

**SZENT ISTVÁN EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

**Ivóvízkutak nitrátszennyeződése a Nyárad
vízgyűjtőjében**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

HAJDU ZOLTÁN

**GÖDÖLLŐ
2009**

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Dr Heltai György
mb. iskolavezető, tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gödöllő

Témavezető: Dr. Füleky György
intézetigazgató, egyetemi tanár, CSc.
Szent István Egyetem, Gödöllő

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A KUTATÁSI MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A felszín alatti vizek nitráttal történő szennyeződése világszerte egyre jelentősebb probléma, és egyre aktuálisabbá váló kutatási téma. A rétegvizeknek és a talajvíznek az ivóvízellátásban jelentős szerepe van. A klinikai megfigyelések szerint, ha egy 5,4 kg testsúlyú csecsemő táplálékának elkészítéséhez 44 mg/l nitráttartalmú ivóvizet használtak fel, a methemoglobin a vérben a tüneteket okozó szintet még nem érte el. Erre alapozva az ivóvíz javasolt nitrát határértékét a WHO 1959-ben 50 mg/l-ben majd 1971-ben 45 mg/l-ben határozta meg. A javaslat alapján a különböző országok szabványai az ivóvízben megengedhető, illetve a csecsemőknek alkalmas ivóvíz nitráttartalmát 15-50 mg/l-ben határozták meg. A korabeli magyar szabvány (MSZ 448/31-67) szerint a „kifogástalan ivóvíz”-ben a nitrát-ion legfeljebb nyomokban lehet jelen, az ivóvíz „elfogadhatónak” vagy „tűrhetőnek” minősíthető amennyiben a nitrát koncentráció 40 mg/l alatt van. A jelenlegi szabályozás (201/2001 Kormányrendelet), az EU tagállamaiban érvényben levő egységes szabályozás alapján az ivóvíz nitrát maximális koncentrációját 50 mg/l-ben határozza meg. Az EU Nitrát Irányelv (91/676/EGK) nitrátszennyezettnek tekinti azt a talajvizet, amelyben a nitrátkoncentráció meghaladja az 50 mg/l értéket. A Nitrát Irányelvet életbe léptető magyar szabályozás (27/2006 Kormányrendelet) szerint a nitrátszennyezéssel szemben érzékeny víz, az a felszíni víz, melyben a nitráttartalom az 50 mg/l értéket, ivóvíz célú használat esetén a 25 mg/l értéket meghaladja, illetve az a felszín alatti víz, amelynek nitráttartalma meghaladja az 50 mg/l értéket.

A mezőgazdaságban, az utóbbi évtizedekben, a hozamok növelése érdekében világszerte egyre nagyobb mennyiségű nitrogén tartalmú műtrágyát használtak fel, az állatállomány növekedésével együtt növekedett a szerves trágya mennyisége, ugyanakkor a népesség növekedésével növekedett a kommunális szennyvizek által okozott nitrátszennyeződés lehetősége. A vízkészletek világszerte tapasztalható csökkenésével párhuzamosan a tudományos kutatások kimutatták a felszín alatti vizek nitráttal történő szennyeződésének egyre nagyobb veszélyét.

Az EU a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezésének csökkentése érdekében bevezette a Nitrát Irányelvet, amely szabályozza az egységnyi területre szerves trágyával bevihető nitrogén mennyiségét, 170 kg/ha-ban, ugyanakkor a Helyes Mezőgazdasági Gyakorlatok bevezetése révén csökkenteni szándékozott a felszíni, illetve felszín alatti vizekbe jutó nitrát mennyiségét. Az EU Nitrát Irányelvet az EU tagállamai, így Magyarország és Románia is bevették a nemzeti törvénykezési rendszerbe.

A felszín alatti vizek nitráttal történő szennyeződése különösen veszélyes azokon a vidéki területeken, ahol a lakosság az ivóvizet a talajvízbe vagy a sekély rétegvizekbe fűrt ivóvízkutakból nyeri. Ezekon a területeken a vizek nitráttartalmának növekedése által okozott ökológiai kockázat mellett a lakosság egészségi kockázata is számottevő. Ezen a téren jelentős kutatásokat végeztek az Egyesült Államokban (Cole, 2006) ahol kutatták a mezőgazdasági és a kommunális szennyezés hatását. Magyarországon kutatták (Kerényi, et al., 1995) a diffúz és ponszerű szennyezőforrások hatását a talajvíz nitrátszennyezésének eloszlására egy település területén.

A talajvíz és a rétegvizek nitráttal történő szennyezését tanulmányozták mind mikro szinten, az egyes farmok nitrátmérlegét vizsgálva (Wossink G.A.A., 2000), mind makro szinten, egyes régiók (Ozcan, et al, 2005), vagy vízgyűjtő területek (Führer G.J. et al., 2004). esetében. A folyamatok modellezése során igyekeztek a folyamatokat minél hűebben követő modelleket készíteni és a nitrátszennyezés növekedésének várható mértékét, illetve a létező nitrátszennyezés csökkenését előrejelezni. A talajvíz nitrátszennyeződését befolyásoló bonyolult vegyi, biokémiai, biológiai, hidrológiai folyamatok miatt, amelyek nagymértékben függenek a talajtani, geológiai, hidrogeológiai, topográfiai, meteorológiai viszonyoktól, makro szinten nagyon nehéz egységes modellt készíteni, és úgy tűnik, hogy a legtöbb területi egységet, vízgyűjtőt külön-külön kell tanulmányozni ahhoz, hogy megérthessük az ott zajló folyamatokat.

A Kárpát medencének a Nyugati, valamint a Keleti Kárpátok közé eső részén, amelyet az Erdélyi mezőség, valamint Küküllők menti dombság dominál, nem léteznek jelentős mennyiségben mélyebb rétegvizek, így ezen a területen a lakosság az ivóvizet vagy a felszíni vizekből, vagy a talajvízből, illetve a sekély rétegvizekből nyeri. A vidéki lakosság, amely a lakosság nagyrésztét kiteszi, az ivóvizet nagyrésztben a sekély talajvizet tartalmazó rétegbe fűrt egyéni ivóvízkutakból nyeri. Mivel a Kárpát medence fentebb említett részén, nem folytak eddig rendszeres kutatások a talajvíz nitrátszennyezésével kapcsolatban (a hatóságok a nitrátérzékeny területek kijelölésénél nem támaszkodhattak alapos tanulmányokra), így a nitrátérzékeny területeknek azokat a településeket jelölték ki, amelyek területén állattartó farmok léteztek, és feltételezhető volt a nitrátszennyezés veszélye. Például Maros megyében, annak ellenére, hogy számos településen közismert a kutak vizének nitrátszennyezettsége, csupán 4 községet jelöltek ki nitrátérzékeny területeknek.

