

PARTI SZŰRÉSŰ VÍZBÁZIS FOLYÓBÓL ÉRKEZŐ UTÁNPÓTLÁSÁNAK VIZSGÁLATA MODELLSZÁMÍTÁSOKKAL

Kolencsikné Tóth Andrea, Fekete Zsombor, Madarász Tamás, Szűcs Péter

Miskolci Egyetem

Környezetgazdálkodási Intézet

KIVONAT

A parti szűrésű vízbázisoknál a kitermelt felszín alatti víz utánpótlása legnagyobb arányban a felszíni vízből érkezik. Ez az arány döntően meghatározza az ilyen vízbázisok kiaknázható vízkészletének mennyiségét, ugyanakkor a meghatározása igen bonyolult, idő- és költségigényes. A Tiszta Ivóvíz című projekt („Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig”) célkitűzései között szereplő komplex vízminőségi és vízmennyiségi értékelés egyik része az utánpótlási kérdések vizsgálata, amely vízmintavételeken, izotópos méréseken és modellezésen keresztül közelíti ezt a nehezen megfogható, ám a projekt méréseinek értelmezéséhez nélkülözhetetlen szelét a teljes problémakörnek. Jelen tanulmányban numerikus hidrodinamikai modellezés segítségével számoltuk egy kiválasztott parti szűrésű vízbázis vízmérlegének elemeit, és a folyó hozzájárulásának mértékét a teljes vízkészlethez. Az eredmények alátámasztják, hogy a Duna mindenkori vízállása dominánsan meghatározza a vízbázis utánpótlását. A lecsökkenő folyóból érkező utánpótlást a dunai árhullám alatt „feltöltődött” kavicssteraszról felszabaduló vízmennyiség pótolja ki, a háttér a legalacsonyabb és tartósabb kisvízeknél járul hozzá a vízkészlethez. A termelt hozam kétszeresére növekedése a kisvízeknél és a parthoz közeli kutak esetében okoz számottevő különbséget a folyó felőli utánpótlásban. A 2018-2019-es vizsgált időszakban tényleges termelési adatokat szimulálva a jellemző átlagos folyóból történő hozzájárulás a teljes vízkészlethez 75-85%-nak adódott.

KULCSSZAVAK: ivóvízellátás, parti szűrés, utánpótlás, hidrodinamikai modellezés, vízmérleg

BEVEZETÉS

A parti szűrésű vizek hazánk ivóvíz ellátásához (56 db üzemelő vízbázison keresztül) 29%-os részesedéssel járulnak hozzá és a távlati ivóvízbázis negyedét jelentik (37 db vízbázis). Kiemelt szerepük van Budapest vízellátásában, mivel a főváros 95%-ban parti szűrésű kutakon keresztül biztosítja vízszükségletét (OVF, 2021). A parti szűrésű vízbázisok egyfajta átmenetet képeznek a felszíni és felszín alatti vizek között. Egy vízbázis akkor nevezhető parti szűrésűnek, ha a vízbázisból kitermelhető vízmennyiség legalább 50%-a felszíni vízből származik és a felszíni víz által lerakott jó vízvezető képességű, alluviális kavicssterasz pórusain keresztül jut el a termelőkhöz. Magyarország legjelentősebb parti szűrésű vízbázisai a Duna mentén húzódnak, különösen a Szentendrei-és a Csepel szigeten, de továbbiak helyezkednek el a Rába, Dráva, Hernád és Sajó folyók egyes szakaszain.

A folyóvíz a törmeléken keresztül történő szivárgása alatt komplex mechanikai, fizikai/kémiai, és biológiai tisztításon megy keresztül. A víztisztítás hatékonysága összefüggésben áll a felszíni víz szennyezettségével, a biológiailag aktív zóna hatékonyságával, a vízvezető üledék szemcseösszetételével és a termelőkhöz parttól való távolságával. Számos vízbázis tisztítási folyamata olyan hatékony, hogy a kitermelt, ivóvízszabálynak megfelelő paraméterekkel rendelkező nyersvíz közműhálózatba továbbítása előtt csupán klóros utófertőtlenítésre van szükség.

A FOLYÓBÓL ÉRKEZŐ UTÁNPÓTLÁS

A parti szűrésű vízbázis utánpótlása három részből tevődhet össze: a csapadékból származó maradé beszivárgásból, a felszín alatti vízből származó hozzááramlásból (az ún. háttér felőli táplálás), végül legnagyobb mértékben a felszíni vízből. A különböző forrású utánpótlások mértéke időben nem állandó, hiszen azokat több tényező is befolyásolja. Ha a kőzet és a víz

fizikai-kémiai paramétereit állandónak tételezzük fel, a hidrológiai tényezők és a termelés változása (más mesterséges hatásoktól eltekintve) a folyóból érkező utánpótlás időbeli változását vonja maga után.

A folyó vízjárása alapvetően meghatározhatja a belőle érkező vízutánpótlást, hiszen a termelőkút és a folyó közötti potenciálszint különbség révén megszabja az átadódó, a kavicssteraszba belépő vízmennyiséget. Hasonlóan hatással lehet a vízátadásra a víztermelés mértéke, ami a kút körüli depresszió nagyságát és kiterjedését befolyásolja. A víztermelő létesítménynek a folyótól való távolsága időben nem változó adottság, de nyilvánvalóan ettől is függhet a folyóból érkező vízhozam. Egy kritikus távolságnál a vízkitermelés depressziója már el sem éri a folyót, ezzel annyira redukálva a folyóból a vízadóba átadódó vízmennyiséget, ami természetes körülmények között is adott.

