimatikus adottságok okán, akkor a legkritikusabb az ellátásbiztonság is. Ugyanakkor, a légköri hőmérséklet várhatóan ezen időszak súlyosbodását és kitolódását fogja okozni [84]

Végezetül, a vízdíj társadalmi vonatkozásait vizsgáltam, annak alátámasztására, hogy annak vonatkozásai a társadalomban nem egyenletesen oszlanak meg. Megállapítható, hogy a szolgáltatási színvonal csökkenése elkerülése érdekében a vízszolgáltatás költségeit vagy a fogyasztóknak kell megfizetnie direkt módon, vagy valamilyen állami támogatással részben kiegészítve a központi költségvetésből kell biztosítani.

Ellenkező esetben a szolgáltatási színvonal csökkenése előbb utóbb bekövetkezik.

Ezen folyamat pedig semmiképp sem tanácsos. Tekintve, hogy az infrastruktúra kiépítése kiemelten tökeigényes vállalkozás. A hibajavítások és karbantartások ütemezett kivitelezése mind műszaki, mind gazdasági szempontok alapján jól tervezhető és a kellő kapacitások fenntartása mellett is kifogástalanul végrehajtható, legoptimálisabb megoldás. Továbbá alátámasztottam, hogy a vízdíj befolyásolja a vízfogyasztást, ami így a közmű szektor bevételeire is hatással van. Ezek azonban nem hirtelen változások és a fogyasztási szint is jól definiált trendek szerint mozog – vagyis a két folyamat változásai megfelelő üzemeltetői tervezéssel kezelhetőek.

Ugyanakkor, adott ország gazdasági helyzetétől függetlenül, a vízdíjak jellemzően az alacsonyabb jövedelmű háztartásokat sújtják elsősorban. Arányosan az ő jövedelmükben nagyobb arányban jelentkezik ez a tétel, ezért ezek a háztartások jellemzően kevesebb vizet is fogyasztanak, ami azonban nem csökken a WHO által is javasolt minimum szükséges szint alá [77, 79, **86**].

Alapvetően kijelenthető, hogy az ivóvíz elérhetősége a legkritikusabb, ezt követi a mennyiségi szükséglet problémája és csak végezetül lehet a vízminőségi színvonal kérdéseire választ adni, ahol nincs elég víz, vagy túl messze van, ott bármi megfelelő. Napjainkban az ötéves kor alatti gyermekek egyik vezető halálozási oka a biztonságos ivóvíz hiányával hozható összefüggésbe, naponta mintegy 1000 kisgyermek halálát okozva [85] Véleményem szerint ez az egyik legnagyobb kihívás a 2015-ben elfogadott SDG-k közül [88].

## **Következtetések, javaslatok**

Figyelembe véve, a 2022 nyarán tapasztalt vízhiányos eseményeket és azok sajtóvisszhangját, lényeges vízbiztonság szempontjából, hogy a fokozott terhelés időszakára legyen meghatározva a vízbiztonság minimális szintje. Várhatóan nyáron egyre alacsonyabb vízszintek és egyre magasabb vízhőmérsékletek mellett kell majd üzemeltetni és ivóvizet szolgáltatni, mely helyzet a fentiekben bemutatott kettős kockázatot hordoz magában. Vagyis nem elég a tartalékkapacitások fenntartása, de szintén szükséges az infrastruktúra és a szakember utánpótlás biztosítása is. Fontos belátni, hogy a vízbiztonsági kockázatok csökkentését a tartalékképzés és a rendszeren belüli redundancia nagymértékben növeli. Ezek erőforrás-igénye hiába tűnik gyakran feleslegesnek, mégis, figyelembe véve az ivóvíz kivételesen fontos szerepét úgy társadalmi, mint gazdasági szempontból, mégis az egyik legfontosabb és felelősségteljesebb feladat.

Tekintve, hogy az ivóvíz az egyik legalapvetőbb élelmiszerünk, biztonsága kiemelkedő jelentőségű. Figyelembe véve, hogy nem csak a klímaváltozás, de a Duna vízgyűjtője is nemzetközi összefogást sürget, mindenképpen fontos a nemzetközi együttműködések erősítése, a létrehozott tudományos eredmények megosztása. A Duna vízminősége direkt hat a parti szűrt rendszerekre. A jelenleg alkalmazott természetes technológia nem csak gazdasági szempontból, de környezetterhelés alapján is a legkedvezőbb alternatíva. Ezért is elsődleges a Duna hidrológiai, vízminőség állapotának megőrzése.

Másfelől, tekintve, hogy a parti szűrésű rendszerek tekintetében a Fővárosi Vízművek üzemeltetésében álló vízbázis kincs a világon egyedülálló, fontosnak tartom, hogy az ivóvízbiztonsági szempontból kiszolgáltatottabb régiók felé is hatékony és biztos tudást tudjunk közvetíteni. Igenis felelősek vagyunk a tudás megosztásáért.

Harmadsorban, az elmúlt több, mint 15 év során a vállalat dolgozói által olyan komplex, megbízható és rendszerezett tudásanyag állt össze a vízbiztonsági terv módszeres és alapos felülvizsgálata során, mely szintén hatékony eszközzé válhat nem csak a vállalat napi üzemeltetésének, de más vízművek számára is – ezzel is segítve munkájukat és fejlődésüket.

Mindazonáltal, a parti szűrésű rendszereket sérülékenysége okán a környezetszennyezés is befolyásolja az ivóvízbiztonságot. Jelen dolgozat nem terjed ki a manapság egyre nagyobb figyelmet igénylő jellemzően antropogén eredetű szennyeződéseknek, melyek hatása igen szerteágazó [44, 89].

Úgy gondolom, mindenképpen fel kell gyorsítani és megerősíteni mindazon együttműködések, mely a társadalom javát szolgálja – jelen esetben az ivóvíz szolgáltatás keretein belül. A továbbiakban fontosnak tartom a vízhőmérséklet-változás ivóvízbiztonságra gyakorolt általam feltárt hatásait szélesebb körben publikálni, mert fontosnak tartom, hogy a széles körű tájékoztatás révén tudatosítsuk a felhasználókban is mindennek a jelentőségét. [90] Nincs vesztegetni való időnk, a megoldás pedig a kezünkben van.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/2184 irányelve (2020. december 16.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről
- [2] 5/2023. (I. 12.) kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- [3] JAGANMOHAN, M., Distribution of Earth's global water resources, <https://www.statista.com/statistics/564724/distribution-of-earths-water-resources/> (letöltve 2022.06.21)
- [4] Revision of World Population Prospects - 2022, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2022 <https://population.un.org/wpp/> (letöltve 2023.03.18.)
- [5] ROSER, M., RITCHIE, H., ORTIZ-OSPINA, E., RODÉS-GUIRAO, L., World Population Growth, 2013, <https://ourworldindata.org/world-population-growth> (letöltve 2022.10.21.)
- [6] Az önkormányzatok integráló és koordináló szerepének megerősítése az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás érdekében, LIFE-MICACC projekt, LIFE16 CCA/HU/000115, <https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu> (letöltve 2022.09.28)
- [7] SZALAI J.: Fejezetek a talajvízszint-észleli hálózat kialakulásának és fejlődésének történetéből. Felszín Alatti Vizekért Alapítvány X. Konferenciájának kiadványa, Balatonfüred, 2003
- [8] PÁKOZDI J., A Kvassay Jenő Terv elkészítése és a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv felülvizsgálata, szakmai felelős referens <https://www.ovf.hu/hu/lezart-projektek/kvassay-jeno-terv> (letöltve 2022.09.28)
- [9] Magyarország vízyűjtő-gazdálkodási terve – második felülvizsgálat, 2022. április [https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/05/VGT3\\_osszefoglalo\\_2021\\_elfogadott.pdf](https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2022/05/VGT3_osszefoglalo_2021_elfogadott.pdf) (letöltve 2022.09.28)
- [10] 123/1997. (VII. 18.) kormányrendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről

- [11] HISCOCK, K. M., GRISCHEK, T., Attenuation of groundwater pollution by bank filtration, *Journal of Hydrology*, Volume 266, Issues 3–4, Pages 139-144, 15 September 2002
- [12] Guidelines for drinking water quality (IV edition) <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> (letöltve 2022.09.28)
- [13] UN-Water Annual Report 2013, [https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/UN\\_Water\\_Annual\\_Report\\_2013.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/UN_Water_Annual_Report_2013.pdf) (letöltve 2022.09.28)
- [14] KUBINYI A., Vízellátás a középkori Budán, *História*, XXXII. 6-7, 2020
- [15] BIHARI D., Egymillió embert ölt meg a kolera Magyarországon, 2016. 09. 14. <https://24.hu/tudomany/2016/09/14/egymillio-embert-olt-meg-a-kolera-magyarorszagon/#> (letöltve 2022.09.20.)
- [16] SOÓS I., „Isten öldöklő Angyala”: kolerajárvány Magyarországon, 2014. 08.28. [https://mnl.gov.hu/mnl/ol/hirek/isten\\_oldoklo\\_angyala\\_kolerajarvany\\_magyarorszagon](https://mnl.gov.hu/mnl/ol/hirek/isten_oldoklo_angyala_kolerajarvany_magyarorszagon) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [17] Duna Múzeum, Vízellátás a kolera idején, 2020. március 23. [https://vizmerce.blog.hu/2020/03/23/vizellatas\\_a\\_kolera\\_idejen](https://vizmerce.blog.hu/2020/03/23/vizellatas_a_kolera_idejen) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [18] International standards for drinking-water, 1st edition, 1 January 1958, Guideline, <https://www.who.int/publications/i/item/a91160> (letöltve 2022.09.28)
- [19] Bonn Charter for safe drinking water, IWA publications, 2004
- [20] A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality, 2nd edition, WHO, Geneva, 16 December 2021, Technical document <https://www.who.int/publications/i/item/9789240023642> (letöltve 2022.09.28)
- [21] National Primary Drinking Water Regulations, EPA, <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> (letöltve 2022.09.28)
- [22] The RIGHT2WATER Initiative, European Citizens’ Initiative Forum - Success Story, 2018 [https://europa.eu/citizens-initiative-forum/sites/default/files/2020-01/SEC-17-001\\_success\\_story\\_right2water\\_EN.pdf](https://europa.eu/citizens-initiative-forum/sites/default/files/2020-01/SEC-17-001_success_story_right2water_EN.pdf) (letöltve 2022.09.28)

