

Felszíni és felszín alatti vizek kapcsolata a Duna-Tisza közti Kelemen-szék és Kolon-tó esetében

Surface and subsurface water interaction in the Duna–Tisza Interfluve,
Hungary – Lake Kelemen-szék and Lake Kolon

MÁDLNÉ SZÖNYI Judit¹, SIMON Szilvia¹, TÓTH József¹, POGÁCSÁS György¹

10 ábra, 1 táblázat

Összefoglalás

A tanulmány a felszín alatti vízáramlási képből kiindulva a Duna-Tisza közti tavak hidraulikai helyzetét elemzi, különös tekintettel a duna-völgyi Kelemen-székre és a Kolon-tó környezetére. Az áramkép rekonstrukciója a medencealjzatig terjedő adatfeldolgozással történt a vizsgálandó tavak tágabb környezetére. Az eredmények rávilágítanak a tavak áramlási rendszerben elfoglalt helyzetétől függő, eltérő hidraulikai helyzetére. A Kolon-tó a hátság felől kap utánpótlódást, míg Ny-i oldalán lead vizet a felszín alá. A Kelemen-szék a medence alsóbb régióiból érkező magas sótartalmú feláramlás megcsapolódása. Ez a mélységi eredetű víz hígul a hátság felől áramló, csapadék eredetű víz hatására. A kelemen-széki megcsapolódás talajvízszint depresszió formájában és vele jól korrelálhatóan a talajvíz magas oldott anyag tartalmában (TDS, Cl⁻, Na⁺) is megmutatkozik. A Kelemen-szék és a felszín alatti vizek közötti kapcsolat szivárgásmérőkkel, megfigyelőkutakkal és vízszintmérésekkel pontosan is kimutatható. A munka alapkutatási jelentőségén túl, a Víz Keretirányelv végrehajtása kapcsán, a felszíni és felszín alatti víztestek lehatárolása során felmerülő problémákra is felhívja a figyelmet.

Abstract

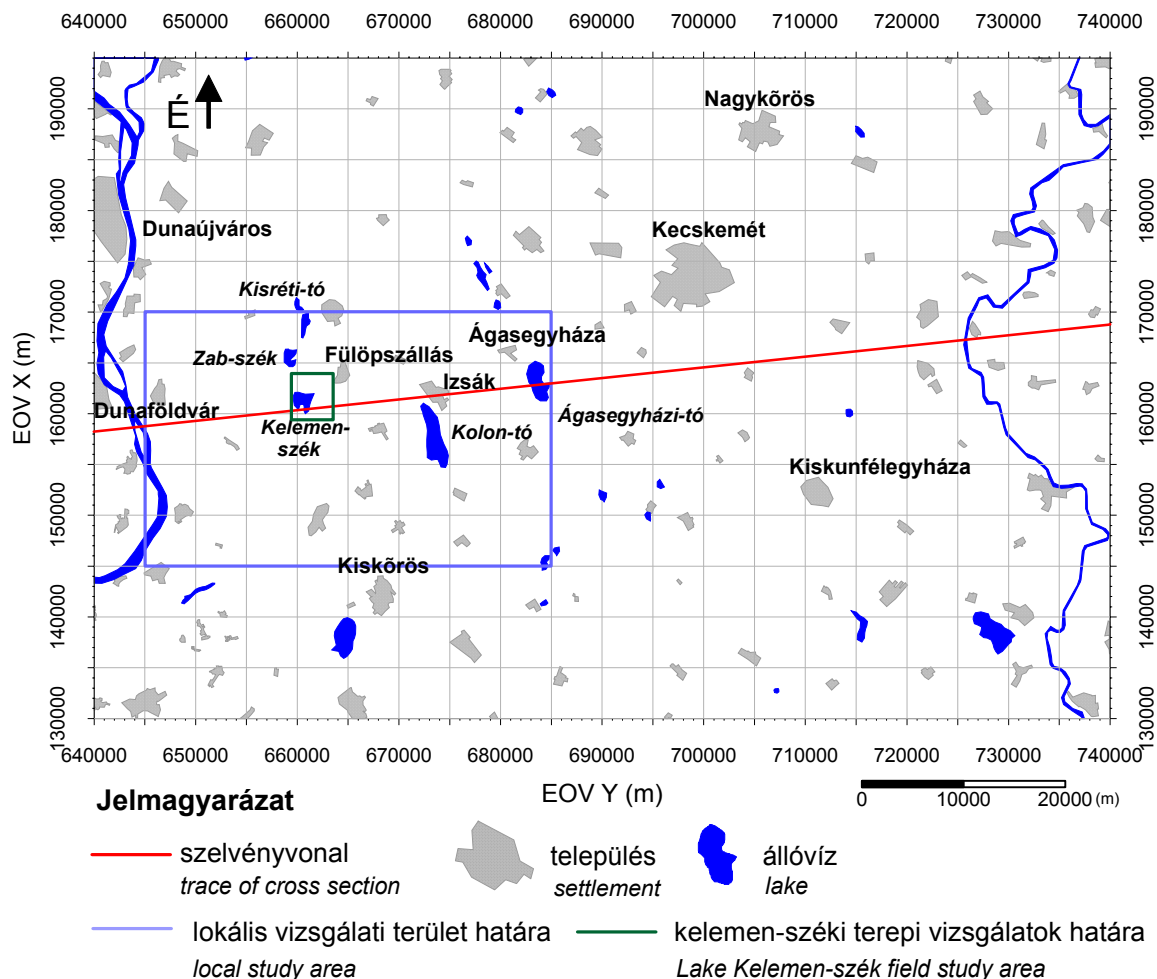
Our study examines the hydraulic position of the lakes in the Duna-Tisza Interfluve (DTI), especially of Lake Kelemen-szék and Lake Kolon in the Danube valley, from the point of view of the groundwater flow systems. The groundwater flow system was reconstructed in the wider vicinity of the lakes by detailed examination of the basin fill sediments underlined by the crystalline basement. The results reveal different hydraulic situation of the lakes, depending on their position in the groundwater flow system. Lake Kolon receives the discharge of a local gravity-flow (i.e. meteoric) system from the east, and discharges fresh water to the groundwater from its west side. Lake Kelemen-szék is the discharge place of highly salted groundwater, originated in the deeper part of the basin. This deep-origin groundwater mixes with meteoric water, seeping from the ridge of the DTI towards the Duna. The groundwater-discharge in the close vicinity of Lake Kelemen-szék appears in the form of groundwater depression and in the high TDS, Na⁺, Cl⁻ concentration of the groundwater around the lake. Connection between Lake Kelemen-szék and the groundwater system was also proved pointwise by seepage meters and piezometers, and by the observation of lake level. Our research program – besides its scientific merit – highlights the problems in delineating surface and subsurface water bodies according to the EU Water Framework Directive

¹ ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, UNESCO Chair „Erdélyi Mihály” School of Advanced Hydrogeology, 01117 Budapest, Pázmány éter. sétány 1/c.

Bevezetés

Az ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszékén tíz éve folyik hidrogeológiai kutatás az Alföld áramlási rendszereinek jobb megismerése érdekében (ANGELUS, 1996; ARDAY, 1996; GÁL, 1998; KORITÁR, 1999; ZSEMLE, 2000; VARGA, 2001; ZSEMLE et al., 2002; SIMON, 2003; MÁDL-SZŐNYI és TÓTH, 2004; SIMON és NYÚL, 2004). Ebbe a folyamatba kapcsolódik be a tavak és felszínalatti vizek kölcsönhatásának vizsgálatával foglalkozó munkánk. Kutatásaink kiindulópontját Thomas WINTER (1976, 1999, 2004) tanulmányai jelentették, aki a kérdést a hidrogeológiai környezet elemei (domborzat, földtani és klimatikus környezet) oldaláról vizsgálta. 1976-ban elkészült, numerikus szimuláción alapuló doktori dolgozatával (WINTER, 1976) új kutatási irányt teremtett. Ennek lényege a tavak és a felszín

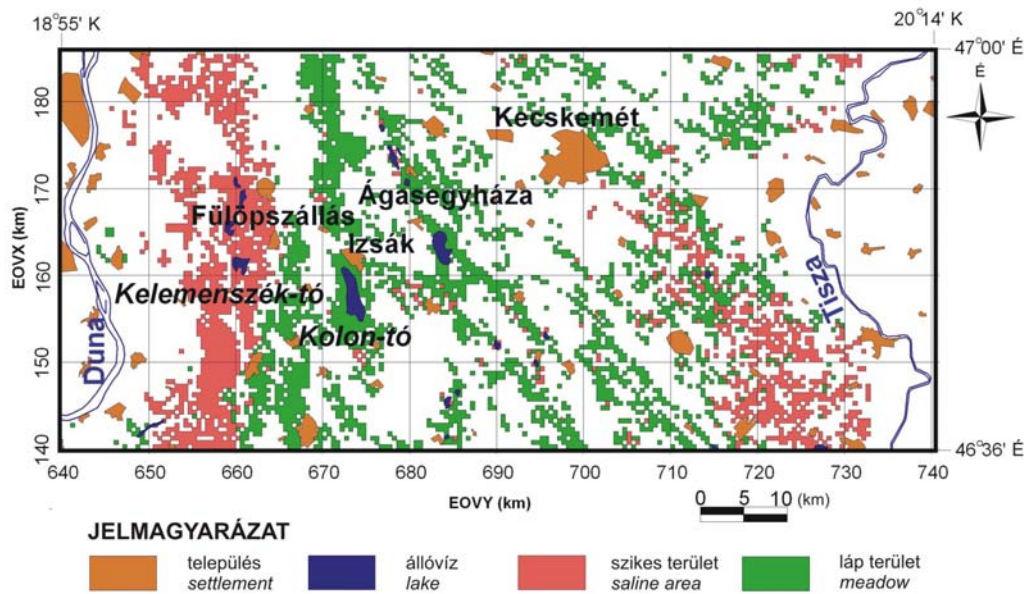
alatti vizek kapcsolatának – a felszín alatti vízármlási képből kiinduló – sokoldalú elemzése: kémiai, izotóp-eloszlási, vízháztartási, tápanyagellátottsági és egyéb szempontból. Dolgozatai alapvetően elméleti eredményekkel szolgáltak, melyek igen jól használhatónak bizonyultak a gyakorlatban. A limnológia és hidrogeológia határterületét érintő témának mára gazdag irodalma alakult ki (MCBRIDE és PFANNKUCH, 1975; LEE, 1977; ANDERSON és MUNTER, 1981; SHAW et al., 1990b; LEE és SWANCAR, 1997; WINTER, 1976, 1999; SEBESTYEN és SCHNEIDER, 2001; etc.). Ezekben a tanulmányokban foglalt közelítést kívántuk alkalmazni a Duna-Tisza közti tavak, elsősorban a Kelemen-szék, érintőlegesen pedig a Kolon-tó elemzése kapcsán.



1 ábra. A Duna–Tisza-közi vizsgálati terület.

Fig. 1. Location of the study area in the Duna–Tisza Interfluve.

Legend: 1. Profile. 2. Settlement. 3. Lake. 4. Location of nearsurface studies. 5. Location of local studies.



