

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

TDK dolgozat

Nitrátszennyezés vizsgálatát célzó mérési program megvalósítása a
Koppány vízgyűjtőn

Készítette:

Békési Zita Brigitta

Környezetmérnök MSc

2023

Témavezető: Dr. Clement Adrienne

Egyetemi docens

Konzulens: Musa Ildikó

Laborvezető

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	3
2.1. A nitrogén formái felszíni vizekben.....	3
2.2. A nitrogén körforgása.....	4
2.2.1. Nitrifikáció	4
2.2.2. Denitrifikáció.....	5
2.2.3. Nitrogénfixálás.....	5
2.2.4. Ammonifikáció	6
2.3. A felszíni vizeket érő túlzott nitrogénterhelés hatása.....	7
2.4. A nitrogén antropogén forrásai.....	7
2.5. Nitrogén eltávolítási folyamatok	8
3. Kísérletek, módszerek.....	9
3.1. A mérési terület bemutatása.....	9
3.2. A Koppány vízgyűjtőn végzett korábbi vizsgálatok	12
3.3. Mintavételi helyek bemutatása.....	12
3.4. A minták laboratóriumi elemzése	17
4. Eredmények és értékelésük	19
4.1. A téli és nyári mérési kampány eredményei	19
4.2. Víztisztaság változása a Koppány-patak mentén.....	22
4.3. Anyagáram számítások.....	24
4.4. Az eredmények értékelése	26
5. Összefoglalás és javaslatok	27
Köszönetnyilvánítás	28
Irodalomjegyzék	28
Függelék	30

1. Bevezetés

A nitrogén fontos növényi tápanyag, azonban a túlzott nitrogénterhelés végzetes hatással lehet az élővizekre az eutrofizáció által. A felszíni és a felszín alatti vizeket diffúz forrásból (mezőgazdasági felhasználás, kifejezetten műtrágya), vagy pontforrásból (szennyvíztisztító kibocsátása) érhetik el. A nitrogén szerves és oldott szerves formában fordul elő a vizekben, utóbbi közé az ammónium, a nitrit és a nitrát tartozik. Az ammónium egyrészt műtrágya bemosódásából, másrészt szennyvíz kibocsátásából juthat a felszíni vizekbe, majd nitrifikáció útján két lépcsős biológiai oxidáció során nitritté, majd nitráttá alakul. A túlzott bemosódás több problémához vezet: (i) a szerves N és az ammónium növeli az oxigényigényt, (ii) a szerves nitrogénformák növényi tápanyagként hasznosulnak, ami eutrofizációhoz vezet. Ez az élővizek algásodását jelenti, ami végső soron további fokozott oxigénfogyasztás miatt oxigénhiányos állapotot is előidézhet és a vízi élőlények pusztulását, a felszíni víz minőségének romlását eredményezi.

Kutatásomban egy hazai kisvízgyűjtő nitrogénforgalmának tanulmányozását végeztem, amely egy komplex vízi környezeti mérési programhoz kapcsolódik, mely egy OTKA-SNN kutatás keretében valósul meg. Célom a Koppány vízgyűjtőt érő szennyezőforrások feltárása annak érdekében, hogy a szennyezést csökkentő intézkedések prioritása meghatározható legyen. A pontosabb feltárás érdekében a tanszéken már korábban megkezdett vizsgálatokhoz kapcsolódva két mérési kampányt végeztünk, egyet a téli, a másikat pedig a nyári időszakban. A vízminták feldolgozását a tanszék laboratóriumában végeztem. A kiértékeléshez a szerves formákat spektrofotometriás módszerrel vizsgáltam, a szerves nitrogénformákat pedig Kjeldahl-módszerrel határoztam meg.

A mérési eredményeket térképen ábrázoltam QGIS szoftver segítségével, a térbeli változások szemléltetésére. Az eredményeket elemeztem összehasonlítva a mintavételi helyeken mért téli és nyári koncentrációkat. Ez alapján következtetéseket vontam le a szennyezés forrásaira vonatkozóan, megállapítottam potenciális műtrágya bemosódási helyeket, számba vettem a balatonlellel szennyvíztisztító hatását a vízgyűjtőre. A nitrogénformák közül a nitrátra, illetve a szerves nitrogénre tértem ki bővebben, és levezettem, hogy mi okozhatja a téli és nyári eredmények közötti különbségeket. Végül a téli mérési kampány vízhozamra vonatkozó adatait felhasználva számítottam a főág és a mellékvízfolyások anyagáramait, melyekre felállított mérlegből a szennyvíz eredet részarányát becsültem.

2. Szakirodalmi áttekintés

A felszíni vizekben található oldott állapotú nitrogénformák (legnagyobb mértékben nitrát) túlzott mennyisége nem csak a víztestek eutrofizációjához vezet, hanem az emberi egészségre is közvetlen veszélyt jelent, ha ivóvízbe kerül. Ezért kiemelten fontos azonosítani a nitrátforrásokat, amelyek a csapadék, a talaj nitrogénjének mineralizációja, a trágyázás, a szepikus tartályok általi kibocsátás, a kommunális és az ipari szennyvíz. A nitrátszennyezés forrása általában a vízgyűjtő földrajzi elhelyezkedésétől, méretétől, területhasználati típusától és hidrológiai viszonyaitól függ. Az emberi tevékenység és a hidrológiai folyamatok változatosak a földhasználaton belül, ami befolyásolhatja a nitrát terjedését és átalakulásának mechanizmusát (Zhang és társai, 2018).

A felszíni vizek nitrátszennyezésének szabályozása és a szennyezett területek kármentesítési terveinek kidolgozása érdekében fontos azonosítani a szennyezőforrásokat, megérteni a helyi nitrátkoncentrációt befolyásoló folyamatokat és csökkenteni a nitrátbe vitelt. Különösen az áramlási útvonalak és a nitrátforrások megértése fontos annak meghatározásához, hogy hogyan befolyásolhatják a szennyező anyagok a vízellátást. A talajvíz és felszíni víz nitrátkoncentrációja és az adott forrásból bejutott nitrát mennyisége közötti összefüggés meghatározását bonyolulttá teszi, hogy több lehetséges nitrátforrás van a területeken, átfedhetik egymást a pontszerű és diffúz források, illetve a többféle biogeokémiai folyamat párhuzamos létezése, amelyek megváltoztatják a nitrátkoncentrációt (Kendall és Aravena, 2000; Zhang és társai, 2018).

Amennyiben megértjük, hogy milyen forrásokból érkezik a nitrogénszennyezés, illetve a befolyásoló tényezőit, ez lehetővé teszi számunkra, hogy technológiai javaslatokat tegyünk a szennyezés mérséklésére, és hozzájárul ahhoz, hogy a vezetők célzott szakpolitikai ajánlásokat tegyenek, amelyek egészségesebb körülményeket biztosítanak a lakosok számára (Zhang, Zhang és Fath, 2020).

2.1. A nitrogén formái felszíni vizekben

A patakok és folyók kiemelt szerepet játszanak a felszíni vizek ökoszisztémáiban, fontosak társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontból. Nem csak az ökoszisztéma-szolgáltatásokat biztosítják, hanem vízellátást, öntözést, rekreációt, közlekedést is lehetővé tesznek. Azonban a mezőgazdasági tevékenységek, szennyvízelvezető rendszerek és más infrastruktúrák következtében túlzott mennyiségű nitrogénszennyezés jelenik meg ezeken a vizeken (Xia és társai, 2018).

A nitrogén létfontosságú az élet szempontjából, az ökoszisztémákban a szerves nitrogénformák elengedhetetlenek az élő szervezetek növekedéséhez, azonban túlzott mennyiségük is korlátozza a növekedést (Howarth, 2008).

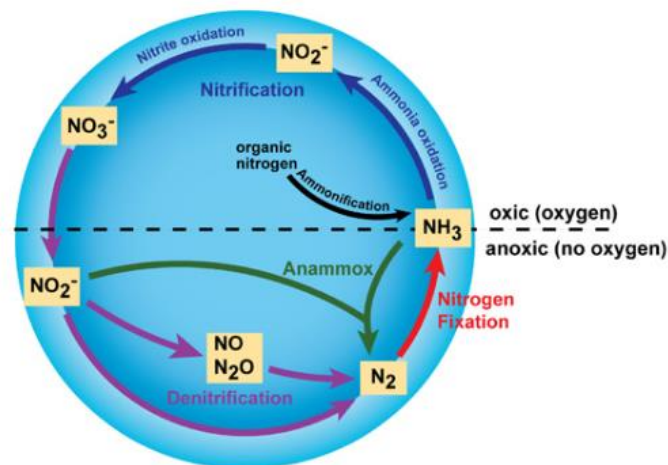
A nitrogén az édesvízi ökoszisztémákban oldott szerves nitrogén (ammónium ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrát ($\text{NO}_3\text{-N}$) és nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$)) és szerves nitrogén formában fordul elő (például fehérjék, aminosavak). A nitrogén gázhalmazállapotban is előfordul N_2 gázként és dinitrogén-oxidként (N_2O), amely egy erős üvegházhatású gáz (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018).

A nitrogénformák átalakítását mikroorganizmusok végzik. A folyókban és patakokban a nitrogén különböző, szerves és szerves nitrogén formái is megtalálhatóak, a nitrát a folyókban az oldott szerves nitrogén 80%-ához járul hozzá (Xia és társai, 2018).

2.2. A nitrogén körforgása

A nitrogén körforgása helyi vagy regionális szintű, mivel a nitrogén mennyisége és az emberi hatások régióként eltérőek; a nitrogénciklus következményei is különböznek. A N_2O gáz kivételt képez, mivel hosszabb ideig, körülbelül 120 évig marad a légkörben; az ammónium és nitrát vegyületek csak egy napig vannak jelen a bolygón (Howarth, 2008).

A nitrogénciklus fő lépései a nitrifikáció, denitrifikáció, nitrogénfixáció és az ammonifikáció.



1. ábra: A nitrogénciklus (Bernhard, 2010)

2.2.1. Nitrifikáció

A nitrifikáció az ammónium két lépésben történő biológiai oxidációja, amelyeket különböző típusú mikroorganizmusok hajtanak végre. Első lépésben az ammónium (NH_4^+) nitritté (NO_2^-) oxidálódik, amelyet olyan mikrobák visznek véghez, mint a *Nitrosomonas*, *Nitrosospira* és *Nitrosococcus* nemzetség (Bernhard, 2010).

A nitrifikáció második lépése a nitrit nitráttá (NO_3^-) történő oxidációja. Ezt a lépést a prokarióták egy teljesen különálló csoportja végzi. A nitrit-oxidációban részt vevő nemzetségek közé tartozik a *Nitrospira*, *Nitrobacter*, *Nitrococcus* és *Nitrospina* (Bernhard, 2010).

Az ammónia mennyiségének növekedése nem növeli arányosan a nitrifikáció sebességét. A nitrifikációt befolyásolja az oldott oxigén koncentráció, a pH és a toxicitás (Ábrahám és társai, 2007).

2.2.2. Denitrifikáció

A denitrifikáció során a nitrát nitrogéngázzá alakul, eltávolítva a biológiailag hozzáférhető nitrogént, visszajut a légkörbe. Anaerob folyamat, amely leginkább talajokban, üledékekben, tavak anaerob zónáiban fordul elő, végső terméke a dinitrogéngáz (N_2). A prokarióták sokféle csoportja végzi, például *Bacillus*, *Paracoccus*, *Pseudomonas* nemzetségbe tartozó fajok. Azért fontos a denitrifikáció, mert eltávolítja a nitrátot az ökoszisztémából, és biológiailag inert formában juttatja vissza a légkörbe. A szennyvíztisztításban például fontos szerepet játszik azáltal, hogy eltávolítja a nem kívánt nitrátokat a szennyvízből, így csökkenti annak esélyét, hogy a tisztítótelepekből kibocsátott víz nemkívánatos következményekkel járjon (Bernhard, 2010).

A denitrifikációt tehát heterotróf mikroorganizmusok végzik, amelyek szerves anyagot használnak energiaszükségletükhöz. Alapvetően az oxigént preferálják, így a denitrifikációhoz oxigénhiányos állapotra van szükség, ekkor tudnak olyan enzimeket termelni, ami lehetővé teszi számukra, hogy a nitrátot oxigén nélkül használják fel. Az oxigén lebontja ezeket az enzimeket, emiatt a denitrifikáció leáll, ezért fontos az oxigén szerepe a denitrifikáció szabályozásában. A szerves anyagok jelenléte befolyásolja még ezt a folyamatot, mivel a heterotróf mikroorganizmusoknak szüksége van szerves szénforrásokra az energiatermeléshez és a nitrátok lebontásához (Ábrahám és társai, 2007).

2.2.3. Nitrogénfixálás

Az N_2 biológiailag elérhető nitrogénné történő átalakításának folyamatát nitrogénfixálásnak nevezik. Az N_2 gáz a nitrogénatomok közötti hármas kötés erőssége miatt nagyon stabil vegyület, és ennek a kötésnek a felbomlásához nagy mennyiségű energia szükséges, csak bizonyos algafajták képesek végrehajtani ezt az energiaigényes folyamatot (Bernhard, 2010).

Az édesvízi ökoszisztémákban a legtöbb nitrogént autotróf cianobaktériumok (kéalgák) kötik meg, ezáltal fontos szerepet játszanak a vizek nitrogénforgalmában. A fixálás

sebességét befolyásolja például a tápanyagok elérhetősége, a fény és más mikroorganizmusok jelenléte (Howarth és társai, 1988).

A cianobaktériumok növekedését korlátozó fő tápanyagnak sokáig a foszfort tartották, pedig a nitrogénnek is nagy szerepe van ebben, bár a cianobaktériumok eltérően reagálnak a változó nitrogén- és foszfortöbbletre (Dolman és társai, 2012). Az algák optimális növekedésére leírására a Redfield-arányt használják, ez a szén, nitrogén és foszfor 106:16:1 arányát jelenti, az ettől való eltérés korlátozza az alganövekedést (Smith, Jarvie és Bowes, 2012).

Az eutrofizáció azonban elősegíti a cianobaktériumok káros elszaporodását. Jellemzően nem egyetlen környezeti tényező okozza, hanem több, egyidejűleg fellépő tényező (O'Neil és társai, 2012).

2.2.4. Ammonifikáció

Amikor egy szervezet hulladékot ürít ki vagy elpusztul, a szöveteiben lévő nitrogén szerves nitrogén formájában van, amit szaprofág szervezetek lebontanak és szerves nitrogént bocsátanak vissza ammónia formájában az ökoszisztémába. Ezt a folyamatot nevezik ammonifikációnak. Az ammónia ezután elérhetővé válik a növények és más mikroorganizmusok számára a növekedéshez, illetve visszakerül a vizekbe (Bernhard, 2010).

