

Mederkapcsolati hatásfok: a parti szűrésű víztermelés fontos paramétere

Völgyesi István
AQUARIUS Vízbiztosítási és Vízvédelmi Kft.
1024 Budapest, Káplár u. 3.

Kivonat:

Folyók mellett történő víztermeléskor, ha a vízadó réteg vastag, előfordulhat, hogy a kutak utánpótlódása nem csak a folyóból, hanem a folyó alatti rétegen keresztül a túlsó partról is beindul, sőt, a parti szűrés folyamata esetleg nem is alakul ki. Ilyen hidraulikai helyzetek jellemzésére a tanulmány bevezeti a „mederkapcsolati hatásfok” ($MH\%$) fogalmát, melynek mérőszámában kifejezésre jut a mederfenék eltömődése és a vízvezető réteg harántolásának mélysége is. A $MH\%$ paraméter a Hantush–Lapsin egyenletekkel állítható elő, gyakorlati meghatározása pedig próbaszivattyúzással történik. A tanulmány öt terepi kísérlet eredményeit is ismerteti.

Kulcsszavak:

parti szűrés, mederellenállás, eltömődés, részleges behatolás, próbaszivattyúzás.

1. Bevezetés

Parti szűrésű vízbázisoknál a termelt víz folyóból érkező hányadának meghatározása mindig bizonytalan és sokat vitatott kérdés volt. Az nyilvánvaló, hogy a folyóval ellentétes oldalról érkeznek az úgynevezett „háttérvizek”, de honnan kap utánpótlódást a folyó felőli oldal? Korábban általános volt az a vélemény, hogy a folyóból, ennek megfelelően egy parti szűrésű vízbázis vízgyűjtőterületének határát a folyóparton volt szokás kijelölni. Legjobb esetben is a folyó túlsó partján.

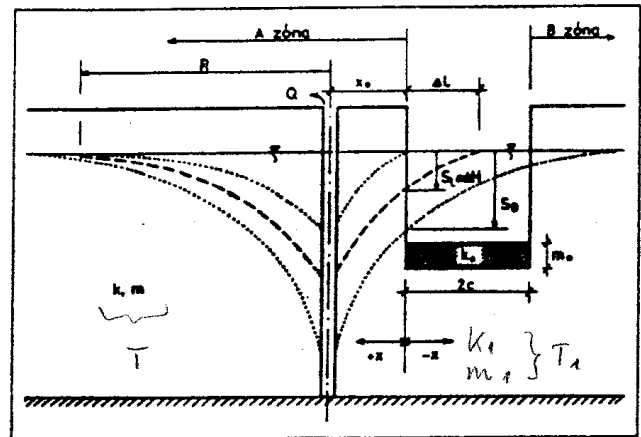
Később szaporodtak a jelek, amelyek arra utaltak, hogy a vízfolyás felőli utánpótlódás helyenként (pl. Mohácsi-sziget) csak minimális mértékű, sőt kisebb folyóknál (pl. Hernád) az is kiderült, hogy a depresszió megjelenik a túlsó parton is, ennél fogva a talajvíz – és vele együtt az esetleges szennyeződések – a túlsó partról is eljuthatnak a vízbázis kútjaihoz.

Ezek a jelenségek tulajdonképpen érthetőek, hisz mindig is tudott volt, hogy a felszíni vizek és a talajvíz kapcsolata nem közvetlen, nem ellenállásmentes. A kútellenállás jelensége például közismert, és senki sem lepődik meg azon, hogy emiatt a kúton belül (felszíni víz) és kívül (talajvíz) jelentősen különböző vízszintek alakulnak ki, másszóval vízszálszakadás jön létre.

Hasonló ellenállások lépnek fel a nyílt medrek vize és a talajvíz találkozási zónáiban is. Ennek két oka van: részben a mederfenéken mindig kialakul egy rosszabb vízvezetőképességű réteg a finomszemű anyagok kiülepedése és a kolmatáció révén, részben pedig a folyó általában nem harántolja teljes vastagságban a vízvezető réteget, így – parti víztermelés esetén – lehetséges, hogy a túlparti talajvíztömegeknek kisebb ellenállást kell legyőzniük a kutak felé, mint a folyó vízének.

