

Parti szűrésű vízbázisok vízföldtani vizsgálata a Duna magyarországi szakaszán

Nyiri Gábor^{1*}, Fekete Zsombor¹, Kolencsikné Tóth Andrea¹, Madarász Tamás¹,
Zákányi Balázs¹, Turai Endre², Nádasi Endre Kázmér², Szűcs Péter¹

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, Miskolc, Magyarország

²Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet,
Miskolc, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu

Beérkezett: 2023. október 31.; elfogadva: 2024. január 10.

Összefoglalás

Jelen tanulmányunkban két Duna menti parti szűrésű vízbázis vizsgálatát tűztük ki célul. A Tiszta Ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig című Nemzeti Kiválósági Program keretében két olyan kiemelt fontosságú parti szűrésű vízbázist vizsgáltunk, amelyek meghatározó szerepet játszanak a Fővárosi Vízművek ellátási területén, Budapesten. Választásunk a Szentendrei-szigeten található surányi vízbázisra, valamint a Csepel-szigeten található ráckevei vízbázisra esett. A két vízbázis vizsgálatának célja az volt, hogy a területen végzett terepi mérések és mintavételezések, valamint a modellezési szimulációk segítségével átfogó képet kapjunk ezen két terület hidrogeológiai viszonyairól, hidraulikai viselkedéséről. Ennek érdekében számos terepi mérést végeztünk, amelyek fontos adatokat szolgáltattak a két vízbázis hidrodinamikai modelljének felépítéséhez és kalibrációjához.

Kulcsszavak: parti szűrés, hidrodinamikai modellezés, Revised Multi-Node Well, csápos kút, Tiszta Ivóvíz Projekt

Hydrodynamic modeling of riverbank filtrated systems along the Danube River in Hungary

Gábor Nyiri^{1*}, Zsombor Fekete¹, Andrea Kolencsikné Tóth¹, Tamás Madarász¹,
Balázs Zákányi¹, Endre Turai², Endre Nádasi², Péter Szűcs¹

¹University of Miskolc, Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering,
Institute of Water Resources and Environmental Management, Miskolc, Hungary

²University of Miskolc, Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering,
Institute of Exploration Geosciences, Miskolc, Hungary

*Corresponding author: gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu

Summary

In this study, we dealt with two significant riverbank filtration systems along the Danube: the Surány water base located on Szentendre Island and the Ráckeve water base located on Csepel Island. These are two important drinking water bases of the Budapest Water Works, which provide a significant proportion of the capital's water needs and are of great importance from the point of view of water security. At these riverbank filtered water bases, water is produced with horizontal collector wells, which, thanks to their design, are capable of extracting large amounts of raw water. The aim of our work was to get to know the geological and hydrogeological conditions of the area using the tools of field measurements and geophysical measurements. To this end, we measured the following parameters in different temporal resolutions: water level, temperature, specific electrical conductivity, pH. In this study, we present the results that have more significant information. Geophysical tests were also carried out at the two water bases, which provided important information regarding the geological inhomogeneity. Using the field measurements, two hydro-

dynamic model was also built for each study area. Our field measurements were also a great help for the calibration of our model. In this study the calibration of these models was shown. The hydrodynamic models were performed in the modeling environment of the Groundwater Modeling System, using the MODFLOW code. The characteristic of the model is that the tentacle wells were defined using MODFLOW's Revised Multi-Node Well package. With the help of these models we would like to determine the arrival times in the future, as well as examine different scenarios that can be linked to extreme weather conditions. Based on the field measurements, we can make the following main conclusions regarding the examined water bases:

- During the entire period of the year, the hydraulic gradient from the Danube side is greater than from the background direction. Based on this, we can say that the Danube is the dominant supply water source in both cases.
- The hydraulic gradient changes over time, which is constantly influenced by changes in the water level of the Danube and changes in the produced yields.
- As the hydraulic gradient changes, the speed of the water flow also changes, so the access time changes from time to time, even from day to day.
- The specific electrical conductivity measurements showed that the Danube's flood causes a large decrease in the value of the specific conductivity in the northern area. In addition to the decrease in conductivity, the measurement results also show a time shift, which, does not necessarily show the value of the access time.
- Based on geophysical measurements, it can be said that the Ráckeve water base has greater inhomogeneity than the Surány water base. As a result, the zonal calibration of the hydrodynamic model of the Ráckeve water base became necessary.

Keywords: riverbank filtration, hydrodynamic modeling, horizontal collector well, Revised Multi-Node Well, Drinking Water project

Bevezetés

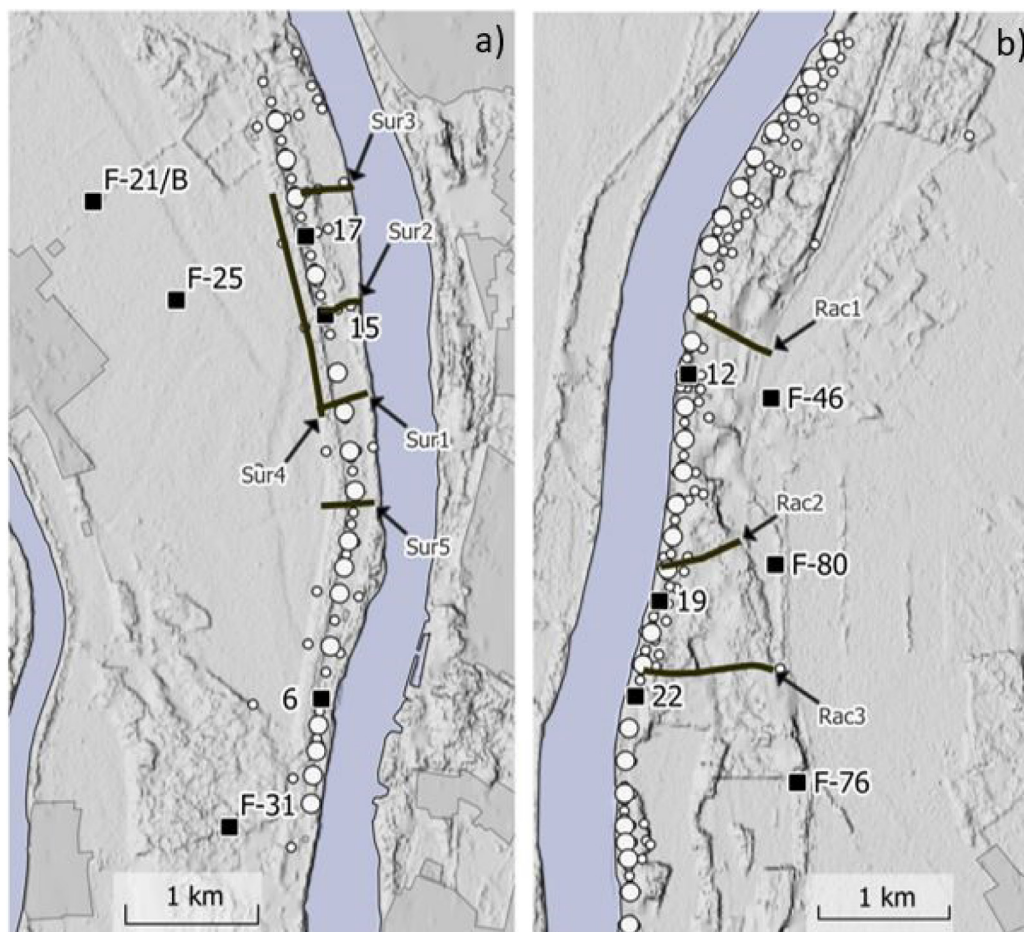
Kutatómunkánk az ivóvízellátás szempontjából hazánkban is nagy jelentőséggel bíró parti szűrésű rendszerekre fókuszál. Magyarországon az ivóvíz célú nyersvízkivétel nagyjából 95%-ban felszín alatti vizekre támaszkodik, amelynek 35%-át parti szűrésű vízbázisok adják. Minde mellett kiemelt jelentőséggel bírnak Budapest vízellátásában is (Szűcs et al. 2021; Kármán 2013). Kutatásunk a „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” című NKFIH Nemzeti Kiválósági Program része, amelynek célja a budapesti ivóvízellátás biztonságát veszélyeztető hatások feltárása a vízkivételtől a fogyasztóig. A projektben 5 konzorciumi partner vesz részt:

- Ökológiai Kutatóközpont (konzorciumvezető),
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
- Fővárosi Vízművek Zrt.,
- Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ,
- Miskolci Egyetem.

A projekt keretében két olyan parti szűrésű vízbázis került kiválasztásra, amelyek nagy jelentőséggel bírnak Budapest vízellátását illetően (Nyiri et al. 2019). Az egyik a Szentendrei-szigeten elhelyezkedő surányi kútsor, a másik pedig a Csepel-szigeten elhelyezkedő ráckevei kútsor (1. ábra).

A vizsgálati területek kiválasztásának szempontjai között szerepelt a vízbázisok nagy jelentősége a főváros vízellátásában, a folyamatos üzem és a jó megközelíthetőség. A két területen egy olyan részletes, komplex hidrológiai, hidrogeológiai, vízkémiai, mikrobiológiai, ökológiai, egészségügyi vizsgálatra és értékelésre került sor, amelynek segítségével meghatározásra kerülnek a vízellátást veszélyeztető esetleges kockázati pontok és beavat-

kozási lehetőségek. Az összetett kutatómunkának egy szeletét képezik azok a hidrogeológiai vizsgálatok, amellyel a teljes parti szűrésű ivóvízellátáson belül a víztermelő műtárgyak felszín alatti környezetére fókuszálunk. Mindkét területen a mintavételi folyamat végrehajtásához 3-3, ideális elhelyezkedésű termelőkút került kiválasztásra. Az északi, surányi vízbázison a 6., 15. és 17. számú kút, valamint a déli, ráckevei vízbázison a 12., 20. és 22. kutakat jelöltük ki a további vizsgálatok céljára. Elhelyezkedésüket az 1. ábra mutatja. Mindkét terület esetében a víztermelés úgynevezett csápos kutakkal történik. Ezekkel a speciális víztermelő műtárgyakkal valósítják meg a parti szűrés egyik fő célját, a minél nagyobb mértékű termelés biztosítását (Kolencsikné Tóth-Kovács 2015). A hidrogeológiai vizsgálatok részét képezik a termelőkutakból, illetve a területen található megfigyelőkutakból kétévente, illetve havonta történő mintavételek, amelyek során a termelt nyers víz, valamint a talajvíz stabil izotóp-összetételét is vizsgáltuk. A mintavétel mellett több mint egy éven át folyamatos vízszint-, hőmérséklet- és vezetőképesség-mérést végeztünk egy-egy kiválasztott termelőkút környezetében. A projekt célja egyrészt a terület hidrogeológiai megismerése, valamint egy térben és időben különböző felbontású numerikus áramlási modell felépítése. A hidrodinamikai modellek elsődleges célja az, hogy a mintavételi időszak során megállapítsuk a vizsgált kutakhoz tartozó elérési időt, amelynek jelentős szerepe van a vízminőség és vízbiztonság szempontjából. Az elérési idő meghatározása a vízminőségi vizsgálatok számára voltak nélkülözhetetlenek. A parti szűrésű rendszerek alkalmazása nagy múltra tekint vissza Magyarországon és világszerte egyaránt. Hazánkban az ivóvíztermelés nagy részét ilyen típusú vízbázisok adják. Ivóvízbiztonsági szempontból tehát fontos ismernünk ezen vízbázisok hidraulikai folyama-



1. ábra | A surányi a) és a ráckevei b) vízbázis termelőkútjai és a területek néhány figyelőkútja, valamint a geofizikai szelvények elhelyezkedése.

taít, hiszen a rendszer hatékonyságának megismerését, valamint az ilyen rendszerekkel kapcsolatos tervezési feladatokat így tudjuk legjobban elvégezni.

A vizsgált területek bemutatása

A surányi vízbázis

A surányi parti szűrészű kútsor a Budapesttől északra elhelyezkedő Szentendrei-szigeten található. A Szentendrei-sziget hosszúsága 31 km, átlagos szélessége pedig nagyjából 3,5 km. A szigeten több parti szűrészű vízbázis is működik. Az általunk kiválasztott, a Váci Duna-ág jobb partján elhelyezkedő 20 kútból álló csáposkútsor víztermelése igen nagy szerepet játszik Budapest vízellátásában. A terület földtanára jellemző, hogy alapvetően folyóvízi üledékek alkotják. A sziget északi végétől Alsógöd magasságáig oligocén agyagra települtek ezen folyóvízi üledékek, míg ettől délre homokos agyagos képződmények alkotják a folyóvízi üledékek fekvését (Góczán 1955). Ezen folyóvízi üledékek egymásra települve mutatkoznak a Szentendrei-sziget figyelőkútjainak, valamint termelőkútjainak földtani adataiban. A vízbázison történő víztermelés 20 darab, úgynevezett törpe csáposkút segítségével történik. A termelőkutak kútaknái egy-

mástól átlagosan 300 m távolságban, egyenesen helyezkednek el a Duna partja mentén. A kútaknak partéltól való távolságára jellemző, hogy északról dél felé haladva a kutak és a partél közötti távolság csökken. A legdélebbre elhelyezkedő 1-es számú kút Dunától való távolsága vízállástól függően nagyjából 65-70 m, míg a legészakibb, 20-as számú kút partéltól való távolsága vízállástól függően 410-430 m. A kutak kialakítása a csápok kihajtásának irányát és mélységét leszámítva egységesnek mondható. A felszínen látható felépítmény egy kútaknában folytatódik, amely 2200 mm palást átmérővel rendelkezik és az aknafenek az agyagréteget elérve nyeri el végleges – átlagosan 15-17 méteres – mélységét (Tolnai 2008). Ez alól a 2. számú kút kivétel, ahol egy csápsíkon 5 csáp került kihajtásra. Az eltérő hosszúságú csápok a 2. számú kutat kivéve két szinten, sugaras kialakításban helyezkednek el, két csápsíkot alkotva. Csápsíkonként 5-5 csáp került kihajtásra minden termelőkút esetében.