- [23] GLEICK, PH., The human right to water, *Water Policy* 1(5): pp 487-503, 1998
- [24] World Bank, Washington (2016), “High and Dry: Climate Change, Water and the Economy.” Executive Summary. World Bank, Washington DC
- [25] [Water – the essence of growth, Nagy-Kovács 2017].
- [26] Philippines Environment Monitor, Water, World Bank, 2003  
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/144581468776089600/pdf/282970PH0Environment0monitor.pdf> (letöltve 2022.09.28)
- [27] DÁVIDOVITS Zs., A lakossági ivóvízellátás környezetbiztonsági kockázatai csökkentésének lehetőségei és az ivóvízbiztonsági tervezés kapcsolatrendszere, Doktori értekezés, 2015
- [28] BATRAM, J., CORRALES, L., DAVIDSON, A., DEERE, D., DRURY, D., GORDON, B., HOWARD, G., RINEHOLD, A., STEVENS, M., Water safety plan manual – step-by-step risk management for drinking water suppliers. World Health Organization, Geneva, 2009
- [29] Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus) 2-1/1969 számú irányelv, A Veszélyelemzés, Kritikus Szabályozási Pontok (HACCP) rendszer és alkalmazásának útmutatója
- [30] MSZ EN ISO 22000 szabvány, Élelmiszerbiztonsági irányítási rendszerek. Az élelmiszerláncban résztvevő szervezetekre vonatkozó követelmények (ISO22000:2018)
- [31] Understanding the difference between PRP, oPRP and CCP  
<https://safefood360.com/insights/understanding-the-difference-between-prp-oprp-ccp-an-introduction/> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [32] Xie, H., Li, D. & Xiong, L. Exploring the ability of the Pettitt method for detecting change point by Monte Carlo simulation. *Stoch Environ Res Risk Assess* 28, 1643–1655, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0814-y>
- [33] BALATONYI L., Árvízvédelmi fokozatok, <https://www.ovf.hu/hu/arvizvedelem-fokozatok>, (letöltve 2022.10.13.)
- [34] International Commission for the Protection of the Danube River, River Basin  
<https://www.icpdr.org/main/danube-basin/river-basin> (letöltve 2022.10.03.)

- [35] Országos Meteorológiai Szolgálat, Magyarország éghajlata, [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/altalanos\\_leiras/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/altalanos_leiras/) (letöltve 2022.11.30.)
- [36] River Danube water temperature measurements, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/river-danube-water-temperature-measurements> (letöltve 2022.10.03.)
- [37] HASSAN, H., ARAMAKI, T., HANAKI, K., MATSUO, T. & WILBY, R. L. Lake stratification and temperature profiles simulated using downscaled GCM output. *J. Water Sci. Technol.* 38, 217–226., 1998
- [38] LÁNG I. *et al.*, A Globális Klímaváltozás: Hazai hatások és válaszok, KvVM – MTA „VAHAVA” projekt összefoglaló, Budapest, 2006
- [39] PEKAROVA *et al.*, Is the Water Temperature of the Danube River at Bratislava, Slovakia, Rising? *Journal of Hydrometeorology* 9(5), October 2008 , [DOI:10.1175/2008JHM948.1](https://doi.org/10.1175/2008JHM948.1) (letöltve 2022.10.03.)
- [40] LOVÁSZ Gy., Water temperatures of the Danube and Tisza Rivers in Hungary, *Hungarian Geographical Bulletin* 61(4):317-325, 2012 December
- [41] RÁCZ I., *Víz kémia II.* Szent István Egyetem, 2011.,
- [42] SCHEILI, A. *et al.*, Impact of Raw Water Quality and Climate Factors on the Variability of Drinking Water Quality in Small Systems, *Water Resources Management*, Issue 8, 2016
- [43] DAVIDESZ J, DEBRECZENY L., Partiszűrésű vízbázisok hosszú távú fenntarthatósága, rendelkezésre állás és kapacitások szempontjából, *Víziközmű Konferencia*, 2009. június 11-12. Sopron, előadás (belső dokumentum)
- [44] NAGY-KOVÁCS Z, DAVIDESZ J, CZIHAT-MÁRTONNÉ K, TILL G, FLEIT E, GRISCHEK T. Water Quality Changes during Riverbank Filtration in Budapest, Hungary. *Water*. 11(2):302, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11020302> (letöltve 2022.10.03.)



- [45] WHITEHEAD P. G., WILBY R. L., BATTARBEE R. W., KERNAN M., WADE A. J., A review of the potential impacts of climate change on surface water quality, *Hydrological Sciences Journal*, 54:1, 101-123, 2009
- [46] ZWOLSMAN G., Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River - A preview of climate change? *Water Science & Technology* 56(4):45-55, February 2007, [DOI:10.2166/wst.2007.535](https://doi.org/10.2166/wst.2007.535) (letöltve 2022.10.03.)
- [47] FLEIT E., A mikroszennyező anyagok víztest – lebegőanyag -üledék biológiai komponensek közötti megoszlása és viselkedése. Esettanulmány: a Duna főváros alatti szakasza, A KvVM és az MTA közötti környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi komplex kutatások, 3. témakör: A mikroszennyező anyagok minőségi kritériumai az EU Víz Keretirányelv hazai végrehajtásának elősegítésére, pp.1-42., 2005.
- [48] EGRI Á., MÉSZÁROS Á., KRISKA Gy., Spectral sensitivity transition in the compound eyes of a twilight-swarmer mayfly and its visual ecological implications Proc. R. Soc. B. 2022 <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0318> (letöltve 2022.10.03.)
- [49] ECKERT; P. ET AL. The impact of climate change on drinking water supply by riverbank filtration, *Water Supply* (2008) 8 (3): 319–324.
- [50] SPRENGER C et al., *Science of The Total Environment*, Volume 409, Issue 4, 15 January 2011, Pages 655-663
- [51] KRISHAN, G. *et al.*, Assessment of Heavy Metals in Sediments from Exploratory Wells for Riverbank Filtration Sites Impacted by Extreme Environmental Conditions Using Principal Component Analysis. In: Jha, R., Singh, V.P., Singh, V., Roy, L., Thendiyath, R. (eds) *Groundwater and Water Quality*. Water Science and Technology Library, vol 119. Springer, Cham. (2022). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-09551-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09551-1_3) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [52] COVETTI *et al.*, Sources and behavior of ammonium during riverbank filtration, *Water Research* 191(1):116788, December 2020
- [53] GRISCHEK T., Coupling riverbank filtration and subsurface iron removal, October 2013, Conference: 8th International Symposium on Managed Aquifer Recharge (ISMAR8) At: Beijing – China, [DOI:10.13140/RG.2.1.3402.5689](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3402.5689) (letöltve 2022. 12. 01.)

- [54] GRISCHEK T, PAUFLER S. Prediction of Iron Release during Riverbank Filtration. *Water*,9(5):317, 2017, <https://doi.org/10.3390/w9050317> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [55] SPRENGER C. *et al.*, Removal of indigenous coliphages and enteric viruses during riverbank filtration from highly polluted river water in Delhi (India), Project: TECHNEAU, *Journal of Water and Health*, 12(2):332-342, June 2014
- [56] HOCK, R., et al., High Mountain Areas. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 131–202. 2019, <https://doi.org/10.1017/9781009157964.004> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [57] ROUSI E. *et al.*, Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia, *Nature Communications* 13(1):3851, July 2022, [DOI:10.1038/s41467-022-31432-y](https://doi.org/10.1038/s41467-022-31432-y) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [58] ZIMMER A. et al., The need for stewardship of lands exposed by deglaciation from climate change, *WIREs*, Volume 13, Issue 2, 28 December 2021 <https://doi.org/10.1002/wcc.753> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [59] DILLON, P., STUYFZAND, P., GRISCHEK, T. *et al.*, Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeol J*, 27, 1–30 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1841-z> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [60] Országos Meteorológiai Szolgálat, Éves és évszakos csapadékösszegek változása, [https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_hazai\\_valtozasok/homersekl\\_et\\_es\\_csapadektrendek/csapadekosszegek/](https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homersekl_et_es_csapadektrendek/csapadekosszegek/) (letöltve 2022.10.03.)
- [61] LÁSZLÓ B. *et al.*, WQ III Program, Parti szűrés hatékonyság ellenőrzése változó környezeti és üzemtani körülmények között (Zárótanulmány), Fővárosi Vízművek Zrt. belső dokumentum, 2013
- [62] WARD F.A. & MICHELSEN A.: The economic value of water in Agriculture: concepts and policy applications, *Water policy*, 4: 423-446, 2002