2. A mederellenállás hidraulikai jellemzése

Az alábbiakban a parton telepített kutak szempontjából vizsgáljuk meg a felszíni vízer és a talajvíz kapcsolatát. Az 1. ábrán ilyen kút látható, három különböző depressziós tölcserrel.



1. ábra. Parti szűrésű kút depressziós görbéi

A legmélyebb vízszint (pontosan ábrázolva) akkor alakul ki a kút körül, ha a folyó felől egyáltalán nincs utánpótlódás. Ebben az esetben a kút tengelyére szimmetrikus görbét a Dupuit egyenlet írja le.

Ha viszont a mederrel való kapcsolat tökéletes, tehát ellenállásmentes, akkor a (szintén pontokkal jelölt) legmagasabb helyzetű leszívási tölcser fejlődik ki. Ez a folyó vízszintjéhez köt be és már nem szimmetrikus a kút tengelyére. A görbe a Forchheimer-féle tükrözéses egyenlettel írható le. Csak akkor alakul ki, ha a folyó teljes vastagságában harántolja a vízvezető réteget, és a meder falán semmiféle eltömődés nincs.

A valóságban mindig a két szélső eset közti állapotról, a szaggatottan jelzett depressziós görbére számíthatunk. Ha ez a görbe ismert, akkor a mederellenállás háromféleképpen jellemezhető:

- A kút felőli partélnél a kút nyomásgörbéje és a folyó vízszintje közötti függőleges távolsággal (ΔH). Ekkora nyomómagasság-vesztés jelentkezik a folyóból a rétegbe történő belépésnél a partvonalon.
- A kút felőli partél és a kút nyomásgörbéjének a folyó oldalán mérhető kimetsződési pontja (hatástávolsági végpontja) közötti vízszintes távolsággal

(ΔL). Ennek a távolságnak fizikai értelme is van: ha itt egy mederellenállás nélküli folyót képzelünk el, ennek ugyanolyan hatása lenne a kútra, mint a tényleges távolságban lévő, de mederellenállással rendelkező folyónak.

- Az $(s_D - s_L)/s_D$ aránnyal, melyet mederkommunikációs tényezőnek, vagy %-os értékben *mederkapcsolati hatásfoknak* ($MH\%$) nevezhetünk. Értéke elméletileg 0% és 100 % között változhat.

A mederkapcsolati hatásfok a felszíni víz és talajvíz kölcsönhatását átfogóbban jellemzi, mint a mederellenállást kifejező ΔH és ΔL mennyiségek, mert ez utóbbiak értéke a kút hozamától is függ. Az $MH\%$ esetében viszont az s_D és s_L is nő a kút növekvő hozamával, de arányuk alig változik.

Mindenesetre: bármelyik mederellenállást vagy mederkapcsolatot kifejező paramétert választjuk is, azok valamelyikét alkalmazni kell egy folyó tényleges hatásának megítélésakor. A folyó hatását mindenképpen csak „gyengítve” vehetjük figyelembe, akár a folyó vízszintjének talajvizet befolyásoló hatásáról, akár pedig a folyóból a rétegbe utánpótlódó vízmennyiség meghatározásáról van szó. A közvetlen kapcsolat feltételezése jelentős hibákhoz vezethet.

A mederkapcsolati hatásfok mellett a folyóból történő utánpótlódást jellemezheti természetesen a fenéken kialakult rossz vezetőképességű réteg vastagsága és szivárgási tényezője is, melyeket az 1. ábra jelölései szerint a $b = k_o/m_o$ hányadosba vonhatunk össze. Ez nem más, mint az eltömődött fenékréteg függőleges irányú hidraulikai ellenállásának reciproka, tehát vezetőképessége. (Dimenziója d^{-1} , nem azonos a $m^2 d^{-1}$ dimenziójú transzmisszivitással.) Másképp fogalmazva ez a hányados egyértelmű a mederfenék l m^2 -én átszivárgó vízhozammal l m -es vízszintkülönbség hatására. Ha azonban a folyóvízzel történő kapcsolat számítása a b paraméter alkalmazásával történik, akkor még külön figyelembe kell venni azt a többletellenállást is, ami a vízvezető réteg nem teljes harántolásából származik. Ilyen értelemben tehát a mederkapcsolati hatásfok a b vezetőképességnél is általánosabb érvényű paraméter.

