

Horizontális és csápos kutak hidraulikai modellezése különböző számítási eljárások segítségével

Nyiri Gábor*, Székely Ferenc*, Zákányi Balázs*, Szűcs Péter**

* Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet Miskolc, Egyetemváros, 3515, hgnyg@uni-miskolc.hu

** MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

Kivonat

Magyarországon az ivóvízellátás nagyjából 35 %-ban parti szűrésű vízbázisokra épül, valamint távlati ivóvízbázisaink jelentős része is erre a felszín alatti víztípusra támaszkodik. Munkánkban a parti szűrésű vízbázisok jellemző víztermelő műtárgyával, a csápos kutakkal foglalkozunk, melyek a magyarországi parti szűrésű vízbázisok termelésének jelentős hányadát adják. Előnyük a függőleges kutakkal szemben, hogy a horizontális kialakítással, egy kút telepítése esetén megnövekszik a hasznos szűrőfelület. Ezen kúttípusok hidraulikai viszonyait vizsgáljuk különböző számítási módszerek segítségével. A parti szűrésű rendszerekről elmondható, hogy igen változatos földtani felépítéssel és összetett hidraulikai viszonyokkal rendelkeznek. Ezen bonyolult hidrogeológiai körülmények modellezési lehetőségeit tovább nehezíti a csápos kutak alkalmazása. Munkánkban ezen modellezési problémákra keresünk megoldási lehetőségeket. Tanulmányunkban egy fél-analitikus, valamint egy véges differencia módszert alkalmazunk a termelés hatására kialakult vízszintek meghatározására, permanens állapotban. Vizsgálatunk során két jellemző kútgeometriával dolgoztunk. Egyik esetben egy egyirányban, horizontálisan telepített kút, másik esetben pedig egy ötágú csáposkút környezetében számítottuk ki a kialakuló vízszinteket. A számítási eredmények összehasonlításával megbizonyosodhatunk a módszerek alkalmazásáról, és jobb képet kaphatunk a csápos kutak hidraulikai viszonyairól. A számított vízszinteket összevetettük független számítási eredményekkel. Ezen eredményeket felhasználva a továbbiakban célunk valós földtani viszonyokban telepített kutak komplex hidrodinamikai vizsgálata.

Kulcsszavak

Parti szűrés, csápos kút, kúthidraulika, hidraulikai modellezés, Multi-Node Well 2.

Hydraulic modelling of horizontal and radial collector wells using different calculation methods

Abstract

In Hungary, approximately 35% of drinking water supply is based on riverbank-filtrated water resources, and a significant part of our long-term drinking water bases rely on this type of groundwater. In our work, we are dealing with the typical water-producing structure of riverbank filtration systems, the radial collector wells, which produce a significant part of the water production in Hungary, especially in Budapest. Their advantage over vertical wells is that with the horizontal design, the installation of a well increases the effective filter surface. The hydraulic conditions of these types of wells are examined using different calculation methods. Riverbank filtrated systems are characterized by a wide variety of geological structures and complex hydraulic conditions. The modelling possibilities of these hydrogeologic conditions are further complicated by the use of Ranney collector wells. Recognizing this situation, we were looking for solutions to these modelling problems. In our study, we used a semi-analytical and a finite difference method to determine the water levels generated by production in steady state condition. Two typical well types were tested: a horizontally installed well, and a radial collector well with five arms. By comparing the results of the calculations, we can verify the suitability of the methods and get a better view of the hydraulic conditions of the radial collector wells. The calculated water levels were compared with independent calculation results. Using these results, we aim to further carry out complex investigation of the hydrodynamics of wells in real geological conditions.

Key words

Riverbank filtration system, horizontal collector well, Ranney well, well hydraulics, hydraulic modelling, Multi-Node Well 2.

BEVEZETÉS

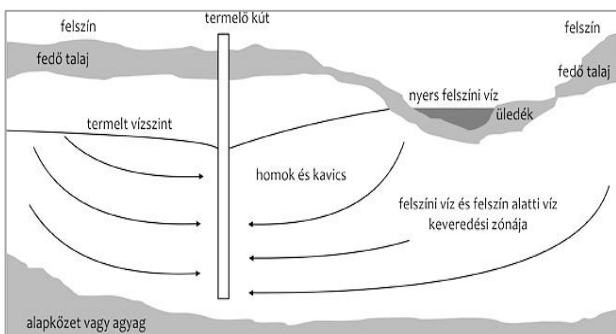
Hazánk ivóvízellátásának nagyjából 95 %-a felszín alatti vizekből ered (Ilyés és társai 2017), melyben fontos szerepet játszanak a parti szűrésű vízbázisok. Az egyre sűrűbben tapasztalható időjárási szélsőségek hatással lehetnek ezen vízbázisok után-pótlódására is (Ilyés és társai 2016). A parti szűrés jogszabályban foglalt definíciója a következő: „felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, melyben a vízkivételi művek által termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben a felszíni vízből történő beszivárgásból származik” (123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet). Arányait tekintve az ivóvízellátás 35-40%-a parti szűrésű rendszerekre támaszkodik. Ezen vízbázisok jelentőségét fokozza, hogy távlati ivóvízbázisaink 70-75%-a ilyen folyóparti környezetben helyezked-