Az emberi tevékenység és az éghajlatváltozás jelentős hatással vannak a folyók és patakok nitrogénciklusára. Az emberi tevékenység szempontjából az intenzív vízgazdálkodás és műtrágyahasználat növeli a talajból a felszíni vizekbe jutó tápanyagvesztést; a gátak és tározók építése átformálja a hidraulikai viszonyokat és a mikroorganizmusok eloszlását. Az éghajlatváltozás pedig nem csak változó csapadékmennyiséget és magasabb átlaghőmérsékletet okoz, hanem növeli a szélsőséges éghajlati események, például viharok gyakoriságát és intenzitását, ami mind hatással van a nitrogén forrásaira, szállítására, átalakulására a folyórendszerekben. Ezen hatások miatt egyre összetettebb a nitrogénciklus (Xia és társai, 2018).

A nitrogénciklust befolyásolja még például a megnövekedett levegő- és víz hőmérséklet, ami felgyorsíthatja a körforgást, a víz hőmérsékletének vagy vízszintjének megnövekedett ingadozása pedig megváltoztathatja a tápanyag átalakulási folyamatok természetes egyensúlyát. Ezért jövőbeli tanulmányoknak érdemes foglalkoznia azzal, hogy a klímaváltozás hogyan hat a tápanyag körforgására (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018). De fordítva, a nitrogénciklus is hatással lesz az éghajlatváltozásra (Xia és társai, 2018).

Általánosságban elmondható, hogy a folyórendszerekben a nitrogén átalakulása a hőmérséklet emelkedésével felgyorsul. Az óceánok, tavak és egyes holtágú tavak esetében a légkör megemelkedett CO₂-szintje a víz elsavasodásához vezethet, ami jelentős hatással van a nitrogénciklusra. A savasodás serkenti az N₂-t megkötő cianobaktériumokat, csökkentheti a nitrifikációs arányt és az N₂O-kibocsátást, valamint növelheti a denitrifikáció mértékét (Xia és társai, 2018).

2.3. A felszíni vizeket érő túlzott nitrogénterhelés hatása

A magas ammónium koncentráció okozza a 2.2.3. fejezetben említett súlyos környezeti problémát: a vízi környezet eutrofizációját. Ez a biológiai diverzitás csökkenéséhez vezet, oxigénhiányt, halpusztulást és a vízminőség romlását eredményezi. Nem csak az ökológiai rendszerekre van hatással, hanem az ivóvízben előforduló magas nitráttartalom növelheti az emberi betegségek kockázatát (Hu és társai, 2021).

2.4. A nitrogén antropogén forrásai

Az emberi tevékenység három mechanizmuson keresztül hoz létre nitrogént: a mezőgazdasághoz kapcsolódóan, szintetikus nitrogénműtrágya előállításakor, és a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során. A két legnagyobb forrás a mezőgazdaság és a fosszilis tüzelőanyagok égetése során keletkező nitrogén légköri lerakódása (Howarth, 2008). Ezeket követi a fő antropogén szennyezések között a kommunális és ipari szennyvíz (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018).

Az időbeli és térbeli kiterjedésüktől függően az anyagbetáplálás útvonalai két fő típusra oszthatóak. Az első típus a pontforrások, amelyek főként kommunális és ipari szennyvizet jelentenek, a második típusba pedig a mezőgazdasági területekről származó diffúz források tartoznak (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018). Diffúz források közé tartozik még a légköri lerakódás, emberi és állati ürülék, valamint a földhasználati változások, mint az erdőirtás és a talajjavítás okozta erózió (Hu és társai, 2021).

Változó, hogy adott területen a vízszennyezés forrásai inkább pontszerűek, vagy nem; a világ 35 nagy folyója esetében az össz nitrogén nem pontszerű forrásokból, főként csapadékból és műtrágyából származik. Kisebb területeken jellemzőbb a pontforrásokból származó nitrogénbejutás (Suo és társai, 2012).

A kutatások eredményei azt mutatták, hogy a folyókban található nitrogéntartalom erősen összefügg az ember által végzett földhasználattal. Az építkezések is hozzájárulnak a

vízbe kerülő nitrogén mennyiségéhez, az erdők területének növekedése azonban csökkenti a nitrátkoncentrációt. A trágyázás és a talajerózió (természetes vegetáció szántófölddé alakítása), mind növelik a nitrogén koncentrációját a folyókban, amelyek zavart vízgyűjtőkből erednek (Hu és társai, 2021). Ezek területének nagysága is befolyásolja a nitrogénszennyezést, illetve a népsűrűség is, amely más emberi változók (a műtrágya kijuttatása, a földhasználat, a légköri nitrogénlerakódás) mutatója (Suo és társai, 2012).

A mezőgazdaságban a műtrágyákat a növényi termelés növelésére használják, a fel nem használt nitrogén (főleg nitrát formájában) kimosódhat a talajból, patakokba, folyókba, onnan pedig az ivóvízbe juthat (Bernhard, 2010). A felszín alatti vizek nem szállítanak nitrogént olyan gyorsan a patakokba, mint a felszíni lefolyások, de jelentős szerepük van a nitrogén patakokba való eljutásában (Xia és társai, 2018).

A pontforrások jobban követhetőek, ellenőrizhetőek (monitoring és statisztika segítségével), míg a diffúz források kezelése bonyolultabb és több szinten történik. Gyakran vízgyűjtő modellekkel becsülik meg, különböző hidrológiai és vízminőségi modelleket fejlesztettek ki erre. Ezt a megközelítést három fő intézkedési terület foglalja magában:

1. minimalizálni a vízgyűjtőben történő tápanyag-kibocsátást,
2. tápanyagokat visszatartani a parti pufferzónákban és ártereken,
3. a tápanyagok körforgását szabályozni a folyómederben (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018; Xia és társai, 2018).

2.5. Nitrogén eltávolítási folyamatok

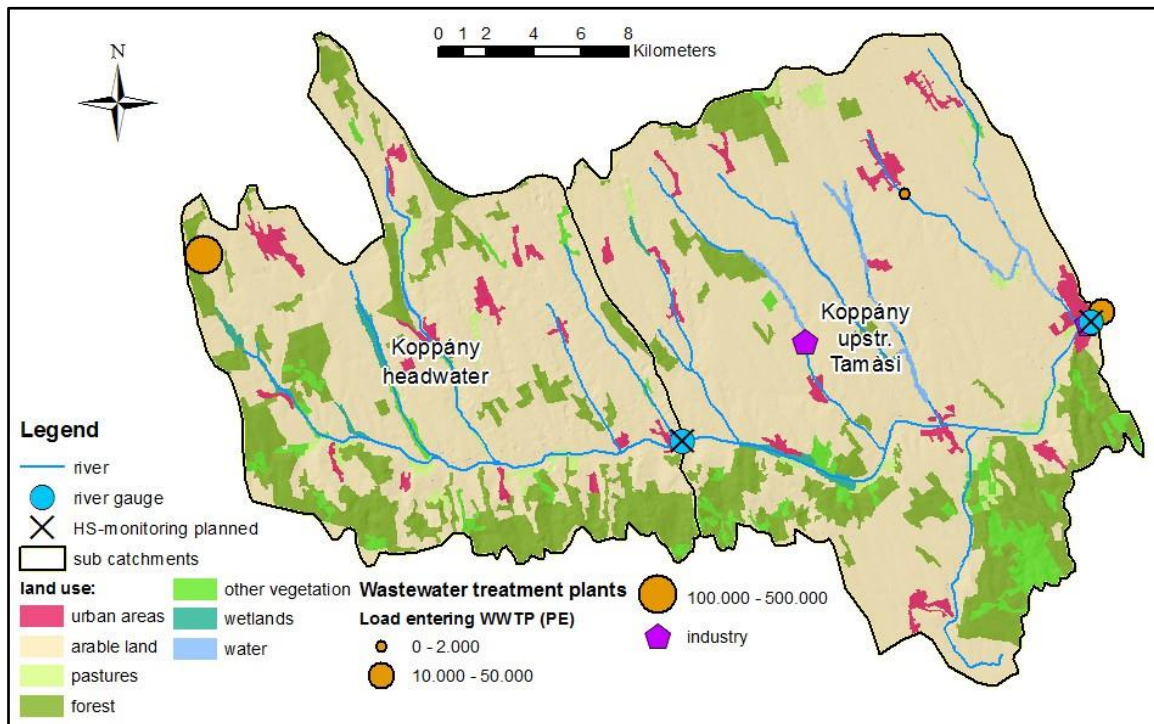
A folyóvízi rendszerek nitrogénvisszatartásában biotikus és abiotikus folyamatok is jelentős szerepet játszanak, sok különböző tényező befolyásolja, mint például hidrológia, éghajlat, növények és mikrobák tevékenysége, a rendszer tápanyagterhelése (Weigelhofer, Hein és Bondar-Kunze, 2018).

A nitrogén szintje világszerte nő a megnövekedett nitrogénműtrágya-használat és a légköri lerakódás következtében, de számos ország hoz intézkedéseket a mezőgazdaság és a környezet védelme érdekében, amelyek várhatóan csökkentik ezt a növekedést. Európában például az 1992-2005 közötti időszakban a felszíni vizek több mint 30%-ánál csökkent a nitrátkoncentráció, 2004-2007 között már 55%-nál. Ennek fő okai az olyan irányelvek végrehajtása, mint például a nitrátirányelv (Nitrates Directive), az irányelv a települési szennyvízkezelésről (Urban Wastewater Treatment Directive, UWWTD) és az EU Víz Keretirányelv (Water Framework Directive, WFD) (Suo és társai, 2012).

3. Kísérletek, módszerek

3.1. A mérési terület bemutatása

A Koppány-patak a Kapos legnagyobb mellékfolyója, amely a Dunántúl legnagyobb folyója; így a Koppány-patak a Duna 3. rendű mellékfolyója. A vizsgált vízgyűjtő összterülete 661 km², tengerszint feletti magassága 188-288 m. A hosszú távú éves középhőmérséklet 11°C. Az elmúlt 17 évben az éves csapadékösszeg 390-1040 mm között alakult, az éves érték átlaga 630 mm (Danube Hazard m3c).



2. ábra: A Koppány-patak mérési területének térképe

(Forrás: Danube Hazard m³c)

A vízgyűjtőn 11 folyó található (teljes hosszuk 147 km) és három tó, amelyek összterülete 2,9 km². A vízgyűjtő területének 79%-át szántó, 18%-át erdő borítja, a maradék 3% legelő és önkormányzati, ipari terület. A Koppány-patak a Kelet-külső-Somogy, vagy más néven Koppány menti dombság kistáján található. A kistáj déli részén folyik a Koppány (56 km, 745 km²) a Kaposba. A patakon két vízmércze található, az egyik Tamásiban, amely a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság alá tartozik, illetve Törökkoppányban, amely a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság vízmércéje (2. ábra). Nagy vízhozam- és vízszintkülönbségeket mértek már a vízmércéken, ezek a szélsőséges időjárás következményei. Csapadékos időszakban a Koppány mellékpatakjain is magas vízhozamok jellemzőek, időszakosan azonban

ki is száradhatnak. A vízminőség általában II. osztályú (MSz 12749 szerint), de különösen kisvízkor és a települések alatt még szennyezettebb lehet. A talajvíz mennyisége csekély, a rétegvizeké is mérsékelt. Számos helyen jelenik meg a nitrátosodás, illetve a térségben jelentős a talajerózió. További környezeti problémát jelent, hogy az országos átlaghoz képest nagy az eltérés a közüzemi vízellátás és a csatornázottság szintje között, a kistelepüléseken szennyvízcsatorna még nem épült ki (Dövényi, 2010; Csorba, 2021).

A Fiad-Bonnyapuszta közötti szakasz természetes medrű, Bonnyapusztától pedig trapézmederrel szabályozott. A Koppány-patak első jelentős szabályozási munkái 1930-tól 1933-ig tartottak, teljes körű fenntartási 1962-ben volt utoljára, azóta csak a rendszeres fenntartási munkákat végzik el (Weiperth és Dobosy, 2019).

A Koppány-völgye kistérség a legnehezebb helyzetű kistérségek egyike, egyik legnagyobb problémája a fiatalok, és a magasabb végzettséggel rendelkezők elvándorlása. Másik problémakör a fő tevékenységet jelentő mezőgazdaság, mely a biodiverzitást folyamatosan csökkenti, és éghajlatváltozás esetén sérülékeny lesz ez a jelenlegi tájhasználat (Szabó és társai, 2013; Csorba, 2021).

A Koppány-völgyet régen erdők, legelők és vizes élőhelyek borították. Ezek helyét mára intenzív mezőgazdasági művelés vette át, aminek hatására a talajok gyors, vízerózió általi degradációnak indultak. Ez a folyamat talaj- és vízvédelmi szempontból sem kedvező (Szabó és társai, 2013).

A Koppány felső részvízgyűjtő területe 269 km², és a mérési terület nyugati részét fedi le. A részvízgyűjtő 75%-a szántó, 20%-a erdő és természetes növényzet. A víz minőségét erősen befolyásolja a balatonlellel szennyvíztisztító telep. Ez a város a vízgyűjtőn kívül esik, de a Balaton védelme érdekében a Koppány legfelső részébe irányítják át a szennyvizet (Danube Hazard m³c). A balatonlellel szennyvíztisztító telep a Balaton déli vízgyűjtőjén található 10 településen összegyűjtött szennyvíz tisztítója. A szennyvíztisztító telep működését az időjárási hatások és a szezonális jellegek jelentősen befolyásolják, így a kibocsátott tisztított szennyvíz mennyiségétől függően változik a vízfolyás szerves- és tápanyag terhelése. Az elfolyó tisztított szennyvíz minősége már nem csak a turisztikai szezonban, hanem egyre inkább az év teljes időszakában meghaladja az előírt határértékeket, és amennyiben a szennyvíz vízhozama aszályos időszakban meghaladja a vízfolyás természetes vízhozamát, nincs elegendő mennyiségű hígító víz a főmederben. Mindez rossz hatást gyakorol a Koppány-patak és valamennyi mezőgazdasági területtel szegélyezett vízfolyás kémiai és biológiai állapotára, feliszapolódást okoz, megváltoztatja a víz fizikai és kémiai összetételét, a szennyezett vizet tűrő fajok megmaradhatnak, míg a tiszta vizet kedvelő élőlények eltűnnek. Vízkémiai és egyéb

környezeti háttérváltozók szisztematikus vizsgálata a Koppány-patak és befolyói esetében fokozottan indokolt, mivel a Koppány-patak teljes vízgyűjtőjére a fokozott nagyüzemi mezőgazdaság és egyéb humán hatások, elsősorban tisztított szennyvízterhelések, állattartó telepek és tógazdaságok jelentős hatást gyakorolnak (Weiperth és Dobosy, 2019).

A Koppány alsó vízgyűjtő területe 392 km². A területhasználati arányok hasonlóak a felső részvízgyűjtőéhez, valamivel kevesebb erdővel és több mesterségesen fedett területtel. A mérési terület ezen részén a horgásztavak nagy hatással vannak a vízminőségre (Danube Hazard m³c). A halastavak és a kisebb tározók lassítják a vizek gyors levonulását. A halastógazdálkodással összefüggésben engedélyezett vízhasználat meghaladja a nagyvizek levonulásán kívüli időszakban a rendelkezésre álló vízmennyiséget, ez a mellékpatakok alsó szakaszain vízhiányt okoz (Weiperth és Dobosy, 2019).