Doktori értekezésemben a Nyárádmentének nevezett tájegységben, amely Erdély egyik legsűrűbben lakott tájegysége, vizsgáltam meg az ivóvízkutak nitrátszennyezettségének eloszlását, az okokat, amelyek a nitrátszennyeződéshez vezettek, valamint a nitrátszennyezéssel kapcsolatos folyamatokat a tájegység (a Nyárád vízgyűjtőjének) területén.

A doktori értekezésem célkitűzései:

- A nitrátkoncentráció szisztematikus felmérése a Nyárád folyó vízgyűjtő területén levő települések kútjaiban
- A kutak vizének nitrátkoncentrációja és a pontszerű valamint a diffúz szennyezőforrások közötti összefüggések vizsgálata
- A kutak vizének nitrátszennyezettsége és a geomorfológiai, hidromorfológiai, hidrológiai és a területhasználati tényezők közötti összefüggések vizsgálata egy mintaterületen

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálati terület bemutatása

A Nyárad a Maros baloldali mellékfolyója, forrása 1300 m-en a vulkánikus eredetű Görgényi havasokban található, hossza 79 km, Nyárádtónél, 300 m-en, torkollik a Marosba. A Nyárad vízgyűjtőjének területe 625 km², 63 település található rajta, ezzel tradicionálisan Erdély egyik legsűrűbben lakott területének számít. A Nyárad jellegzetes kárpátmedencei folyó és azzal a sajátossággal is rendelkezik hogy megtalálható mindhárom a Víz Keret Irányelv (EC /60/2000 , WFD) szerinti víztest típus a vízgyűjtő területén.. A Nyárad völgye a középső és alsó szakaszon kb. 2 km széles, ami az átlagos vízhozamot figyelembe véve (3,6 m³/s) szokatlanul szélesnek számít. A völgy asszimétrikus jellegű, a folyó a völgy jobb oldalán helyezkedik el. A terület kontinentális klímájú, az átlaghőmérséklet 8,5 C, az évi csapadék 700-1200 mm, jelentős különbség mutatkozik a hegyvidéki felső szakasz (a forrás 1300 m-en található) és az alsó szakasz (torkolat 300 m) között. Ugyanez a jelenség megfigyelhető az evaporotranszpiráció esetében is, amely 600-450 mm között változik (alsó-felső szakasz). A Nyáradmente felszín közeli földtani és geomorfológiai viszonyait főként a Pannon üledékek közettani és morfológiai adottságai határozzák meg.

2.2. A vizsgált települések kiválasztása

A vizsgálatra kijelölt települések kiválasztásánál azt vettem figyelembe, hogy a folyó felső, középső és alsó szakaszáról valamint a mellékvölgyekből is legyenek vizsgált települések, így átfogó képet kaphatunk a nitrátszennyezésről az egész vízgyűjtő területén. A mintaterületnek kiválasztott Dorman patak vízgyűjtője méreteiben és tulajdonságaiban alkalmas terület a vízgyűjtő területén zajló folyamatok megértéséhez.

2.3. A mintavételi pontok kiválasztása

Mintavételre általában használatban levő kutakat jelöltem ki. A települések esetében a mintavételi pontok településen belüli egyenletes eloszlását kerestem. Mivel a vizsgált települések domborzati tulajdonságai változatosak, ezért a mintavételre kijelölt kutak kiválasztásánál a településen belüli topográfiai viszonyok egyenletes képviselését, és a potenciális szennyező pontokhoz viszonyított helyzetét vettem figyelembe. A felszíni vizek esetében a mintákat a települések előtt és után vettem.

2.4. Vízmintavétel, a vízminták elemzése

A vízmintákat a kútvizek nitráttartalmának felmérése esetében a kutakból vettem (több mint 1000 kútból), a gazdaságban vízvétel céljából használt vödörrel és fél literes

műanyag flakonban tároltam. Abban az esetben, ha a kútból pumpával vették a vizet, mintavétel előtt 4 percig hagytam a vizet folyni, hogy a csőben levő víz kiürüljön. A szakirodalom szerint a használatban levő kutak alkalmasak a talajvíz nitrátkoncentrációját jellemző minták vételére. A mintavétel hitelességének igazolása céljából 5 kút mellett fúrásokat végeztem és a fúrásokból történt mintavétel esetében háromszor kiszivattyúztam a furat köbtartalmának megfelelő vízmennyiséget. A kútból és a furatból vett víz nitrátkoncentrációjának összehasonlítása igazolta a mintavételi módszer helyességét. A vízmintákat a gödöllői Szent István Egyetem Agrokémiai Laboratóriumában elemezték vízgőzdesztillációs módszerrel. Az elővizsgálatok során használtam Merck tesztsíkukat (Merck 1.10020.001 Nitrat-Test), valamint a marosvásárhelyi Közegészségügyi Intézet laboratóriumában a nitrátkoncentrációt spektrofotometriás módszerrel (SR ISO 7890-1) 2,4 dimetilfenolt használva határoztuk meg. A mintavétel ebben az esetben 50 ml-es polietilén flakonokban történt, kutakból, illetve felszíni vizekből.

2.5. Talajmintavételezés

A talajszerkezet vizsgálata céljából Nagyadorján területén 8 pontban végeztem fúrást. A fúrások mélysége 4-6 m volt, a talajvíz szintjétől függően. A fúrásokat 6 esetben a vizsgált ivóvízkutaktól kb. 1,5- 2 m távolságra végeztem abból a célból, hogy feltárjam a kút közvetlen közelében levő állapotokat. Ezenkívül még végeztem két fúrást, ezen esetekben a kutaktól távolabb, az egyik fúrást az egyik vizsgált kúttól kb. 30 m-re, a trágyadomb közvetlen közelségében, a másik fúrást egy semmilyen látható szennyezésnek kitett területen. Ezen fúrásokat azon célból végeztem, hogy feltárjam a kutaktól távolabb eső két ellentétes hatásnak kitett helyszínen található állapotokat.