- [63] MALER K. G., *Environmental Economics: A theoretical enquiry*, John Hopkins University Press for Resources for the Future, 2011, <https://doi.org/10.4324/9781315064123> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [64] BAUMANN, DD & BOLAND, JJ.: *Urban water demand management planning*. McGraw-Hill Professional; 1st edition, December 1, 1997
- [65] BARLOW et al. *Blue Gold: The fight to stop corporate theft of the World's Water*. The New Press, 2002
- [66] "High and Dry: ClimateChange, Water and the Economy." Executive Summary. World Bank, Washington DC., World Bank, Washington, 2016, CC BY 3.0 IGO
- [67] GARRETT H., The tragedy of the Commons, *Science*, 13 Dec 1968, Vol 162, Issue 3859, pp. 1243-1248, 1968
- [68] GLEICK, The human right to water. *Water Policy* 1(5): pp487-503
- [69] HOEKSTRA, A. Y. (ed) *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No 12*, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, 12–13 December 2002, [www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [70] *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities*. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, 2019.
- [71] WALTON B., *Residential End Uses of Water, Version 2*, Circle of Blue – [www.circleofblue.org](http://www.circleofblue.org) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [72] MCCARTHY N., *Where Europeans Consume The Most Tap Water*, Oct 9, 2019, <https://www.statista.com/chart/19591/average-consumption-of-tap-water-per-person-in-the-eu/> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [73] *Indicator Fact Sheet Signals 2001 – Chapter Households*, European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/household-energy-consumption/household-water-consumption>
- [74] Fővárosi Vízművek termelési adatsorok 1949-2020 között, belső dokumentum

- [75] LUIS A. et al., “Troubled Tariffs: Revisiting Water Pricing for Affordable and Sustainable Water Services.” World Bank, Washington, DC, 2021.
- [76] HUTTON G., Monitoring “Affordability” of water and sanitation services after 2015: Review of global indicator options, PhD thesis, 2012, March 20th
- [77] Safely managed drinking water - thematic report on drinking water, Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [78] DEVICIENTI, F.; KLYTCHNIKOVA, I; PATERNOSTRO, S. Willingness to pay for water and energy: an introductory guide to contingent valuation and coping cost techniques (English). World Bank Group, 2004, Washington, D.C.
- [79] WALTON B., Rising Cost of Water in Michigan Leads to Affordability Problems, Circle of Blue, 2021,
- [80] Water ranking in Europe 2020, Smart Water Magazine, 04/08/2021, based on EurEau data, <https://smartwatermagazine.com/news/locken/water-ranking-europe-2020> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [81] 2000. október 23-i 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv
- [82] UN Sustainable Development Goals – SDG 6 Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all <https://sdgs.un.org/goals/goal6> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [83] PÖRTNER, H.-O. et al., In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ,Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, [doi:10.1017/9781009325844.002](https://doi.org/10.1017/9781009325844.002) (letöltve 2022. 12. 01.)
- [84] The Sustainable Development Goals Report, United Nations, 2022 <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf> (letöltve 2022.11.30.)
- [85] Diarrhea; common illness, global killer, Centers for Disease Control and Prevention (U.S.), 2012, <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/13557> (letöltve 2022. 12. 01.)

- [86] NAGY-KOVÁCS Zs, GYÖRGY-TAKÁCS K., Water – the essence of growth, *ERENET PROFILE*, 2017, Vol. XII. No. 3. P36-42., ISSN 1789-624X, <http://www.erenet.org/publications/profile42.pdf> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [87] NAGY-KOVÁCS, Z.; LÁSZLÓ, B.; SIMON, E.; FLEIT, E. Operational Strategies and Adaptation of RBF Well Construction to Cope with Climate Change Effects at Budapest, Hungary, *Water*, 2018, 10, 1751. <https://doi.org/10.3390/w10121751> (letöltve 2022. 12. 01.)
- [88] PAPP M., RITVAYNÉ SZOMOLÁNYI M., SZALAY M., NAGY-KOVÁCS ZS., Water Supply in Hungary, *Hungarian Journal of Hydrology*, Vol. 96. No. 3. page 16-24. (Aspect of sustainability fejezet), 2016, HU ISSN 25374
- [89] NAGY R., Az ivóvíz-ellátás egyes környezetbiztonsági szempontjai, *Hadmérnök*, 17 évf. 4 szám, 2023
- [90] NAGY-KOVÁCS Zs., “A Duna 1946-2019 közötti vízhőmérséklet-változásának bemutatása és ivóvízbiztonsági vonatkozása,” in 20th International Conference on Management, Enterprise, Benchmarking. Abstract Booklet (MEB 2022), pp. 57–57., 2022

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. TÁBLÁZAT: A DOKTORI DISSZERTÁCIÓ CÉLKITŰZÉSEI .....	8
2. TÁBLÁZAT: A DOKTORI DISSZERTÁCIÓ HIPOTÉZISEI.....	8
3. TÁBLÁZAT: A PRÓBASTATISZTIKÁK EREDMÉNYEI .....	43
4. TÁBLÁZAT: STATISZTIKAI TESZTEK (PETTITT, SNHT, BUISHAND) ÁLTAL MEGHATÁROZOTT ÁTLAGÉRTÉKEK TÖRÉSPONT ELŐTT ÉS UTÁN .....	43
5. TÁBLÁZAT: MANN-KENDALL TESZT ADATAI .....	44
6. TÁBLÁZAT: A PRÓBASTATISZTIKÁK EREDMÉNYEI (PETTITT, SNHT, BUISHAND).....	45
7. TÁBLÁZAT: A HIPOTÉZISVIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI, AHOL $H_a$ KERÜLT ELFOGADÁSRA, OTT AZ EREDMÉNYEK SZEREPELNEK .....	46
8. TÁBLÁZAT: AZ ÉVES ÁTLAGOS VÍZHŐMÉRSÉKLET STATISZTIKAI PRÓBÁKKAL MEGHATÁROZOTT PARAMÉTEREINEK EREDMÉNYEI .....	61
9. TÁBLÁZAT: A STATISZTIKAI PRÓBÁK EREDMÉNYEI.....	61
10. TÁBLÁZAT: A MANN-KENDALL PRÓBA PARAMETRIKUS EREDMÉNYEI .....	61
11. TÁBLÁZAT: A PETTITT, SNHT, BUISHAND ÉS NEUMANN PRÓBÁK PARAMÉTEREINEK ÉRTÉKEI .....	64
12. TÁBLÁZAT: STATISZTIKAI TESZTEK (PETTITT, SNHT, BUISHAND) ÁLTAL MEGHATÁROZOTT VÍZHŐMÉRSÉKLET ÁTLAGÉRTÉKEK TÖRÉSPONT ELŐTT ÉS UTÁN.....	65
13. TÁBLÁZAT: MANN-KENDALL TESZT ADATAI .....	66
14. TÁBLÁZAT: SEN-MEREDEKSÉG ÉRTÉKEK ÁTLAGOS HAVI DUNA VÍZHŐMÉRSÉKLETEKRE 1947-2021 KÖZÖTT	67
15. TÁBLÁZAT: A HÁZTARTÁSI VÍZFOGYASZTÁS ÉS A RÁ HATÓ FŐBB TÉNYEZŐK [66].....	94
16. TÁBLÁZAT: A DISSZERTÁCIÓ CÉLKITŰZÉSEINEK, HIPOTÉZISEINEK ÉS KUTATÁSI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA.....	103