nek el (Kármán 2013). Jellemző továbbá ezen vízbázisokra, hogy előfordulásuk változatos, valamint összetett geológiai, hidrogeológiai viszonyokkal rendelkeznek. A vízkivételhez kapcsolódóan különböző műszaki megoldások ismeretese, melyek még összetettebbé teszik ezen vízbázisok hidraulikai modellezését. A víz kitermelését tekintve többfajta műtárgy használatos: galéria, függőleges kút, valamint a kutak egy speciális fajtája, a csápos kút. A változatos műszaki kialakítás és hidrogeológiai körülmények ellenére a modellezési gyakorlat jelentős egyszerűsítéseket használ (vertikális helyettesítő kutak, egyszerű peremfeltételek). Munkánkban ezen csápos kutak hidraulikai vizsgálatával foglalkozunk, több számítási módszert összehasonlítva. A numerikus modellezés során a MODFLOW MNW2 modulját használtuk, amely véges

differentia módszert alkalmaz. Az MNW2 (Multi-Node Well 2) modul alkalmas horizontális, valamint ferde kutak modellezésére (Konikow és társai 2009). Ezen modul használatával célunk ezen vízbázisok bonyolultságához illeszkedő numerikus modellezés gyakorlatának elősegítése, melynek első lépése, hogy az MNW2 modul csápos kutak hidraulikai vizsgálatára való alkalmazhatóságát megismerjük. A pontosabb hidraulikai viszonyokat megismerve további teendő, hogy valós földtani körülmények között teszteljük az MNW2 modult.

A PARTI SZŰRÉS FOLYAMATA

Parti szűrés során a felszíni víz közelében telepített víztermelő műtárgy segítségével a talajvizet termeljük. Ennek eredményeképpen a műtárgy környezetében depresszió és ezzel együtt hidraulikus gradiens csökkenés tapasztalható (Kármán 2013). A gradiens változásával szivárgás indul meg a folyó és a háttér felől is (1. ábra). Megfelelő mederkapcsolat esetén a folyó felől nagyobb arányban (több mint 50%-ban) történik az utánpótlódás, ekkor beszélhetünk parti szűrésről (Ray és társai 2002). Maga a szűrés a felszín alatti közegben bekövetkező természetes hidrodinamikai (hígulás), mechanikai (szűrés), biológiai (mikroorganizmusok tevékenysége), fizikai-kémiai (csapadékképződés, adszorpció, koaguláció stb.) tisztítási folyamat (Hiscock és Grischek 2002). Mindezen folyamatok eredményeképpen, megfelelő földtani és víztermelési körülmények esetén a termelt víz ivóvíz minőségűre is tisztulhat, ezzel elkerülve a költséges víztisztító technológiák telepítését.



1. ábra. A parti szűrés sematikus ábrája (Forrás: Kármán 2013)
Figure 1. The schematic cross section of riverbank filtration (Source: Kármán 2013)

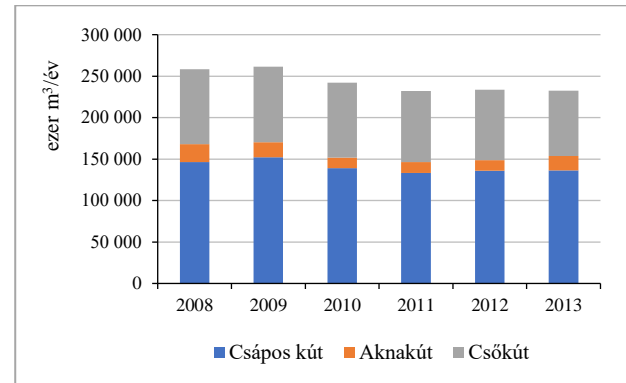
Magyarországon a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (OVF 2015) adatai szerint 15 db sekély porózus víztesten 91 db parti szűrésű vízbázis van, melyből 51 db üzemelő és 40 db távlati vízbázis. Ezen vízbázisok többnyire a Duna, a Sajó, a Hernád, a Rába, valamint a Mura mentén található. Budapest ivóvízellátása is nagymértékben a Szentendrei-sziget, valamint a Csepel-sziget parti szűrésű vízbázisaira épül.

PARTI SZŰRÉSŰ VÍZTERMELÉS

Parti szűrésű vízbázisok termelésére főként a következő kúttípusokat használjuk a magyar gyakorlatban: a „hagyományos” csökutak, aknakutak, valamint a csápos kutak. A csápos kutak előnye a csökutakkal szemben, hogy a vékony vízadók esetében a szűrők vízszintes elhelyezésével megnövekedik a hasznos szűrőfelület, ezáltal nagyobb hoz-