A ráckevei vízbázis

A ráckevei vízbázis a Csepel-szigeten, a Duna főága mentén helyezkedik el. A Csepel-szigetről elmondható, hogy hossza nagyjából 48 km, átlagos szélessége pedig nagyjából 7 km. A Szentendrei-szigethez hasonlóan

a vízadó összlet a Csepel-szigeten is pleisztocén korú kavicsréteg. Ez a folyóhordalék összlet a felső pannon üledékekre diszkordánsan települ. A pleisztocén kavicsrétegekben található víz a Duna vizével kapcsolatban van. Ez a kapcsolat azonban sokszor összetett, a Duna-medret helyenként vízzárógát határolja el a kavicsrétegtől. Ez adódhat a fekü domborzatából vagy a folyó feliszapolódásából is. A holocénban egy eróziós szakaszt követően újra feltöltődés következett, kavics, majd homoklerakódás történt. A homok felett homoklisztes és iszapos rétegek találhatóak. A fedőrétegek egyre finomabb szemcseösszetételűek (Bárdossy 1969).

A ráckevei vízbázison történő víztermelést 30 db törpe csáposkút végzi. A termelőkutak kútaknái egymástól nagyjából 250 m távolságra helyezkednek el. A kútsorra jellemző, hogy a kútaknak Dunától való távolsága csak kismértékben változik a kútsor mentén, ami vízállástól függően nagyjából 100 m-t jelent. A kútkialakítás a surányi kútsorhoz hasonlóan történt. A kútaknál két csápsík került kialakításra, csápsíkonként 5-5 csáppal. A kutak csápjai sugaras elrendezésben nyúlnak ki.

A két terület összehasonlítása esetén elmondható, hogy a Surányi kútsor esetében kisebb földtani inhomogenitással számolhatunk, mint a Ráckevei kútsornál. Ha a termelőkutak Dunától való távolságát vizsgáljuk, akkor megállapítható, hogy Surány esetében változó kúttávolságok jellemzőek, míg Ráckeve esetében nagyjából azonos távolságra vannak a kutak a Dunától. Ezen két tényező nagyban befolyásolja a kialakuló áramlási pályákat és potenciálszinteket, így a kutak eltérő hidraulikai viselkedésére, valamint eltérő elérési időkre számíthatunk.

Terepi hidrogeológiai mérések és a mérési eredmények bemutatása

A mintaterületek részletes vízföldtani megismeréséhez terepi hidrogeológiai méréseket végeztünk. A mintaterületek kútsorainál a termelőkutak vonalában, valamint a Szentendrei- és a Csepel-szigeten több figyelőkút is található, amelyekben méréseket tudunk elvégezni. A Duna felé és a szigetek belseje felé is számos figyelőkút található. Olyan figyelőkutakat választottunk ki, amelyek a vízbázis vízadó rétegre lettek szűrőzve, így segítségükkel jól követhető a potenciálszintek változása, valamint jól kivitelezhetőek a mintavételek is. A kivitelezett terepi mérések a mérési gyakoriság szempontjából három csoportra oszthatóak:

- óránkénti mérések,
- havi rendszerességű mérések,
- kéthavi rendszerességű mérések.

Az óránkénti méréseket és a mérések eredményeinek regisztrálását folyamatos vízszintregisztráló műszerek segítségével valósítottuk meg. Mindkét területen öt kútban történt folyamatos mérés és adatregisztrálás ezen műszerek segítségével. Az öt figyelőkút a surányi vízbázison a 15. számú termelőkút környezetében, a ráckevei

vízbázison pedig a 12. számú termelőkút közelében helyezkedik el.

A rendelkezésre álló vízszintregisztráló műszereket igyekeztünk úgy elhelyezni, hogy a *Deák és társai (1992)*, *Völgyesi (1993)*, valamint a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium (*KHVM 1999*) javaslatainak megfelelően, így a Duna partvonalára merőlegesen és a Duna partvonalával párhuzamosan is elhelyezésre kerültek vízszintregisztráló műszerek. A mérési kampány során az alábbi paraméterek regisztrálására került sor: vízszint, hőmérséklet, elektromos vezetőképesség. A havi rendszerességű mérések a háttér vizsgálatára és a következő paraméterek mérésére irányultak: vízszint, oldottoxigén-koncentráció, elektromos vezetőképesség, pH. A havi mérésekkel párhuzamosan vízmintavételre is sor került, annak érdekében, hogy izotóphidrogeológiai vizsgálatokat is tudjunk végezni.

A kéthavi rendszerességű mérések a vízszint, az oldott oxigén, a hőmérséklet, valamint az elektromos vezetőképesség vizsgálatára terjedtek ki. A vizsgálatok célja az volt, hogy a Duna és a termelőkút környezetében végbemenő változásokat figyelemmel tudjuk kísérni, valamint, hogy a vízadóban történő tartózkodási időt becsülni tudjuk.

Jelen tanulmányban a regisztráló műszerek által szolgáltatott folyamatos mérési eredmények közül a vízszintekre és a fajlagos elektromos vezetőképességi eredményekre, valamint a geofizikai mérési eredményekre térünk ki részletesen.