2. ábra. Szikes, lápi talajtípusok, vegetáció a vizsgálati területen (BÍRÓ et al., 2000).
 Fig. 2. Distribution of saline and meadow soils and vegetation (after BÍRÓ et al., 2000).
 Legend from left to right: 1. Settlement. 2. Lake. 3. Saline soil. 4. Meadow.

Problémafelvetés

A Kelemen-szék a Duna-völgyi szikesek zónájában található. A Kiskunsági Nemzeti Park területén fekvő Kisréti-tó, Zab-szék láncolat legdélebbi tagja, a Dunától kb. 20 km-re K-re, Fülöpszállástól 3–4 km-re DNy-ra helyezkedik el. Elterjedésének területe a talajtani (BAKACSI adatszolgáltatása, 2002) és a növényzeti adatok (BÍRÓ et al., 2000) felhasználásával szerkesztett térkép alapján a sós talajtípusokkal és sótűrő növényzettel érintett övezetbe tartozik. A Kolon-tó e helytől mindössze 13 km-re K-re, Izsáktól DNy-ra található. Az Ágasegyházi-tó a Dunától kb. 45 km-re K-re, Ágasegyházától DK-re fekszik (1. ábra). A Kolon-tó és az Ágasegyházi-tó a lápi vegetáció és a vízhatású talajok zónájában helyezkedik el (2. ábra). Az Alföld Atlasz térképei (Dunaújváros-Izsák: KUTI és KÖRÖSSY, 1989) a talajvíztükör szintjében – a talaj- és növényzeti jellegek változatossága mellett – a kémiai paraméterek „mozaikosságát” is jelzik (3. ábra).

A felszín alatti vízáramlási rendszerek természetéből elméletileg következik (ENGELEN és KLOOSTERMAN, 1996), hogy a talajvíztükör szintjében az egymással szomszédos utánpótlódási és megcsapolódási területek mintázata mozaikos. Konkrétan tehát az a kérdés merül fel, hogy a vizsgált területen a tavak környezetében észlelt markáns talajtani és növényzeti különbségek, valamint a talajvíz-kémia „foltossága”

összefüggésbe hozható-e a felszín alatti vízáramlási rendszerekkel? Ebből következik-e a tavak egyenként eltérő kapcsolata a felszín alatti vízáramlási rendszerekkel?

A Kelemen-szék is magában foglaló duna-völgyi szikes területek kialakulásában korábbi szerzők mellett VÁRALLYAY (1967) és ERDÉLYI (1967, 1979) is szerepet tulajdonítottak a nagy sótartalmú felszín alatti vizek feláramlásának. A só felszínre kerülésének útját, a szállító felszín alatti vízáramlás pályáját azonban sem adatfeldolgozással, sem numerikus szimulációval nem vizsgálták a medencealjzatig kiterjedően. Az első ilyen irányú kisléptékű, az egész Alföldre kiterjedő elemzés TÓTH és ALMÁSI (2001) nevéhez fűződik. A Duna és a Tisza között, területünkől D-re húzódó szelvényük (TÓTH és ALMÁSI 2001, Fig. 20, p. 28.) a medence teljes mélységéből származó adatokkal támasztja alá az előző kérdéssel megfogalmazott hipotézist.

TÓTH és ALMÁSI (2001) tanulmánya rávilágít egy, a témánk szempontjából fontos másik szempontra is, miszerint az Alföld aljzatában kétféle áramlási rendszer különíthető el. Egy felszíni eredetű, gravitáció által hajtott és egy kompressziós, a medencealjzattól származó feláramlás. A mélységi eredetű, feltételezhetően magas oldott anyag tartalmú feláramlás – a

föntiekben hivatkozott szelvénymenti feldolgozás (TÓTH és ALMÁSI, 2001) alapján – a Duna-völgyi szikesek zónájában közelíti meg leginkább a felszínt. A Duna-Tisza közén beszivárgó, csapadék eredetű vizek hátság alatti mélybeszivárgását ez a medencealjzat felől érkező magas sótartalmú feláramlás gátolja, a „hidraulikus alátámasztás” révén. A hivatkozott szelvény alapján a csapadékvíz beszivárgása mindössze (-300)–(-400) mBf-ig lehetséges a feláramlás gátló hatása miatt. A regionális célokat szolgáló TÓTH és ALMÁSI (2001) tanulmányból ugyanakkor nem rajzolódik ki a felső – (400–500) m vastag – üledékösszletben zajló folyadék-áramlás geometriája, így hipotézis szinten sem tehető becslés a Kolon- és Ágasegyházi-tóval kapcsolatos összefüggésre vonatkozóan.

Ahogy láttuk, a vizsgált tavak felszín alatti vizekkel való kapcsolata kevésbé ismert. Ugyanakkor keletkezésük okait – a felszínközeli viszonyok oldaláról – számos szerző elemezte. Véleményük szerint a hátsági tavak, így az Ágasegyházi-tó is a szél által kialakított buckasorok mélyedéseiben összegyűlő vízből

keletkeztek (MOLNÁR és KUTI, 1978; MOLNÁR, 1994). A Kolon-tavat a Duna egykori, futóhomokkal feltöltött folyóágának tekintik. A semlyék utáni időtől származtatják a tavi időszakot, amelyet a kémiai kicsapódású karbonátiszap és felette a tőzeg reprezentál. A tó kiszáradási periódusaihoz kötik a szikesedést (MOLNÁR et al., 1979). A Duna-völgyi szikes tavakkal kapcsolatban, a tavak É–D-i irányú tengelyében megjelenő, maximális oldott anyag tartalom okaként azt találták (MOLNÁR és KUTI, 1978), hogy itt a legvékonyabb (0,5–0,9 m) a felszín alatti vízzáró réteg, amely az egyébként nyomás alatt kapillárisan felemelkedő vízből itt gyűjti össze az oldott anyagot. A legtöbb oldott anyagot tartalmazó talajvízből, a legkisebb mélységben elhelyezkedő talajvízszintből, a vízzáró rétegek elterjedéséből és a morfológiailag legmélyebb helyzetből vezetik le a legjobban elszikesedett területet.

Ezek a megállapítások – a felszín alatti vízáramlási rendszerek oldaláról vizsgálva a kérdést – új megvilágításba kerülnek.

A vizsgálati terület lehatárolása és hidrogeológiai környezeti jellemzői

A Duna-Tisza közén Ny-on Dömsödtől Paksig, K-en Martfűtől Csongrádig terjedő sáv közötti régiót jelöltünk ki vizsgálati területül (1. ábra). Az ábrán feltüntetett szelvényvonal teljes régióra eső és a felszín közeli vizsgálati területen belüli szakaszának feldolgozását, valamint a kelemen-széki lokális és pontszerű kutatásokat ismertetjük tanulmányunkban.

A vizsgált Duna-Tisza-közi terület a régió középső részén található, az É-i szélesség $46^{\circ} 33'$ és a $47^{\circ} 00'$, valamint K-i hosszúság $18^{\circ} 55'$ és $20^{\circ} 14'$ között (1. ábra). A folyók távolságát tekintve 80–100 km széles sáv. A régió magassága a folyók (80–95 mBf) felől az É–D, majd ÉK–DNy-i irányban húzódó hátsági vízvásztóig (130–140 mBf-ig) növekedik. A Duna és a Tisza völgye mint fő megcsapolódási területek között húzódó hátsági gerinc képezi a csapadékvíz utánpótlódás fő övezetét. A területet mesterséges csatornák is behálózzák. Öntözési és belvíz elvezetési célokat szolgálnak. Ezek közül a legfontosabb a Dunavölgyi-főcsatorna.

A terület éghajlata mérsékelt kontinentális. Az évi átlaghőmérséklet 10–11 °C, az évi csapadék 500–600 mm. A csapadékeloszlás júniusi és novemberi maximummal jellemezhető. A két folyó közötti területen az ÉNy-i szelek gyakorisága a legnagyobb, ez tükröződik a

területet beborító szélfújta formák ÉNy–DK-i csapásirányában (TÓTH, 1979).

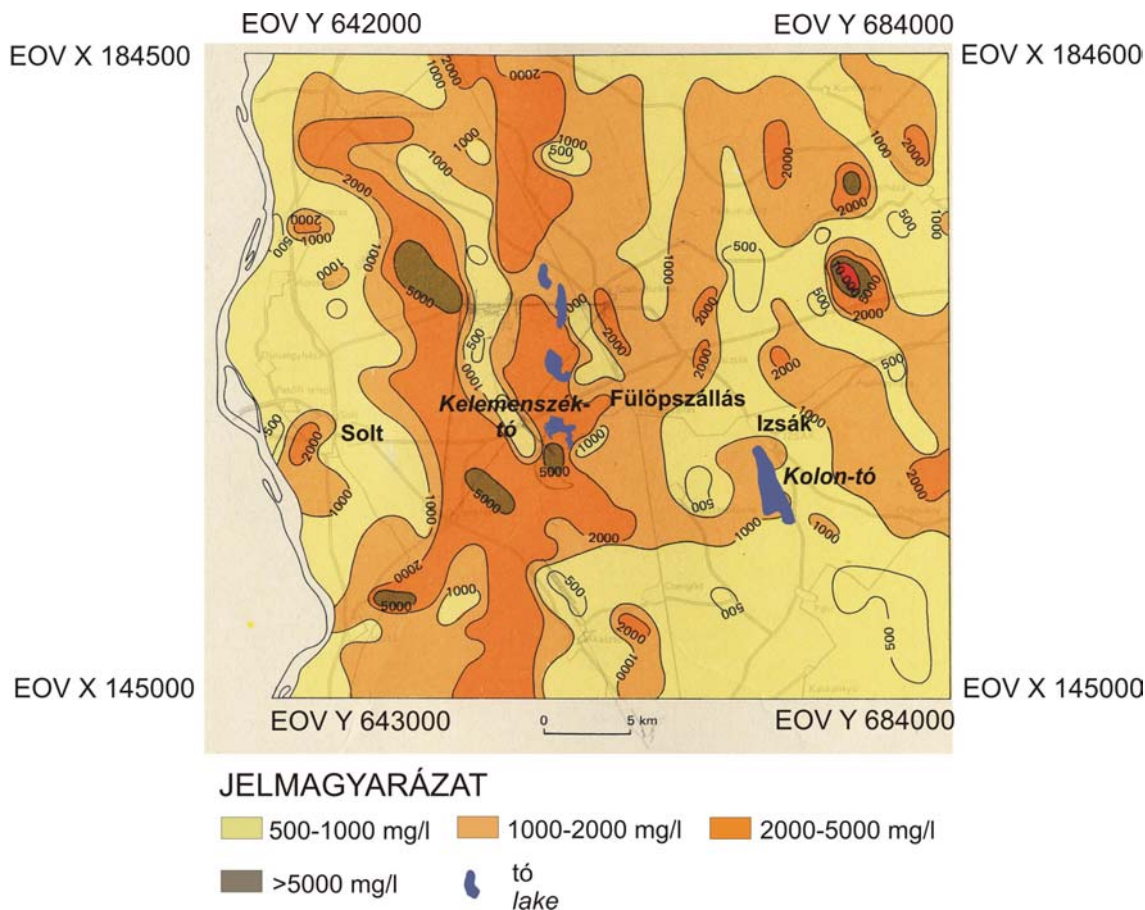
A munkaterület földtanilag a Pannon-medence része. Nyugatról kelet felé haladva (~600) – (>4000) m vastagságban neogén korú diagenizált, illetve kevésbé diagenizált tengeri, delta, tavi és folyóvízi üledékekkel kitöltött (JUHÁSZ, 1991). A neogén tektonika (BÉRCZI et al., 1988; RUMPLER és HORVÁTH, 1988; POGÁCSÁS et al., 1989; JUHÁSZ, 1991; CLAYTON et al., 1990; CSONTOS, 1995; HORVÁTH és CLOETHING, 1996; PERESSON és DECKER, 1997; FODOR et al. 1999; GERNER et al., 1999; HÁMOR et al., 2001; NEMČOK et al., 2005) meghatározó jelentőségű a vízáramlások pályái szempontjából. Az üledékek a neogén előtti aljzatra települnek, melynek magasságkülönbségei – erősen tektonizált jellege miatt – helyenként meghaladják a 3000 m-t (JUHÁSZ, 1991).

