

A Felső-Tisza-vidék hidrogeológiai viszonyainak pontosítása

VIRÁG MARGIT¹, SISKÁNÉ SZILASI BEÁTA², SZŰCS PÉTER², VÖLGYESI ISTVÁN

¹VIZITERV Environ Kft., m.virag@environ.hu,

²Miskolci Egyetem Földrajz Intézet-Környezetgazdálkodási Intézet,

³Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Clarification of the hydrogeological conditions in the Upper Tisza Region

Abstarct

Recent study conducted in the framework of investigation of Upper Tisza Region Water Directorate has a number of unresolved issues. These are as follows: The examination of relationship between the geological structure and the hydrodynamic behaviour of groundwater flow system. Evaluation of the stratification and the bottom of Pleistocene aquifer, the connection between the groundwater movement and the water quality. Because of the role of shallow groundwater has priority in the area, it is the primary water resources factor therefore was justified a detailed comprehensive examination of the evaluation of shallow groundwater levels as well. A number of questions have been answered and there are also some that suggest the need for further additional tests. In this paper some of the results of tests carried out a brief information.

Keywords: geological structure, groundwater flow system, bottom of Pleistocene aquifer, shallow groundwater level

Összefoglalás

A Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság területén végzett legújabb kutatások keretében (VIRÁG 2013) számos eddig tisztázatlan kérdés vizsgálatára került sor. Ilyenek voltak többek között a földtani felépítés és a felszín alatti vizek mozgásának összefüggései, a rétegződés, az ivóvízadó pleisztocén alluviális öszlet fekélmélységének pontosítása, a felszín alatti vizek mozgása és a vízminőség közötti kapcsolat. Mivel a talajvíz szerepe kiemelt jelentőségű a területen, a felszín alatti vizek keletkezése szempontjából elsődleges készletfaktor, ezért indokolt volt a talajvízszintek alakulásának részletes, átfogó vizsgálata is. Számos kérdés megválaszolásra került, és vannak olyanok is, melyek további vizsgálatok szükségességét vetik fel. Jelen dolgozatban a kutatás egy részének eredményeiről nyújtunk rövid tájékoztatást.

Tárgyszavak: geológiai felépítés, pleisztocén feké, felszín alatti áramlási rendszer, talajvízszint

Bevezetés, előzmények

A vizsgálati terület közigazgatásilag Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéhez tartozik, a Felső-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság működési területét foglalja magába (1. ábra).

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye ivóvízellátása 100%-ban felszín alatti vízből, a hideg édesvizet szolgáltató pleisztocén alluviális öszletből történik, az elvégzett vizsgálatok is erre az öszletre irányultak. A terület földrajzi, természetföldrajzi sokfélesége és sokszínűsége mellett a földtani és vízföldtani jellemzők is meglehetősen bonyo-

lultak, ösztetettek. Számos anomália mutatkozik a felszín alatti vizek területén mind mennyiségi, mind pedig vízminőségi szempontból.

A felszín alatti vizek áramlási rendszerét tekintve a terület regionális léptékben is nyomozható, különböző nyomásállapotú és eltérő vízföldtani adottságú tájegységei: a Nyírség a Rétközzel és a Bereg-Szatmári síkság.

A Nyírség a megújuló készletek keletkezése szempontjából elsődleges, felszín alatti vízkészletben szegényebb, földtanilag sérülékenyebb, a rétegeredetű vízminőségi komponensek is kedvezőtlenebb koncentrációjúak. A Bereg–



1. ábra. A Felső-Tisza vidék és környezete

Figure 1. The Upper Tisza Region and its environment

Szatmári-síkság az ország rétegvizekben egyik leggazdagabb területei közé tartozik.

A felszín alatti vizek szempontjából is „alvízi” ország lévén, peremi helyzetünk miatt az országosan kijelölt 185 felszín alatti víztest (VKKI 2010) közül 65 országhatárral osztott. A Fetivizig működési területén kijelölt összesen 13 db felszín alatti víztestből 8 db tartozik az országhatárral osztott víztestek körébe, melyek mindegyikén található sérülékeny földtani környezetű ivóvízbázisok is.

A dolgozatban bemutatott vizsgálatok a pleisztocén vízáadó összleré irányulnak. A kapott eredmények a területen végzett korábbi munkák tapasztalataira, adatállományaira, a lemélyült kutak földtani, vízföldtani alapadataira alapozottak.

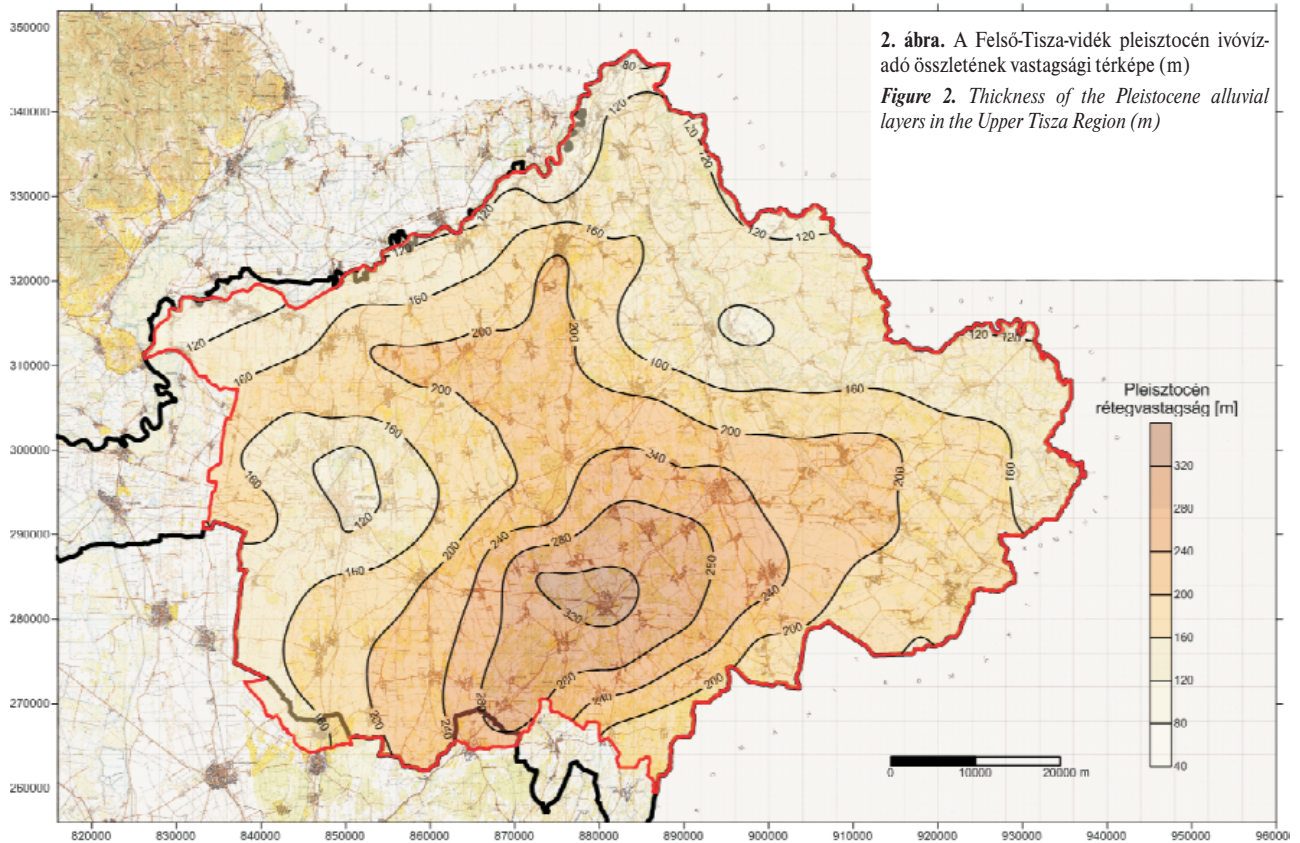
A pleisztocén alluviális összlet rétegződésének vizsgálatához a vízműkutak földtani rétegsorainak fajlagos elektromos ellenállás és természetes gamma digitalizált karotázs szelvényei szolgálták alapul, melyek a területen végzett vízbázis-védelmi (KOZÁK & PÜSPÖKI 2009) és más kutatómunkák (DEMETER et al. 2010) adatbázisából kerültek adaptálásra.

A vízminőség-elemzési adatok a terület vízműkútjainak vízvizsgálati jegyzőkönyveiből származó azon eredmények, melyek az Ivóvízminőség-javító Program előkészítő szakaszában (2005) keletkeztek. A felhasznált izotópvizsgálati adatok pedig a különböző izotópvizsgáló laboratóriumokban (Atomki, Heidelberg, Vituki) végzett vizsgálati eredményekből és Deák J. adatbázisából származnak (DEÁK J. szóbeli közlés, 2012).

A talajvízszint-elemzésekhez az országos talajvízszint-észlelő hálózatnak a vizsgált területre eső észlelő kútjaiból nyert vízállás-idősorait, továbbá a hidrometeorológiai és a víztermelési adatokat a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság szolgáltatta. Az elvégzett vizsgálatok, elemzések sokváltozós matematikai statisztikai módszerekkel történtek.

A rétegződés vizsgálata

A terület felszín alatti vizeit a hidraulikailag összefüggő pliocén–pleisztocén törmelékes összlet szolgáltatja. A hideg édesvizeket tároló pleisztocén allúvium a lakossági ivóvízigények, valamint ipari és mezőgazdasági célú víz-igények kielégítésére szolgál, a pliocén összletből pedig a



2. ábra. A Felső-Tisza-vidék pleisztocén ivóvízáadó összletének vastagsági térképe (m)

Figure 2. Thickness of the Pleistocene alluvial layers in the Upper Tisza Region (m)

hévizek különböző célú (balneológiai, ipari, mezőgazdasági) beszerzése történik.