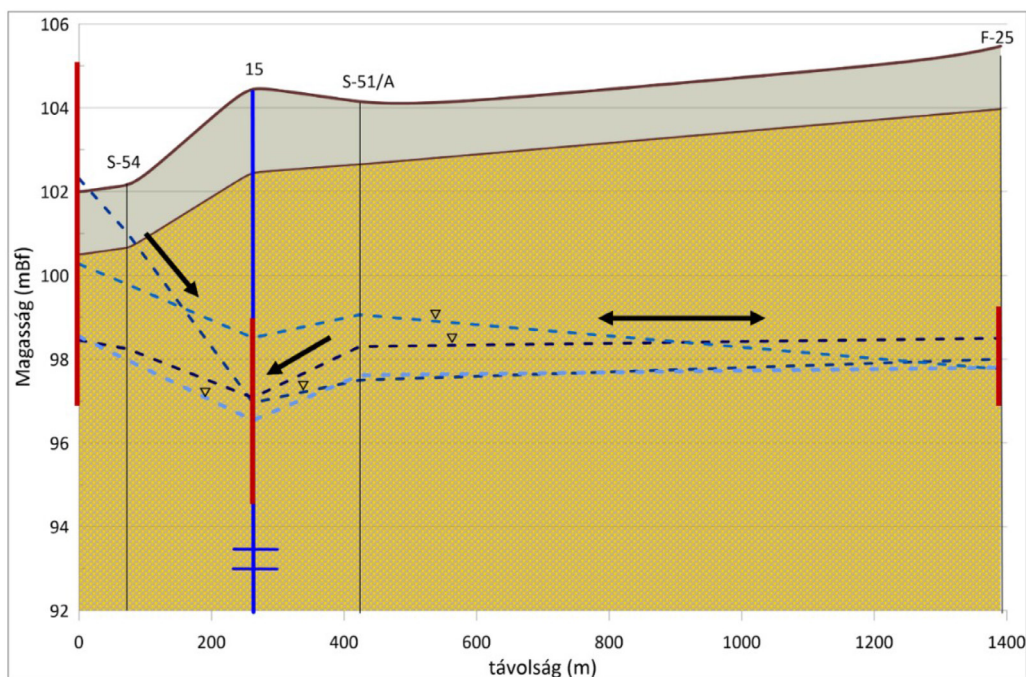
Vízszintek

A vízbázison működő termelő- és figyelőkutak vízszintjeit a Duna és a termelőkutak termelése befolyásolja. A figyelőkutakban mért vízszintek esetében jól elkülöníthető a parti szűrősű rendszerekre jellemző három zóna (parti zóna, termelőkutak körüli zóna, termelőkutak hátterében lévő zóna).

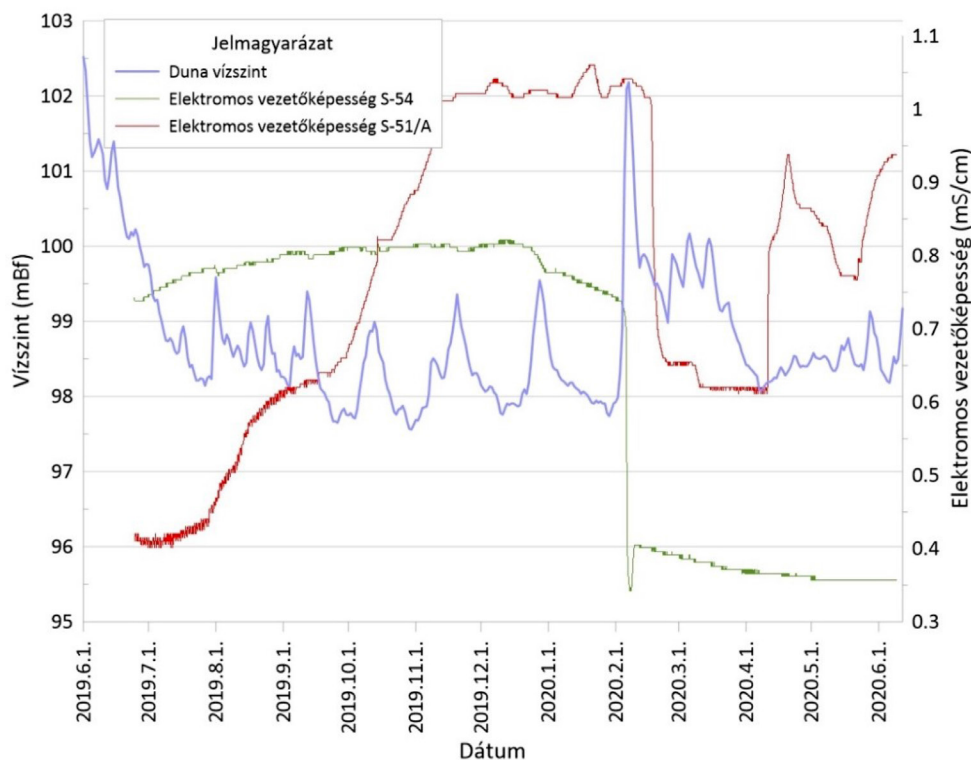
A terepi vízszintmérések alapján elmondható, hogy mindkét területen a kút környezetében dominál a Duna felőli hozzááramlás. A háttér felől viszont változó irányú áramlás is előállhat attól függően, hogy milyen vízszinteloszlás alakul ki (2. ábra). A 2. ábra különböző időpontokban mért vízszinteket mutat a surányi vízbázis 15. kútjának Dunára merőleges szelvényében. Az áramlási irányokat a fekete nyilak mutatják. A Duna felől a hidraulikus gradiens sokkal nagyobb, mint a háttér felől, így elmondható, hogy a csápos kutak által termelt víz utánpótlódása főként a Dunából történik. A Duna vízszintváltozásával azonban ez a hidraulikus gradiens is változik, amely magával vonzza az áramlási sebesség, és ezáltal az elérési idő változását is.

Fajlagos elektromos vezetőképesség

Mindkét területen két kútból áll rendelkezésre folyamatos vezetőképesség adat. A mérési eredmények a ráckevei vízbázis esetében nem mutattak jelentős változásokat.



2. ábra | Lehetséges áramlási irányok a Surányi vízbázis 15. számú termelőkútjának Dunára merőleges szelvényében



3. ábra | Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek alakulása a surányi vízbázis figyelőkútjaiban

Területi eloszlásokat tekintve elmondható, hogy a parttól a sziget belseje felé növekedik a vezetőképesség. Míg a parton 0,3–0,4 mS/cm, a belsőbb figyelőkutakban már 1–1,5 mS/cm értékeket rögzítettünk.

A surányi vízbázison a Dunához legközelebb eső S-54 jelű, és a háttérben lévő S-51/A jelű figyelőkutak ese-

tében áll rendelkezésünkre folyamatos vezetőképesség adat, amelyet a 3. ábra mutat.

Megfigyelhető, hogy az S-54 jelű, a Dunához legközelebb eső figyelőkúthoz tartozó értékek a mérés kezdetétől 2020. január végéig nem mutatnak markáns változást. Az elektromosvezetőképesség-értékek 0,7

és 0,8 mS/cm között mozognak ebben az időszakban. 2020. január végén egy markáns leesés figyelhető meg az elektromos vezetőképesség változásában, amelyet egy újabb, viszonylag egyenletes időszak követ. Ezzel a leesséssel egy időben megfigyelhető a Duna vízszintjének hirtelen megugrása, amely okozója lehet az elektromos vezetőképesség hirtelen nagymértékű változásának. A háttérben lévő S-51/A jelű figyelőkútról elmondható, hogy a mérés kezdetétől egészen november elejéig folyamatos növekedés tapasztalható, majd egy viszonylag kiegyenlített időszak után itt is megjelenik az a lezökkenés, amelyet az S-54 jelű kútnál már bemutatunk. A surányi vízbázis esetében tehát megfigyelhető a Duna-árhullám egyfajta átöblítő hatása a felszín alatti víz fajlagos elektromos vezetőképességének változásában.

