

HIDROGEOLÓGIAI KUTATÁSOK A PAKS II. ATOMERŐMŰ TELEPHELYVIZSGÁLATI PROGRAMJÁBAN

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATIONS IN THE SITE CHARACTERISATION PROGRAMME OF THE PAKS II NUCLEAR POWER PLANT

Mező Gyula

hidrogeológus-mérnök, Golder Associates (Magyarország) Zrt., Budapest
gyula_mezo@golder.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Az új atomerőmű létesítését megelőzően végzett földtudományi vizsgálatok fontos eleme volt a hidrogeológiai kutatás. A cikk bemutatja a telephelyen és ennek tágabb környezetében elvégzett helyszíni vizsgálatokat és az ezek eredményeit összefoglaló vízföldtani modellezés fontosabb eredményeit. A vízföldtani megfigyelések és modellszámítások eredményei fontos információkat nyújtanak az új blokkok építésekor kialakítandó munkagödrök víztelenítésének tervezése során, illetve a szennyezőanyag-terjedési számításoknál.

ABSTRACT

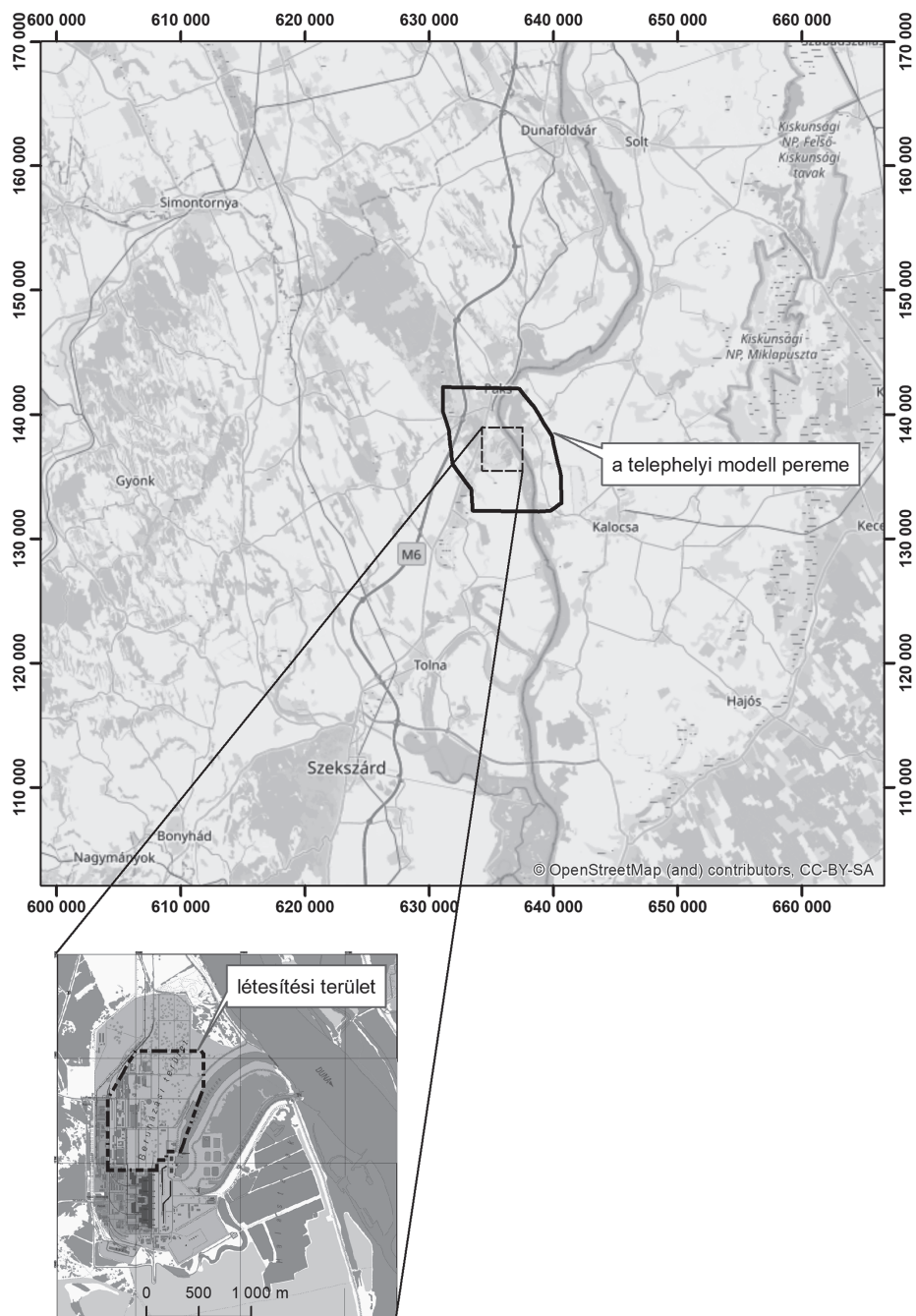
Hydrogeological research had been an important element of the geoscientific studies carried out before the construction of the new nuclear power plant in Hungary. This paper presents the most important findings of the in-situ investigations performed on the site and its wider surroundings as well as the results of groundwater modelling studies. The results of hydrogeological observations and model calculations provide important information for planning the dewatering system of the construction pits of the new units, as well as for subsurface contaminant transport studies.

