

A Zagyva-Tarna vízgyűjtőrendszer nehézfém szennyezettségének vizsgálata

TDK DOLGOZAT

Készítette:

Boros Júlia

Budapest, 2020. október

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés, kutatási előzmények	3
2.1 A nehézfémek jelentősége	3
2.2 Szennyezések vizsgálatának módszertana.....	5
2.3 A Zagyva-Tarna vízgyűjtő kutatástörténete	6
3. Célkitűzések	9
4. A mintaterület, a mérési és számítási módszerek bemutatása.....	10
4.1 Zagyva-Tarna vízgyűjtő	10
4.2 Számítási módszerek	14
5. Eredmények.....	16
5.1 Szennyvíztelepi elfolyó nehézfémkoncentrációk becslése.....	16
5.2 Anyagmérleg vizsgálata a csomópontokban	18
5.3 Anyagmérleg a „headwater” vízgyűjtőkre	20
5.4 Anyagmérleg a Tarján-patak vízgyűjtőre	22
6. Következtetések, további kutatási irányok.....	23
7. Irodalomjegyzék.....	27
8. Ábrajegyzék	28
9. Táblázatjegyzék.....	28
10. Köszönetnyilvánítás	29
11. Melléklet.....	29

1. Bevezetés

A víz az emberiség, és az élővilág számára a kezdetektől fogva szükséges lételem. Olyan közeg, amelytől ivóvízként az életben maradásunk függ, de ezen felül igen fontos szerepe van az iparban többek között mosó- és hűtővízként, valamint oldószerként mind a gyártási folyamatokban, mind pedig az élőlények biológiai működése szempontjából.

Mivel a vízfolyásokat sokféle behatás éri, természeti értékeink megőrzése érdekében folyamatosan fel kell mérni minőségüket, vizsgálni a szennyezések hatását, és szükség esetén lépéseket tenni védelmükért, majd ellenőrizni a kapott eredményt.

Vizeinkben a legfontosabb fizikai jellemzők: a hőmérséklet, oldott és lebegőanyag tartalom, zavarosság, és fajlagos vezetőképesség; a bakteriológiai vizsgálat során különböző patogén anyagok mennyiségét mérik, biológiai felmérésnél pedig élőlénycsoportokat, valamint minőségi és mennyiségi mutatókat vizsgálnak.

A kémiai állapot megismeréséhez többek között a leggyakoribb anionokat és kationokat, a víz keménységét, pH-ját, oldott oxigén és növényi tápanyagok mennyiségét mérik, továbbá az oxigén telítettségét és szervesanyagtartalmát. Ezen felül a mikroszennyezőket vizsgálják, ezek olyan kis koncentrációkban jelenlévő anyagok, melyek íz- és szagrontó hatással rendelkezhetnek, magukban, vagy más anyagokkal komplexet képezve mérgezők, karcinogének, mutagének, terratogének lehetnek. [1]

Ezek két fajtája a szerves (ide tartoznak például az alifás szénhidrogének, a növényvédőszer, felületaktív anyagok és gyógyszermaradványok) és szervetlen mikroszennyezők, utóbbiak a nehézfémek. Dolgozatomban ezek közül a higany, króm, ólom, cink, réz, és nikkel koncentrációját vizsgálom, valamint bár nem nehéz-, hanem félfém, az arzént is.

2. Szakirodalmi áttekintés, kutatási előzmények

2.1 A nehézfémek jelentősége

A nehézfémek megtalálhatók természetes állapotú talajokban az alapkőzet mállásának következtében, és ezekből – a felszín alatti lefolyás, illetve a feláramlás hatására – kioldódva vizeinkben is megjelennek – ezt hívjuk természetes háttérkoncentrációnak. Ennek mennyiségét legfőképp az alapkőzet fajtája befolyásolja, így előfordulhat, hogy ez természetes eredetű nagy

nehézfém-tartalmat okoz. Magyarországon az általam vizsgált fémek közül az arzén igen gyakran és nagyobb mennyiségben közetből jut a vizekbe. A legtöbb esetben azonban sokkal jelentősebb mértékű okozói a megnövekedett nehézfém-tartalomnak az emberi tevékenységek. Az antropogén hatások okozta nehézfém-kibocsátás Magyarországon is jelentős szennyezést okozhat, ugyanis míg a fejlettebb nyugat-európai országokban előrehaladottabb az ipar és intenzívebb a mezőgazdasági termelés, így nagyobb a kibocsátás, hazánkban a kevésbé jó minőségű széneknek, melyeket használunk, több a hamutartalma, ezért fokozott figyelmet igényelnek felhasználásuk során.

Az egyik ilyen emberi tevékenység, amely jelentősen károsíthatja a környezetet nehézfém-kibocsátásával az ipar. Egyebek között az energiatermelés és a bányászat, valamint az elektronikai és a vegyipar is hozzájárulhatnak ehhez a gyártási folyamatokkal, az elkészített fém termékek kültéri korróziójával, illetve a már nem használt termékek hulladékával. Így a légköri kiülepedés által a vizekbe kerülő réz-, cink- és higanyszennyezés mértéke oly jelentős, hogy a városok tetővizében, illetve az utakon lefolyó csapadékvízben mérhető. [1]

Ezen felül a kibocsátásokat okozhatja a közlekedés is. Az autók fékbetét kopásából jelentős mennyiségű réz, antimon és ólom, míg a gumiköpeny gördülési kopásából cink és kadmium kerül a csapadékvíz lefolyásba, de a tárcsa, gumiabroncs, az útburkolat, valamint a kipufogó kopása is szennyezheti. [2]

Az előbbieket mellett a mezőgazdasági termelés is juttat különféle nehézfémeket a talajba, így – közvetve – legfőképpen a felszíni vizekbe is. A szerves (Cu-, As-, Zn-tartalma) és hígtrágyák, a meszező anyagok, a peszticidek (Cu-, As-, Hg-, Pb-, Zn-tartalma), például a gyakran alkalmazott rézgálic, illetve a szerves Hg-tartalmú csávázószer és a szennyezett öntözővíz által bevitt anyagok ehhez mind hozzájárulnak. Bár a tápanyagforrásként felhasznált szennyvíziszapok magas Ni-, Cr-, Cu-, Pb- és Zn-tartalmúak, Magyarországon ezek használata kevésbé terjedt el, ennél jóval jelentősebb a műtrágyáknak a Cr-, Pb-, és Zn-tartalma. [3]

A különféle szennyezőforrások és a kibocsátások nagysága, valamint a nehézfémek biológiai hatása is indokolja vizeinkben mennyiségi mérésüket, és ezek figyelemmel tartását. Továbbá, mivel nem bomlanak le, így gyorsan, jól mérhető és modellezhető mennyiségük alakulása.

2.2 Szennyezések vizsgálatának módszertana

Ebben a fejezetben a [4] sz. forrás alapján ismertetem a vízszennyezések vizsgálatának lehetséges módszereit.

A vizek szennyezettségét vizsgálva különféle elvek szerint lehet meghatározni a kibocsátásokat, felmérni azok nagyságát és alakulását. Az alkalmazásukhoz eltérő mennyiségű és minőségű adatok lehetnek szükségesek, így ezek elemzésével más-más eredmény kapható. A mérések során a rendelkezésre álló információk, a szennyezőanyagok tulajdonságai, az elemzés tervezett részletessége és egyéb paraméterek befolyásolják, és szabják meg, hogy adott esetben mely módszer a legideálisabb.

Ezek közül az első a folyami terhelés szerinti megközelítések (Riverine Load Oriented Approaches), melyek egy szennyező anyag a vízfolyás által, annak valamely szelvényében egységnyi idő alatt szállított tömegét írják le, általában kg/év vagy t/év mértékegységben kifejezve. A módszer a koncentrációra és vízhozam adatokra épít az alapvető transzport-, tárolási, és átmeneti tárolási folyamatok, valamint az anyagok degradációjának figyelembevételével.

A folyami terhelés szerinti megközelítések hasznos eszközt nyújtanak a diffúz kibocsátások becslésére, vagy a modellezett értékek megerősítésére is. Ez a módszer azonban a különféle diffúz forrásból való kibocsátásokat egyetlen értékbe halmazza, így nem lehetséges például megkülönböztetni a mezőgazdaságból és a városi lefolyásból származó emissziókat. Ha ennél pontosabb elemzés elkészítése a cél, akkor a másik két módszer valamelyikét kell alkalmazni.

Az elsónél részletesebb eredményekkel a szolgálnak az útvonal szerinti megközelítések (Pathway Oriented Approaches), mely lehetővé teszik a fő források és a lokális gócpontok beazonosítását, valamint átfogó betekintést nyújt az emissziós állapotokba specifikus kibocsátásokat eredményezve (pl. területspecifikus terhelések, esővízlefolyás terhelések). Így ez adja az alapját egy pontos leltárnak.

Specifikusabb információkat használ a benne foglalt földhasználattal, hidrológiával és alapvető transzportfolyamatokkal kapcsolatban. A szükséges adatmennyiség nagyobb, mint az első megközelítési elvnél, de a leltár és a gazdálkodási tervek számára elérhető információszint még nagyobb. Ennek az elvnek az alkalmazásakor létfontosságú az emissziós forrás és befogadó víztest közötti transzportfolyamatok, eltávolítási és átmeneti tárolási folyamatok megértése.

Az útvonal szerinti megközelítés Európa szerte régóta ismert és használt módja a tápanyag és nehézfém mennyiségi meghatározásának. A szállított tömegek és a bevont folyamatok összetettsége tekintetében az erózió a legalkalmasabb, hogy bemutassa a módszer alapelveit. Olyan anyagok esetén, melyek mindenütt jelen lévő kibocsátási mintázatot követnek, vagy amelyekre hatékony enyhítő intézkedések nem lehetségesek, a következő módszer lehet megfelelő.

A forrás szerinti megközelítés (Source Oriented Approach) anyagspecifikus termelési, értékesítési és fogyasztási információkon alapszik. Lehetővé teszi, hogy széleskörű képet kapjunk egy anyag életciklusáról. Ennek az elvnek az előnye, hogy a megszerzett információk elég precízek ahhoz, hogy nem csak csővégi megoldásokat, de forrásszabályozásokat és megelőző intézkedéseket is megvalósítsanak.

A módszer hátránya, hogy a felhasználható adatok többször térbeli vagy ideiglenes megoldásokra korlátozottak, ami befolyásolja az eredmény minőségét. Az adatállományok sokszor csak országos vagy EU-s szinten érhetők el továbbá, ha a szemlélet egy vízgyűjtőre korlátozódik gyakran szakértői becsléseket kell használni a helyi körülmények leírására. Bár a nemzeti adatok kiváló minőségűek lehetnek az alapos összeállítás miatt, a helyi szintre való leskálázása hibákat építhet be.