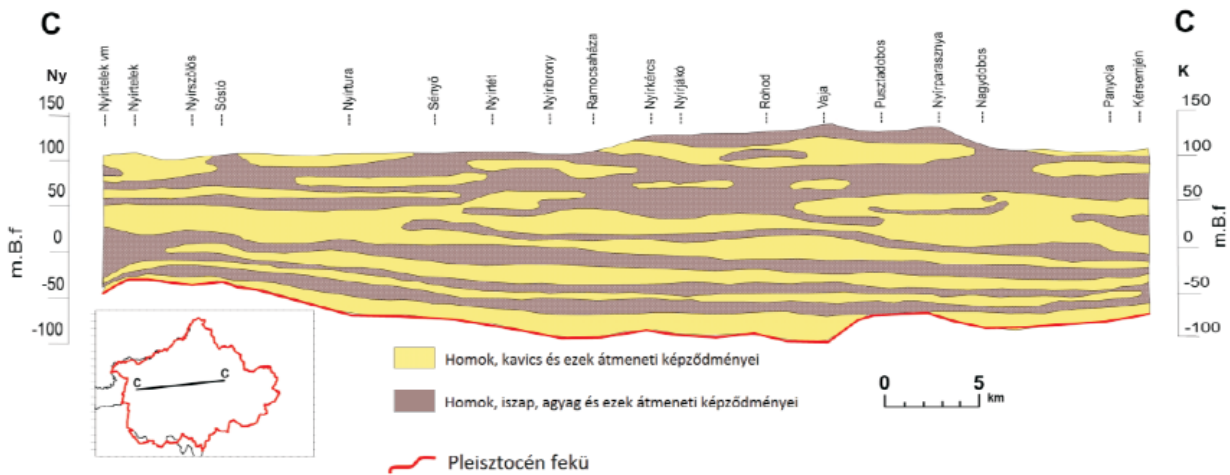
A közüzemi ivóvízellátás alapját képező vízadó és féligáteresztő képződmények szeszélyes változásából álló pleisztocén ivóvízadó összlet egy olyan többszintes rétegzett rendszer, melyben a talajvíztartó képződmények közvetítésével az egész összlet részt vesz a vízszállításban (HALÁSZ 1995). A pliocén–pleisztocén képződmények határán levő kis áteresztőképességű agyagos rétegek jelenléte miatt — kvázi víz záró feki feltételezve — a pleisztocén összletet önálló rendszerként kezeljük. A pleisztocén alluvialis összlet vastagsága 80–320 m között változik, (VIRÁG 2013 — 2. ábra).

A pleisztocén rétegzett rendszeren belül az alsó-pleisztocén jó vízadó képződmények jelentékeny vastagságúak és regionális léptékben is nyomon követhetők. A területre szerkesztett tipizált földtani szelvények (VIRÁG 1978) egyikét a 3. ábra illusztrálja. A vízadó és egyéb féligáteresztő képződmények előbbiekben jelzett változékonysága mind horizontális, mind pedig vertikális értelemben egyaránt megmutatkozik.

től 132 m-ig összesen 38 ponton, 1020 adat jellemezte a vizsgált mélységközt. Adatmátrixunk tehát 38×1020-as méretű lett. Az így kapott adattömbök klaszteranalízis alkalmazásával kerültek összehasonlításra.

Az elvégzett vizsgálatokból értékelhető eredményt a természetes gamma szelvények vizsgálati eredményei adtak (4. ábra). Két elkülönülő klaszterosztályt sikerült megkülönböztetni, az 1. klaszter osztály további két alosztályra tagolódik. Megállapítható, hogy az egyes klaszterosztályok közötti különbség a vízvezető és vízrekesztő rétegek sztratiográfiai és faciastani különbözőségéből adódik. Ezek térbeli eloszlására magyarázatot adnak a terület jelentősebb ivóvízbázisain végzett szekvencia-sztratiográfiai vizsgálatok is (DEMETER et al. 2010), ahol az egy klaszterbe tartozó fúrások láthatóan azonos, a litológiai és karotázs adatok figyelembevételével azonosított üledékes rendszeregyeségeket (PÜSPÖKI et al. 2013) képviselnek (4a ábra).

A vizsgált mélységtartományon belül a vizsgált kutakban feltárt rétegsort három típusba lehet sorolni, melyek a következők: folyóvízi, ártéri és tavi környezetben felhalmozódott képződmények. Az ártéri és csatornaüledékeket



3. ábra. A vizsgált területet Ny-Ki irányban átszelő tipizált földtani szelvény

Figure 3. Typed hydrogeological cross section in W-E direction of investigated area

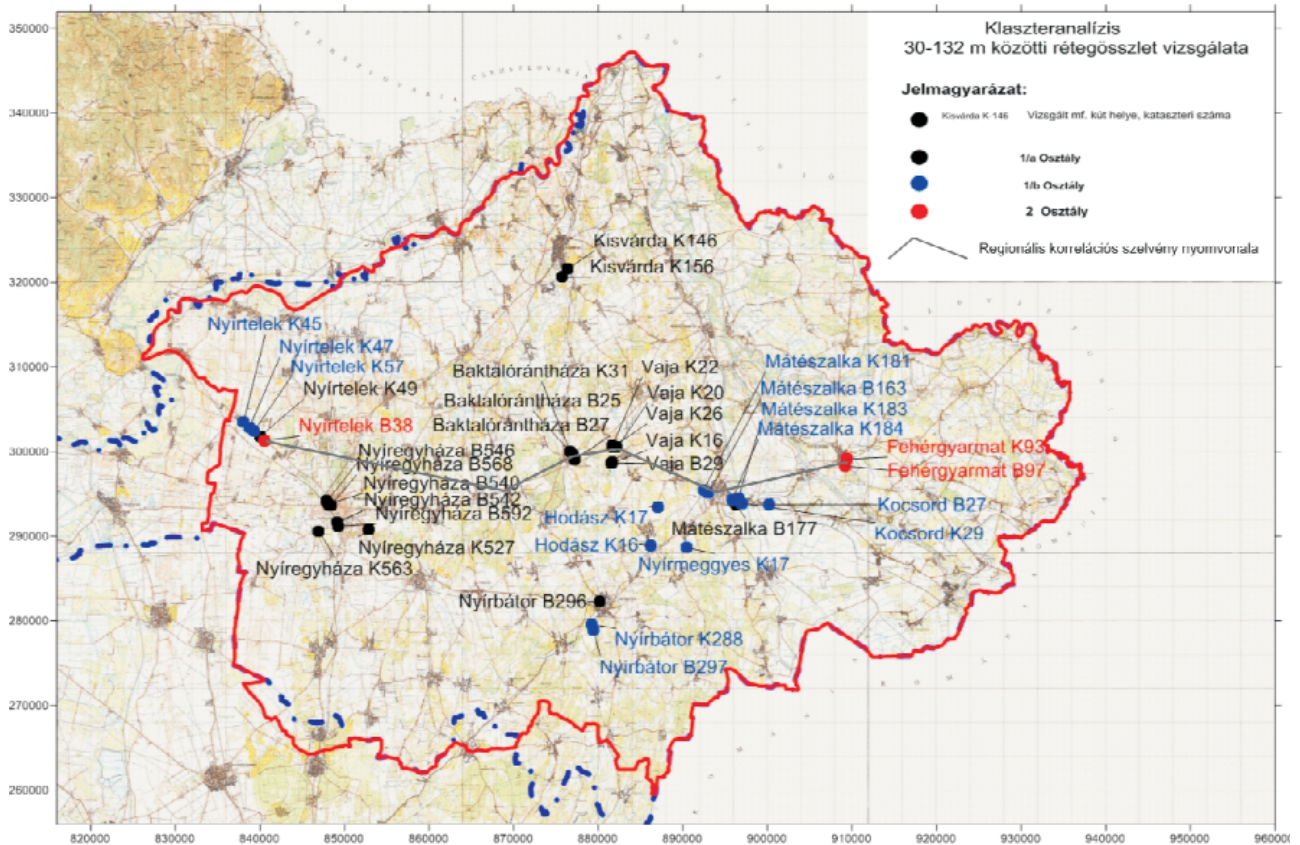
A rétegződés vizsgálatának elsődleges célja az volt, hogy az egyes kutakban feltárt képződmények oldalirányú kiterjedését meg lehessen határozni. A modellezési gyakorlatban ugyanis óriási jelentőséggel bír az egyes képződmények vertikális és horizontális lehatárolásának pontossága.

A rétegződés vizsgálatához a rendelkezésre álló digitalizált mélyfűrési geofizikai szelvények fajlagos elektromos ellenállás és természetes gamma profiljainak részletes feldolgozására 38 termelőkútban került sor. A karotázs szelvények a vízvezető és víz záró rétegek szétválasztására alkalmasak, emiatt várható volt, hogy a vízföldtani szempontból különböző részek a szelvények különbözőségeiben is megjelennek. 30 és 132 m között rendelkezünk minden egyes kútban értékelhető adatállománnyal. Ez a mélységköz a víztermelés szempontjából egyik fontos tartományt fogja közre. A karotázs szelvényekből nyert adatokat 10 cm-enként átlagolva, 30 m-

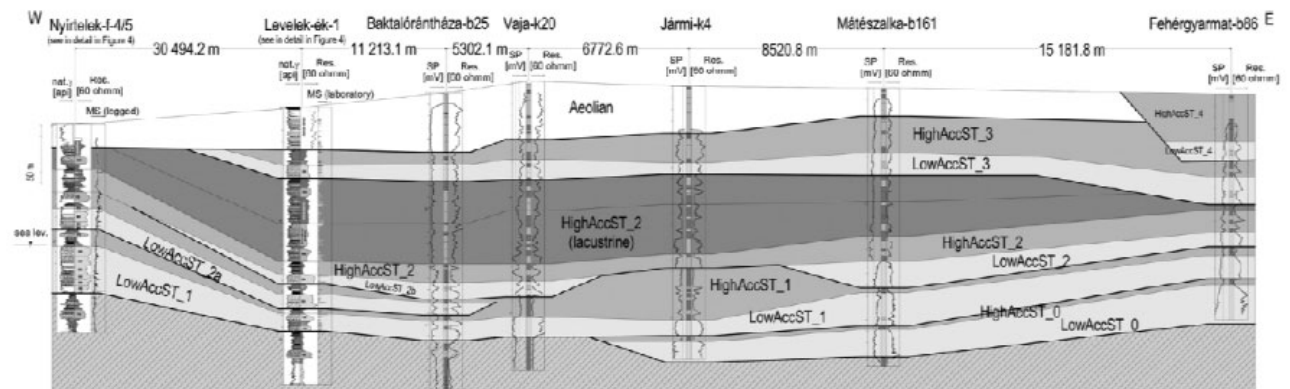
egyaránt tartalmazó, átlagos nyírségi kifejlődéstípust az 1. klaszter osztály jelzi. A 2. klaszter osztályt illetően a regionális korrelációkat tekintve Nyírtelek és Fehérgyarmat területe nem az átlagos nyírségi kifejlődéstípushoz tartozik. Nyírtelek a Nyírségi hordalékkúpot Ny-ról szegélyező pannon hát területére esik, fúrásaiban így a vizsgált mélységközben uralkodóan lakusztikus környezetben lerakódott, finomhomokos, kőzetlisztes üledékek jelennek meg.