A területeken végzett geofizikai mérések

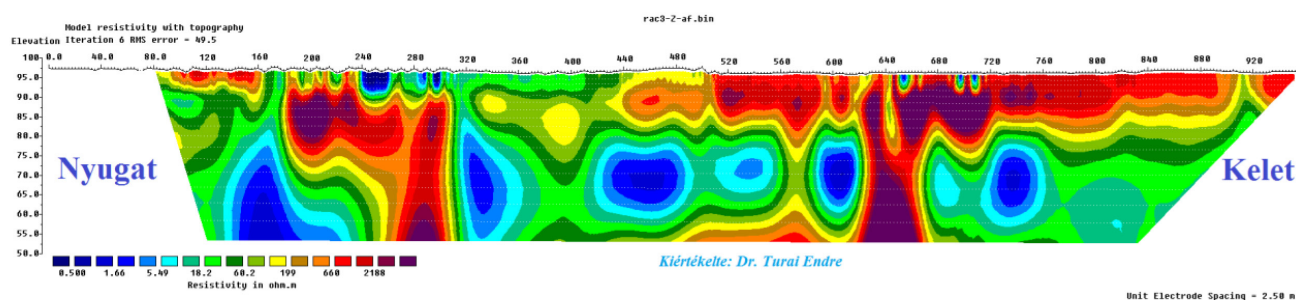
A ráckevei területen három, a surányi vízbázison pedig öt szelvény mentén végeztünk multielektrodás geoelektromos szelvényezést. A mérésekkel meghatározásra került a felszín alatti kőzetek valódi fajlagos ellenállás eloszlása, a mért szelvények alatti 1,25–40 m mélységintervallumban, valamint a felszín alatti kőzetek valódi Indukált Polarizációs tölthetőség eloszlása, a mért szelvények alatti 1,25–40 m mélységintervallumban.

A ráckevei vízbázis esetében a fajlagos ellenállás és az IP-mérések a kavicsos vízbázisban és vízbázis alatt agyagos részeket mutattak ki. A kis ellenállású agyagos réteg alatt megjelenik egy második kavicsos-homokos réteg, azonban a méréseink behatolása ennek a rétegnek csak

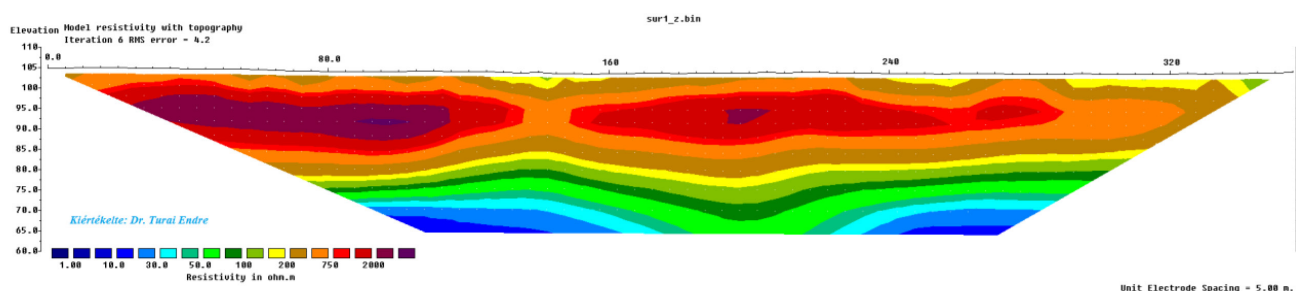
a tetejét érte el. A ráckevei kutatási területen a fajlagos ellenállás és az IP-mérések együttes értelmezésénél számított korrigált fajlagos vezetőképesség paraméter felhasználásával a behatolási mélységig (43 m) minősítettük a vízbázist. Megállapítottuk, hogy a Rac 1 és Rac 2 szelvények alatt döntően jó minőségű vízbázis részek találhatók, viszont az EOZV = 80 m szint alatt megjelennek gyenge minőségű szakaszok is. A Rac 3 szelvény alatt egyaránt megtalálhatóak a kiváló, a közepes és a jó minőségű vízbázisstartományok. A kiváló minőségű részek döntően az EOZV = 80 m felett találhatók, ez alatt viszont nagyrészt közepes és gyenge minőségű a vízbázis (4. ábra).

A surányi vízbázison mért adatok alapján megállapítottuk, hogy a Sur 4 szelvény északi fele, a Sur 2 szelvény Dunától távolabbi vége, valamint a Sur 5 szelvény eleje és vége kivételével mind az öt mért szelvény alatt átlagosan EOZV = 80 m-ig igen jó minőségű (szinte agyagmentes) vízbázis található. Ez alatt azonban a rétegsor a mélységgel arányosan agyagosodik, s így a vízbázis minősége erősen romlik. Sur 1 szelvény alatti korrigált fajlagos vezetőképesség eloszlása alapján megállapítható, hogy a teljes szelvény alatt EOZV = 80 m felett kiváló minőségű a vízbázis (5. ábra).

A geofizikai mérések alapján összességében elmondható, hogy míg a surányi vízbázis homogénebb földtani képet mutat, addig a ráckevei vízbázis esetében nagyobb inhomogenitások észlelhetők. Ezek fontos információkat szolgáltatnak számunkra a hidrodinamikai modell felépítésében, valamint a hidrogeológiai körülmények megértésében.



4. ábra | A Rac 3 szelvény alatti térrész valódi fajlagos ellenállásképe



5. ábra | A Sur 1 szelvény mentén mért valódi fajlagos ellenállás kép

A hidrodinamikai modellek felépítése

A hidrodinamikai modelleket az Aquaveo által forgalmazott Groundwater Modeling System segítségével készítettük el, amely MODFLOW 2005 kódot használ. Mindkét modell tranzienst, időben változó állapotot szimulál, amelynek időtartama a mintavételi időszakot is felölelve két és fél év.