A preneogén aljzat hidraulikus vezetőképessége elhanyagolható. A medence-kitöltést hidrosztratigráfiailag TÓTH és ALMÁSI (2001) három egységre osztja. Az alsó képződmények márga, homokkő és agyag anyagúak, hidraulikus vezetőképességük 10^{-9} – 10^{-6} m/s közötti. Ezeket a regionális kiterjedésű Algyői Vízfogó (K~ 10^{-8} m/s) választja el az Alföldi Vízfogó konszolidálatlan üledékeitől (K~ 10^{-5} m/s). A negyedkori, legfelső hidrosztratigráfiai egység jó

vízvezető folyóvízi, eolikus képződményekből, valamint tavi agyagból áll.

A felszíni hidrogeológiai (talajtani, növénytani) jelenségek (TÓTH, 1984) alapján markánsan elkülönülő övezetek (2. ábra) jól kirajzolódnak az Alföld Atlasz (Dunaújváros-

Izsák: KUTI és KÖRÖSSY, 1989) talajvíz kémiát bemutató lapjain is, legszembeötlőbben az összes oldott sótartalom, azaz TDS (Total Dissolved Solid) vonatkozásában (3. ábra). Ugyanakkor megmutatkoznak az egyes tavak és környezetük egyéb felszíni hidrogeológiai jellemzőiben is.



3. ábra. Az Alföld Atlasz (Dunaújváros-Izsák) a talajvíz összes oldott anyag tartalmát (TDS) bemutató térképe (KUTI és KÖRÖSSY, 1989).

Fig. 3. Distribution of total dissolved solids in the uppermost groundwater (after KUTI & KÖRÖSSY, 1989).

A vizsgált tavak közül a legnyugatabbi Kelemen-szék 92 mBf-en fekszik (1. ábra). Környezetét szikes talajtípusok jellemzik, ahol sótűrő növények, a szikesedés övezetessége és a pórusnyomás növekedéséből fakadó talajgyengesség (4. ábra) is megfigyelhetők (SIMON, 2003). Az Alföld Atlasz (KUTI és KÖRÖSSY, 1989) Dunaújváros-Izsák vonatkozó lapjai alapján a talajvíztükör tengerszint feletti magassága a tó környezetében 92–93 mBf. A tavat K-ről a Duna-völgyi főcsatorna határolja, a tótól É-ra pedig a Kelemen-széki-tápcsatorna fut, melyek befolyásolják a tó vízellátottságát. MOLNÁR és KUTI (1978) tanulmánya értelmében a Kelemen-szék és a tőle északra fekvő Kisréti-tó és Zab-szék egy É-

D-i talajvízszint minimummal jellemezhető sávban helyezkednek el. Az összes oldott anyag tartalom MOLNÁR és KUTI (1978) adatai alapján a szikes tavak vonalában a legnagyobb, 2000–4000 mg/l. A tóvíz összes oldott anyag tartalma a Kiskunsági Nemzeti Parktól kapott adatok szerint elérheti a 3000–(20000) mg/l-t, míg a talajvízben 3000–5000 mg/l közötti az értéke. A tó Cl^- tartalma (450–600 mg/l) jelentős, de mennyisége még nagyobb a környező talajvízben (750–1500 mg/l).

Keleti irányban tovább haladva a Kolon-tó következik, amely alig 11 m-rel fekszik magasabb térszínen (103 mBf) a Kelemen-székhez képest (1. ábra). A hidrogeológiai térképezés során itt réti és

láptalaj típusokkal (ZSEMLE, 2000; ZSEMLE et al., 2002) találkoztunk. Jellegzetes édesvízi mocsári növényzet, láperdő övezi. A tóvíz az előző tóhoz képest jóval hígabb, 400–500 mg/l összes oldott sótartalmú. A környező talajvíz is mindössze 500–2000 mg/l oldott anyagot tartalmaz. A klorid-tartalom a felszíni eredetű vizekre jellemző. Értéke a tóban 20–30 mg/l, a talajvízben az Alföld Atlasz (KUTI és KÖRÖSSY, 1989) adatai szerint <100mg/l, az ADUKÖFE-től kapott adatok alapján mindössze 10–20 mg/l körüli.

Az Ágasegyházi-tó 110 mBf magasságon található (1. ábra). Túlnyomórészt semleges vagy mésszel telített talajok veszik körül a futóhomok területen fekvő tavat, amelyet lápi vegetáció övez. Itt csak a környező talajvíz oldott anyag tartalmára vonatkozóan rendelkezünk adatokkal. Az összes oldott anyag tartalom a Kolon-tó környezetéhez képest is kevesebb, 500 mg/l körüli, míg a klorid-tartalom 50–100 mg/l közötti (KUTI és KÖRÖSSY, 1989).



4. ábra. Kelemen-szék: sós talajtípusok, sós tóvíz, talajgyengeség.
Fig. 4. Lake Kelemen-szék: saline soils, saline lake water, weak soil.

Kutatási hipotézis, célkitűzések, alkalmazott megközelítés

Korábbi kutatásaink, a fentiekben tárgyalt tanulmányok és a tavak környezetében észlelt jelenségek alapján vezettük le kutatási hipotézisünket, mely szerint a Kelemen-szék a túlnyomós „mély feláramlás” fölött található, a Kolon-tó a Duna-Tisza közti hátság utánpótlódó, gravitációs rendszer átáramlási övezetében, míg az Ágasegyházi-tó a hátsági utánpótlódási területen fekszik.

A hipotézisben vázolt állítások ellenőrzése – WINTER (1976, 1999, 2004) munkái tükrében – csak a tavak tágabb környezete áramlási viszonyainak ismeretében lehetséges. Az áramlási rendszerek rekonstruálásához – a vizsgálati területre vonatkozóan – a rendelkezésre álló földtani, geofizikai, hidraulikai, vízkémiai adatokon nyugvó adatfeldolgozás módszerét választottuk. Elvégzett kutatásaink részletes tárgyalása messze túlmutat e tanulmány keretein.

Ezért itt az áramkép rekonstrukció kérdéseit csak olyan mértékben tárgyaljuk, amennyire az felállított hipotézisünk ellenőrzéséhez szükséges.

Munkánk során egyrészt alapvetési kérdésekre kerestünk választ. Kíváncsiak voltunk, hogy mi a Kolon-tó és a Kelemen-szék helyzete a felszín alatti vízáramlási képen. Másodsorban elemezni kívántuk – a medencealjzatig történő adatfeldolgozással – a Duna-völgyi szikesek zónája felé tartó feláramlást, hogy követhető-e a felszínig, a Kelemen-székig? Harmadik kérdésünk arra vonatkozott, hogy a feláramlás a felszínen képez-e „hidraulikai ablakot”, szállít-e környezetétől eltérő összetételű vizet a felszín irányában? Megvizsgáltuk, hogy a „hidraulikai ablak” megmutatkozik-e talajvízszint-depresszió formájában és éles kontrasztként a talajvízkémiában? Végezetül helyszíni mérésekkel arra kerestünk választ, hogy a felszívargás közvetlenül mérhető-e a Kelemen-szék aljzatában és a környező megfigyelő kutakban?

A problémakör – a tavak és a felszín alatti vizek kapcsolatának vizsgálata általában, és ebben a konkrét szituációban is – alapvetési jelentőségén túl gyakorlati fontossággal is bír. Csak egyet hangsúlyozva ezek közül: a 2000/60/EU Víz Keretirányelv végrehajtása és a kitűzött célok elérése megköveteli a „víztestek” lehatárolását felszíni és felszín alatti megoszlásban. Ezekre vonatkozik az irányelv számos követelménye. Hogyan alkalmazhatók a

kidolgozott irányelvek a Kelemen-szék és a hozzá hasonló, felszín alól táplált szikes tavak vonatkozásában? Milyen általánosítható tapasztalatok vonhatók le a tavak, mint „víztestek” kezelésére vonatkozóan? Ezekre a kérdésekre is kitérünk dolgozatunkban.

A medencehidraulikai gondolkodás értelmében a lokális problémák is regionális keretbe helyezve oldhatók meg. WINTER (1976) megállapításaival összhangban egy-egy kisebb régió, esetünkben a tavak és felszíni, felszín alatti környezetük az áramlási rendszerek kiragadott részét képezik. Azt, hogy pontosan melyiket, a regionális keretben történő elhelyezés révén tudhatjuk meg. Ezért kutatásainkat úgy végeztük, hogy kiindultunk a a Duna és a Tisza folyók között lehatárolt medencerészből, a felszíntől az aljzatig (1. ábra). Majd a vizsgálati terület nagyságát fokozatosan csökkentettük és megnöveltük az elemzés méretarányát. Így a felszín felé haladva, egyre inkább a tavak területére koncentrálna, nagyobb részletességgel, mégis a regionális keretbe helyezve tudunk elemzéseket végezni. Ezt az is indokolta, hogy a felszín irányában nő a rendelkezésre álló adatok sűrűsége. Három vizsgálati lépcsőt használtunk: „mély regionális”, „sekély regionális” és „lokális”. Erre a megközelítésre a "fokozatos fókuszálás" nevet használjuk tanulmányunkban.

Regionális kutatási eredmények

A Dömsöd és Paks, valamint Martfű és Csongrád közötti vizsgálati területre elvégeztük az áramlási rendszerek regionális felmérését addig a mélységig, ameddig a rendelkezésre álló és a hozzáférhető adatok azt megengedték (MÁDL-SZÖNYI és TÓTH, 2004). Regionális léptékben mély és sekély feldolgozásokat készítettünk a „fokozatos fókuszálás” elve értelmében. A „mély” elemzések kiterjedtek egészen a medencealjzatig, míg a „felső pannóniai” (Dunántúli Formációcsoport) és a negyedidőszaki képződményeket magában foglaló rétegtani egységet külön is vizsgáltuk, a „sekély” feldolgozások keretében. Ez lehetőséget adott arra, hogy a felszín közeli viszonyokat a regionális képbe helyezve értékeljük, de részletesebb, jobb felbontást nyújtó adatok alapján.