Tanulmányomban az első módszert vettem alapul, és használtam a legtöbb esetben a folyókban mért koncentráció- és vízhozamértékek feldolgozásakor, illetve útvonal szerinti megközelítést alkalmaztam egyes esetekben, többek között szennyvíztisztító telepek vizsgálatakor.

2.3 A Zagyva-Tarna vízgyűjtő kutatástörténete

A KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 azonosítószámú, „VKI monitoring - kutatási - módszerfejlesztő – adatgyűjtő program” elnevezésű projekt K6 „Veszélyes anyagok és vízgyűjtő-specifikus szennyezőanyagok reprezentatív felmérése a kommunális és ipari kibocsátók szennyvizeiben (emisszióprofil)” projektelemében országsszerte 63 szennyvíztisztító telep koncentrációi lettek megmérve évi maximum négyszer. Ezek közül 11 kommunális, és 1 ipari telep található a mintaterületen [5]. A telepeken kibocsátott tisztított szennyvíz vízhozamát az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) 2016-os összesítése alapján vettem figyelembe [8].

Ugyanezen projekt K7 „Emisszióeltár és a keveredési zónák módszertanának kidolgozása és készítése” projektelemének keretén belül két jelentés készült. Ezek közül az első célja a

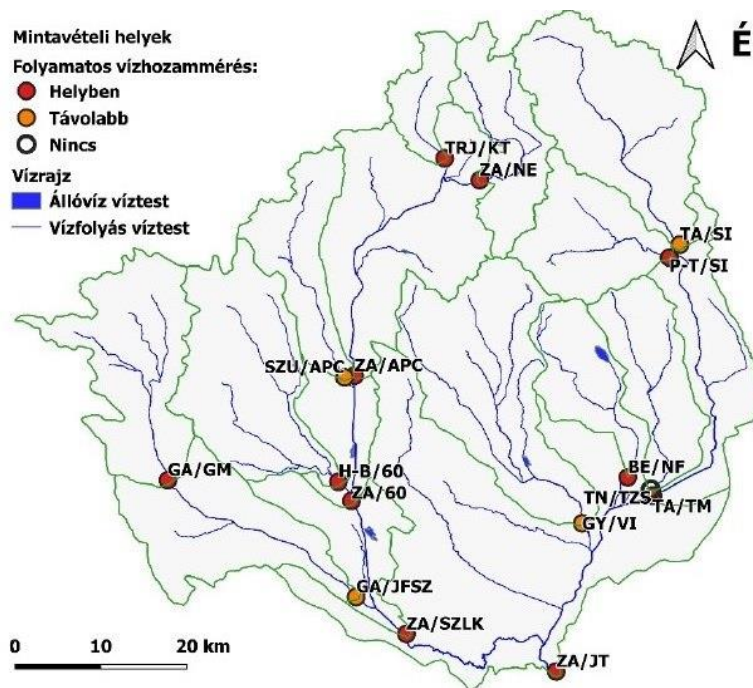
vizsgált belterületi lefolyások fajlagos terhelésének meghatározása volt a projekt keretében mért koncentrációk alapján. A víztestek anyagforgalmának meghatározásához 11 városi vízgyűjtőterületet vizsgáltak, melyek összessége országos szinten reprezentatív [9].

Az egyik helyszín Salgótarján volt, amely a Tarján-patak vízgyűjtő területén fekszik. Dolgozatomban esettanulmányként ezen patak vízgyűjtő területét vizsgálva az itt elhelyezett automata készülék által 2019. március 4. és november 30. között kétpercenként regisztrált vízhozam adatokat használtam fel. Emellett a 30 db vízhozamarányosan vett automata minta vízanalitikai elemzésével megállapított esemény átlagkoncentráció értékét is felhasználtam számításaimhoz. Ezen adatok főbb statisztikai jellemzőit tartalmazza az 1. táblázat.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn	Σ N	InorgN	OrgN	Σ P	C5-12	C13-40	TPH	Σ PAH	Σ naftalin	Σ egyéb PAH	
	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	
N_{hátér}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5
átlag	1,04	0,01	0,62	3,6	0,39	3,1	0,2	0,45	18	3,8	2,8	1,0	0,10	1,2	19	20	0,05	0,03	0,01	
medián	1,08	0,01	0,49	3,2	0,01	2,9	0,1	0,40	21	3,9	2,9	0,5	0,08	1,2	19	20	0,03	0,03	0,01	
min	0,34	0,01	0,23	2,4	0,01	2,3	0,1	0,14	10	2,6	1,7	0,0	0,05	0,5	15	15	0,01	0,01	0,00	
max	1,48	0,01	1,21	5,3	1,92	4,0	0,5	0,86	26	4,6	3,6	2,9	0,24	1,9	24	25	0,10	0,07	0,03	
szórás	0,42	0,00	0,39	1,3	0,85	0,7	0,2	0,29	7	0,7	0,7	1,1	0,08	0,8	3	4	0,04	0,03	0,01	
rel. sz.	41%	37%	63%	35%	218%	21%	84%	64%	35%	20%	26%	120%	74%	67%	19%	18%	80%	79%	85%	
N_{auto}	30	30	30	30	30	30	30	30	30	25	25	22	30	19	30	30	29	26	27	
átlag	1,43	0,08	1,46	20,6	0,04	6,1	4,9	1,21	86	3,1	1,7	1,5	0,24	2,3	200	202	0,21	0,06	0,17	
medián	1,30	0,06	1,19	17,6	0,01	5,1	3,2	1,15	74	2,6	1,5	1,3	0,18	1,8	143	144	0,11	0,05	0,07	
min	0,69	0,01	0,51	3,7	0,01	2,1	0,3	0,72	4	1,1	0,6	0,0	0,02	0,6	21	21	0,01	0,01	0,01	
max	2,71	0,40	3,44	81,9	0,70	21,4	17,9	1,86	256	10,1	4,7	7,7	0,71	6,6	731	735	0,83	0,16	0,76	
szórás	0,57	0,08	0,78	16,0	0,13	3,6	4,2	0,32	60	1,9	0,8	1,6	0,19	1,6	187	187	0,22	0,04	0,20	
rel. sz.	40%	97%	53%	78%	303%	59%	86%	27%	70%	59%	49%	105%	79%	70%	93%	93%	105%	63%	118%	
N_{idősr}	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
átlag	3,30	0,43	4,97	33,6	0,01	27,1	21,0	1,85	234	3,5	1,3	1,6	0,59	12,1	975	985	1,23	0,09	1,14	
medián	2,33	0,19	3,39	22,8	0,01	7,8	12,0	1,37	160	3,3	1,1	1,5	0,43	4,3	574	577	0,50	0,04	0,47	
min	1,22	0,06	1,17	7,6	0,01	3,6	2,5	0,85	45	0,5	0,8	1,0	0,12	1,2	149	149	0,07	0,01	0,06	
max	8,62	2,13	19,20	136,0	0,01	206,0	96,6	5,92	710	7,5	2,2	2,5	1,68	57,0	4650	4650	5,88	0,40	5,48	
szórás	2,20	0,50	4,66	31,4	0,00	47,0	22,6	1,35	187	2,1	0,7	0,7	0,46	17,4	1109	1108	1,58	0,11	1,47	
rel. sz.	67%	117%	94%	93%	0%	173%	108%	73%	80%	59%	51%	44%	77%	144%	114%	112%	128%	122%	129%	

1. táblázat. Tarján-patak vízgyűjtő belterületi mérési pont adatainak főbb statisztikai jellemzői. Forrás: [9] 3.2 táblázat.

A mintavételezési program kiterjesztése segítette az Emisszióeltár [5] módszertanának kidolgozását és alkalmazását két hazai vízgyűjtőre. A korábbi kormányhivatali monitoring során kapott eredmények felhasználásával a Zagyva vízgyűjtőterületén 15 mintavételi hely lett kijelölve, melyeken havi rendszerességgel mintavétel történt 2019. márciustól - 2020. márciusáig [5]. A területen a mintavételezési helyek nagy része a Zagyván és a jelentősebb mellékágak torkolatának közelében helyeztek el. Ezen helyeket az 1. ábra és a 2. táblázat mutatja be.

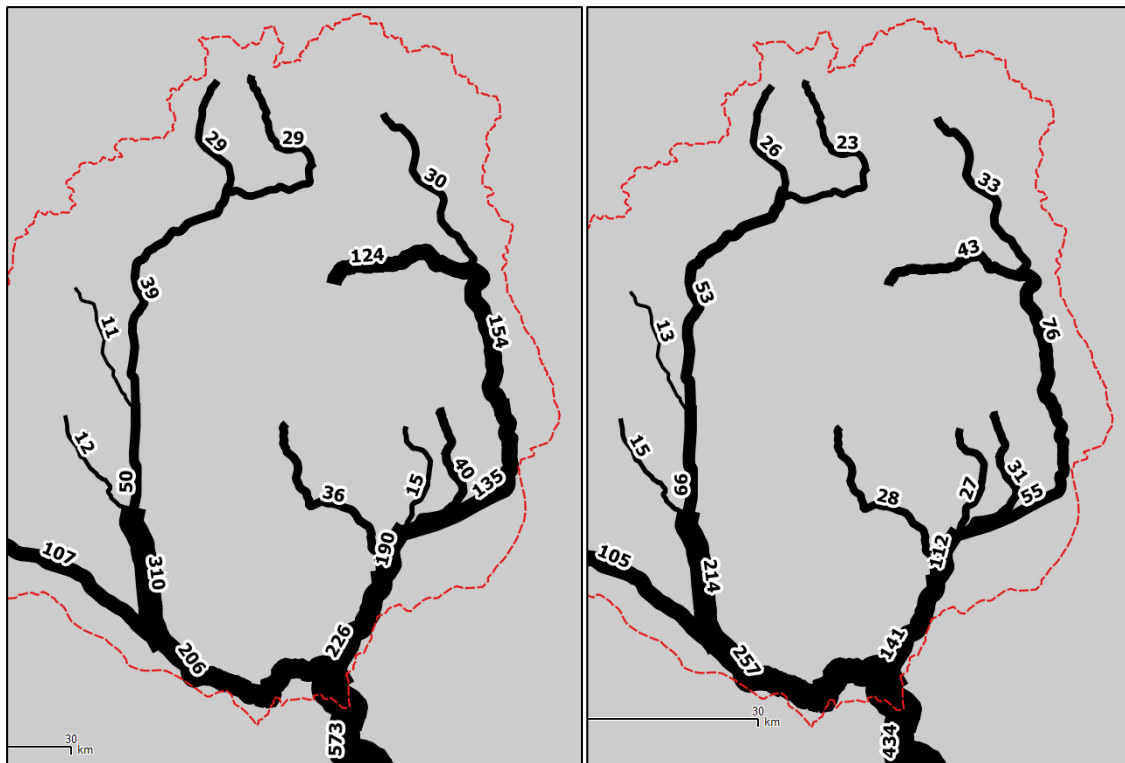


1. ábra. Az Emisszióeltár jelentés mintavételi helyszínei. Forrás: [5] 3. ábra

Jel	Vízfolyás	Fkm	Település	Helyszín
BE/NF	Bene-p.	4,2	Nagyfüged	vízmérce
GA/GM	Galga	29,8	Galgamácsa	vízmérce
GA/JFSZ	Galga	2,7	Jászfényszaru	Jászfényszaru – Zsámbok közút hídjánál
GY/VI	Gyöngyös-p.	4	Visznek	vízmérce
H-B/60	Herédi-Bér	3,0	Hatvan	M3 ap. fölött, vízmérce
P-T/SI	Parádi-Tarna	0,8	Sirok	vízmérce (vasúti mh. mellett)
SZU/APC	Szuha	2,0	Apc	21-es út – Apc bekötőút hídjánál
TRJ/KT	Tarján-p.	2,3	Kisterenye	vízmérce
TA/SI	Tarna	62	Sirok	településen belül, 24-es út hídja alatt
TA/TM	Tarna	24,3	Tarnaméra	vízmérce
TN/TZS	Tarnóca-p.	4,4	Tarnaszadány	vízmérce
ZA/NE	Zagyva	155,4	Nemti	vízmérce
ZA/APC	Zagyva	119,2	Apc	vízmérce
ZA/60	Zagyva	104,0	Hatvan	cukorgyári zsilip
ZA/SZLK	Zagyva	87,8	Szentlőrincváta	vízmérce
ZA/JT	Zagyva	54,8	Jásztelek	vízmérce