3. A Hantush–Lapsin egyenletek

Mint láttuk, a mederkapcsolati hatásfok két nyomásvonal ismeretében határozható meg; a Dupuit-görbe mellett ismernünk kell a folyó felől érkező utánpótlódás következtében kialakult nyomásvonalat is. Ez utóbbit Hantush (1966) és Lapsin (Bocsever; Lapsin; Oradovszkaja 1979) egyenleteinek segítségével állítjuk elő.

A két szerző egymáshoz hasonló módszerrel vizsgálta egy kút környezetében a szivárgó vízmozgást, akkor, ha a kút nem csak a rétegből, hanem a közelben lévő nyílt meder alatt ebből a mederből is táplálkozik, mégpedig a meder alatt kialakult leszívással arányos felületi utánpótlódás formájában.

Mindkét megoldás szerint a part menti kút körüli teret két zónára osztjuk. A folyópartig terjedő A zónában, illetve a túlparton lévő B zónában a leszívások:

$$s_A = \frac{Q}{2\pi T} \left(\frac{\rho}{r} + I_1 + I_2 \right) \quad (1)$$

$$s_B = \frac{Q}{2\pi T} (I_1 - I_2) \quad (2)$$

A képletek teljes kutakra vonatkoznak, feltételezve, hogy a $T = km$ transzmisszivitás független a depressziótól. Az I -vel jelölt mennyiségek fejezik ki a mederfenék eltömődéséből és a nem teljes harántolásból származó ellenállásokat. Meghatározásuk általános esetben Fourier-integrálokkal történhet, ha azonban a depressziós görbét csak a folyópartra merőleges szelvényben akarjuk számítani, akkor (közelítően) a következő egyszerűbb kifejezések használhatók:

$$I_1 = \exp(\lambda_1 \bar{x}) E_i(\lambda_1 \bar{x})$$

$$I_2 = \exp(\lambda_2 \bar{x}) E_i(\lambda_2 \bar{x})$$

Az eddigi képletekben:

$$\rho = x + x_o \quad r = x - x_o$$

$$\bar{x} = \alpha (x' + x_o)$$

$$\alpha = \sqrt{k_o / T_1 m_o}$$

$$x' = x \text{ (az } A \text{ zónában)} \quad x' = -x - 2c \text{ (a } B \text{ zónában)}$$

$$\bar{c} = \alpha c$$

$$\lambda_1 = th \bar{c} \quad \lambda_2 = cth \bar{c}$$

E_i a Theiss-féle kútfüggvény (integrál exponenciális) jele, végtelen sorral határozható meg. A többi mennyiség a 1. ábrán szerepel.

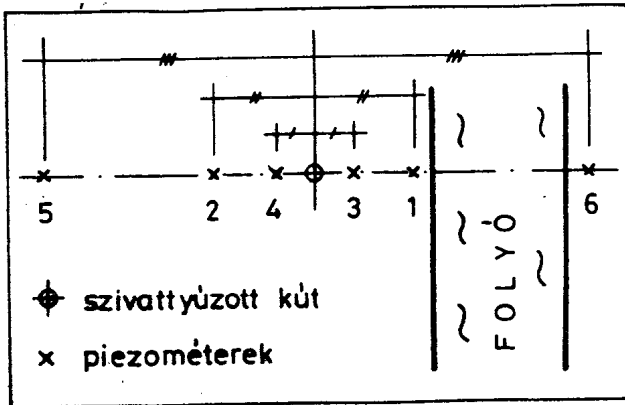
Említést érdemel, hogy ha a folyó fenekén nincs eltömődést okozó réteg ($m_o = 0$), és ugyanakkor a folyó teljes vastagságban harántolja a vízvezető réteget, akkor $I_1 = I_2 = 0$, így az (1) egyenlet a Forcliheimer összefüggéssel válik azonossá, a (2) pedig nem értelmezhető (ilyen esetben a folyó túlpartján valóban nem alakulhat ki leszívás).