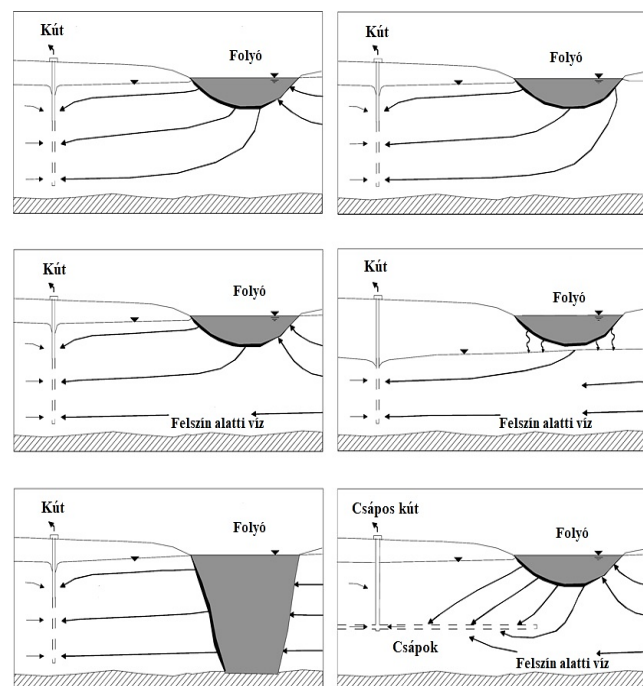
zamat érhetünk el egy kút telepítésével. Ezen hozamnövekmény jó példája a Varsóban található Gruba Kaska. A Varsó ivóvízellátását szolgáló, a Visztula közepén kialakított, 15 csáppal rendelkező csápos kút akár 150 000 m³/nap vízhozamot is tud szolgáltatni a városnak (Babac és társai 2009).

A Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (OVF 2015) 2008 és 2013 közötti időszakra vonatkozó termelési adatokat is megad, melyek alapján látszik a csápos kutak víztermelésének nagy aránya. A különböző vízkivételi művek termelésének éves értékeit szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Kúttípusok víztermelésének megoszlása (OVF 2015)
Figure 2. Yearly production of different type of wells (OVF 2015)

A hidraulikai viszonyokat tekintve, több paramétertől függően (mederkapcsolati hatások, termelt hozam, vízadó harántolásának mértéke, víztermelő létesítmény típusa stb.) különböző áramlási szituációk jöhetnek létre, melyeket a 3. ábra szemléltet (Hiscock, Grischek 2002). Az ábrán látható, hogy nem megfelelő mederkapcsolat esetén előállhat olyan helyzet is, amikor a túlpárt felől is történik utánpótlódás.



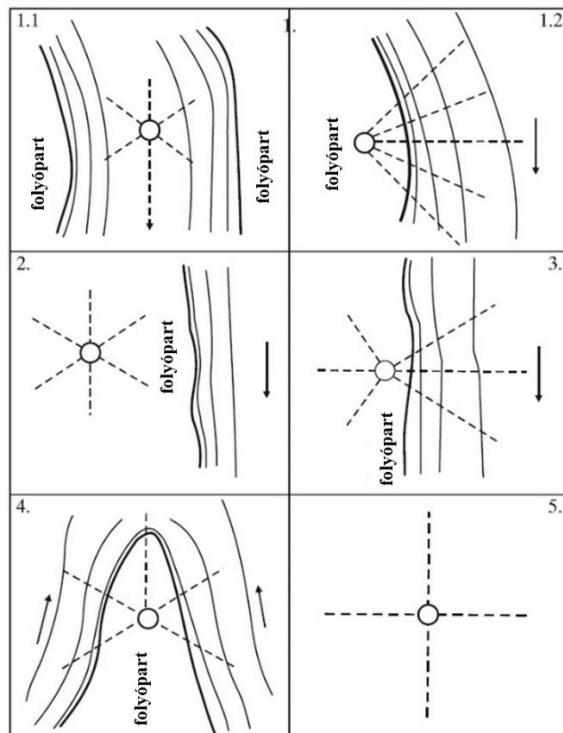
3. ábra. Különböző áramlási szituációk parti szűrésű rendszerekben

Figure 3. Different types of flow in riverbank filtration systems

A telepítési helyet, valamint az utánpótlódási viszonyokat tekintve több csoportba oszthatók a csápos kutak. *Anatolevsky és Galperin* a következő osztályozást adta meg (4. ábra) (*Babac és társai 2009*):

1. Folyami csápos kút típus
 - 1.1. A kútakna a folyóban van elhelyezve, és a csápok a folyó kavicssteraszába nyúlnak ki
 - 1.2. A kútakna a parton kerül kialakításra, és a csápok benyúlnak a folyómeder alá
2. Parti csápos kút típus (a csápok nem érnek be a folyómeder alá)
3. Kombinált kúttípus (a csápok egy része benyúlik a folyómeder alá, egy része pedig a háttér felé nyúlik ki)
4. Inter-fluviális típus (a kútakna folyókanyarulatban van elhelyezve, és a csápok benyúlnak a folyómeder alá)
5. Nyitott típus (a csápos kút telepítése nem kötődik folyómederhez).

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a parti szűrészű rendszerek rendkívül változatos hidraulikai viszonyokkal jellemezhetők, melyet tovább bonyolít a különböző típusú víztermelő létesítmények alkalmazása. Mindezek alapján látható, hogy ezen bonyolultsághoz megfelelő modellezési eszközökhöz kell nyúlnunk, hogy megfelelően szimulálni tudjuk a kialakuló áramlási viszonyokat.



