

# A FELSZÍN ALATTI ÁRAMLÁS ÉS ÁRHULLÁMOK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA EGY FOLYÓPARTI TERÜLETEN

**Wagner Flóra** doktorandusz  
**Dr. Csoma Rózsa** egyetemi docens  
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

## KIVONAT

A felszíni és felszín alatti vizek modellezői számára fontos kérdés, hogy egy árhullám során a folyó mekkora vízmenynyiséggel táplálja a talajvizet. Ennek a számszerűsítéséhez a vízhozam meghatározására van szükség. A számításokat egy lágymányosi mintaterület három szakaszán végeztem el, talajvízkutak napi adatsorával egy évre kiterjesztve. A vizsgált év árhullámai során összehasonlítottam a vízhozamokat a folyó vízállásával, ami az árvízi hurokgörbéihez hasonló görbéket adott. Ezek ellipszisekkel közelíthetőek, melyek forgatási szöge mind az öt árhullámnál hasonló volt az egyes szakaszokon, és az egyes árhullámokhoz tartozó ellipszisek is hasonlóságot mutatnak egymással különböző szakaszokon. A munka célja az ellipszisek geometriai paramétereinek és az árhullámok jellemzőinek kapcsolatba állításával lehetőséget adni a felszín alatti vízforgalom becslésére a folyó vízállásából.

**KULCSSZAVAK:** talajvíz áramlás, háttéráramlás, városi terület, felszín alatti építmények

## BEVEZETÉS

A talajvíz és a felszíni víz közti vízcsera mennyiségének meghatározása mindkét szakterület számára hasznos adat. Árhullámok során fontos ismerni a folyóból talajvízbe lépő vízmennyiséget, amit befolyásol a vízparti, felszín alatti, vízvezetőréteget elérő építmények.

A főváros egy része a Duna eredeti árterületén fekszik. Ilyen terület Lágymányos is, ami az 1838-as árvíz után szükséges mederrendezési munkálatok után alakult ki (Ihrig, 1973), a folyó feltöltött medrében. Ehhez hasonló területeken a folyó aktuális vízszintje nagy hatással van a talajvíz szintjére.

A terület feltöltése vegyes anyagú, nagyrészt különböző erőművi salakok (Csoma és Gálos, 2012) alkalmazásával készült. Ezek nehézfém-tartalma több helyen az egészségügyi határértéket meghaladó volt. A salakokból történő kioldódás ellenőrzésére a környezetvédelmi hatóság az egyes létesítményekhez talajvíz- megfigyelő kutak telepítését írta elő. Az így létesült hét kút elhelyezkedése a 2. ábrán látható. A kutakban a vízminőség vizsgálatok mellett a talajvízszinteket is feljegyezték 2004 óta (Szívós et al., 2013). Mikor az előírt 10 év után felhagyták a vízminőségi vizsgálatokat, a kutak további hasznosítására a BME vette át az üzemeltetésüket, oktatási és kutatási célokra. Innentől kezdve csak mennyiségi vizsgálatokat folytatunk, immár több mint 15 éve (Wagner et al., 2015). Sajnálatos módon a TVF kutat hatósági döntés alapján az IBM betemettette 2016 nyarán, ennek adatait jelen vizsgálatban ezért csak korlátozottan vesszük figyelembe

Jelen munka célja a talajvíz szintje és a folyó vízszintje közti kapcsolat bővebb megismerése, és annak vizsgálata, hogy a folyó és a kijelölt távolabbi kút kapcsolata hogyan változott az évek alatt a többi kúttal, és ez hogyan állítható párhuzamba a külső beavatkozásokkal.

## Mérések

A Lágymányosi mintaterületen 6 működő talajvízkút található, melyekben a talajvizet havonta mérjük egy fényjelzős talajvízszint észlelő készülékkel (1. ábra). Két kút ezenfelül (GWM-31 és ELTE-1) folyamatos vízszintrögzítő készülékkel (Dataquával) van ellátva, melyek a talajvízszint napi idősorát adják.

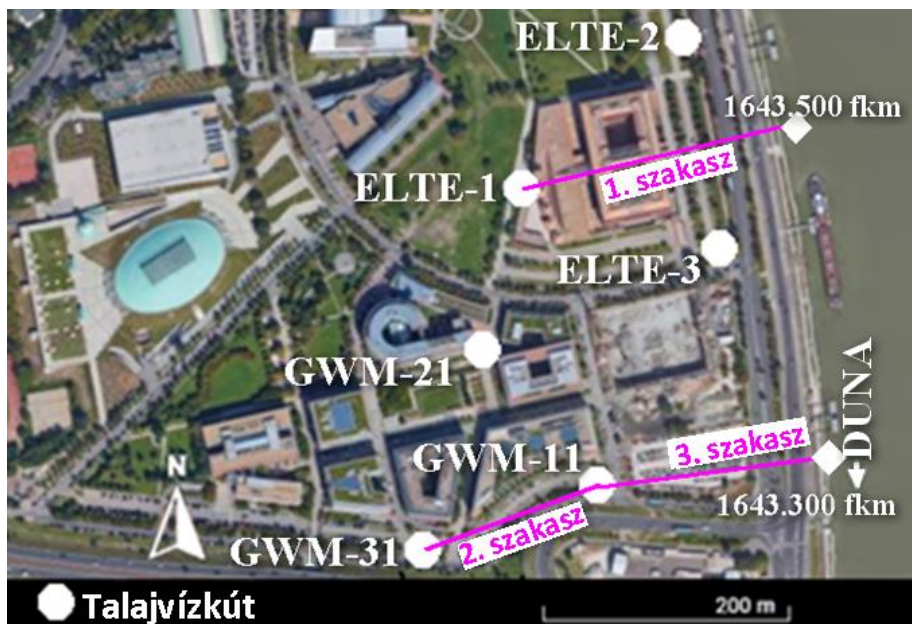
A Duna vízszintje elérhetőek az Országos Vízellő Szolgálat honlapjáról. A vizsgált idősor (2020.10.07-2021.10.28) homogénnek tekinthető, mivel új építkezés vagy egyéb beavatkozás nem történt a mintaterületen ebben az időszakban.