Fehérgyarmat ezzel szemben a Felső-Tisza-vidék uralkodóan ártéri környezetben felhalmozódott finomszemcsés üledékekkel jellemezhető rétegsort reprezentálja. A korrelációs felszín által közrefogott különböző üledékes rendszeregyeségek a 4a ábrán bemutatott regionális karotázs-korrelációs szelvényen láthatók.

A pleisztocén összlet — sokat vitatott és sok helyütt bizonytalanul felvett — fekmélységének pontosítására is a szekvencia-sztratiográfiai eszközök bizonyulnak megbízha-



4. ábra. A rétegződés vizsgálatának eredmény térképe
 Figure 4. Results map of the examination of stratification



4a. ábra. Regionális karotázs-korrelációs szelvény Nyirtelek-Fehérgyarmat között (PÜSPÖKI et al. 2013.)
 Figure 4a. Regional well-log correlation section between Nyirtelek and Fehérgyarmat (PÜSPÖKI et al. 2013)

tó vizsgálati módszerek (PÜSPÖKI et al. 2013), melynek részletezésére jelen dolgozat keretében nem térünk ki.

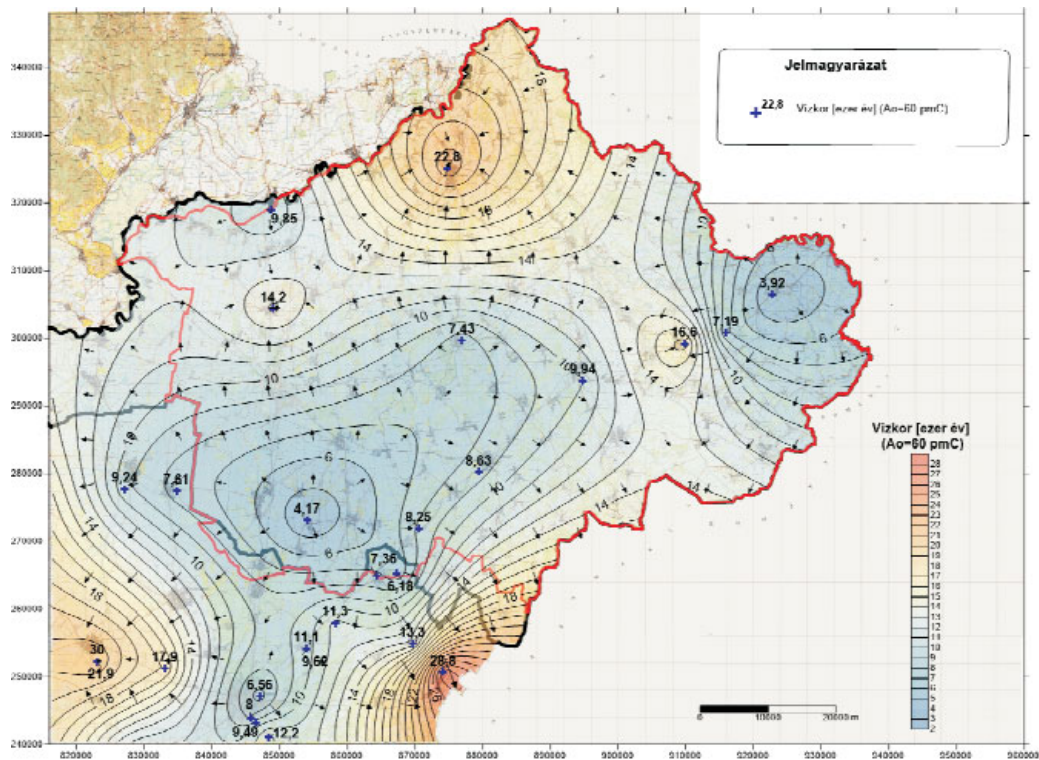
A terület nyomásállapota és a felszín alatti vizek vízminősége közötti összefüggés vizsgálata

Az Alföld és ezen belül a vizsgált terület törmelékeny üledékösszetételben feltételezett regionális áramlási rendszer léte és működése számos szerző (ALFÖLDI 1986; ERDÉLYI 1975, 1979; HALÁSZ 1975, 1995a, b; MARTON 1979; RÓNAI 1985; SZÉKELY 2003, 2006; TÓTH 1995a, b; TÓTH & ALMÁSI

2001; VÖLGYESI 2004) által bizonyított.

Az elvégzett vizsgálatok keretében az izotópmérési eredmények feldolgozásának a vizsgálati határon túli kiterjesztésével szerkesztett vízkortérkép is a regionális áramlási rendszer létét igazolja. Az alsó-pleisztocén rétegvizek C¹⁴ vízkorainak ábrázolásával az 5. ábrán látható, hogy a nyírségi tápterület centrumában beszívargó vizek a legfiatalabbak, a peremek felé egyre idősödnek.

A nyírségi tápterület centrumától É-felé Nyírbátor–Kisvárdra irányába haladva követhető a vízkorok idősödése. Megállapítható, hogy kelet felé a Kölcse és Fehérgyarmat

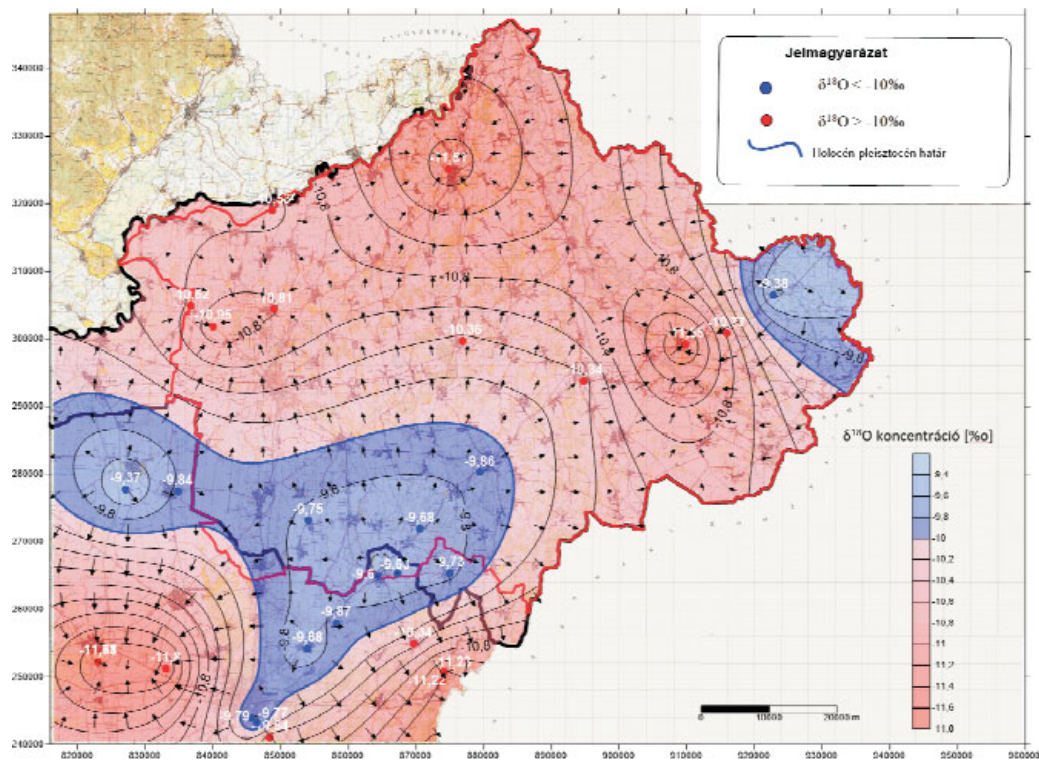


5. ábra. Az alsó-pleisztocén rétegvizek radiokarbon kora a Felső-Tisza-vidék területén
 Figure 5. Radiocarbon age of Lower Pleistocene groundwaters in Upper Tisza Region

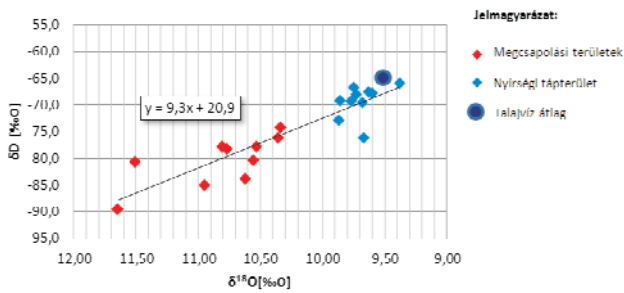
közötti mérési eredmények a különböző irányból érkező vizek keveredését jelzik (Kárpátok előtéri utánpótlódás).