Kulcsszavak: hidrogeológia, helyszíni vizsgálatok, vízföldtani modellezés, telephelyvizsgálat

Keywords: hydrogeology, in-situ investigations, hydrogeological modelling, site investigation

BEVEZETÉS

Az új atomerőmű létesítését megelőző engedélyezési eljárások részeként a földtani vizsgálat célja a telephely alkalmasságának meghatározásán túl a telephely-engedélyezés információigényének teljesítése.



1. ábra. A regionális hidrogeológiai vizsgálat és a telephelyi vízföldtani modellezés területe (saját szerkesztés)

A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (NBSZ) 7.5.2.0300 pontja kimondja, hogy a földrengésveszély és a felszínre kifutó vető által okozott elvetődések elemzéséhez szükséges geológiai, geofizikai és szeizmológiai vizsgálatok részletezettségét a fokozatosság elve alapján kell meghatározni (SOM System, 2012). A 7.5.2.0300 d) pont szerint el kell végezni a telephely részletes geológiai, geofizikai és geotechnikai jellemzését, teljes litológiai, sztratigráfiai és hidrológiai leírását el kell készíteni a mértékadó földrengés szabadfelszíni jellemzőinek és az alapozáshoz, építmények tervezéséhez szükséges mérnökgeológiai adatok meghatározásához.

Az NBSZ 7.5.2.0300 pontja által megkívánt fokozatosság elvének teljesüléséhez a 30 km-es kutatási területet és a telephely közvetlen környezete vízföldtani modelljének területét az *1. ábra* szemlélteti.

A telephelyi tágabb környezet a telephely 30 km sugarú környezetét foglalja magában. Itt a rendelkezésre álló adatok pontosítására és korszerűsítésére, valamint már új terepi mérésekre, fúrásokra, térképi reambulációkra, laboratóriumi elemzések elvégzésére is szükség van.

A telephelyi közvetlen (mintegy 10 km sugarú) környezet vizsgálatának célja a terület részletes földtani-tektonikai jellemzése, a szeizmikus és geotechnikai veszélyek felmérése, a vízföldtani viszonyok részletes vizsgálata.

A VÍZFÖLDTANI KUTATÁS CÉLJA

A vízföldtani kutatás keretében végrehajtandó vizsgálatok egy része a felszín alatti vizek hidrogeológiai viszonyainak (víztartó és vízrekesztő rétegek, jellemző nyomásszintek, áramlási viszonyok, kapcsolatok az egyes víztartó rétegek között, a vizek minősége, összetétele, esetleges szennyezettsége stb.) közvetlen megismerését célozta. Ugyanakkor ezek a vizsgálatok fontos alapadatokat szolgáltathatnak más szakterületek (földtan, hidrológia, építésföldtan, talajmechanika, környezetvédelem) számára is.

A vízföldtani kutatás célja, hogy

- adatokat szolgáltatson a nukleáris létesítmény tervezéséhez (elsősorban a geotechnikai viszonyok kiegészítésével);
- adatokat szolgáltatasson a nukleáris létesítmény nukleáris biztonságának és a radioaktív kibocsátások hatásainak elemzéséhez, értékeléséhez;
- adatokat szolgáltatasson a baleset-elhárítási intézkedések tervezéséhez, valamint azok megvalósíthatóságának értékeléséhez; valamint
- igazolja a telephely alkalmasságát kizáró körülmények hiányát, illetve jellemezze a tervezési alapba tartozó veszélyeket.