2.6. Piezometrikus szint mérése

A talajvíz mozgásának vizsgálata céljából megmértem a vizsgált kutakban a piezometrikus szintet. A mérésekhez *a kézi GPS-ek közül az egyik legnagyobb pontosságút* (Garmin e-trex Summit HC) használtam. A használt GPS műszaki adatai szerint a beépített altiméter pontossága (accuracy) 3,48 m (10 láb), a felbontóképesség (resolution) 0,348 m (1 láb) (a műszer gépkönyve szerint). A műszer pontosságát leellenőriztem két GPS-t használva, referencia méréseket végezve. *Ezek alapján megállapítottam, hogy a használt műszer által biztosított pontosság, amely megfelelt a gépkönyvben megadott adatoknak, a vizsgálatok szempontjából megfelelő, mivel a vizsgálatokat hegyvidéken végeztem, ahol a vizsgált kutak között a műszer felbontóképességénél lényegesen nagyobb szintkülönbségek léteznek. A vizsgált vízgyűjtő területén a szintkülönbség a forrástól a torkolatig kb. 1000 m, de még a kisebb részvízgyűjtők esetén is a vizsgált pontok közötti szintkülönbség több mint 20 m, így a GPS-es mérések lehetőséget biztosítottak a vízáramlási tendenciák elemzésére.*

A piezometrikus szint mérését a következőképpen végeztem:

1. lépés: A kútkaða tengerszint feletti magasságának ($M_{\text{kútkaða}}$) mérése GPS-szel.
2. lépés: A kútkaða és a vízfelszín közötti a távolság (h) mérése egy úszóval ellátott mérőszalaggal.
3. lépés: A kút vízszint tengerszint feletti magasságának (piezometrikus szint) számítása

$$(M_{\text{vízszint}} = M_{\text{kútkaða}} - h).$$

Egy településen belül a méréseket ugyanazon a napon, ugyanazon műszerbeállítással végeztem, csökkentve ezáltal a hibalehetőségeket. A vizsgált terület topográfiai adottságaiból következően a mért piezometrikus szintek között több méteres szintkülönbség létezik, ezért a választott módszer az áramlási tendenciák vizsgálatához hegyvidéken, - véleményem szerint - jól használható.

2.7. Alkalmazott geofizikai módszer

A *felszíni geofizikai méréseket* a földtani-vízföldtani viszonyok megismerése céljából végeztem.

A Vertikális Elektromos Szondázás (VESZ) során a közeg fajlagos ellenállását mérjük. A mérés lényege, hogy két elektródán (A és B) keresztül áramot bocsátunk a felszín alá, és két másik elektróda (M és N) között mérjük a fellépő potenciálkülönbséget. A mérési eredményekből számítható az áram által átjárt térrész látszólagos ellenállása.

A Schlumberger elektróda elrendezés során az A és B elektródákat egy szelvény mentén fokozatosan távolítva az MN elektródáktól, egyre nagyobb mélységből kapunk információt a közeg ellenállásáról. A behatolás mélysége az elektróda-terítés hosszának függvénye, lényegében az AB távolság kb $\frac{1}{4}$ része.

A bebocsátott áramerősség (I) és a mért potenciálkülönbség (ΔV) ismeretében az Ohm törvény segítségével és egy, az elektródák elrendezésétől függő K faktor (1) használatával számoljuk a látszólagos ellenállást (ρ_a) (2).

$$K = \pi \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} \quad (1)$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Vertikális elektromos szondázásokat (VESZ-méréseket) Adorján belterületén három helyszínen végeztünk: Makkai Kálmán portája előtt a földúton, Simon Emma portáján, valamint Tóth Pál portáján és portája előtt a földúton.

A méréseket Diapír 10R típusú, az Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet által kifejlesztett geoelektromos műszerrel végeztük. A VESZ mérési pontok közti távolság 25-25 m, a terítési távolság $AB_{max}=50$ de ez alól kivétel az AD6-os mérés, amelynél $AB_{max}=100$ m. A felsorolt helyszíneken 6 db szondázás készült.

A méréseket a terep adottságainak megfelelő vonalak mentén helyezük el, vigyázva arra, hogy feltárjuk a fúrások és az esetlegesen előforduló szennyezőforrások tágabb környezetét is. Az elektromos potenciáltér annál mélyebbről ad információt, minél távolabbra helyezük az AB elektródákat.

A mérési eredmények kiértékelését a PISE (Programme D'Interpretation de Sondages Electriques) programmal végeztük, melyet 1994-ben a Francia Geofizikai Laboratórium és Geofizikai Kutató Intézet munkatársai fejlesztették ki (J. Tabbagh, G. Gabalda). A látszólagos ellenállás értékeket log-log diagrammon ábrázoljuk, majd a közeli várható rétegsor alapján, valamint a görbe alakjából megbecsüljük a rétegek számát, fajlagos ellenállását és vastagságát. Ezután a program a legjobb illesztés elvén megadja az adott mérési pontban a rétegek vastagságát és ellenállását, valamint az illesztés hibáját. Akkor lehet elfogadni a kiértékelést, ha a hiba 0,1 környékén van.

3. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatások során 24 településen több mint 1000 kutat vizsgáltam meg, és a kutatásokat két szakaszban végeztem.

A kutatások első szakaszában a 2003-2006-os időszakban egy általános felmérés készült a kutak nitrátszennyezettségéről a Nyárad folyó vízgyűjtő területén, így 17 település kútjaiban mértem fel a nitrát koncentrációt. Ezek a települések a vízgyűjtő felső, középső, illetve alsó szakaszán helyezkednek el. A felmérések során azt tapasztaltam, hogy a felső szakaszon, illetve a mellékvölgyekben, 350 m tengerszint feletti magassági szint felett elhelyezkedő települések esetében átlagosan jóval alacsonyabb nitrát értékeket találunk mint a 350 m tengerszint feletti magasság alatt, a fővölgyben elhelyezkedő települések esetében, ezért az eredmények értékelése szempontjából két csoportba osztottam a településeket: 350 m tengerszint feletti magasság alatt illetve felett elhelyezkedő településekre.

