

A felszín alatti áramlás vizsgálata árvíz idején

Wagner Flóra doktorandusz
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
wagner.flora@emk.bme.hu

Dr. Csoma Rózsa egyetemi docens
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
csoma.rozsa@emk.bme.hu

Kivonat

A felszíni és felszín alatti vizek modellezői számára fontos kérdés, hogy egy árvíz során a folyóból mekkora vízmennyiség lép át a talajvízbe. Ennek a számszerűsítéséhez a felszín alatti vízhozam meghatározására van szükség. Ehhez több árvíz levonulása idején összehasonlítottuk a vízhozamokat a folyó vízállásával, számos különböző típusú, ember által befolyásolt területen, talajvízkutak vízszint adatsorát felhasználva. Így a folyóra merőleges szakaszokra eredményül az árvízi hurokgörbékhez hasonló görbéket kapunk, melyek közelíthetőek különböző módszerekkel. A görbék hasonlóságai és különbségei kapcsolatban állnak a folyó-talajvízkút közti távolsággal, az árvíz levonulásának ütemével, területi változásokkal. A munka célja ezeknek párhuzamba állítása és következtetések levonása, hogy az árvíz idején a folyó által talajvizet tápláló vízmennyiség könnyebben és pontosabban becsülhető legyen. Tapasztalataink szerint bizonyos távolságon túl a fajlagos vízhozam értéke a folyóra merőleges szakaszon jelentősen lecsökken. Ezzel a hurokgörbe nem érvényesül egyértelműen, az áradó és apadó ág görbéje nem különül el jelentősen, így ezeken a területen az egyenessel való közelítés is elégséges lehet.

Kulcsszavak: talajvízáramlás, felszín alatti vízhozam, árvíz, árhullám, hurokgörbe

BEVEZETÉS

A felszíni és felszín alatti vizek modellezői számára fontos kérdés, hogy egy árvíz során a folyóból mekkora vízmennyiség lép át a talajvízbe. Ennek a számszerűsítéséhez a felszín alatti vízhozam meghatározására van szükség. Ennek meghatározása után a 2010-es és 2013-as árvíz levonulása idején összehasonlítottuk a vízhozamokat a folyó vízállásával, két különböző típusú, ember által befolyásolt területen, talajvízkutak vízszint adatsorát felhasználva. Az egyik terület egy kisebb mintaterület, a lágymányosi Infopark, míg a másik egy ennél ötvenszer nagyobb területet foglal be, Szalkszentmárton környékét.

Jelen munka egy korábban elkezdett nagyobb léptékű vizsgálat egy lépése. Így az elmúlt évben tisztáztuk a kisebb mintaterület viselkedését (*Wagner – Csoma, 2022*), míg jelenlegi célunk a nagyobb mintaterülettel annak vizsgálata, hogy a jelenség a folyótól milyen távolsáig hat el.

MÓDSZER

A vizsgálat során a folyóra merőleges szakaszokat határozzuk meg a kutak elhelyezkedése alapján. A szakaszokra szükséges meghatározni a vízfelszín esését, amely az 1. képlettel történik:

$$S = (h_{\text{Folyótól távolabbi végpont}} - h_{\text{Folyó/folyóhoz közelebbi végpont}}) / r \quad (1)$$

A képlet alapján negatív a talajvíz fajlagos vízhozama, ha a folyóból lép ki víz a talajvíz irányába, és pozitív, ha a talajvíz áramlik a folyó irányába.

A szivárgási sebességet sebességét Darcy képletével, a 2. egyenlettel számítjuk, ami megadja a folyóra merőleges sebesség-komponenst:

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

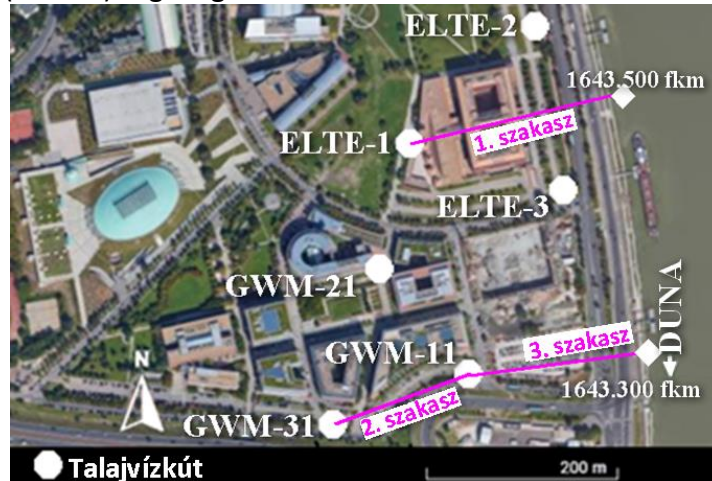
A szivárgási sebességet megszorozva a H-val jelölt telített vízvezetőrteg vastagsággal megkapjuk a q-val jelölt fajlagos vízhozamot (3. egyenlet).