2. táblázat. Az Emisszióeltár jelentés mintavételi helyszínei. Forrás: [5] 3. táblázat

Az Emisszióeltár jelentésben a vizsgált nehézfémek anyagárama a mintavételi helyeken mért koncentráció- és vízhozam értékekből lett kiszámítva. Az így született eredmények a mintavételi időszak jellemző értékeit szemléltetik. Ezekből kettő látható az 2. ábrán. [5]



2. ábra. Anyagáramok a Zagyva-Tarna vízgyűjtőrendszeren (kg/év): bal: réz, jobb: nikkel.
 Forrás: [5] 37. és 38. ábra

A területen továbbá a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) is végzett méréseket, melynek célja a természetes fém háttérértékek meghatározása volt üledékekre. Az MBFSZ projektje keretében végzett vizsgálatok során kiderült, hogy sok elem (bárium, higany, arzén, szelén, kadmium, antimon, cink és réz) mennyisége volt szennyezési határérték felett a vizsgált patakok és folyók árterén és még többnek a mederben lévő hordalékanyagban (a korábban említetteken felül króm és nikkel). A Mátra területén dúsulást mutat az arzén, kadmium, ólom, antimon, szelén és cink. Ezekben a mintákban a bór, kobalt és réz szintén nagyobb mennyiségű, de ezeknél az elemeknél ez nem egyedülálló kiugrás. Ezzel ellentétben a króm a jársági területeken adott magasabb értékeket, míg néhány elem (bárium, higany) nem mutat különösebb tendenciát. [7]

3. Célkitűzések

Az eddigi eredményeket figyelembe véve és bővítve célok a Zagyva-vízgyűjtő víztestjei anyagforgalmának vizsgálata a bevezetőben említett 6 nehézfém, és az arzén tekintetében. Ehhez elsőként az szükséges, hogy a mintaterületen lévő, sem a K6 projektelemében, sem más vizsgálatok során nem mért szennyvíztelepek kibocsátását meg tudjam becsülni.

Az eddigi mérések eredményeinek anyagáramokat ábrázoló rajzai a pontszerű források (azaz a telepek) beazonosításával – kibocsátásuk ismeretében – tovább fejleszhető. Ez pedig már lehetségessé tenné a diffúz forrásokból érkező szennyezések meghatározását is, melyet az összes és a pontforrások mennyiségének különbségéből kapunk. Így a mintaterületen az anyagáram mind a pontforrások, mind a diffúz források figyelembe vételével készülne el.

Célom, hogy a teljes anyagáram mennyiségi megismerése révén a különböző forrásokból származó nehézfémek arányát illetően megállapításokat tegyek a vízgyűjtő egyes vízfolyásaira / vízfolyásszakaszaira. A Tarján-patak vízgyűjtő területének esettanulmányával célom, hogy a belterületről, és a szennyvíztelepekről érkező vizek minősége, és a bennük található szennyező anyagok mennyisége is összehasonlíthatóvá váljék.

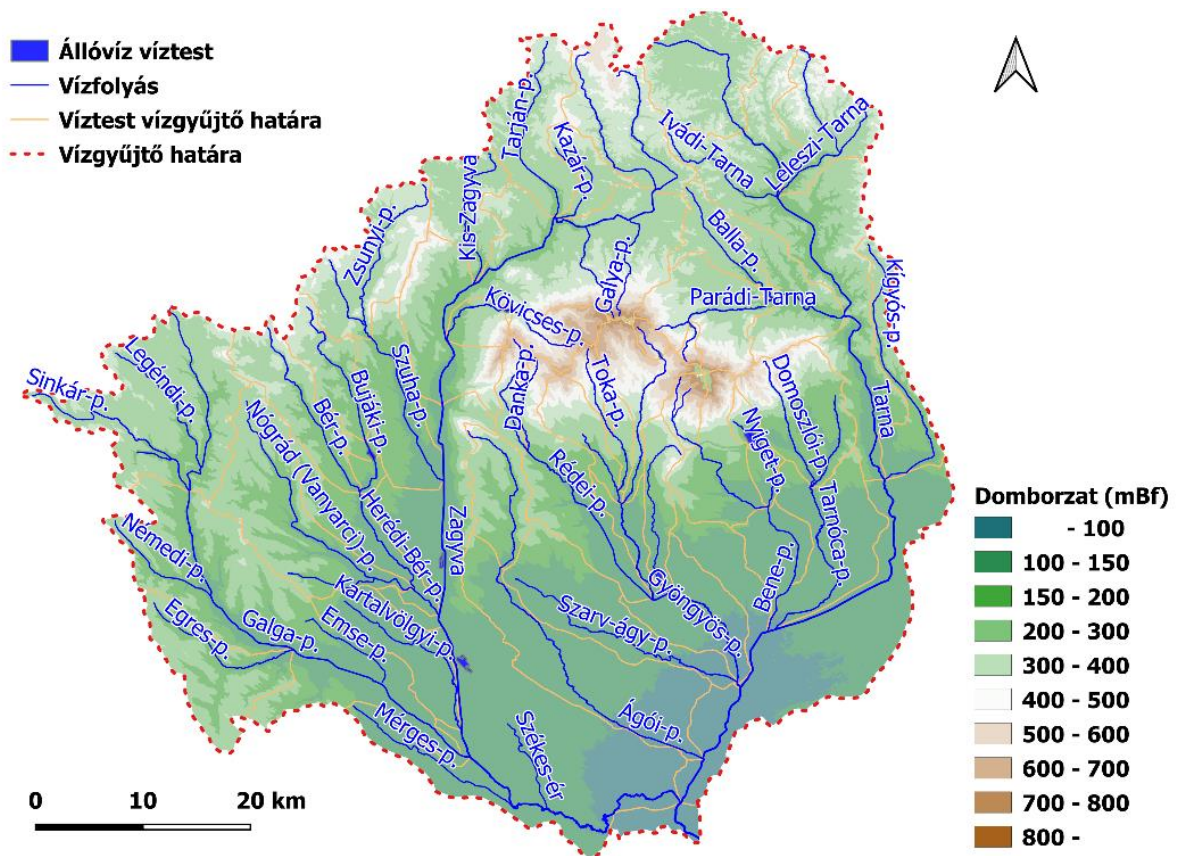
A Zagyva-Tarna vízgyűjtő ilyen szintű felmérése ezen anyagok szempontjából nagy előrelépés, amely a nehézfémek egyre növekvő jelentősége következtében elindíthatja, és országsszerte egyre gyakoribbá teheti a hasonló típusú feltérképezési folyamatokat.

4. A mintaterület, a mérési és számítási módszerek bemutatása

4.1 Zagyva-Tarna vízgyűjtő

Dolgozatomban a Zagyva Jásztelek feletti vízgyűjtő területének (4210 km²) nehézfém-szennyezését vizsgálom. A vízfolyás vízgyűjtő területének egésze Magyarországon található, ebben a kategóriában hazánkban a Zagyva a legnagyobb, így nagy jelentőséggel bíró folyam. A vizsgált területen a Cserhátból és a Mátra nyugati és északnyugati oldaláról a Zagyva gyűjti össze a mellékfolyókat, míg a Mátra többi részéből a Tarnába folynak. [5] [6]

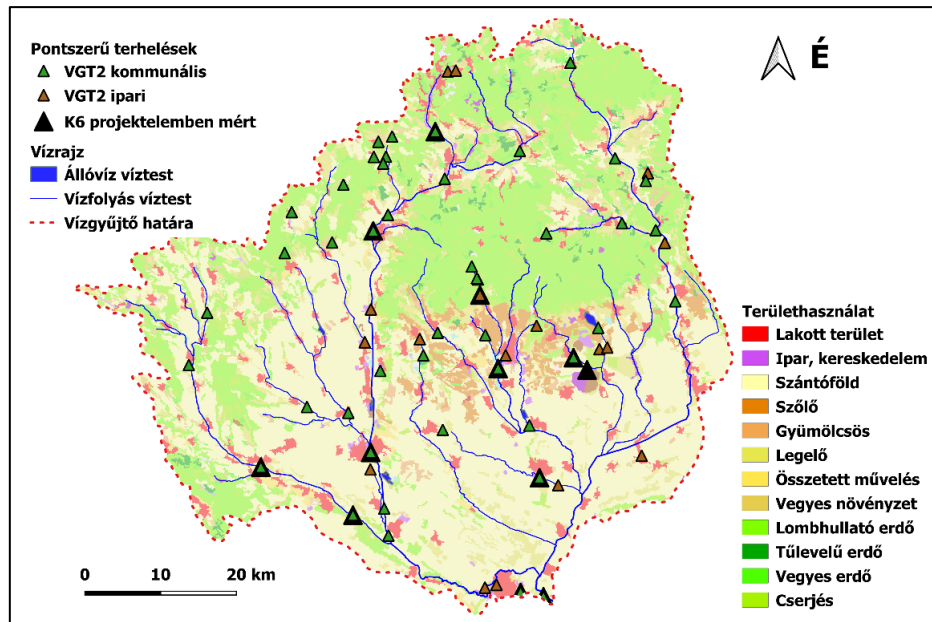
A mintaterület domborzatát és vízrajzát a 3. ábra mutatja be.



3. ábra. A Zagyva-vízgyűjtő mintaterület domborzata és vízrajza. Forrás [5] 1. ábra

A mátrai ércesedések, valamint a bányászati tevékenységek hatására a terület geokémiailag igen egyedi, így a folyókban is sok nehézfém található meg különböző mennyiségű természetes háttérkoncentrációval. [7] A geológiai adottságok által okozott háttérkoncentrációkat azonban megnövelik az antropogén hatások.