Az első szakaszban megvizsgált 355 kút közül, 155 kútban (44 %) a nitrát érték meghaladja az EUs szabvány által engedélyezett (50 mg/l) határértéket, és ez sokkal magasabb százalékot jelent mint pl. a Yakima folyó vízgyűjtőjében (Egyesült Államok, Washington Állam) mért eredmények, ahol a 2000-ben készített felmérés szerint a vizsgált kutak 13%-ban haladja meg a nitrát koncentráció a megengedett értéket.(Führer et al., 2004).

Figyelemreméltó a jelentős nitrát koncentráció eltérés a magasabban, illetve alacsonyabban elhelyezkedő falvak esetében, figyelembe véve, hogy a különböző vizsgált településeken nem találunk jelentős eltéréseket a mezőgazdasági gyakorlat, illetve a szennyvízkezelés tekintetében. A kutak vizének nitrát koncentrációjának növekedését a tengerszint feletti magasság csökkenésével megfigyelték más kutatók is (Reynolds-Vargas J., S., 1995). A kutak nitrát koncentrációjánál tapasztalható eltéréseket első megközelítésben magyarázhatjuk az eltérő földtani, geomorfológiai adottságokkal illetve a táj különböző topográfiai adottságaiból származó különbségekkel (Smith, S.J., Cassel, D.K., 1991), valamint az eltérő hidromorfológiai adottságokkal a vízgyűjtő különböző területein. A 350 m tengerszint feletti magasság alatt elhelyezkedő települések kútjaiból vett minták nitrátkoncentrációjának 75%-a meghaladja megengedett értéket (50 mg/l) míg a 350 m tengerszint feletti magasság felett elhelyezkedő kutakból vett minták nitrátkoncentrációjának csupán 25 %-a haladja meg a megengedett határértéket.

Vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy a vízgyűjtő felső szakaszán elhelyezkedő települések esetében is, amennyiben ezek a települések teraszon helyezkednek el, a nitráttal jelentősen szennyezett kutak száma sokkal magasabb mint azon települések esetében, amelyek meredek lejtőn helyezkednek el. Például Márkod olyan település, amely teraszon helyezkedik el, itt a kutak 64 %-ának nitrát szennyezettsége meghaladja az 50 mg/l értéket, míg pl. a meredekebb lejtőn elhelyezkedő Nagyadorján esetében azon kutak aránya amelyekben a nitrátkoncentráció meghaladja az 50 mg/l értéket csupán 12%. Az Alsó-Nyáradmentén jelentős nitrátszennyezést tapasztaltam, például Lőrincfalván a vizsgált kutak 90%-ban a nitrátkoncentráció meghaladja a megengedett 50 mg/l értéket, tehát megállapíthatjuk, hogy a talajvíz erősen nitráttal szennyezett.

Miután az egész vízgyűjtő területre kiterjedő vizsgálataim során kaptam egy általános képet az ivóvízkutak nitrátszennyezettségéről és világossá vált, hogy a nitrátszennyeződést befolyásoló tényezők bonyolultsága és az összefüggések komplexitása miatt lehetetlen egy egységes, rendszerszerű képet kialakítani a kutak nitrátszennyezésének ok-okozati összefüggéseiről az egész vízgyűjtő területén, ezért a folyamatok megértése végett rátértem a részletes ok-okozati összefüggések és kisebb vízgyűjtők vizsgálatára. A vizsgálatok eredményeképpen levontam néhány következtetést:

-Lőrincfalván a falu felett található szántóra, az évtizedek során kiszórt jelentős mennyiségű szárnyasbaromfitrágya jelentős nitrátszennyeződést okoz a falu ivóvízkútjaiban

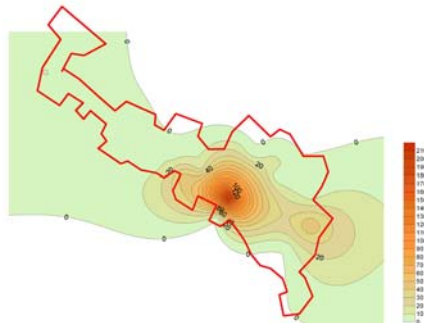
- Összefüggést találtam az antropogén beavatkozások következményei (főleg a vízszabályozás révén bemélyült folyómeder, ami már nem képes parti szűrősüvizet szolgáltatni, mivel a folyó vízszintje a talajvíz szintje alatt van) és a kutak vizének nitrát koncentrációja között (Gálfalva, Teremeújfalva)

-A meredek szakaszokon elhelyezkedő kutakban (Nyomát, Szentháromság) ahol erős vízmozgásra számíthatunk alacsony nitrát koncentrációt mértem.

-Megállapítottam, hogy a vízgyűjtő területén levő hagyományos gazdálkodást folytató kisgazdaságok is (amelyek kis számú állatot tartanak és korlátozott mennyiségű műtrágyát alkalmaznak), a települések kezeletlen szennyvizével együttesen, a jelenlegi vízgazdálkodási-meteorológiai körülmények között a talajvíz jelentős nitrátszennyezését okozhatják, így, az erdélyi dombvidék (Küküllők menti dombság, Mezőség) falvaiban a kútvizek nitrát szennyezettsége már jelenleg is jelentős problémát jelent, a jövőben ez a probléma valószínűleg még súlyosabb lesz.

A legrészletesebben vizsgált részvízgyűjtő a Dorman patak vízgyűjtője volt, ahol a Nagyadorján nevű település található. Nagyadorjánban két méréssorozatot végeztem, az 2007 januárjában végzett méréssorozat esetében 41 ivóvízkútból vettem mintát, a vizsgált minták 12%-ban a nitrát koncentráció meghaladja az 50 mg/l értéket. Nagyadorjánban a legmagasabban és a legalacsonyabban elhelyezkedő mérési pontok között (kutakban levő víz piezometrikus szintjét figyelembe véve) 27 m szintkülönbséget mértem. A mérések alapján a település alatt a 361m és 365m között elhelyezkedő teraszon nitrát felhalmozódást találunk.