Hidraulikai és víz-rétegtani feldolgozást is végeztünk. Az előbbi az áramkép rekonstrukcióját, az utóbbi a vízfogók és vízvezetők valamint a vízvezetésben szerepet

játszó szerkezeti elemek lehatárolását és megjelenítését jelenti. A vízkémiai adatok közül az összes oldott anyag tartalom (TDS), a Na^+ és a Cl^- tartalom bizonyult használhatónak. Természetes eredet esetén mindkettő összefüggésbe hozható a felszín alatti vízáramlási képpel (BACK, 1960; TÓTH, 1984). Az összes oldott anyag, a Na^+ és a Cl^- tartalom növekedése korrelál a kiáramlási területekkel és a magasabb rendű áramlási rendszerekkel. A szórványos vízkémiai adatokat a hidraulikai adatokból levezetett áramkép ellenőrzése céljából használtuk fel. Az elemzéshez az ivóvíztermelő kutak nyugalmi vízszint adatai mellett felhasználtuk a szénhidrogén-kutató fúrások nyugalmi vízszint, és – ahol rendelkezésre állt – vízkémiai adatait, valamint rétegsorait. Elvégeztük a MOL adattárban tanulmányozható és a területre vonatkozó szeizmikus szelvények feldolgozását. Figyelembe vettük a területről és tágabb térségéről publikált (MATTICK et al., 1985; POGÁCSÁS, 1990;

TARI, 1994; VAKARCS, 1997; DETZKYNÉ LŐRINCZ, 1997; TÓTHNÉ MAKK, 2002; TÓTH, 2003) szeizmikus anyagokat és felhasználtuk a

Magyar Geológiai Szolgálattól a T 047159 és 035168 sz. OTKA pályázatok támogatásával vásárolt szeizmikus szelvényeket.

Időszak	Kor	Hidrostratigráfia K (m/s)		
		Mély Regionális Szelvény	Sekély Regionális Szelvény	Részletes Lokális Szelvény
KVARTER	Holocén	Felső- Alföldi VV 10^{-5}	eolikus és tavi VV 10^{-6} - 10^{-4}	VV ₂ 10^{-5} - 10^{-4} VV ₃ 10^{-6} - 10^{-4}
			eolikus és tavi VF 10^{-7} - 10^{-5}	VF ₃ 10^{-11} - 10^{-9} VF ₁ 10^{-7} - 10^{-6}
	eolikus VV 10^{-5} - 10^{-4}		VV ₂ 10^{-5} - 10^{-4}	
	folyóvízi VF 10^{-11} - 10^{-6}		VF ₃ 10^{-11} - 10^{-8} VF ₂ 10^{-9} - 10^{-6} VF ₁ 10^{-7} - 10^{-5}	
	folyóvízi VV 10^{-6} - 10^{-2}		VV ₁ 10^{-5} - 10^{-2}	
	kavics VV _K $>10^{-3}$		kavics VV _K $>10^{-3}$	
	Pleisztocén			
NEOGÉN	Pliocén	Alsó- Alföldi VV 10^{-5}	Alsó- Alföldi VV 10^{-6}	
	Felső-miocén	Algyői VF 10^{-8} - 10^{-7}		
		Szolnoki VV 10^{-7} - 10^{-6}		
		Endrődi VF 10^{-9}		
	Középső-miocén	Prepannóniai VV 10^{-6}		
Alsó-miocén				
HIÁTUS				

1. táblázat. Hidrostratigráfiai tagolás. Jelmagyarázat: VV vízvezető, VF vízfogó.
Table 1. Hydrostratigraphic subdivision. Legend: VV aquifer (AF), VF aquitard (AQT).

Mély feldolgozás és értékelés

A Dunaföldvár és Cserkeszlő között húzódó mély szelvényen regionális vízvezetőket és vízfogókat különítettünk el: a Pannon-medence neogén feltöltődési ciklusait (BÉRCZI és PHILLIPS, 1985; JUHÁSZ, 1991; 1992; 1998) figyelembe véve. Egyúttal megjelenítettük a mélyfúrások és a szeizmikus szelvényértelmezésekből levezethető szerkezeti elemeket is. A vízfogókat és vízvezetőket relatív sorrendbe állítottuk hidraulikus vezetőképességük alapján (MÁDL-SZŐNYI és TÓTH, 2005) (1. táblázat, 5. ábra). A szelvényeken a világosabb tónusok a jobb

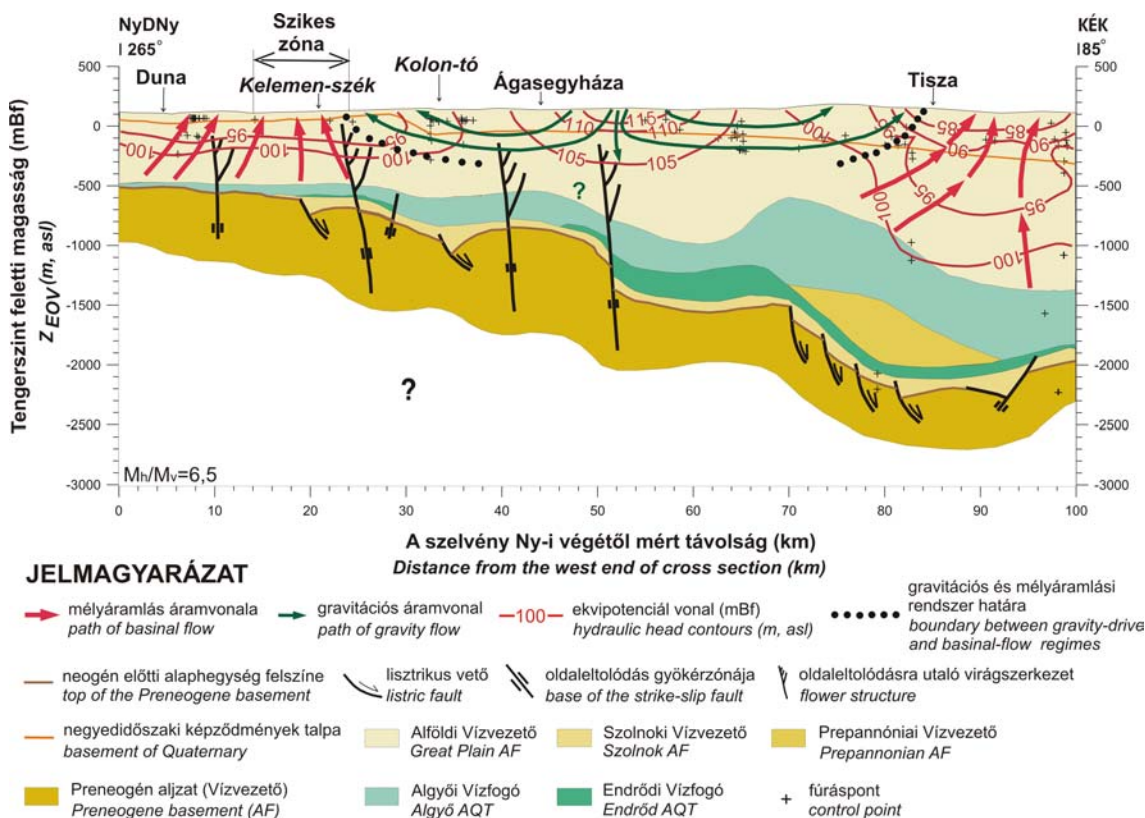
vízvezető és a gyengébb vízfogó képződményeket jelölik.

Nyugalmi vízszintadatok a szelvény (5. ábra) Ny-i részén csak a negyedidőszaki képződményeket magában foglaló Alföldi Vízvezetőre szűrözött kutakból álltak rendelkezésre. Ezek alapján is kirajzolódik egy piros nyilakkal jelölt feláramlás, amely a hidraulikai adatok alapján is elválasztható a hátsági beszivárgási területek felől laterálisan érkező, zöld nyilakkal jelölt megcsapolódástól. A Duna-völgy alatti megcsapolódás – a tótól É-ra és D-re húzódó hasonló szelvényekben – több adat alapján is nyomozható a medence alsóbb régiójáig.

A vízkémiai adatok szerényen álltak rendelkezésre e szelvény mentén. A Duna-völgy alatt (-250) mBf szinten 350 mg/l-es Na^+ tartalmú víz fordul elő. A vizsgált szelvénytől D-re és É-ra található területen a Duna-völgyből már több, 5500–7500 mg/l összes oldott anyag tartalmat jelző adat áll rendelkezésre, különböző mélységekből. Az izsáki Kolon-tó alatt csak 350 m-es mélységben jelennek meg a magas oldott anyag tartalmú vizek. Felette mindössze 500–700 mg/l közötti az összes oldott anyag tartalom.

A hidrosztratigráfiai értékelés Fülöpszállástól K-re miocén félmedencéket jelez a preneogén aljzat fölött (5. ábra). Jelenlegi ismereteink alapján

az aaljzat (ERDÉLYI, 1989) és a miocén félmedencék vize a vetők – mint áramlási útvonalak mentén – kerülhet a „felső-pannóniai” (Dunántúli Formációcsoport) és a negyedidőszaki tározókba. A magas oldott anyag tartalmú víz koncentrált felszínre jutására tehát leginkább a sekély alaphegységű ((-500)–(-700) m a vizsgált szelvény mentén) duna-völgyi régióban kerülhet sor. A Duna-Tisza-közi hátságon a csapadék-eredetű beszivárgás gravitációs vízáramlásokat indít a K-i és a Ny-i félmedencék irányában, amelyek szuperponálódnak a magas sótartalmú feláramlásra, meggátolva annak közvetlen felszínre érkezését.



5. ábra. Mély hidraulikai és vízrétegtani feldolgozás.

Fig. 5. Deep hydraulics and hydrostratigraphy.

