

A RÉTEGZETT ÜLEDÉKEK SZIVÁRGÁSHIDRAULIKÁJA TERÉN ELÉRT EREDMÉNYEK A VITUKIBAN

Dr. Székely Ferenc¹

A VITUKI a vízügyi ágazat által támasztott igényeknek megfelelően három évtizede végez alap- és alkalmazott kutatásokat az ország nagy részét kitöltő rétegzett porózus tároló rendszer hidraulikai folyamatainak vizsgálata terén. **Erdélyi Mihály** nevéhez fűződnek a rétegek elhelyezkedésének, nyomásállapotának és minőségének feltárására irányuló kutatások, **Deák József** a felszínalatti vizek izotóp összetételére irányuló kutatásokat irányította. A fenti vizsgálatok mellett kezdettől fogva kiemelt szerepet játszott az adott kor nemzetközi színvonalának megfelelő szintű szivárgáshidraulikai kutatási eredmények adaptálása és kidolgozása. Tanulmányunkban a réteghidraulikai paraméterek meghatározása, a kúthidraulikai módszerek kidolgozása és alkalmazása, valamint a jelenleg már széles körben használt numerikus szivárgáshidraulikai eljárások fejlesztése és felhasználása terén elért eredményekről adunk áttekintést. A témakörben elért eredmények elsődlegesen nagy számú kutatási jelentésben kerültek dokumentálásra, a mellékelt szemelvényes irodalomjegyzék az adott területen publikált szakkikkekről ad áttekintést.

Réteghidraulikai jellemzők meghatározása

A hetvenes években a VITUKI alapkutatás szintjén vizsgálta a hidraulikai és geofizikai paraméterek közötti összefüggéseket. Ez a kutatás két, jelenleg is jól használható korrelációt eredményezett. A kutatók egyrészt a fajlagos elektromos ellenállás és a vízadók szivárgási tényezője között mutattak ki szoros kapcsolatot (**Gálfi János, - Liebe Pál, 1981**), amely jelenleg a digitalizált karotázs görbék hidraulikai értékelésénél kerül felhasználásra. **Liebe P.** összefüggést talált a szelvényekben jelentkező homokszázalék és a függőleges szivárgási tényező között. Ez utóbbi kapcsolatot az ivó- és hévízkutatásban széleskörűen használják különböző (országos, regionális és lokális) numerikus hidraulikai modellek paraméterezésére.

¹ VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, 1095 Budapest, Kvassay Jenő út 1.
fszekely@vituki.hu

A Debrecen térségében végzett, többször megismételt szintezések igazolták, hogy a nagy volumenű rétegvíz termelés hatására a jelentős vastagságú, finomszemű üledékekben számottevő rétegtömörödés (konszolidáció) alakult ki. A terepsüllyedési és nyomáscsökkenési adatokat összevetve **Székely F.** meghatározta a gyengén áteresztő rétegek konszolidációs tárolási tényezőjét.

A VITUKI javaslatára a 80-as évek végén a (korábban csak hévízkutakban végzett) visszatöltődés méréseket a kútszabvány az ivóvíz kutakra is kötelezően előírta. Ennek alapján ma már a kutak fajlagos vízhozama mellett a vízáadó réteget jellemző transzmisszivitás értékek is rendelkezésre állnak és a vízföldtani naplókban egy folytonosan növekvő adatbázis képződik. A VITUKI a vízkészletek felülvizsgálatával kapcsolatos kutatási programok keretében ezt az adatállományt a korábban létesített kutakon végzett mintegy 1300 visszatöltődés-mérés eredményeinek értékelésével jelentősen kibővítette. Ezzel párhuzamosan mintegy 700 kút karotázs szelvényét digitalizálták.