A 2007 júliusában végzett méréssorozat az ivóvízkutakban hasonló nitrát koncentráció eloszlást mutatott. A nitrát koncentráció eloszlását Nagyadorjánban a két méréssorozat esetében következő ábrákon láthatjuk:



1. ábra. A nitrát koncentráció eloszlása Nagyadorján területén, 2007 január



2. ábra. A nitrát koncentráció eloszlása Nagyadorján területén, 2007 július

1 . táblázat. Nitrátkoncentráció és kút vízszint tengerszint feletti magasság értékek Nagyadorjánban a 2007 januári mérésorozat esetében

Sorsz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Név	Nagyad orjáni tó	Tóth Ferenc	Miklós István	Csalóka Lázár	Csalóka Lilla	Lunka Ilona	Csorgó	Makkai Sándor	Gáspárik Attila
Kút vízszint t.f.m. (m)	388	381	384	387	374	376	387	383	380
Nitrát koncentráció (mg/l)	2.7	4.5	1.3	1.7	4.3	3.5	1.9	5.8	51.2

Sorsz.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Név	Németi József	Kovács Károly	Kovács Károly	Makkai Kálmán	Tóth Ida	László Lajos	Tóth Levente	Simon Emma	Tóth Lajos
Kút vízszint t.f.m. (m)	386	377	378	363	365	365	361	365	365
Nitrát koncentráció (mg/l)	2.7	1.9	4	119	220	3.1	52.8	138	46.8

Sorsz.	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Név	Tóth Pál (1)	Tóth Pál (2)	Fekete Árpád	Jean Pollart	Ábrahá m Imre	Nagy Albert	Biro Ida	Biro Albert	Biro Albert
Kút vízszint t.f.m. (m)	367	368	366	368	369	369	368	368	370
Nitrát koncentráció (mg/l)	1.4	1.7	9.7	2.3	2.7	3.4	1.7	1.3	3.1

Sorsz.	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Név	Szilagyi Péter	Novák Jusztna	Hesfele Margit	Miklós Károly	Bodoni Margit	Miklos Gyula.	Jánosi Denes	Illyés Sándor	Mátyás Csaba.
Kút vízszint t.f.m. (m)	366	365	363	347	352	362	367	369	370
Nitrát koncentráció (mg/l)	3.5	2.7	10.3	4.4	5.1	13.4	4	5	3.4

Sorsz.	37	38	39	40	41
Név	Kerekes Ibolya	Csalóka Margit	Germán Erzsébe t	Fekete Árpád.	Miklós József.
Kút vízszint t.f.m. (m)	387	383	382	368	367
Nitrát koncentráció (mg/l)	4.8	4.3	16.9	5	7.3

Mivel egyes esetekben anomáliás, megmagyarázhatatlan jelenségekkel találkoztam, vagyis alacsony nitrát koncentrációt mértem jelentős szennyezőforrások közelében, ezért a folyamatok feltárása céljából további geomorfológiai, hidromorfológiai és hidrológiai vizsgálatokat végeztem.

A fúrásokkal, illetve geofizikai szelvényezéssel feltárt területrészen a völgy aljzatát pannon korú márgák (homokos beékelődésekkel) képezik, amelyen részben dilluvialis, részben a Dormán-patak által kialakított alluviális üledékek alakultak ki. A völgyfenéken kifejlődött üledékek vastagsága 4-8 m. Ezt a területet úgy vízszintes síkban mint rétegvastagságban egy kiterjedt agyag, kőzetlisztes agyag összlet alkotja, amelyet helyenként kisebb homokos agyag illetve kőzetlisztes agyag szintek tagolnak. A Dormán patak ágának jelentős irányváltozása valamint a domborzati felszín is az itt feltárt lejtőmozgásos, bemosódásos üledékképződésre utal.

A területen talajvíz ezekben a felszín közeli üledékekben található. A patak 3 ágának összefolyásánál a vastagsága maximális és jelentős vízzáró képződményt nem tártam fel. Ezzel ellentétben a patak folyási irányában, ennek a jobb partján jelentős vastagságú (1,5-4 m-es) agyag vízzáró képződményt találunk. Ez a képződmény jelentősen befolyásolja a talajvíz utánpótlódást valamint ennek az áramlási irányát.

A faluban az ásott kutak mélysége 5-6 m, ezért a fúrásokat is eddig a mélységig végeztem, mivel a talajvíz nitrátkoncentrációját ebben a rétegben lezajló folyamatok befolyásolják. A fúrás során vett talajmintákban, minden azonosított rétegben, meghatároztam a nitrátkoncentrációt. A fúrási pontokat úgy határoztam meg, hogy jellemzőek legyenek a faluban létező lejtő kategóriákra, pontszerű szennyező forrásoktól való távolságra, és magyarázatot kaphassunk a geomorfológiai és hidromorfológiai adottságokból származó különbségekre a kutak vizének nitrátkoncentrációja tekintetében.

A fúrásokból vett talajmintákból megállapítottam, hogy a Pannon miocén rétegek felett változatos módon elhelyezkedő kvarter üledékes rétegek nagy mértékben befolyásolják az egyes kutakban mért nitrát koncentrációkat, és magyarázatot adnak a kutak nitrátkoncentrációiban tapasztalt anomáliás jelenségekre.

A fúrásmintákban a nitrát tartalom általában meglehetősen kicsi volt, de egy-két felszíni minta jelentősebb mennyiséget is tartalmazott. Miklós Gyulánál (Miklós) 1.77 mg NO₃/kg, Makkai Kálmánál (Makkai) 0.62 mg NO₃/kg a 0-80 cm-es rétegben, alatta viszont 0.84 mg NO₃/kg volt a 80-230 cm-es rétegben. Fekete I. esetében 0.49 mg NO₃/kg, Fekete II-nél 0.40 mg NO₃/kg a 0-30 cm-es rétegben és 0.53 mg NO₃/kg a 30-100 cm-es rétegben. Simon I. esetében 0.71 mg NO₃/kg volt a 0-70 cm-es rétegben.