4. ábra. Különböző kútelrendezési típusok
Figure 4. Different types of well layout

ALKALMAZOTT MÓDSZER

Egy adott kút tervezésénél fontos tudnunk azt, hogy a létesítendő kút mekkora hozamot tud termelni, és az adott hozam mellett milyen depresszió alakul ki a kút környezetében. Vertikális kialakítású kutaknál egyszerűbb földtani környezetben analitikus képletekkel is viszonylag könnyen meghatározható a kitermelhető hozam, valamint a

kút környezetében kialakuló vízszintek (*Kruseman és De Ridder 1994*). Csápos kutak esetében is léteznek ilyen összefüggések, amelyek a hozam meghatározásának problémáját visszavezetik a függőleges kutak hozammeghatározásának problémájára. A két kúttípus közötti kapcsolatot az egyenértékű kútsugár (R_e) adja meg. Az egyenértékű kútsugár az az elméleti, függőleges kút sugara, ami ugyanannyi vízhozam kitermelésére képes, mint a csápos kút (*Babac és társai 2009*). Az egyenértékű kútsugár meghatározására több szerző is kísérletet tett, melyeket az 1. táblázat szemléltet. Az 1. táblázatban szereplő összefüggésekből látható, hogy ezek tapasztalati vagy úgynevezett empirikus képletek, melyeket gyakran egy adott földtani környezetre és kútkialakításra használtak. A képletekben használt „ L ” a csáphosszat jelenti, míg az „ n ” a csápok számát.

1. táblázat. Az egyenértékű kútsugár számításának módszerei
Table 1. Calculation methods of the effective radius

Módszer	R_e számítása
Citrini (1951)	$R_e = L \cdot \sqrt[3]{0,25}$
Nering (1952)	$R_e = \frac{2 \cdot \sum L}{3 \cdot n}$
Wegenstein (1954)	$R_e = L$
Mikels & Klaer (1956)	$R_e = L \cdot (0,75 - 0,8)$
Mc Worther & Sunada (1977)	$R_e = L \cdot 0,61$

Manapság a különböző hidrodinamikai vizsgálatok szinte állandósult eszköze a számítógépes modellezés. Munkánk során mi a véges differencia módszert alkalmazó USGS fejlesztésű MODFLOW programot használtuk. A szakirodalom nagyrészt olyan hidraulikai szituációkat vizsgál, ahol a kutak függőleges helyzetben helyezkednek el. Habár a kutak nagyrészt ebben a helyzetben kerülnek kialakításra, a horizontálisan kialakított kutak használata egyre inkább előtérbe kerül (*Konikow és társai 2009*). Ezen kúttípusok javarészt az olajiparban és a víztermelésben használatosak.

A modellezéshez a Groundwater Modelling System 10.1-es verzióját alkalmaztuk, amelyben a MODFLOW programcsomag megtalálható. A MODFLOW szoftver egyik modulja a Multi Node Well 2 (MNW2), mely egy olyan véges differencia módszert alkalmazó program, amely egyaránt alkalmas több szinten szűrőzött kutak, horizontálisan elhelyezett, valamint ferdén fúrt kutak szivárgási viszonyainak szimulálására (*Konikow és társai 2009*). Munkánkban azt vizsgáljuk, hogy az MNW2 modul milyen modellezési körülmények között alkalmas a csápos kutak komplex hidraulikai, hidrodinamikai vizsgálatára.

MODELLEZÉSI EREDMÉNYEK

Munkánk során két kúttípust használtunk, melyet az 5. ábra szemléltet. Az 5. ábrán láthatjuk, hogy az egyik egy horizontálisan elhelyezett kút, mely felfogható egy kétágú csáposkútnak, a másik kúttípus pedig egy ötágú csáposkút. Ezen kúttípusokat alkalmazta Bakker és szerzőtársai (*Bakker és társai 2005*), melyek hidraulikai viszonyait analitikus elemek módszerével (AEM) szimulálták és a kapott eredményeket pedig összehasonlították egy rendelkezésre álló többréteges (multilayer) megoldással. Rendelkezésünkre állt egy korábbi modellezési eredmény is, melyben

a szerző a Bakker és szerzőtársai által használt kúttípusokat alkalmazta ugyanazon földtani körülmények között (Székely 2015), egy másik modellezési eljárással (CW). Ez utóbbi, pontosabbnak tekintett fél-analitikus megoldás fejlesztője egy független analitikus módszer eredményeihez (Morozov, 2018 2a, 2b ábrák) történő illesztéssel is verificálta. A két ábra a fajlagos beáramlás és a csápdepresszió arányának eloszlását dokumentálja a szűrők hossza mentén 4, illetve 8 csápos kutak esetében. Jelen cikkünkben a Bakker és szerzőtársai által elemzett modelleket vizsgáljuk. A modellek főbb paramétereit a 2. táblázat tartalmazza. Fontos körülmény az összehasonlítás szempontjából, hogy mindkét kúttípusnál körvonal menti utánpótlódással kell számolnunk, és a tápterület határa a kutak közepétől számított 100 m távolságban van. A szimuláció áramlástól mentes hidraulikai környezetben, vízszintes kezdeti nyomásszint mellett történik. Az MNW2 modul használatakor, annak érdekében, hogy a használt peremfeltételek hatása, valamint a csápok egyedi hatása ne legyen jelentős, megfelelő nagyságú modellméretet kellett alkalmaznunk. Van Tonder nyomán az utánpótlódási terület sugarát a csáphossz legalább ötszörösével kell felvenni ahhoz, hogy a csápok egyedi hatása ne jelentkezzen és körvonal menti utánpótlódással számolhassunk (Van Tonder és társai 2002).