A mintaterület háromnegyedét háromféle felszínborítás teszi ki: legnagyobb részben (42%) szántóföldi mezőgazdálkodás, 26%-ban lombhullató erdők, valamint városi területek 4%-ban (4. ábra).

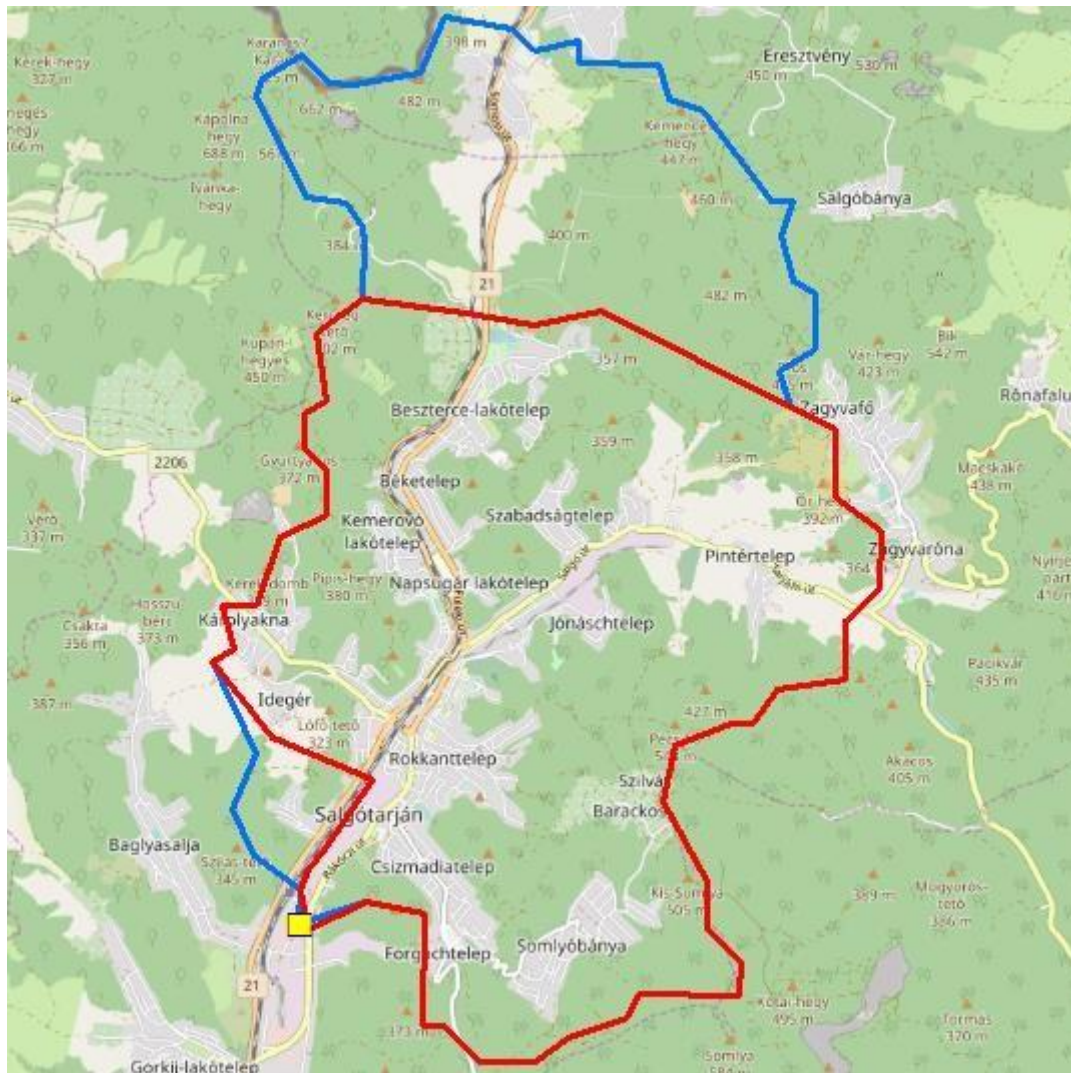


4. ábra. Területhasználatok és pontszerű terhelések a mintaterületen. Forrás: [5] 2. ábra.

A területen egy megyeszékhely, 13 város (melyből 7 tízezer főt meghaladó lakosságú), és hat nagyközség található. A teljes vizsgált vízgyűjtőre százhatvanhét település belterülete esik. Ezekről a községekről összesen 44 kommunális és 24 ipari szennyvízbevezetésen keresztül jut szennyezés a vizekbe [5]. Esettanulmány: Tarján-patak vízgyűjtője

A mintaterületen belül részletesebben vizsgáltam a Tarján-patak vízgyűjtő területét ugyanis ez egy viszonylag kicsi, ám részletesen mért vízgyűjtő: amellett, hogy a patak vízhozamát a torkolat közelében rendszeresen mérik, és ugyanezen a ponton a KEHOP projektben is történt havonkénti mintavétel (ld. 2.3 fejezet, 1. ábra és 2. táblázat), a belterületi szennyezések is mérésre kerültek (ld. 1. táblázat), valamint a szennyvíztelep elfolyó koncentrációira is vannak adataink. Ezen belül elsőként a Salgótarjánon mért – már korábban említett – K7 projektelembel területi lefolyás adatait használtam fel.

Salgótarján Nógrád megye székhelye, 10.083 ha közigazgatású területtel rendelkező város. Lakosság 37.199 fő, átlagos népsűrűsége 3,69 fő/ha. A hegyvidéki település Magyarország viszonylag szárazabb területei közé sorolható, a Tarján-patak alaphozami vízszintje relatíve alacsony, 10 centiméternél kicsivel magasabb. A területen áthaladó 21-es főút igen nagy forgalmat bonyolít le Szlovákia felé vezetve, a terep átlagos lejtése 8,96% 100 méteres rácshálón mérve. Az áthaladó főút mellett a városrészek közötti forgalom is jelentős. A 5. ábrán látható a mintaterületnek a belterület projektelemben létesített mintavételi hely fölötti áttekinthető térképe. [9]



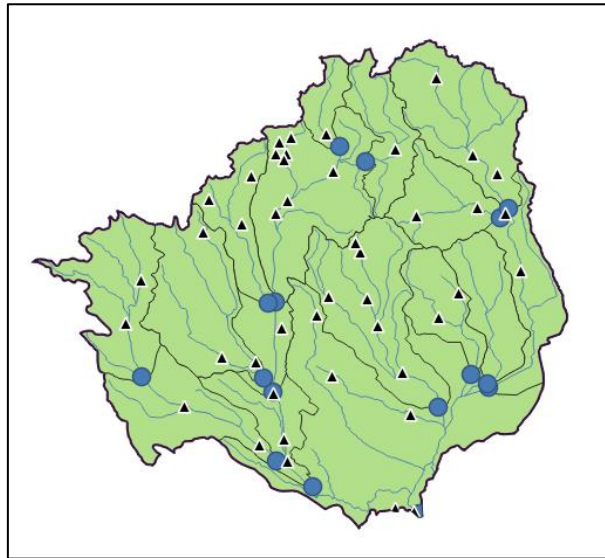
5. ábra. A salgótarjáni mintavételi ponthoz tartozó topográfiai vízgyűjtő (kék határvonal) és a kiépített csapadécsatornák alapján ebből lehatárolt városi vízgyűjtő (piros határvonal). Forrás: [9] 3.1 ábra.

A Tarján-patak – és az azt tápláló vízfolyások – vezetik le a terület csapadékvizeit a Zagyvába. A belterületi projektem mintavételi pontja a patak Vásártér utcai szakaszán helyezkedik el, a városközpont és az egyik ipari terület alatt. [9]

Az esettanulmányban továbbá szerepel a vizsgált városi mintavételi hely alatt elhelyezkedő salgótarjáni szennyvíztisztítótelep, pontforrás típusú kibocsátást eredményezve. Mivel a vízgyűjtő kis területű, és a patak is kis vízhozamú, elsősorban a felszíni lefolyásból érkezhethet a terhelés. A Tarján-patak vízgyűjtő területének összes terhelését az eddigi mérési pontok alatt elhelyezkedő Emisszióeltárban mért kisterenyei mérési pont (jelölése: TRJ/KT) eredményei szolgáltatták. [5]

4.2 Számítási módszerek

Tanulmányomban vizsgálom a teljes Zagyva-Tarna vízgyűjtő területének anyagmérlegét, melyet a KEHOP K7 projekt külterületi mérési pontjai alapján kialakított csomópontokra végzett számításokkal kezdtem. A vízgyűjtő terület 16 kisebb részre lett szétválasztva, ezek határvonala feketével van jelölve, annak érdekében, hogy a jelentősebb csomópontok vizsgálata lehetővé váljon. A vízgyűjtő területének ezen módon való felosztását mutatja a 6. ábra.



6. ábra. A Zagyva-Tarna vízgyűjtő területének felosztása az Emisszióeltár jelentés mérési pontjai szerint. A háromszögek a vizsgált kommunális szennyvíztelepeket, a kék pontok az előbb említett projekt mérési pontjait jelölik.

A csomópontok vizsgálata során a helyszíneken mért anyagáramot a közvetlenül fölöttük elhelyezkedő mérési pontok anyagáramainak összegével hasonlítottam össze. Az anyagáramok (akár szennyvíz kifolyóé, akár vízfolyásé) a koncentráció és a vízhozam szorzataként számolható: $L = Q * C$ (L: fém anyagáram [kg/év], Q: vízhozam [$m^3/év$], C: fém koncentráció [kg/m^3]). Az anyagmegmaradás törvénye értelmében az alsó vizsgálati pontok anyagáramainak legalább egyenlőnek, vagy nagyobbak kell lennie a felvízi pontok anyagáramainak összegével. Ez azonban nem feltétlenül teljesül a kiülepedés, valamint az esetleges mérési pontatlanságok miatt.

A számítások következő lépéseként az országos szennyvíztelep-mérések (K6 projekt) eredményei alapján összefüggéseket állítottam fel, hogy a telepek vízhozama függvényében – a réz- és esetenként a higanykoncentráció – vagy attól függetlenül a nehézfémkoncentráció mennyiségét meghatározom az elfolyó vízben.

Ezek után a mintaterület ún. „headwater” vízgyűjtőit vizsgáltam, melyek a következők: Zagyva (Nemti fölött), Tarján-patak, Szuha-patak, Herédi-Bér, Galga, Tarna (Sirok fölött), Parádi-Tarna, Bene-patak, Tarnóca-patak, Gyöngyös-patak. A kifolyási ponton mért anyagáramot a pontforrások figyelembe vételével a következő 2 (az arzén esetében 3) komponensre bontottam: szennyvíztelepi, diffúz (illetve háttérterhelésből adódó) anyagáramokra. Ennek számításához az előbb említett összefüggéseket használtam fel a koncentrációk meghatározására.