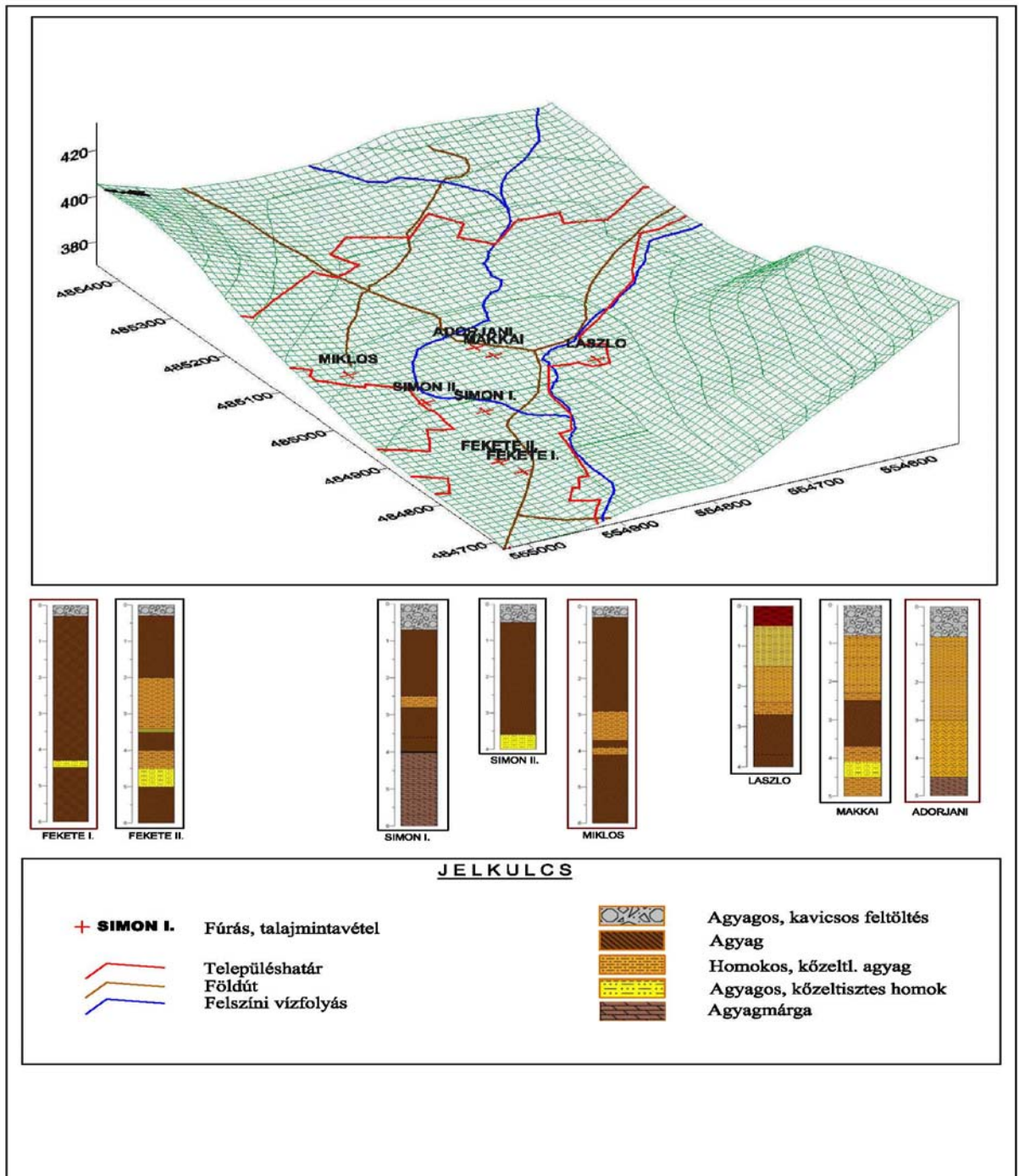
Ha összeadjuk az egyes rétegekben lévő nitrát mennyiséget súlyozva a réteg vastagságával az alábbi mennyiségeket kapjuk:

2. ábrázat. A szelvényekben levő nitrátmennyiség súlyozva a réteg vastagságával

Fúrás helye	NO ₃ súlyozva (mg/kg/6m)
Miklós	1.36
Adorjáni	0.62
Makkai	2.91
László	0.85
Fekete I.	0.81
Fekete II.	1.43
Simon I.	1.32
Simon II.	0.38

A vizsgálatokból arra következtettem, hogy kapcsolat létezik a geomorfológiai tulajdonságok és a kutak vizének nitrát koncentrációja között (pl. Fekete I esetében a trágyadomb alatt található 4 m-es agyagréteg elszigeteli a talajvizet és ezért a trágyadomb melletti kútban alacsony nitrátkoncentrációt mértem), magyarázatot adva ezáltal számos esetben a látszólag anomáliás nitrát koncentráció értékekre

Azokban az esetekben amikor a fúrásból vett talajmintában magasabb nitrátkoncentrációt találunk, pl. Simon I, Makkai, és a kút táplálása a talajvízből történik, a fúrás közelében levő kút vizében magas nitrátkoncentrációt mértem. Azokban az esetekben amikor a kút táplálása mélyebb rétegvízből történik, pl. Fekete I, a talajmintákban mért magasabb nitrátkoncentráció ellenére a kút vizében alacsony nitrátkoncentrációt mértem.