A modellezés során az MNW2 modul használatakor meg kell adnunk azt, hogy milyen szivárgási veszteséggel számoljon a program a kútnál levő beépített vízszinteknél. A veszteségeket többféleképpen tudjuk számolni, melyeket legördülő listából tudunk kiválasztani. A veszteségek számítására az alábbi opciók választhatók:

- NONE: nincs veszteségi korrekció. A kútban lévő potenciálérték egyenlő a cellában lévő potenciálértékkel.

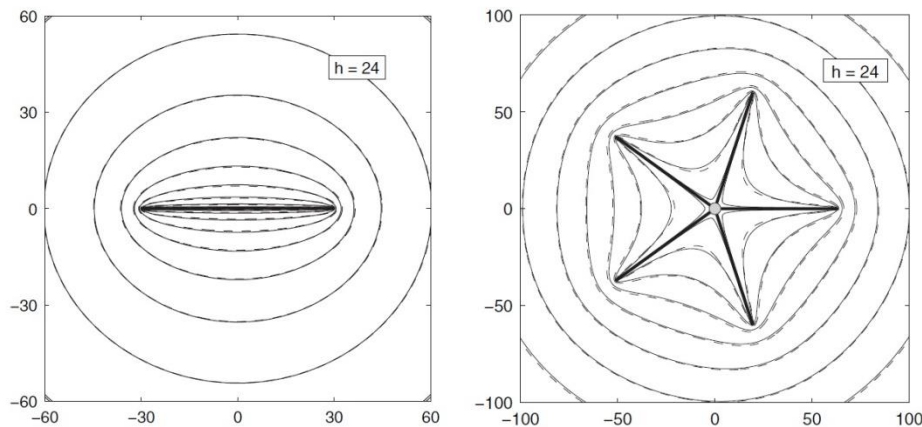
- THIEM: a kút-cella korrekciót a Thiem egyenlet alapján számolja a program (Thiem 1906). Ez esetben a kút sugarát kell megadnunk bemenő paraméternek.

- SKIN: Azt a hatást veszi figyelembe, amikor is a szűrők körül egy megváltozott, általában csökkent szivárgási tényezőjű zóna jön létre. Ez esetben bemenő paraméterként a skin zóna sugarát, és szivárgási tényezőjét kell megadnunk.

- GENERAL: az áramlási veszteség különböző együtthatókkal van figyelembe véve, melyeket a felhasználónak kell megadni input adatként.

- SPECIFYcwc: ebben az esetben bemenő paraméterként a kútgeometria mellett a kút-cella konduktancia érték (cell-to-well conductance) kézi megadása szükséges, amely érték a kút (jelen esetünkben a csáp), és a cella közötti hidraulikus vezetőképességet adja meg (Konikow és társai 2009).

Modellezésünk során két opciót választottunk annak érdekében, hogy az eredeti (Bakker és társai féle) modellezési körülményeknek megfelelőjünk. Az egyik esetben a THIEM, másik esetben a SPECIFYcwc opciót alkalmaztuk. A többi veszteségi számítási módszert nem alkalmaztuk, mert vagy nem volt információnk az input adatokról (GENERAL) vagy pedig egyáltalán nem számolt veszteséggel az adott módszer (NONE). A SKIN opció alkalmazásának hiánya azzal magyarázható, hogy az összehasonlítás alapjául szolgáló módszerek nem számolnak skin hatással. A számítási módszerek összehasonlítás alapja két ponton (a legfelső rétegben, valamint a csáp mélységében, a csápok kútaknába való csatlakozásánál) kialakult nyomásérték. A két eredmény különbségeit a kúttípusok eredményeinél részletezzük.



5. ábra. Horizontális kút, és ötágú csáposkút

Figure 5. Horizontal well, and radial collector well with five arms

2. táblázat. A modellekre vonatkozó fontosabb paraméterek
Table 2. Main parameters of the model

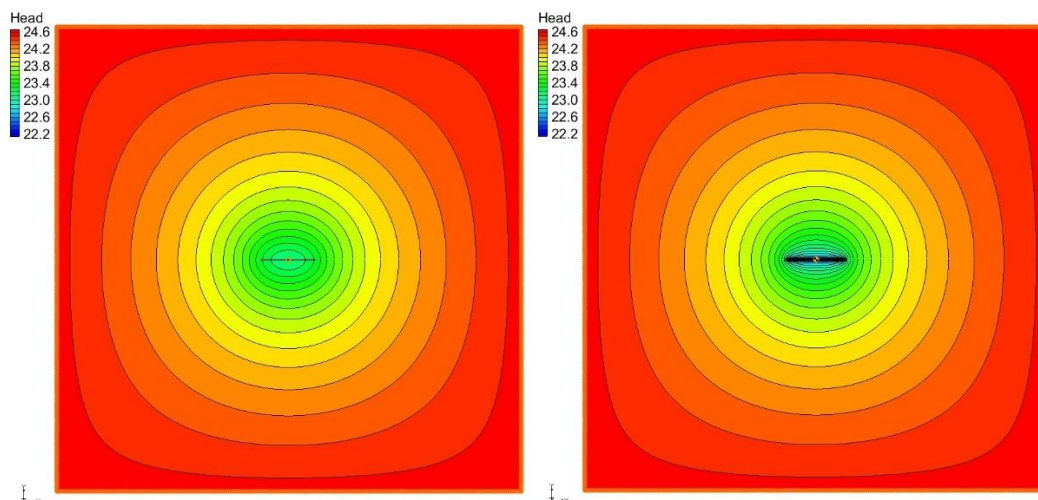
	Egyirányú vízszintes kút	Ötágú csápos kút
Szivárgási tényező (m/d)	150	150
Modell vastagsága (m)	24	24
Csápok mélysége (m)	21	21
Csápos kút hozama (m ³ /d)	12 000	60 000
Csáphossz (m)	30	60
Csápok belső sugara (m)	0,15	0,15