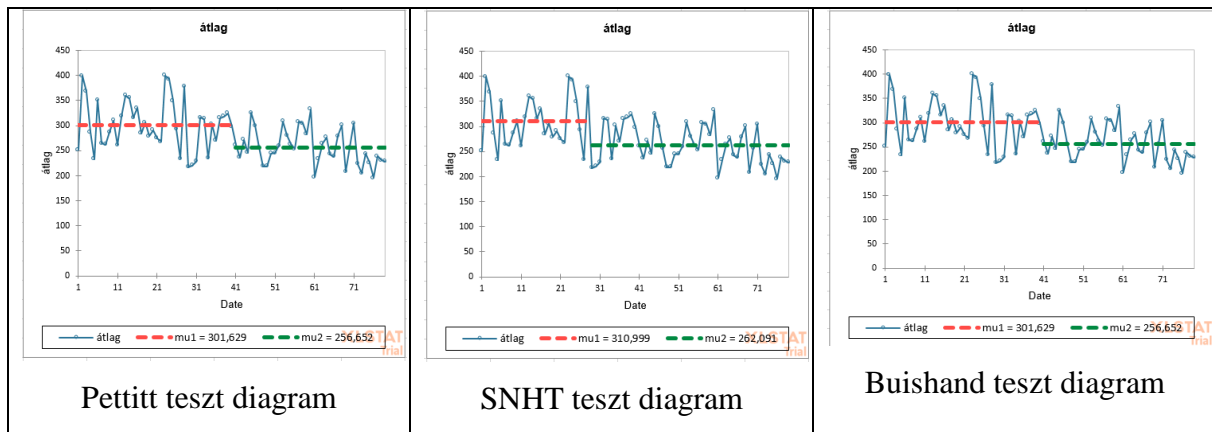
## ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA: A VILÁG LAKOSSÁGÁNAK A BIZTONSÁGOS IVÓVÍZHEZ VALÓ HOZZÁFÉRÉSE SZÁZALÉKOS ELOSZLÁSBAN 2020-BAN [5] .....	11
2. ÁBRA: A PARTI SZŰRÉS FOLYAMATA [11] .....	16
3. ÁBRA: KOCKÁZATÉRTÉKELÉSI MÁTRIX (HALVÁNYSÁRGA ALACSONY, SÁRGA KÖZEPES, NARANCS SÁRGA FOKOZOTT, PIROS EXTRÉM KOCKÁZATI SZINT) FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS.....	32
4. ÁBRA: HACCP DÖNTÉSI FA [29] .....	33
5. ÁBRA: A DUNA VÍZSZINT SZEZONÁLIS VÁLTOZÁSA 1943-2021 KÖZÖTT (ÁTLAG, P25, P50 ÉS P75 SZINTEK) ...	41
6. ÁBRA: A DUNA VÍZSZINT IDŐSOROS VÁLTOZÁSA 1943-2021 KÖZÖTT, BEMUTATVA AZ ÉVES P25-P75 SÁVOT, A MEDIÁNT ÉS AZ ÁTLAG ÉRTÉKEKET .....	42
7. ÁBRA: A DUNA VÍZÁLLÁS SZÉLSŐSÉGEINEK IDŐSOROS ÁBRÁZOLÁSA 1943-2021 (MINIMUM, P5, P10 VALAMINT P90, P95, MAXIMUM ÉS ÁTLAG, MEDIÁN).....	48
8. ÁBRA: A DUNA SZEZONÁLIS SZÉLSŐSÉGEINEK ÁBRÁZOLÁSA 1943-2021 (MINIMUM, P5, P10 VALAMINT P90, P95, MAXIMUM ÉS ÁTLAG, MEDIÁN).....	49
9. ÁBRA: ÁRVIZES NAPOK SZÁMA SZEZONÁLIS HETI BONTÁSBAN .....	50
10. ÁBRA: ÁRVIZES NAPOK SZÁMA IDŐSOROS BONTÁSBAN .....	51
11. ÁBRA: KISVIZES NAPOK SZÁMA SZEZONÁLIS HETI BONTÁSBAN .....	52
12. ÁBRA: KISVIZES NAPOK SZÁMA IDŐSOROS BONTÁSBAN .....	53
13. ÁBRA: IDŐSOROS NAPI VÍZSZINTVÁLTOZÁSOK ÁBRÁZOLÁSA A MINIMUM, P5, P10 ÉS P90, P95, MAXIMUM ÉRTÉKEKKEL .....	54
14. ÁBRA: SZEZONÁLIS NAPI VÍZSZINTVÁLTOZÁSOK ÁBRÁZOLÁSA A MINIMUM, P5, P10 ÉS P90, P95, MAXIMUM ÉRTÉKEKKEL .....	55
15. ÁBRA: BUDAPESTI ÁTLAG LÉGKÖRI HŐMÉRSÉKLET, NAPFÉNYTARTAM ÉS DUNA ÁTLAGOS VÍZHŐMÉRSÉKLET ADATOK (2007-2019) (ADATFORRÁS: OMSZ).....	57
16. ÁBRA: A DUNA VÍZHŐMÉRSÉKLET ÉVES STATISZTIKAI JELLEMZŐI IDŐSOROS BONTÁSBAN 1947-2021 KÖZÖTT.....	59
17. ÁBRA: A DUNA VÍZHŐMÉRSÉKLET ADATOK ÁTLAGA, MEDIÁNJA ÉS A P25-P75 PERCENTILIS SÁV BEMUTATÁSA 1947-2021 KÖZÖTT .....	60
18. ÁBRA: AZ 1947-2021 KÖZÖTT DUNA VÍZHŐMÉRSÉKLET ADATOK HAVI BONTÁSBAN. A DOBOZ DIAGRAMOK A MINIMUM, P25, MEDIÁN, P75 ÉS MAXIMUM ÉRTÉKEKET, A PIROS PONTOK AZ ÁTLAG ÉRTÉKEKET MUTATJÁK BE .....	63
19. ÁBRA: A DUNA 23°C, A 24°C, A 25°C, ILLETVE A 26°C HŐMÉRSÉKLETET MEGHALADÓ NAPOK SZÁMA 1947-2021 KÖZÖTT .....	68
20. ÁBRA: A DUNA 1°C, 2°C, 3°C ÉS 4°C HŐMÉRSÉKLET ALATTI NAPOK SZÁMA 1947-2021 KÖZÖTT .....	69
21. ÁBRA: A DUNA VÍZ ÉS ELTÉRŐ ELÉRÉSI IDŐKKEL RENDELKEZŐ PARTI SZŰRT VÍZ HŐMÉRSÉKLETÉNEK SZEZONÁLIS VÁLTOZÁSA, HAVONKÉNT .....	72
22. ÁBRA: A DUNA ÉS A PARTI SZŰRT VÍZBEN TALÁLHATÓ IONOK KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSA.....	79

23. ÁBRA: A FAJLAGOS ELEKTROMOS VEZETŐKÉPESSÉG VÁLTOZÁSA A KISVÍZ ÁLLÁS, ILLETVE AZ ELÉRÉSI IDŐK FÜGGVÉNYÉBEN .....	80
24. ÁBRA: KOI, TOC ÉS UV254 KONCENTRÁCIÓK VÁLTOZÁSA A VÍZÁLLÁS ÉS AZ ELÉRÉSI IDŐK TEKINTETÉBEN ..	82
25. ÁBRA: AZ IVÓVÍZBIZTONSÁGRA HATÓ, KLIMATIKUS EREDETŰ VESZÉLYCsoportok Forrás: Saját Szerkesztés .....	84
26. ÁBRA: A VIZSGÁLT VÍZBIZTONSÁGI KOCKÁZATOK ÖSSZESÍTÉSE IDŐSOROS VONATKOZÁSBAN Forrás: Saját Szerkesztés .....	88
27. ÁBRA: AZ EURÓPAI UNIÓ EGY FŐRE JUTÓ NAPI VÍZFOGYASZTÁSI ADATAI – 2017-ES ADATOK, LITERBEN [67] .....	95
28. ÁBRA: EGY FŐRE ESŐ NAPI VÍZFOGYASZTÁS BUDAPESTEN 1949-2019 KÖZÖTT [74] .....	96
29. ÁBRA: NAPI VÍZFOGYASZTÁS A FŐVÁROSI VÍZMŰVEK SZOLGÁLTATÁSI TERÜLETEIN A FŐVÁROSBAN ÉS AGGLOMERÁCIÓBAN (2005-2020) [69] .....	97
30. ÁBRA: AZ IVÓVÍZ KÖLTSÉGE A HÁZTARTÁSOK TELJES KIADÁSÁNAK ARÁNYÁBAN [77] .....	98
31. ÁBRA: EURÓPAI HÁZTARTÁSOK VÍZFOGYASZTÁSA [NAP/FŐ/L] ÉS AZ ÁTLAGOS VÍZDÍJ ARÁNYA [€/M <sup>3</sup> ] [80]	99



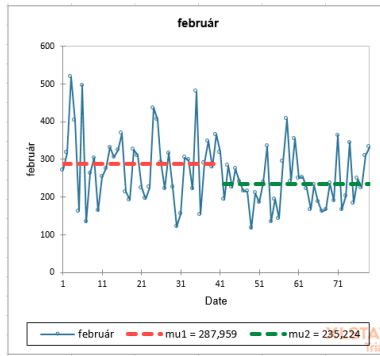
## FÜGGELÉK



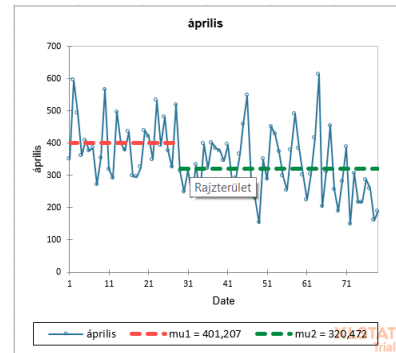
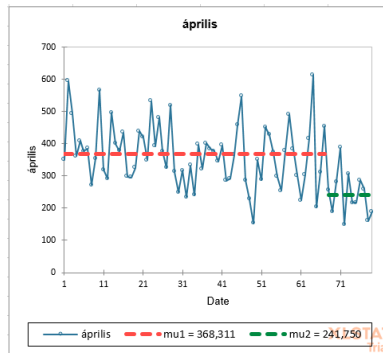
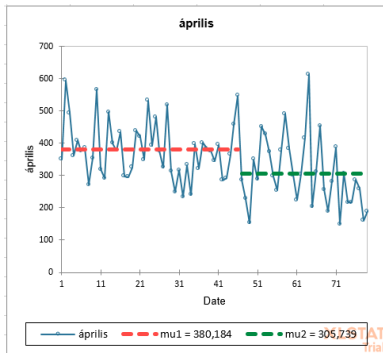
**1. melléklet Az 1947-2021 közötti Duna vízszintek éves átlagértékek statisztikai próbáinak ábrázolása (x tengely: év, y tengely: vízszint [cm])**



**2. melléklet Az 1947-2021 közötti Duna vízszintek havi átlagértékei (x tengely: év, y tengely: vízszint [cm])**



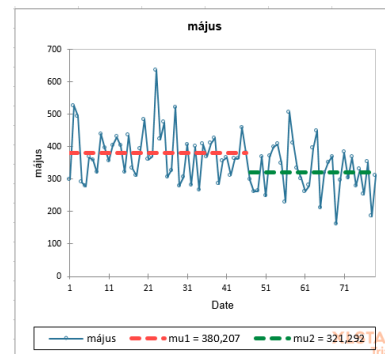
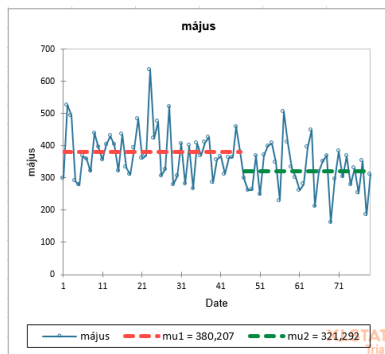
Buishand teszt



Pettitt

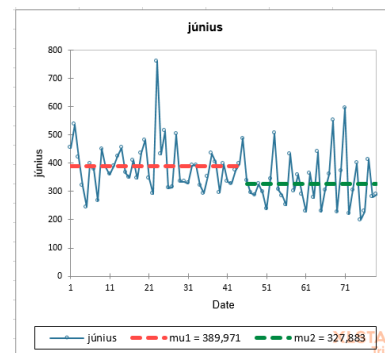
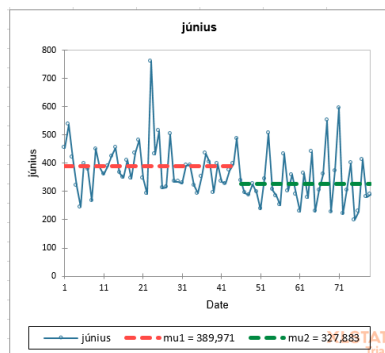
SNHT