VÍZFÖLDTANI VIZSGÁLATOK A TELEPHELYEN ÉS TÁGABB KÖRNYEZETÉBEN

Az NBSZ legfontosabb elvárása a regionális hidrogeológiai vizsgálatokkal szemben, hogy vizsgálja és rögzítse azokat a hidrogeológiai peremfeltételeket és folyamatokat, amelyek meghatározzák a felszín alatti vizek állapotát a telephely szűkebb környezetében: értékelje a víztartó rétegek legfontosabb jellemzőit, leírja a felszín alatti áramlási rendszereket és azok felszíni vizekkel való kölcsönhatását, értékelje a meteorológiai körülmények hatását a felszín alatti vizekre, valamint a legfontosabb emberi hatás, a vízhasználat változását.

A regionális és lokális vizsgálati területen ennek megfelelően a következő vizsgálati programot hajtották végre (Konrád, 2016).

A vízföldtani vizsgálatok lényeges részét képezte az *archív adatok beszerzése*. Az adatok elemzése és kiértékelése lehetővé tette, hogy a hidrodinamikai modellezés számára megfelelő bemenő paraméterek álljanak rendelkezésre, illetve a hosszú távú adatsorok elemzése a felszín alatti vizek állapotának változására adott információt. Az adatgyűjtés kiterjedt a felszín alatti vízhasználatokra, a hidrometeorológiai adatokra, illetve a hidrológiai, valamint a felszín alatti vízszint- és nyomásadatokra.

A Földtani Kutatási Program (FKP) keretében összesen 81 új *monitoring kút* került kivitelezésre. A kutakat a fúrási talpmélységük szerint A, B, C és D jellel látták el. A 39 db A jelű kút 15 m mélységű, a B jelű kutakból 20 db készült 25 m talpmélységgel. Az A és B jelű kutak a pleisztocén korú talajvíztartó réteget nyitják meg. A felső-pannóniai rétegvíztartó képződmények nyomásszintje és vízkémiai jellemzői az 50 m mély C jelű kutak (15 db), illetve a 100 m talpmélységű D jelű kutak (7 db) segítségével figyelhetők meg.

A *vízföldtani reambuláció* keretében a regionális vizsgálati területen a források, vízfolyások hozamát mérték egy többé-kevésbé egyidejű mérési kampányban. A vízföldtani reambuláció célja az volt, hogy a hidrogeológiai modellezés számára a felszín alatti víz aktuális állapotáról pontos és megbízható adatokat szolgáltatasson.

A *hidrodinamikai vizsgálatok* célja általánosságban a kutatási terület földtani képződményeinek és szerkezeteinek vízföldtani jellemzése a kutatófúrások maggal mélyülő szakaszán. Az egyedi mérések alapján meg lehet határozni a vizsgált fúrólúszakasz vízvezető képességét, illetve a formációvíz nyugalmi hidraulikus potenciálszintjét.

A mélyebb vízföldtani egységek vizsgálatát a fúrásos kutatás során a magfúrások kivitelezése közben lehetett költséghatékonyan elvégezni. Az egyes fúrások kivitelezése során a földtani és geofizikai adatok alapján különböző vizsgálati szakaszok kerültek kiválasztásra, amelyekben különböző hidrodinamikai vizsgálatokat végeztek el a Mecsekérc Zrt., illetve a Golder Associates (Magyarország) Zrt. szakemberei. Egyes vizsgálati szakaszokból vízmintavételek is történtek laboratóriumi vizsgálatok céljára.

Nyitott lyukban, a vizsgált lyukszakasz lezárása nélkül öt tesztet, elsősorban víztermeléses, illetve slugteszteket végeztek. A felfújható pakkerekkel hidraulikusan szeparált lyukszakaszokban végzett vizsgálatok száma 17 volt, e mérések során a lyukfal stabilitásának megőrzése érdekében elsősorban nyeletéses vizsgálatok történtek.

A telephely területén végzett *egyedi kúttesztek* célja a sekélyföldtani képződmények hidraulikai paramétereinek meghatározása volt. Az FKP előírásaival összhangban a teszteket összesen 96 pontban végezték el a Mecsekérc Zrt. szakemberei. Ezek közül 81 vizsgálat újonnan létesült kútban valósult meg (amelyek 15, 25, 50 és 100 m mélységűek voltak), míg további 15 pont a meglévő monitoringrendszer elemei közül került kiválasztásra, hogy a telephelyi vízföldtani modell területét minél jobban le lehessen fedni. Az egykutas hidraulikai tesztek eredményei segítséget nyújtottak a későbbi többkutas tesztek, egymásrahatás-vizsgálatok és transzportvizsgálatok (nyomjelzéses vizsgálatok) megtervezéséhez.