Egyirányú vízszintes kút

Ezen kúttípus vizsgálata során két módszerrel számítottuk a kialakuló vízszinteket. Korábban egy fél analitikus módszerrel (CW) (Székely 2015), amely az összehasonlítás alapot erősíti, majd pedig a véges differencia módszerrel (MODFLOW MNW2). A vízszintes helyzetben lévő kút 12 000 m³/nap hozammal termel. A rétegek felső szintje rendre 24; 16; 11; 7; 5; 4,05; 3,45; 3,15; 2,85; 2,55; 1,95, és 1 m (Bakker és társai 2005). Az 500x500 m területű modell permanens áramlásra vonatkozik. A kezdeti

vízszint 24 m. Az MNW2 által számított vízszinteket a 6. ábra mutatja. A kút hidraulikai veszteségeinek számításához két módszert használtunk az MNW2 alkalmazása során. A 3. táblázat mutatja a két számítási módszer eredmé-

nyei közötti különbséget. Láthatjuk, hogy a SPECIFYcwc opciót használva pontosabb eredményt kaptunk. Itt a cell-to-well conductance értéke 1 000-re lett megadva. Az adatok hasonlósága biztosítja a módszer alkalmazhatóságát.



6. ábra. Az MNW2 által számított vízszintek az első rétegben, valamint a csáp mélységében (egy vonalban létesített csápok)
Figure 6. Heads in the first layer, and in the depth of arms calculated by MNW2 (horizontal well)

3. táblázat. Vízszintek összehasonlítása (egy vonalban létesített csápok)

Table 3. Comparison of head values (horizontal well)

	MNW2 (THIEM)	MNW2 (SPECIFYcwc)	AEM	3D AEM	CW
Vízszint az első rétegben (m)	23,13	23,42	23,42	23,43	23,43
Vízszint a kút mélységében (m)	22,31	22,40	23,34	22,41	22,39

A 7. ábrán megfigyelhetjük, hogy három áramlási tartomány alakul ki a modellezett területen:

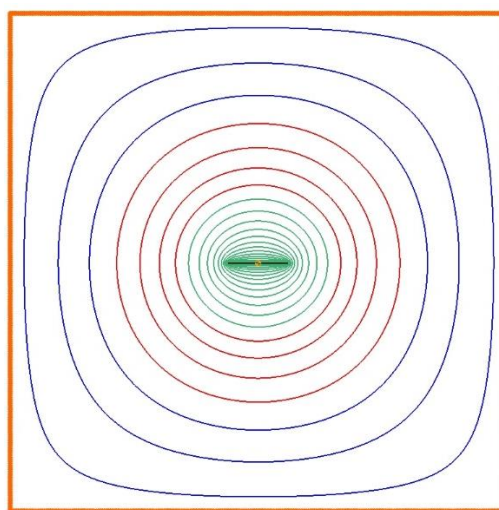
- ellipszis alakú 3D-s áramlási tartomány, melyet a csáp hatása okoz (zöld szintvonalak)
- radiális kör alakú áramlási tartomány (kör alakú piros szintvonalak)
- peremfeltétel által befolyásolt 2D-s áramlási tartomány (kék szintvonalak).

A középső, markánsan jelentkező radiális áramlási tartomány igazolja a modellek összehasonlíthatóságát, vagyis azt, hogy ezen esetben is körvonal menti utánpótlódási területtel számolhatunk.

Ötágú csáposkút

Ebben az esetben is a már említett két módszerrel számítottuk a kialakuló vízszinteket melyeket az 5. táblázatban CW (Szekely 2015) és MNW2 jelöléssel láthatunk. Az ötágú csáposkút hozama 60 000 m³/nap hozamot termel. Az alkalmazott rétegek felső szintje megegyezik az egyirányú vízszintes kútnál alkalmazottal. Ezen számítás is permanens esetre vonatkozik, egy permanens (steady-state) állapotot vizsgál. A kialakult vízszinteket a 8. ábra

mutatja, valamint a 4. táblázatban láthatjuk a kút közepénél kialakult vízszinteket. Megfigyelhető a 4. táblázatban, hogy a SPECIFYcwc opciót használva itt is pontosabb értéket kaptunk, mint a THIEM opciónál. A cell-to-well conductance értéke ebben az esetben 1 250 volt.