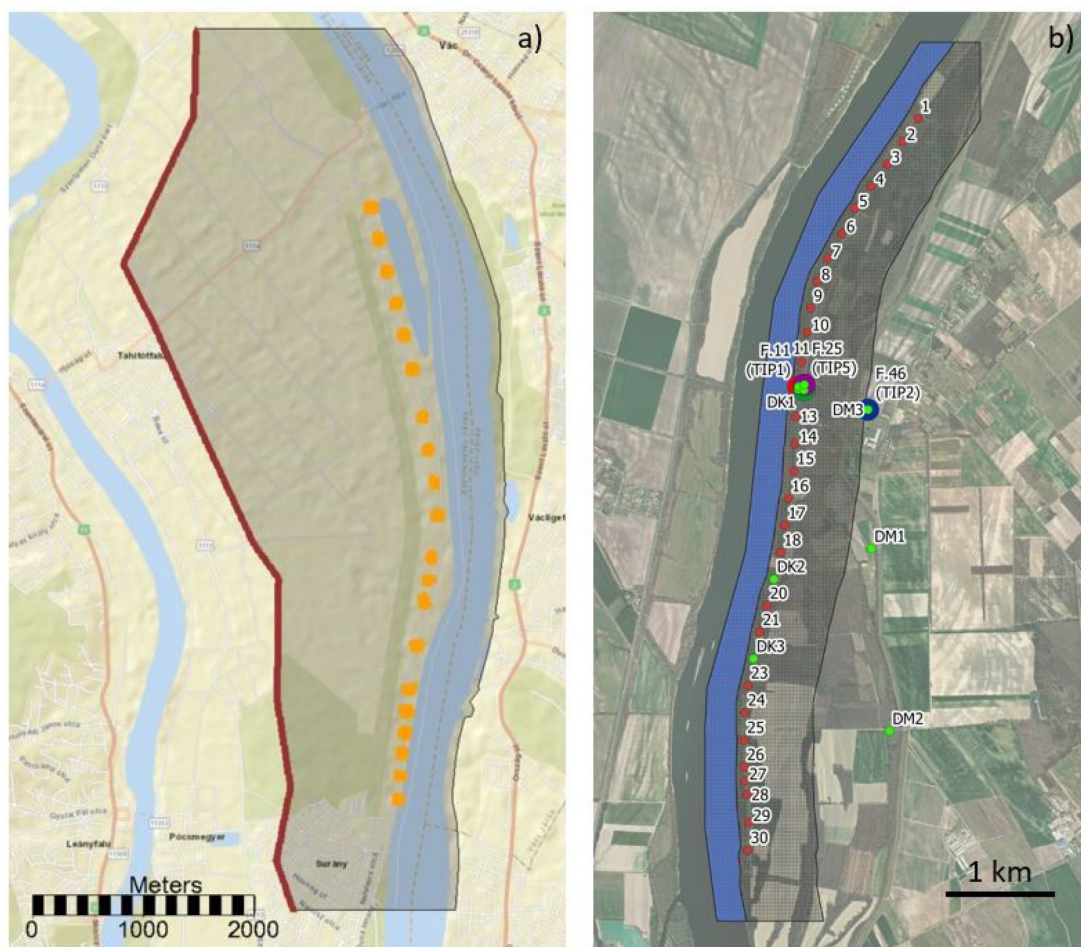
A surányi vízbázis modelljét 10 × 10 m-es, véges differenciás numerikus szimulációt lehetővé tevő rácsháló jellemzi. A modell egy aktív vízadó réteggel rendelkezik. Az uralkodó vízáramlás kelet–nyugati, nyugat–keleti irányú, így a peremfeltételeket is ehhez a körülményhez igazítottuk. Az északi és a déli perem vízzáró határral rendelkezik, amely a surányi kútsortól északra és délre található további termelőkutaktól 1 km távolságra van. A keleti peremet a Duna adja, amelyet teljes szélességében figyelembe vettünk a surányi vízbázis modelljénél. A keleti peremet General Head Boundary (GHB) peremként definiáltuk, amely a Szentendrei Duna-ág időben változó vízszintjét tartja (6. ábra).

A ráckevei vízbázis modellje hasonlóképpen épül fel, mint a surányi vízbázis. A modell itt is egy vízadó réteggel rendelkezik, a nyugati határát a Duna adja, a keleti határt pedig speciális GHB peremmel definiáltuk, amely

a Ráckevei Duna-ág vízszintjét tartja. A két modell közötti fő különbség a rácsháló felosztásában adódik. A surányi vízbázis modelljénél azt tapasztaltuk, hogy 10 × 10 m-es rácshálónál rendkívül megnő a számítási igény, ezért a déli terület modellépítésénél ezt a rácshálóosztást 20 × 20 m-re növeltük.

A kutakat mindkét esetben a MODFLOW program Revised Multi-Node Well (MNW2) moduljával definiáltuk. Ez a modul ugyan ferdén, illetve vízszintesen szűrőzött kutak, valamint több szinten szűrőzött kutak modellezésére lett kifejlesztve, alkalmas csápos kutak hidrodinamikai modellezésére is (Székely *et al.* 2021).

A parti szűrés során végbemenő vízszintváltozásokat két fő tényező befolyásolja. Az egyik a kutak által termelt hozam, a másik pedig a folyó vízállása. Esetünkben mindkét tényező jelentős változékonyságot mutat, amely a vízmérleg mellett az elérési időket is befolyásolja. A surányi vízbázison a vizsgált időszakra vonatkozó termelési adatokat, valamint a Duna vízszintjét és az üzemi vízszintek változását mutatja a 7. ábra. Megfigyelhető, hogy a három mintázott kút termelése nagy változékonyságot mutat. A kutak termelését összehasonlítva megállapítható volt, hogy az 1–10. számú kutak esetében a termelés változása hasonló volt, míg a 11–20.



6. ábra | A surányi a) és a ráckevei b) vízbázis modellterületei

számú kutak esetében ez az időbeli lefutás más képet mutatott. Ezen napi termelési adatokat, valamint a Duna vízállási adatokat megadva futtattuk le a modellt, amelynek vízföldtani paramétereit sikeres futtatás után szükséges volt kalibrálnunk.