A parti szűrésű vízbázis utánpótlási viszonyait mérésekkel és modellszámításokkal (analitikus vagy numerikus) lehet meghatározni. A vízben lévő természetes nyomjelzőként használható anyagok segítségével elméletileg visszaszámolható a termelt vízben a különböző eredetű vizek keveredésének mértéke. A módszer a felszíni és felszín alatti víz intenzív mintavételezését, és elemzését igényli hosszú időszakon keresztül sűrű (lehetőleg napi) felbontásban. A stabil izotópok első sorban a vizek származásáról, eredetének körülményeiről nyújtanak információt. A vízminták oxigén izotóp koncentrációjából meghatározható, hogy a víz milyen arányban származik a folyóból, illetve a talajvízből, mivel jelentős különbség van a folyó és a talajvíz szintjéig beszivárgó csapadékvíz $\delta^{18}\text{O}$ tartalma között (Deák et al. 1992). Ilyen jellegű mérésorozatok a Szentendrei- és Csepel-sziget parti szűrésű vízbázisain rövidebb időszakokra többször is történtek (pl. Fórizs et al., 1998, 2005, Kármán et al., 2014). Ennek a módszernek az alkalmazhatósága azonban különösen a folyótól távolabbi kutak esetében azért korlátozott, mert az elérési idő a folyó és a víztermelő létesítmény között már több hónapos nagyságrendű is lehet. A keveredésben itt már számottevő tényező a kavicssteraszban tározódó víz izotópösszetétele, amely magán hordozza a megelőző hidrológiai, víztermelési és beszivárgási események hatását.

Az egyes utánpótlódási tagok meghatározását hidrodinamikai modellek segítségével is elvégezhetjük, amelyekkel egyúttal lehetőség van a folyótól a vízkivételi létesítményig a szivárgási, vagy tartózkodási idők vizsgálatára is. A modellszámításnak megvan az az előnye, hogy egy megbízható, a valóságot legkisebb hibával leíró modellel bármilyen időszakra, időben nagy felbontással megadhatóak a vízmérleg elemei. Emellett előrejelzések is tehetőek, hidrológiai változások hatása számítható, ami üzemeltetési oldalról érdeklődésre tart számot.

Jelen tanulmányban egy, a Szentendrei-szigeten található vízmű áramlási modelljének segítségével mutatjuk be a parti szűrésű vízbázis folyóból érkező utánpótlásának változását a (1) víztermelő létesítmény partéltól való távolságával, (2) a Duna vízállásával és (3) a kitermelt hozammal.

MÓDSZERTAN

A hidrodinamikai számításokat a MODFLOW-2005 1.12-es verziójával végeztük el (Harbaugh, 2005). Az eredmények megtekintéséhez, értelmezéséhez, valamint az áramvonalak és elérési idők meghatározásához a PMPATH for Windows program 8.0.42 verzióját (Chiang et al., 2003) használtuk fel. Az alkalmazott környezet a szivárgás alapegyenletének véges differencia módszerén alapuló megoldását használja fel.

A Tiszta Ivóvíz projekt keretében elkészült két partiszűrésű vízbázis modellje közül az egyiket alkalmaztuk a dolgozatban bemutatott vízmérleg számításokra.

A modellezett terület a Szentendrei-szigeten, a Duna fő ágának jobb partján helyezkedik el, kiterjedése kb. 3000x7000 m. Keleti határa a Duna-folyó sodorvonala mentén, nyugati határa nagyjából a sziget geometriai felezővonala mentén húzódik. A modell északi és déli peremét a szélső kutaktól 700-800 méterre vettük fel. A modellterület térbeli felbontása 20 x 20 méteres cellamérettől 5 x 5 méteres cellaméretig finomodik.

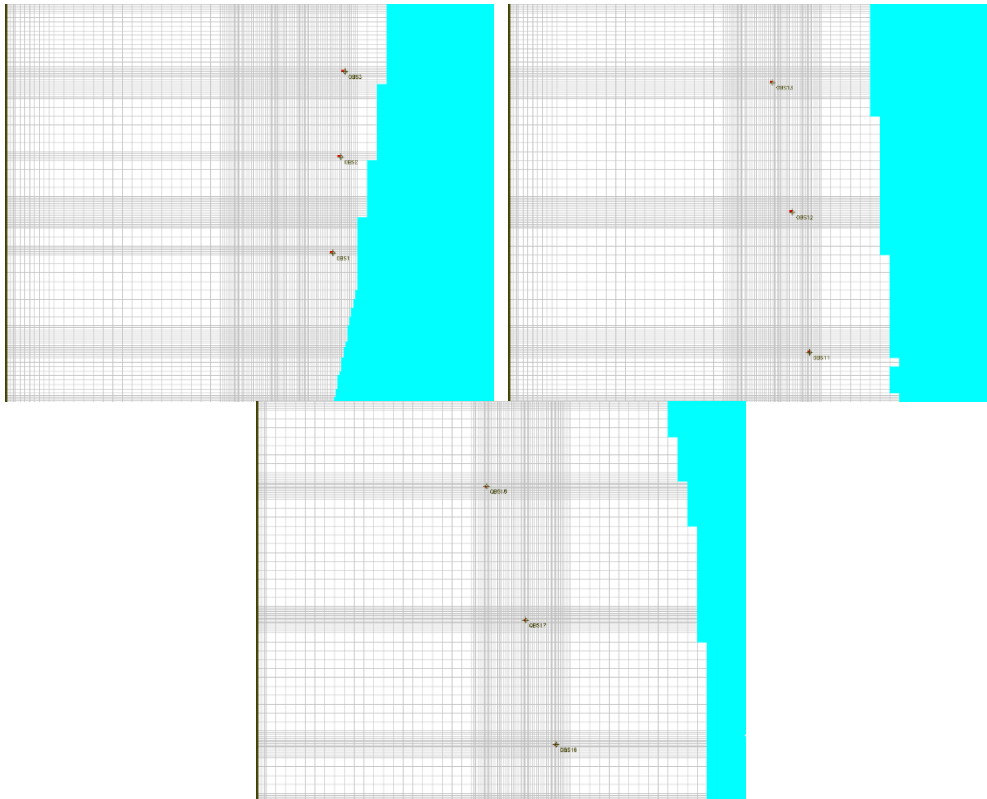
A vízbázis területe figyelőkutakkal jól ellátott, és viszonylag jól kutatott terület. A kavicssterasz inhomogenitásának vizsgálatára a projekt keretében geofizikai mérésekre került sor. A potenciálszint területi eloszlásának és időbeli változásának megismerésére intenzív terepi méréseket végeztünk. A rendelkezésre álló fúrási rétegsorokból és a földtani, valamint geofizikai szelvények alapján elkészítettünk egy földtani modellt. Ezekben minden esetben jól elkülöníthető volt a kavicsos-homokos vízáadó és a fölötte elhelyezkedő iszapos-homokos-agyagos fedőréteg. Több fúrás is elérte a vízáadó fekvését alkotó agyagos réteget. Ezen képződmények alkotják a modellrétegeket.