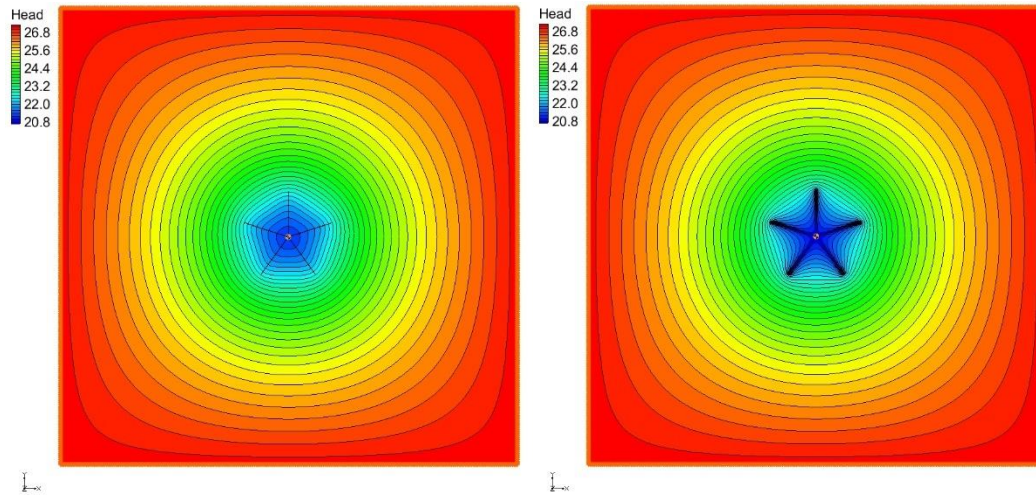


7. ábra. Az egyirányú vízszintes kútnál kialakuló áramlási tartományok

Figure 7. Different types of flow space at the horizontal well

4. táblázat. Vízszintek összehasonlítása (ötágú csáposkút)
Table 4. Comparison of head values (collector well with five arms)

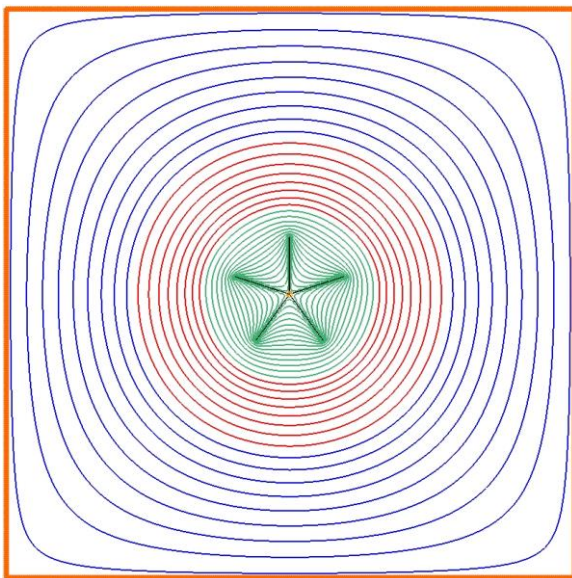
	MNW2 (THIEM)	MNW2 (SPECIFYcwc)	AEM	3D AEM	CW
Vízszint az első rétegben (m)	21,28	21,41	21,44	21,46	21,45
Vízszint a kút mélységében (m)	20,82	20,79	20,74	20,82	20,78



8. ábra. Vízsintek az első rétegben, valamint a csáp mélységében (ötágú csáposkút)

Figure 8. Heads in the first layer and in the depth of the arms calculated by MNW2 (collector well with five arms)

A kialakuló három markáns áramlási tartományt a 9. ábra mutatja. Megfigyelhetünk egy tengeri csillagra emlékeztető áramlási zónát, melyet a csápok hatása alakít ki. Jelen esetben is látható a markáns radiális áramlási zóna, valamint a peremek által befolyásolt áramlási tartomány.



9. ábra. Az ötágú csáposkútnál kialakuló áramlási tartományok
Figure 9. Different flow spaces at the radial collector well with five arms

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott munka során a parti szűrésű vízbázisok egyik fontos víztermelő műtárgyával, a csápos kutakkal foglalkoztunk. Ezen vízbázisok jelentőségét mutatja, hogy a hazai ivóvíz termelés nagyjából 35 %-ban parti szűrésű vízbázisokra támaszkodik. Jellemzőjük a földtani és hidrogeológiai változékonyság, valamint a különböző hidraulikai folyamatok bonyolultsága. Különös tekintettel kell lennünk arra, hogy Budapest vízellátása nagy részben a Szentendrei-sziget, valamint a Csepel-sziget csápos kútjaiból történik. Munkánk célja volt, hogy ezen kutak hidraulikai viszonyait vizsgáljuk. Vizsgálatunk tárgya két kúttípus volt: egy horizontálisan kialakított kút, valamint egy ötágú csáposkút. Homogén, izotróp közegben, körvonal

menti utánpótlódás mellett azt modelleztük, hogy ezen kutak termelése során milyen vízszintek alakulnak ki. A modellezéshez egy fél-analitikus (CW), valamint egy véges differencia módszerrel alkalmazó programot (MODFLOW MNW2) használtunk. Az MNW2 használatkor, az áramlási veszteségeket kétféleképpen vettük figyelembe. Az egyik esetben a Thiem (1906) által javasolt számítást használta a program, míg a másik esetben egy úgynevezett cell-to-well conductance (CWC) érték kézi megadására volt szükség. A CWC értékeket megfelelően beállítva pontosabb eredményeket kaptunk. A számított eredményeket összehasonlítottuk Bakker és szerzőtársai által publikált eredményekkel (Bakker és társai 2005), amelyben a szerzők két másik független számítási módszert alkalmaztak. Az összehasonlítások során jó egyezést találtunk a számított vízszintek között. Ez az egyezés lehetővé teheti, hogy a jövőben valós földtani körülmények között szimuláljuk a csápos kutak hidraulikai viszonyait, valamint lehetőség nyílik különböző scenáriók vizsgálatára is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOMJEGYZÉK

123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási intézmények védelméről.