Buishand



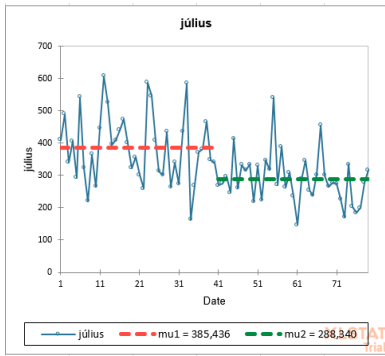
Pettitt

Buishand

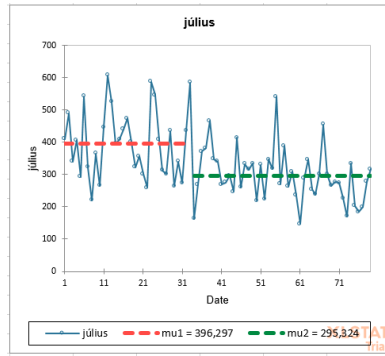


Pettitt

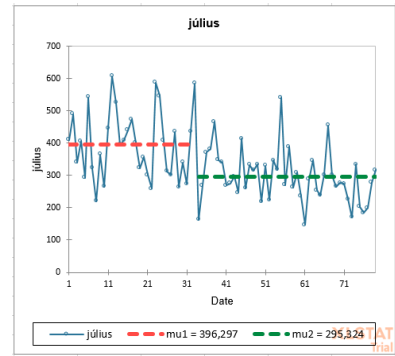
Buishand



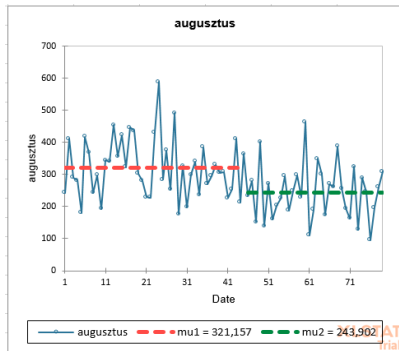
Pettitt



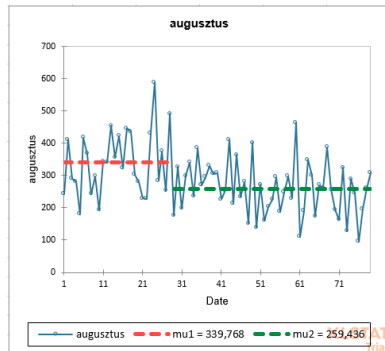
SNHT



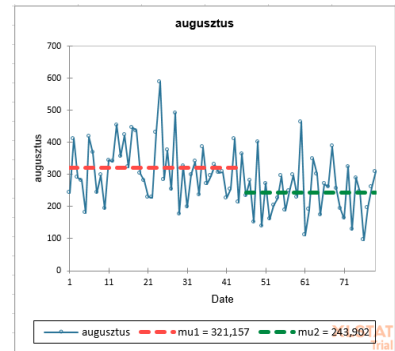
Buishand



Pettitt

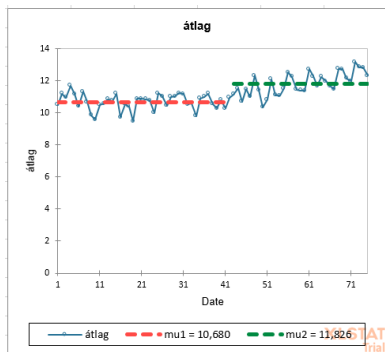


SNHT

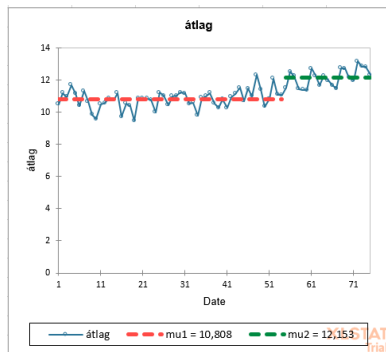


Buishand

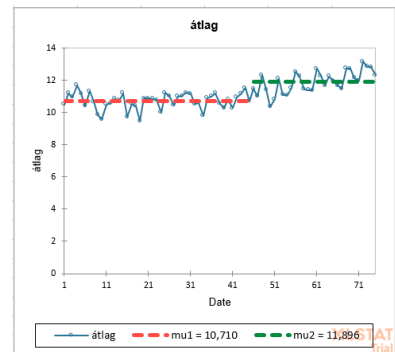
**3. melléklet Az 1947-2021 közötti Duna vízszintek havi átlagértékek statisztikai próbáinak ábrázolása (x tengely: év, y tengely: vízszint [cm])**



Pettitt

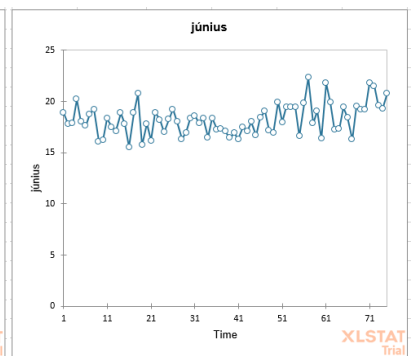
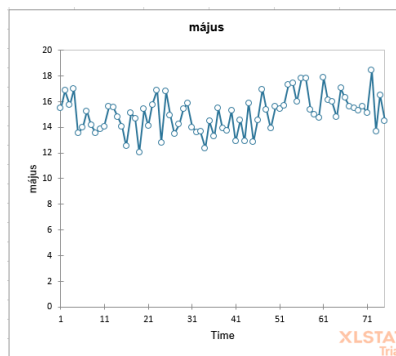
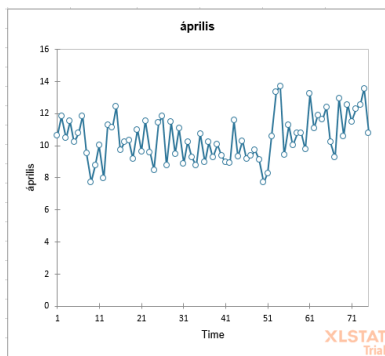
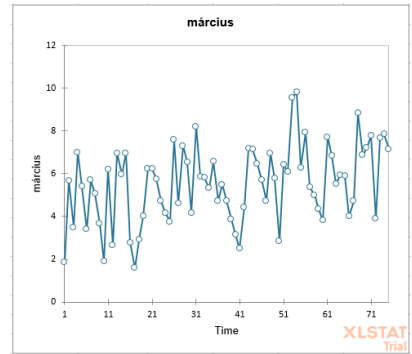
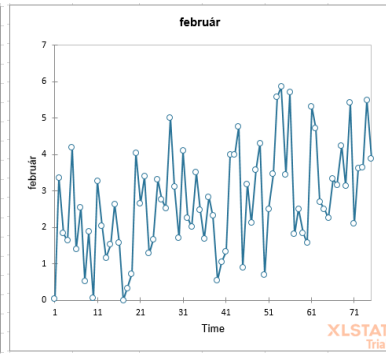
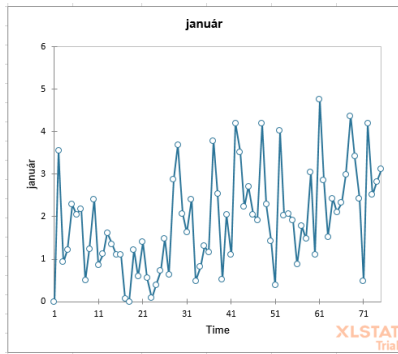