A vízgyűjtő legnagyobb városa Tamási (~10 000 lakos), települési szennyvíztisztítója ~900 m³/nap; fürdő is található, ~250 m³/nap elfolyó vízzel. Ezek a lefolyások azonban a Tamási szelvény alatt találhatóak. Így a csapadékvíz kiáramlásából származó városi kibocsátás releváns lehet, de nem ezekből a szennyvíztisztító telepekből (Danube Hazard m³c).

1. táblázat: A Koppány vízgyűjtő fő jellemzői (Forrás: Danube Hazard m³c)

Vízgyűjtő neve	Koppány teljes	Koppány felvíz	Koppány alvív Tamási, nettó
vízgyűjtő kivezető pont (folyómérce)	Tamási	Törökkoppány	Tamási
vízgyűjtő terület (km ²)	661	269	392
Földhasználat:			
szántó	79%	75%	81%
legelők	1%	1%	1%
erdők és természetes vegetáció	18%	20%	17%
városi területek	1%	2%	1%
Éghajlat és topográfia:			
évi középhőmérséklet (°C)	11	11	11
évi átlagos csapadékmennyiség (mm/év)	629	639	622
átlagos tengerszint feletti magasság (m)	181	197	171
Hidrológia:			
évi átlagos vízhozam (m ³ /s)	1.2	0.54	1.2
átlagos lefolyás (mm/év)	55	64	50
Pontforrás hatása:			
összes lakosság	19,000	5,900	13,100
(kommunális és ipari) szennyvíz aránya a vízgyűjtő kivezetésnél LKV-nál	8%	15%	2%
népsűrűség (fő/km ²)	29	22	33

3.2. A Koppány vízgyűjtőn végzett korábbi vizsgálatok

Szabó és társai (2013) vizsgálták a Koppány-patak vízminőségét, hogy kimutassák a kapcsolatot a talajdegradációs folyamatok és a Koppány-patak vízminősége között, ezáltal rámutatva a megfelelő tájhasználat fontosságára. A mért $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, értékek csak néhány alkalommal lépték át a megengedett határértékeket, és két alkalommal mutattak ki szervesanyag-terhelést. A nitrátkoncentráció gyakori növekedése nem erózió vagy bemosódás eredménye, mivel az esőzések alkalmával mért értékek általában alacsonyabbak voltak. Arra a következtetésre jutottak, hogy a növekedés háttérében szennyvíz eredetű terhelés állhat.

A Koppány-patak $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja Szabó és társai (2013) tanulmányában megfelelt a jó állapotnak. Egy alkalommal január végi mérési eredményeknél a Koppány-patakban az ammónium-ion mértéke sokszorososa volt a kívánt értéknek, ennek forrása nem ismert. A nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) általában nagyon alacsony koncentrációban fordul elő a természetes vizekben, mérése bizonytalan, de a szennyvízterhelésnek jó indikátora. A nitrit koncentrációja a Szabó és társai (2013) által végzett vizsgálatokban a Koppány-patakban nagyobb esőzések után magasabb értékeket mutatott, egy alkalommal a nitrit értéke sokszorosára emelkedett, ennek forrása szintén nem ismert. A nitrát a vizekben stabil nitrogénforma, a nitrifikáció végterméke és fontos növényi tápanyag. Indikátora a diffúz terheléseknek, de jelentős mennyiségben származhat a kommunális szennyvizekből is. Szabó és társai (2013) vizsgálati során gyakran mérték az elvárt érték többszörösét.

3.3. Mintavételi helyek bemutatása

A Koppány-patakon két mintavételi hely van, Törökkoppányban és Tamásiban, ahol a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék már hosszú ideje rendszeresen végez méréseket, így hosszabb mérési idősor áll rendelkezésünkre e két pont esetében (Danube Hazard m3c). Ezek a helyszínek megegyeznek a 3.2. fejezetben bemutatott vízmérce állomásokkal, melyek vízrajzi mérési adatai is hozzáférhetőek a vízügyi igazgatóságoknál.

Ezen kívül a tanszék szervezésében két alkalommal került sor mérési kampányokra, melyek során a Koppány-patak több pontján és a mellékágakon is történt mintavétel. A hidrológiai év két félévből áll: a téli félévből (november 1-től április 30-ig tart) és a nyári félévből (május 1-től október 31-ig). Az OTKA kutatás során két nagy mérési programot végeztünk, az egyiket márciusban, amelyet a hidrológiai év szerint, és az időjárás alapján is a téli félév mérésének nevezhetjük. Ez a mérés 2023. március 21-én zajlott. A nyári mérések pedig 2023. augusztus 2-3. között lettek elvégezve.

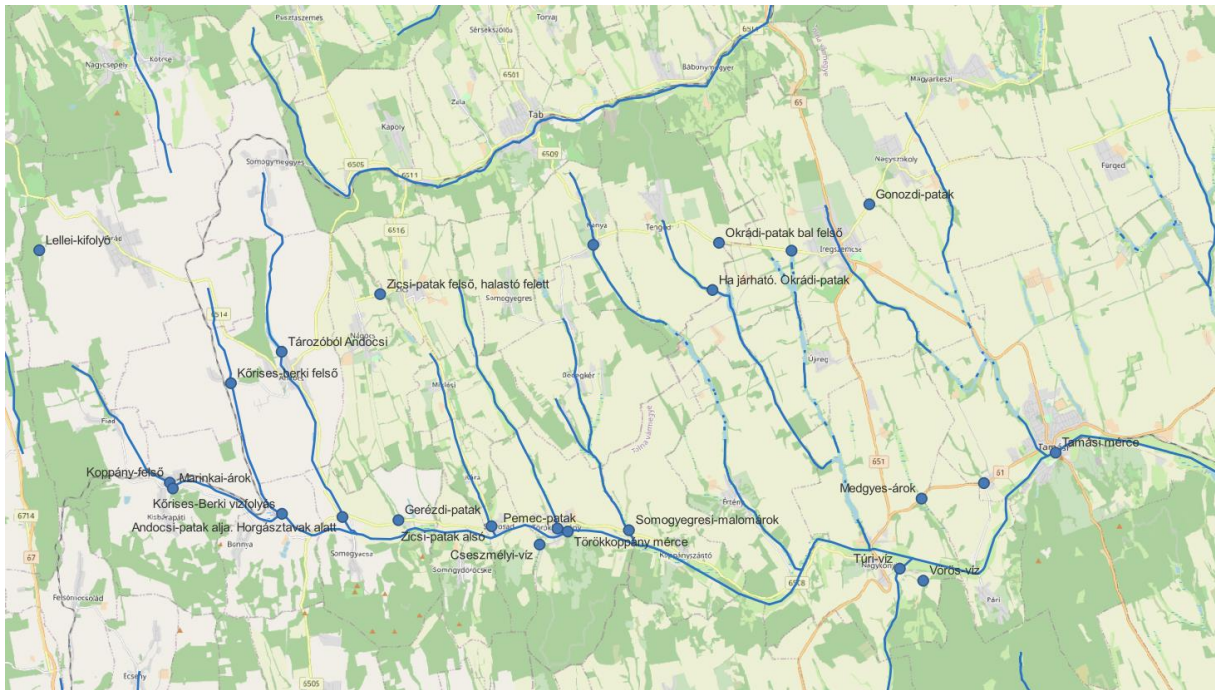
Mindkét mérési kampány csapadékmentes időszakokban történt, a vízminták az időszakra jellemző alaphozamot reprezentálják. A mintavétel szabványos módon, a sodorvonalból merítéssel történt.

A téli mérési kampány mintavételi pontjainak elnevezése S1-S25, az elnevezések helyszínei a következők (2. táblázat).

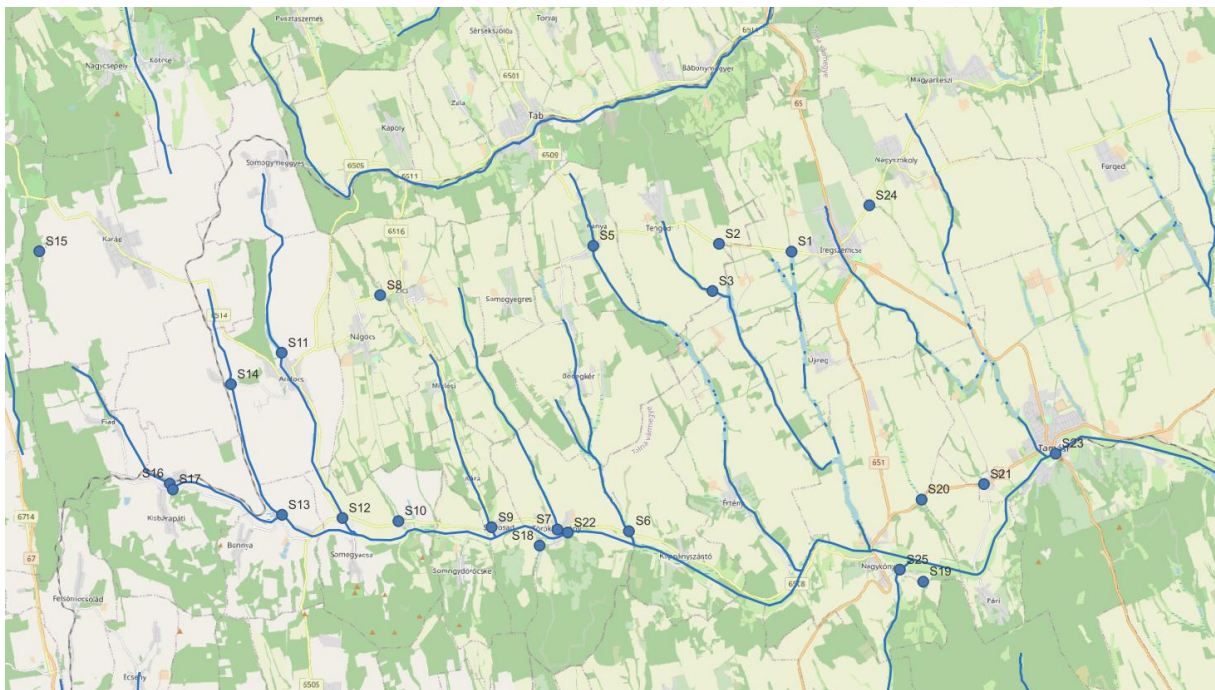
2. táblázat: A téli mérési kampány mintavételi pontjai

Vízminták sorszáma	Vízfolyás	fkm	Leírás
S1	Kulesár-p.		
S2	Okrádi-p.		Okrádi-patak felső bal ága, Tengőd
S3	Okrádi-p.		Okrádi-patak felső jobb ága
S5	Kánya-ér		
S6	Somogyegresi-malomárok		
S7	Per nec-p.		Per nec-patak torkolat
S8	Zicsi-p.		Zicsi-patak felső
S9	Zicsi-p.		Zicsi-patak torkolat
S10	Gerézdi-p.		
S11	Andocsi		Tározó
S12	Andocsi-p.		Andocsi-patak alja
S13	Kőrises-berki vízfolyás		Andocsi-patak torkolat
S14	Kőrises-berki vízfolyás		
S15	Balatonlellel szennyvíztelep kifolyója Karád határában	62,2	
S16	Koppány-p.	52	
S17	Marinkai-árok		
S18	Cseszmei-víz		
S19	Vörös-víz		
S20	Medgyes-árok		
S21	Szemcsédi-árok		
S22	Koppány-p.	36,8	Törökkoppány, mércénél
S23	Koppány-p.	14	Tamási, mércénél
S24	Gonozdi-p.		Iregszemcsénél
S25	Túri-víz		

Térképen a következőképpen helyezhetőek el (3-4. ábra).



3. ábra: Téli mintavételi pontok térképi ábrázolása, a mintavételi pont helyszínével



4. ábra: Téli mintavételi pontok térképi ábrázolása, a mintavételi pont számával

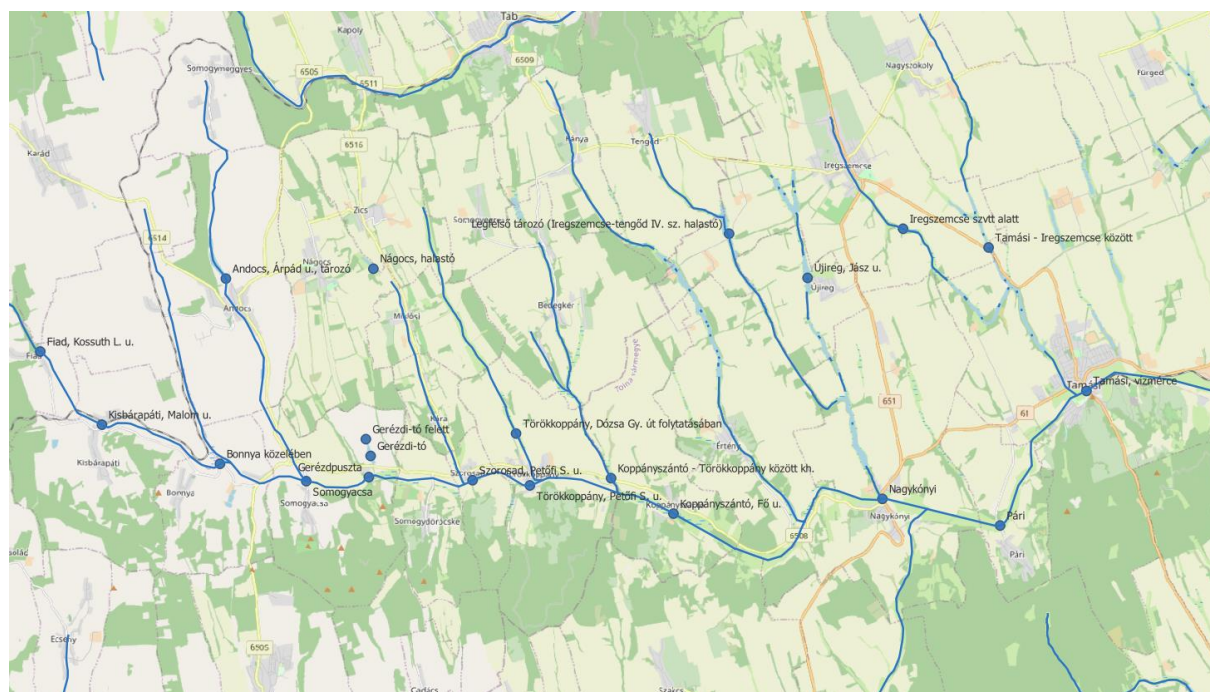
A nyári mérési kampány során végzett mintavételi pontok sorszáma pedig 76-107.

A mintavétel során a téli méréshez képest ebben a kampányban új elemként a mederközeli talajvíz mintázására is sor került, a Koppány-patak medre mellett létesített 0,5-1 m mélységű furatokból. A vízmintát a kézzel mélyített kis „gödrökből” vették, melyekben a víz néhány óra alatt a vízgyűjtő felől a meder irányába történő szivárgás eredményeként összegyűlt és egy perisztaltikus pumpa segítségével kiemelhető volt.