A területet lefedő, tíz kiválasztott kútcsoporton helyszíni *egymásrahatás-vizsgálatot* (interferenciás vizsgálatot) végeztek a Golder Zrt. szakemberei úgy, hogy egy kutat szivattyúztak, míg több környező kútban észlelték a nyomásváltozásokat. Az egymásrahatás-vizsgálatok célja, szemben az egykutas hidraulikai tesztekkel, a nagyobb térrészekre jellemző hidraulikai paraméterek (transzmisszivitás, tározási tényező) meghatározása.

A telephely vízföldtani jellemzésére a Golder Zrt. hat helyszínen *nyomjelzéses vizsgálatot* végzett el. A nyomjelzéses vizsgálat célja a víztartó rétegek nem szennyezőanyag-specifikus transzportjellemzőinek (például: diszperziós tényező, effektív porozitás) meghatározása a laboratóriumi mintánál nagyobb léptékben. A vizsgálat során egy nyelető kútba ismert mennyiségű nyomjelző anyagot (uranint) juttattak be, míg egy másik kútban olyan vízhozammal szivattyúztak, amely megfelelően nagy vízszintesést létrehozva „begyűjti” a beinjektált nyomjelző anyagot. A kitermelt nyomjelző anyag koncentrációja időben változik, ezt áttörési görbének hívjuk. Az áttörési görbe alapján matematikai módszerrel határozták meg a transzportparamétereket.

A *mederkapcsolati vizsgálatok* célja a talajvíz és a Duna-víz egymásra gyakorolt hatásának megismerése volt. Ennek érdekében két helyszínen, az élő Duna, valamint a Hidegvíz-csatorna mellett két mederkapcsolati vizsgálati telep (PMK1 és PMK2) került kiépítésre, amelyek egy termelőkútból, négy piezométerből, valamint a vízfolyás medrében kialakított mederszondákból álltak. A két telepen összesen 5 db (5 ciklus) 30 napos méréssorozatra került sor. A termelőkút különböző kapacitással történő üzemeltetése mellett, automata vízszintregisztráló műszerek segítségével a talajvízszint, valamint a Duna és a Hidegvíz-csatorna vízszintváltozása folyamatosan nyomon követhető volt. A folyamatos vízszintmérések mellett a vizsgálati ciklusokban vízmintavételekre is sor került. A víz-

mintavételek célja az volt, hogy a Duna, illetve a Hidegvíz-csatorna, valamint a talajvíz keveredésének mértéke kimutatható legyen.

A *talajvízháztartási vizsgálatok* a talajvizet elérő effektív beszivárgás meghatározását célozták terepi mérésekkel, a regionális vizsgálati területen, négy helyszínen, kilenc hónapon keresztül. Az ideiglenes talajvízszint-megfigyelő kutak közelébe telepített meteorológiai állomások öt meteorológiai paramétert mértek negyedórás gyakorisággal (csapadék, relatív páratartalom, hőmérséklet, globális sugárzás, szélsébség) a mérési kampány alatt. A vízháztartási számítások a szabad hozzáférésű, a szakmai gyakorlatban az egyik legelterjedtebb szivárgáshidraulikai szoftver, a HYDRUS-1D (URL1) segítségével történtek.

A *vízföldtani monitoring* keretében vízszintregisztrálók üzemeltetése történik 2016 januárjától. A műszerek a vízhőmérsékletet és a fajlagos vezetőképességet is regisztrálják.

A monitoring keretében 2016 elejétől negyedéves gyakorisággal történtek vízmintavételek és laborvizsgálatok. A program keretében mélyült kutak vízminőség-vizsgálata alapján egyértelműen elkülöníthetők a 15–25 m mélyről származó (A, B) talajvizek, valamint az 50 és 100 m-es kutak (C, D) vízmin-tái. Az általános vízkémiai és nyomelemvizsgálatok mellett stabilizotóp- és vízkorvizsgálatok is történtek. A vízgeokémiai program keretében a terület szennyezettségi alapállapotának értékelése is feladat volt, ezért összesen húsz különböző mélységű megfigyelőkútban komplex vízkémiai szűrővizsgálat is történt. A mérési eredmények alapján egy kivételével mindegyik vizsgált komponens a kimutatási, illetve szennyezettségi határértéket el nem érő mennyiségben fordult elő.