A modellezett térrész keleti peremén a Dunát, mint időben változó, de kötött vízszintű peremfeltételt használtuk. Ennek definiálására a MODFLOW RIV csomagját használtuk, ami egy konduktancia érték megadása révén lehetőséget biztosít a folyómeder csillapító hatásának figyelembevételére (Cauchy típusú peremfeltétel). A folyó vízszintjét mért adatok alapján, napi felbontásban adtuk meg. A modellszámítások tapasztalatai szerint a folyó és a felszín alatti víz kapcsolata közvetlennek tekinthető így jelenleg viszonylag magas konduktancia értéket (2 l/nap) használunk. A domén ellenkező, nyugati határán GHB csomaggal határoztunk Cauchy típusú peremfeltételt. A peremfeltétel vízszintjeként a mérésekből ismert talajvízszintet adtuk meg. A GBH perem konduktanciáját a folyótól való távolság, a cellaméretek és a vízáadó átlagos szivárgási tényezője alapján határoztuk meg. Északon és délen vízzáró peremet alkalmaztunk.

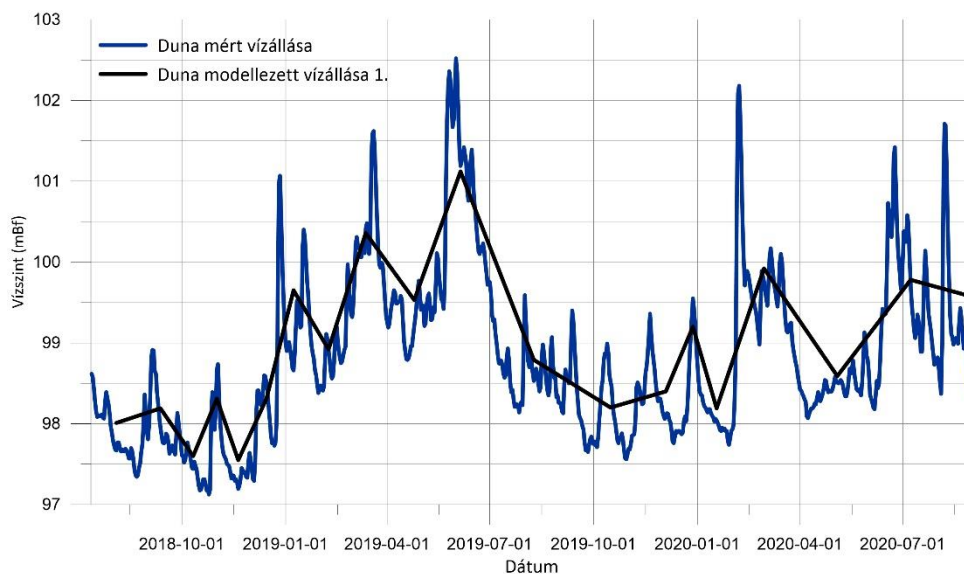
A szivárgási és tárolási paraméterek kezdeti értékét erre a vízbázisra rendelkezésre álló adatok és a közeli parti szűrésű vízbázisok hasonlósága alapján adtuk meg (*Léczfalvy, 2004*), majd kalibráció során tovább finomítottuk. A kavicssterasz végleges horizontális szivárgási tényezője 120-300 m/nap között, a fajlagos hozam (S_y) értéke 0,18-0,22 között változik. A csápos termelő kutak hatását a MODFLOW MNW2 csomagjával szimuláltuk. A csápok geometriáját figyelembe véve rendeltük hozzá a modellrácshoz a csomagot. A kútvesztességek számítására a Thiem-féle módszert használtuk.

A modell építése és kalibrációja során vizsgált időszak a 2018, 2019 és 2020-at felölelő három év, amelyen belül több, különböző időszakot, több különböző időbeli felbontással is szimuláltunk a célfeladatnak megfelelően.

A vízbázis utánpótlását adó vízmérleg elemek számítását a teljes vízmű területét lefedő modell három részterületére végeztük el. A területek a teljes kútsorból egyenként három szomszédos kutat foglalnak magukban, a kiválasztásuk a folyótól való eltérő távolságuk alapján történt. A kutak átlagos távolsága a Dunától a három esetben 80, 210, 390 méter (*1. ábra*). A modellel a 2018.07 – 2019.09. közötti időtartamot szimuláltuk, amelyet 20 periódusra bontottuk. A vízmérleg jellegű elemzéshez napi léptékű felbontás nem indokolt. Az egyes periódusok hossza 9 és 77 nap között változik, a Duna vízállásához igazítva. A szimulált időszakban a Duna mért vízállását és a modellbe beépített vízszintjeit a *2. ábrán* mutatjuk be.