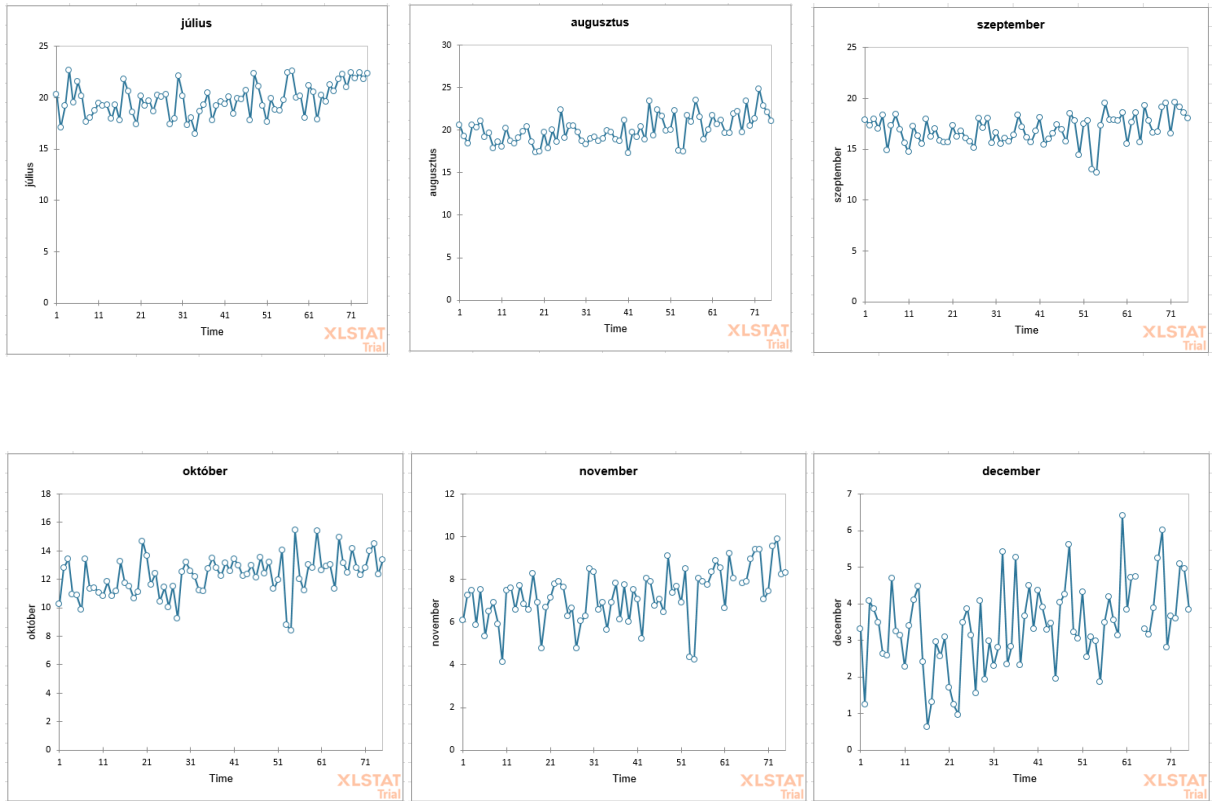
SNHT



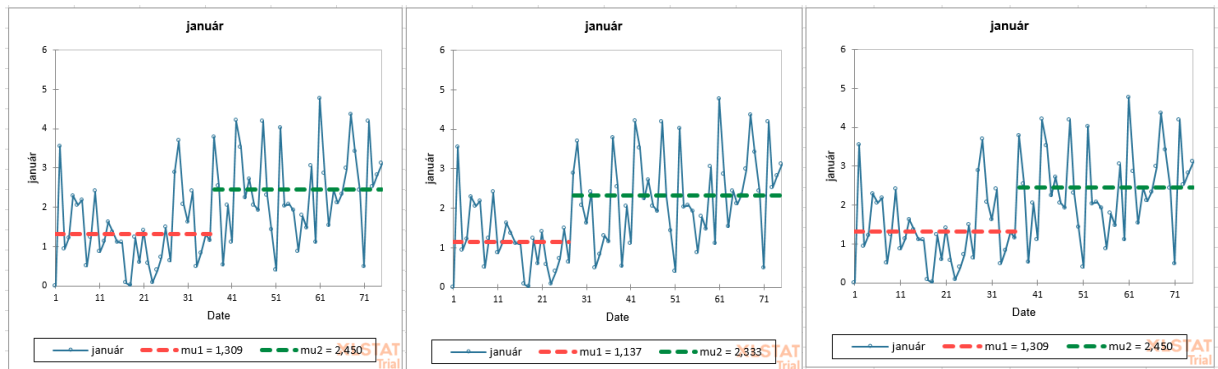
Buishand

**4. melléklet Az 1943-2021 közötti Duna vízhőmérséklet éves átlagértékek statisztikai próbáinak ábrázolása (x tengely: év, y tengely: vízhőmérséklet [°C])**





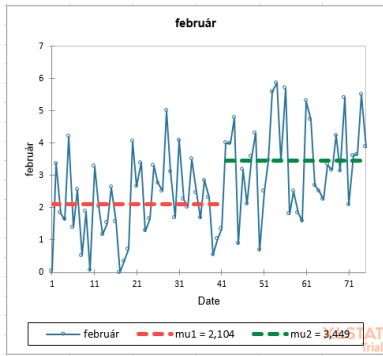
**5. melléklet Az 1943-2021 közötti Duna víz hőmérséklet havi átlagértékek ábrázolása (x tengely: év, y tengely: víz hőmérséklet [°C])**