A $\delta^{18}\text{O}$ és δD stabilizotóp-mérési eredmények felhasználásával szerkesztett 6. ábrán jól követhető, hogy a Nyírség

közepétől — a tápterület centrumától — távolabb haladva egyre negatívabb $\delta^{18}\text{O}$ értékeket kapunk. Mindezt összevetve az 5. ábrával megállapítható, hogy ahol tízezer évnél idősebb a víz, ott a $\delta^{18}\text{O}$ is negatívabb.



6. ábra. Alsó-pleisztocén rétegvizek $\delta^{18}\text{O}$ stabil izotóp összetétele
 Figure 6. The $\delta^{18}\text{O}$ stable isotope composition of Lower Pleistocene groundwaters



7. ábra. Az alsó-pleisztocén rétegvizek stabilizotóp-összetétele a Felső-Tisza-vidék területén

Figure 7. The stable isotopes composition of Lower Pleistocene groundwaters in Upper Tisza Region

A sokévi átlagtól negatív irányban eltérő $\delta^{18}\text{O}$ és δD értékek hidegebb klímát jeleznek (DEÁK 1988). A mérési eredmények jól követik a Magyarországra jellemző összefüggést, a pleisztocén talaj és rétegvízre jellemző helyi vízvonalat (Local Meteoric Water Line — 7. ábra). Mindez bizonyítja, hogy a Nyírségi táptérségen beszivárgó vizek csapadék eredetűek.

A rétegvizek vízkémiai jellege a természetes állapotbeli vízmozgást tekintve leszálló vízmozgás övezetéhez tartozó Nyírség területén alapvetően kalcium-hidrogénkarbonátos, míg a Bereg–Szatmári-síkság esetében (enyhén pozitív, ill. közel hidrosztatikus nyomásállapotú terület) jellemzőek az alkáli (Na-, K-) hidrogén-karbonátos rétegvizek.

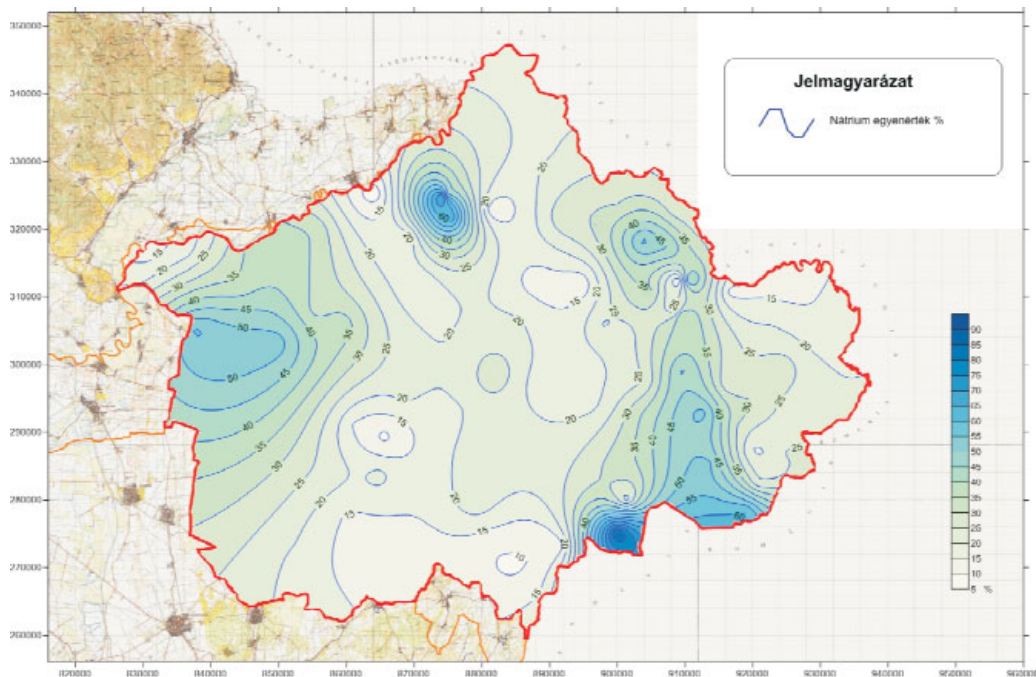
Láthatjuk, hogy a Nyírség közepén legalacsonyabb a rétegvizek Na egyenértékszázaléka, ugyanakkor az áramlási pálya mentén ezek az értékek egyre növekednek (8.

ábra). Ennek oka, a víz és az agyagásványokat tartalmazó féligáteresztő rétegek között lejátszódó kőzet-víz kölcsönhatás, melynek során a vízben levő Ca- és Mg-ionok kicserélődnek az agyagásványokban levő Na- és K-ionokra, ezért a Ca- és Mg-tartalom csökken, a Na- és K-koncentráció pedig nő az áramlási pálya mentén. Ezért a Nyírség közepén még főleg Ca és Mg jellemző, kifelé haladva és a megcsapolási területeken pedig (ahol idősebb vizeket találunk) egyre inkább nő a Na és a K aránya.

A rétegvizek minősége ivóvízellátási szempontból vas, mangán, ammónium és arzén komponensek tekintetében kifogásolt mindkét tájegységben. A vízminőségi adatok elemzése során végzett statisztikai vizsgálatokba bevonandó adatok körének kijelölésénél a fő szempont az volt, hogy a vízminták közel egy időből származzanak, s lehetőség szerint a vizsgáló labor is ugyanaz legyen. Erre legjobb alappal a Vízminőség-javító Program helyzetfeltáró szakaszában (2005) végzett vízvizsgálati eredmények szolgáltak.

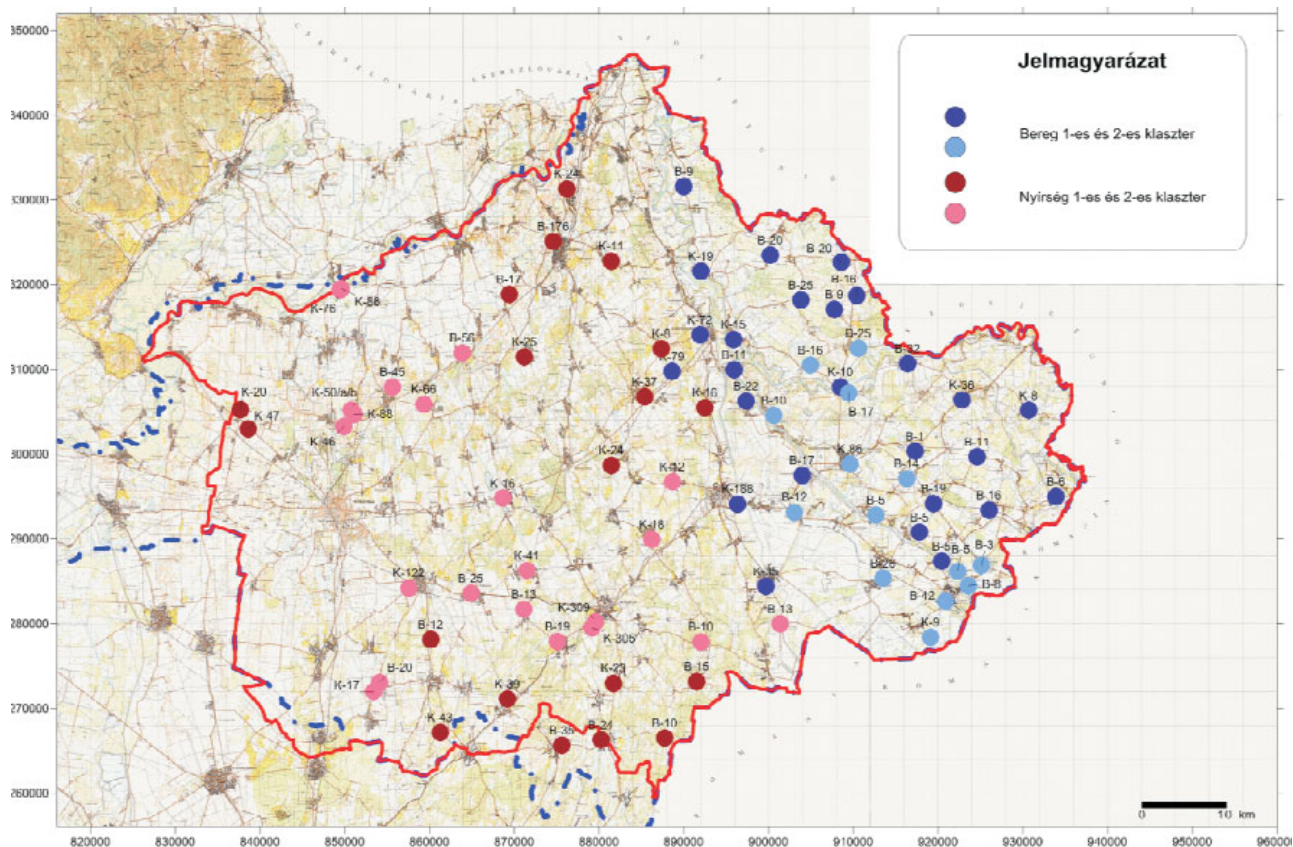
A klaszteranalízissel végzett statisztikai vizsgálat 16 vízminőségi komponensre történt: fajlagos vezetőképesség, pH, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, NH_4 , Cl, SO_4 , NO_3 , NO_2 , összes keménység, KOI, arzén. A klaszteranalízis — mindkét részterületen — két nagy osztályba sorolja a vizeket (9. ábra).

A két klaszterosztály lényegében csak a nátrium-, a vas- és az arzéntartalomban különbözik egymástól mindkét vízföldtani tájegységben belül. A Na-koncentrációt illetően megállapítható, hogy a Nyírség belsejében alacsonyabb a Na-koncentráció, majd a peremek felé haladva ez az érték növekszik. A Bereg–Szatmári-síkságon belüli magasabb Na-koncentrációk a típusos feláramlási területekre jellemzőek. Nagyobb As-koncentrációk foltszerűen jelennek meg mindkét tájegység alsó-pleisztocén rétegvizeiben. A vas-



8. ábra. A Na-egyenérték% alakulása a Felső-Tisza-vidék alsó-pleisztocén rétegvizeiben

Figure 8. Na equivalent % changes of Lower Pleistocene groundwaters in Upper Tisza Region



9. ábra. Az alsó-pleisztocén rétegvizek vízminőségi klaszterosztályainak térképi megjelenítése

Figure 9. Quality clusters map of Lower Pleistocene groundwaters

koncentrációk szinte mindenütt kifogásoltak, a Nyírségre különösen magas értékek jellemzőek. Ezen három komponens átlagértékeit az I. táblázat mutatja.