1. ábra. A vízbázis modelljének három vizsgált részterülete

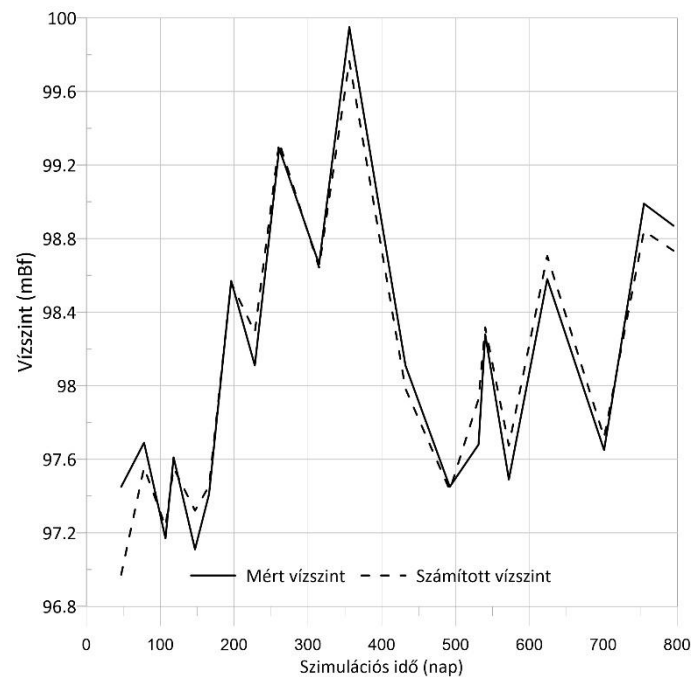


2. ábra. A modellezett időszak mért és modellbe beadott Duna vízállása

A kalibrációt, azaz a vizsgált időszakra a modellel számított vízszintek és a termelőkutak és figyelőkutak mért vízszintjeinek illesztését automatikus kalibrációval végeztük el. Az egyik termelőkútra kapott illeszkedést a 3. ábrán mutatunk be.

Mivel két különböző tényező hatását is vizsgálni kívántuk, így a vízmérleg számításokat a következőképpen végeztük el. A folyó vízállásváltozásának hatását úgy tudtuk elemezni, ha a kutak termelése időben állandó. Ezért elsőként a kutakkal kivett hozamot állandónak tételeztük fel, de két hozammal is elvégeztük a számítást, kutanként 1500 m³/nap, majd 3000 m³/nap

értéket alkalmaztunk. Az előbbi a kútsorra jellemző átlag termelés alatti, az utóbbi az átlag feletti értéket reprezentál. Ezt követően a tényleges viszonyokat modellezve, a Duna vízállása mellett a termelést is időben változónak adtuk meg. Ekkor a kutak hozama a tényleges termelési adatokból az egyes periódusokra számított átlagértékek szerint változik a modellben.



3. ábra. A mért és számított vízszintek illeszkedése az egyik vizsgált termelőkútban

EREDMÉNYEK

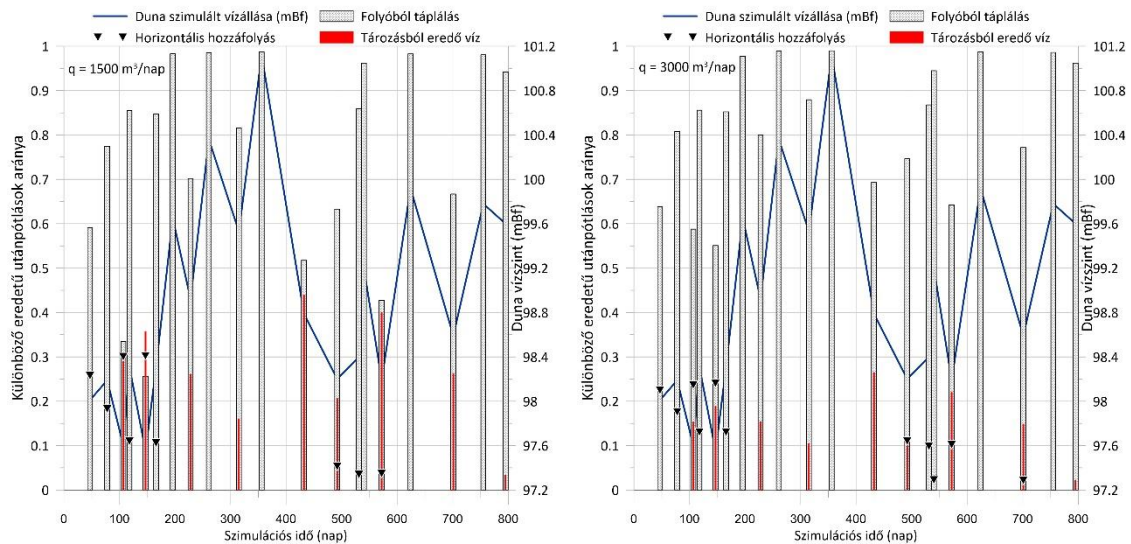
Állandó termelési viszonyok

Az elkészült numerikus 3D-s időben változó modellekkel a szimulált időszakra számíthatóak a vízmérlegnek a modellcellák vízforgalmában részt vevő elemei.