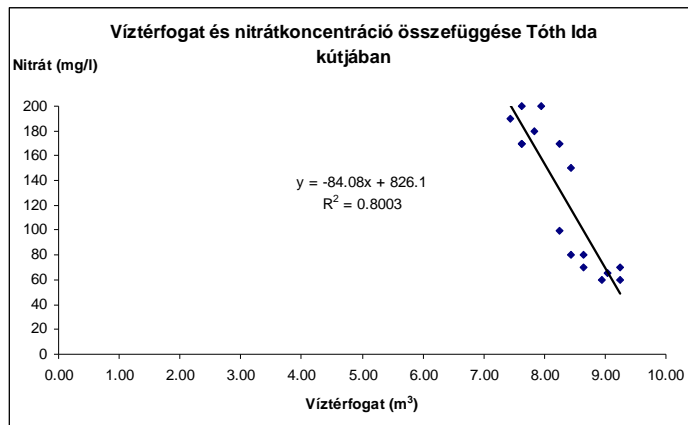
3. ábra. A fúrások pozíciója és a talajszerkezet

A 2007 december-2008 június közötti periódusban 5 kútban Nagadorján területén megvizsgáltam, hogy miként függ a vizsgált kutakban a víz mennyisége az adott időszakban lehulló csapadék mennyiségétől. Amennyiben korrelációs számításokat

végzünk a csapadékmennyiség és a kutakban mért vízmennyiség között azt tapasztaljuk, hogy minden esetben pozitív korreláció létezik, de a korreláció mértéke nagyban függ a kút elhelyezkedésétől. A korrelációs számítás eredményeit megfigyelve azt láthatjuk, hogy, a Makkai Kálmán kútja esetében, a Simon Emma kútjához hasonlóan, az R^2 értéke jelentősen megnövekedik a 10 napos eltolódással végzett korrelációs számítás esetében. A Tóth Levente és Tóth Ida kútja esetében is tapasztalhatjuk az R^2 érték növekedését. Tehát arra következtethetünk, hogy a csapadékból származó víz ezen kutak esetében 10 nap után jelenik meg a település alatt elhelyezkedő talajvízben. A Fekete Árpád kútja esetében az R^2 érték nagyon alacsony úgy a csapadék regisztrálásának időpontjában mint a 10 napos eltolódás esetében, ebben a kútban a legalacsonyabb a vízmennyiség szezonális ingadozása is.

Simon Emma (1. kút)	$R^2=0,0377$,	10 napos eltolódás $R^2= 0,5966$
Makkai Kálmán (2. kút)	$R^2=0,0724$,	10 napos eltolódás $R^2= 0,5267$
Tóth Levente (3. kút)	$R^2=0,1657$,	10 napos eltolódás $R^2= 0,356$
Tóth Ida (4.kút)	$R^2=0,1406$,	10 napos eltolódás $R^2=0,4213$
Fekete Árpád (5.kút)	$R^2=0,0307$,	10 napos eltolódás $R^2= 0,1933$

Az ivóvízkutak nitrátszennyeződésének szezonális változásának vizsgálata érdekében az öt, vizsgálat céljából kiválasztott kútban hat hónapig 2007 decembere és 2008 júniusa között heti rendszerességgel mértem a nitrát koncentrációt és megvizsgáltam a nitrát koncentráció változását a kútban található vízmennyiség függvényében. Amennyiben korrelációs számítást végzünk az összes vizsgált kút esetében akkor azt tapasztaljuk, hogy egy esetben (Tóth Ida kútja) találunk szignifikáns negatív korrelációt a kútban található vízmennyiség és a nitrát koncentráció között ($R^2 =0,8003$), aminek az a magyarázata, hogy a Tóth Ida kútja esetében keveredik a sekély talajvíz, illetve az agyagréteg alatt található rétegvíz (amely Fekete Árpád kútját is táplálja), így a hígulást részben a mélyebb rétegből származó alacsony nitrát koncentrációjú víz okozza, így a kútban található vízmennyiség növekedésével jelentős mértékben csökken a víz nitrát koncentrációja. A többi kút esetében a korreláció szintén negatív de kisebb mértékű, (pl. Makkai Kálmán $R^2 =0,3036$) illetve teljesen elhanyagolható pl. a Fekete Árpád kútja esetében. A patakhoz közel található kút esetében (Tóth Levente) megfigyelhetjük a hóolvadás után, márciustól a kútban levő víz nitrát koncentrációjának valamelyes növekedését a kútban található vízmennyiség növekedésével, valószínűleg a mezőgazdasági területről bemosódott nitrát, ezen kutak esetében a víztérfogat növekedésével együtt magasabb nitrát koncentrációt okoz.



4. ábra. A nitrátkoncentráció változása a kútban levő víztérfogat függvényében

A kutatások során megállapítottam, hogy a Nagyadorján területén vizsgált kutak vizének nitrátkoncentrációja nagymértékben függ a hidromorfológiai és geomorfológiai tényezőktől. Amennyiben a kút a vizet a kvarter lerakodásban található víztartó rétegekből nyeri, amelyek a falu központi része alatt elhelyezkedő teraszon találhatóak a víz nitrátszennyezettsége magas, mivel ezen a területen gyűl össze úgy a diffúz mint a pontszerű forrásból származó nitrát. Amennyiben a kút a 2-4 m-es agyagréteg alatt elhelyezkedő rétegvízből nyeri a vizet, ebben az esetben a nitrátszennyezettség is alacsony. Azokban a kutakban is alacsony nitrátszennyezettséget mértem, amelyek a feltételezhetően erőteljes vízmozgású, lejtős területen helyezkednek el

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1) Több mint 1000 kút vizsgálata révén megállapítottam, hogy az ivóvizkutak nitrát szennyezettsége a Nyárád vízgyűjtő területén egyenlőtlen eloszlású, a vízgyűjtő felső szakaszán, 350 m tengerszint feletti magasság felett, a nitrátkoncentráció kisebb mértékben (25 %-ban) míg a vízgyűjtő alsó szakaszán, 350 m tengerszint feletti magasság alatt, nagyobb mértékben (75%-ban) haladja meg az 50 mg/l értéket.
- 2) Megállapítottam, hogy a Nyárád vízgyűjtőjének pliocén kori teraszain jelentős nitrát felhalmozódás tapasztalható, míg a meredek szakaszokon elhelyezkedő kutakban alacsony nitrát koncentráció található
- 3) Összefüggést találtam a Dorman patak vízgyűjtő területe esetében a csapadékmennyiség/kutak víztérfogata és a nitrátszennyezettség között. Általában a nagyobb csapadékmennyiség okozta víztérfogatnövekedés a nitrátkoncentráció csökkenéséhez vezet.
- 4) Megállapítottam, hogy a Nyárád vízgyűjtő területén az eddig gyakran hangoztatott állásponttal ellentétben, a kutak vizének nitrát szennyezettségét nem csupán a közelükben található pontszerű szennyezőforrás okozza, hanem a legtöbb esetben a pontszerű és diffúz szennyezőforrások együttes hatása, a geomorfológiai, hidromorfológiai, hidrológiai tulajdonságok, valamint a komplex antropogén behatások függvényében