1. ábra. Fényjelzős vízszintmérő műszer (balra);  
Folyamatos talajvízszint rögzítő készülék (Dataqua) (jobbra)

### Módszer

A talajvíz fajlagos hozamát három, a folyóra merőleges szakaszon vizsgáltuk, amelyek a 2. ábrán láthatóak. Az 1-es és 3-as szakaszon földalatti szintekkel (mélygarázzsal) (Wagner és Csoma, 2021) rendelkező épület található a vizsgált kút és folyó között, míg a 2-es szakaszon kevesebb akadály áll a talajvíz útjában.



2. ábra. A lágymányosi mintaterület a 6 talajvízkúttal és a 3 vizsgált szakasszal

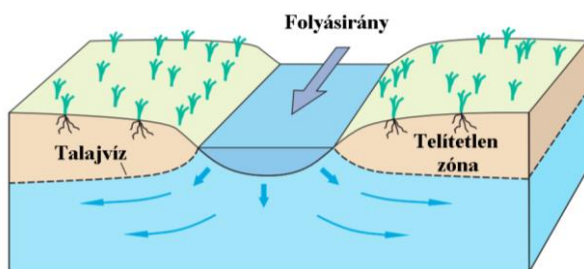
A GWM-11-es kút napi vízszint idősorát többváltozós korrelációs számítással határoztam meg. Ehhez az egyik független változó egy folyamatosan rögzített kút napi idősora, a másik pedig a szakaszhoz tartozó folyamkilométernél számított Duna-vízszint. Az adott szakaszhoz tartozó folyószintet a Vigadó téri vízmérce és a Kvassay-zsilip vízmércéje alapján lineáris interpolációval határoztam meg.

A terület geológiai adatairól egy előző kutatás (Szívós et al, 2013) tartalmazott ismereteket. A szakaszokon használt szivárgási együtthatók Szívós kutatásának eredményei alapján lettek becsülve, melyben a szivárgási együttható területi változásait vizsgálták. A fekü szintjét egy előző kutatás (Wagner, 2018) és térképek (Horusitzky, 1932) alapján vettem fel.

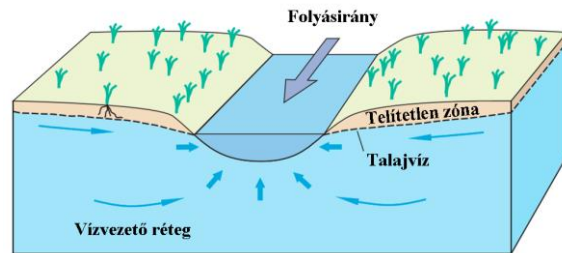
Egy szakaszra a vízfelszín esése az alábbi képlettel (1) lett meghatározva, ahol  $h$  a vízszint a szakasz két végpontján,  $r$  pedig a köztük lévő távolság.

$$S = (h_{Nyugati\ végpont} - h_{Keleti\ végpont})/r \quad (1)$$

Ez azt jelenti, hogy a talajvíz fajlagos vízhozama pozitív lesz, ha a folyóból lép ki vízmennyiség a talajvíz irányába (3. ábra (Barlow és Leake, 2012)), és negatív lesz, ha a talajvíz áramlik a folyó irányába (4. ábra (Barlow és Leake, 2012)).



3. ábra. A folyóból kilépő víz tölti a talajvizet



4. ábra. A talajvíz áramlik a folyó felé

A talajvíz áramlásának szivárgási sebességét Darcy képletével (2. egyenlet) számítjuk:

$$v = S * k \quad (2)$$

Ez a folyóra merőleges sebesség-komponens, amely a folyó-talajvíz kapcsolat szempontjából fontos számunkra.

A fajlagos vízhozamot  $q$ -val jelöljük, és a 3. egyenlettel határozzuk meg, ahol  $H$  a talajvízszint és a fekü szintjének különbsége, a telített vízvezetőrétteg vastagsága.