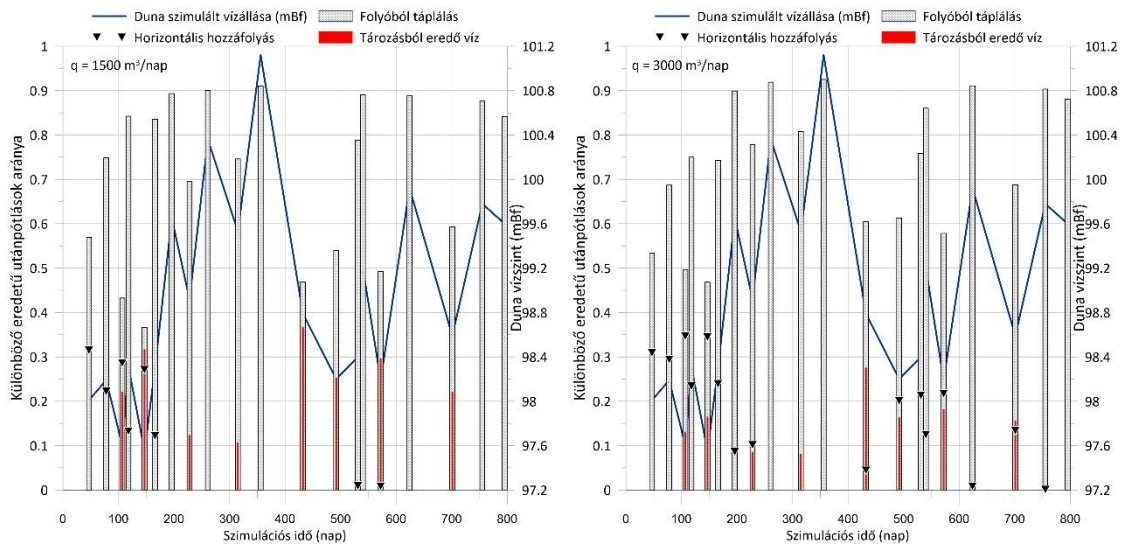
A különböző modellváltozatok vízmérleg számításainak eredményeként azt vizsgáltuk, hogy a teljes utánpótlásához hogyan aránylik a három különböző forrás, a folyó, a modell nyugati pereméről érkező beáramlás, és végül a pórusterfogatban tározott vízmennyiség.

A Duna vízállásának változásával együtt változik a folyóból származó utánpótlás, azaz csökkenő vízállásnál leesik, emelkedő vízállásnál megnő (4. ábra), időben mintegy 45 - 100 % között változik. A teljes utánpótlásban a folyó mellett az alacsonyabb vízállásoknál belép a tározott vízmennyiségből származó víz, és a legalacsonyabb vízállásoknál a háttér felőli utánpótlás is bekapcsolódik. Érdekes volt megfigyelni az eredményekből, hogy elsőként a dunai árhullámok alatt „feltöltődött” kavicssteraszról felszabaduló vízmennyiség pótolja ki a leeső folyóból érkező utánpótlást, a háttér csak a legalacsonyabb és tartósabb kisvizeknél járul hozzá a vízkészlethez.

A hozam kétszeresére növekedése látható mértékben az alacsonyabb folyó vízállású időszakokban növeli meg a folyóból érkező utánpótlást, amellyel annak minimuma megnő.



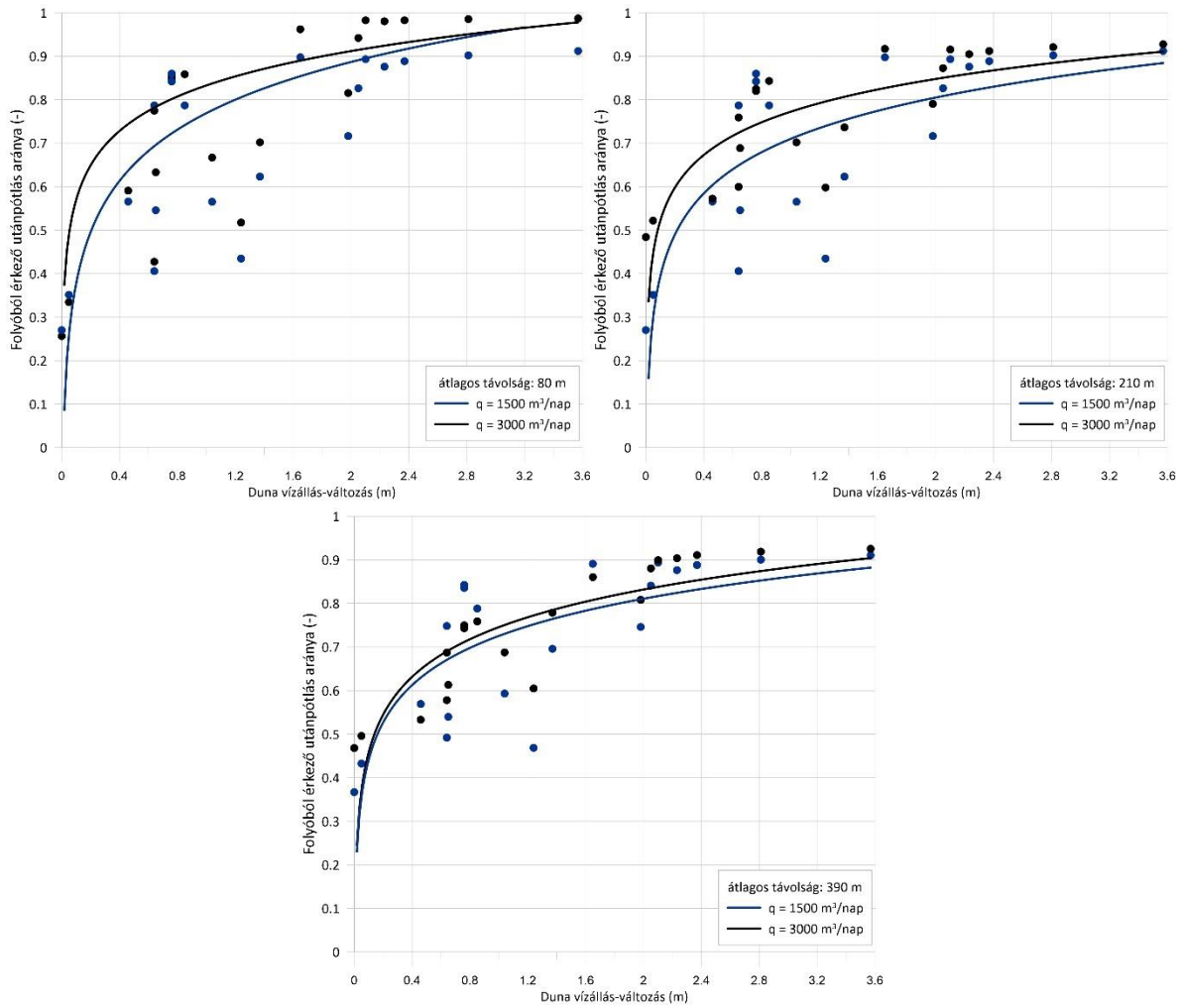
4. ábra. A folyóból, a talajvízből és a tározásból származó vízmennyiség-arányok a Duna vízállásának függvényében 90 méter kúttávolság esetén