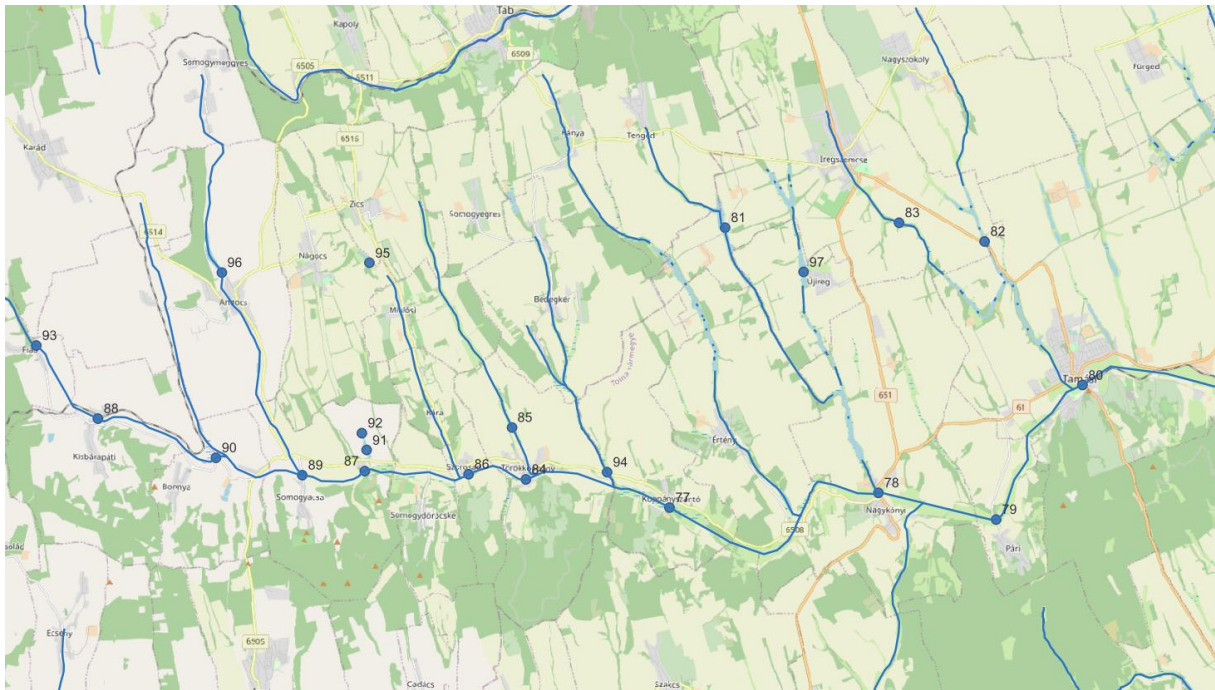
3. táblázat: A nyári mérési kampány mintavételi pontjai

Vízminták sorszáma	Vízfolyás	fkm	Leírás	Minta típusa
77	Koppány-p	31,9	Koppányszántó, Fő u.	patakvíz
78	Koppány-p	23,4	Nagykónyi	patakvíz
79	Koppány-p	19,5	Pári	patakvíz
80	Koppány-p	14	Tamási, vízmérce	patakvíz
81	Okrádi-patak		Legfelső tározó kifolyónál	tóvíz
82	Gonozdi-p.	5,9	Gonozdi tó, Tamási - Iregszemcse között	tóvíz
83	Iregi-p.	5,9	Iregszemcse szvtt alatt	patakvíz
84	Koppány-p	36,8	Törökkoppány, Petőfi S. u.	patakvíz
85	Per nec-p.	1,9	Törökkoppány, Dózsa Gy. út folytatásában	patakvíz
86	Koppány-p	39	Szorosad, Petőfi S. u.	patakvíz
87	Koppány-p	42,5	Gerézdpusztá	patakvíz
88	Koppány-p	52,1	Kisbárapáti, Malom u.	patakvíz
89	Koppány-p	44,6	Somogyacsa	patakvíz
90	Koppány-p	47,8	Bonnya közelében	patakvíz
91	Gerézdi-p. (Nágocsi-p)	1	Gerézdi-tó	tóvíz
92	Gerézdi-p. (Nágocsi-p)		Gerézdi-tó felett	patakvíz
93	Koppány-p	55,5	Fiad, Kossuth L. u.	patakvíz
94	Somogyegresi malom-árok	0,6	Koppányszántó-Törökkoppány közt, főút híd	patakvíz
95	Zics-Miklósi-p.	7,9	Nágocs, halastó a Zicsi patakon	tóvíz

96	Andocsi-p.	7	Andocs, Árpád u., Tojári tározó	tóvíz
97	Kulcsár-p.	4,4	Kulcsár-tó, Újireg, Jász u.	tóvíz
98	Koppány-p		Törökkoppány balpart	talajvíz
99	Koppány-p		Törökkoppány jobbpart	talajvíz
100	Koppány-p		Bonnyapuszta jobbpart	talajvíz
101	Koppány-p		Bonnyapuszta balpart	talajvíz
102	Koppány-p		Fiad balpart	talajvíz
103	Koppány-p		Fiad jobbpart	talajvíz
104	Koppány-p		Nagykónyi balpart	talajvíz
105	Koppány-p		Nagykónyi jobbpart	talajvíz
106	Koppány-p		Tamási balpart	talajvíz
107	Koppány-p		Tamási jobbpart	talajvíz



5. ábra: Nyári mintavételi pontok térképi ábrázolása, a mintavételi pont helyszínével



6. ábra: Nyári mintavételi pontok térképi ábrázolása, a mintavételi pont számával

3.4. A minták laboratóriumi elemzése

Jelen kutatás tehát a 3.3. pontban bemutatott két mérési kampányon alapul: az egyik a téli időszakban, a másik nyáron végzett szabványos mintázás és a minták laboratóriumi elemzése, melyben én is részt vettem.

A mintavételkor a helyszínen vett mintából vízhőmérséklet, oldott oxigén, oxigéntelítettség, pH és vezetőképesség mérés történt, a laboratóriumi elemzések során pedig a zavarosság, p-lúgosság, m-lúgosság, karbonát, hidrogénkarbonát, klorid, összes keménység, kalcium, magnézium, KOI_k , ammónium, nitrit, nitrát, összes szerves nitrogén, Kjeldahl nitrogén, szerves nitrogén, összes nitrogén, oldott ortofoszfát és az összes foszfor koncentrációkat mértük, illetve határoztuk meg számítással. A laboratóriumi elemzést az MSz 12050 szabvány szerint végeztük.

Az ammónia-nitrogén, a nitrát és a nitrit meghatározása spektrometriai módszerekkel történt, a szerves nitrogén ezeknek összege, de számítható az összes nitrogén és a szerves nitrogén különbségéből is.

A szerves nitrogént a Kjeldahl-módszer szerint is meg lehet határozni, de az összes nitrogén és a szerves nitrogénformák különbségeként is lehet számolni. Az összes nitrogént Kjeldahl-módszerrel határoztam meg, az összes nitrogén roncsolás után ammóniummá alakul, amit titrálás után spektrofotométerrel lehet meghatározni.



7. ábra: Minták roncsolás alatt



8. ábra: Titrálás



9. ábra: Spektrometriás mérésre kész minták



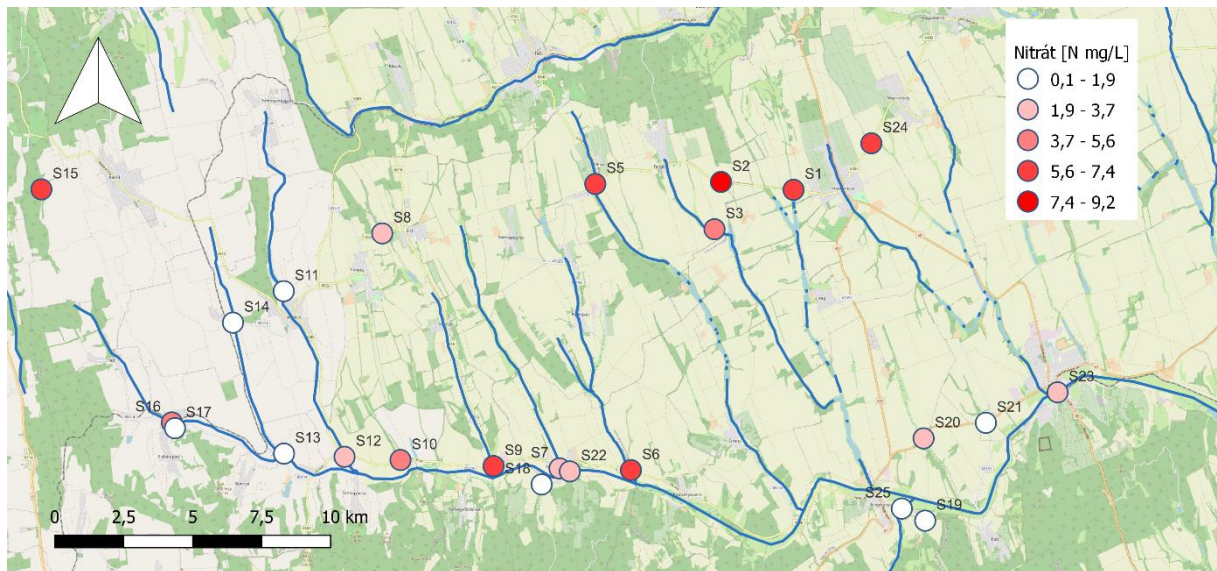
10. ábra: Ammónium mérése spektrofotométerrel

4. Eredmények és értékelésük

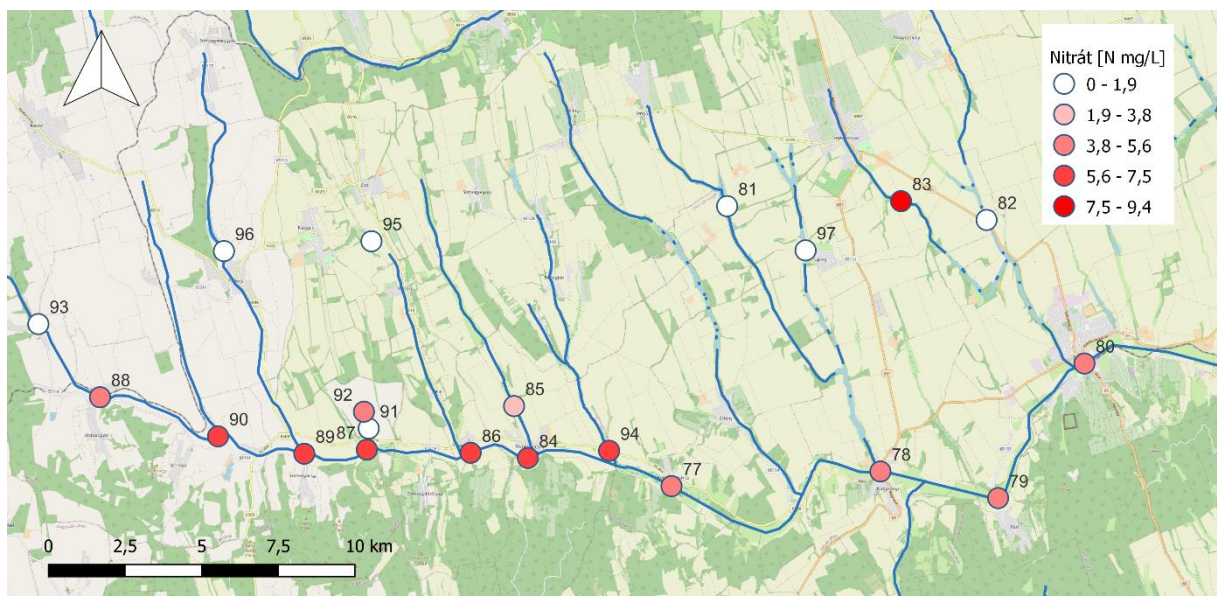
Az eredmények értékelése során összehasonlítottam a téli és a nyári mérési eredményeket, a különböző nitrogénformák szerinti koncentrációkat és a mintavételi helyeket is elemeztem. Ezek alapján a nitrátot és a szerves nitrogént emeltem ki, az alábbiakban megtalálhatóak az ezekhez tartozó térképek és ábrák; a többi mérés térképei és ábrái a Függelékben láthatóak.

4.1. A téli és nyári mérési kampány eredményei

Térképen QGIS szoftver használatával ábrázoltam a mért koncentrációkat. A szerveslen nitrogénformák közül a nitrát koncentrációk a legmagasabbak, az ammóniumnál és a nitritnél több ponton mérési határ közeli értékeket mértünk, az alábbi két térképen a nitrát koncentrációk térbeli alakulását szemléltetem a két mérési időszakra (11-12. ábra).



11. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért nitráttartalom térképi ábrázolása

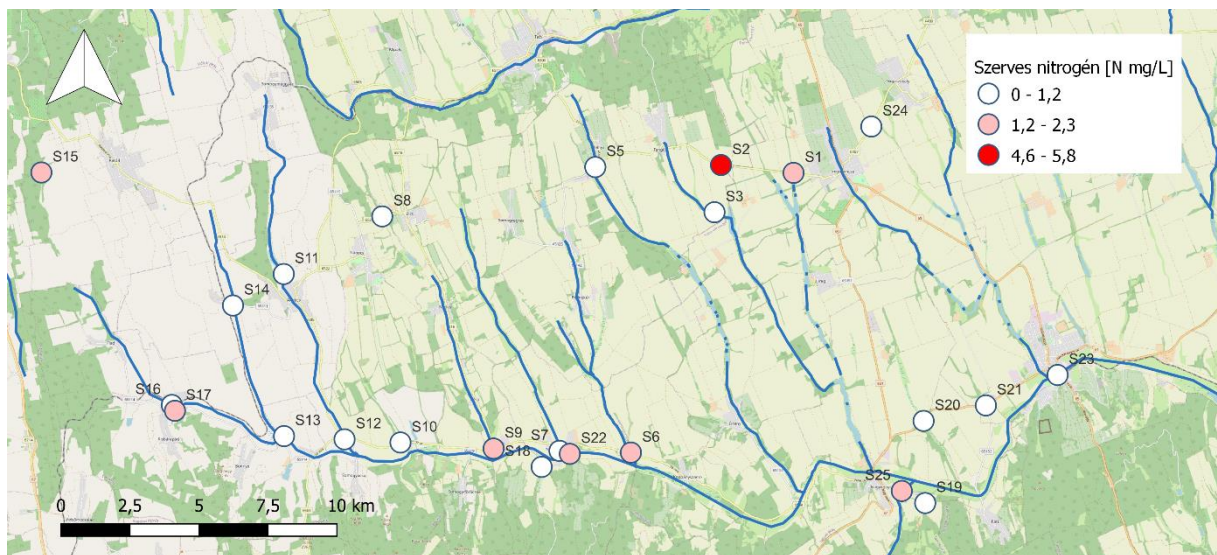


12. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért nitráttartalom térképi ábrázolása