Sekély feldolgozás és értékelés

A sekély szelvény nyomvonala megegyezik a mély szelvényével. Mélysége azonban mindössze (-350) mBf-ig terjed. E szelvény célja, hogy a negyedkori képződmények víz-rétegtanát részletesebben láttassa és az ebből a sávból bővebben rendelkezésre álló nyugalmi vízszint adatok alapján a potenciálképet pontosítsa. Ehhez a negyedidőszaki vízáadó rétegekbe mélyült víztermelő kutak, valamint – a szelvény Ny-i

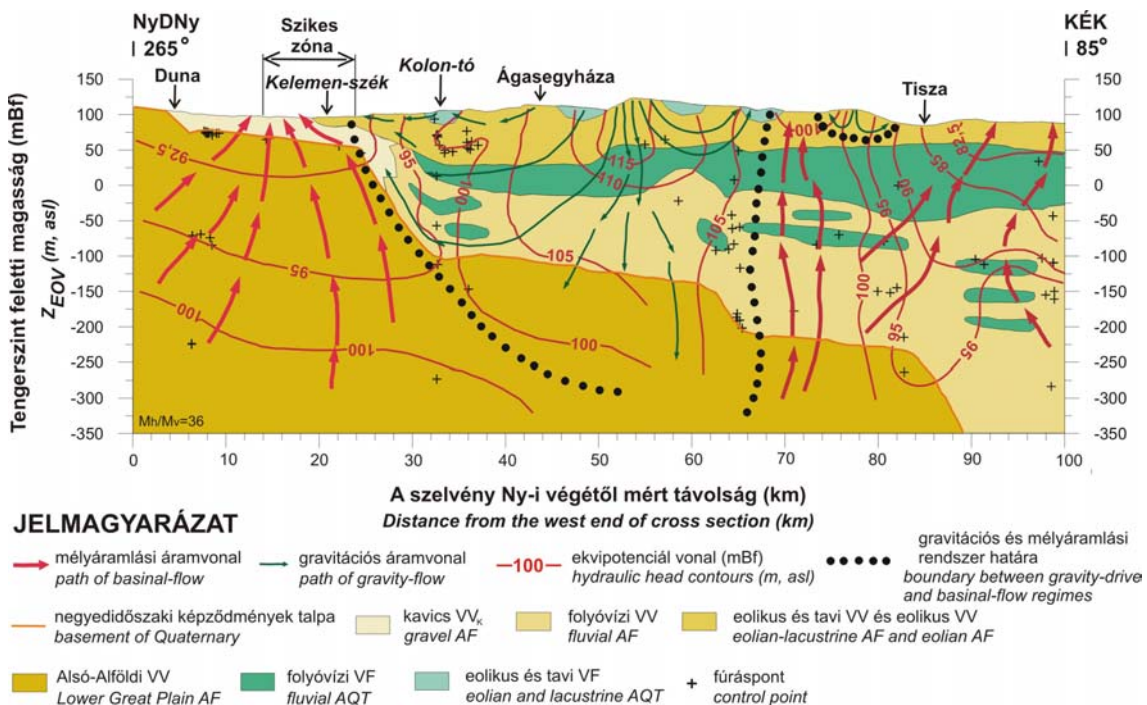
szakaszán – a „felső-pannóniakra” (Dunántúli Formációcsoport) szűrőzött kutak nyugalmi vízszint adatait használtuk fel.

A hidrosztratigráfiai felosztás célja itt is a vízfogók és vízvezetők elkülönítése volt (1. táblázat). A negyedidőszaki rétegekre fókuszálva a Duna-Tisza köze pleisztocén folyóvízi feltöltődési ciklusait (MOLNÁR, 1973, 1977), valamint az eolikus üledékképződést (MOLNÁR, 1961) alapul véve, kőzetfajtanként állapítottunk meg hidraulikus vezetőképesség értékeket. A regionális trendek szemléltetése érdekében a

közvetfajta összevonásával folyóvízi vízvezetőt és vízfogót, valamint eolikus vízvezetőt és vízfogót különítettünk el. Majd ezeket a relatív vízvezető ill. vízfogó képesség alapján sorba rendeztük (MÁDL-SZÖNYI és TÓTH, 2005). A világosabb tónusok itt is a jobb vízvezető és a gyengébb vízfogó képződményeket jelzik. A vízvezetőn belül külön jelöltük a Duna kavicsos homokrégeit, amelyet kiemelkedő jelentőségűnek tekintünk a Duna-völgyi megcsapolódás szempontjából (6. ábra). Ezek alkotják uralkodóan a Duna-völgy negyedidőszaki üledékeit (ERDÉLYI, 1967; KUTI, 1974).

A mély eredetű feláramlás és a hátsági gravitációs rendszerek határa – a sekély feldolgozás alapján is – a Kelemen-széktől K-re húzódik és benyúlik egészen a Duna-Tisza közti

hátsági beszivárgási terület alá. Az alacsony és a magas oldott anyag tartalmú víz, azaz a gravitációsan és tektonikai kompresszió által hajtott vizek határfelülete (-300) mBf-en, a szembeforduló 100-as ekvipotenciál vonalak mentén húzódik. A szelvény értelmében a hátságon beszivárgó, zöld nyilakkal jelölt víz részben a felső eolikus eredetű vízvezetőben szivárog Ny-felé; részben pedig a folyóvízi vízvezetőben koncentrálódik és tart a Kelemen-széktől K-re található megcsapolódás irányába. A Kelemen-szék és a szikes zóna közvetlenül a piros nyilakkal jelölt mélységi eredetű feláramlás fölött található. A kétféle eredetű víz, a felszín közelében a kavicsos homok rétegen keresztül érintkezik egymással.



6. ábra. Sekély hidraulikai és vízrégtani feldolgozás.

Fig. 6. Shallow hydraulics and hydrostratigraphy.

Lokális kutatási eredmények

Archív feldolgozás és értékelés

A lokális vizsgálati területen (1. ábra) belül az előzőeknél részletesebb kutatásokat végeztünk. Itt az Ágasegyháztól a Dunáig terjedő szelvény (7. ábra) menti eredményeinket ismertetjük. A szelvény vonalában a felszínközeli – maximum 100 m-es – rétegösszetét ábrázoltuk. A

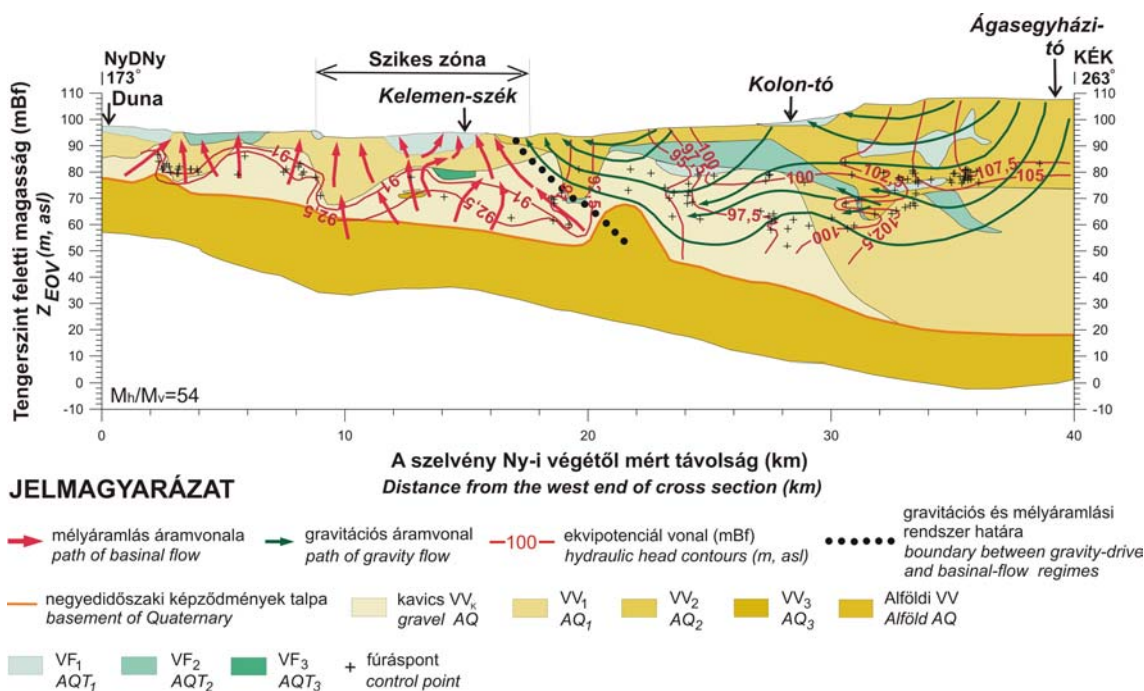
negyedidőszaki rétegeken belül végeztünk részletes elemzést a vízrégtanra és a nyugalmi vízszintekre vonatkozóan. Ezen munkafázisban – a sekély hidrosztratigráfiához képest – részletesebb, közetfajta szerinti hidraulikus vezetőképességi kategóriákat különítettünk el (1. táblázat). A megjelenítés egyszerűsítése érdekében a színek és a tónusok a korábbi szelvényeknek megfelelően változnak a vízvezető képességgel. A

feldolgozással árnyaltabb képet kapunk a felszínközeli vízáramlást befolyásoló litológiai viszonyokról.

A szelvény NyDNy-i felében a potenciálkép jól korrelál a kavicsréteg vastagsági heterogenitásaival. A kavicsrétegből leadott – piros nyilakkal jelölt – víz uralkodóan a felszín felé mozog. A Kelemen-szék egy finomszemű homok lencsén „ül”. A hátság felől érkező, zöld nyilakkal jelölt gravitációs vizek egy lokális áramlás formájában részben megcsapolódnak a Kolon-tó környezetében található édesvízi mocsarak formájában. Emellett a potenciálkép arra is rámutat, hogy míg a tó K-i felén táplálódik, Ny-i felén vizet ad le a talajvíz irányában. A hátságon beszivárgó víz másik része a kavics által koncentráltan eljut Fülöpszállás vonaláig és hozzájárul a Kelemen-szék víz-utánpótlódásához. A tó kutatás szempontjából érdekes eredményt

hozott a vizsgálat az Ágasegyházi-tó esetében is. A tó vízkészlete táplálja a felszín alatti vizeket.

A szelvény mentén rendelkezésre álló szegényes – a VITUKI archívumából beszerzett – vízkémiai adatok megerősítik az áramképből kapott eredményeket. A hátság felől érkező vizek összes oldott anyag tartalma maximum 450 mg/l, Cl⁻ tartalma 5–30 mg/l. A mélységi eredetű feláramlás zónájában, a kavicsban az összes oldott anyag tartalom 2500 mg/l, a Cl⁻ tartalom 600–900 mg/l. A gravitációs és a mélyáramlás érintkezési zónájában átmeneti, 1400 mg/l TDS és 90–110 mg/l Cl⁻ értékekkel találkozhatunk a dunai kavicsüledékben. A hátság felől híg, csapadék eredetű víz mozog a Kolon-tó alatti övezetben, míg a duna-völgyi szikesek és a szikes tavak zónájában a dunai kavicsrétegen keresztül tömény, nagy oldott anyag és Cl⁻ tartalmú víz áramlik a felszín, a Kelemen-szék irányában.



7. ábra. Lokális hidraulikai és víz-rétegtani feldolgozás.

Fig. 7. Local hydraulics and hydrostratigraphy.

Terepi vizsgálatok és eredmények

A továbbiakban a Kelemen-szék közvetlen környezetében (1. ábra) végeztünk terepi vizsgálatokat (SIMON, 2003) annak eldöntése érdekében, hogy a tó lehet-e a mélységi eredetű feláramlás megcsapolódása.