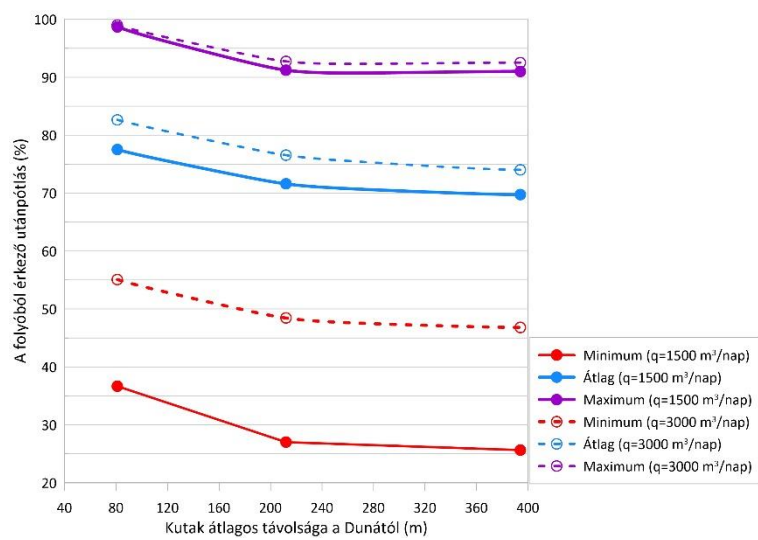
5. ábra. A folyóból, a talajvízből és a tározásból származó vízmennyiség-arányok a Duna vízállásának függvényében 390 méter kúttávolság esetén

Az 5. ábrán az előzőhöz hasonlóan ábrázolt eredmények láthatóak arra a részterületre, ahol a három kút átlagos távolsága a partéltől 390 méter. Különbséggként szembeűnik a lecsökkenő folyóból származó utánpótlás, amely itt 35 – 90 % között mozog. A háttér irányából érkező vízmennyiség a nagyobb hozamú esetről látványosan megnő, és már szinte minden időszakban betáplál a rendszerbe.

Egyértelmű, hogy a Duna vízállása uralkodóan meghatározza a parti szűrésű rendszer vízkészletét. A folyó legkisebb vízállásához képesti vízállásváltozásának növekedésével számítottuk a folyóból származó utánpótlást minden egyes periódusra. A kapott pontfelhőkre logaritmusos függvény volt illeszthető (6. ábra), miszerint a vízállás növekedésével először meredekebben majd laposabban nő a folyóból átadódó vízmennyiség, és nyilvánvalóan tart egy maximális értékhez.



6. ábra. A folyóból érkező utánpótlás aránya a Duna vízállás-változásával három különböző átlagos távolság és két különböző termelés mellett



7. ábra. A minimális, maximális és átlagos folyóból érkező utánpótlás a kutak folyótól való távolságával állandó termelések mellett

A két különböző termeléshez tartozó jelleggörbe az alacsonyabb vízállásoknál válik szét, ami egyértelmű közvetlen hidraulikai kapcsolatot jelent a parthoz közeli kutak esetében, hiszen a nagyobb hozam miatti nagyobb leszívás növeli a folyóból táplálás mértékét. Ahogy nő a kutak távolsága a folyótól, úgy csökken és szűnik meg ez a hatás, a parttól 400 méterre már alig van változás a folyóból érkező utánpótlásban a termelés megduplázásával.

A folyótól való távolsága a víztermelő létesítményeknek tehát egy korlátozó tényező. A három átlagos kúttávolság függvényében ezért megvizsgáltuk a legkisebb, legnagyobb és átlagos folyó táplálás alakulását (7. ábra). A változás jellege azt sejteti, hogy a partvonalon egy elvi maximumtól exponenciálisan csökkenhet majd egy adott távolságtól állandósul az érték. Az átlagos utánpótlás a vizsgált időszakra mindhárom részterületre eléri a 70 %-ot.