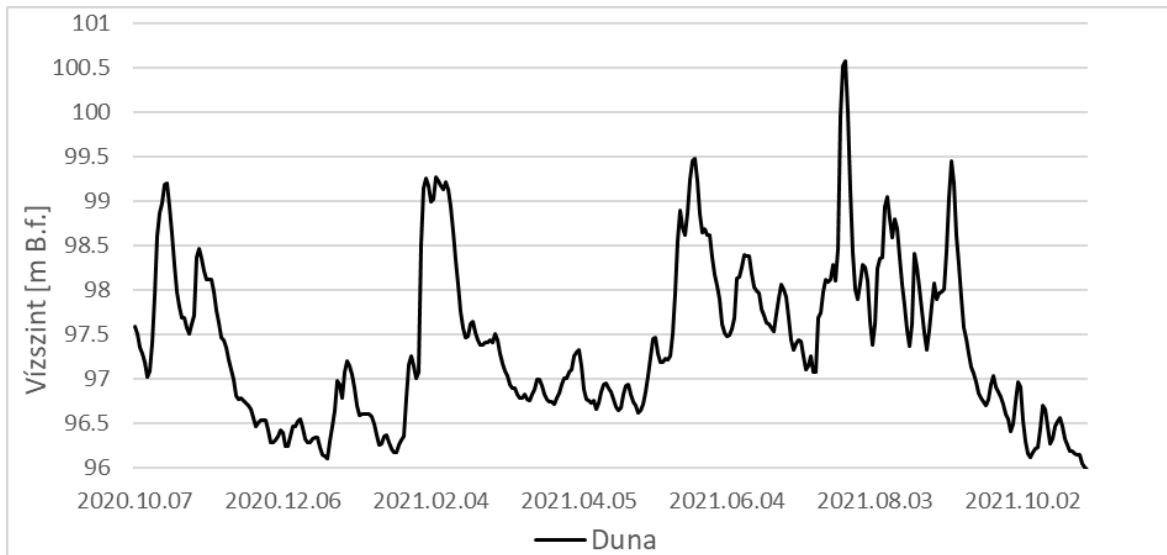
$$q = v * H. \quad (3)$$

A következőkben azokat az eseteket elemeztük, amikor a vizsgált időszakban az árhullámok több napon keresztül meghaladták a 99 m B.f. szintet (a 403 cm-es vízállást) a Vigadó térnél. Ebben az esetekben a felszín alatti áramlás mértékét hurokgörbék segítségével jellemeztük, melyeket ellipsziszekkel közelítettünk a legkisebb négyzetek elve alapján (Hendel, 2009).

## ELŐZETES SZÁMÍTÁSOK

### A folyó vízszintjének meghatározása adott folyamkilométerekben

A vizsgált időszakban a Duna Vigadó téri vízmércéje alapján öt olyan árhullám figyelhető meg, amely több napon keresztül meghaladták a 99 m B.f. szintet. A 2013-as rekord árvíz óta nem volt olyan árhullám, amely elérte volna az I. fok szintjét, ami a Vigadó téri vízmércénél 620 cm-es vízállást jelent (101.17 m B.f. szintet). A vizsgált év Vigadó téri mért vízszintjei az 5. ábrán láthatóak.



5. ábra. A Duna Vigadó téri vízmércéjénél mért vízszintek napi idősora a vizsgált időszakban

A Kvassay-zsilip vízmércéjénél mért vízszintek online nem elérhetőek, így azt egy korábbi munka (Wagner, 2018) alapján lineáris regresszióval határoztam meg az alábbi egyenlettel:

$$h_{Duna (Kvassay-zsilip)} = 0.9545 * h_{Duna (Vigadó tér)} + 3.9801 \quad (4)$$

A szakaszok által kijelölt végpontokban a Duna vízszintjét a bemutatott adatok alapján lineáris interpolációval határoztuk meg. Átlagosan elmondható, hogy az 1. és 2. szakaszhoz tartozó szelvényben 2 cm-rel magasabb volt a vízszint, mint a 3. szakaszhoz tartozó szelvényben.

### A GWM-11-es kút napi talajvízszint idősorának meghatározása többváltozós korrelációs számítással

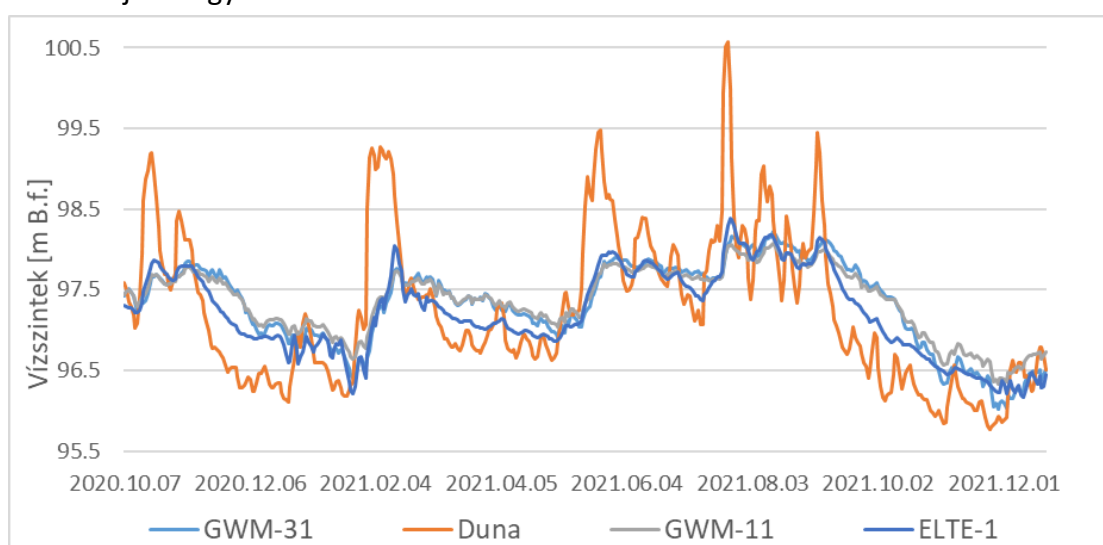
Korábbi kutatásunkban (Wagner, 2021) bemutattuk, hogy egy talajvízkút napi vízszint idősora nagyobb pontossággal határozható meg többváltozós korrelációs számítással, mint lineáris regresszióval, ha a két független változó a folyó vízszintje és egy nem partmenti kútnál mért vízszint.