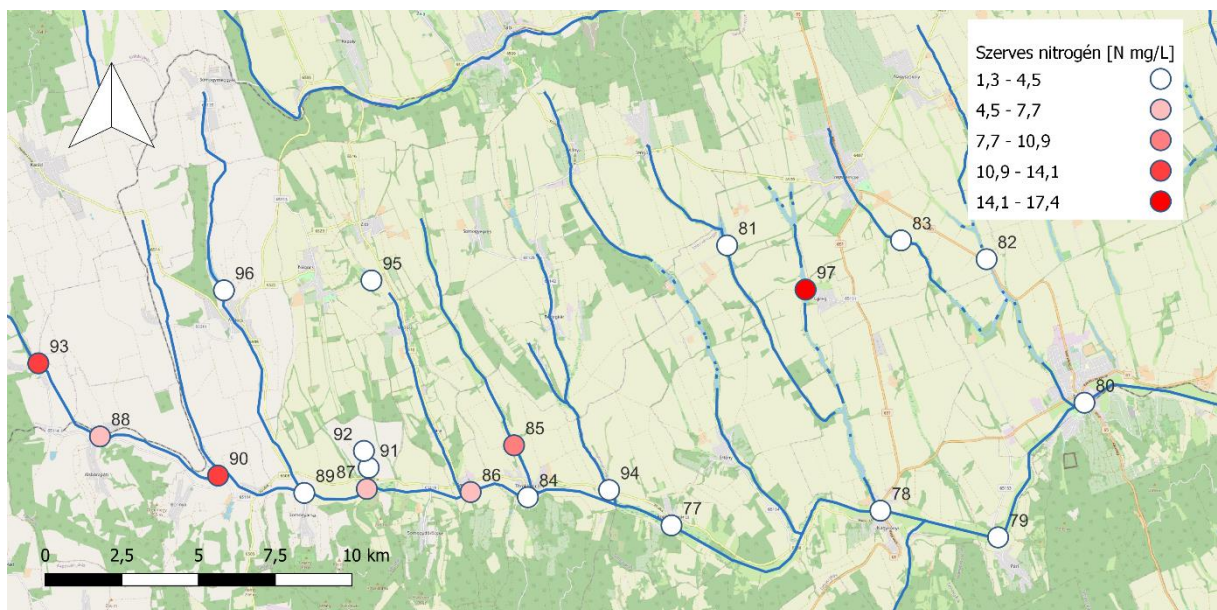
Megfigyelhető, hogy a nitrát télen és nyáron mért koncentrációi között nincsen nagyságrendbeli különbség, a skála szinte megegyezik a mérések esetén, a szennyezések eloszlásában azonban van különbség. Míg nyáron inkább magán a Koppány-patakon mértünk magasabb koncentrációkat, a téli mérések idején a betorkolló kisebb patakoknál volt magasabb a nitrátszennyezettség. Télen a mellékágakon az S1, S2, S3, S5 és S24 pontokon magasabb a nitráttartalom, ez a szántóföldi környezetben a műtrágyázás okozta nitrogénbemosódásnak köszönhető.

A nitráton kívül a szerves nitrogén térképeket emeltem ki (13-14. ábra), mivel itt nem kaptunk folyamatosan növekvő vagy csökkenő koncentrációkat, hanem inkább elszórtan voltak

mérhetőek magasabb koncentrációk mindkét mérési kampány esetén. A szerves nitrogén koncentrációja télen egy ponton volt jelentősen magasabb (S2 mintavételi hely), ezt a szántóföldi környezet és az alacsonyabb vízhozam okozhatja. Nyáron viszont több helyen volt sokkal magasabb a szerves nitrogéntartalom, a 93-as ponton a balatonlellei szennyvíztisztító kivezetése járul ehhez hozzá, majd a hígulásnak köszönhetően ez csökken a 88-as pontra, viszont a 90-es pontra újabb nagyobb mennyiségű szerves nitrogén érkezik, ezt követően azonban nagy mértékben lecsökken a patak szerves nitrogén tartalma, a hígító hatásnak köszönhetően.



13. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért szerves nitrogén térképi ábrázolása



14. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért szerves nitrogén térképi ábrázolása

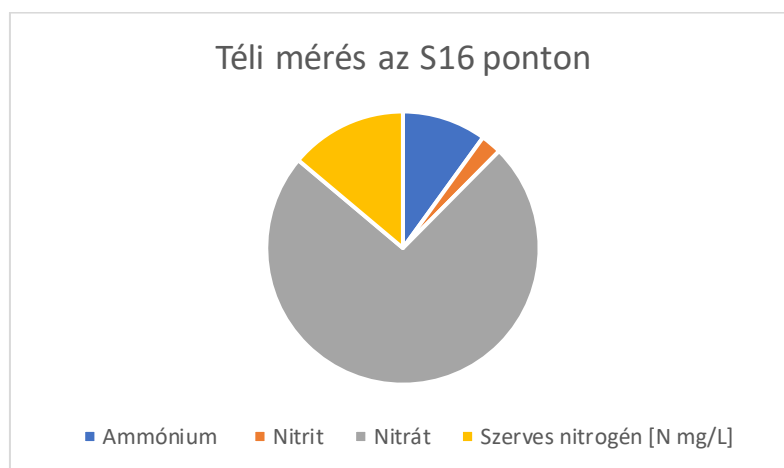
4.2. Vízminőség változása a Koppány-patak mentén

A következő diagramokon a Koppány-patak menti téli és nyári mérések eredményeit hossz-szelvényben ábrázoltam (17-18. ábra).

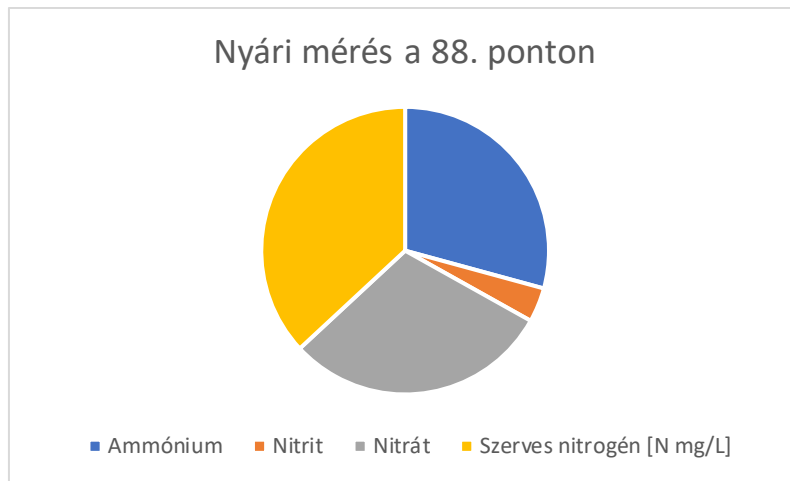
A folyamkilométereket a folyam torkolatától számítjuk, azaz a torkolatban 0 fkm-ről beszélünk, és „visszafelé”, a forrás felé növekszik az értéke. A valóságban így látható a Koppány, ezért van az ábrán az x tengely csökkenő irányban.

A téli kampányban csak a Koppány-patak négy pontján végeztek mérést, azonban így is megfigyelhető, hogy a torkolat felé haladva csökken a nitrát koncentrációja. Ez a jelenség a nyári értékeknél is látszik, azonban a felső vízgyűjtőn közvetlenül a szennyvízbevezetés alatt a nitrát koncentráció alacsonyabb és csak a 90-es számú mintavételi helytől magasabbak az értékek. Itt újabb nagyobb mennyiségű nitrát kerül a patakba, azonban ezt már nem tudja jelentős mértékben csökkenteni a hozzáfolyás.

Erre példa az 52-es folyamkilométer, ahol télen a S16, nyáron pedig a 88-as számú ponton történt mintavétel és azt követő mérés. Diagramon szemléltetem (15-16. ábra) a szervetlen nitrogénformák és a szerves nitrogén arányát. Ezekben az ábrákban látható, hogy a szennyvíztisztító nyáron sokkal nagyobb mennyiségű szerves nitrogént enged a patakba, nyáron azonban kisebb az alapvízhozam, így nem tud olyan mértékben csökkenni a szerves nitrogén mennyisége, mint télen.

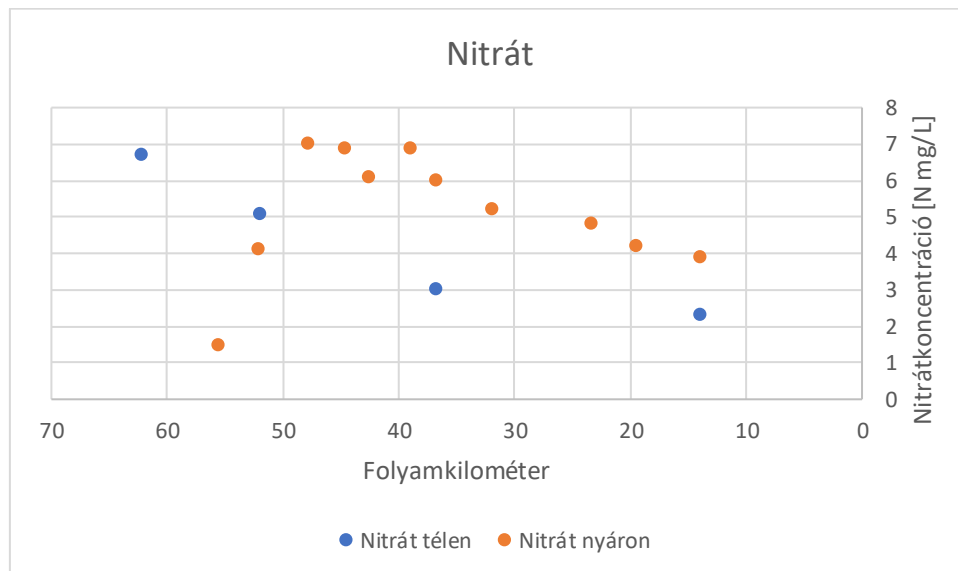


15. ábra: Nitrogénformák aránya télen az 52 fkm-nél

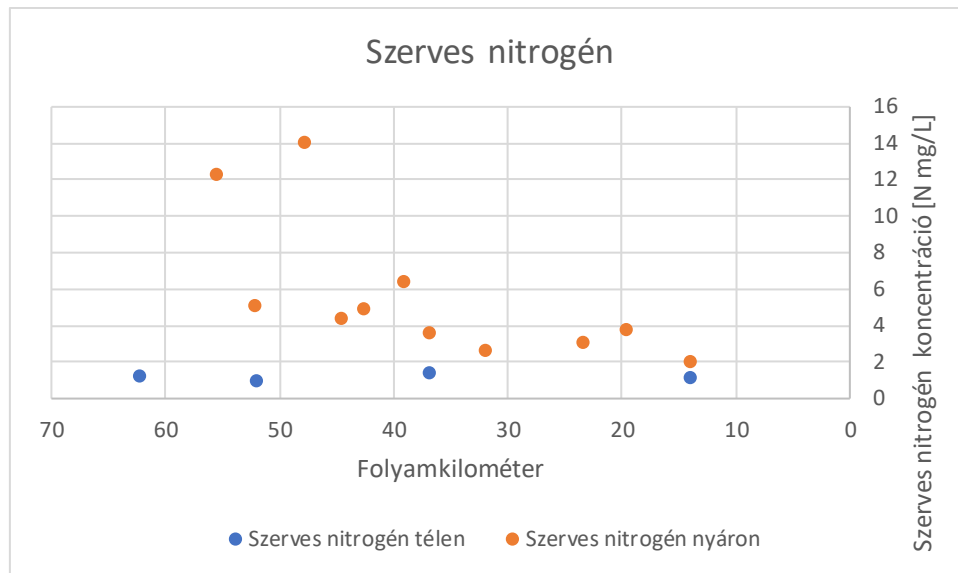


16. ábra: Nitrogénformák aránya nyáron az 52 fkm-nél

További megfigyelt jelenség a folyásirány menti koncentráció csökkenés, mindkét évszakban, illetve a koncentrációk közötti nagyságbeli különbség, amelyek mind a vízfolyás természetes hígulásával magyarázhatóak, a mederből és az északról érkező patakokból érkezik a hozzátáplálás a folyamhoz, télen azonban magasabb az alap vízhozam.



17. ábra: Nitrát a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



18. ábra: Szerves nitrogén a Koppány-patakon folyamkilométer szerint

4.3. Anyagáram számítások

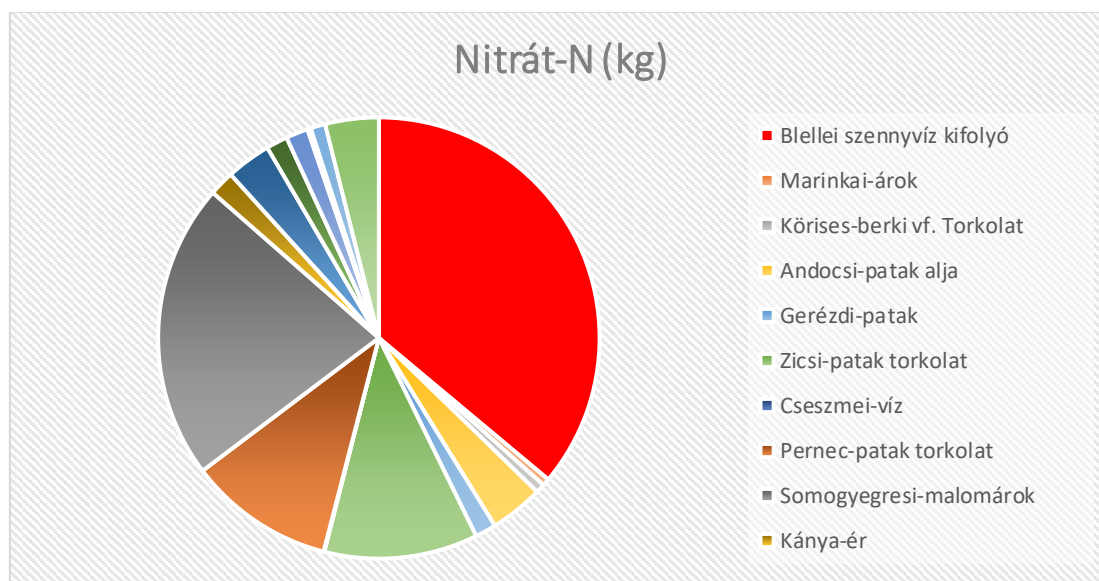
A téli mérési kampányban a mellékágak vízhozamára is készült felmérés. Ez lehetővé teszi, hogy a koncentráció és a vízhozamok ismeretében a vízrendszerben szállított nitrogén anyagáramokat is kiszámítsuk. A becsléssel információt kaphatunk arról, hogy a szennyvízbevezetés és a mellékágak milyen mértékben járulnak hozzá a vízgyűjtő kifolyási pontján leérkező összes terheléshez. A mellékágak bevezetési sorrendjében látható a 4. táblázat.