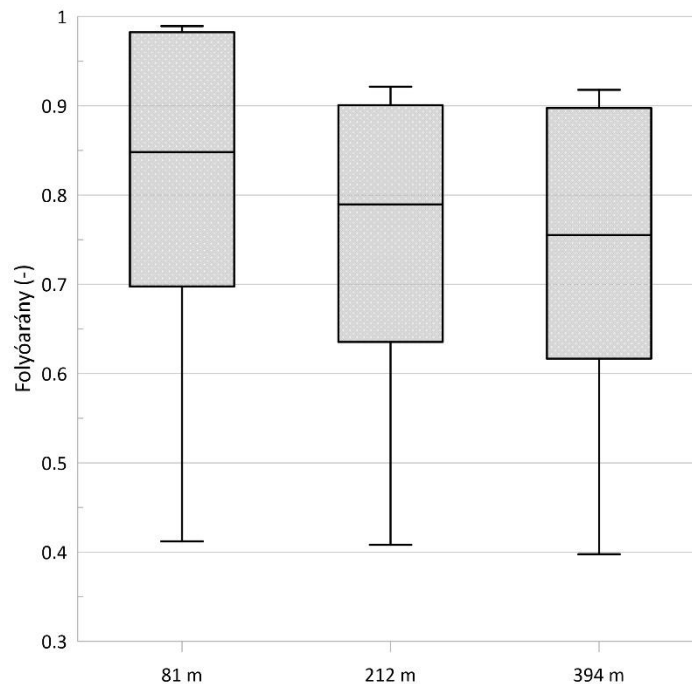
Tényleges, időben változó termelési viszonyok

A termelés természetesen nem állandó, kutanként és időben is kismértékben változik. A számításokat így elvégeztük arra az esetre is, ha vizsgált időszakra tényleges termelési adatokat adunk meg minden egyes kútra. Az egyes rövidebb-hosszabb periódusokra így a napi hozam adatsorból átlaghozamokat képeztünk. Az 1. táblázatban foglaltuk össze a három kivágott részterületre a folyó vízkészlethez történő hozzájárulásának százalékos arányát.

A 2018-2019-es vizsgált időszakban a legkevesebb folyóból érkező utánpótlás sem csökkent mintegy 40 % alá. Ugyanakkor ez a minimum csak egy rövid időszakra volt jellemző a 2018-as év őszi-téli kisvizek idején.

Periódus	Szimulált időszak		Duna vízállása (mBf)	Folyóarány (%)		
	kezdet	vége		90 m	210 m	390 m
1	2018.07.12	2018.08.27	98.01	61.9	56.6	55.6
2	2018.08.28	2018.09.27	98.19	77.0	75.7	72.3
3	2018.09.28	2018.10.26	97.6	48.2	47.7	47.8
4	2018.10.27	2018.11.06	98.31	85.3	83.9	81.8
5	2018.11.07	2018.12.05	97.55	41.1	40.8	39.8
6	2018.12.06	2018.12.24	98.31	85.3	83.4	80.5
7	2018.12.25	2019.01.23	99.65	98.2	90.1	89.8
8	2019.01.24	2019.02.24	98.92	74.9	66.2	71.4
9	2019.02.25	2019.03.29	100.36	98.7	90.4	90.2
10	2019.03.30	2019.05.22	99.53	84.4	73.2	74.9
11	2019.05.23	2019.07.02	101.12	98.9	92.1	91.8
12	2019.07.03	2019.09.16	98.79	62.4	54.4	55.0
13	2019.09.17	2019.11.15	98.2	69.8	63.5	61.7
14	2019.11.16	2019.12.24	98.4	85.8	82.2	76.2
15	2019.12.25	2020.01.02	99.2	95.8	90.9	90.1
16	2020.01.03	2020.02.03	98.19	51.8	53.4	57.4
17	2020.02.04	2020.03.26	99.92	98.6	90.9	90.0
18	2020.03.27	2020.06.11	98.59	73.9	69.7	65.8
19	2020.06.12	2020.08.04	99.78	98.2	89.9	88.7
20	2020.08.05	2020.09.13	99.6	94.7	85.9	85.4

1. táblázat. A Dunából származó utánpótlás változása a szimulált időszakra



8. ábra. A folyóból érkező utánpótlás értéktartományal változó termelés mellett (A doboz középvonala az átlagot, a szélei az alsó és felső kvartilist, a bajuszok a minimum-maximum értéket jelölik ki)

Az időszakokra jellemző átlagos folyóból történő hozzájárulás a vizsgált részterületek teljes vízkészletéhez 75-85%-os (8. ábra, a doboz középvonala). A három terület jól reprezentálja a vízbázist, így ezt az értéket a teljes kútsorra érvényesnek tekinthetjük.

A termelt hozam és a folyóból történő hozzátáplálás között nem találtunk kimutatható összefüggést. Ennek oka egyrészt, hogy a vizsgált időszakban a hozam változékonysága átlagosan csak 25 % körül mozgott. Modellezési eredményeink rávilágítottak, hogy a rendszer kevésbé érzékeny a hozam változására a folyó vízállás-változásához képest. A termelt hozammal a vízmérleg elemei csak a kisvízes időszakban, átlag feletti hozamoknál változnak szignifikánsan. Ezt az üzemeltetési adatsorok elemzése is alátámasztotta, ahol az üzemi vízszintek és a termelt hozam között a teljes időszakot alapul véve nem tudtunk kapcsolatot kimutatni.

A kapott százalékos értékek olyan értelemben átlagértékek, hogy az időbeli felbontásnak megfelelő változó hosszúságú periódusokra jellemző átlagok, amelyek magukon hordozzák a bemeneti adatok átlagolásának (folyó vízállás, termelt hozam) hatását is. Napi felbontású szimuláció eredményeként ezektől az értékektől jelentős eltéréseket azonban nem várunk, hiszen a bemeneti adatok szélsőértékeinek csak egy napos lenne a tartóssága, így a hatásuk vízmérleg szintjén kicsi.