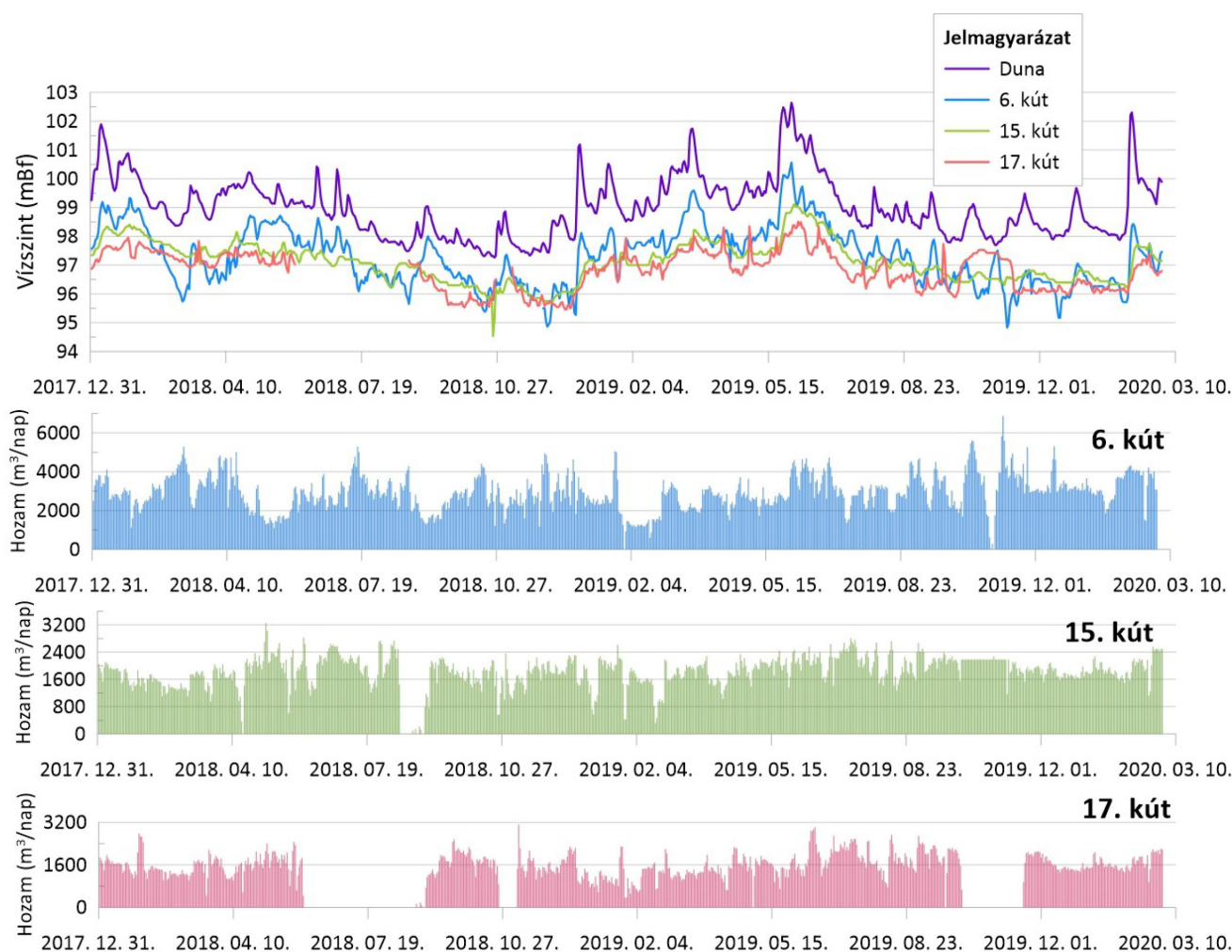
Modellkalibráció

Ahhoz, hogy a felépített modelljeink megfelelő megbízhatósággal számolják a kialakuló vízforgalmat és vízszinteket, kalibrálásra van szükség. Mindkét területre felépített modell időben változó állapotot szimulál, így a modellkalibrációban nagy segítségünkre voltak a mért üzemi vízszintek. A termelőkutak vízkivételeit, a hozzájuk tartozó üzemi, valamint Duna vízszintet a Fővárosi Vízművek napi gyakorisággal regisztrálja. Ezen adatokat a Fővárosi Vízművek rendelkezésünkre bocsátotta. A kalibrálásban a területen lévő figyelőkutakban mért vízszintek is segítségünkre voltak. A Surányi kútsor 15. számú kútjának, valamint a Ráckevei kútsor 12. kútjának környezetében a Duna partjával párhuzamosan, valamint merőleges irányban lévő figyelőkutakban vízszintregisztráló műszereket helyeztünk el, amelyek óránként regisz-

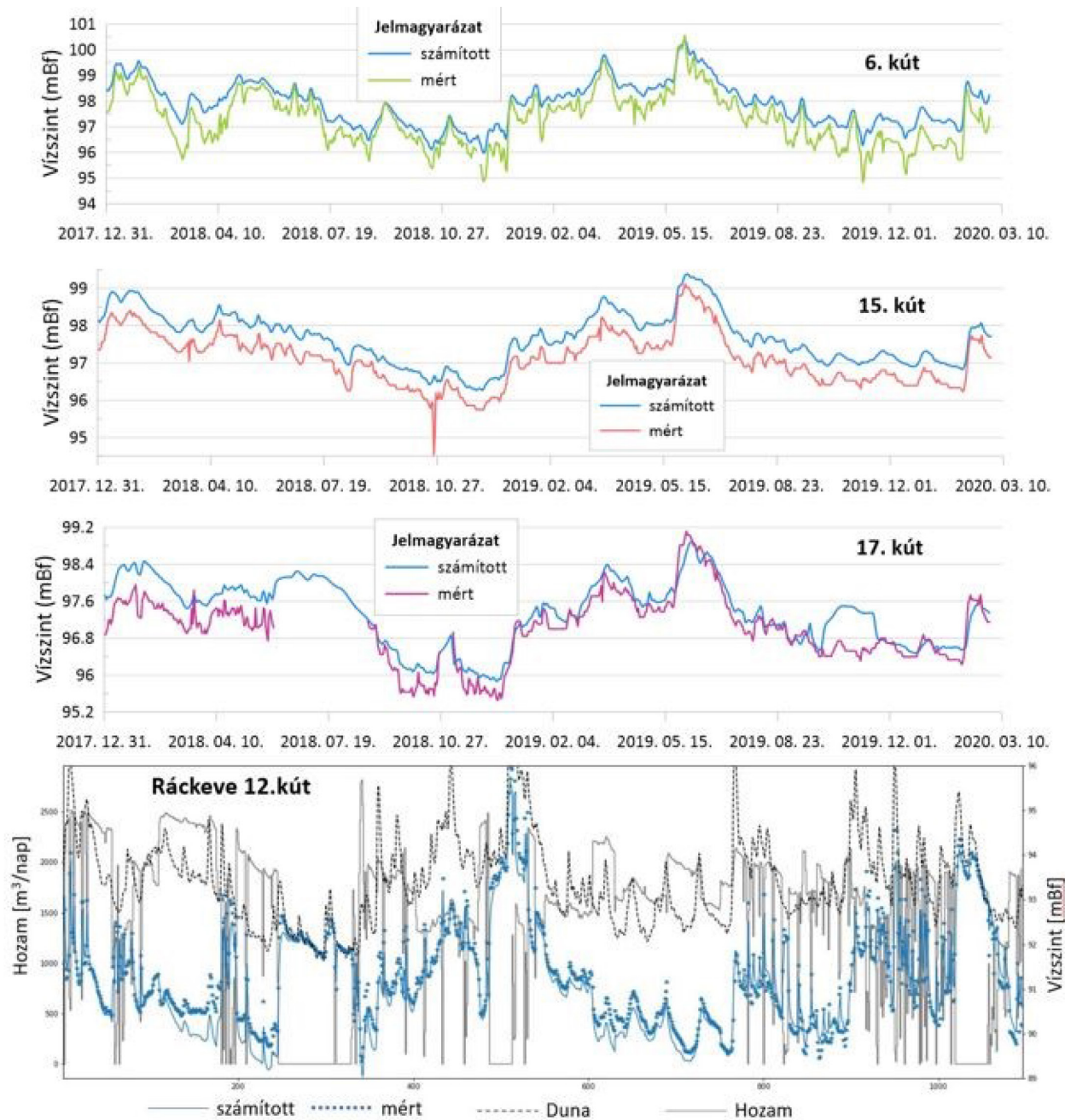
rálták a kútban kialakuló vízszintet. A tranziens modell kalibrációjában az automata vízszintregisztráló által rögzített vízszintadatokhoz, valamint a termelőkutak üzemi vízszintjeihez (8. ábra) viszonyítottuk a modell által számolt vízszintértékeket. Mivel az északi terület esetében a földtani környezet egységesebbnek mondható, mint a déli területen, az északi területen a vízföldtani paraméterek homogén beállításával jól tudtuk közelíteni a kialakuló vízszinteket. A déli területet jellemző földtani inhomogenitás miatt viszont zónás kalibrációra volt szükség. A kalibráció során a vízföldtani paraméterek (szivárgási tényező, tárolási tényező) változtatásával elfogadható mértékű egyezést kaptunk a mért és a számított adatok között (8. ábra). Ez biztosította számunkra azt, hogy valós vízszinteket és hidraulikus gradiens értékeket kapjunk.