A VÍZFÖLDTANI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A felszín alatti regionális áramlási rendszer

A regionális vizsgálati területen a felszín alatti áramlási rendszer vizének utánpótlását döntően a csapadékból történő beszivárgás adja. Más tényezők (például a települési és ipari szikkasztások, csatornák és vízvezetékek elszivárgásai, kisvízfolyások ideiglenes rátáplálása a felszín alatti vízre) hatása lokális, és elhanyagolható mértékű a csapadék szerepéhez képest. A felszín alatti vizek természetes megcsapolásában a talajvízből történő párolgásnak, idegen szóval evapotranszspirációnak (evaporáció: fizikai párolgás, transzspiráció: növények párologtatása) van döntő jelentősége, különösen a vizsgálati terület alföldi részén. A kettő előjeles összege adja meg a függőleges talajvízforgalmat. A vízháztartási mérleg e két eleme a klimatikus viszonyok mellett a domborzatnak, a területhasználatnak, a talaj vastagságának és típusának függvénye.

A negyedidőszaki és sekély felső-pannóniai rétegek hidraulikusan kommunikáló, beszívargás által hajtott, gravitációs áramlási rendszert alkotnak. Az alsó-pannóniai és idősebb formációk lokális mélymedencéiben teljesen szeparált mélységi áramlási rendszer alakulhat ki. A mélységi, túlnyomásos részterületek nyomástöbbletét az alsó-pannóniai vízzáró rétegek túlnyomórészt felfogják, de a meredek, jól repedezett vetőzónákon keresztül a hidrosztatikust meghaladó nyomás tud felfelé terjedni.

A vizsgálati területen a gravitációs áramlási rendszer megcsapolási pontjainak tekinthetők a források, a kisvízfolyások, a belvízcsatornák, a holtágak, az édes- és sós vizű lápok és mocsarak területe, valamint a legjelentősebb szerepet betöltő Duna.

A telephely vízföldtani jellemzői

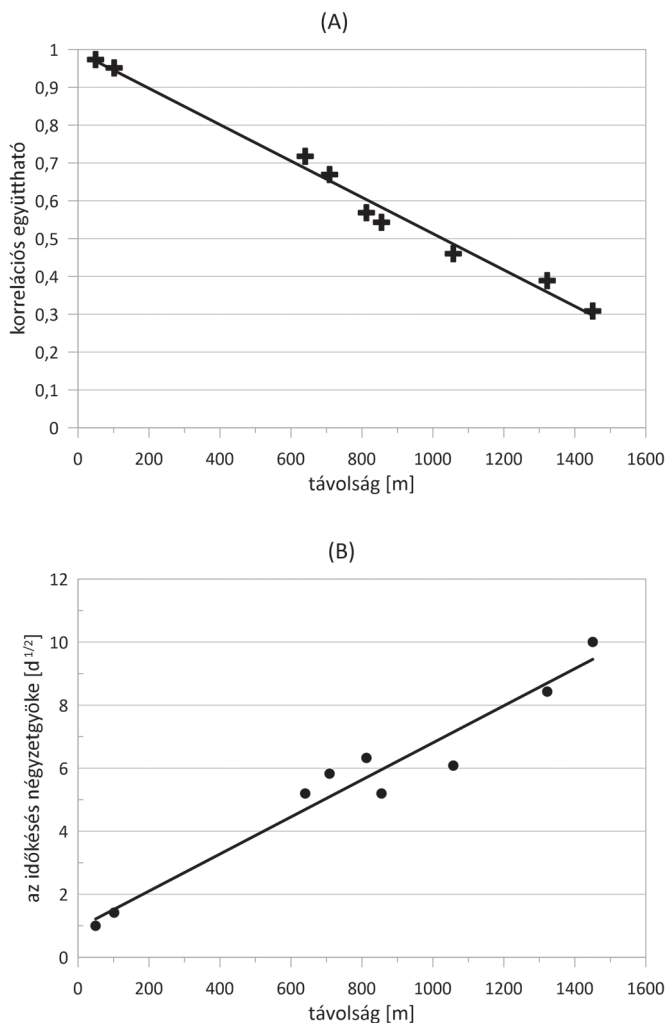
A talajvíz a területen összefüggő rendszert képez, az átlagos talajvízszint a felső homokos képződményekben húzódik, a terepszint alatt 8–10 méteres mélységben. A mindenkor talajvízállást döntően a Duna aktuális vízállása szabályozza.