A VITUKI megrendelésére a közelmúltban **Nagy András** kúttadat-feldolgozó programokat készített a földtani rétegsorok és a digitalizált karotázs adatok feldolgozására. Az utóbbi esetben a geofizikai és hidraulikai paraméterek korrelációja kutanként, a szűrőzött szakaszok szivárgási tényező értékei alapján történik. Jelenleg a programok ellenőrzése továbbá a Windows platformra történő átalakítása folyik. Az eljárás kísérleti bevezetésére a Nyírség modell kialakításánál kerül sor.

Analitikus kúthidraulikai módszerek fejlesztése és alkalmazása

Halász Béla úttörő kúthidraulikai alapkutatási eredményeinek felhasználásával a rétegzett tárolókban kialakuló depresszió analitikus számításának lehetőségeit is fejlesztettük. A számításnál alkalmazott matematikai eljárásra javasoltunk egy algebrai módszert, amelyet VITUKI kiadványban is ismertettünk ([Székely F., 1978](#)). A kutatás eredményei két irányban is hasznosultak.

A homokszálalék és a függőleges szivárgási tényező kapcsolatának meghatározásakor a kiválasztott mintaterületeken szükség volt a gyengén áteresztő képződmények függőleges átszivárgási tényezőjének ismeretére. Ezt több alföldi vízmű hatásterületén a keresett

áteresztőképességi paraméterek manuális kalibrációjával tudtuk meghatározni oly módon, hogy a mért és a fenti analitikus modell alapján számított depresszió értékek eltérését minimalizáltuk. A számított értékeket a vízművek közel permanens depressziós terének terjedelme (térfogata) alapján vízháztartási módszerrel is ellenőriztük ([Liebe P., - Székely F., 1980](#)).

Az analitikus modell részbeni felhasználásával került kifejlesztésre a többszintes, nem permanens kúthidraulikai W szoftver ([Székely F., 1988](#)), amelyet részben önállóan, részben pedig a HEAD numerikus szivárgáshidraulikai szoftverrel összekapcsolva használtak vízmű kutak depressziós tölcserének és üzemi vízszintjének modellezésére.

A kisebb volumenű kúthidraulikai fejlesztések közé lehet sorolni a nem teljes kutak környezetében kialakuló járulékos nyomásvesztés számítását. Ismeretes, hogy a vízáadó réteg teljes vastagságában szűrőzött kutakhoz képest a nem teljes kutakban nagyobb depresszió alakul ki. A nyomáskülönbség számítására kidolgozott eljárást ([Székely F., 1978](#)) táblázatos segédlettel egészítettük ki. A kútvizsgálatokon túlmenően ennek a technikának az alkalmazása a jelenleg bevetetés alatt álló FT numerikus szimulációs szoftvercsomag felhasználásakor fontos. Ez a szoftver számítja a kutak dinamikus vízszintjét, amelynek értékét a szűrőhossz és a modellréteg vastagságának az aránya, a szűrő helyzete, valamint a vízáadó anizotrópiája is befolyásolja.

Numerikus szoftverek alkalmazása

A rétegzett felszínalatti vízáramlási rendszerek, valamint a szennyeződések terjedésének gyakorlati vizsgálata olyan numerikus szoftverek alkalmazását igényli, amelyek alkalmasak a tárolórendszerben kialakuló áramlás és oldottanyag-transzport modellezésére. Ugyancsak numerikus modellekre van szükség a heterogén rétegzett rendszer paramétereinek mérési adatok alapján történő kalibrálásához. A VITUKI a hetvenes évek elejétől kezdődően alkalmaz numerikus szoftvereket a vízáramlás és oldat transzportfolyamatainak modellezésére.

A hetvenes évek modellezési gyakorlatát a saját fejlesztésű KONV elnevezésű program felhasználása jellemezte. Ezt a talajvízáramlás szimulációjára kifejlesztett, egyréteges

programot csak korlátozott mértékben lehetett felhasználni rétegvíztárolók vizsgálatára. Egy rétegvíztároló, a felette települő gyengén áteresztő fedőréteg és a rendszert felülről lezáró, rögzített nyomású talajvíztároló modellezése határozta be az alkalmazási lehetőségeket. A rétegvíz-termelés hatásának becslése céljából, módszertani jelleggel közelítő depresszió-modellezést végeztünk a Duna-Tisza közén, a Nyírségben és a debreceni vízmű hatásterületén.