A Na-koncentráció átlagértéke a felszálló vízmozgás területéhez tartozó Szatmári-sík területén (Bereg 2-es klaszter) volt a legmagasabb. A vastartalom mind a négy klaszterben magas, a Bereg 2-es klaszterben a legkedvezőbb koncentrációjú. Az átlagos As-tartalom is csak ebben a klaszterben volt határérték alatti, 5,2 µg/l, máshol magasabb koncentráció mutatkozott.

Az átlagérték (számtani közép) nem jellemzi elég jól a rendelkezésünkre álló adatrendszer (mintát), mert az átlagot már egyetlen extrém érték is jelentősen eltorzítja. Ezért

a fenti hat mintát a matematikai statisztikában alkalmazott „boxplot”-okkal is megjelenítettük, melyek közül a Na- és az As-koncentrációk boxplotjait mutatjuk be. A boxplotok a minta mediánját, illetve az ahhoz közeli és távoli értékeket is ábrázolják. A medián az az érték, amelyiknél nagyobb, ill. kisebb érték ugyanolyan darabszámmal fordul elő az adatrendszerben.

A 10. és 11. ábrán a Na-, illetve az arzénkoncentráció alakulását szemléltetjük a Nyírség NyK1 és NyK2, valamint a Bereg BeK1 és BeK2 jelzéssel ellátott két-két klaszterének boxplotjai segítségével. A függőleges tengelyen a koncentráció-értékek szerepelnek.

Az ábrákon látható dobozokat megosztó vastag vonal a medián. A dobozok magassága az adatok darabszám szerinti 50 %-át foglalja magában. Ha a medián nem a doboz középvonalában helyezkedik el, akkor a nála nagyobb (vagy kisebb) értékek a gyakoribbak az adatok 50%-án belül. A dobozokból alul és felül induló karok vagy a minimális és maximális elemek értékéig nyúlnak, vagy pedig a dobozok magasságának másfélszereséig.

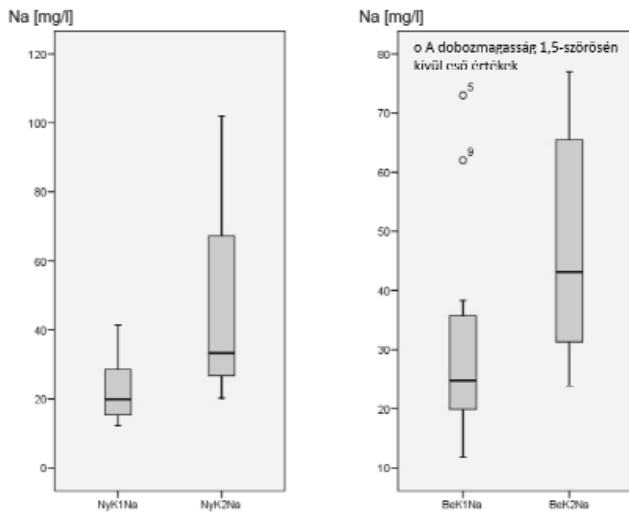
Az utóbbi esetben nem minden adat esik a karok alja és teteje közé, hanem lesznek kieső (ún. outlier) adatok is. A dobozmagasság másfélszeresén kívül eső értékek o-val, az extrém outlierok pedig *-gal vannak jelölve.

A Nyírség 1-es klaszterosztály (mely a tápterület centrumát fedi le) alacsony Na-ion koncentrációi élesen elkü-

I. táblázat. Vízminőségi komponensek átlagértékei a vizsgált területen

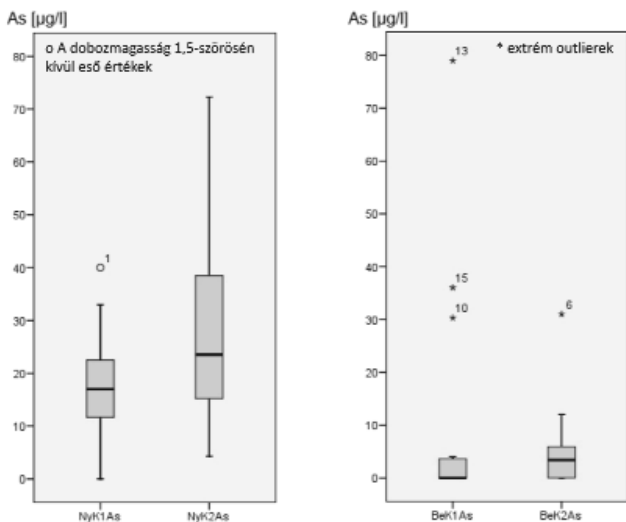
Table I. Mean values of water quality components in the investigated area

Na mg/l		Fe µg/l		As µg/l	
1 klaszter	2 klaszter	1 klaszter	2 klaszter	1 klaszter	2 klaszter
Nyírség					
21,5	43,2	1844	478	17,1	28,1
Bereg					
31,2	48,7	1586	365	13,3	5,2



10. ábra. A nyírségi és a beregi alsó-pleisztocén rétegvizek Na-ion koncentráció eloszlásának boxplotjai

Figure 10. The specific "boxplots" of Na concentration of deep groundwaters of Nyírség and Bereg-Szatmár Plan



11. ábra. A nyírségi és a beregi alsó-pleisztocén rétegvizek As-koncentráció eloszlásának boxplotjai

Figure 11. The specific "boxplots" of As concentration of deep groundwaters of Nyírség and Bereg-Szatmár Plan

lönülnek a 2-es osztályra jellemző értékektől. A Nyírség 2-es klaszterében lényegesen magasabb és sokkal szórtaabb Na-koncentrációk jellemzőek. Hasonló a helyzet a Bereg 2-es klaszterosztályában is.

A Nyírségben az As-koncentráció értékei a nátriuméhoz hasonlóan a 2-es klaszter osztályban magasabbak, 70 µg/l feletti érték is előfordul, miközben az 1-es klaszter kisebb arzénkoncentrációi között a balkány-abapusztai K-43-as kút 40 µg/l adata már kieső értéként jelenik meg. Az As- tartalom vonatkozásában azonban a Bereg-Szatmári-süllyedék területén sokkal több a kieső, sőt az extrém kieső érték. A BeK 1-es klaszterosztály egyik kútjában (13. sz., Nagyecséd K-35) a 79 µg/l As-koncentráció a környezethez képest annyira magas, hogy amennyiben

nem ismernék a területet, akár az adat hitelességében is kételkedhetnénk.

Összességében megállapítható, hogy az előzőekben bemutatott eredményeket összevetve a vízminőségi és izotóp-hidrogeológiai vonatkozású térképekkel jól igazolható a nyomásállapot és a vízkémiai jellemzők összefüggései (VARSÁNYINÉ 2000, DEÁK 2006) vizsgálati területünkön is.

A talajvízszint és a csapadékoság közötti összefüggés vizsgálata

A kitermelhető (megújuló) készletek szempontjából területünkön elsődleges jelentőségű a talajvíz, ezért is nagy fontosságú a talajvízszint-változások vizsgálata.

A talajvízszint időbeli és területi változásainak jellemzésére részben leíró jellegű statisztikai módszerek, részben pedig kapcsolatalemző statisztikai módszerek kerültek alkalmazásra. A leíró jellegű statisztika a szokványosan alkalmazott átlagértékek, szélsőértékek rögzítésén túl (talajvízjárás menetgörbék trendvizsgálata, hisztogramokkal történő értékelés) számos újabb információval szolgálhat az adott észlelőkútra és a területi vonatkozásokat illetően is. Kiderülnek a talajvízszint-eloszlás normál esettől (Gauss-féle haranggörbe) való eltérései, a ferdeség, a pozitív aszimmetria, továbbá más eltérések is, melyek a talajvízjárás zavart voltára hívják fel a figyelmet.

A kapcsolatalemző módszerek közül a faktoranalízis és a korrelációs összefüggések vizsgálata került előtérbe. A faktoranalízis a feltehetően sok változótól függő talajvízszint-adatállományokat néhány faktorról jellemzi úgy, hogy ezek a faktorok az eredeti változók lehetőség szerinti legtöbb információját tartalmazzák. Nem mondja meg, mik ezek a legfontosabb faktorok, tehát ezek azonosítására további — korrelációs — vizsgálatok szükségesek. A feltételezett kapcsolatokat (csapadék, párolgás, termelés) szorosságát jellemző korrelációs tényezőt (r) minden esetben két $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ és $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n)$ adatsorra számítottuk a következők szerint:

$$r = \frac{\sum \Delta x_i \cdot \Delta y_i}{(n-1) \sigma_x \cdot \sigma_y}, \text{ ahol } \Delta x_i = x_i - \bar{x} \text{ és } \Delta y_i = y_i - \bar{y}$$