4. táblázat: Terhelés megoszlása a szennyvízbevezetés és a mellékágak között

		Patak neve	Q (l/s)	Nitrát (kg/nap)	Összes nitrogén (kg/nap)
Szennyvíz	S15	Blellei szennyvíz kifolyó	159,3	92,2	121,1
Mellékágak	S17	Marinkai-árok	8,3	1,4	2,8
	S13	Körises-berki vf. Torkolat	197,8	1,7	13,3
	S12	Andocsi-patak alja	50,4	10,0	14,1
	S10	Gerézdi-patak	9,9	3,9	4,6
	S9	Zicsi-patak torkolat	46,2	28,7	44,0
	S18	Cseszmei-víz	5,4	0,1	0,6
	S7	Per nec-patak torkolat	85,5	27,3	32,6
	S6	Somogyegresi-malomárok	94,5	55,5	66,0
	S5	Kánya-ér	8,3	4,7	4,8
	S3	Okrádi-patak felső jobb ága	19,8	8,4	9,9
	S2	Okrádi-patak felső bal ága	5,0	4,0	6,5
	S1	Kulcsár-patak	8,3	4,1	5,1
	S19	Vörös-víz	8,4	0,2	0,7
	S20	Medgyes-árok	0,3	0,1	0,1

	S21	Szemcsédi-árok	4,2	0,4	0,8
	S24	Gonozdi-patak, Iregszemcsénél	5,1	2,8	3,2
	S25	Túri-víz	82,8	10,0	19,8
	Tamási - mellékágak- szennyvíz	Különbség	214,6	-54,1	-47,7
	S23	Tamási, mércénél	-1014,0	-201,5	-302,3
		Mellékágak összege	640,1	163,4	228,8

A táblázatból is látszik, de diagramon látványosabb, hogy annak a nitrát mennyiségnek, ami egy nap alatt Tamásiba érkezik, majdnem fele az S15-ös pontról, azaz a balatonlellel szennyvíztisztítóból származik. Ezen kívül az S6, S9 és S7 a legjelentősebbek, ezek a Somogyegresi-malomárok, a Pernec-patak torkolata és a Zicsi-patak torkolata.



19. ábra: Nitrát (kg/nap) megoszlása a vízgyűjtőn

Számszerűsítve, a Tamási mérési pontra érkező összes nitrát mennyisége 201,5 kg/nap, ehhez 92,2 kg/nap érkezik a balatonlellel szennyvíztisztító mérési pontból. A törökkoppányi vízmércénél ennél magasabb értéket kaptunk, és az ott mért vízhozamhoz képest Tamásinál szinte megduplázódik a vízhozam, azonban a tömegáram nem követi ezt a tendenciát. Ez is bizonyítja, hogy lennie kell valamilyen hígítási tényezőnek a rendszerben, amely a mederbe közvetlenül beszivárgó víz.

4.4. Az eredmények értékelése

A kutatás során feltett hipotézis, mely szerint a patak szennyezettsége a torkolat felé haladva csökken, bebizonyosodott. Ezt elsődlegesen az összes nitrogén mérések támasztják alá, melyet térképeken is szemléltettem. Annak ellenére is, hogy télen a betorkolló oldalágak szennyezettsége magasabb, a Koppány-patakban mégis csökken a koncentráció Tamásihoz érve, ezért feltételeznünk kell valamilyen természetes hígítás jelenlétét.

Az oldalágak közül vannak „tisztábbak” és szennyezettebbek, ez összefügg azzal a feltételezésemmel, hogy a természetesebb területek mellett kisebb a nitrogénkoncentráció. Ahogyan Hu és társai (2021) kutatása is összefoglalta, a folyókban található nitrogéntartalom erősen összefügg az ember által végzett földhasználattal, a földhasználat erősen befolyásolja a nitrátszennyezést. A térképen látható 96-os, vagy S11-es pont erre jó példa, ugyanis az erdő mellett található Andocsi-patak Tojári-tározójából került mintavételre, és minden mérés esetében nagyon alacsony koncentrációt mértek ezen a helyszínen.

A téli és nyári méréseket tekintve a legnagyobb különbség az volt, hogy télen az oldalágakban mértünk magasabb nitrát értékeket. Bár ezt a mérési kampányt télnek nevezzük (mert a téli hidrológiai félév alatt történt), a mérések március végén zajlottak, ez az időszak egybevág a tavasz eleji nitrogén műtrágyázási időszakokkal is. Tekintve, hogy azok a mintavételi pontok szántóföldek közelében találhatóak, mezőgazdasági okokkal magyarázhatjuk a nitrátszennyezést.

Ezzel szemben nyáron ezeken a pontokon nem volt magas a nitrát mennyisége, csak a Koppány-patak vonalán, ezáltal természetes hozzátáplálást nyújtottak ezek a patakok a szennyezés hígítására. A magas nitrát értékek itt a nyári szezon megnövekedett szennyvízbevezetésével magyarázhatóak.

A balatonlellei szennyvíztisztító kivezetéséhez legközelebb eső pont az S15-ös volt, amelyen télen végeztünk méréseket. Itt magas volt a nitrát értéke, de nitrit értékek között is magasnak számított az S15-ös pont. Ez a szennyvíztisztítás nemmegfelelőségét bizonyítja. A nyári mérések esetén a szerves nitrogén bizonyult magasnak a szennyvíztelephez legközelebb eső 93-as ponton, ez pedig szintén a magas kibocsátásra enged következtetni. A 93-as pont esetén nem a nitrát, hanem az ammónium adta a szerves nitrogén döntő részét, illetve itt az oldott oxigénszint is magasabb volt. Az ammónium szennyvíz kibocsátásra utal, a magas oldott oxigénszint pedig fontos a nitrifikációhoz, így a túlzott mennyiségű ammónium kibocsátás miatt nem tud végbe menni a nitrifikáció. Nyáron a Koppány mentén egyre inkább a nitrát adta a szerves nitrogén nagyobb részét.

Nitrátszennyezés szempontjából a balatonlellei szennyvíztisztító bevezetéséből érkező közvetlen terhelés mellett a legfontosabb szennyező forrást három mellékág adja, melynek vízgyűjtője szinte egymás mellett elhelyezkedve található a patak középső szakaszától északra eső területen. Itt a szántóföldekről bemosódott műtrágya a szennyezés legvalószínűbb oka, de esetlegesen a közeli kisebb települések szennyvízbevezetése is hozzájárulhat, mert a szerves nitrogén is magasabb ezeken a mérési pontokon.

5. Összefoglalás és javaslatok

Kutatási munkám során a nitrátszennyezés okait vizsgáltam a Koppány vízgyűjtőn. Ehhez télen és nyáron készült mintavételezés során vett vízmintákat laboratóriumban spektrometriai módszerekkel vizsgáltam. A nitrogén különböző formáira kapott koncentrációkat az értékeléshez diagramokon és térképeken ábrázoltam, illetve vízhozammérés eredményeit is felhasználva anyagmérleget készítettem. Az eredményeket összehasonlítottam szezonális különbségek, mintavételi helyek, illetve nitrogénformák szerint is.

Az anyagmérleg alapján meghatároztam a legnagyobb szennyezőket a Koppányon. A balatonlellei szennyvíztisztító kibocsátása több szempontból is fontos szennyezőforrásnak bizonyult. Télen magas ammónium- és nitrát koncentrációt mértünk a kibocsátáshoz közel, nyáron pedig magas ammónium- és szerves nitrogén koncentrációt is. Így több szempontból levonható az a következtetés, hogy mint a Koppány vízgyűjtő szennyezéséhez nagyban hozzájáruló létesítmény, a szennyvíztisztítás intenzifikálására lenne szükség, így csökkentve a felszíni vizekbe jutó szennyezőanyagok mennyiségét.

A téli időszakban a Koppány mellékágain volt nagyobb a nitrátszennyezés, ez pedig a műtrágyázással van összefüggésben, azaz mezőgazdasági tevékenység szabályozására lenne szükség. A szerves nitrogén mennyiségének csökkentése lenne javasolható, hiszen a bemosódott nitrogén megjelenik a felszíni vizekben. Ez leginkább a téli nitrát mérések esetén látható, ahol a mellékágaknál (a szántóföldek közvetlen közelében) látható magasabb nitráttartalom.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Clement Adrienne-nek a konzultációk során adott hasznos tanácsait és türelmes magyarázatait mind a QGIS szoftver használatában, mind az értékelés átgondolásában, illetve konzulensemnek, Musa Ildikónak a laboratóriumi munka során nyújtott segítőkészségét, és a konzultációk során adott részletes magyarázatokat. Nagyban hozzájárultak a dolgozatom sikerességéhez.

Irodalomjegyzék

Y. Zhang, P. Shi, J. Song, Q. Li (2018): Application of Nitrogen and Oxygen Isotopes for Source and Fate Identification of Nitrate Pollution in Surface Water: A Review. Applied Sciences. 9.

C. Kendall, R. Aravena (2000): Nitrate Isotopes in Groundwater Systems (Book: Environmental Tracers in Subsurface Hydrology P. 261-297)

X. Zhang, Y. Zhang, B. D. Fath (2020): Analysis of anthropogenic nitrogen and its influencing factors in Beijing, (Journal of Cleaner Production, Volume 244, 2020)

X. Xia, S. Zhang, S. Li, L. Zhang, G. Wang, L. Zhang, J. Wang, Z. Li (2018): The cycle of nitrogen in river systems: sources, transformation, and flux (Environmental Science: Processes & Impacts. 20.)

R. W. Howarth (2008): Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally (Harmful Algae, Volume 8, Issue 1, 2008)

G. Weigelhofer, T. Hein, E. Bondar-Kunze (2018): Phosphorus and Nitrogen Dynamics in Riverine Systems: Human Impacts and Management Options.

A. Bernhard (2010): The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. (Nature Education Knowledge 3(10):25)

Ábrahám F., Bardóczyné Székely E., Kárpáti Á., László Zs., Szilágyi F., Thury P., Vermes L. (2007): A szennyvíztisztítás alapjai (Szerk.: Dr. Kárpáti Á.)

R.W. Howarth, R. Marino, J. Lane, J. J. Cole (1988): Nitrogen Fixation in Freshwater, Estuarine and Marine Ecosystems. 1. Rates and Importance. *Limnology and Oceanography*, 33, 669-687.

A. Dolman, J. Rücker, F. Pick, J. Fastner, T. Rohrlack, U. Mischke, C. Wiedner (2012): Cyanobacteria and Cyanotoxins: The Influence of Nitrogen versus Phosphorus. *PloS one*. 7.

D. R. Smith, H. P. Jarvie, and M. J. Bowes (2017): Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Stoichiometry and Eutrophication in River Thames Tributaries, UK; *Agricultural & Environmental Letters Research Letter*

J.M. O’Neil, T.W. Davis, M.A. Burford, C.J. Gobler (2012): The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change, *Harmful Algae*, Volume 14, 2012, Pages 313-334

Y. Hu, K. Zhang, Y. Li, Y. Sun, H. Li, G. Yang (2021): Human Activities Increase the Nitrogen in Surface Water on the Eastern Loess Plateau. *Geofluids*. 2021. 1-9.

W. Q. Suo, S. Dong-Bao, H. Wei-Ping, L. Yu-Zhong, M. Xu-Rong, Z. Yan-Qing (2012): Human activities and nitrogen in waters (*Acta Ecologica Sinica*, Volume 32, Issue 4, 2012, Pages 174-179)

Interreg Danube Transnational Programme Danube Hazard m3c DTP3-299-2.1

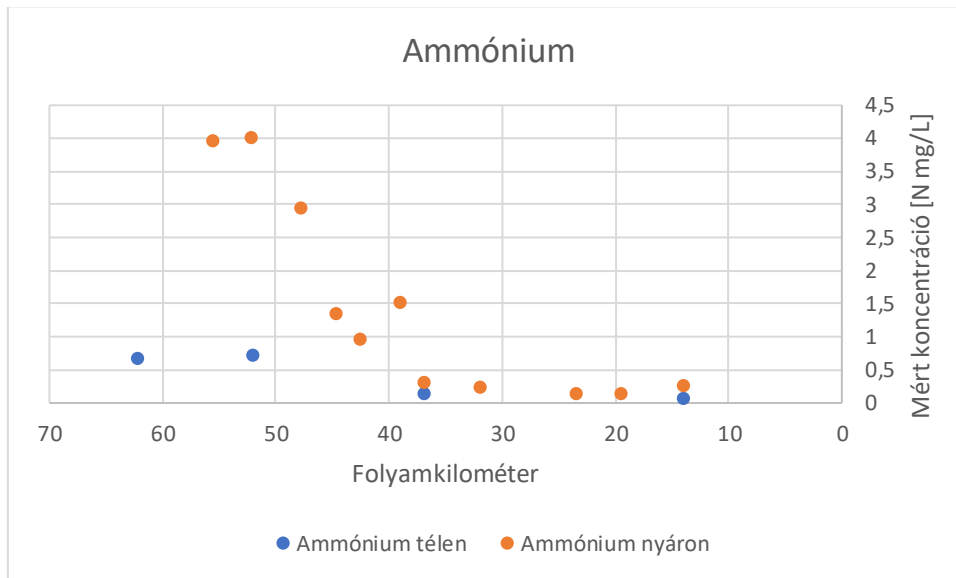
Magyarország kistájainak katasztere (2010) Szerkesztette: Dövényi Z. (MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2010) 462-465

Csorba P. (2021): Magyarország kistájai (Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen, 2021) 246-247

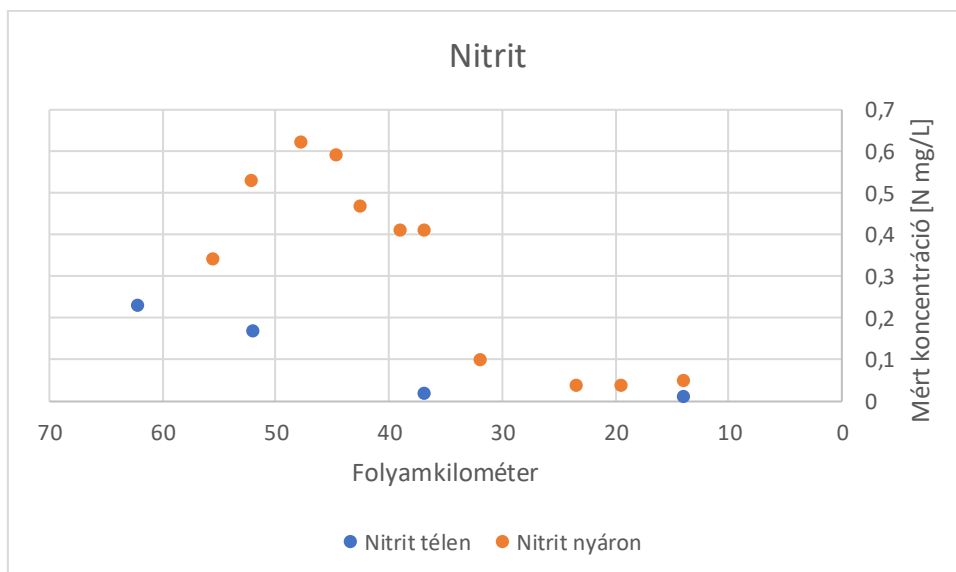
Weiperth A. és Dobosy P. (2019): Vízhőmérséklet monitoring vizsgálatok a Koppányvölgyi Élőhely Rehabilitációs Kísérleti Területen, Kutatási jelentés

Szabó B., Vona M., Gelencsér G., Akác A., Dobó Zs. (2013): Talaj- és vízvédelmi kutatások a koppányvölgyi élőhely-rehabilitációs kísérleti területen (Tájökológiai Lapok 11 (1): 23–39. (2013))