A nyolcvanas évek elején fejlesztette ki **Székely F.** a többszintes tárolók modellezésére is alkalmas HEAD programot, valamint a hozzá kapcsolódó FLOTRA transzport-szimulátort. A HEAD szoftver kifejlesztésénél figyelembe vettük a Magyar medencének azt a sajátosságát, hogy a különböző hidraulikai szintek elterjedése nem folytonos. A hidraulikai szintek (modellrétegek) kiékelődése vagy lencsés kifejlődése következtében az egyes függvényekben bizonyos képződmények kimaradhatnak. A réteghiányokat a HEAD a tároló folytonosságát biztosító ún. fantom- vagy betétrétegek beiktatása nélkül, szabatosan kezelte. Másik sajátossága volt a multihálózatos modellezés lehetőségének megteremtése. A szoftver a peremfeltételek automatikus exportjával és importjával alkalmas volt több, egymásba ágyazott, eltérő horizontális és vertikális felbontású modell összekapcsolására. Ezzel a hierarchikus szimulációs lehetőséggel céloztuk meg a különböző léptékű (országos, regionális, lokális) folyamatok egyidejű, összekapcsolt modellezését, illetve peremfeltételek biztosítását a részterületeket lefedő modellek számára.

A HEAD program lehetőségei, valamint az egyre növekvő kapacitású személyi számítógépek által nyújtott lehetőségek teremtették meg az Országos Vízföldtani Modell (OVM) koncepciójának kidolgozását és kísérleti megvalósítását. Első lépésként 5 km osztásközű rácshálózat alkalmazásával vizsgáltuk a pannon hévíztárolóban kialakuló nyomáscsökkenéseket a Nagyalföld területén ([Liebe P. - Mike K. - Székely F., 1986](#)). Ezen kívül több vízmű hatásterületén történt modellvizsgálat a kialakult hatások, valamint a fejlesztési lehetőségek felmérése céljából. A programcsomag nagytérségi alkalmazásának elterjedését két probléma gátolta. Az adatbáziskezelő és -megjelenítő szoftverek hiánya a szoftver alkalmazását felhasználói oldalról megnehezítette. A talajvízháztartás összetevőinek egyszerűsített kezelése a víz háztartási alkalmazásoknál okozott nehézséget.

A FLOTRA programot szennyezésterjedési problémák vizsgálatára fejlesztettük és használtuk. Egy alkalmazott kutatási téma keretében például háromdimenziós transzport modellezéssel vizsgáltuk olajipari szennyvíz tervezett mélykutas elhelyezésének vízminőségi hatását a feljebb üzemelő hévízkutakra. A partiszűrészű rendszerek vizsgálatára fejlesztettük ki és alkalmaztuk a MULTRA többkomponensű transzport-szoftvert ([Székely F. - László, F., 1989](#)), amelyet a biológiai eredetű redox folyamatok szimulációjára volt alkalmas az oldott és szilárd fázisú komponensek közötti reakciók figyelembevételével.

A VITUKI megrendelésére, **Halász B.** irányításával készült a DEPR elnevezésű program, amely a nem permanens analitikus kúthidraulikai modellt terjeszti ki heterogén tárolókra a **Székely F.** által kifejlesztett SAN eljárás felhasználásával. Ez az első szoftver, amely a kutak depressziójának számításával egyidőben már figyelembe veszi a nemlineáris talajvíz háztartási függvényt is.