A háttérterhelés számításakor az alaphozami vízhozamot az Emisszióeltár [5] vízhozam adataiból helyszínenként vizuális módszerrel, a koncentrációt pedig a K7.1 Zárójelentésben [9] mért háttérértékek, és az OKIR-FEVISZ 2020-as adatbázisból [10] állapítottam meg, időben konstansnak feltételezve mind a vízhozamot, mind a koncentrációt. Erre az arzén esetében azért volt szükség, mivel a hazai geológiai viszonyok miatt jelentős mennyisége oldódik be az alapkőzetből, a vízben való előforduláshoz képest, míg ez a többi vizsgált anyagra kevésbé igaz (pl. a cink közúti közlekedésből is nagy arányban érkezik az alapkőzetből való beoldódás mellett).

A számítások során a galgamácsi (GA/GM) területet nem vettem külön résznek, mivel itt csak 2 mérést végeztek, így a teljes Galga-vízgyűjtőre a Jászfényszarunál (GA/JFSZ) végzett mérési pont adatai vonatkoznak.

Az esettanulmány során a Tarján-patak vízgyűjtő területén bemutatott 3 mérési pontot használtam fel, és ezek átlagából számított koncentrációértékekkel dolgoztam. A kisterenyei kifolyási pontban mért anyagáramot 3 (az arzén esetében 4) komponensre bontva vizsgáltam: szennyvíztelepi, belterületi diffúz, egyéb diffúz (illetve háttérterhelésből adódó) anyagáramokra. Így ezen a területen részletesebben megismerhető, milyen forrásból mekkora arányban vannak jelen a nehézfémek, míg a többi vízgyűjtő vizsgálatakor a diffúz forrástól nem különítettem el a települési anyagáramokat, hanem a mérőhely és a pontforrások értékeinek (és esetenként a háttér) különbségéből számítottam.

Az anyagmérleg számításakor az ehhez szükséges adatok hiányában nem vettem figyelembe a folyóban zajló - már korábban említett - kiüledési, illetve felkavarodási folyamatokat, valamint a természetes háttérkoncentrációját a fémeknek (az arzén kivételével), továbbá az ipari szennyvíztelepeket sem.

5. Eredmények

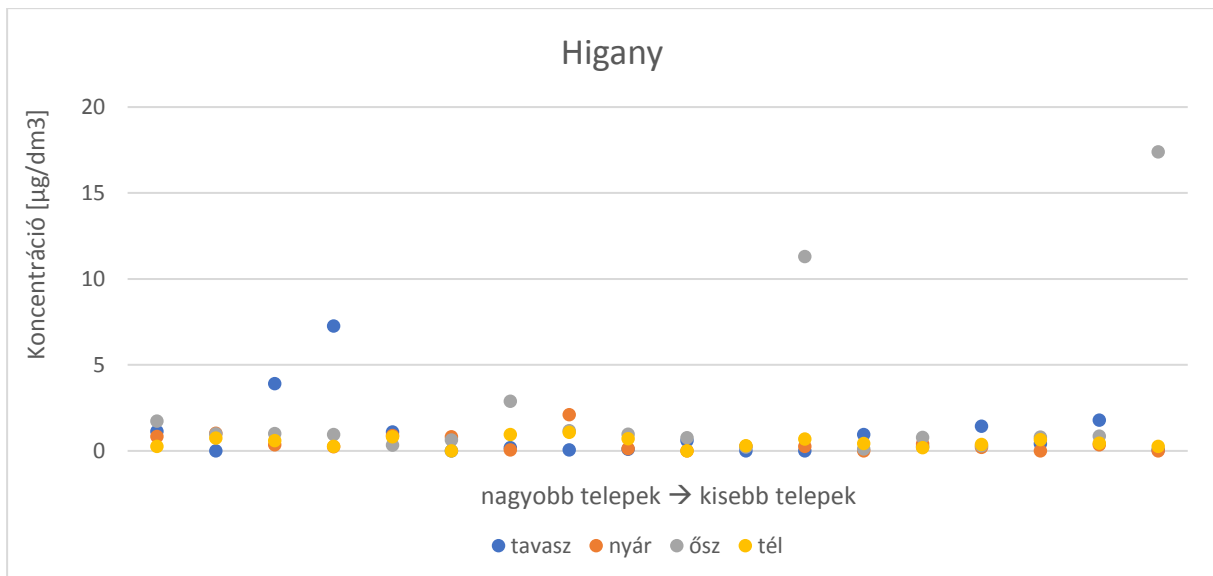
5.1 Szennyvíztelepi elfolyó nehézfémkoncentrációk becslése

A K6 projektelemben mért országos szennyvíztelepi elfolyó nehézfém koncentrációk alapján a vizsgált nehézfémek esetében tendenciákat, összefüggéseket kerestem, melyek célja, hogy a mintaterületen levő nem mért telepek kibocsátása becsülhető legyen.

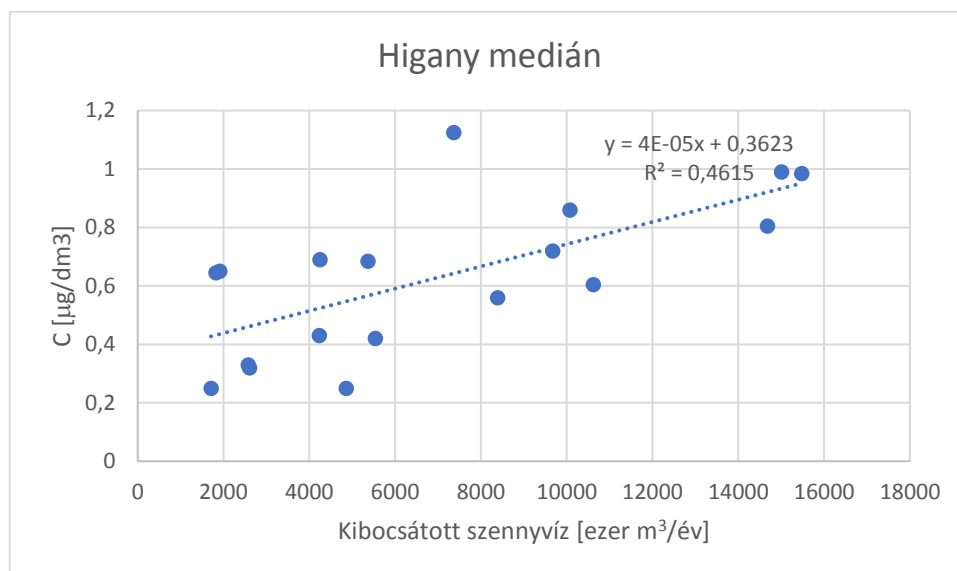
A diagramokon az évi 4 mérési eredmény szemléltetésekor a helyszíneket a telepek vízhozama szerint csökkenő sorrendbe rendeztem. Így megfigyelhető, hogy a kisebb telepek felé haladva több kiugró, illetve folyamatosan növekvő érték is található. Ez alapján a nehézfémekről általánosságban elmondható, hogy a kisebb vízhozamú telepek esetében a koncentráció magasabb, mint a nagyobb mennyiségű tisztított szennyvizet kibocsátóknál. Az utóbbi jelenség oka lehet, hogy a kisebb vízhozamú telepek valószínűleg kisebb településeket, községeket látnak el, melyeknél gazdasági megfontolásból kevésbé hatékony technológiákat alkalmazhatnak a nagyvárosokkal szemben.

A koncentrációk anyagokként való vizsgálatakor a fővárost több fém (így az itt bemutatott higany) esetében is kihagytam a diagramokból, ugyanis Budapesthez az ország más területén (és különösen: a mintaterületen) nincs hasonló méretű és lakosságú város, így ez országos szinten nem reprezentatív, és kitűzött céloknak nem megfelelő adatokkal szolgálna.

Az egyes fémek vizsgálatakor hamar felfedezhetőek voltak az eredményekben rejlő tendenciák. A higany esetében az 1500-nál (ezer m³/év) nagyobb vízhozamú telepekre szűkítettem a vizsgáldást. Így bár a helyszínek szűk fele látható a diagramon, ugyanakkor a korábban említett okok miatt a kisebb kiugró értékektől függetlenül már jól látható a lineáris összefüggés koncentrációk mediánja és a kibocsátott szennyvíz mennyisége között. A medián használata azért különösen előnyös, mivel a kiugró értékeket kiszűri az adatok közül.