A tó és környezete a terepi térképezés alapján a szikes tavak jellegzetességeit mutatja. A tótlól

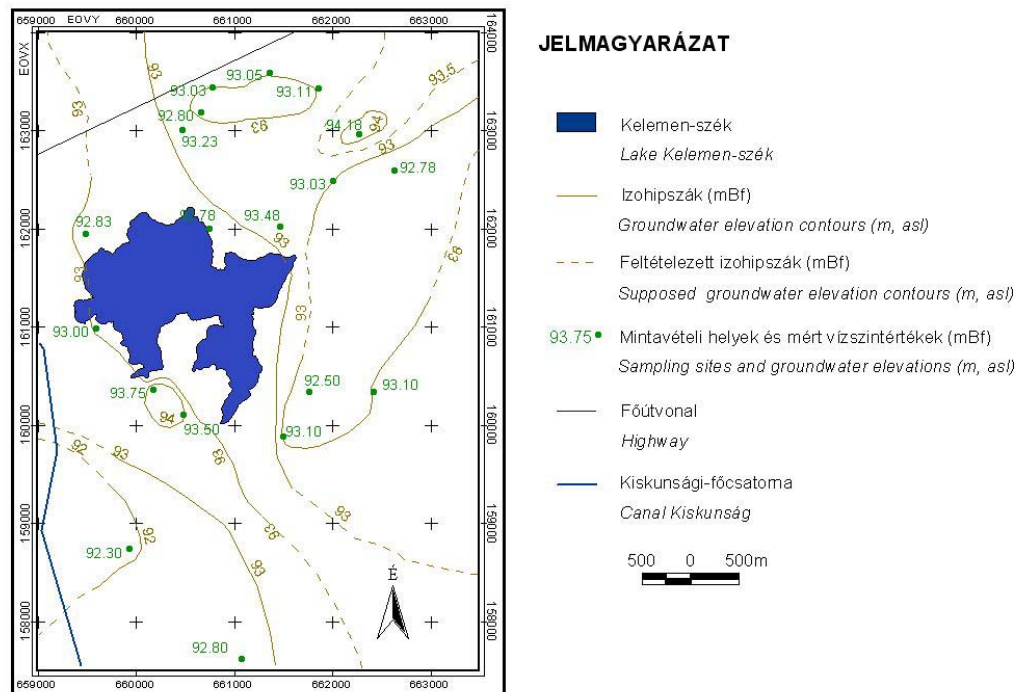
távolodva e jelenségek alapján zónákat jelölhetünk ki (4. ábra). A mélyebb területeken, ahol a tó visszavonult medréből, a vízzel átítatott zónák szapannosodnak, a kisebb mélyedésekben megáll a víz. A tavat körülölelő, pár cm-rel magasabb térszíneken már sókivirágzás jelentkezik, e térszínek peremein pedig padkásodási jelenségek figyelhetők meg. A tavat 100 m-es környezetében növényzettel borított, nedves, szikes területek veszik körül.

A 2003. márciusában végzett talajvízszint felmérés izovonalas ábrázolása alapján a tó egy ÉÉNY–DDK-i irányú, 1–3 km széles lokális depresszióban található (8. ábra). Ezen belül a talajvíztükör tengerszint feletti magassága ≤ 93 mBf. Ettől a sávtól K-re és Ny-ra is magasabb talajvízszint értékeket mértünk. A tó tehát környezeténél mélyebben fekszik, a talajvízdomborzat alapján megcsapolódási helyzetű.

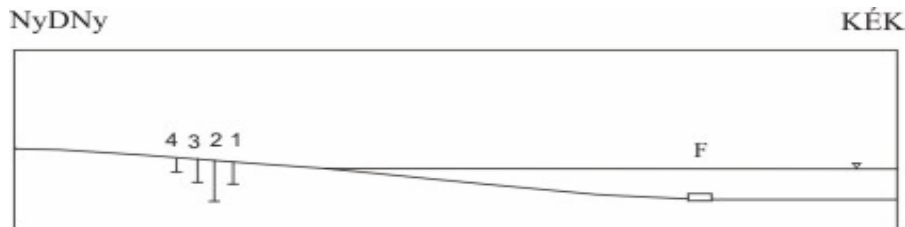
A talajvízből vett vízmintákat a főionokra megelemezve azt tapasztaltuk, hogy azok szoros korrelációban állnak a talajvízdomborzattal. A talajvízben oldott összes sótartalmat vizsgálva a 3000–5000 mg/l-es maximális értékek a lokális

talajvízszint depresszióval esnek egybe. Hasonló képet mutat a Cl^- ion eloszlása, a depresszióban 750–1500 mg/l-os koncentrációkkal. A Na^+K^+ ionok értékei ugyanebben a sávban 1000–2500 mg/l közöttiek. A HCO_3^- tartalom is itt maximális, 1500–3000 mg/l értékekkel. Ezek a tapasztalatok a feláramlás „hidraulikai ablak” jellegét (ENGELEN és KLOSTERMAN, 1996) igazolják.

A felszínen megfigyelhető jelenségek: sós tó, szappanos szikések, sziksókivirágzás, padkásodás, sőtűró növényzet elterjedése korrelál a talajvíz domborzattal és kémiával. Mindezen jelenségek tó körüli, övezetes elrendeződése a tó felszín alól való tápláltságára utal (TÓTH, 1971).



8. ábra. A talajvízdomborzat (mBf) 2003 márciusában (SIMON, 2003) a kelemen-széki lokális mintaterületen.
Fig. 8. Groundwater level (above Baltic sea level) in March 2003 (SIMON, 2003) at Lake Kelemen-szék.



9. ábra. Felszívárgásmérő műszerek (F) és a piezométerek (1-4.) helyzete a tó partján az 1. ábra szelvénye mentén (1:200).
Fig. 9. Seepage meters (F) and piezometers (1-4) around profile of Fig. 1 (scale 1:200).

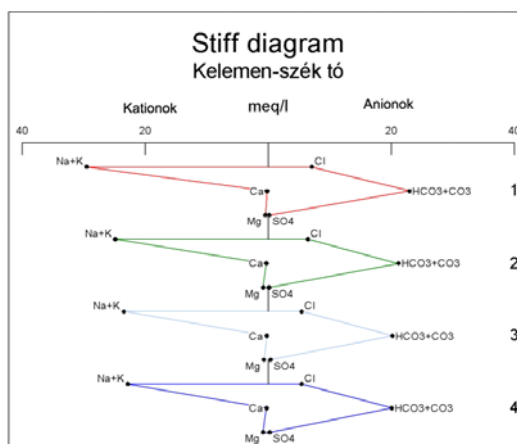
A regionális és lokális vizsgálatokkal sikerült igazolni a Kelemen-szék környezetében az alulról történő utánpótlódást; annak a medence mélyebb részeiből eredő, allochton jellegű; valamint a gravitációs rendszerek megcsapolódása felől, a talajvíz szintjében történő hozzáfolyást. Mindezen jelenségeket a további „fókuszálás” jegyében pontszerűen is vizsgáltuk, magában a tóban és közvetlen környezetében (SIMON, 2003). Ezen vizsgálati fázisban a tó és a felszínalatti áramlások közvetlen kapcsolatára is kíváncsiak voltunk.

Elméleti háttér

A tavak és a felszín alatti vizek kölcsönhatásának jellegét számos tényező befolyásolja: a hidraulikus gradiens változása a tó környezetében, a tó és a vízgyűjtő morfológiája, a tóközvetlen porózus közegének heterogenitása (WINTER, 1976; ANDERSON és MUNTER, 1981; SHAW és PREPAS, 1990a). A kölcsönhatás két alapvető irányáról beszélhetünk. A felszín alatti vízmegcsapolódás a tavak szempontjából beszivárgásnak számít, ugyanakkor a felszín alatti víz utánpótlódás a tavakból kiszivárgást jelent (SEBESTYEN és SCHNEIDER, 2001). A két rezervoár közötti átszivárgás intenzitása kis távolságokon belül is változik. Irodalmi adatok szerint legnagyobb a tó partjának közelében, attól befelé exponenciálisan csökken (MCBRIDGE és PFANNKUCH, 1975; WINTER 1976, 1999). Az intenzitás időbeli változásaival is számolni kell az évszaki változások, csapadékesemények és a vízgyűjtő morfológiája függvényében. Összefoglalva, a kölcsönhatás a felszíni víztest és a felszín alatti vízáramlási rendszer viszonyának, a földtani környezetnek és a klímának egyaránt függvénye (WINTER, 1999).

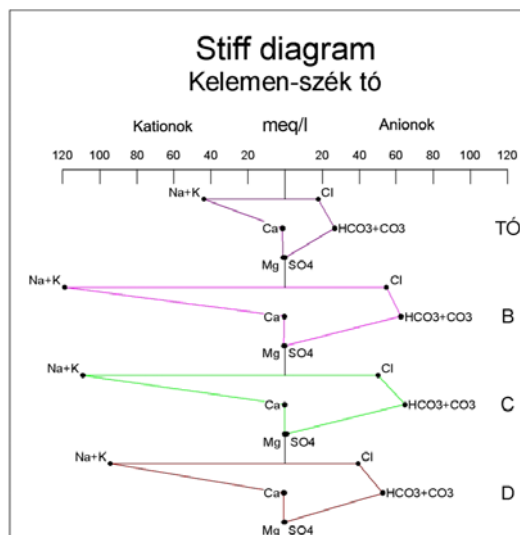
A közvetlen kölcsönhatás jellegét befolyásoló tényezők közül kiemelendő az időben – az aktuális vízszinteloszlásnak megfelelően változó – hidraulikus gradiens szerepe. Ezekből lehet az áramlások irányára következtetni. A tó körüli megfigyelőkutak, valamint a tóvízszint mérése alapján megállapítható a tóvíz és a sekély felszínalatti víz (talajvíz) közötti vertikális vagy horizontális hidraulikus gradiens. A hidraulikus vezetőképesség laboratóriumi vagy szivattyúpróbával történt meghatározását követően a Darcy-törvény alkalmazásával kiszámolható a tóba való ki- vagy beszivárgás mennyisége (LEE, 1977; SEBESTYÉN és SCHNEIDER, 2001). A tómedren keresztüli átszivárgás közvetlenül is mérhető ún. „szivárgásmérő” berendezés (LEE, 1977) segítségével. A szivárgásmérőből történő mintavétellel, a kutak és a tóvíz megmintázásával,

kémiai elemzésével, összehasonlítható a tóközvetlen vizeinek kemizmusára.



10a. ábra. A piezométerek vizének (1-4.) Stiff diagramja.

Fig. 10a. Stiff plot of piezometer water (1-4).



10b. ábra. A tó és a szivárgásmérő műszerek (B, C, D) Stiff diagramja.

Fig. 10b. Stiff plot of the water from seepage meter (B, C, D).

Terepi mérések célja és elrendezése

Munkánk során az előzőekben ismertetett eljárásokat alkalmaztuk. Méréseink célja egyelőre a módszerek, eszközök tesztelése volt.

A tóba négy felszivárgásmérő berendezést építettünk be, valamint a tó mentén négy ideiglenes megfigyelőkutat (d = 0,88–1,26m) létesítettünk (9. ábra). A tóban vízmércét helyeztünk el. Valamennyi objektumot szinteztük. A kísérleti vizsgálatokat 2003. március 24 – április 30. között végeztük.

Magát a szivárgásmérő műszert LEE (1977), kanadai kutató berendezését alapul véve állítottuk elő. Megjegyezzük, hogy RÁDAI (1982) is

alkalmazott szivárgásmérőt a Balaton fenékforrásainak gáz- és vízminta vételezésére, de ő szivattyút használt a vízmintavételhez.

A rendszeres mérésekhez nagyszámú felszivárgás-mérő elhelyezésére van szükség a tó különböző helyein, továbbá piezométer-sorokra. Ezekben időben rendszeres (naponta, hetente, havonta stb) méréseket és mintavételeket kell végezni ahhoz, hogy a tó-felszín alatti víz kölcsönhatás szempontjából megalapozott eredményekre jussunk.