A talajvíz természetes állapotában – átlagos és alacsony vízállás mellett – mintegy 2-3%-os eséssel DK felé áramlik a Duna irányába. Ilyenkor a víz utánpótlása a háttér felől, a Mezőföld löszplatóin beszívargó csapadékvizekből történik.

A talajvíz és a felszíni víz kapcsolatát kvantitatív módon vizsgáltuk az egyes talajvízkutak és a Duna napi vízszintadatai közötti keresztkorrelációs vizsgálattal, 2005. szeptember 7. és 2019. május 23. között mért idősorok felhasználásával. A 2. ábra a maximális korrelációs együttható értékét, valamint a maximális korrelációs együtthatóhoz tartozó időeltolódást (időkésést) ábrázolja hét talajvízkút vízfolyástól való távolsága függvényében.

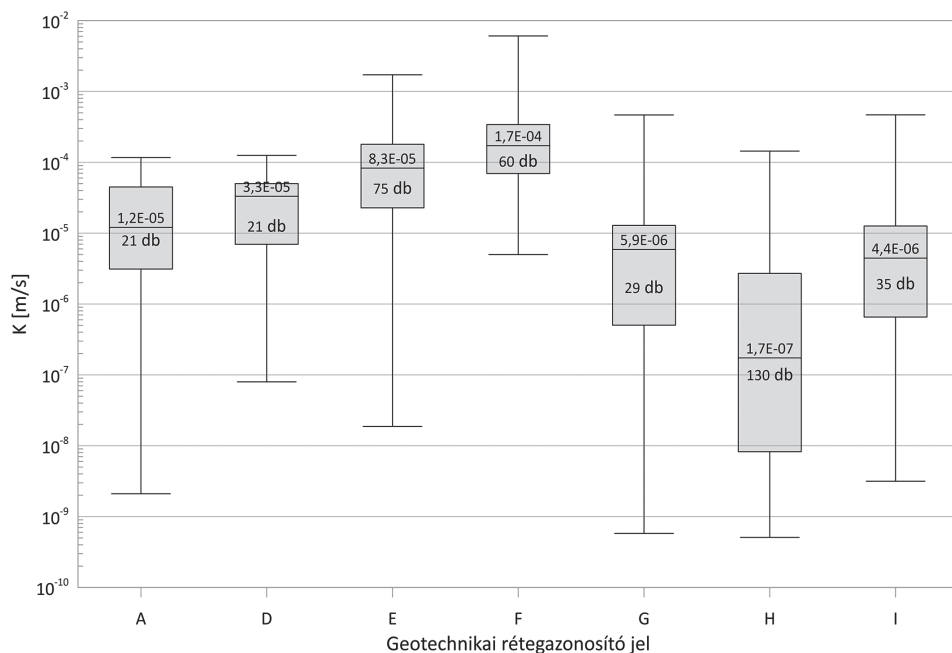
A korrelációs együttható a vízfolyástól nagyjából lineáris függvénykapcsolat szerint csökken, a felszíni víz körülbelül 630 m távolságig határozza meg a talajvíz dinamikáját, ugyanis e távolságon túl a korrelációs együttható értéke 0,7 alá csökken (az R^2 determinációs együttható értéke 0,5 alá csökken). E távolságon túl a felszíni víz már nem határozza meg nagyobb mértékben a mért talajvízszintek variációját, mint az egyéb hatások (például felszínről történő beszívargás, háttérből történő hozzááramlás stb.). A maximális korrelációhoz tartozó időkésés négyzetgyöke és a felszíni víztől való távolság között szintén lineáris függvénykapcsolat valószínűsíthető, ami összevág azzal az elméleti eredménnyel, hogy vonalszerű forrás esetén, pillanatszerű gerjesztés hatására a talajvízszintben létrejövő változás az idő négyzetgyökének megfelelő függvény szerint terjed (Sindalovskiy, 2017).

A tervezett telephely képződményeinek hidraulikai tulajdonságait kúttesztekből, geofizikai mérésekből, a magmintákon elvégzett laboratóriumi, a zavart minták szemeloszlásainak értékelésével, valamint a telephelyen végzett egymásrahas- és nyomjelzéses vizsgálatok segítségével határozták meg.