$$q = v * H.$$

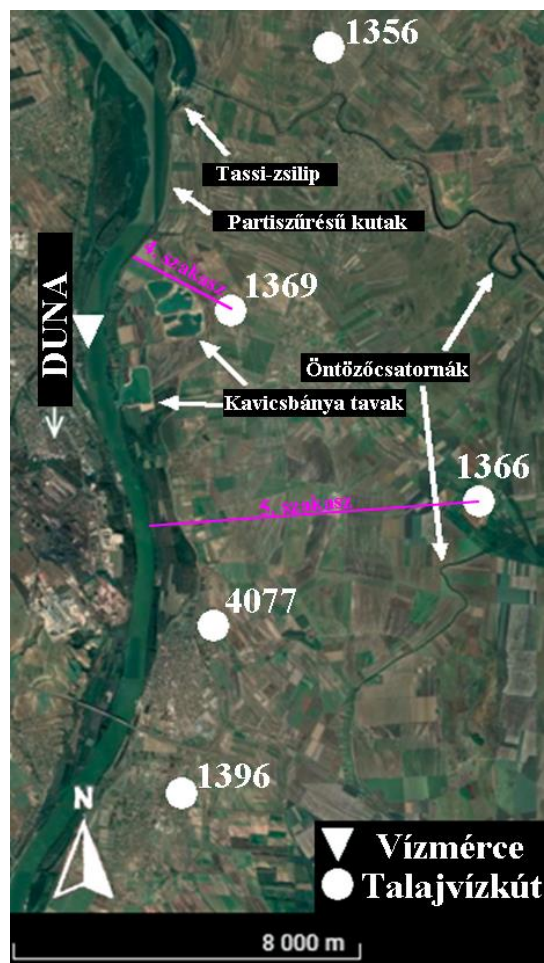
(3)

VIZSGÁLATI TERÜLETEK ÉS IDŐSZAKOK

A vizsgálat során a 2010 júniusában és a 2013 júniusában levonult dunai árvizeket vizsgáltuk egyrészt a budapesti Infoparkban (1. ábra), másrészt Szalkszentmárton környékén elhelyezkedő talajvízkutak (2. ábra) segítségével.

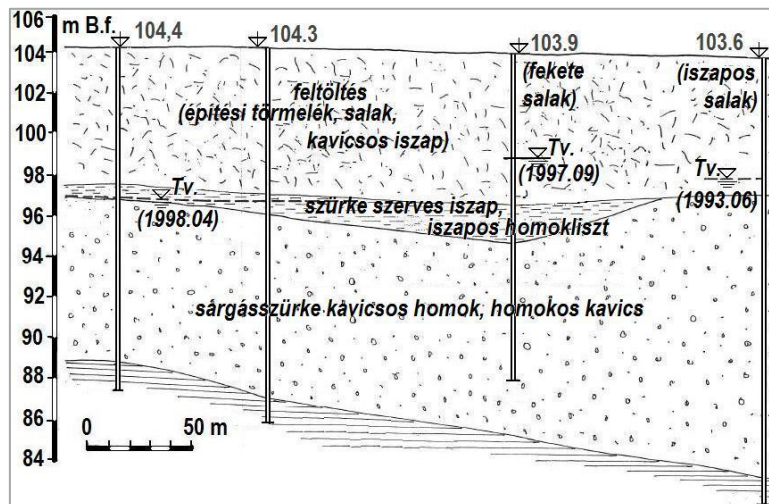


1. ábra A lágymányosi mintaterület a 6 talajvízkúttal és a három vizsgált szakasszal



2. ábra Szalkszentmárton környéki talajvízkutak és a vizsgált két szakasz

Az Infopark területe az 1838-as árvíz után szükséges mederrendezési munkálatok után alakult ki a folyó feltöltött medrében (Ihrig 1973). A terület geológiai adatairól egy előző kutatás (Szívós et al, 2013) tartalmazott ismereteket, a rétegezetség egy tipikus példája a 3. ábrán látható (Csoma és Gálos, 2012). 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 fekü szintjét egy előző kutatás (Wagner, 2018) és térképek (Horusitzky, 1932) alapján vettük fel.