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy szentendrei-szigeti parti szűrésű vízbázis áramlási modelljével számítottuk a különböző eredetű utánpótlások változását a Duna vízállásával és a kitermelt hozammal. Vizsgáltuk továbbá a különbséget a folyótól eltérő távolságra lévő kutak között. A modell a vízbázis teljes területére egy három évet felölelő időszakra lett felépítve és kalibrálva, amelyből a vízmérleg számításokat három részterületre, és egy szűkebb időszakra végeztük el. A vizsgálatok során a folyóból, a modell nyugati pereméről és a tározásból belépő vízmennyiségek arányát számítottuk az egyes periódusokban rendelkezésre álló teljes vízkészletben.

A Duna vízállásának változásával együtt változik a folyóból származó utánpótlás, ami szinte állandóan eléri az 50 %-ot. A folyó vízállásváltozásának növekedésével a folyóból átadódó vízmennyiség logaritmikus jelleggel tart egy maximális értékhez.

A teljes utánpótlásban a folyó mellett az alacsonyabb vízállásoknál belép a tározott vízmennyiségből felszabaduló víz, és a legalacsonyabb vízállásoknál a háttér felőli utánpótlás is bekapcsolódik.

A kutak folyótól való távolságának növekedésével a folyóból érkező vízhozam exponenciális csökkenést mutat, és egyes esetekben már 200 méteren állandósul az értéke.

A termelt hozam hatása a parthoz közeli kutaknál mutatható ki, a nagyobb hozam miatti nagyobb leszívás növeli a folyóból táplálás mértékét. Ez azonban csak a folyó kisvizes időszakiban számottevő, és emellett ahogy nő a kutak távolsága a folyótól, úgy csökken és szűnik meg ez a hatás. A parttól 400 méterre a termelés megduplázásával már alig van változás a folyóból érkező utánpótlásban. Ugyanakkor a háttér irányából érkező vízmennyiség látványosan megnő, és már szinte minden időszakban betáplál a rendszerbe.

Tényleges, időben változó termeléssel a 2018-2019-es vizsgált időszakban a legkevesebb folyóból érkező utánpótlás sem csökkent mintegy 40 % alá. Ugyanakkor ez a minimum csak egy rövid időszakra volt jellemző a 2018-as év őszi-téli kisvizek idején. Az időszakra jellemző átlagos folyóból történő hozzájárulás a vizsgált részterületek teljes vízkészletéhez 75-85%-os.

A modellezési eredményeink is rámutattak, hogy a rendszer kevésbé érzékeny a hozam változására a folyó vízállás-változásához képest. A termelt hozammal a vízmérleg elemei csak a kisvizes időszakban, átlag feletti hozamoknál változnak szignifikánsan. Ezt az üzemeltetési adat-sorok elemzése is alátámasztotta, ahol az üzemi vízszintek és a termelt hozam között a teljes időszakot alapul véve nem tudtunk kapcsolatot kimutatni.

A cikkben ismertetett vizsgálatok több szempontból is hasznosak. Szükségesek a parti szűrt víz minőségi jellegének, és változásának értelmezéséhez, a parti szűrés mechanizmusának, hatékonyságának elemzéséhez. A másik kérdéskör a klímaváltozás vízkészletekre gyakorolt hatásának vizsgálata. A klíma előrejelzések egyértelműen kimutatják a folyók vízállás-tartósságában bekövetkező változásokat, a kisvizes időszakok tartósságának növekedését. A parti szűrésű vízkészlet legnagyobb mennyiségű utánpótlását a folyó jelenti, és az biztosítja a vízigényeket kielégítő kitermelhető vízhozamot. Az eredmények jól tükrözik, hogy a folyó vízállása meghatározza ezt az utánpótlást, a kisvizes időszakok tartóssága növeli a háttér oldali utánpótlást, ami vízminőségi és vízmennyiségi szempontból is problémát jelenthet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a 2018-1.2.1-NKP-2018-00011 azonosító számú „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” című projekt támogatásával valósult meg.

Külön köszönjük a Fővárosi Vízművek ZRt-nek a bemutatott modellvizsgálatokhoz nyújtott adatszolgáltatást, szakmai támogatást és együttműködést.

IRODALOMJEGYZÉK

Chiang, WH., Kinzelbach, W. (2003): The Advective Transport Model PMPATH. In: 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05549-6_4

- Deák József, Hertelendi Ede, Süveges Miklós, Barkóczy Zsolt (1992):* Partiszűrészű kutak vizének eredete trícium koncentrációjuk és oxigén izotóparányaik felhasználásával. *Hidrológiai Közlöny*, 1992. 72. évf. 4. szám: 204-210
- Fórizs, I., Deák, J. (1998):* Origin of bank filtered groundwater covering the drinking water demand of Budapest, Hungary. in "Application of isotope techniques to investigate groundwater pollution". IAEA-TECDOC-1046, 133-165.
- Fórizs, I., Berecz, T. Molnár, Z., Süveges, M. (2005):* Origin of shallow groundwater of Csepel Island (south of Budapest, Hungary, River Danube): isotopic and chemical approach. *Hydrol. Process.* 19, 3299–3312.
- Harbaugh A. W. (2005):* MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16
- Léczfalvy Sándor (2004):* Felszín alatti vizeink. Budapest: *ELTE Eötvös*
- Kármán, K., Maloszewski, P., Deák, J., Fórizs I., Szabó Cs., (2014):* Transit Time Determination in Riverbank Filtered System by Oxygen Isotopic Data Using the Lumped Parameter Model. *Hydrol. Sci. J.*, 59:6, 1109-1116, DOI: 10.1080/02626667.2013.808345
- Országos Vízügyi Főigazgatóság (2021):* Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve - 2021