Babac D., Babac P. (2009). Wells with horizontal drains, Theory, practice, calculation examples, Belgrade.

Bakker M., Kelson V. A., Luther H. K. (2005). Multi-layer analytic element modeling of radial collector wells, Ground Water, 43(6) 926-934.

Hiscock K.M., Grischek T. (2002). Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology 266, pp. 139-144.

Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. (2016). 110 éves hosszúságú hidrometeorológiai adatsorok ciklikus paramétereinek vizsgálata, Hidrológiai közlöny, 96(1) 61-70.

Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P., Zsuga J. (2017). Examination of cycle properties of 110-year-long precipitation time series, Acta Montanistica Slovaca, 22(1) 1-11.

Kármán K. (2013) A parti szűrésű vízbázisok, és jelentőségük, Magyar Tudomány, 174(2). 1300-1307.

Konikow, L.F., Hornberger, G.Z., Halford, K.J., and Hanson, R.T. (2009). Revised multi-node well (MNW2) package for MODFLOW ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6–A30, 67 p.

Kruseman, G. P., De Ridder N. A. (1994). Analysis and evaluation of pumping test data, Second edition (Completely revised), ILRI Publication, 107-108.

Morozov P. E. (2018). Steady fluid flow to a radial sys-

tem of horizontal wells, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 59(2) 1-8.

OVF (2015). A Duna-vízgyűjtő magyarországi része. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv. 2016. április. http://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/E3E737A3-3EBC-4B6F-973C-5DD9B8A6DBAB/OVGT_foanyag_vegleges.pdf

Ray C., Melin G., Linsky R. B. (2002). Riverbank filtration, Improving source-water quality, Water Science and Technology Library, ISBN 1-4020-1133-4.

Székely F. (2015). Integrated well flow modeling, LAP LAMBERT Academic Publishing 104-115.

Thiem, G. (1906). Hydrologische Methoden; Gebhardt, Leipzig.

Van Tonder G., Bardenhagen I., Riemann K., Van Bosch J., Dzanga P., Xu Y. (2002). Manual on pumping test analysis in fractured-rock aquifers, WRC Report No 1116/1/02, ISBN No 1 86845861.

A SZERZŐK



NYIRI GÁBOR 2013-ban végzett a Miskolci Egyetemen környezetmérnök alapszakon, majd tanulmányait a Miskolci Egyetem hidrogeológus mérnöki mesterszakán folytatta, ahol 2015-ben szerzett okleveles hidrogeológus mérnök végzettséget. 2015-től 2016-ig az Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt. környezetvédelmi megbízottja. 2016-tól a Miskolci Egyetem Mikovinyi Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója. 2015-től a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

SZÉKELY FERENC Bányamérnök hidrogeológus, 1967-1970 között a Magyar Állami Földtani Intézetben, 1970 és 2005 között megszakítással a VITUKI-ban dolgozott. 1989 és 2000 között a Kuvaiti Tudományos Kutató Intézet kutatója. Kiemelt kutatási területei a felszín alatti vízáramlások, az oldat- és hőtranszport folyamatok numerikus modellezése, valamint a nem hagyományos, főként sokréteges kúthidraulikai problémák elemzése. Kutatási eredményei a kutas vízművek tervezése és védelme, felszín alatti édesvíz tározási, drénezési, talajvízből történő hőszivattyús fűtési projekteknél, valamint a bátaapáti repedezett gránitformációban végzett egyedi és csoportos fűrészték értelmezésénél hasznosultak. Közel 90, fele részben angol nyelvű publikációt készített, közöttük 3 önálló kiadvány található. MTA doktor, címzetes egyetemi tanár, két ciklusban az MTA FTB Hidrogeológiai Albizottságának az elnöke. Kúthidraulikai témakörben az ELTE és a Miskolci Egyetem hallgatóit oktatja.

ZÁKÁNYI BALÁZS 2006-ban végzett okl. környezetmérnökként a Miskolci Egyetemen. 2009-től dolgozik Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézetében, jelenleg egyetemi docens 2018-tól. Nemzeti Kiválóság Program - Jedlik Ányos doktorjelölti ösztöndíjas (2013). Fő kutatási területe a speciális felszín alatti szennyezőanyagok (DNAPL) vizsgálata, modellezése és kármentesítése, valamint árvízvédelmi gátak hidraulikai modellezése, az előbbiből PhD fokozatot szerzett 2014-ben. Tevékenységi és érdeklődési köre a környezetvédelem- hidrogeológia - kármentesítés területén sokirányú. Az International Association of Hydrogeologist Magyar Nemzeti Tagozatának elnökségi tagja. Publikációinak száma 91.

SZÚCS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kitüntetéses geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején először a Geofizikai Tanszéken, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerzi az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-től a tanszék vezetője. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport vezetője 2012-től. Publikációinak száma több mint 450. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja. A Hidrológiai Közölny szerkesztőbizottságának tagja.