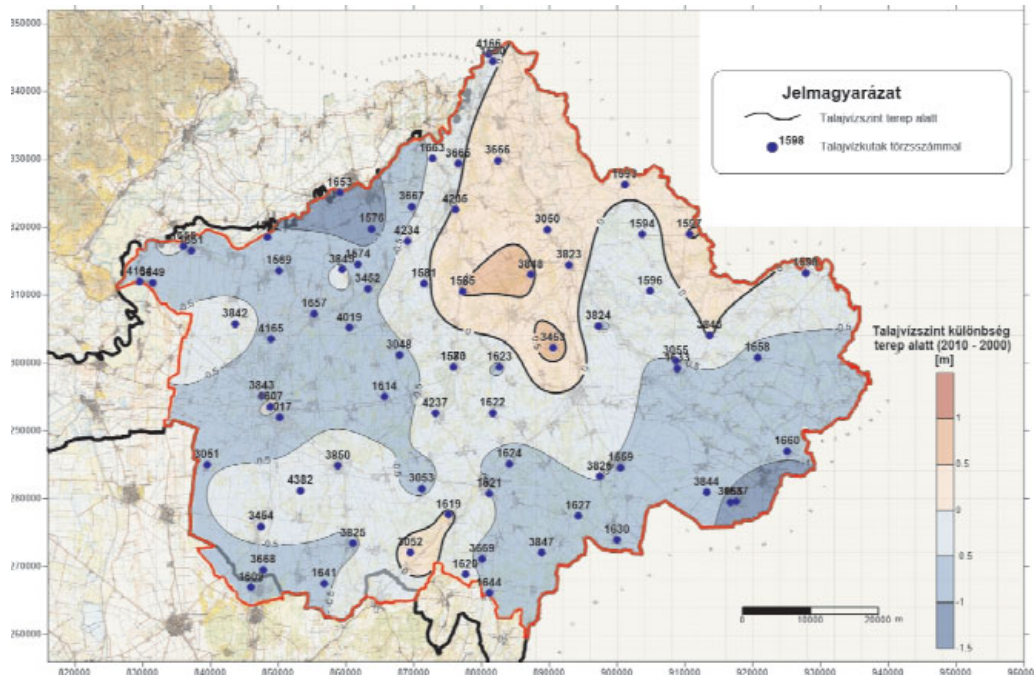
$$\text{illetve } \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ és } \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

(\bar{x} és \bar{y} a két adatsor átlagértékei).

A talajvízszint-változások és a változások okai

A talajvíz terep alatti mélységének 2000–2010. között időszakra vonatkozó különbségtérképe (12. ábra) azt mutatja, hogy jelentős és tartós talajvízszint süllyedések nem történtek a vizsgált időszakban.

Négy hosszú adatsorral rendelkező kútnál pedig trend-



12. ábra. A talajvíz terep alatti mélységének különbség térképe m, 2010–2000

Figure 12. Deviation map of the average shallow groundwater level (2010–2000) in the area

vizsgálatok is történtek. A vizsgált kutaknál általában nagyon enyhe (kb. 60 év alatt 40–60 cm-es) emelkedő trend figyelhető meg.

Mintaként a 13. ábrán bemutatjuk a Baktalórántháza 1583. törzsszámú talajvízészlelő kút menetgörbéjét.

A pontszerű vizsgálatok ugyanazt mutatják, mint a területi adatok térképei: általában nem alakult ki süllyedés a talajvízszinteknél a vizsgált 60 év alatt.

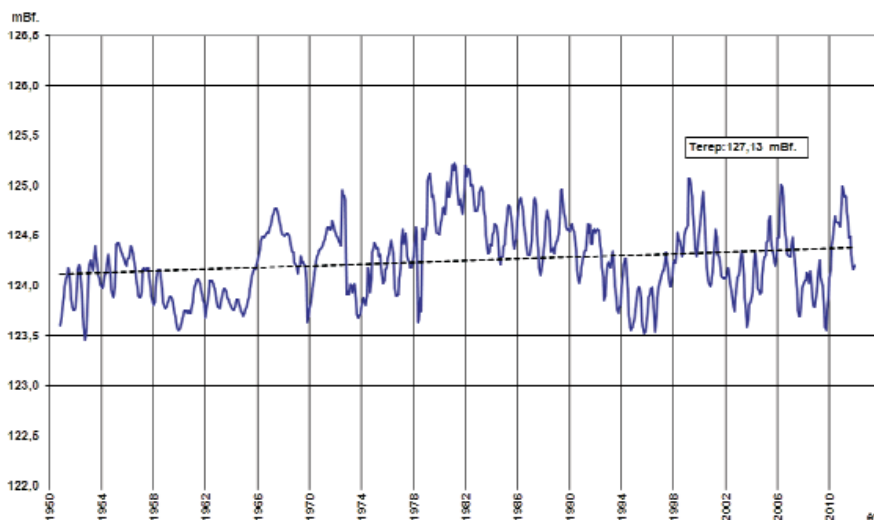
Az egyes talajvízszint-észlelő kutakban (a vizsgált terület egyenletes eloszlásban kiválasztott 25 észlelő kútja) mért vízszintek menetgörbéinek egymásközi korrelációjával kapott korrelációs tényező a vizsgált észlelő kutak több mint

felénél $>0,75$. Ez az eredmény arra utal, hogy a vízszintek együtt változnak, a beszivárgási körülmények nagyon hasonlóak. Ezek részletesebb kifejtésére a dolgozat területi korlátai miatt nem kerül sor.

A 2000–2010 közötti időszakra részletes leíró jellegű statisztika vizsgálatok (SISKÁNE SZILASI et al. 2012) keretében 25 db talajvízszint-észlelő kút havi átlagos vízszint adatainak vizsgálata történt meg. Ennek keretében — egyenként minden kútra, a szokásos jellemzők mellett — a medián, a szórás, illetve a hisztogramok és esetenként a normál eloszlásfüggvények meghatározására is sor került.

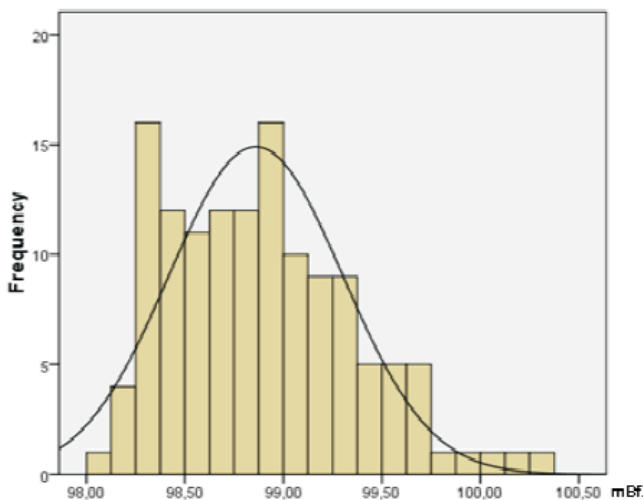
Megállapítható, hogy a talajvíz kutak többségénél a talajvízszint-eloszlások nem a klaszszikus haranggörbét követik, hanem aszimmetrikus jellegűek. Számos esetben két-maximumú eloszlásunk volt, (14. ábra). Ez a jelenség nagy valószínűséggel valamilyen antropogén hatásra (pl. ismeretlen, közelben történő termelés) vezethető vissza.

A talajvízszintre ható tényezők kapcsolatalemző statisztikai vizsgálatánál faktoranalízis segítségével meghatározásra került a változásokat előidéző faktorok száma. Először 25, majd 71 kútát vizsgálva határozottan kirajzolódik, hogy a változásokat alapvetően két fő faktor okozza.



13. ábra. A Baktalórántháza 1583. törzsszámú talajvízészlelő kút vízszintjének menetgörbéje

Figure 13. Shallow groundwater levels detected in observation well No. 1583 Baktalórántháza



14. ábra. Két-maximumú eloszlás a Kisvárd 4235. törzsszámú észlelő kút vízszintadataiban

Figure. 14. Two maxima in the distribution of shallow groundwater level data of observation well No. 4235 Kisvárd

Faktor	Faktorsúly	Osszes magyarázó erő %
1	0,66480	66,480
2	0,12158	78,637
3	0,03345	
4	0,02176	
5	0,02037	

Tehát két olyan tényező van, amelyek a változékonyság fő okai, ezek együtt 78,6%-ban befolyásolják a talajvízszinteket. A harmadik faktor már csak 3,3%-os hatású, de még további két faktor is 2%-nál nagyobb befolyással szerepel.

Ezután történt a lehetséges ható okok vizsgálata, melyek közül legfőképpen — a nyilvánvalóan legfontosabbakkal —

a csapadékkal és a párolgással foglalkoztunk. Harmadik okként vizsgálatra került a termelés hatása is.

Első ható okként a csapadékot tekintjük, de hamarosan meg kellett állapítani, hogy a lehulló csapadéokra nem mindig és nem rögtön reagál a rendszer.

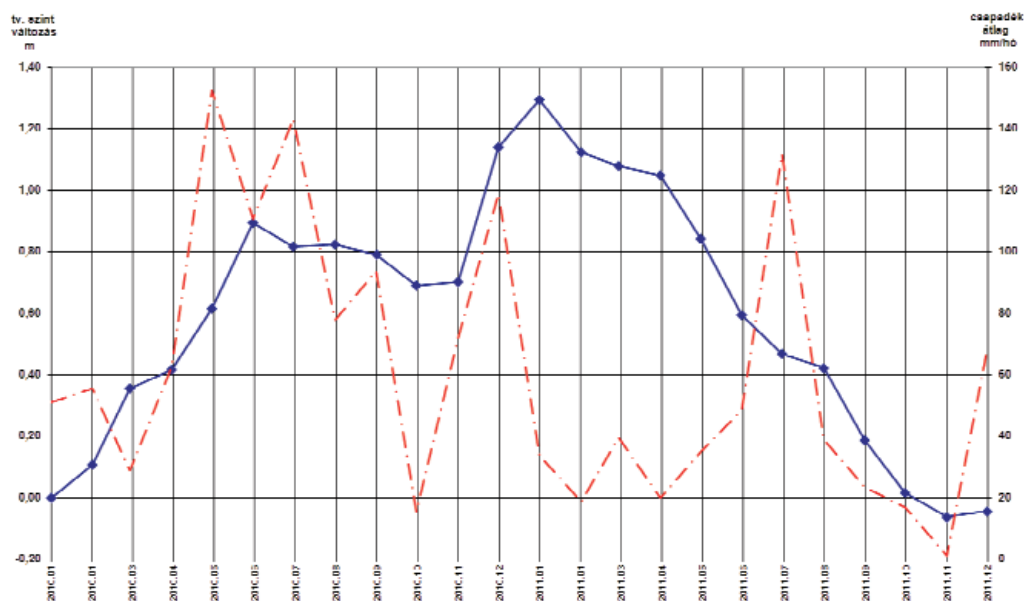
A napi adatok vizsgálata nagyon ellentmondásos eredményeket hozott. Például a 2010. csapadékos év legcsapadékosabb hónapjában (júniusban) négy jelentős csapadékos nap volt, de ezek közül csak háromra reagált a talajvíz szintemelkedéssel. Ennek megfelelően a napi csapadékok és napi vízszintek között meglehetősen alacsony korreláció volt számítható, a legnagyobb érték: 0,475, az 1639-es kút (Zajta) és az Ófehértón mért csapadékok között.