5. JAVASLATOK

Mivel a vizsgált terület számos településén a vezetékes víz bevezetése még valószínűleg hosszú ideig várat magára (illetve ahol bevezették már, ott sem használják a magas költségek miatt), a lakosság nagy valószínűség szerint még hosszú ideig az egyéni kutakból fedezi ivóvízszükségletét ezért, fontos a talajvíz további nitrát szennyeződését megállítani. A talajvíz nitrátkoncentráció növekedésének megállítása érdekében javasolom:

- (a) a mezőgazdasági eredetű szennyezés megállítása érdekében a Jó Mezőgazdasági Gyakorlatok alkalmazását az egész területen
- (b) az Alsó és Közép-Nyárádmente nitrát-érzékeny területté nyilvánítását
- (c) a kommunális eredetű szennyeződés differenciált módon való kezelését, a mellékvölgyekben elhelyezkedő számos kisebb település esetében ökológiai (gyökérvénás) szennyvíztisztító rendszerek beszerelését
- (d) a folyóvízszint megemelését, így a talajvíz újra kapcsolatba kerülne a folyóvízzel és számos kút jó minőségű parti szűrésű vizet kapna
- (e) ahol lehetséges a víz/szárazföld átmeneti zónák rehabilitációját, így ezek újra jelentős szerepet játszhatnak a denitrifikációs folyamatokban

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

6.a. Folyóiratokban megjelent publikációk

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): Nitrate pollution in wells in the villages along Nitraj (Nyárad) River, *Central European Journal of Occupation and Environmental Medicine*, vol.13 (3-4) p. 323-333

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): A talajvíz nitrátszennyeződése a Nyomát patak vízgyűjtőjében a hagyományos gazdálkodás következtében, *Acta Scientiarum Transylvanica*, 16/2, p.5-11

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): A nitrátszennyezés vizsgálata a Nyárad vízgyűjtőterületén, *Hidrológiai Közöny*, 88, (3), p. 43-48

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): Nitrat pollution in Niraj River basin assessment (Transylvania, Romania), *Acta Oecologica Carpatica*, I, p.115-126

HAJDU Z., FÜLEKY GY. (2007): Distribution of Nitrate Pollution in the Niraj (Nyárad) River Basin, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2, (2) p. 57-73

HAJDU Z., KELEMEN Á. (2007): Niraj valley ecological reconstruction, *Acta oecologica*, XIV, (1-2), p. 109-126

HAJDU Z., FÜLEKY Gy (2007): Nitrát szennyezés eloszlása a Nyárad vízgyűjtőjében, *Műszaki Szemle*, 10, (39-40), p. 20-25

HAJDU Z. (2007): Vizgazdálkodás a Nyárad mentén, *Erdélyi Gyopár*, 17 (3), p. 2-3

HAJDU Z. (2006): Az Adorjánok völgye a fenntartható fejlődés forrása, *Focus Környezetvédelmi folyóirat*, 21 p. 24-25

HAJDU Z (2004): Lesz-e újra „murokország” ?, (esettanulmány a Nyárad vízgyűjtő területéről), *Lélegzet*, környezetvédelmi havilap, 2004, május

6.b. Könyvekben és egyéb kiadványokban megjelent publikációk

HAJDU Z. (2008): Ember és folyó a XXI-ik században. Integrált gazdálkodás a vízgyűjtőterületen, Csíkszereda, Tipographic, p.44

HAJDU Z., KELEMEN Á. (2007): Ecological reconstruction model of a small tributary, the Dorman Creek, *Bruchental Acta Musei*

HAJDU Z. (2007): Ghid de bune practici privind implementarea Directivei Cadru Apă și Directivei Nitrați, Marosvásárhely: Focus Eco Center, p. 54

6.c. Konferencia kiadványokban megjelent előadások, illetve összefoglalások

Magyar nyelvű, teljes

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): Összefüggések a gazdálkodási gyakorlat és a talajvíz nitrátszennyezettsége között a nyárádmenti települések esetében. IV. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008, II kötet, p. 399-404

HAJDU Z., FÜLEKY Gy., Kelemen Árpád (2008): Hidromorfológiai rehabilitációs javaslatok a Nyárád vízgyűjtő területén, Tájökológiai Kutatások a III. Magyar Tájökológiai Konferencia kiadványa, Bp. 2008. május 8-10. BCE Tájvédelmi és Tájrehabilitációs Tanszék, p. 209-217

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2007): A kutak vizének nitrát szennyezettsége Nagy és Kisadorjánban. Települési Környezet Konferencia. Debrecen, 2007. November 08-10, p.183-189

HAJDU Z., (2005): A talajvíz nitráttartalmának vizsgálata a Kisgörgény-Cserefalva szegmensen, Környezetvédelmi Füzetek III, Konferencia Kiadvány Erdőszentgyörgy 2005 május 14-15, p. 43-47

HAJDU Z., (2004): Hagyományos vízgazdálkodás a Nyárád mentén. A táj változásai a Kárpát medencében. Víz a tájban V. Táj történeti Tudományos Konferencia, Szarvas, 2004, jun. 1-3, p. 156-159

Magyar nyelvű absztrakt

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2006): Nitrát szennyezés eloszlása a Nyárád vízgyűjtőjében, EMT, XII-ik Nemzetközi Vegyészkonferencia, 2006 okt. 3-8, Csíkszereda, p. 30

Idegen nyelvű absztrakt

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2008): Nitrate pollution in Niraj watershed. 15th ISCO Congress, Budapest, 18-23 May, 2008, Abstracts, p 106

HAJDU Z., FÜLEKY Gy. (2007): Distribution of nitrate pollution in the Niraj River basin. 5th International Congress of the European Society for Soil Conservation. Palermo, June, 25-30, 2007, Abstracts p. 345

HAJDU Z., KELEMEN A. (2007): Ecological reconstruction model of a small tributary, the Dorman creek ecological reconstruction and the biodiversity, Aquatic Biodiversity International Conference. Sibiu, 04-07. Oct. 2007, Abstracts p. 120