Eredmények

Az eddig elvégzett kísérleti mérések eredményei igazolták a tóba történő feláramlást. A topográfiai depresszióban található tó fő megcsapolója az evapotranspiráció. A feláramlásra utal a felszivárgás-mérőben felfogott víz, valamint a tóparton létesített kutak felszín fölé szökő vízszintje is. A különböző mélységben szűrőzött piezométerek vízszintjeiből számított hidraulikus gradiens értékek is feláramlást jeleznek. A tópart közelében a horizontális hidraulikus gradiens arra utal, hogy tavasszal, a hóolvadást követő időszakban kifolyás észlelhető a tóból, a környező talajvíz irányában.

A vízkémiai mérések és észlelések megerősítették a hidraulikai adatokból kirajzolódó képet. A terepen elvégzett elektromos vezetőképesség-mérésekből számított összes oldott anyag tartalom alapján a 0,9–2,1 m mély piezométerek vize viszonylag homogén (TDS:1800–2000 mg/l). A tóban ennél nagyobb értékeket (kb. 2800 mg/l) találtunk. A felszivárgás-mérőkből származó mintákat kis mennyiségük (≤ 100 ml) miatt nem tudtuk helyszíni vizsgálat alá vetni. A laboratóriumban (MÁFI) végzett teljes főkomponens elemzések ugyanakkor azt mutatták, hogy a legtöményebb vizek a tó mederüledékén felszivárgott és a szivárgásmérő berendezéssel felfogott vizek. A

tóvíz ennél hígabb, míg a leghígabb vizek a piezométerekből származnak.

A tóvíz Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok tekintetében is eltér a felszivárgásmérő és a piezométerek vizétől. A három helyről származó minták közötti legnagyobb eltérés a Cl^- koncentrációban jelentkezett. A Cl^- a piezométerekből és a felszivárgásmérőkből származó mintákban 18 ill. 40–53 %-ot képviselt az anionok között. A $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) / \text{Cl}^-$ arány szintén jól mutatja az eltérést a három forrásból vett és vizsgált vizek között. A piezométerekből származó mintáknál ez az arány 3,5:1; a tó vízében 1,5:1; míg a felszivárgás-mérők esetében 1,3:1-nek adódott (10a, b ábra).

A hidrogeokémiai fácieselemzés (BACK, 1960) alapján a tóvíz a piezométerek vizével mutat rokonságot, NaHCO_3 -os jellegű. A szivárgásmérőből nyert minták, amelyek leginkább reprezentálják az alulról a tóba érkező utánpótlást, klorid-szulfát anion, és nátrium kation fáciesbe sorolhatók (10.a, b ábra).

Az elvégzett mintázások igazolják a tó mederüledékén keresztül a felszínalatti víz hozzáadódását a tó vizéhez. A szivárgásmérőben megmintázott víz összetétele köthető a lokális és regionális léptékben feldolgozott, archiv adatokon nyugvó vizsgálatok alapján kimutatott, mélységi eredetű, felszivárgó víz összetételéhez. Ugyanakkor nem tudjuk, hogy a mért Cl^- koncentrációban mennyi szerepet játszik a tó mederüledékében történő bepárlódás. Ennek kiderítése további vizsgálatokat igényel. Az eredmények mindenesetre kiegészítik a lokális terepi vizsgálatok következtetéseit is. A terepi vizsgálatok a „hidraulikai ablak” környezetében a tó, a talajvíz és a felszivárgó víz kémiai különbségeit mutatják. A tapasztalatok alapot adnak további részletes, időbeli változásokat és a helyi meteorológiai viszonyokat is értékelő kutatások megtervezéséhez.

Gyakorlati kérdések a tavak vízkészletének megítélésakor

A részletesen vizsgált Kelemen-szék és az Ágasegyházi-, valamint a Kolon-tó föntiekben felvázolt kapcsolata a felszín alatti vizekkel, felveti a EU Víz Keretirányelv (Water Framework Directive 2000/60/EC) végrehajtása kapcsán a felszíni és felszínalatti víztestek lehatárolásának problémás voltát. Maradva a Kelemen-széknel, a felszíni és felszín alatti víztestek lehatárolása nem egyértelmű. A vizes élőhelyeket vizsgáló szakemberek szerint célszerű ezt a tavat felszíni víztestként elkülöníteni. Ugyanakkor vizsgálataink

alapján egyértelmű, hogy a megfelelő környezeti állapot fenntartásához a védelmet a felszín alatti rendszer figyelembe vételével kell megtervezni. Felvetődik a kérdés, hogy mekkora területet kell lehatárolni a felszín alatti rendszerből a megfelelő védelem kialakítására? Különösen ebben a helyzetben, amikor a hátsági eredetű gravitációs és a medence alsóbb régióiból származó áramlásnak egyaránt szerepe lehet a tó táplálásában. Másik probléma, hogy a tó időszakos felszíni víztest, amely kezelésére a Keretirányelvnek szintén

nincsen alternatívája. Kiszáradáskor a víztest átkerülhet a felszín alatti kategóriába, míg feltöltődve a felszínibe. Elvben ennek kezelésére vezették be a „wetland” területek fogalmát. A felszíni víztesteknél a vízszintváltozásokra és a kémiai összetétel változásaira egyaránt ügyelni kell, míg felszín alattiaknál csak a kémiai állapot megőrzése a cél a Keretirányelv szerint. E tó

kiszáradása a Keretirányelv értelmében nem probléma, ha közben a kémiai összetétel nem változik meg. Az élővilág viszont pusztulásra van ítélve a vízszint teljes lecsökkenése esetén. E kérdések a Kelemen-székhez hasonló, konkrét példákön keresztül megvitatása segíthet az irányelv helyi alkalmazásainak kialakításában.

Összefoglalás, következtetések

A Duna-Tisza között kijelölt szelvény mentén, a medencealjzatig terjedő adatfeldolgozással rekonstruáltuk az áramképet a vizsgálandó tavak környezetére. A teljes szelvény vonalában kimutatható volt a Duna-Tisza-köze aljzatának medenceüledékei irányából a feláramlás. A feláramlás – szeizmikus adatértelmezéssel is alátámasztottan – tektonikai elemekhez és üledékes „ablakokhoz” köthető. A magas sótartalmú feláramló víz feltehetően az aljzattól és a miocén medencékből származtatható. Ez a mélységi eredetű áramlás – a „fokozatos fókuszálás” elve alapján – egészen a felszínközélig követhető volt. A Duna-Tisza-közi hátság alatti gravitációs, felszíni csapadék eredetű „édesvizet” szállító áramlások a Duna-Tisza-köze Ny-i félmedencéjében, a Duna irányában haladnak. Részben lokális rendszerek formájában csapódnak meg, részben egy magasabb rendű áramlás révén nagyjából Fülöpszállás vonaláig haladnak. Behatolási mélységük legfeljebb 500–600 m-re tehető. A „sós” feláramlás Fülöpszállástól Ny-ra követhető egészen a felszínig, a Kelemen-szék és a környező szikesek zónájáig.

A szelvény menti vizsgálatok rávilágítottak három, a szelvény vonalában fekvő, Duna-Tisza közti tó egymástól homlokegyenest eltérő hidraulikai helyzetére. Az Ágasegyházi-tó „rátáplál” a talajvizre. A Kolon-tó a hátság felől

utánpótlódást kap, míg Ny-i oldalán lead vizet a felszín alá. Végezetül a Kelemen-szék a medence alsóbb régióiból érkező magas sótartalmú feláramlás megcsapolódásaként, egy „hidraulikai ablakban” található. A mélységi eredetű allochton víz hígul a hátság felől szivárgó gravitációs vizek hatására.

A kelemen-széki „hidraulikai ablak” talajvízszint depresszió formájában és vele jól korrelálhatóan a talajvíz magas oldott anyag tartalmában (TDS, Cl⁻, Na⁺) is megmutatkozik. A Kelemen-szék és a felszín alatti vizek közötti kapcsolat szivárgásmérők, megfigyelőkutak alkalmazásával és tóvízszint mérésekkel pontszerűen is kimutatható volt. A hidrogeokémiai vizsgálatok eltérést mutattak ki a tóvíz, talajvíz és a felszivárgó víz összetételében. Mindezek az eredmények hozzájárulnak további vizsgálatok tervezéséhez és a Duna-völgyi szikes tavak, szikes területek, valamint a felszín alatti vizek közötti kapcsolatok elemzéséhez.

A munka – alapkutatási jelentőségén túl – a Víz Keretirányelv végrehajtása kapcsán a felszíni és felszínalatti víztestek lehatárolása során felmerülő problémákra is felhívja a figyelmet. Az eredmények felhasználhatók a Duna-Tisza közti vízellátási problémák kezelése, a mezőgazdasági területhasználat megtervezése, szikes talajok javítása, a lápok és szikes tavak védelme során.

Köszönetnyilvánítás

A munka az OTKA T 047159 és T 035168 pályázatok támogatásával készült. A szeizmikus adatok beszerzésének lehetőségét a Magyar Geológiai Szolgálat biztosította. Ezúton mondunk köszönetet BAKACSI Zsófiának (MTA Talajtani Kutatóintézet) a talajtani, MOLNÁR Zsoltnak (MTA Botanikai Kutatóintézet) a növényteni adatok rendelkezésünkre bocsátásáért. NYÚL Katalinnak (ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék) és VARGA Rolandnak (AQUAPLUS Kft.) megköszönjük az

adattfeldolgozásban, MÁTHÉ Lászlónak az adatgyűjtésben nyújtott segítségét.

A pontszerű vizsgálatok során szerzett minták vízkémiai elemzése a MÁFI laboratóriumában Dr. BARTHA András irányításával történt. A talajvízminták kémiai elemzését tanszéki laboránsunk, VARGA András segítségével végeztük. A kelemen-széki megfigyelések kivitelezését a Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság tette lehetővé.