A továbbiakban a csapadék és a talajvízszint havi átlagának összefüggés-vizsgálatára került sor.

A 2010-es csapadékoság hosszú távú hatását vizsgáltuk a viszonylag átlagos csapadékoságú 2011. évben. Ahhoz, hogy a különböző terepszinteken lévő kutakban kialakult vízszintváltozásokat össze lehessen hasonlítani bevezetésre került az ún. standardizált vízszintek számítása. A 2010. évi januári szintet minden szintből levonva olyan görbéket kapunk, amelyek csak a 2010 januárjától számított változásokat mutatják (a 2010. januári állapot tehát minden kútnál nulla).

Ezt a vizsgálatot a terület 94 talajvízszint-észlelő kútjánál lehetett elvégezni. A standardizált vízszinteket a 15. ábra (folytonos, kék vonal) egyértelműsíti, ahol a csapadékmennyiségek 21 állomás havi adatainak átlagolásából származtak. A standardizált vízszintek értékskálája a baloldali tengelyen, mben a csapadékatlagok értékskálája pedig mm/hó-ban került megadásra.

Látható, hogy a csapadékokat csak a következő hónapban követik a talajvízszint változások (havi átlagokról lévén szó, ennél rövidebb eltolódást nem lehetett kimutatni). Látszik továbbá az is, hogy a nyári csapadék hatása milyen



15. ábra. Átlagos standard talajvízállás és átlagos csapadék 2010–2011-ben

Figure 15. Average standard shallow groundwater level and average precipitation in 2010–2011

kicsi. A 2010. évi júliusi 143 mm csak egészen minimális emelkedést váltott ki, a 2011. júliusi 132 mm pedig csak arra volt elég, hogy némiképpen lefékezze a süllyedő trendet. A süllyedés, ami az év elején, a januártól júniusig tartó szárazság miatt alakult ki, megmaradt.

A havi átlagok alapján számított korrelációs tényezők — a fentieknek megfelelően — mindenütt alacsonyak, 0,5 alattiak lettek.

Amennyiben éves átlagokkal dolgozunk, akkor a csapadék és a talajvízállás közötti kapcsolat helyenként szorosabbnak mutatkozik. (Pl. a Bereg–Szatmári-síkság területén levő Vámosoroszi 1658. törzsszámú figyelőkút évi átlagos vízszintjei és a Vámosoroszin levő csapadékmérő állomáson észlelt évi átlagos mennyiségei között a korrelációs tényező 0,668-nak adódott.)

A téli és nyári féléves (évszakos) értékek vizsgálatával azonban figyelemre méltó eredményekhez jutottunk, álta-

lánban 0,6 feletti korrelációs tényező adódott. A téli hónapok csapadékösszegét korrelálva a téli hónapok alatt kialakult talajvízszint-változásokkal (általában emelkedésekkel) számos esetben szignifikáns kapcsolat mutatkozott. Így van ez a Kálmánháza 3051. törzsszámú észlelőkút esetében is (16. ábra). A téli talajvízszint emelkedés regressziós egyenesét a 17. ábrán láthatjuk.

A párolgás és a talajvízszint kapcsolatának vizsgálatához a területen levő összesen három hidrometeorológiai állomás kádpárolgási adatait lehetett felhasználni, ahol a mérések a nyári félévben májustól októberig történnek. A féléves kapcsolatok vizsgálata azonban ez esetben is jó eredményhez vezetett.

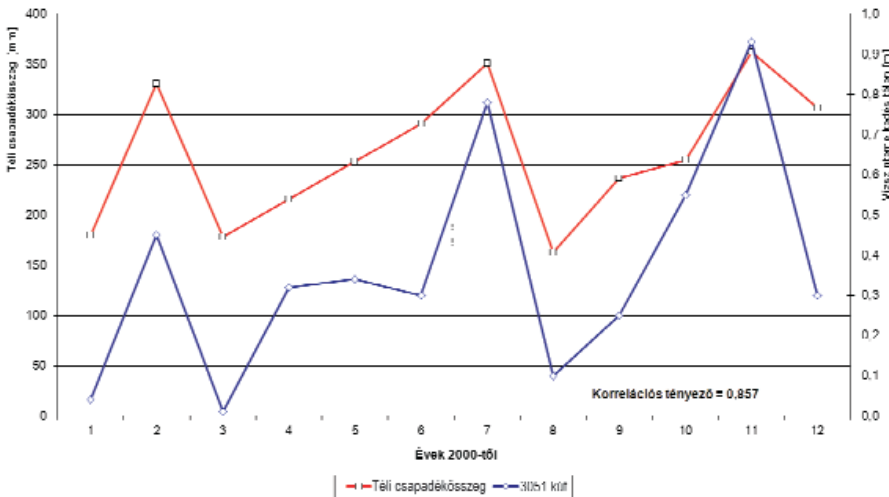
A nyári összes párolgás összege és a nyáron kialakult talajvízszint-süllyedések vizsgálata során szintén 0,6 feletti korrelációs tényezőket kaptunk, egy kút pedig kiugróan jó értéket mutatott; a Nyírkarász 1585. törzsszámú kútnál a

korrelációs tényező $-0,820$. Itt a negatív előjel jelzi, hogy növekvő párolgáshoz csökkenő talajvízszintek tartoznak (18. és 19. ábra).

Nyilvánvaló, hogy a csapadékkal (és a párolgással) való kapcsolat létezik, de a talajvízszint-változásokat más tényezők is befolyásolják. Emiatt a csapadék-talajvízszint kapcsolat szoros lineáris korrelációjára nem lehet számítani.

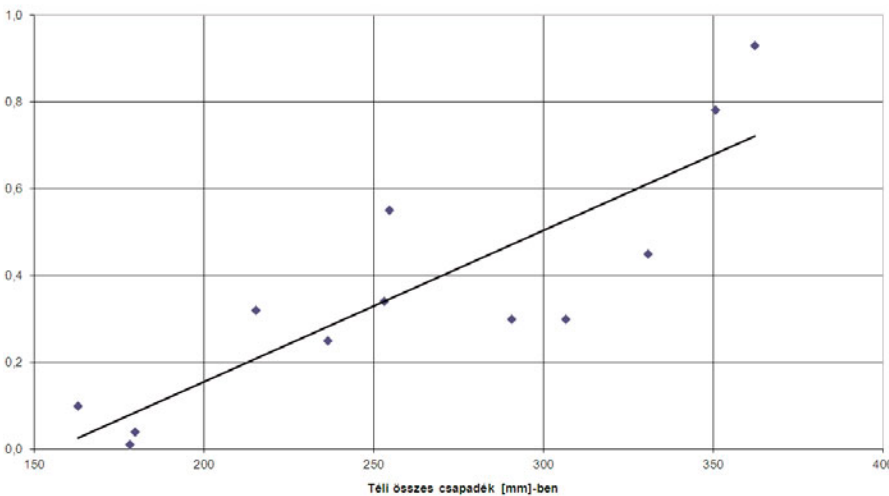
A csapadék és a talajvízszint kapcsolat helyett tulajdonképpen a csapadékeszívárgás és a talajvízszint közötti kapcsolatot kellene vizsgálnunk, a csapadékeszívárgást azonban csak nagyon közvetett módon, sokféle áttételen keresztül határozza meg a csapadék mennyisége (pl. időjárási jellemzők, köztük a rövid idejű esők intenzitása, léghőmérséklet, talajfagy, légnedvesség, globálsugárzás, illetve a talajvízszint feletti háromfázisú zóna vastagsága, anyagi minősége, nedvességtartalma, a felszínen a növénytakaró, a felszín alatt a gyökérzóna milyensége stb.).

A termelés és a talajvízszint kapcsolatának vizsgálata esetében a korrelációk nagyon gyengék. Meg kell állapítani, hogy amennyiben a harmadik faktor a termelés, annak szerepe minimálisnak mondható a vizsgált területen. A réteg-



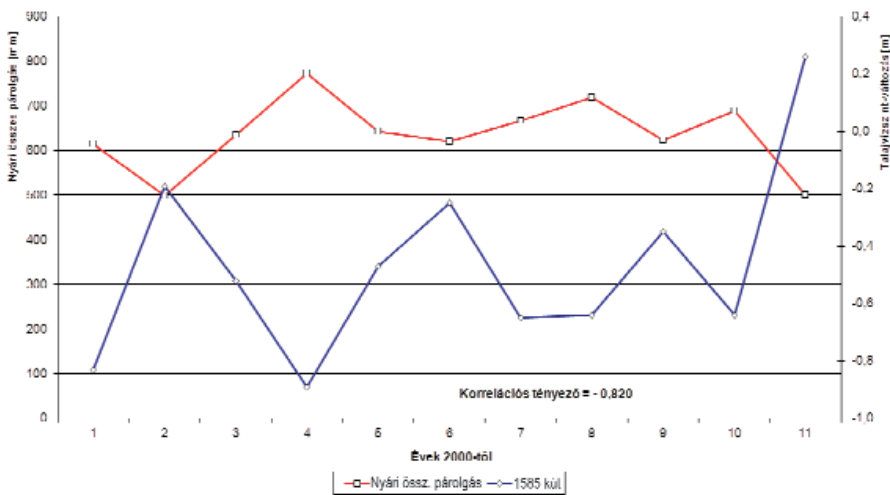
16. ábra. Téli talajvízszint-emelkedés a csapadékösszeg függvényében a Kálmánháza 3051. törzsszámú észlelőkútnál