Mivel az ELTE-1 és GWM-31 kút is folyamatos talajvízszintrögzítő készülékkel van felszerelve, így mindkettő alkalmazható második független változónak a többváltozós korrelációs számítás során. Ezek alapján a GWM-11 vízszintjeinek napi idősorát kétféleképp is meghatároztuk, amihez a havonta, manuálisan mért adatokat alkalmaztuk. A két többváltozós korreláció jellemzői az 1. táblázatban lettek összefoglalva:

### 1. táblázat. A két többváltozós korreláció jellemzői

Többváltozós korreláció, ahol a két független változó: Duna és ...		
	...ELTE-1	...GWM-31
Korrelációs tényező	0.917	0.914
RMSE érték	0.108	0.134

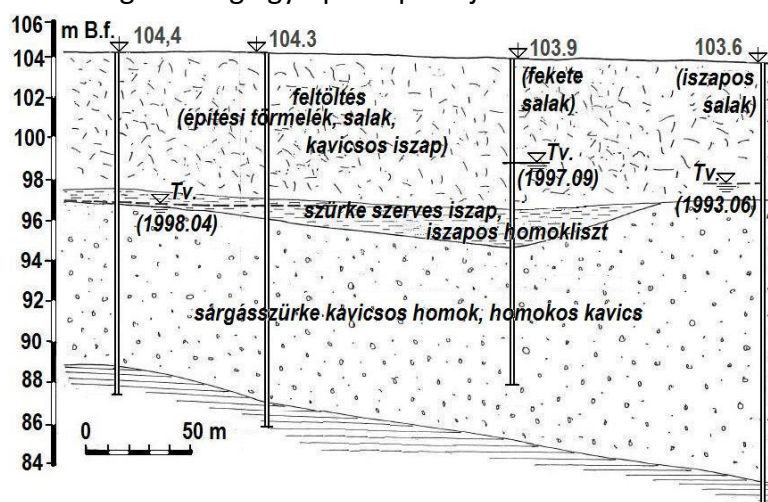
A két összehasonlított jellemző nagyságrendileg megegyezik, és mindkettő erős kapcsolatot mutat a mérési eredményekkel. Bár a korrelációs tényező csak kicsivel nagyobb abban az esetben, amikor a második független változó az ELTE-1, mintha GWM-31-et vettük figyelembe, az RMSE (átlagos négyzetes középhiba gyöke) értéke ELTE-1-nél kisebb. Emiatt a GWM-11 napi adatsorának számításánál az ELTE-1-et használtam második független változónak a többváltozós korrelációs számításban. A három kút napi idősora a 6. ábrán látható, a Duna Vigadó téri mért vízszintjével együtt.



6. ábra. A Duna (Vigadó tér) és a három vizsgált kút napi idősora a vizsgált időszakban

### Geológiai adatok

A területen található rétegezethez egy tipikus példája a 7. ábrán látható.



7. ábra. A terület tipikus rétegezethez egy példája a 7. ábrán látható

A terület különböző rétegekből áll. A felső réteg vegyes anyagú feltöltés, nagyjából 6-8 m vastagságban, amit egy vékonyabb (1-2 m) iszapos réteg követ. Ezekben a víz áramlása lassabb, kevésbé vízvezetőek, mint a következő réteg. Ez a réteg kavics – homokos kavics, ami a folyó hordalékából származik, 10-12 m vastag, és jó vízvezető tulajdonságokkal rendelkezik. A fekü anyaga agyag, agyagos márga a folyó mederfeneke alatt. A 2. táblázat a különböző rétegek becsült jellemzőit foglalja össze.

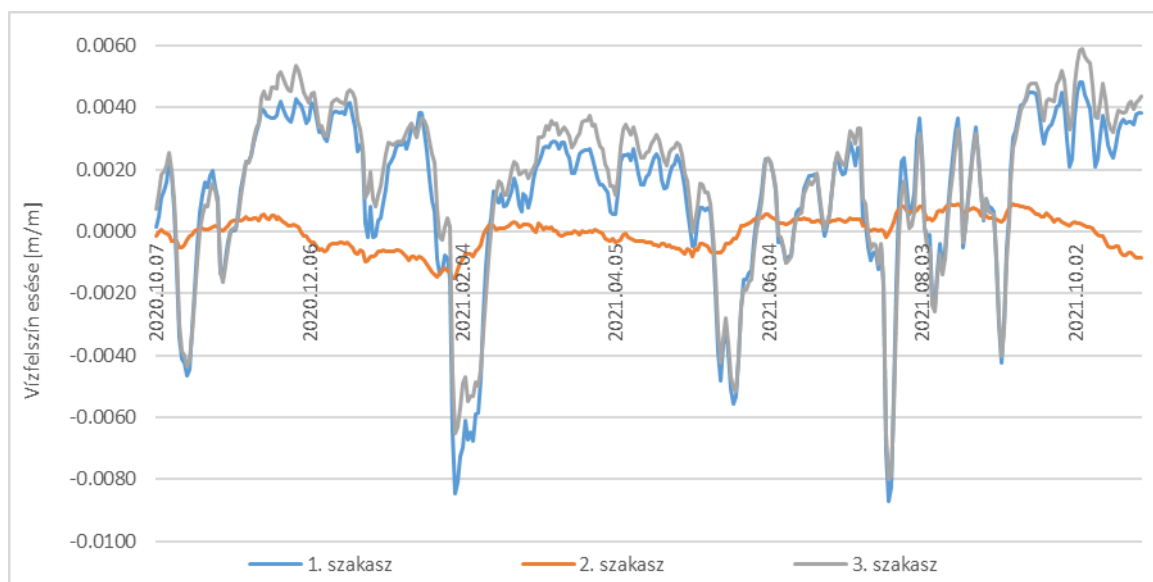
2. táblázat. A különböző rétegek becsült jellemzői