Összefoglalás

A kutatási munkánk során két Duna menti parti szűrésű rendszerrel foglalkoztunk, a Szentendrei-szigeten elhelyezkedő surányi vízbázissal, valamint a Csepel-szigeten elhelyezkedő ráckevei vízbázissal. A Fővárosi Vízművek



7. ábra | A surányi kútsor három kiválasztott csápos kútjának termelési adatai, valamint a Duna és az üzemi vízszintek a modellezett időszakban



8. ábra | A surányi kútsor három kiválasztott termelőkútjainak, valamint a ráckevei kútsor 12. kútjának üzemi, és modell által számított vízszintjei

két jelentős ivóvízbázisáról van szó, amelyek a Főváros vízigényének jelentős hányadát biztosítják és vízbiztonsági szempontból igen nagy jelentőséggel bírnak. Ezen parti szűrészű vízbázisokon a víztermelés csápos kutakkal történik, amelyek kialakításuknak köszönhetően képesek nagy mennyiségű nyers víz kitermelésére. Munkánk célja volt, hogy a terepi mérések eszközeit használva megismerjük a terület földtani és hidrogeológiai viszonyait, valamint a parti szűrészű rendszerek hidraulikai viselkedését. Ennek érdekében különböző időbeli felbontásban

mértük az alábbi paramétereket: vízszint, hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség. Jelen tanulmányban azokat az eredményeket mutatjuk be, amelyek a vizsgált területek megismerését tekintve jelentősebb információkkal bírnak. A két vízbázison geofizikai vizsgálatokra is sor került, amelyek a földtani inhomogenitással kapcsolatban adtak fontos információkat. A terepi mérések felhasználásával hidrodinamikai modell felépítésére is sor került, amely segítségével a későbbiekben szeretnénk meghatározni az eléricsi időket, valamint szeretnénk

olyan scenáriókat vizsgálni, amelyek szélsőséges időjárási viszonyokhoz köthetők. A hidrodinamikai modelleket a Groundwater Modeling System modellezési környezetében végeztük, MODFLOW kódot használva. A modell jellegzetessége, hogy a csápos kutakat a MODFLOW Revised Multi-Node Well csomagjával definiáltuk. A terepi mérések alapján az alábbi főbb megállapításokat tudjuk tenni a két vízbázist illetően:

- Az év teljes időszakában a Duna felől nagyobb a hidraulikus gradiens, mint a háttér irányából. Elmondható tehát, hogy a Duna mindkét esetben domináns utánpótlódási vízforrás.
- A hidraulikus gradiens időben változó tulajdonságú, amelyet a Duna vízállásának változása, és a termelt hozamok változása folyamatosan alakít.
- A hidraulikus gradiens változásával a vízáramlás sebessége is módosul, így időről időre, akár napról napra változik az elérési idő is.
- A fajlagos elektromos vezetőképesség mérések megmutatták, hogy a Duna árhulláma az északi területen nagymértékű csökkenést idéz elő a fajlagos vezetőképesség értékében. A mérési eredmények a vezetőképesség csökkenésén túl egy időbeli eltolódást is mutat, amely azonban nem feltétlen mutatja az elérési idő értékét.
- A geofizikai mérések alapján elmondható, hogy a ráckevei vízbázis nagyobb inhomogenitással bír, mint a surányi vízbázis. Ennek eredményeképp szükségessé vált a ráckevei vízbázis hidrodinamikai modelljének zónás kalibrációja.

Megállapíthatjuk tehát, hogy habár a két terület egyaránt parti szűrésű vízbázisnak minősül, mégis eltérő földtani jellemzőik vannak, amelyek a hidrogeológiai viselkedést nagymértékben befolyásolják. A két vizsgált terület ivóvízbiztonsági szempontból nagy jelentőséggel bír a Főváros vízellátásának tekintetében, ezért a terepi mérések alapján tett megállapítások fontos információt nyújtanak az üzemeltető számára.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a 2018-1.2.1-NKP-2018-00011 sz. projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2018-1.2.1-NKP pályázati program finanszírozásában valósult meg.



Irodalomjegyzék

- Bárdossy Györgyné (1969) Vízkutatás Csepel-sziget középső részén. Budapest, Bányászati Tervező Intézet Műszaki Földtani Osztály
- Deák J., Hertelendi E., Süveges M., & Barkóczi Zs. (1992) Partiszűrési kutak vízének eredete trícium koncentrációjuk és oxigén izotóparányaik felhasználásával. Hidrológiai Közöny, Vol. 72. No. 4. pp. 204–210.
- Góczán L. (1955) A Szentendrei sziget geomorfológiai fejlődéstörténete. Földrajzi Értesítő, Vol. 4. pp. 301–316.
- Kármán K. (2013) A parti szűrési vízbázisok és jelentőségük. Magyar Tudomány, Vol. 174. No. 3. pp. 1300–1307.
- Kármán K., Maloszewski P., Deák J., Fórizs I., & Szabó Cs. (2014) Transit time determination for a riverbank filtration system using oxygen isotope data and the lumped-parameter model. Hydrological Sciences Journal, Vol. 59. No. 6. pp. 1109–1116. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.808345>
- KHVM (Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium) (1999) A sérülékeny földtani környezetben lévő távlati ivóvízbázisok biztonságba helyezésének módszertana és tartalmi következményei. Kézirat, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest
- Kolencsikné Tóth A., & Kovács B. (2015) Calibration process for groundwater flow model of a river influenced shallow aquifer. Central European Geology, Vol. 58. No. 1–2. pp. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.1556/24.58.2015.1-2.12>
- Nyiri G., Kovács B., Zákányi B., & Szűcs P. (2022) Tartózkodási idő vizsgálat csápos kutak esetében. Hidrológiai Közöny, Vol. 102. No. 4. pp. 62–67.
- Nyiri G., Székely F., Zákányi B., & Szűcs P. (2019) Horizontális és csápos kutak hidraulikai modellezése különböző számítási eljárások segítségével. Hidrológiai Közöny, Vol. 99. No. 4. pp. 35–41.
- Székely F., Nyiri G., Szűcs P., & Zákányi B. (2021) Analytically supported numerical modeling of horizontal and radial collector wells. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 26. No. 12. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002137)
- Szűcs, P., Szabó, N. P., Zubair, M., & Szalai, S. (2021) Innovative Hydrogeophysical Approaches as Aids to Assess Hungarian Groundwater Bodies. Applied Sciences, Vol. 11. No. 5. Article No. 2099. <https://doi.org/10.3390/app11052099>
- Tolnai B. (szerk.) (2008) Vízellátás, Mátyus Sándor nyomán. A Fővárosi Vízművek Zrt. üzemeltetői ismeretanyaga. Budapest
- Völgyesi I. (1993) Mederkapcsolati hatások: a parti szűrési víztermelés fontos paramétere. Hidrológiai Közöny, Vol. 73. No. 5. pp. 261–264.