Fenti összefüggéseket Székely (1981) és Aujeszky (1985) részben már ismertették a magyar szakirodalomban is, de az I függvények számszerű meghatározására nem tértek ki. A jelenleg közölt formulák az eredeti külföldi kiadványokban hibásan szereplő képletek javításával, illetve további egyszerűsítések után születtek, és a Fourier-integrállal elérhető pontos megoldáshoz képest (a gyenge mederkapcsolatok, tehát a nagy mederellenállások tartományában) maximálisan 10 %-os hibával terheltek, úgy, hogy a valódi I értékek mindig kisebbek.

4. A mederkapcsolati hatásfok meghatározása

Az (1) és (2) egyenletek általánosabban az $s_L = (Q, x, T, \alpha)$ alakban írhatók. Ha egy Q hozammal szivattyúzott kút mellett a leszívási görbe x távolságban lévő pontját (az $MH\%$ számításánál $x = x_o$) meg akarjuk határozni, akkor ismernünk kell a T_1 és α paramétereket is. Ehhez próbaszivattyúzást kell végeznünk, melynek során a leszívási görbe helyzetét több piezométerben megmérjük, majd az így kiadódó $x - s_L$ értékpárokból következtetünk a T_1 és α paraméterekre.

Három ismeretlen lévén, legalább három piezométerre van szükség, célszerűbb azonban négyet, de inkább hatot telepíteni a szivott kút vonalában, a folyó



2. ábra. Célszerű kútelrendezés próbaszivattyúzáshoz

partjára merőleges sorba, ahogy azt a 2. ábra mutatja. (A sorszámozás a piezométerek fontossági sorrendjét is jelzi. Duna nagyságrendű folyóknál az 5-6 piezométerek nem szükségesek.)

A kiadódó leszívási görbe aszimmetrikus alakja már önmagában is ad egy képet a mederrel való kapcsolat erősségéről. Ezen túlmenően a mérési eredmények számszerű kiértékelése úgy történhet, hogy a Hantush-Lapsin egyenletek alapján olyan számítógépi programot készítünk, amelyben a T_1 és α paraméterek módszeres változtatására van lehetőség, miközben a program számítja az s_L leszívást a piezométerek távolságában, összehasonlítja ezeket a mért leszívásokkal, majd pedig képezi és megjegyzi az eltérések négyzetösszegeit. Végül kijelzi a három ismeretlen paraméternek azt az értékét, ahol ez a négyzetösszeg a legkisebb volt. Ezzel az eljárással lényegében a mért értékekhez legjobban illeszkedő elméleti görbét tudjuk megkeresni, ezután pedig az elméleti görbe paramétereinek birtokában számíthatjuk a partélnél kialakuló s_L leszívást is.

A gyakorlati munka közben felvetődött, hogy ez az s_L érték közvetlenül is megmérhető lenne, ha a szivattyúzást megelőzően, kisvízi állapotban a partélen elkészülhetne egy piezométer. Ezt mostanáig sehol nem tudtuk megvalósítani.

Szükségünk van a továbbiakban s_D értékére is, melyet az $s_D = f(Q, x, T, R)$ alakú Dupuit egyenletekből számíthatunk. Itt új ismeretlenként jelenik meg a Q hozamhoz tartozó leszívás távolhatása (R). Ezt vagy empirikus összefüggésekből (Sichardt, Kuszakin, Koženy, stb.), vagy a hátoldali piezométerek adataiból határozhatjuk meg, az $R = x \exp(2\pi T s / Q)$ képletből, majd – több piezométer esetén számtani középként – számítható az R átlagos értéke is.

Célszerű az így adódó R nagyságát 10-15 %-kal megnövelni, mert a valóságban a folyó hatására a háttérben is kisebbek lesznek a leszívások, ezekből pedig kisebb R -t számíthatunk, mint ami a folyó által nem befolyásolt Dupuit görbe alapján adódna.

Észre kell vennünk, hogy az α és T_1 paraméterek ismeretében már a $b = k_j / m_0$ hányados, vagyis a mederfenék vezetőképessége is meghatározható, éppen az α definícióját jelentő képletből. Tehát a fent leírt próbaszivattyúzás révén a folyó hatásának értékeléséhez szükséges összes paraméterhez hozzájuthatunk, és így

további számításainkat már bármilyen módszerrel végezhetjük.