Figure 16. Shallow groundwater level rise depending on the winter precipitation in observation well No. 3051 Kálmánháza



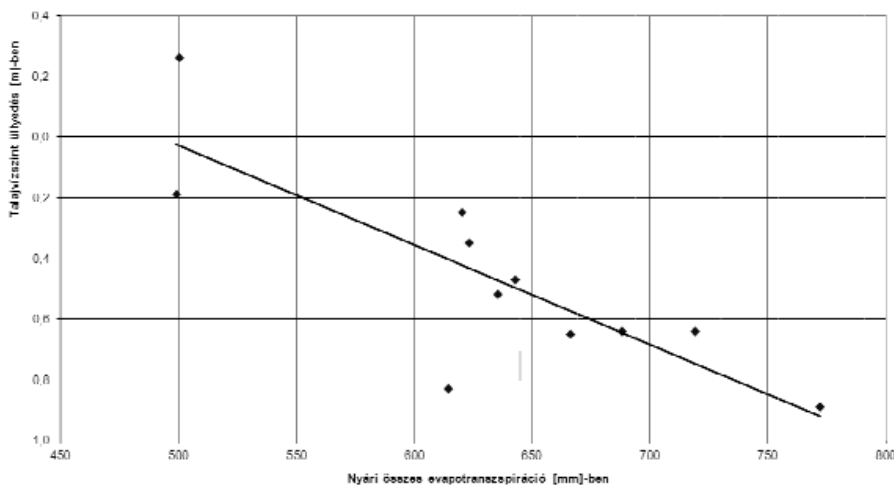
17. ábra. A téli csapadék és a talajvízszint-emelkedés regressziós egyenese

Figure 17. Regression lines of the winter precipitation and the shallow groundwater level rise



18. ábra. Talajvízszint-süllyedés a nyári összes párolgás függvényében a Nyírkársz 1585. törzsszámú észlelőkútnál

Figure 18. Shallow groundwater subsidence depending on the summer total evapotranspiration in observation well No. 1585 Nyírkársz



19. ábra. A nyári talajvízszint süllyedés regressziós egyenes

Figure 19. Regression lines of the shallow groundwater table descent in summer

víztermelés hatása a talajvíz szintjén nem jelentkezik, megállapítható, hogy a vizsgált területen egyelőre még nincs túltermelés.

Következtetések

1. A rétegződés vizsgálatára alkalmazott klaszteranalízis elkülönülő egységei bizonyíthatóan eltérő üledékes környezetben felhalmozódott csoportokat képviselnek.

2. A felszín alatti vizek egységes áramlási rendszert képeznek a pleisztocén rétegösszlet teljes vastagságában.

3. A felszín alatti vízáramlás jellegének megfelel a vízminőségi jellemzők alakulása, nevezetesen a nyírségi tápterületen a fiatalabb, kalcium-hidrogénkarbonátos vizek jelenléte, a peremi (feláramlási) területeken pedig az alkáli-hidrogénkarbonátos, idősebb vizek megjelenése. Ezt iga-

zolják az izotópvizsgálati adatok is.

4. A vízáramlás hajtóereje a magaslatokon történő csapadékbeszivárgás, a megcsapolást pedig a felszíni vizek és a mélyedésekben uralkodó evapotranspiráció képviseli.

5. A csapadékbeszivárgás nincs szoros összefüggésben a lehulló csapadékkal. A napi vagy havi csapadékösszeggel rossz a korreláció, csupán a téli hónapok csapadékösszege és a téli hónapokban kialakult talajvízszint-változások (általában emelkedések) között volt számítható 0,6 feletti korrelációs tényező. Ugyanez a megállapítás vonatkozik a nyári összes párolgás és a nyáron kialakult talajvízszint süllyedések kapcsolatára is. Tehát a talajvízszint-változások nem közvetlenül függnek a csapadéktól.

6. A talajvízszint-változások és a víztermelés (mint megcsapoló hatás) összefüggését nem lehetett kimutatni. Ennek megfelelően a területen sehol nem mutatkoznak túltermelés nyomai.

7. A vizsgált térségben a lineáris korrelációs együttható nem alkalmas a talajvízszintek, a csapadék és a párolgás kapcsolatának kimutatására, nem paraméteres vizsgálatok és a vízbázisvédelmi modellezéseknél alkalmazott leggyakoribb értékek alkalmazása (Szűcs et al. 2006) vezethetne eredményre.

8. Az elvégzett vizsgálatok és eredmények birtokában szükségesnek tartjuk a talajvízszint-észlelő hálózat ellenőrzését, optimalizálását és a kapott adatok időszakonkénti értékelését.

9. A vizsgálatokat javasoljuk kiterjeszteni a Nyírség egészére, valamint az országhatáron túli területekre is.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként — az Új Széchenyi Terv keretében — az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom — References

- ALFÖLDI L. 1986: A felszín alatti vízáramlások szerepe a vízkészletek megújulásában. — *Földtani Kutatás* **29/4**, 3–9.
- DEÁK, J. 1988: *A környezeti izotópok hidrogeológiai alkalmazása*. — VITUKI, Budapest, 7 p.
- DEÁK J. 2006: A Duna–Tisza köze rétegvíz áramlási rendszerének izotóp-hidrogeológiai vizsgálata. — Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 41–48.
- DEMETER, G., PÜSPÖKI, Z., LAZÁNYI, J. & BUDAY, T. 2010: Szekvenciasztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza–Szatmárnémeti térségében. — Debrecen, HURO/0801/121 projekt, 8–224.
- ERDÉLYI, M. 1975: A magyar medence hidrodinamikája. — *Hidrologiai Közlemények* **55/4**, 147–156.
- ERDÉLYI M. 1979: A magyar medence hidrodinamikája. — *VITUKI közlemények* **18**, 82 p.
- HALÁSZ B. 1975: Rétegzett hidrogeológiai rendszerek sajátosságai. — *Hidrologiai Közlemények* **55/11**, 505–507.
- HALÁSZ B. 1995: *Felszín alatti vizekkel való gazdálkodás rétegzett rendszerekben*. — BME doktori disszertáció, 34 p.
- HALÁSZ B. 1995: A rétegzett hidrogeológiai rendszerek sajátosságai. — *Hidrologiai Közlemények* **75/5**, 318–320.
- KOZÁK M. & PÜSPÖKI Z. 2009: *Jelentés a Nyírttelek-F-4/5 sz. hidrogeológiai paraméterfűrés szedimentológiai vizsgálatáról és értékeléséről*. — Kézirat, 53 p.
- MARTON L. 1979: Izotóphidrogeológiai vizsgálatok a Nyírségben. — *MHT Országos Vándorgyűlés, Keszthely, 1979. május 17–18*.
- PÜSPÖKI, Z., DEMETER, G., TÓTH-MAKK, Á., KOZÁK, M., DÁVID, Á., VIRÁG, M., KOVÁCS-PÁLFFY, P., KÓNYA, P., GYURICZA, GY., KISS, J., MCINTOSH, R.W., FORGÁCS, Z., BUDAY, T., KOVÁCS, Z., GOMBOS, T. & KUMMER, I. 2013: Tectonically controlled Quaternary intracontinental fluvial sequence development in the Nyírség–Pannonian Basin, Hungary. — *Sedimentary Geology* **283**, 34–56.
- RÓNAI A. 1985: Az Alföld negyedidőszaki földtana. — *Geologica Hungarica, series Geologica* **21**, 57–225, 305–337.
- SISKÁNÉ SZILASI, B., VIRÁG M. & SZŰCS P. 2012: A Felső-Tisza vidék talajvízkútjain végzett geostatistikai vizsgálat néhány eredménye. — *XXVI. microCAD nemzetközi konferencia, Miskolc*, 7p.
- SZÉKELY F. 2003: *Az ÉK-Alföld regionális modellje*. — VITUKI, Budapest, 63 p.
- SZÉKELY F. 2006: Hidrogeológiai modellvizsgálatok eredményei az ÉK-Alföld porózus üledékeiben. — *Hidrologiai Közlemények* **86/4**, 23–28.
- SZUCS, P., CIVAN, F. & VIRAG, M. 2006: Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling. — *Hydrogeology Journal* **14**, 31–43.
- SZŰCS P., TÓTH A. & VIRÁG M. 2006: A leggyakoribb érték (MFV) módszerének alkalmazása a hidrogeológiai modellezésben. — *Hidrologiai Közlemények* **86/4**, 29–36.
- TÓTH, J. 1995: Hydraulic continuity in large sedimentary basins. — *Hydrogeology Journal* **3/4**, 4–15.
- TÓTH J. 1995: A nagy kiterjedésű üledékes medencék felszín alatti vizeinek hidraulikai folytonossága. — *Hidrologiai Közlemények* **75/3**, 153–160.
- TÓTH, J. & ALMÁSI, I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. — *Geofluids* **1/1**, 11–36.
- VARSÁNYI, Z-NÉ 2000: Felszín alatti vízmozgási rendszerek elkülönítése a Dél-Alföldön kémiai és izotópos vizsgálatok alapján. — *Hidrologiai Közlemények* **80/3**, 145–156.
- VIRÁG M. 1978: Földtani szelvények szerkesztése matematikai statisztikai módszerek felhasználásával. — *Kézirat*, Alkotó Ifjúság Pályázat, 1978.
- VIRÁG M. 2013: Felszín alatti vízadó összletek komplex hidrogeológiai vizsgálata a Felső-Tisza vidéken. — *Kézirat*, Doktori (PhD) értekezés, Miskolc 2013, 22 p.
- VKKI 2010: *A Duna vízgyűjtő magyarországi része Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv*. — Budapest, 75–79.
- VÖLGYESI I. 2004: A Nyírségi régió felszín alatti vízháztartása, kitermelhető vízkészlete. — *Kézirat*, Budapest, 61 p.
- Kézirat beérkezett: 2013. 10. 28.