	1. szakasz	2. szakasz	3. szakasz
Terepszint [m B.f.]	104.63	104.64	104.88
z <sub>A</sub> : Vízvezetőréteg felső szintje [m B.f.]	97.73	96.79	96.28
H <sub>A</sub> : Vízvezetőréteg vastagsága [m]	6.38	4.79	6.28
z <sub>B</sub> : Fekü szintje [m B.f.]	91.36	92.00	90.00
k <sub>F</sub> : Feltöltés szivárgási együtthatója [m/s]	0.000030		0.000015
k <sub>A</sub> : Vízvezetőréteg szivárgási együtthatója [m/s]	0.0053		0.0029

## TALAJVÍZ ÁRAMLÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA

### Vízfelszín esése

Elsőként a vízfelszín esésének napi idősorát számoltuk ki az 1. egyenlettel mind a három szakaszon, amelyet a 7. ábrán mutatunk be. A folyóhoz közelebb található 1. és 3. szakaszok hasonló értékeket adnak, míg a 2. szakaszon a vízfelszín esése jelentősen kisebb.



7. ábra. A vízfelszín esése a három szakaszon

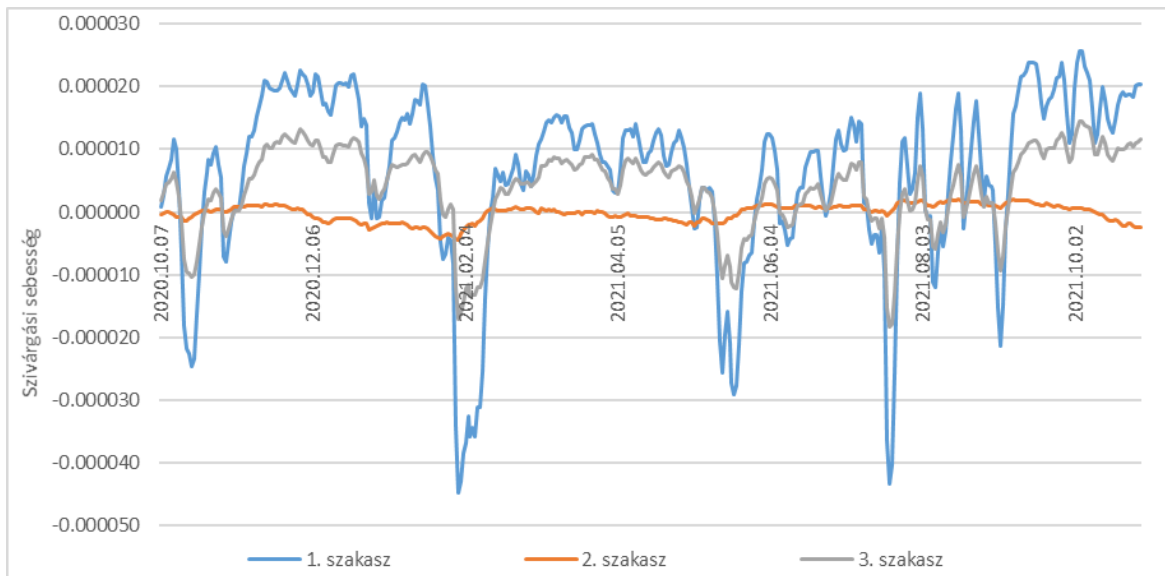
Az áramlás irányának változása szintén jól követhető az ábrán a pozitív (talajvíz áramlik a folyó irányába) és negatív (folyó tölti a talajvizet) értékek váltakozásával.



## Szivárgási sebesség

A következő lépés a szivárgási sebesség napi idősorának meghatározása volt a 2. egyenlet használatával. Ha egy kút talajvízszintje alapján a talajvízszint magasabban volt a vízvezetőréteg felső szintjénél, már a feltöltés rétegben, akkor a szivárgási együtthatóval, mint a vízvezetőréteg és a feltöltés szivárgási együtthatóinak vastagság szerinti súlyozott átlagával (5. egyenlet) számoltunk tovább.

$$k_{\text{súlyozott átlag}} = ((h - z_A) * k_F + H_A * k_A) / ((h - z_A) + H_A) \quad (5)$$