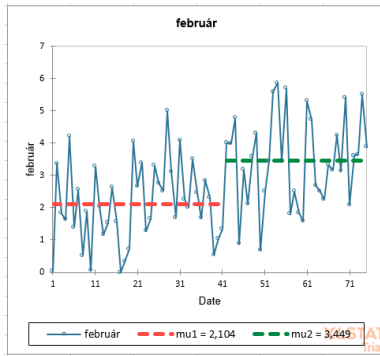
Pettitt

SNHT

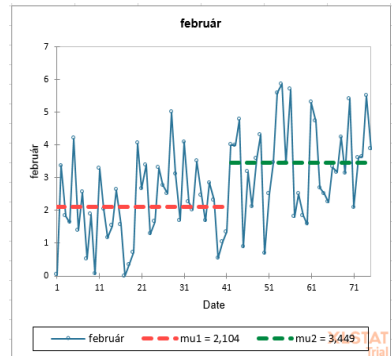
Buishand



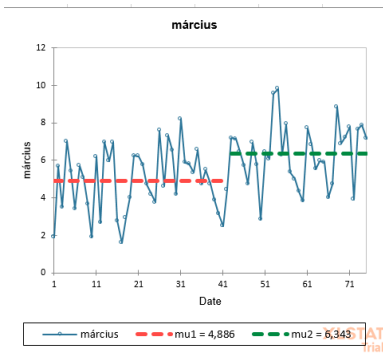
Pettitt



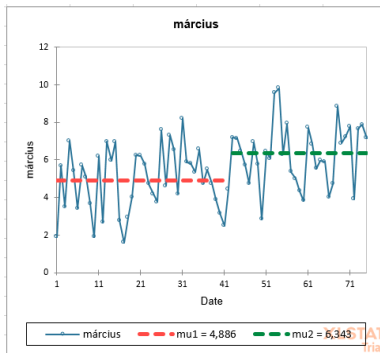
SNHT



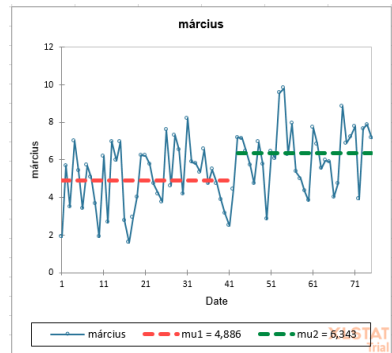
Buishand



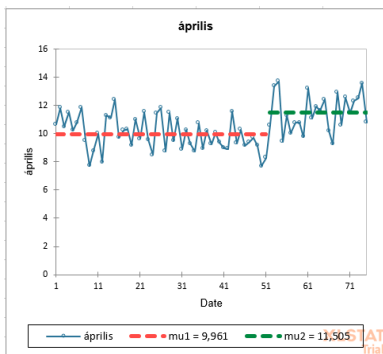
Pettitt



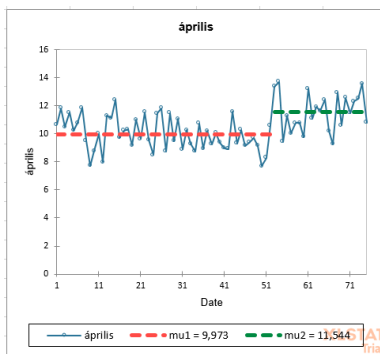
SNHT



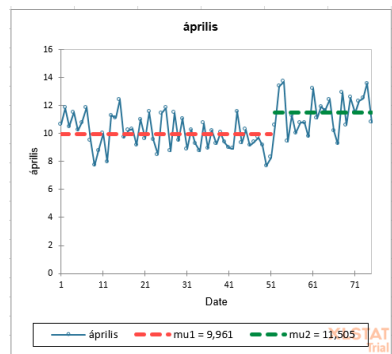
Buishand



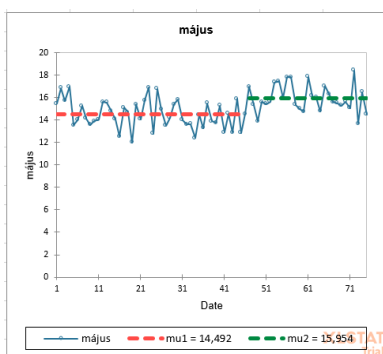
Pettitt



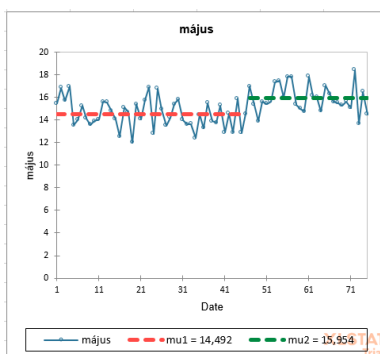
SNHT



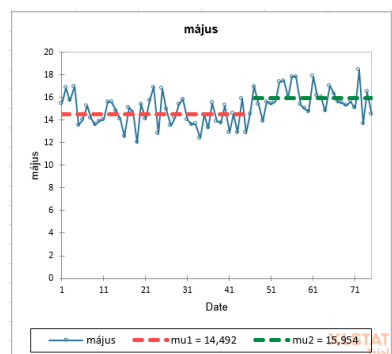
Buishand



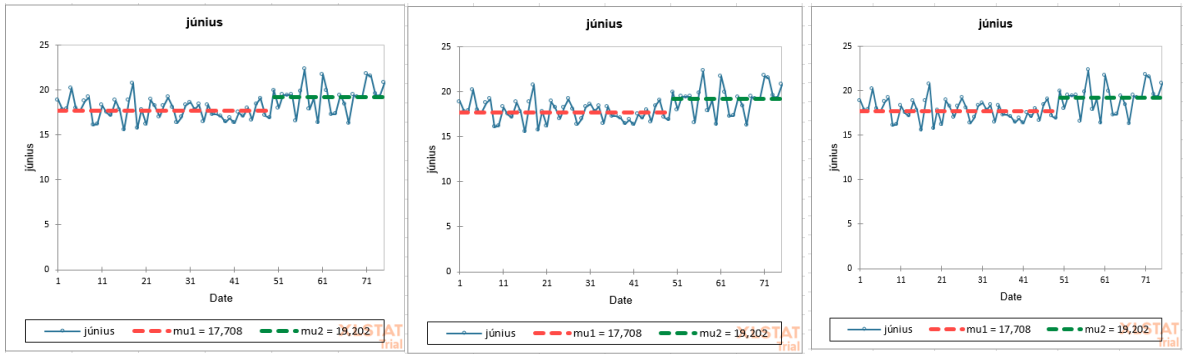
Pettitt



SNHT



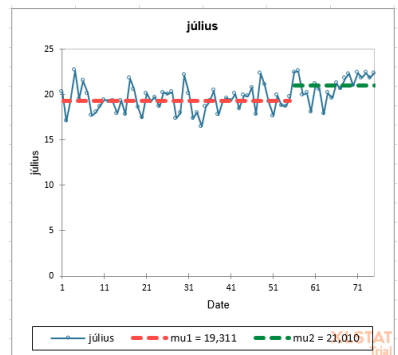
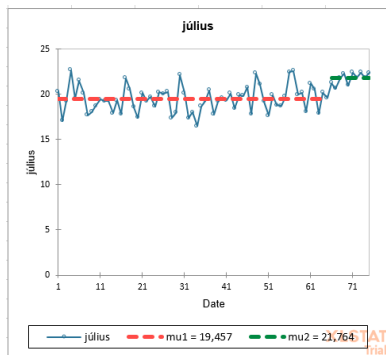
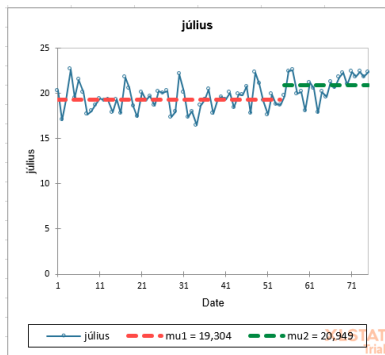
Buishand



Pettitt

SNHT

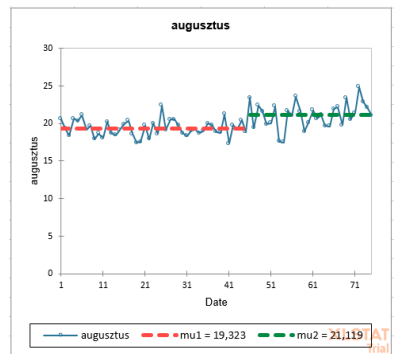
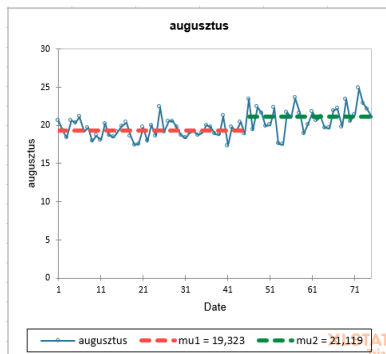
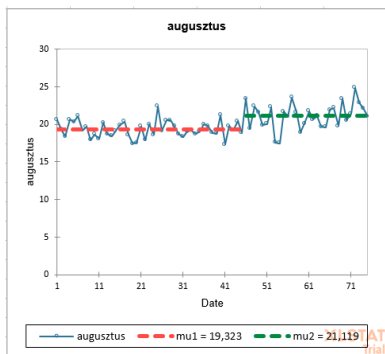
Buishand



Pettitt

SNHT

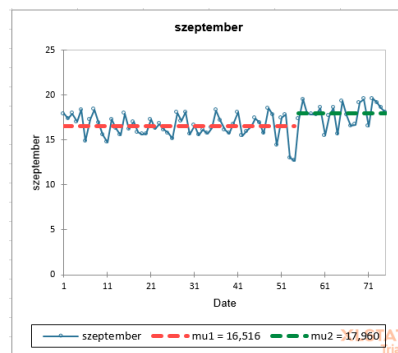
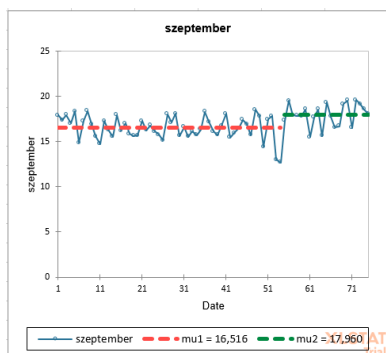
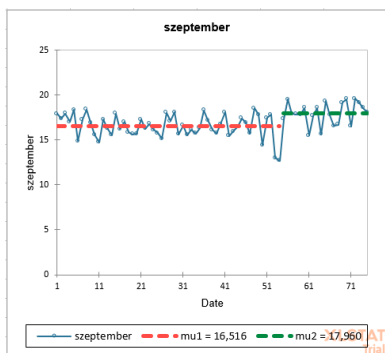
Buishand



Pettitt

SNHT

Buishand



Pettitt

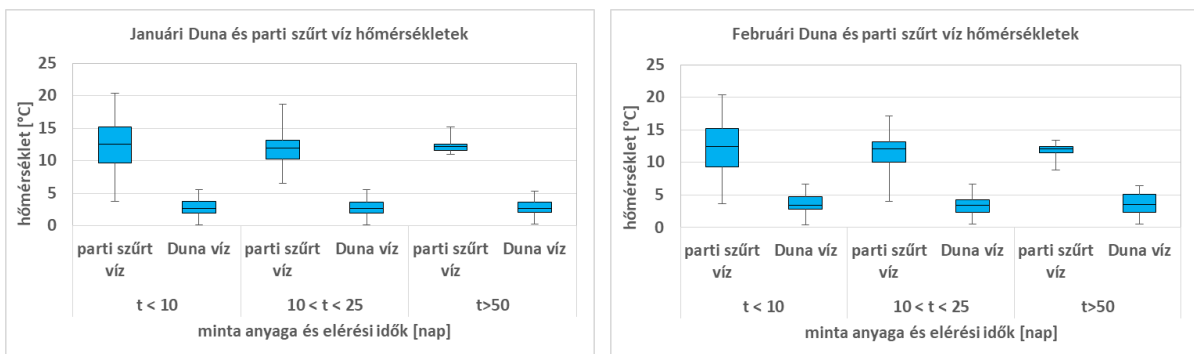
SNHT

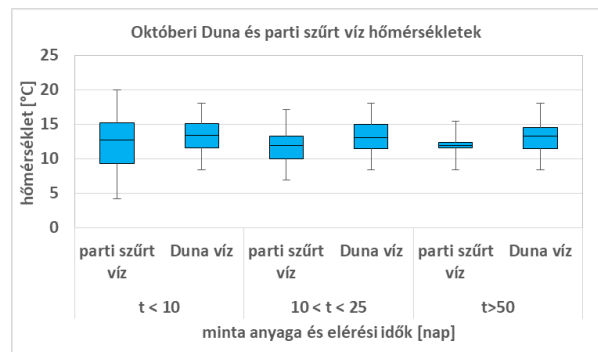
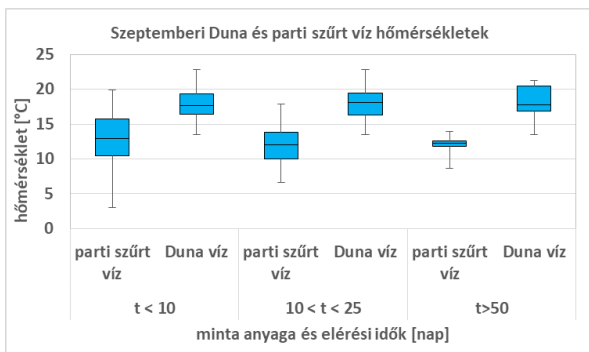
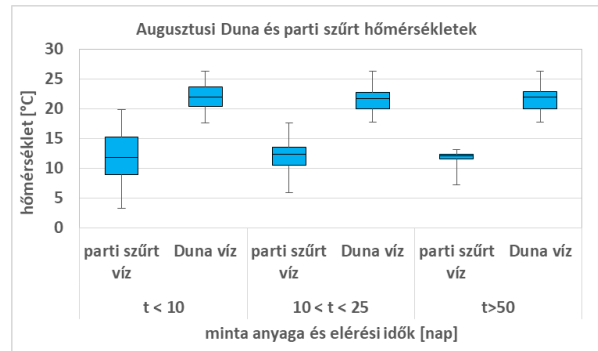
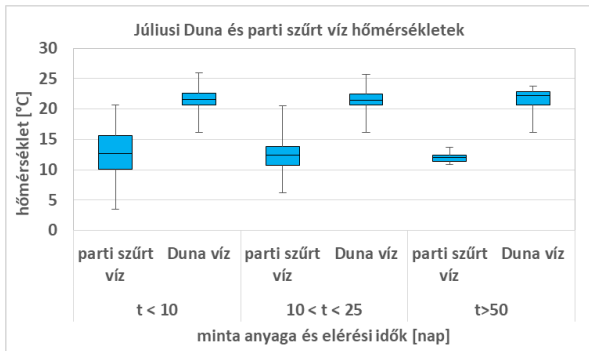
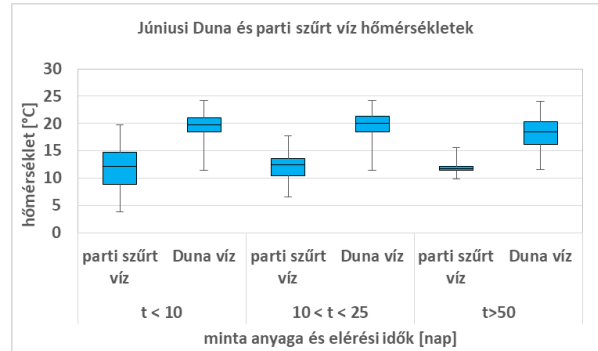
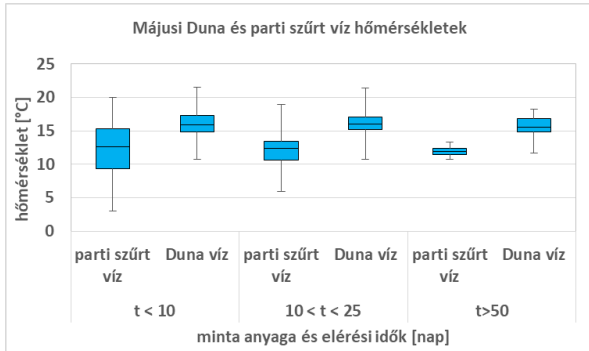
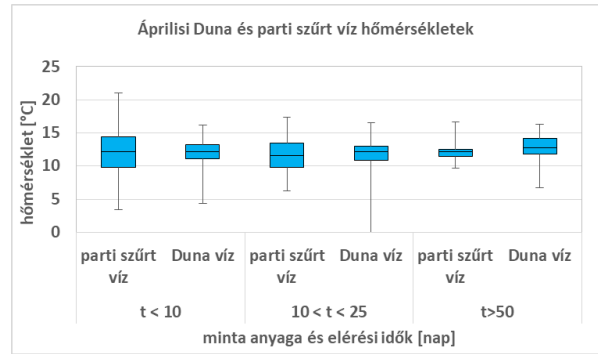
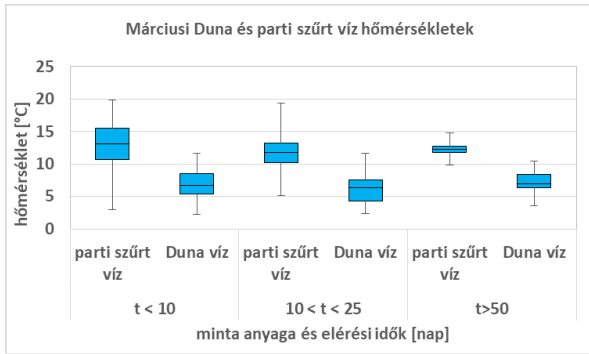
Buishand