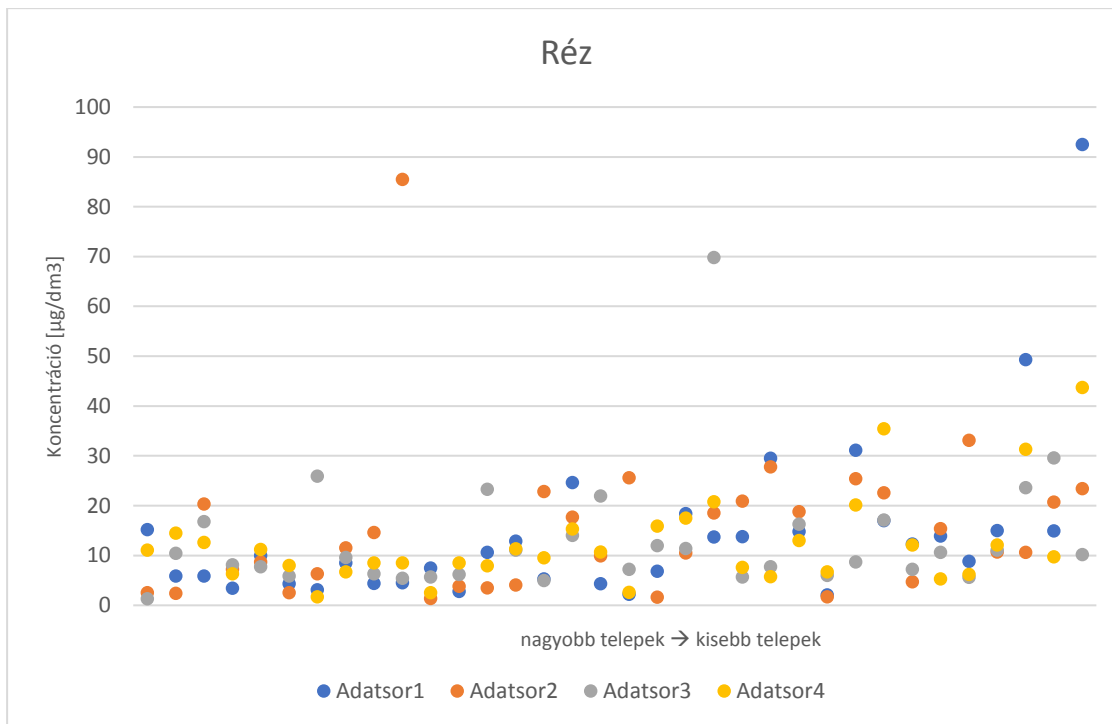


7. ábra. Higanykoncentráció alakulása telepenként

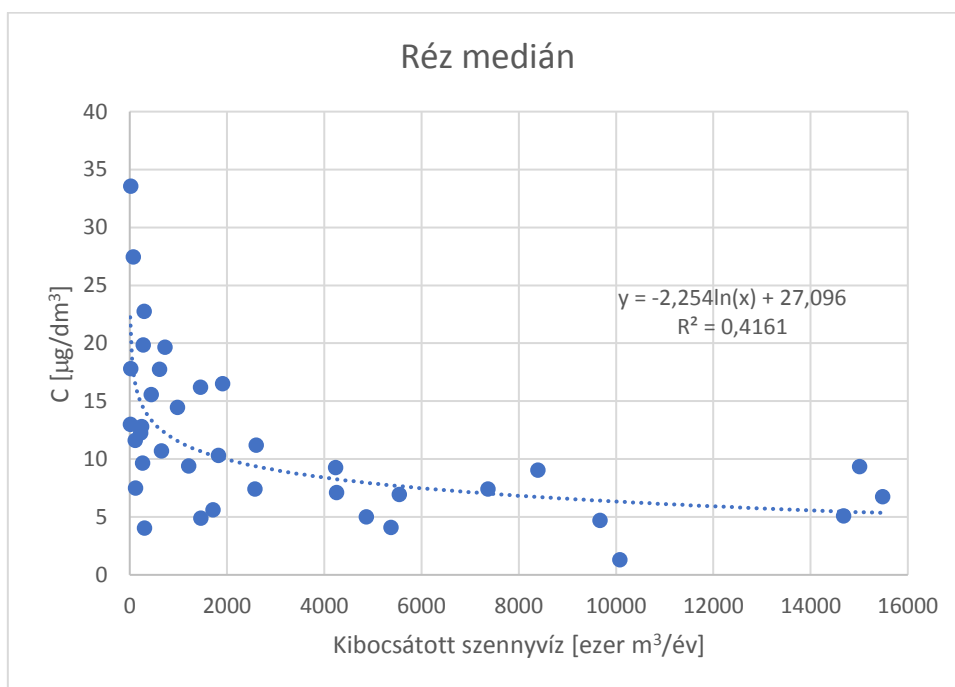


8. ábra. Higanykoncentrációk telepenként vett mediánja

A higanytól eltérő módon több fém mediánja is logaritmikus összefüggést mutat a kibocsátott szennyvíz mennyiségével. Erre egy példa az 10. ábra, ahol a réz mérési eredményei láthatók. A diagramon a győri telepet nem tüntettem fel, mivel itt a nyári mintavétel eredménye oly mértékben eltérő volt, hogy nagy valószínűséggel mérési hiba vagy egyedi esemény okozta.



9. ábra. Rézkoncentráció alakulása telepenként



10. ábra. Rézkoncentrációk telepenként vett mediánja

5.2 Anyagmérleg vizsgálata a csomópontokban

Ebben a fejezetben két példa alapján mutatom be a csomópontok vizsgálatának eredményeit. Az összes terület megvizsgálva kijelenthető, hogy az anyagmérlege a „headwater” vízgyűjtők

esetében a legtöbb helyen pozitív lett. Erre példa a ZA/60 terület, melynek anyagmérlegét a 3. táblázat mutatja be.

		Belépő: ZA/APC	Belépő: SZU/APC	Belépő: H-B/60	Különbség: „diffúz”	Kilépő: ZA/60
Q [m ³ /év]		15091678	6210817	4953059	23315670	49571225
Cu	L [kg/év]	39.05	11.29	11.51	248.46	310.31
Zn	L [kg/év]	190.81	21.44	37.74	495.18	745.18
Pb	L [kg/év]	15.26	1.07	1.68	15.29	33.31
Cr	L [kg/év]	9.61	2.74	2.86	20.09	35.30
Ni	L [kg/év]	52.96	13.48	15.18	132.65	214.27
As	L [kg/év]	48.14	25.49	20.37	72.84	166.84
Hg	L [kg/év]	0.36	0.10	0.07	0.92	1.47

3. táblázat. ZA/60 csomópont anyagmérlege

Ezzel szemben azoknál a területeknél, melyeket a „headwater” vízgyűjtők táplálnak igen sok negatív érték lett. A pontforrásokat elhagyó számolásnál ezek száma csökkent, de továbbra is jelentős maradt. Továbbá két csomópontnál az összes nehézfém anyagmérlege negatív lett. Ebből az egyiket mutatja be a 4. táblázat.

		Belépő: ZA/60	Belépő: GA/JFSZ	Különbség: „diffúz”	Kilépő: ZA/SzLK
Q [m ³ /év]		49571225	21612391		62490568
Cu	L [kg/év]	310,31	107,37	-211.55	206,12
Zn	L [kg/év]	745,18	308,50	-227,44	826,24
Pb	L [kg/év]	33,31	27,92	-9,83	51,40
Cr	L [kg/év]	35,30	30,86	-4,64	61,52

		Belépő: ZA/60	Belépő: GA/JFSZ	Különbség: „diffúz”	Kilépő: ZA/SzLK
Ni	L [kg/év]	214,27	104,95	-62,47	256,74
As	L [kg/év]	166,84	58,79	-25,43	200,21
Hg	L [kg/év]	1,47	0,55	-0,85	1,16

4. táblázat. ZA/SZLK csomópont anyagmérlege

A többi vizsgált csomópont anyagmérlegének táblázata a mellékletben található.

5.3 Anyagmérleg a „headwater” vízgyűjtőkre

A csomópontok vizsgálata után a „headwater” vízgyűjtőket vizsgáltam, melyekből 10 található a mintaterületen. Annak érdekében, hogy a Galga vízgyűjtő területén is megfelelő mennyiségű mérési adat legyen felhasználható a teljes területet a GA/JFSZ mérési ponttal jellemeztem, kihagyva a GA/GM mérési pontot, melyen csak két mérés történt.

Ezen területek vizsgálatánál a torkolatok közelében lévő mérési pontok adataiból kiszámolt terhelés és a szennyvíztisztító telepek kibocsátására számított terhelések különbségéből adódott a terület diffúz forrásból eredő terhelése, illetve az arzén esetében ezen felül a háttérkoncentráció kivonásával.

A „headwater” vízgyűjtők anyagmérlegeit két egymástól nagy mértékben eltérő típusú helyszín eredményeivel mutatják be a 4. és 5. számú táblázatok.

GY/VI		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	Mérőhely (Visznek)
Q [m ³ /év]		3153600	223109	9178638	12555347
As	L [kg/év]	5,99	5,11	48,42	59,52
Cu	L [kg/év]		34,14	2,03	36,18
Zn	L [kg/év]		452,84	-337,21	115,63
Pb	L [kg/év]		8,14	3,88	12,02

GY/VI		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	Mérőhely (Visznek)
Cr	L [kg/év]		11,01	3,02	14,03
Ni	L [kg/év]		21,29	6,83	28,12
Hg	L [kg/év]		1,54	-1,18	0,36

5. táblázat. GY/VI „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

P-T/SI		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	Mérőhely (Sirok)
Q [m ³ /év]		3153600	246490	11868256	15268346
As	L [kg/év]	5,99	0,39	29,31	35,69
Cu	L [kg/év]		3,81	120,66	124,47
Zn	L [kg/év]		34,60	180,58	215,18
Pb	L [kg/év]		0,62	11,70	12,32
Cr	L [kg/év]		0,84	6,22	7,06
Ni	L [kg/év]		1,63	41,71	43,33
Hg	L [kg/év]		0,13	0,43	0,56

6. táblázat. P-T/SI „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

Az első (GY/VI) területen a szennyvíztelepek által kibocsátott nehézfém szennyezés igen jelentős, míg a másodiknál (P-T/SI) a diffúz forrásból érkező anyagáram tesz ki az anyagmérleg nagy részét, a pontforrások kisebb anyagáramával kiegészülve.

A többi vizsgált „headwater” vízgyűjtő anyagmérlegének táblázata a mellékletben található.

5.4 Anyagmérleg a Tarján-patak vízgyűjtőre

A „headwater” vízgyűjtők közül egy területet részletesebben is vizsgáltam. A Tarján-patak vízgyűjtő területén az előbbi módszert kibővítve figyelembe vettem a Salgótarján belterületén végzett méréseket, és így a települési anyagáramot is meghatároztam. A vízgyűjtő így számított anyagmérlegét mutatja be a táblázat.

Tarján-patak		Háttér	Belterületi diffúz (Salgótarján)	SZVTT (Salgótarján)	Egyéb diffúz	Mérőhely (Kisterenye)
Q [m ³ /év]		1892160	1470930	1458138	795426	5616654
As	c [μg/L]	1.90	1.43	0.75		
	L [kg/év]	3.60	2.10	1.09	1.53	8.31
Cu	c [μg/L]		20.61	6.25		
	L [kg/év]		30.32	9.11	-9.94	29.49
Zn	c [μg/L]		85.64	200.75		
	L [kg/év]		125.97	292.72	-262.21	156.49
Pb	c [μg/L]		4.89	2.68		
	L [kg/év]		7.19	3.90	-2.03	9.06
Cr	c [μg/L]		1.46	2.90		
	L [kg/év]		2.15	4.23	-0.84	5.54
Ni	c [μg/L]		6.11	3.75		
	L [kg/év]		8.98	5.47	11.22	25.68
Hg	c [μg/L]		0.04	0.99		
	L [kg/év]		0.06	1.44	-1.28	0.22

7. táblázat. Tarján-patak vízgyűjtő anyagmérlege

6. Következtetések, további kutatási irányok

A csomópontok, „headwater” vízgyűjtők, és a Tarján-patak vízgyűjtő vizsgálata, és ezek elemzése különféle következtetések levonását tette lehetővé.

A területen lévő csomópontok anyagáramának vizsgálatokor egy-egy fém (legtöbbször a cink és a higany) esetében gyakoriak voltak a negatív értékek. Ezzel szemben két helyszínen a többitől eltérő módon nem csak 1-2, hanem az összes vizsgált anyag esetében negatív értékeket eredményezett a számítás. Ez a két helyszín Szentlőrinc-káta (ZA/SzLK) és Tarnaméra (TA/TM) volt.

A szentlőrinc-káti csomópontnál találkozó két ág közül a Hatvan (ZA/60) felől érkező szakasz esetében a területen nagy valószínűséggel a kiülepedés folyamata dominál, továbbá gyakorlatilag felszíni hozzáfolyás sincs a területen, így ezek alapján nem lehet jelentős a diffúz terhelés. Mindezek a Galga vízgyűjtő területén lévő Jászfényszaru (GA/JFSz) mérési pont felől érkező szakaszra is megállapíthatók, hozzáteve, hogy ezen a hatvani szennyvíztelep is jelentős kibocsátást eredményez. Ez a szennyvíztelep az SzLK mérési ponttól igen távol esik (felvízi irányban), így a folyóban lejátszódó folyamatok nagy hatással lehetnek a koncentráció, és így az anyagáram alakulására.