Irodalom

- ANGELUS B., 1996. A felszínalatti vízáramlások tanulmányozása a Duna–Tisza-köze középső területén, Foktő és Csanytelek között. Diplomamunka. ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest.
- ANDERSON, M. P. és MUNTER, J.A., 1981. Seasonal reversals of groundwater flow around lakes and the relevance to stagnation points and lake budgets. – *Water Resources Research* 17, 1139–1150.
- ARDAY A., 1996. A felszínalatti vízáramlások tanulmányozása a Duna-Tisza közén. Diplomamunka. ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék
- BACK, W. 1960. Origin of Hydrochemical Facies of Ground Water in the Atlantic Coastal Plain. – *International Geological Congress, XXI. Session, Norden.*, 87–95.
- BÉRCZI, I., HÁMOR, G., JÁMBOR, Á., SZENTGYÖRGYI, K. 1988. Neogene sedimentation in Hungary. *In: The Pannonian Basin, a Study in Basin Evolution* (eds ROYDEN, L.H., HORVÁTH, F.). – *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 45, 57–67, Tulsa, OK.
- BÉRCZI, I., és PHILLIPS, R. L., 1985. Processes and depositional environments within the Neogene delta lacustrine sediments, Pannonian Basin, SE Hungary. – *Geophysical Transactions* 31/1–3, 55–74, Budapest.
- BÍRÓ, M., MOLNÁR Zs., VAJDA Z., 2000. A Duna-Tisza köze aktuális élőhelytérképe. Áttekintő térkép, 1:0 változat, MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót.
- CLAYTON, J.L., SPENCER, C.V., KONCZ, I., SZALAY, I., 1990. Origin and migration of hydrocarbon gases and carbon dioxide, Békés Basin, southeastern Hungary. – *Organic Geochemistry*, 8, 233–247.
- Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Indification of water bodies: Horizontal guidance document on the application of the term „water body” in the context of the Water Framework Directive, 15. January 2003.
- CSONTOS, L., 1995. Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. – *Acta Vulcanologica*, 7, 1–13.
- DETKYNÉ LŐRINCZ, K., 1997. Részletes tektonikai vizsgálatok a szolnoki flis öv nyugati peremén szeizmikus és mélyfúrás adatok alapján. Kandidátusi értekezés. MTA., 121 p.
- ENGELÉN, G. B. és KLOOSTERMAN, F. H., 1996. *Hydrogeological System Analysis*. Kluwer Academic Publishers., 152 p.
- ERDÉLYI Á., 1989. A Duna-Tisza közeli mezozoós képződmények vizeinek vizsgálata. – *Földtani Kutatás* 32/4, 49–52.
- ERDÉLYI, M., 1967. A Duna-Tisza közének vízföldtana. – *Hidrológiai Közlemény*, 6, 331–365.
- ERDÉLYI, M., 1979. A Magyar medence hidrodinamikája. – *VITUKI Közlemények*, 18. 1–82.
- GÁL, Zs., 1998. Hidraulikai adatfeldolgozáson és terepmunkán alapuló felszínalatti vízáramkép értelmezés az izsáki Kolon-tó tágabb környezetének példáján. Diplomamunka. ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest.
- GERNER, P., BADA, G., DÖVÉNYI, P., MUELLER, B., ONCESCU, M.C., CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., 1999. Recent tectonic stress band crustal deformation in and around the Pannonian Basin : data and models. *In: The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen* (eds DURAN, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F., SÉRANNE, M.). – *Geological Society of London Special Publication*, 126, 269 – 294.
- HÁMOR, G. POGÁCSÁS, GY. JÁMBOR, Á., 2001. Paleogeographic/structural evolutionary stages and the related volcanism of the Carpatho-Pannonian Region. – *Acta Geologica Hungarica*. 44, 193–222.
- HORVÁTH, F. és CLOETHING, S., 1996. Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian Basin. – *Tectonophysics*, 266, 287–300.
- JUHÁSZ, Gy., 1991. Lithostratigraphic and sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), eastern Hungary. – *Acta Geologica Hungarica*, 34, 53–72.
- JUHÁSZ, Gy., 1992. A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. – *Földtani Közlemény*, 122, 133–165.
- JUHÁSZ, Gy., 1998. A magyarországi neogén mélymedencék pannóniai képződményeinek litosztratiográfiája. *In: Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*, (szerk. BÉRCZI, I. és JÁMBOR, Á.). MOL – MÁFI, Budapest, pp. 469–485.
- KORITÁR, Zs., 1999. Felszín alatti vízáramkép a Kolon-tó környezetében. Diplomamunka. ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest.
- KUTI, L., 1974. A Duna-völgyi legfelső kavicsréteg kutatása az izsáki térképlapon, – *MÁFI Évkönyv* az 1974-es évről, 125–132.
- KUTI, L., és Kőrössi, L., 1989. *Az Alföld Földtani Atlasza – Dunaújváros-Izsák*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- LEE, D.R., 1977. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. – *Limnology and Oceanography*, 25, 140–147.
- LEE, T. M. és SWANCAR, A., 1997. Influence of Evaporation, Groundwater, and Uncertainty in the Hydrologic Budget of Lake Lucerne, a Seepage Lake in Polk County, Florida. – *USGS Water Supply Papers*, 2439.

- MATTICK, R. RUMPLER, J. PHILLIPS, R., 1985. Seismic stratigraphy of the Pannonian basin, SE Hungary. – *Geophysical Transactions, Special Edition* 31, 13–55, Budapest.
- MÁDLNÉ SZÖNYI, J. és TÓTH, J., 2004. Subsurface hydraulic continuity key to understanding wetlands and salinization at Kolon- and Kelemenszék Lakes, Hungary. Groundwater flow understanding from local to regional scales, – XXXIII. IAH and 7. ALHSUD Congress, Zacatecas, Mexico, absztrakt kötet, p. 93.
- MÁDLNÉ SZÖNYI, J. és TÓTH, J., 2005. The Duna-Tisza Interfluve Hydrogeological Type Section, Hungary, kézirat.
- MCBRIDE, M.S. és PFANNKUCH, H.O., 1975. The distribution of seepage within lakebeds. – *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 3, 505–512.
- MOLNÁR, B., 1961. A Duna-Tisza közi eolikus rétegek felszíni és felszín alatti kiterjedése. – *Földtani Közlöny*, 91, 303–315.
- MOLNÁR, B., 1973. Az Alföld harmadidőszak-végi és negyedkori feltöltődési ciklusai. – *Földtani Közlöny* 103, 294–310.
- MOLNÁR, B., 1977. A Duna-Tisza köz felsőpliocén (levantei) és pleisztocén földtani fejlődéstörténete. – *Földtani Közlöny* 107, 1–16.
- MOLNÁR, B., 1994. Vízátározók létesítésének vízföldtani adottságai a Duna-Tisza közi Hátságon. – *Hidrológiai Közlöny*, 74, 341–351.
- MOLNÁR B. és KUTI L., 1978. A Kiskunsági Nemzeti Park III. sz. területén található Kistréti-, Zabszék- és Kelemenszék-tavak környékének talajvízföldtani viszonyai. – *Hidrológiai Közlöny*, 58/8, 347–355.
- MOLNÁR, B., IVÁNYOSI SZABÓ, A., FÉNYES, J., 1979. A Kolon-tó kialakulása és limnogeológiai fejlődése, – *Hidrológiai Közlöny*, 12, 549–560.
- NEMČOK, M. POGÁCSÁS, G., POSPIŠIL, L., 2005. Activity timing of the main tectonic systems in the Carpathian-Pannonian region in relation to the rollback destruction of the lithosphere. In: GOLONKA J., PICHA F. (eds) *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*: – AAPG Memoir 84, 34–53.
- PERESSON, H. és DECKER, K., 1997. Far-field effects of Late Miocene subduction in the Eastern Carpathians: E-W compression and inversion of structures in the Alpine-Carpathian-Pannonian region. – *Tectonics*, 16, 38–56.
- POGÁCSÁS, GY., LAKATOS, L., BARVITZ, A., VAKARCS, G., FARKAS, Cs., 1989. Pliocén-kvarter oldaleltolódások a Nagyalföldön. – *Általános Földtani Szemle*, 24, 149–169.
- POGÁCSÁS, Gy., 1990. A Pannon-medence rétegtani, fácies- és tektonikai viszonyai a szénhidrogén kutató szeizmikus mérések tükrében. Kandidátusi értekezés. MTA., p.143.
- RÁDAI, Ö., 1982. A Balaton felszín alatti táplálásának becslése. VITUKI Témabeszámoló, Budapest, p. 63.
- RUMPLER, J. és HORVÁTH, F., 1988. Some representative seismic reflection lines from the Pannonian basin and their structural interpretation. *In: The Pannonian Basin, a Study in Basin Evolution* (eds ROYDEN, LH., HORVÁTH, F.). American Association of Petroleum Geologists Memoir 45, 153–171, Tulsa, OK.
- SEBESTYEN, S.D. és SCHNEIDER, R.L., 2001. Dynamic temporal patterns of nearshore seepage flux in a headwater Adirondack lake. – *Journal of Hydrology*, 247, 137–150.
- SHAW, R.D. és PREPAS E.E., 1990a. Groundwater–lake interactions: II. Nearshore seepage patterns and the contribution of ground water to lakes in central Alberta. – *Journal of Hydrology*, 119, 121–136.
- SHAW, R.D., SHAW, J.F.H., FRICKER, H., PREPAS E.E., 1990b. An integrated approach to quantify groundwater transport of phosphorus to Narrow Lake, Alberta. – *Limnology and Oceanography*, 35, 870–886.
- SIMON Sz., 2003. Tó és felszínalatti víz közötti kölcsönhatás vizsgálata a Duna-Tisza közi Kelemen-szék tónál. diplomamunka. ELTE TTK, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék
- SIMON, SZ., NYÚL, K., 2004. Local and in situ scale of the interaction between lake-water and groundwater in the Duna-Tisza Interfluve area (Hungary). Groundwater flow understanding from local to regional scales, – XXXIII. IAH and 7. ALHSUD Congress, Zacatecas, Mexico, absztrakt kötet, p. 91.
- TARI, G., 1994. Alpine tectonics of the Pannonian basin. PhD Thesis. Rice University, Houston. p. 500.
- TÓTH, J., 1971. Ground Water Discharge: A Common Generator of Diverse Geologic and Morphologic Phenomena. – *Bulletin IASH* 16, 7–24.
- TÓTH, K., 1979. Nemzeti park a Kiskunságban – Natura kiadó, Budapest, pp. 32–40.
- TÓTH, J., 1984. The Role of Regional Gravity Flow in the Chemical and Thermal Evolution of Ground Water. First Canadian/American Conference on Hydrogeology, Practical Applications of Ground Water Geochemistry, 3–39.
- TÓTH, J., és ALMÁSI, I., 2001. Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. – *Geofluids*, 1, 11–36.
- TÓTH, T. 2003. Folyóvízi szeizmikus mérések. PhD értekezés. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest., 126 p.
- TÓTHNÉ MAKK, Á., 2002. Szekvencia sztratigráfiai vizsgálatok a Duna-Tisza köze középső és déli részének középső miocén rétegsorában. PhD értekezés. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest. 150 p.
- VARGA, R., 2001. Hidraulikai adatfeldolgozás és felszín alatti áramkép értelmezés egy Duna-Tisza közi tanulmányterületen. Diplomamunka, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest.
- VAKARCS, G., 1997. Sequence stratigraphy of the Cenozoic Pannonian basin, Hungary. PhD Thesis. Rice University, Houston. p. 514.
- VÁRALLYAI, Gy., 1967. A dunavölgyi talajok sófelhalmozódási folyamatai. – *Agrokémia és Talajtan*, 16/3, 327–351.

- WINTER, T. C., 1976. Numerical simulation analysis of the interaction of lakes and groundwater. – U.S. Geological Survey Professional Paper 1001, 45 p.
- WINTER, T. C., 1999. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. – *Hydrogeology Journal*, 7, 28–45
- WINTER, T. C., 2004. Hydrological, Chemical, and Biological Characteristics of a Prairie Pothole Wetland Complex Under Highly Variable Climate Conditions – The Cottonwood Lake Area, East-Central North Dakota, – U.S. Geological Survey Professional Paper 1675, 61 p.
- ZSEMLE, F. 2000. A hidraulikai rezsímmjelleg terepi észlelésen alapuló értelmezése az izsáki Kolon-tó környezetében – Szakdolgozat, ELTE, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest.
- ZSEMLE, F., MÁDLNÉ SZŐNYI J., ANGELUS B. 2002. Felszíni hidraulikai rezsímmjelleg térképezése az izsáki Kolon-tó környezetében. – *Hidrológiai Közlöny*, 82, 110–119.