A kilencvenes években, a rendszerváltozást követő PHARE és egyéb programokhoz kapcsolódóan a hidrogeológiai modellezés iránti igények robbanásszerűen megnövekedtek. A nemzetközi szoftverpiac is számottevően bővült, ezért a modellezés lehetőségei jelentősen kitágultak. Jellemző volt a grafikus kezelő felülettel, elő- és utófeldolgozó programokkal rendelkező, felhasználóbarát szoftvercsomagok megjelenése. A VITUKI-ban végzett modellezési munkák jelentős részét képezte a látókörbe került szoftverek alkalmazásának elsajátítása, a regionális és országos adatbázisok kialakítása és formátumának esetenkénti átalakítása, valamint a szoftverek továbbfejlesztésének kezdeményezése/szervezése a magyar sajátosságok figyelembevétele céljából. Ez utóbbiak közül legfontosabb volt a Simonffy Zoltán által kidolgozott és nemlineáris talajvízháztartási jelleggörbe (TVHG) beépítése a különböző szoftverekbe. A szoftverek gyakorlati alkalmazásában, továbbá a kapcsolódó adaptációs, adatbázisfejlesztő, valamint az eredmények megjelenítését támogató kutatási-fejlesztési munkákban **Nagy A., D. Dömötör Katalin és Csepregi András** játszott vezető szerepet.

A leginkább bevált és komplex szolgáltatást nyújtó szoftvercsomagnak kétségtelenül a USGS keretében kifejlesztett MODFLOW, MT3D és MODPATH programokat egybefűző rendszerek bizonyultak. A VITUKI-ban kezdetben a PM3, majd a különböző verziójú PMWIN csomagok használata terjedt el, az újabb verziók már paraméter-kalibrációs

szoftverek (UCODE, PEST) alkalmazását is támogatják. Jelenleg ezeket a szoftvereket számos vállalkozás használja, ezért ismertetésüktől eltekintek. A PMWIN szoftvert a VITUKI sikerrel alkalmazta többszintes tároló rendszerekben lokális vízbázisvédelmi (Kótaj, Debrecen), regionális (Duna-Tisza köze, Maros-hordalékkúp) és országos (OVM) modellezési projekteknél. Előnye a szoftvernek, hogy törtvonalas közelítést alkalmazva képes a TVHG görbével jellemzett beszivárgás és evapotranspiráció eredő hatásának közelítő szimulációjára. Ezt a lehetőséget a VITUKI szimulációinál általában kihasználták.

Az ismertett, véges differencia módszeren alapuló szoftvereken kívül a VITUKI-ban két véges elem program alkalmazására is sor került. Oldat-transzport szimulációs modul ezek a szoftverek nem tartalmaztak, ezért felhasználásuk viszonylag szűk területre korlátozódott.

Az IWACO cég által kifejlesztett TRIWACO program alkalmazása elsősorban lokális és regionális problémák kezelésekor volt hasznos. A hozzá kapcsolódó TRACE program áramvonalak előállítását és a terjedési idő meghatározását végzi. A talajvízháztartási jelleggörbe beépítése tudomásunk szerint nem volt sikeres. A hazai alkalmazóktól származó információk szerint a többszintes OVM futtatása közben nem permanens állapotban numerikus stabilitási problémák jelentkeztek.

A MULTAQ nevű véges elem program első alkalmazása PHARE programmal összefüggésben, a pannon rétegsor hévízkészleteinek felmérése keretében történt. A szoftvert a hévíztermelés által okozott regionális nyomáscsökkenés számítására használták. A kedvező eredmények alapján az OVM adatbázisával is történtek szimulációk. Ennek során a VITUKI kutatói manuális modell kalibrációt is végeztek. A sokszintes porózus tároló paramétereit tájegységenként és modell-rétegenként 1-1 kút vízszintalakulása alapján kalibrálták.

A numerikus és analitikus módszerek kombinációját valósítja meg a VITUKI megrendelésére készült és a vízügyi ágazatban díjmentesen felhasználható ARV szoftver. A **Halász B.** által kifejlesztett algoritmus alapján működő, Windows alatt futó interaktív program permanens nyomáseloszlást, háromdimenziós áramvonalakat és terjedési időt számít a víztermelő kutak hatásterületén. Vízbázisvédelmi modellezésnél, laterálisan homogén tárolórendszert feltételezve, ez a program gyakorlatilag a MODFLOW-MODPATH programpárhoz hasonló szolgáltatásokat nyújt, mindössze az alkalmazható modellrétegek száma kevesebb.