Megemlítjük még, hogy a fenti egyenletek szigorúan véve csak nyomott szintű rétegbe épített teljes kutakra érvényesek. A tapasztalatok szerint azonban jól használhatók akkor is, ha a nyomott szintű szivárgás a termeltetett kút közelében szabad szintűvé válik.

Végül: a számítások pontosságát még további három tényező befolyásolja:

- Maga a mederkapcsolat mértéke. Ha $\alpha < 0,01$, tehát a kapcsolat gyenge, akkor $s_L \sim s_D$, és $MH\%$ értéke -5% és $+5\%$ körül véletlenszerűen alakul. Ebben az esetben csak azt lehet megállapítani, hogy a mederrel való kapcsolat gyakorlatilag elhanyagolható.
- A kút és a folyó közti távolság (x_0). Ez nem lehet nagyobb a rétegvastagságnál.
- A folyó és a talajvíz szintjeinek viszonya. A képletrendszer levezetésekor feltételezték, hogy a két szint azonos. (Több éves átlagszinteket alapul véve ez a gyakorlatban így is van, főleg erős mederkapcsolat esetén.) Ha viszont a folyó gyors szintváltozása miatt a talajvízszint esése éppen változóban van, akkor kisebb pontosságra számíthatunk. Ilyen helyzetben gyakran a partvonal helye sem egyértelmű. Célszerű tehát a próbaszivattyúzásokat a folyó középvízi időszakára tervezni, és ebben az időszakban lebonyolítani.

5. Terepi vizsgálatok és eredményeik

A közelmúltban öt különböző helyszínen végeztünk próbaszivattyúzást a mederellenállás, illetve a mederkapcsolati hatások meghatározása érdekében. Két esetben a Mohácsi-szigeten, a Duna bal partján, egy-egy esetben a Sajó és a Hernád mentén, a sajóládi vízbázis közelében, egy alkalommal pedig Tát térségében, a Körtyvélyesi-sziget és a TÁti-sziget közti holtág mellett. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Az $MH\%$ csupán a Duna 1457 fkm szelvényében jelez gyakorlatilag is számba vehető mederkapcsolatot, máshol a kapcsolat nincs meg, vagy jelentéktelen. (Az 1445 fkm-ben a szivattyúzást az 1991 augusztusában váratlanul jelentkező árvíz megzavarta, ezért itt az eredmények bizonytalanok.) A Sajó és a Hernád mellett a gyenge kapcsolat közvetlenül is érzékelhető volt, itt ugyanis egy-egy piezométer a folyók túlsó partjára került, és ezekben ugyanolyan nagyságrendű leszívás alakult ki, mint a szívott kút felőli oldalon hasonló

1. táblázat

Próbaszivattyúzási eredmények

	Duna 1457 fkm	Duna 1445 fkm	Hernád	Sajó	Duna-ág Tát
Q (1/p)	1500	2500	2450	2700	460
m (m)	30	30	40	55	7
T (m ² /d)	580	1460	13700	10300	720
α (m ⁻¹)	0,0900	0,0119	0,0125	0,0163	0,0206
b (d ⁻¹)	4,70	0,20	2,15	2,74	0,31
$MH\%$	19,7	0	5,2	0	10,5

távolságra levő piezométerekben. Mintha a folyó ott sem lett volna. Ezt elsősorban a kismértékű harántolásnak köszönhetjük, hiszen mindkét helyen a sekély folyómedrek nagyvastagságú, igen jó vezetőképességű réteget éppen csak érintve fejlődtek ki. Pontosan ez az a helyzet, mikor a víz „szívesebben” jön a túlsó parttól. Annak ellenére így van ez, hogy a két folyó fenekén nincs komoly eltömődés, a b paraméterek meg lehetőségen nagyok.

A szakirodalomban egyébként alig találni számszerű adatokat a b nagyságra vonatkozóan. Székely (1981) szerint $b \sim 0,1 d^{-1}$ becsülhető, Zima (1988) saját, ill. Grigorjev mérései alapján $b = 0,07 - 0,24 d^{-1}$ értékeket közöl.