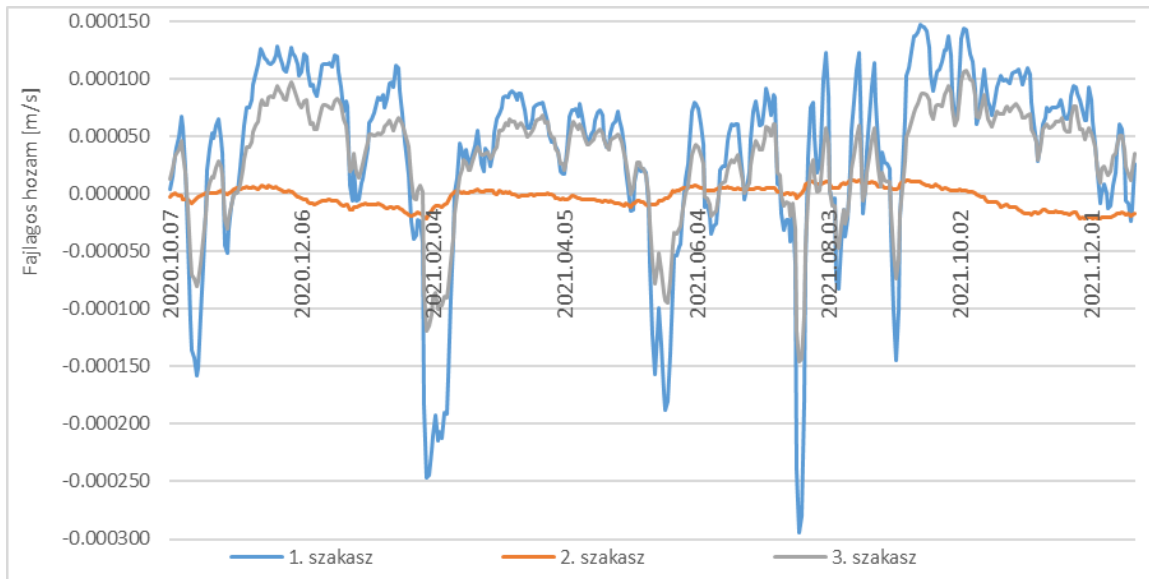
8. ábra. A szivárgási sebesség a három szakaszon

Ahogy a szivárgási sebességek napi idősorai is mutatják a 8. ábrán, az 1. szakaszhoz képest a 3. szakaszon ez az érték kisebb, hiszen ennek a területén a szivárgási együtthatók kisebbek a feltöltésben és a vízvezető rétegben is. Ezenkívül ezen az ábrán is a 2. szakaszon kaptuk a legalacsonyabb eredményeket.

## Fajlagos hozam

A bemutatott számítások után a fajlagos vízhozam napi idősorát is elő tudtuk állítani mind a három szakaszon a 3. egyenlet használatával. Az eredményeket a 9. ábra mutatja be.

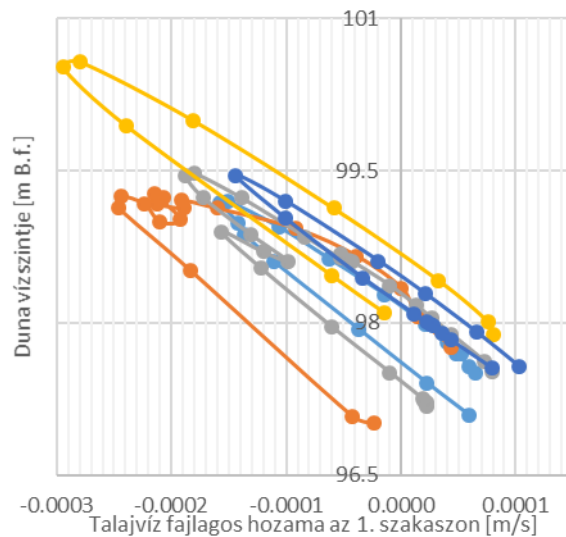
A 2. szakaszon a legkisebbek ezek az értékek, míg az 1. és 3. szakaszon nagyságrendileg meg-egyeznek. Az így kapott fajlagos hozam idősorok összehasonlíthatók a folyó vízszintjének napi idősorával.



9. ábra. A fajlagos hozam a három szakaszon

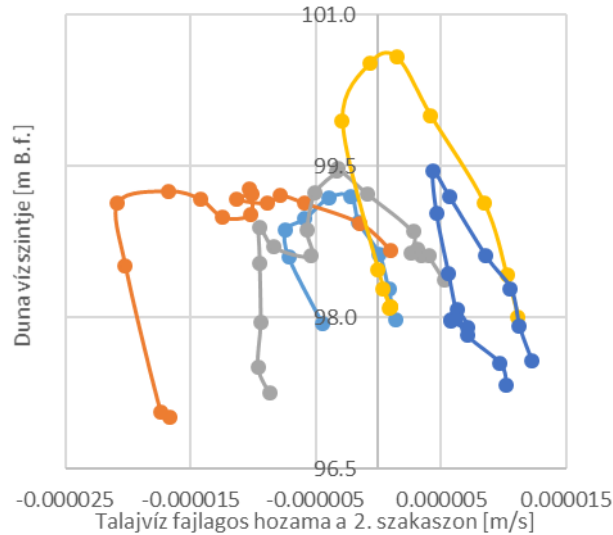
### Hurokgörbék bemutatása

Közös koordinátarendszerben ábrázoltuk a számított fajlagos vízhozamokat és a folyó vízszintjeit az öt előzőleg meghatározott árhullám idején. A három szakaszhoz készített összehasonlításokat a 10.-12. ábrák tartalmazzák, amelyeken a függőleges tengely a Duna Vigadó téri vízmércénél vízszint, a vízszintes tengely a talajvíz fajlagos vízhozama. Ezek alapján elmondható, hogy a három szakaszon mind az öt esetben megjelenik a hurokgörbe. Az árhullám áradó ága a hurokgörbe alsó része, míg az apadó ág a hurokgörbe felső része. A hurokgörbék mérete különböző, de iránya hasonló az egyes szakaszokon.