2. ábra. A talajvíz és a Duna vízszintje közötti maximális korrelációs együttható (A), valamint a maximális korrelációs együtthatóhoz tartozó időlésés (B) alakulása a talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében, a keresztkorrelációs vizsgálat alapján (saját szerkesztés)

A K szivárgási tényező statisztikai jellemzőit mutatja be a 3. ábra. A durva kavicsos réteg szivárgási tényezője a legjobb, a medián értéke kb. 8×10^{-4} m/s. Az „A” jelű kutakkal beszűrőzött középszemcsés homokréteg szivárgási tényezője az előbbinél némileg kisebb, mediánja $5,7 \times 10^{-4}$ m/s. A rétegvíztartó képződmények szivárgási tényezője majdnem egy nagyságrenddel kisebb a terasz kavicsnál, a „C” kutakban a medián 9×10^{-5} m/s, a „D” kutakban 2×10^{-4} m/s.

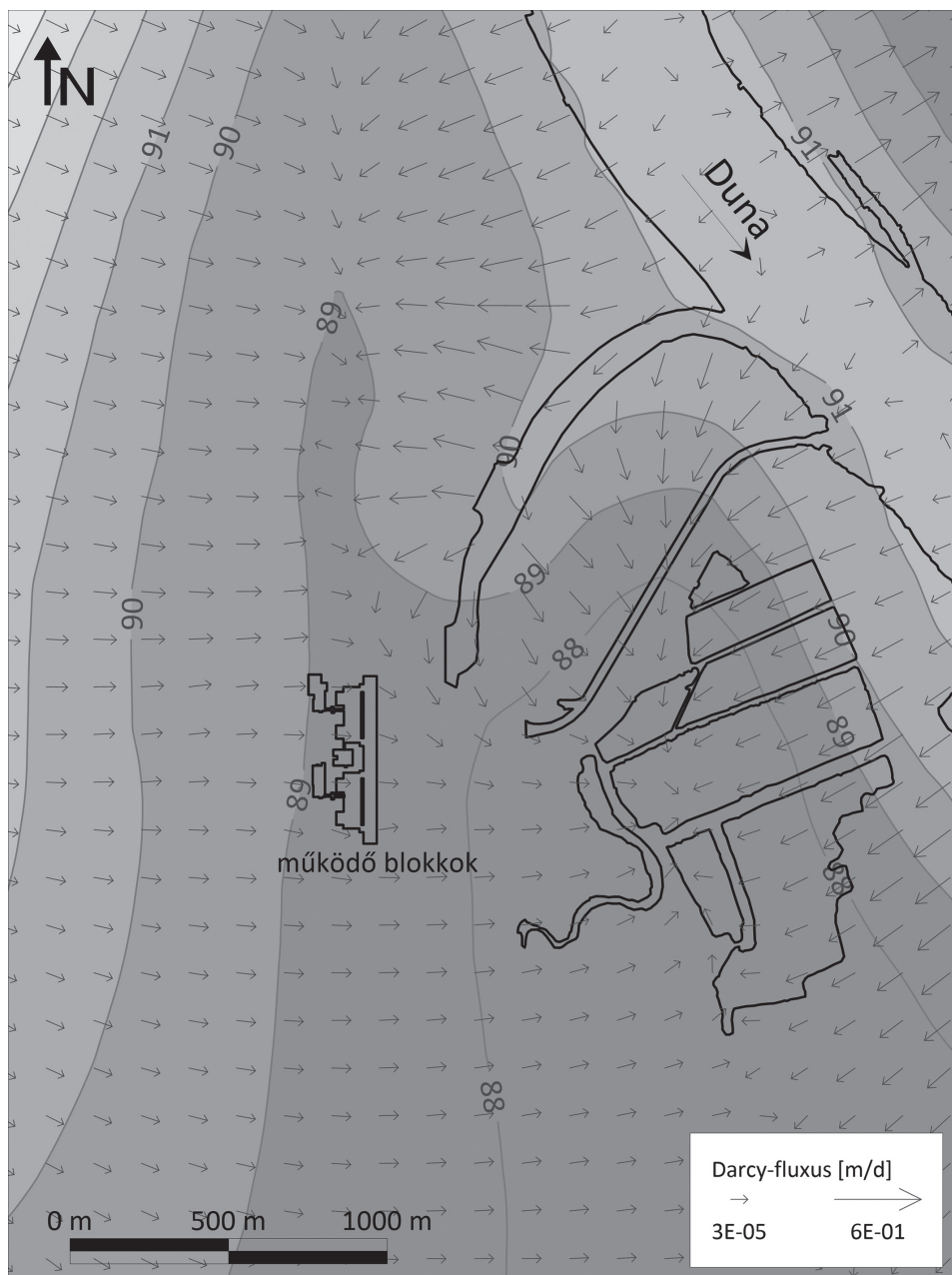


3. ábra. A telephelyi figyelőkutakban meghatározott szivárgási tényezők statisztikai jellemzői (URL2)