A Tarnaméra feletti szakasz hosszabb, és itt sincs jelentős mellékág, illetve nagy méretű telep. Mindkét szakaszon jellemző lehet a kiülepedés, és a lemosódás is a Koncsos-féle modell [11] szerint. Ezek alapján, míg a „headwater” vízgyűjtők vizsgálata során biztosabb számítási eredmények adódtak, a lentebbi csomópontoknak további, részletesebb vizsgálata szükséges, figyelembe véve a folyókban történő folyamatokat, és ezek hatásait.

Ezen okok mellett azonban a mérési pontatlanságok is okozhattak helytelen eredményeket. Ilyen észrevehető eltérések a csomópontok vízhozamának méréseinél is előfordultak (ZA/SZLK és TA/TM helyszíneken), melyek így befolyásolták a terhelést, és a teljes anyagáramot. A ZA/SZLK csomópont esetében a mérési ponton a befolyó vízhozamok összege $1,57 + 0,69 = 2,26 \text{ m}^3/\text{s}$, míg a mért kifolyó vízhozam ennél kevesebb, $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$. A TA/TM csomópontnál pedig a befolyó vízhozam összege $0,48 + 0,42 = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$, a kifolyó pedig $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$. A különbségek egy részének oka lehet a talajba történő beszivárgás, de nagy valószínűséggel mérési hiba is történt.

A mért szennyvíztelepek eredményei alapján a réz esetében sikerült olyan logaritmikus összefüggést felírni, amely a vízhozam függvényében megadja az elfolyó koncentrációt. Ezen

összefüggés pontossága $R^2 = 0,4$. Továbbá a higany esetében 150000 m³/év feletti elfolyó vízhozam nagyság esetén $R^2 = 0,5$ pontosságú lineáris összefüggést írtam fel a koncentráció meghatározására. A többi komponensnél az egyes telepek éves mérési adatainak mediánjait átlagoltam a koncentrációk meghatározásához.

Fém	Koncentráció [µg/L]
cink	140,35
ólom	2,52
króm	3,41
nikkel	6,60
arzén	1,58
higany	0,53

8. táblázat. Szennyvíztelepek terhelésének számítására alkalmazott nehézfémkoncentrációk

A „headwater” vízgyűjtők külön való vizsgálata már elég megbízható volt ahhoz, hogy az egyes fémek külön-külön is megfigyelhetők legyenek. A helyszínek közül soknál a teljes anyagáram pozitívnak adódott, és néhány helyen jelentek csak meg negatív értékek, kizárólag a cink és a higany esetében. Ezek az anyagok a csomópontok vizsgálatakor is nagy mértékben eltérő viselkedést mutattak a többi fémhez képest, bár azon eredmények közt a többi anyag esetében is jelentős volt a negatív értékek mennyisége.

A fémek egymáshoz képesti mennyisége alapján kijelenthető, hogy a legtöbb helyszínen a cink található meg a legnagyobb mennyiségben a folyókban. Emellett jelentősebb mennyiségű a réz, és a nikkel, valamint viszonylag kisebb anyagáramok esetén az arzén. Az eredményekből látható, hogy az arzén anyagáramának minimum 10-15, de gyakrabban 20-30%-a származik az alapkőzet vízbe oldódásából. Ez a nagy arány a Magyarországra jellemző geológiai állapottal magyarázható, ugyanis országos szinten jelentős ezen anyag természetes háttérkoncentrációja vizeinkben.

Kitűnik a tarnasadányi (TN/TZs) vízgyűjtő terület, mivel itt pontforrások hiányában a mérési ponton megállapított anyagáramok csak – az arzén esetében a természetes háttérkoncentrációból és – diffúz forrásból jöhettek a pontforrások hiányában. Ez a terület tehát alkalmas lehet további vizsgálatok által a diffúz forrásokból származó szennyezések részletesebb elemzésére, a nehézfémek koncentrációinak egymáshoz képesti arányának megismerésére.

A kapott eredmények alapján általánosan arra lehet következtetni, hogy az anyagáramok jelentős hányada érkezik diffúz forrásból, míg a szennyvíztelepek kibocsátásai viszonylag alacsonyabb terhelésűek. A nehézfémeket egyenként vizsgálva a pontszerű terhelés a teljes terhelésnek a réz esetében általában 2-20%. A legalacsonyabb a SZU/APC helyszínen lévő 2%, a legmagasabb pedig a GY/VI 94%, emellett magas az értéke H-B/60, és TRJ/KT helyszíneken. A cink esetében nehéz a sok negatív érték, és a nagy ingadozás miatt következtetést levonni, mindemellett a helyszíneken általában 16-57% teszi ki a pontszerű forrásból származó terhelést, a SZU/APC ismét feltűnően alacsony 5%-kal. Az ólomnál 3 helyszínen kiemelkedően magas 40-70% míg a többi területen ennél jóval alacsonyabb 2-14% a jellemző. A króm az egyik leginkább különböző arányokban előforduló nehézfém a pontforrások tekintetében, 2 kiugróan magas helyszínen 83% körüli, míg 15-25% körüli a többinél. Az arzén esetében átlagosan 1-2% a pontforrású terhelés aránya, de – mint más fémek esetében is – a Tarján-pataki vízgyűjtő területén ennél jelentősen nagyobb, 25%. A higanynál a sok negatív érték, és alacsony terhelés miatt igen nehéz az előzőkhöz hasonló jellemző tartományt kijelölni. Bár gyakoribbak a 20-25% közötti értékek, alacsonyabb és magasabb arányú eltérés is nagy mértékben lehetséges.

Ez alapján fontos további kutatási feladattá válik a diffúz források típusainak feltárása, és ezek külön való elemzése, valamint az innen érkező nagy mennyiségű terhelés ellen való védekezés lehetőségeinek vizsgálata.

A Tarján-patak vízgyűjtő anyagmérlege a korábbi vizsgálatoktól eltérően belterületi anyagáramot is tartalmaz, így ez összehasonlítható a salgótarjáni szennyvíztelepre számított értékekkel. Ez alapján megtudhatjuk ezek egymáshoz képesti arányait az egyes anyagok esetében, és leszűrhető, hogy a egyes nehézfémek jelentősebb szennyezése milyen típusú területre vezethető vissza.

Megállapítható, hogy a réz, az ólom, és a nikkel anyagáramának jelentős része érkezik belterületről. Utóbbi két fém mennyiségének aránya összhangban van – a tanulmányom elején már említett – közlekedésből származó nehézfém-szennyezések minőségével.

A települési és szennyvíztelepről érkező anyagáram értéke a réz és az ólom esetén hasonló eredményt ad a mérési pont adataihoz. A réznek, mivel elsősorban belterületről érkezik, valószínű, hogy a kisterenyei mérési pontnál mérési hiba következtében lett kevesebb az értéke. A cink ezzel ellentétben sokkal jelentősebb mértékben érkezik a szennyvíztelep által kibocsátott vízből. A cink anyagmérlegében lévő nagy eltérés oka lehet a – számolás során figyelmen kívül hagyott – kiülepedés jelensége, bár a terület egyes részen éppen az ezzel ellentétes felkavarodási

folyamatok a jellemzők. Továbbá lehetséges, hogy a lenti mérési pont adatai hibásak voltak. Ennek következtében ezen a területen, amelynek vízjárása a többivel összehasonlítva igen változékony két mérés között jelentős vízhozamváltozás történhetett, egy-egy árhullám megjelenésekor. Az árhullámok nemcsak arányosan nagyobb mennyiségű fémeket tartalmazhatnak, hanem minőségileg is eltérhetnek a kisebb vízhozamú összetételtől, így a korábbi jellemző adatoktól eltérést mutathat az anyagmérlegben.

A cink, nem csak a Tarján-patakon, hanem a teljes vízgyűjtő területe sok kiugróan magas, illetve az anyagmérlegek számításakor negatív, és a többitől eltérő értékeket adott, valamint - bár nem hozott kiugró értékeket - , a higany is hasonló viselkedést mutatott.

A kutatás további szakaszaiban a csomópontok esetében a vízmérleg, az anyagmérlegek, ehhez az anyagáramok pontosítására nyílik lehetőség finomító mérésekkel, eddig nem vizsgált árhullámok kimérésével. Továbbá van lehetőség lehetséges a már említett kiülepedés, illetve felkavarodás anyagmérlegbe való bevitele felállított modellek alapján. Ezen kívül üledékminták vizsgálatával és az eddigi mérések eredményeinek anyagáramokat ábrázoló rajzai területhasználati adatokat felhasználva lehet még pontosabbá tenni.

A korábban említett egyedi TN/TZS pontszerű terhelés nélküli területet alkalmas annak vizsgálatára, hogy az egyes fémek egymáshoz való aránya mennyiben alakul máshogy, mint ahol több szennyvíztisztító telep szerepel az anyagmérlegben. Továbbá felderíthető, hogy mennyire köthetők az egyes fémek közötti arányok (pl. Zn/Cu, stb.) egyéb területi jellemzőkhöz (pl. a városi, illetve mezőgazdasági területek aránya, nagyforgalmú utak területe).

A tanulmányom során vizsgált anyagmérleg ezen felül bővíthető a diffúz forrásból származó terhelés belterületi és mezőgazdasági forrásokra való szétosztásával egy-egy mintaterület területhasználati arányai függvényében. A pontszerű források pedig felhasználhatók fajlagos (kg/fő/nap) kibocsátások számítására a szennyvíztelepi elfolyó adatokból, amely a terület egy újféle megismerését eredményezheti.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Clement Adrienne (2020): Csapadékvíz-lefolyás szennyeződése diasor, BME VKKT
- [2] Budai Péter (2011): A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásainak hatása a csapadékvizek szennyezettségére. PhD értekezés, BME Építőmérnöki Kar, Budapest
- [3] Szegedi László (2011): Toxikus nehézfém-szennyezés utóhatásának vizsgálata barna erdőtalajon. PhD értekezés, SZIE Környezettudomány, Gödöllő
https://szie.hu/file/tti/archivum/Szegedi_Laszlo_ertekezes.pdf
- [4] European Commission: Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) Guidance Document No. 28 (2012)
https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/filebase/Water/Legislation/Guidance_EU_legislation/Guidance%2027%20-%2036/N%C2%B0%2028%20-%20Preparation%20of%20Priority%20Substances%20Emissions%20Inventory.pdf
- [5] Kardos Máté Krisztián (2020): Emisszióeltár jelentés, BME VKKT
- [6] Mihály Dániel (2020): A Zagyva-Tarna vízgyűjtőrendszer nehézfém szennyezettségének vizsgálata. Szakdolgozat, BME Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Budapest
- [7] Tolmács Daniella (2020): K.5.4. A természetes fém határértékek meghatározása üledékekre - projektjelentés, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest
- [8] OVF. (2016b). Szennyvízterhelés jellemzői: kommunális és ipari szennyvízkibocsátás. Az OVGT 3.1 melléklete. Táblázat. Forrás:
https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/10B9EE2E-D889-4C94-815D-5CB2D53C846A/3_1_melleklet_szennyvizterheles.xls. Elérés: 2018. június 1.,
- [9] Budai Péter, Knolmár Marcell, Kardos Máté Krisztián és Clement Adrienne (2020): A csapadékvízzel szállított települési anyagáramok meghatározása Vállalkozási szerződés a VKI monitoring KEHOP-1.1.0-15-2016-00002 azonosítószámú projekt keretében kutatási - módszerfejlesztő - adatgyűjtő program kialakítására K7.1 feladat zárójelentés (Budapest)
- [10] Országos Vízügyi Főigazgatóság (2020): Magyarország felszíni vízminőségi adatbázisa a 2013-2019 időszakra („Fevisz2020v2b”) – MS Access adatbázis.
- [11] Koncsos L. et al. (2020) Üledék terhelés és transzportmodell felépítése és alkalmazása a hazai felszíni vízfolyás víztestekre. Projektjelentés. BME VKKT.