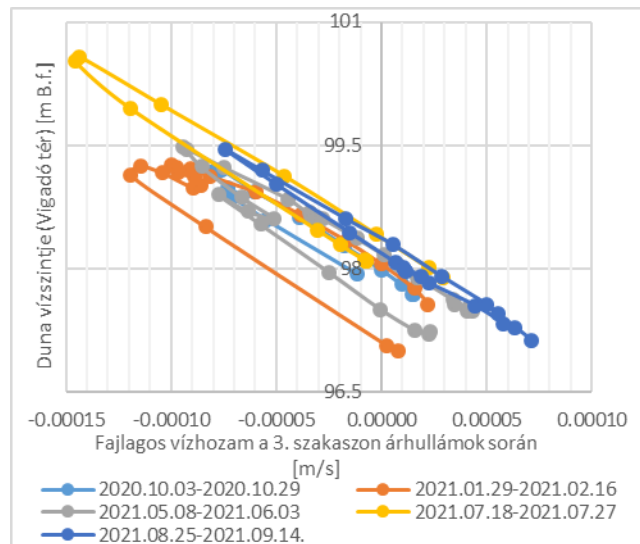


10. ábra. Hurokgörbék árhullám idején az 1. szakaszon





11. ábra. Hurokgörbék árhullám idején a 2. szakaszon

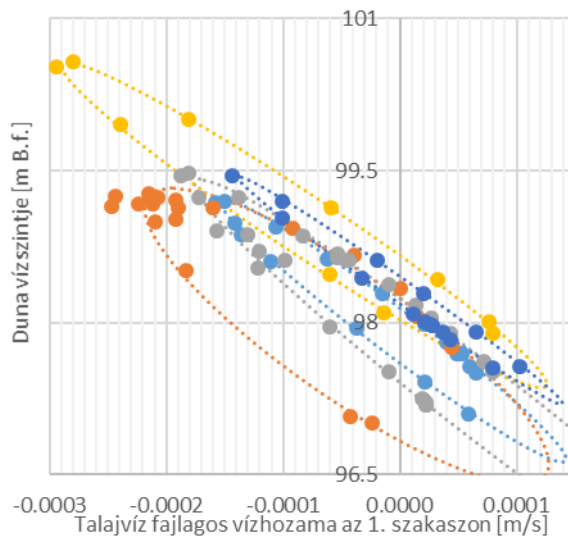


12. ábra. Hurokgörbék árhullám idején a 3. szakaszon

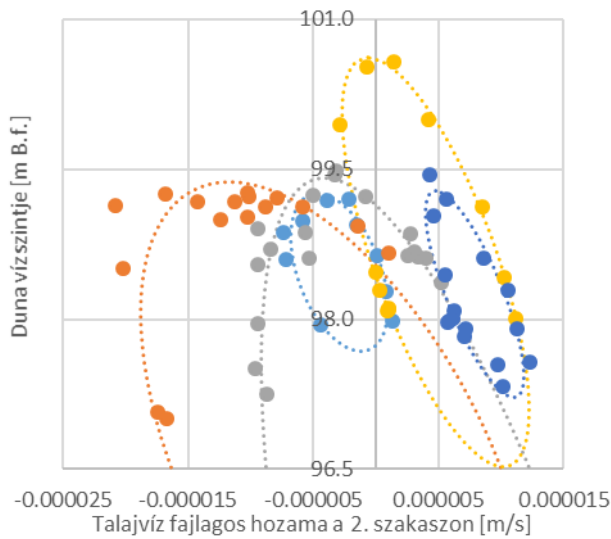
### A hurokgörbék közelítése ellipsziszekkel

Mivel a hurokgörbék minden esetben megjelentek az ábrákon, a következő lépés a numerikus közelítésük volt. Ha egy szakasz hurokgörbéjét sikerül egységesen egyenletbe foglalnunk, a szakasz fajlagos vízhozama becsülhető lehetne a folyó vízszintjéből.

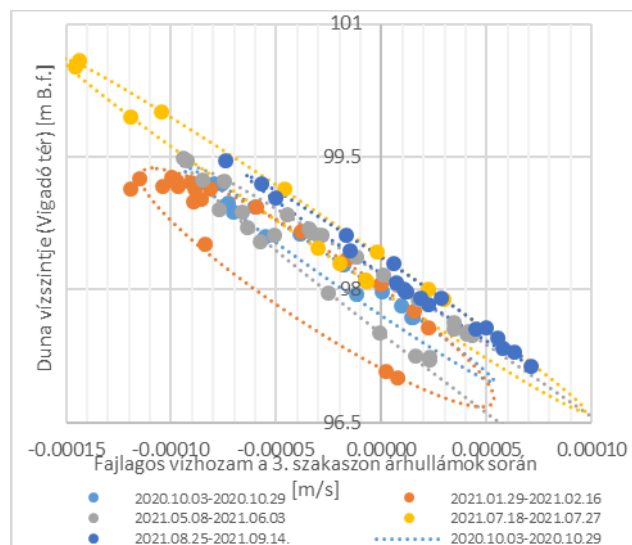
A közelítést a legkisebb négyzetek módszerével tettük meg (Hendel, 2009), és az így kapott adatokat az elforgatott ellipszis parametrikus egyenletébe illesztettük be. Az eredmények a 13.-15. ábrákon láthatóak.