A telephelyi vízföldtani modell segítségével meghatározható a Duna hidrodinamikai hatásterülete. A 4. ábra bemutatja a telephelyen, a 2019. június 2-i magas dunai vízállás esetére meghatározott, számított talajvízszinteket és áramlási irányokat (Darcy-fluxusokat). A telephely nyugati részén kirajzolódik az áramlási sebesség minimumát reprezentáló sáv. A kép alapján – ebben a magas dunai vízállással jellemzett időszakban – a felszíni vizek által közvetlenül befolyásolt területsáv 600–700 m széles lehet.

A TELEPHELYVIZSGÁLATI PROGRAM ÚJ VÍZFÖLDTANI EREDMÉNYEI

A telephelyvizsgálati program új ismeretekkel egészítette ki a korábbi kutatások eredményei alapján kialakult vízföldtani képet. A telephelyi fúrásokban elvégzett helyszíni vizsgálatok (egyedi kutas, illetve interferenciás hidrodinamikai vizsgálatok, nyomjelzéses transzportvizsgálatok) alapján a vízföldtani jellemzők lokális változékonysága számszerűsíthetővé vált. Az észlelőkutakká kialakított geotechnikai fúrásokban folyó folyamatos talaj- és rétegvízszint-észlelések alapján lehetővé vált a lokális vízföldtani modell kalibrációja és validálása.



4. ábra. Talajvízszintek [m B.f.¹] és áramlási irányok (Darcy-fluxusok) nagy dunai vízszint esetén (saját szerkesztés)

¹ m B.f.: a Balti-tenger (kronstadti) közepes vízszintjéhez viszonyított magasság méterben.

A lokális vízföldtani modellt a működő atomerőmű és az új atomerőművi blokkok létesítésére kijelölt terület tágabb, kb. $60 \times 60 \text{ km}^2$ -es környezetére jellemző felszín alatti vízáramlási rendszerrel a regionális vízföldtani modellből származó peremfeltételek kapcsolják össze. A regionális vízföldtani modell eredményei alapján vált ismertté a kis és nagy léptékű felszín alatti áramlási rendszerek hierarchiája, a különböző léptékű vízföldtani rendszerek kapcsolódása, illetve a felszín alatti vízrendszer bonyolult kapcsolata az atmoszférával, valamint a felszíni vizekkel.

A folyamatos talaj- és rétegvízszint-észlelések eredményei alapján vált kimutathatóvá, hogy az új blokkok tervezett telephelyének délkeleti részén a talaj- és a rétegvízartó képződmények – a korábbi vízföldtani képpel ellentétesen – közvetlen hidraulikai kapcsolatban állnak. Ennek oka vagy az lehet, hogy e terület-részen a felső-pannóniai vízrekesztő képződmények horizontális folytonossága a tektonikai viszonyok miatt megszakad, illetve oka lehet az is, hogy a vízrekesztő réteg fölött homokosabb betelepülés található. E körülményt mindenképpen figyelembe kell venni az új blokkok építéskor kialakítandó munkagödrök víztelepítésének tervezése során, illetve a szennyezőanyag-terjedési számításoknál.

IRODALOM

- Konrád Gy. (szerk.) (2016): *Földtani Kutatási Program zárójelentése*. Paks: MVM Paks II. Zrt. MÁ/PA2-16-FT-14 V2
- Sindalovskiy, L. N. (2017): *Aquifer Test Solutions*. Switzerland: Springer International Publishing
- SOM System Kft. (2012): *A Paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok telephelyengedély kérelmét megalapozó vizsgálati és értékelési keretprogram. Lévai projekt. Földtani Kutatási Program (FKP)*. Budaörs: SOM System Kft. SOM®475/3 Rev. 4.

URL1: <https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d>

URL2: https://m.blog.hu/as/aszodiattila/image/04_mezogy.pdf