8. Ábrajegyzék

1. ábra. Az Emisszióeltár jelentés mintavételi helyszínei. Forrás: [5] 3. ábra	8
2. ábra. Anyagáramok a Zagyva-Tarna vízgyűjtőrendszeren (kg/év): bal: réz, jobb: nikkel. Forrás: [5] 37. és 38. ábra	9
3. ábra. A Zagyva-vízgyűjtő mintaterület domborzata és vízrajza. Forrás [5] 1. ábra	11
4. ábra. Területhasználatok és pontszerű terhelések a mintaterületen. Forrás: [5] 2. ábra. ..	12
5. ábra. A salgótarjáni mintavételi ponthoz tartozó topográfiai vízgyűjtő (kék határvonal) és a kiépített csapadékcatornák alapján ebből lehatárolt városi vízgyűjtő (piros határvonal). Forrás: [9] 3.1 ábra.....	13
6. ábra. A Zagyva-Tarna vízgyűjtő területének felosztása az Emisszióeltár jelentés mérési pontjai szerint. A háromszögek a vizsgált kommunális szennyvíztelepeket, a kék pontok az előbb említett projekt mérési pontjait jelölik.....	14
7. ábra. Higanykoncentráció alakulása telepenként.....	17
8. ábra. Higanykoncentrációk telepenként vett mediánja.....	17
9. ábra. Rézkoncentráció alakulása telepenként	18
10. ábra. Rézkoncentrációk telepenként vett mediánja.....	18

9. Táblázatjegyzék

1. táblázat. Tarján-patak vízgyűjtő belterületi mérési pont adatainak főbb statisztikai jellemzői. Forrás: [9] 3.2 táblázat.	
2. táblázat. Az Emisszióeltár jelentés mintavételi helyszínei. Forrás: [5] 3. táblázat	
3. táblázat. ZA/60 csomópont anyagmérlege	
4. táblázat. ZA/SZLK csomópont anyagmérlege	
5. táblázat. GY/VI „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege	
6. táblázat. P-T/SI „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege	
7. táblázat. Tarján-patak vízgyűjtő anyagmérlege	
8. táblázat. Szennyvíztelepek terhelésének számítására alkalmazott nehézfémkoncentrációk	

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Kardos Máté Krisztiánnak, hogy segítséget nyújtott a dolgozatom témája irodalmának és a mintaterületet érintő korábbi projektek megismerésében. Mindig fordulhattam hozzá aktuális kérdéseimmel, folyamatosan ellenőrizte munkámat, valamint hasznos tanácsokat, és javaslatokat adott.

11. Melléklet

A további vizsgált csomópontok anyagmérleg táblázatai:

		Belépő: TRJ/KT	Belépő: ZA/NE	Különbség: „diffúz”	Kilépő: ZA/APC
Q [m ³ /év]		5616654	8459608	1015415	15091678
Cu	L [kg/év]	29.49	29.40	-19.84	39.05
Zn	L [kg/év]	156.49	67.07	-32.74	190.81
Pb	L [kg/év]	9.06	5.30	0.91	15.26
Cr	L [kg/év]	5.54	4.53	-0.46	9.61
Ni	L [kg/év]	25.68	23.49	3.79	52.96
As	L [kg/év]	8.31	12.45	27.37	48.14
Hg	L [kg/év]	0.22	0.07	0.07	0.36

ZA/APC csomópont anyagmérlege

		Belépő: TA/SI	Belépő: P-T/SI	Különbség: „diffúz”	Kilépő: TA/TM
Q [m ³ /év]		13150942	15268346		19752441
Cu	L [kg/év]	30.00	124.47	-19.31	135.16
Zn	L [kg/év]	94.98	215.18	-113.01	197.14
Pb	L [kg/év]	7.92	12.32	2.67	22.91

		Belépő: TA/SI	Belépő: P-T/SI	Különbség: „diffúz”	Kilépő: TA/TM
Cr	L [kg/év]	7.93	7.06	-5.29	9.69
Ni	L [kg/év]	32.98	43.33	-21.36	54.95
As	L [kg/év]	20.03	35.69	40.30	96.01
Hg	L [kg/év]	0.75	0.56	-1.10	0.21

TA/TM csomópont anyagmérlege

		Belépő: ZA/SZLK	Belépő: TA/TM	Belépő: TN/TZS	Belépő: BE/NF	Belépő: GY/VI	Különbség: „diffúz”	Kilépő: ZA/JT
Q [m ³ /év]		62490568	19752441	12433490	9546998	12555347	1503610	118282455
Cu	L [kg/év]	206.12	135.16	39.65	15.22	36.18	140.29	572.63
Zn	L [kg/év]	826.24	197.14	95.96	55.45	115.63	426.35	1716.77
Pb	L [kg/év]	51.40	22.91	6.64	3.06	12.02	186.28	282.31
Cr	L [kg/év]	61.52	9.69	7.23	4.82	14.03	85.56	182.86
Ni	L [kg/év]	256.74	54.95	30.75	26.72	28.12	36.26	433.54
As	L [kg/év]	200.21	96.01	29.76	35.46	59.52	107.30	528.26
Hg	L [kg/év]	1.16	0.21	0.12	0.04	0.36	-0.47	1.44

ZA/JT csomópont anyagmérlege

A további vizsgált „headwater” vízgyűjtők anyagmérleg táblázatai.

		HÁTTÉR	SZVTT (Salgótaján)	DIFFÚZ	TRJ/KT
Q [m ³ /év]		1892160	1458138	2266356	5616654
As	L [kg/év]	3,60	2,31	2,41	8,31
Cu	L [kg/év]		15,57	13,92	29,49
Zn	L [kg/év]		204,65	-48,17	156,49
Pb	L [kg/év]		3,68	5,39	9,06
Cr	L [kg/év]		4,98	0,56	5,54
Ni	L [kg/év]		9,62	16,06	25,68
Hg	L [kg/év]		0,77	-0,55	0,22

TRJ/KT „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT (Mátraterenye)	DIFFÚZ	ZA/NE
Q [m ³ /év]		1576800	102910	6779898	8459608
As	L [kg/év]	3,00	0,16	9,29	12,45
Cu	L [kg/év]		1,71	27,69	29,40
Zn	L [kg/év]		14,44	52,62	67,07
Pb	L [kg/év]		0,26	5,04	5,30
Cr	L [kg/év]		0,35	4,18	4,53
Ni	L [kg/év]		0,68	22,81	23,49
Hg	L [kg/év]		0,05	0,02	0,07

ZA/NE „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	SZU/APC
Q [m ³ /év]		1261440	1669	4947748	6210817
As	L [kg/év]	2,40	0,01	23,08	25,49
Cu	L [kg/év]		0.21	11,08	11,29
Zn	L [kg/év]		1.19	20,26	21,44
Pb	L [kg/év]		0.02	1,05	1,07
Cr	L [kg/év]		0.03	2,71	2,74
Ni	L [kg/év]		0.06	13,43	13,48
Hg	L [kg/év]		0,004	0,100	0,105

SZU/APC „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	H-B/60
Q [m ³ /év]		3784320	315583	853156	4953059
As	L [kg/év]	7,19	0,50	12,68	20,37
Cu	L [kg/év]		4,91	6,60	11,51
Zn	L [kg/év]		44,29	-6,56	37,74
Pb	L [kg/év]		0.80	0,89	1,68
Cr	L [kg/év]		1,08	1,78	2,86
Ni	L [kg/év]		2,08	13,10	15,18
Hg	L [kg/év]		0,166	-0,093	0,073

H-B/60 „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	DIFFÚZ	TN/TZS
Q [m ³ /év]		3153600	9279890	12433490
As	L [kg/év]	5,99	23,77	29,76
Cu	L [kg/év]		39,65	39,65
Zn	L [kg/év]		95,96	95,96
Pb	L [kg/év]		6,64	6,64
Cr	L [kg/év]		7,23	7,23
Ni	L [kg/év]		30,75	30,75
Hg	L [kg/év]		0,12	0,12

TN/TZS „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	TA/SI
Q [m ³ /év]		3153600	26327	9971015	13150942
As	L [kg/év]	5,99	0,60	13,43	20,03
Cu	L [kg/év]		5,80	24,20	30,00
Zn	L [kg/év]		53,23	41,75	94,98
Pb	L [kg/év]		0,96	6,96	7,92
Cr	L [kg/év]		1,29	6,63	7,93
Ni	L [kg/év]		2,50	30,48	32,98
Hg	L [kg/év]		0,20	0,55	0,75

TA/SI „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	BE/NF
Q [m ³ /év]		3153600	174326	6219072	9546998
As	L [kg/év]	5,99	0,28	29,19	35,46
Cu	L [kg/év]		2,96	12,27	15,22
Zn	L [kg/év]		24,47	30,98	55,45
Pb	L [kg/év]		0,44	2,62	3,06

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	BE/NF
Cr	L [kg/év]		0,59	4,22	4,82
Ni	L [kg/év]		1,15	25,57	26,72
Hg	L [kg/év]		0,09	-0,05	0,04

BE/NF „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege

		HÁTTÉR	SZVTT összes	DIFFÚZ	GA/JFSZ
Q [m ³ /év]		8830080	1241863	11540448	21612391
As	L [kg/év]	16,78	1,97	40,05	58,79
Cu	L [kg/év]		17,15	90,22	107,37
Zn	L [kg/év]		174,30	134,20	308,50
Pb	L [kg/év]		3,13	24,79	27,92
Cr	L [kg/év]		4,24	26,63	30,86
Ni	L [kg/év]		8,19	40,05	104,95
Hg	L [kg/év]		0,65	-0,10	0,55

GA/JFSZ „headwater” vízgyűjtő anyagmérlege