13. ábra. Hurokgörbék közelítése az 1. szakaszon



14. ábra. Hurokgörbék közelítése a 2. szakaszon



15. ábra. Hurokgörbék közelítése a 3. szakaszon

Mivel a fajlagos vízhozam a használt dimenzióban nagyon kicsi érték, így az ellipszis nagy- és kistengelyét, a középpont x és y koordinátáját és a forgatás szögét 16 tizedesjegy pontossággal használtuk.

A forgatási szögek megegyeztek az egyes szakaszokon mind az öt árhullám esetében. Ha az azonos árhullámhoz tartozó ellipsziseket hasonlítjuk össze, azt látjuk, hogy azonos módon térnek el a más árhullámhoz tartozó ellipszisektől. A 2021.01.29-2021.02.16 időszak árhullámához tartozó ellipszisek és a 2021.05.08-2021.06.03 időszak árhullámjához tartozó ellipszisek mindig a jellemzően szélesebbek minden szakaszon, míg a 2021.08.25-2021.09.14. időszak árhullámjához tartozó ellipszis mindig a legkeskenyebb.

Az ellipszisek geometriai paraméterei és az árhullámok jellemzői közti kapcsolatok további vizsgálatával egységes megoldást találhatnánk arra, hogy becsülhető legyen a maximális fajlagos vízhozam az egyes szakaszokon, különböző árhullámok során. Szintén további vizsgálatot igényel a hurokgörbék vizsgálata abban az esetben, amikor a folyó vízszintje jelentős lokális minimum szélsőértéket ér el. Ezzel a módszerrel a folyó leadott és felvett vízmennyisége válna becsülhetővé.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során a fajlagos vízhozamot határoztuk meg árhullámok idején, mely során bemutattuk az ehhez szükséges előzetes számításokat. Ha napi talajvízszint mérések nem állnak rendelkezésünkre, a többváltozós korrelációszámítás egy jó módszer arra, hogy kiegészítsük a talajvízkutak idősorát.

A fajlagos vízhozamok és a Duna vízszintjeinek közös ábrázolása árhullám idején hurokgörbét eredményezett. Ezek ellipszisekkel közelíthetőek, amelyek egy-egy szakaszon azonos forgatási szöggel rendelkeztek minden esetben.

Az ellipszisek geometriai paramétereinek és az árhullámok jellemzőinek további vizsgálata a jövőben fontos eredményeket hozhat. Ezekből meghatározott egyenletekkel becsülhetővé válna a talajvíz fajlagos vízhozama minden egyes szakaszon, csak a folyó vízszintje alapján, ami jó eszköz lenne a felszíni vízből ki- és belépő vízmennyiség becsüléséhez.

További számításokkal vizsgálva a fajlagos vízhozam változása és a terület beépítése közti kapcsolatot, újabb ismeretet adhat a felszín alatti építmények felszín alatti áramlásokra gyakorolt hatásáról. Hogy megbízható kapcsolatokat állíthassunk fel, további mérésekre van szükség, főként jelentősebb árhullámok idején.

## IRODALOMJEGYZÉK

Barlow, P.M., and Leake, S.A., "Streamflow depletion by wells—Understanding and managing the effects of groundwater pumping on streamflow" U.S. Geological Survey Circular 1376, 84 p, 2012

Csoma R.; Gálos, M. "River–groundwater interaction over the region of Infopark-Budapest", Periodica Polytechnica Vol. 56/2., 2012.

Hendel, T. (2008) Ellipse Fit, MATLAB Central File Exchange (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/22423-ellipse-fit>),

Horusitzky, H.: "Budapest Székesfőváros hidrogeológiai viszonyai", Hidrológiai Közlöny, Vol. XII. 1. füzet, 1932.

Ihrig D. "A magyar vízszabályozás története", VIZDOK, Budapest, 1973

Lükő, G.; Megyesi, T. B.; Wagner, F. "Talajvízjárás folyóparti területen kisvízes időszakban", Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2015.

HYDROINFO. Hungarian Hydrological Forecasting <http://www.hydroinfo.hu>

- Szivós, B.; Csoma, R.; Gálos, M. "A Darcy-féle átteresztőképességi együttható eloszlásának vizsgálata a Lágymányosi-öblözet területén" Mérnökgeológia – Kőzetmechanika 2013 Hantken Kiadó, Budapest, 2013
- Wagner, F., Csoma, R. "Beépítés hatása a talajvíz áramlási viszonyaira a Lágymányosi-mintaterületen" Magyar Hidrológiai Társaság 2021 XXXVIII. Vándorgyűlés
- Wagner, F. "A lágymányosi mintaterület talajvíz-hidraulikai modellje" BSc Diplomamunka, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2018.
- Wagner F.: "The reconstruction possibilities of groundwater data series with gaps introduced at a pilot area in Budapest", CYSENI 2021 17th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues, p. 1266-1275, ISSN 1822-7554