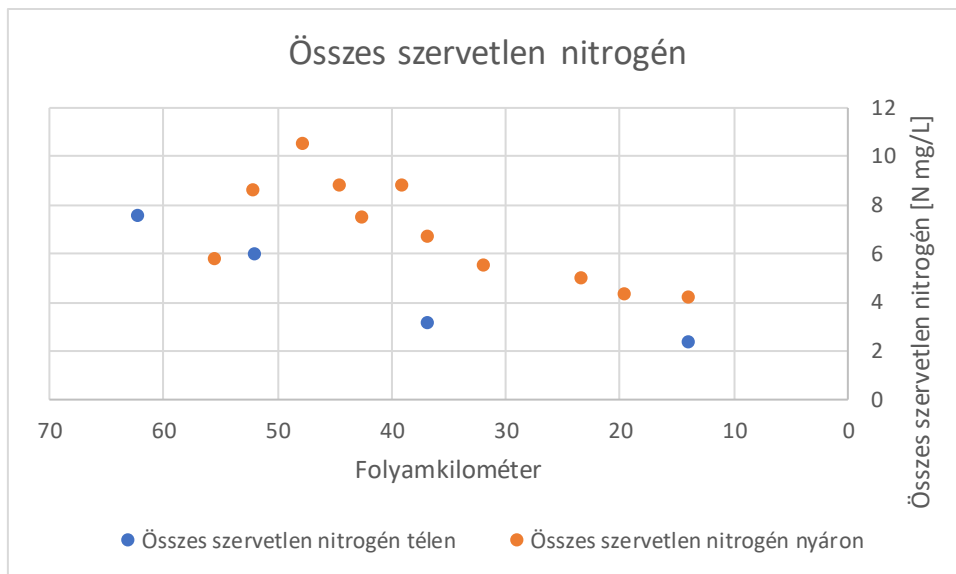
Függelék



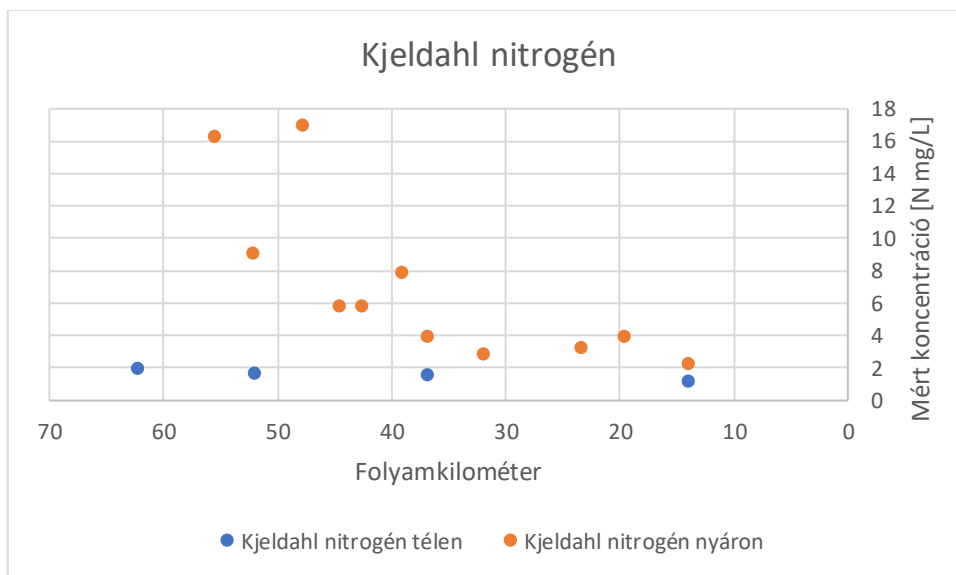
20. ábra: Ammónium a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



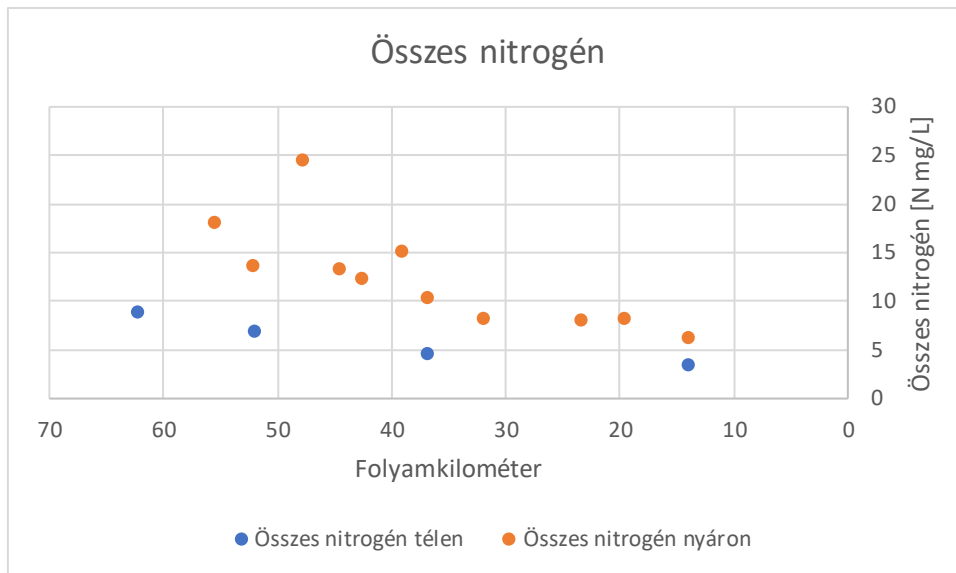
21. ábra: Nitrit a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



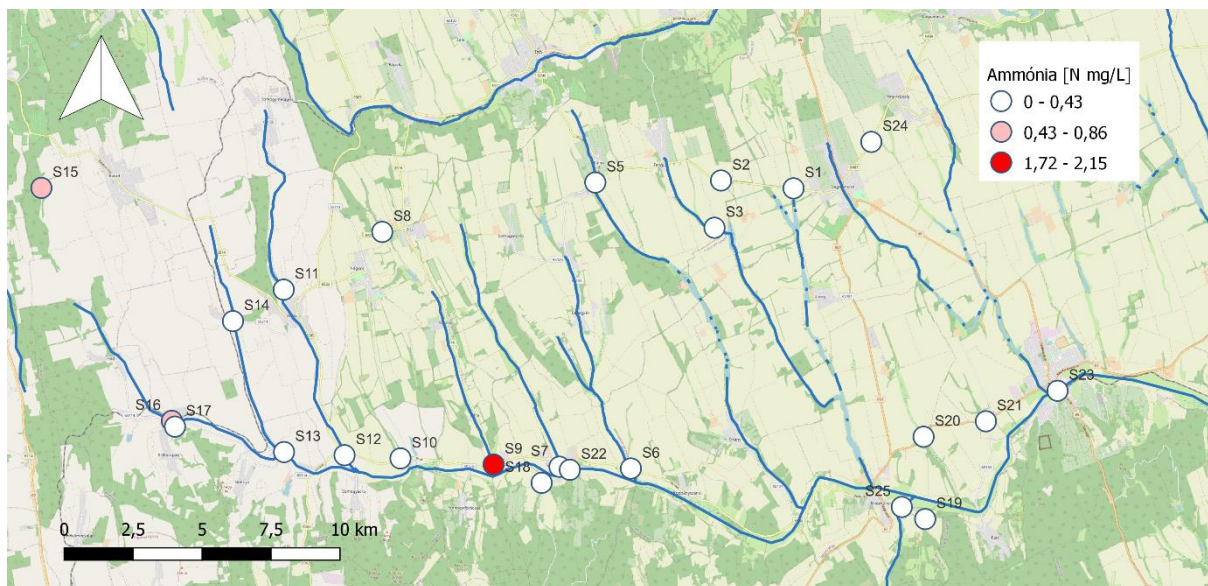
22. ábra: Összes szervesetlen nitrogén a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



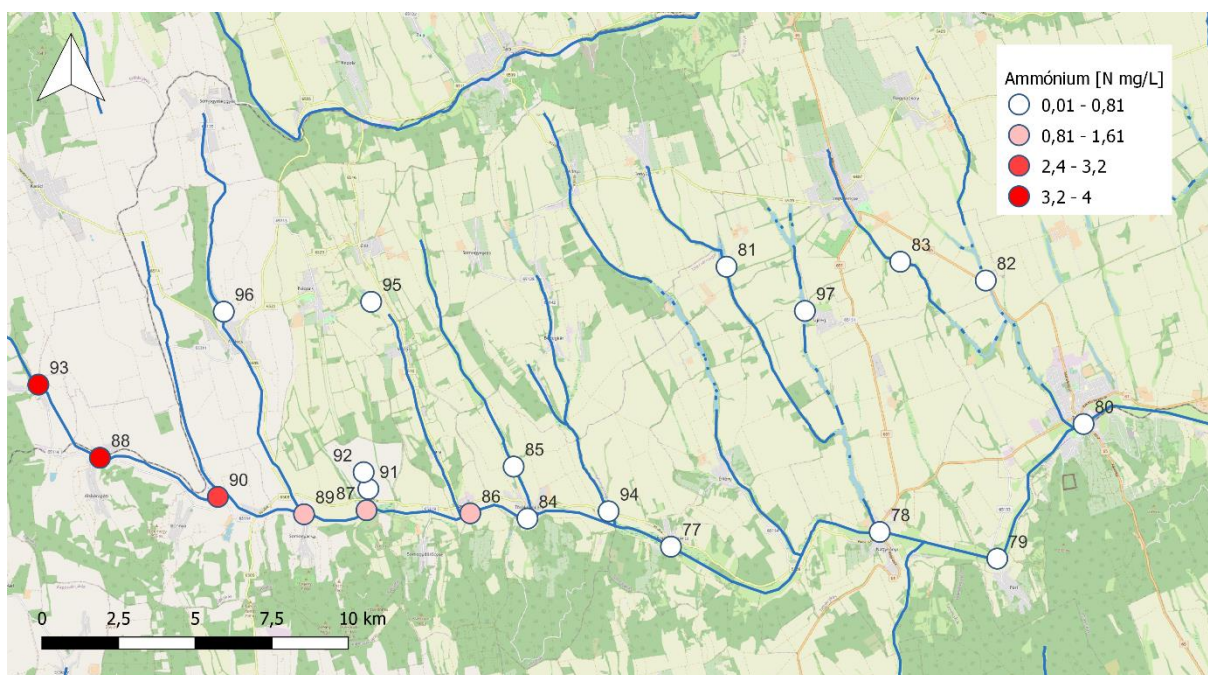
23. ábra: Kjeldahl nitrogén a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



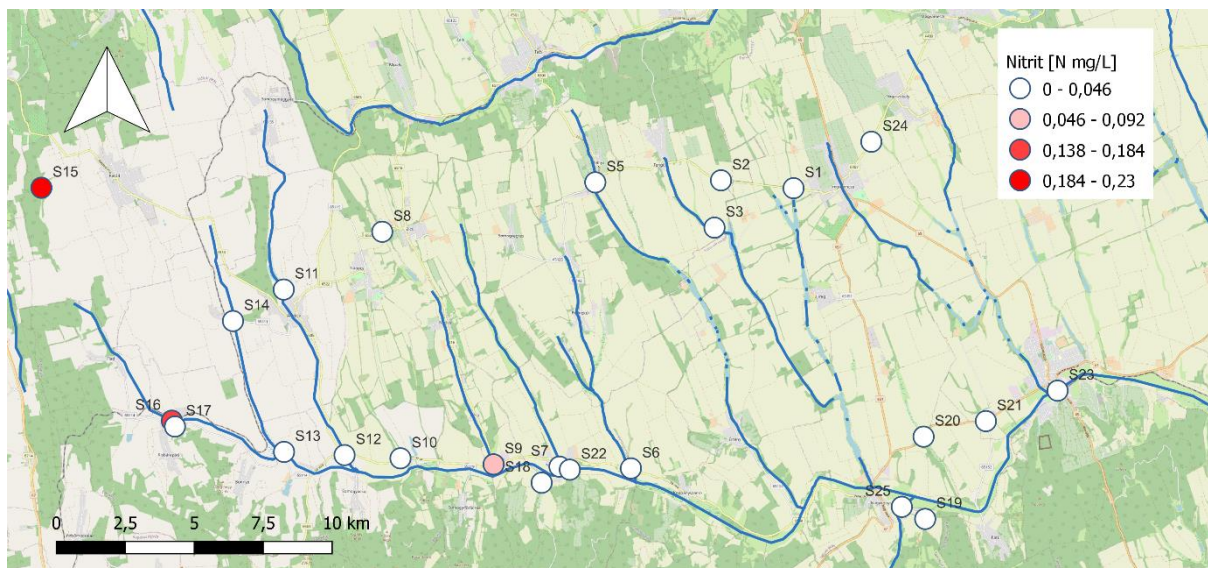
24. ábra: Összes nitrogén a Koppány-patakon folyamkilométer szerint



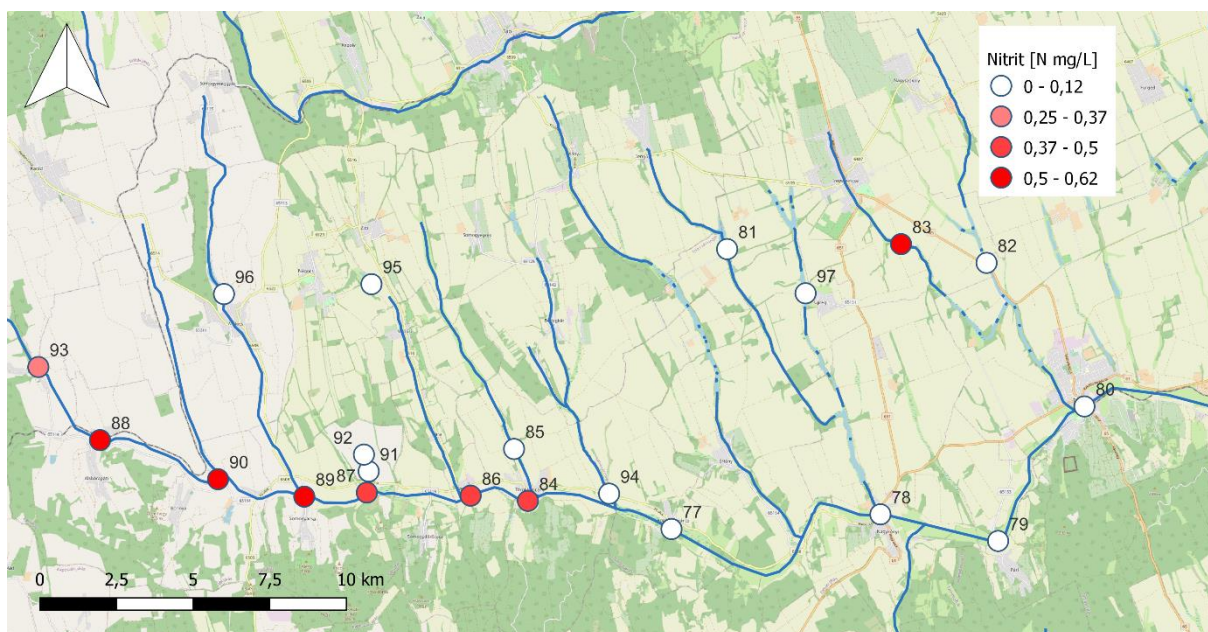
25. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért ammónium térképi ábrázolása