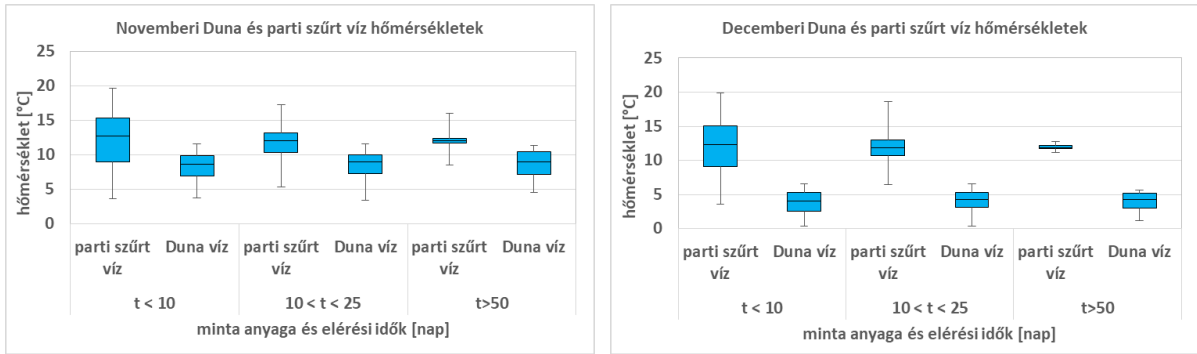




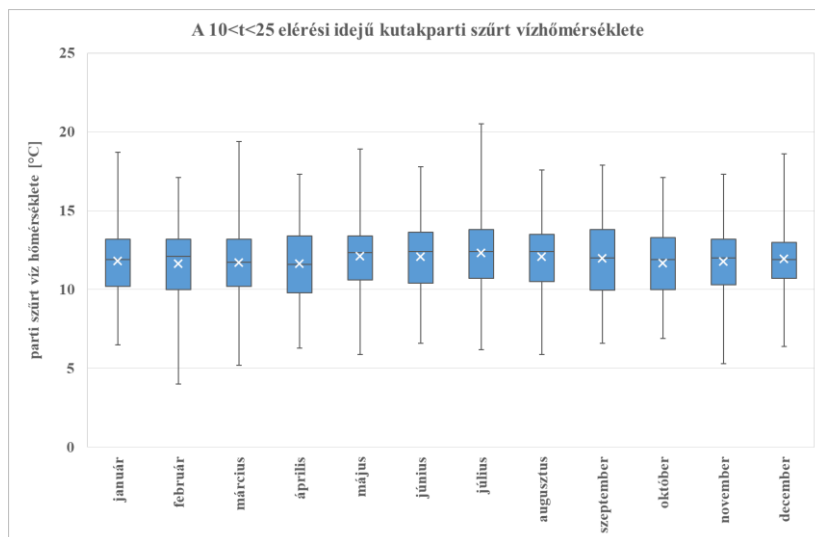
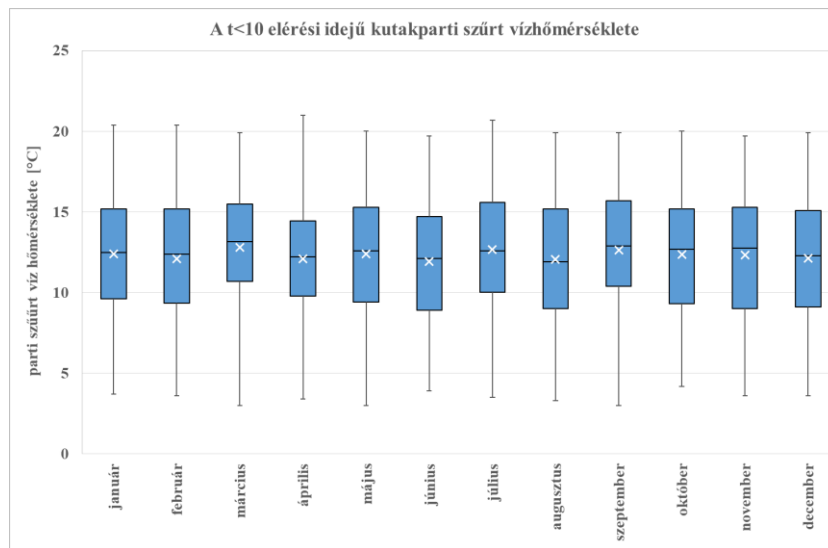
**6. melléklet Az 1943-2021 közötti Duna víz hőmérséklet havi átlagértékek próbastatisztikák eredményeinek ábrázolása (x tengely: év, y tengely: víz hőmérséklet [°C])**

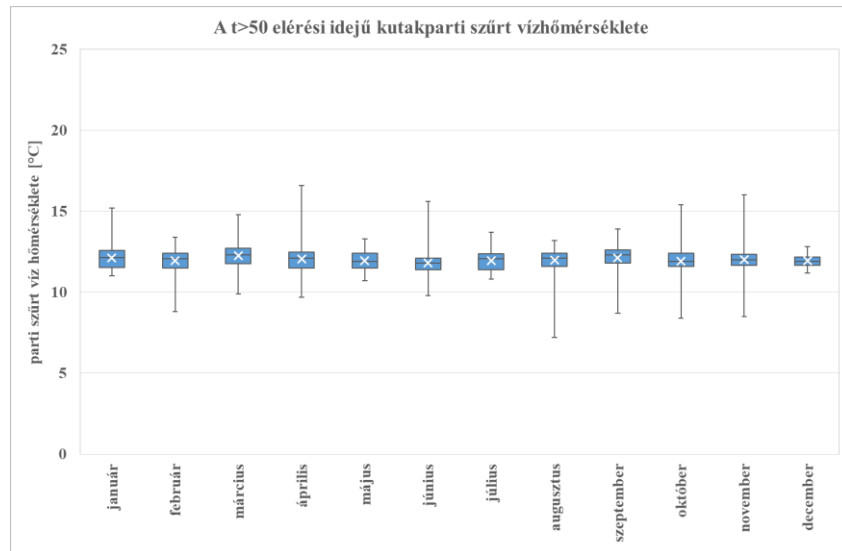






**7. melléklet A Duna és a parti szűrt víz hőmérsékletváltozása havi bontásban 2006-2021 közötti adatok alapján**





**8. melléklet: Partí szűrt víz hőmérséklete havi bontásban eltérő elérési idejű kutak esetében**

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni őszinte hálámat azoknak, akik támogattak ennek a dolgozatnak a megírásában. Az elmúlt hat év sok tapasztalatot és ismeretet hozott az életembe. Úgy érzem, sokat kaptam nem csak szakmailag, de emberileg is.

Külön köszönöm az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola tanárainak és munkatársainak támogató hozzáállásukat. Meggyőződésem, hogy oktatni ezzel a mentalitással a leghatékonyabb – példaértékű a hozzáállásuk.

Hálás vagyok témavezetőmnek, Professzor Dr. Takácsné Dr. György Katalinnak, első perctől lelkesítő és őszinte tanácsaiért. Amiért mindig átsegített a holtponatokon és végigvezetett engem ezen az úton.

Professzor Thomas Grischeknek, aki a kezdetektől inspirálta munkámat lelkesedésével, kitartásával és elhivatottságával.

A Fővárosi Vízművek Zrt. Üzemeltetési igazgatójának, Debreczeny Lászlónak, aki 16 éve szakmailag és emberileg is biztos pontot nyújt munkám során.

Köszönöm továbbá Csörnyei Géza Vezérigazgató Úrnak, amiért lehetővé tette számomra a disszertációm írásához nélkülözhetetlen vízminőségi és vízfogyasztási eredmények felhasználását a munkámban.

Köszönöm kollégáim támogatását és tanítását. A velük együtt dolgozott évek során nyert tudás az alapja ennek a dolgozatnak.

Végül, szeretném megköszönni családom támogatását és türelmét. Mert, bár nem értették, miért szeretnék doktori disszertációt írni, de elfogadták a döntésemet.