A táti Duna-ágnál a mederfenék vezetőképessége egy nagyságrenddel rosszabb, a mederrel való kapcsolat mégis valamivel jobb, mert a mindössze 7 m vastag vízvezető rétegbe való behatolás nagyobb, mintegy 40 %-os.

6. Következtetések

A Hantush–Lapsin módszer alkalmazása, vagyis a mederkapcsolati viszonyok tisztázása minden parti szűrésű vízbázisnál célszerű volna. A már üzemelő telepeknél

gyakran a vízszintmérésre alkalmas észlelőkutak is rendelkezésre állnak. Ha a kapcsolat gyenge, akkor várható, hogy hosszabb idő után a termelőkutak onnan is elszennyeződnek, ahonnan nem is vártuk: a folyó túlsó partjáról.

Újjonnan igénybe veendő partszakaszokon pedig csak így lehet előrejelezni a kitermelhető vízhozamot és a termelés által okozott leszívásokat egyaránt.

Irodalom

- Aujeszký, G., 1985. Felszínközeli vízádot megcsapoló vízkivétel méretezési szempontjai. *Hidrológiai Közöny*, 4. sz.
- Bocsever, F. M., Lapsin, N. N., Oradovszkaja, A. E., 1979. Zascita podzemhuh vod ot zagraznyenija. *NEDRA, Moszkva*.
- Hantush, M. S. 1966. Pompage d'essai dans un puits á proximité d'une rivieére colmatée. *Bulletin du BRGM*, (deux. série) Sect. III, no 3/4.
- Székely, F., 1981. Parti szűrésű kutak szivárgáshidraulikai, védőterületi és vízminőségi méretezése. *VITUKI Közlemények* 30. sz.
- Zima, K., 1988. Prognóza množstvi a jakosti podzemní vody jímané v blízkosti feky. *Vodni hospodářství* 2., rada B.

A kézirat beérkezett: 1992. február 10.

Közlésre elfogadva: 1993. január 1.

Efficiency of Stream-Aquifer Interaction: an important Parameter of Bank Storage Völgyesi, I.

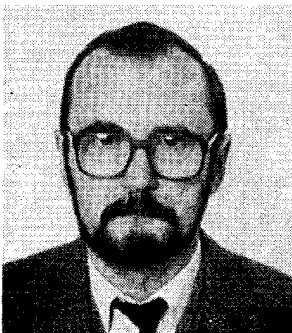
Abstract:

In the course of water production from a well located nearby a river, supply is usually provided by the river itself. If, however, the aquifer underlying the river is of considerable thickness, water might be supplied from the opposite river bank as well and, the process of bank storage might not even take place. A riverside well of this type is shown in Fig. 1. The two theoretical situations (of no supply from the river at all and, a full and hydraulically unrestricted supply respectively) are characterized by the upper and lower (dotted) piezometric surfaces. The central line on the other hand is representing the actual piezometric surface existing in reality. On the basis of these line the term of 'Efficiency of stream-aquifer interaction' is introduced by the paper. Magnitude of this parameter is depending on both resistances caused by sediment layers at the river bottom and by the partial penetration of the riverbed. The actual groundwater head function is described by the Hantush-Lapsin equations (1) and (2). To determine the individual parameters of the equations a pumping test is necessary. The well pattern of the pumping test is shown in Fig. 2. Results of five pumping tests are presented in Table 1. Interaction between wells and river is obviously rather poor even near the Danube.

Keywords:

bank storage, resistance of river bed, clogging, partially penetration, pumping test

VÖLGYESI ISTVÁN



geológus mérnök (1962), vízépítő mérnök (1976), egyetemi doktor (1983). Kezdetben a Földtani Kutató-Fúró Vállalat geológusa, 1964-től a VÍZITERV tervezője, majd irányító tervezője, 1990-től pedig az AQUARIUS Vízbeszerzési és Vízvédelmi Kft ügyvezetője. Több évet töltött Mongóliában térképező hidrológusként és Algériában hidrogeológus tervezőként. Főbb működési területei: hidrogeológia, szivárgáshidraulika, geotechnika, környezeti hatásvizsgálatok. Ezekben a témakörökben több mint tíz publikációja jelent meg szaklapokban. A Vitális Sándor szakirodalmi díjjal kitüntették.