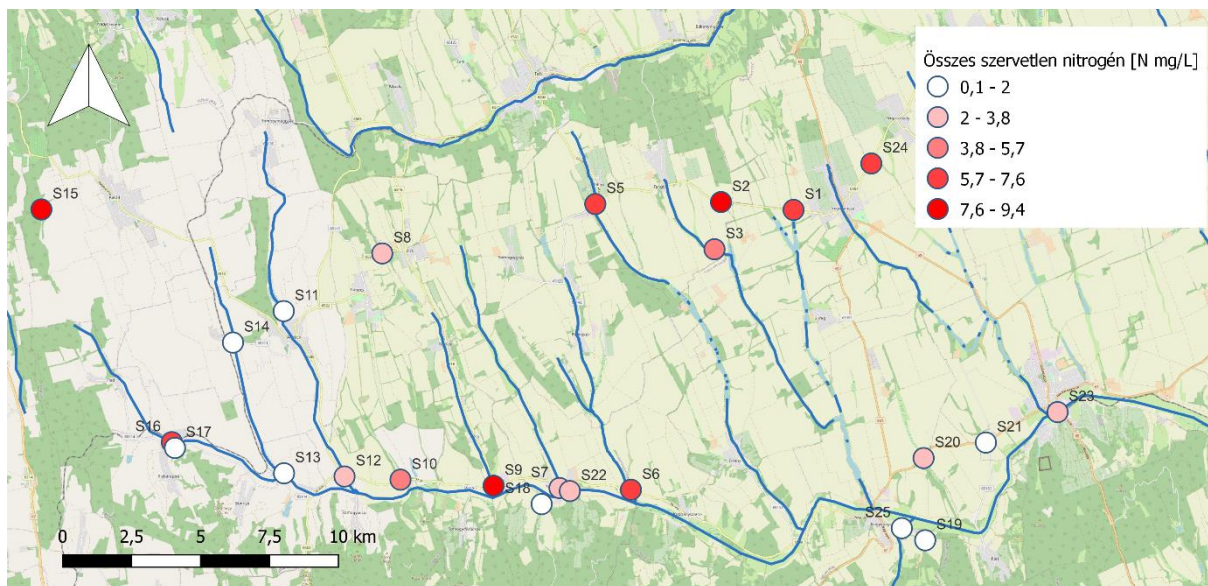
26. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért ammónium térképi ábrázolása



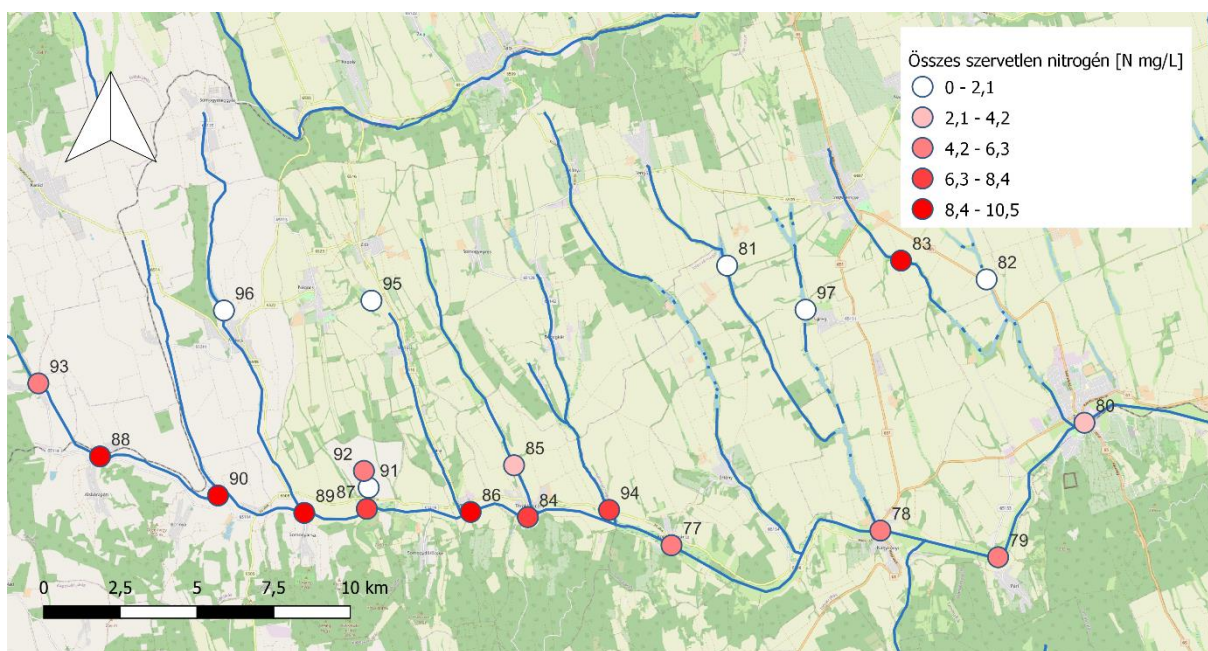
27. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért nitrit térképi ábrázolása



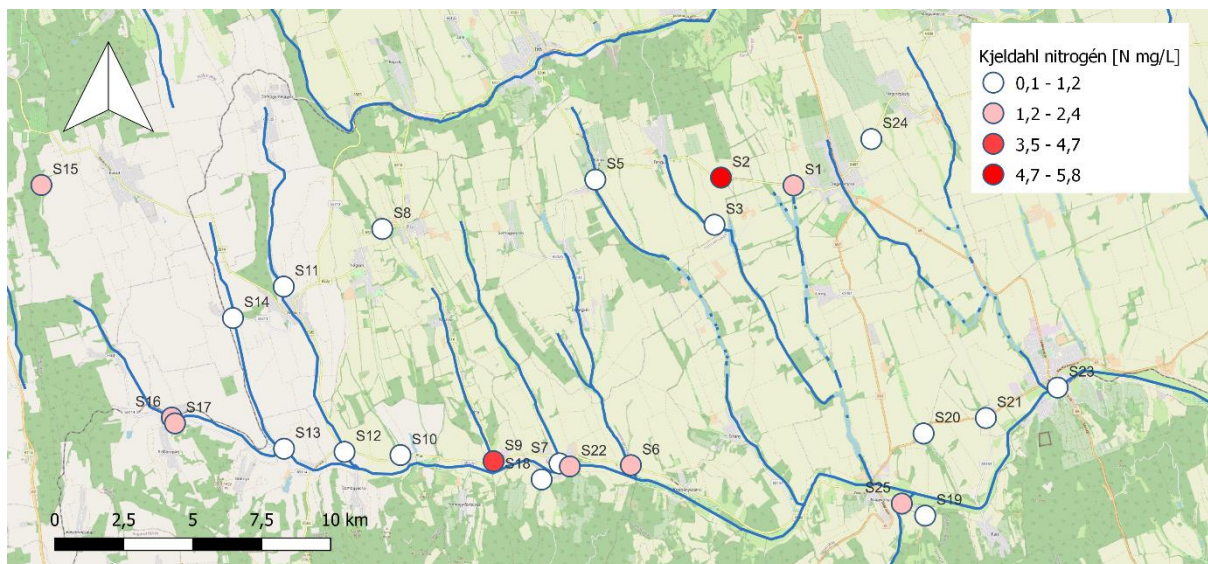
28. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért nitrit térképi ábrázolása



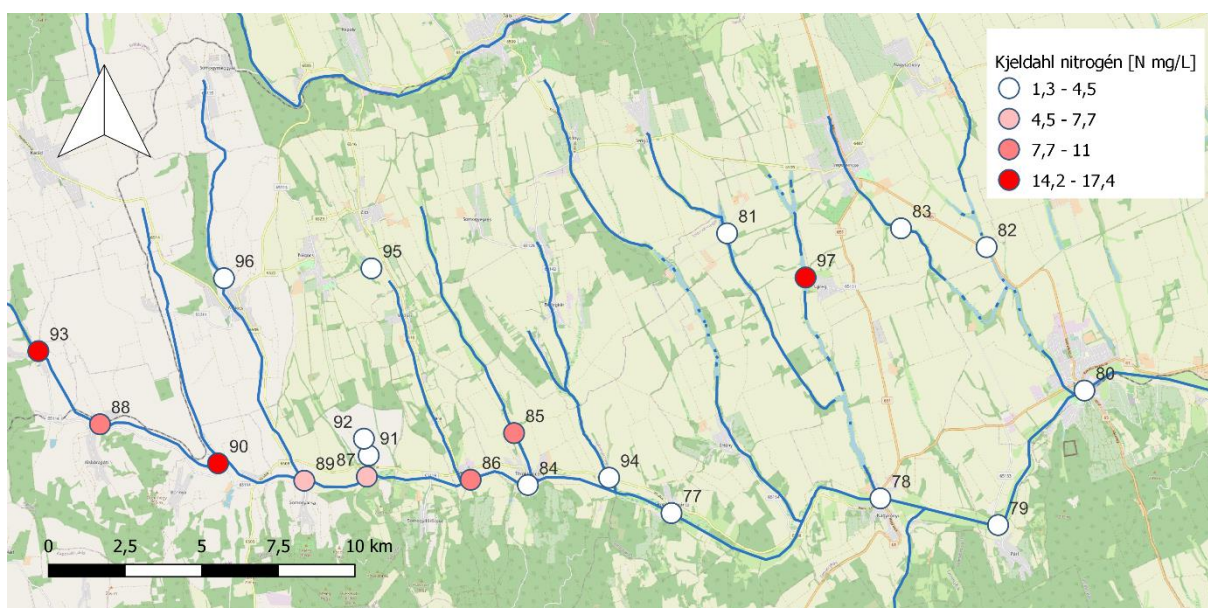
29. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért összes szervesetlen nitrogén térképi ábrázolása



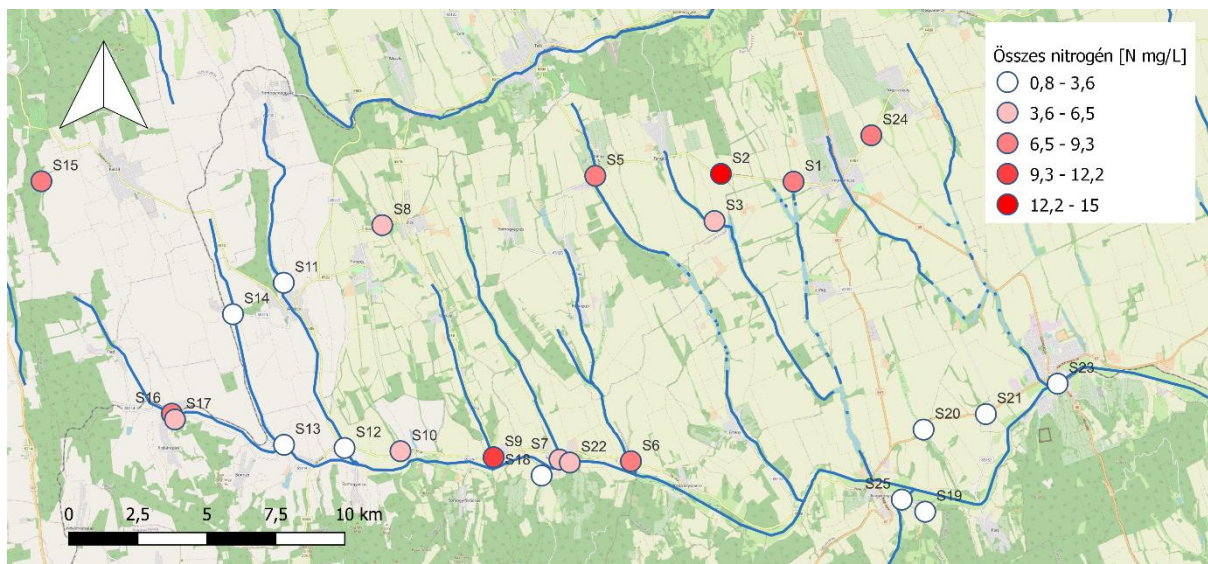
30. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért összes szervesetlen nitrogén térképi ábrázolása



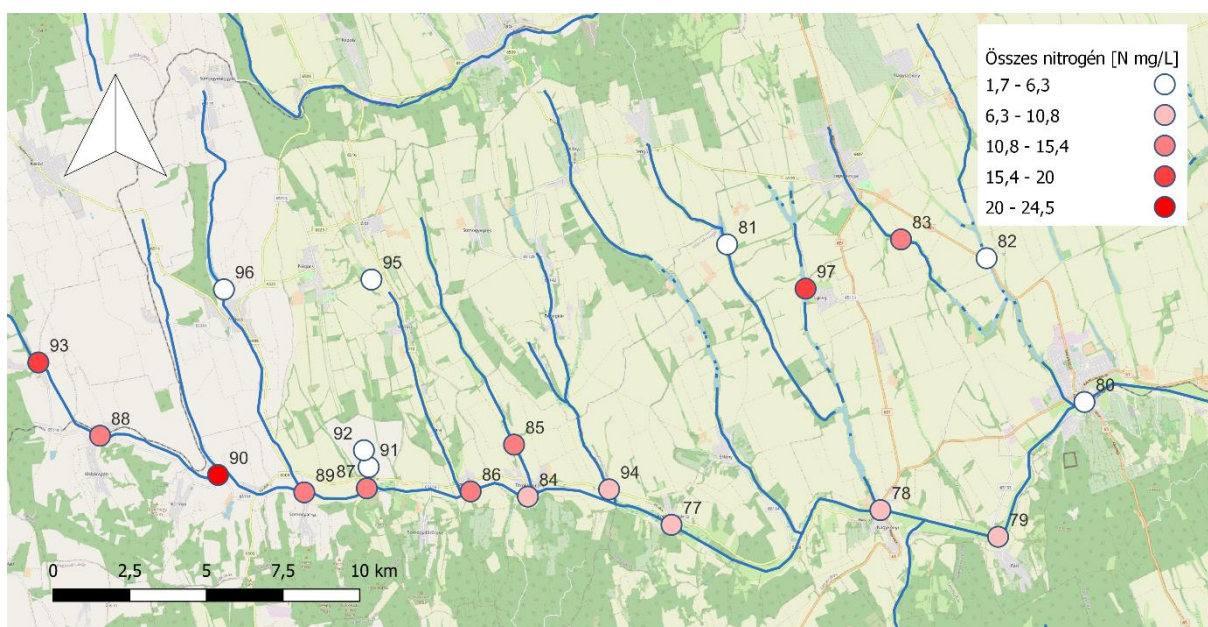
31. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért Kjeldahl nitrogén térképi ábrázolása



32. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért Kjeldahl nitrogén térképi ábrázolása



33. ábra: A Koppány vízgyűjtőn télen mért összes nitrogén térképi ábrázolása



34. ábra: A Koppány vízgyűjtőn nyáron mért összes nitrogén térképi ábrázolása