Jelenleg korlátozott körben és kísérleti jelleggel történik az FT szoftver ([Székely F. et al., 2000](#)) alkalmazása. A HEAD szoftver külföldön továbbfejlesztett változatának tekinthető programcsomag a korábbi előnyöket (multihálózatos modellezés, réteghiányok szabatos kezelése) megtartva már pontosan kezeli a görbe vonalú TVHG függvényt és nagy pontosságú kúthidraulikai modellezést biztosít akár több rétegre szűrőzött kutak esetében is.

A minőségbiztosítás és a paraméterbecslés témaköréhez kapcsolódóan a VITUKI a közelmúltban saját finanszírozású kutatási téma keretében vizsgálta néhány modell kalibrációs eljárásának hatékonyságát. Az FT szimulátor felhasználásával a PEST, UCODE és HC nemlineáris regresszió szoftverek kalibrációs képességét elemezték sokszintes tárolók esetében.

Szemelvényes irodalomjegyzék

Bogacki, W. - Davidesz, K.; - Liebe, P. (1994):

The thermal water resources model Hungary. - *Int.Symp.on Water Resources Plaining in a Changing World, Karlsruhe, 1994.*

Csepregi A. (1986):

A Maros-hordalékkúp felszín alatti vízkészletének védelme. - *Földt. Kut. 4. sz. pp. 39-50.*

Erdélyi M., - Liebe P. (1978):

Magyarország törmelékes héviztároló medenceüledékeinek vízföldtana. - *In: Magyarország hévizek III. VITUKI kiadv.*

Gálfi J., - Liebe P. (1981):

A fajlagos elektromos ellenállás és a szivárgási tényezők kapcsolata Vízügyi Közlemények 1981/3.

Liebe P., - Székely F. (1980):

A rétegvizek utánpótlódásának vizsgálata víztermelési és nyomásadatok alapján - *VITUKI Közlem. p. 23.*

Liebe P., - Székely F. (1980a):

Nyomáscsökkenések vizsgálata és előrejelzése hévizekben. - *VITUKI Közlem. p. 23.*

Liebe P., - Nagy A. (1983):

A rétegvíztermelés környezeti hatásainak vizsgálata.

Liebe P., - Mike K. (1983):

Rétegvizeink utánpótlódása és vízminőségi védettsége - *MHT IV.Orsz.Vándorgyűlés, Győr, III.*

Liebe P., - Mike K. - Székely F. (1986):

Az Alföld törmelékes medenceüledékeinek tagolása és nyomásállapotának jellemzése. - *Hidrológiai Közlöny 1986/6. pp. 330-337.*

Liebe P. (1987):

Felszín alatti vizeink regionális nyomáscsökkenése. - *MHT Vándorgyűlés 1987.07.10-11., Salgótarján.*

Nagy. A., - Davideszné D. K. (1992):

Magyarország vízföldtani modellezése. - *MHT*.

Székely F. (1978):

Kutak szivárgáshidraulikai méretezésének néhány kérdése. - *VITUKI Közlem. 9. pp. 1-71*.

Székely F. (1988):

Kutak depressziójának számítása korlátozott kiterjedésű, rétegzett hidrogeológiai rendszerekben. - *Hidrológiai Közlöny 4. pp. 217-223*.

Székely, F., - László, F. (1989):

Simulation of groundwater flow and redox processes around bank-filtration wells.
- *Proceedings of the Symposium held during the Third IAHS Scientific Assembly, Baltimore, MD. IHAS Publ. No. 185 pp. 51-55. May 1989.*

Székely, F., - Y. Senay, - M. Al-Rashed, - A. Al-Sumait, - E. Al-Awadi, (2000):

Computer simulation of the hydraulic impact of water well fields in Kuwait. - *Journal of Hydrology, 235, pp. 205-220.*