3. ábra Az Infopark tipikus rétegezetségének metszete

A talajvíz fajlagos hozamát három, a folyóra merőleges szakaszon vizsgáltuk, amelyek a 1. ábrán láthatóak. Az 1-es és 3-as szakaszon földalatti, vízvezetőréteget elérő 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. Az 1. táblázat a különböző rétegek becsült jellemzőit foglalja össze az 1., 2. és 3. szakaszon.

A szalkszentmártoni terület nagyjából 50-szer nagyobb az Infopark mintaterületéhez képest. Itt két talajvízkút alapján két Dunára merőleges szakaszt (2. ábra) vontunk be a vizsgálatba (4. és 5. szakasz), amelyek jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. A terület meghatározó anyaga kavics, a Duna lerakott hordaléka. Számos kavicsbányató létesült a terület közelében, illetve tőle északra partiszűrűsű csáposkutak segítségével ivóvízkitermelés folyik. A terület rétegeit átlagolva vettük figyelembe.

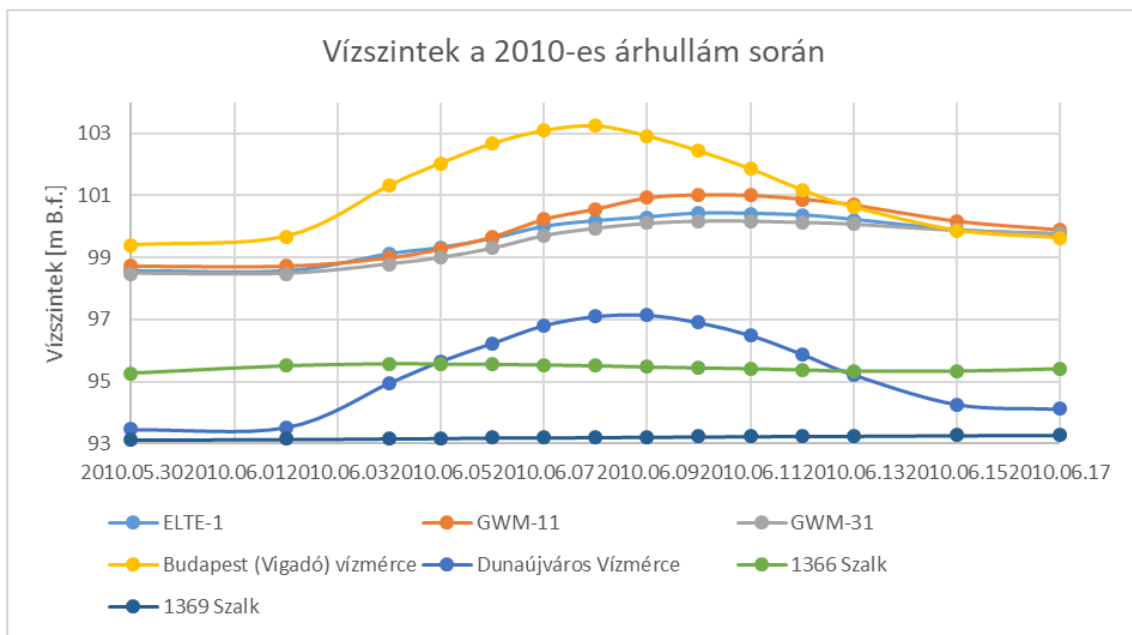
	1. szakasz	2. szakasz	3. szakasz	4. szakasz	5. szakasz
Hossz [m]	226	175	266	3468	10080
Terepszint [mBf]	104,63	104,64	104,88	~96,00	
Z _A : Vízvezetőréteg felső szintje [mB.f.]	97,73	96,79	96,28	~96,00	
H _A : Vízvezetőréteg vastagsága [m]	6,38	4,79	6,28	~13,00	
Z _B : Fekü szintje [mBf]	91,36	92,00	90,00	~83,00	
k _F : Feltöltés szivárgási együtthatója [m/s]	0,000030	0,000015		-	
k _A : Vízvezetőréteg szivárgási együtthatója [m/s]	0,0053	0,0029		0.00069	

1. táblázat Szakaszok jellemzői

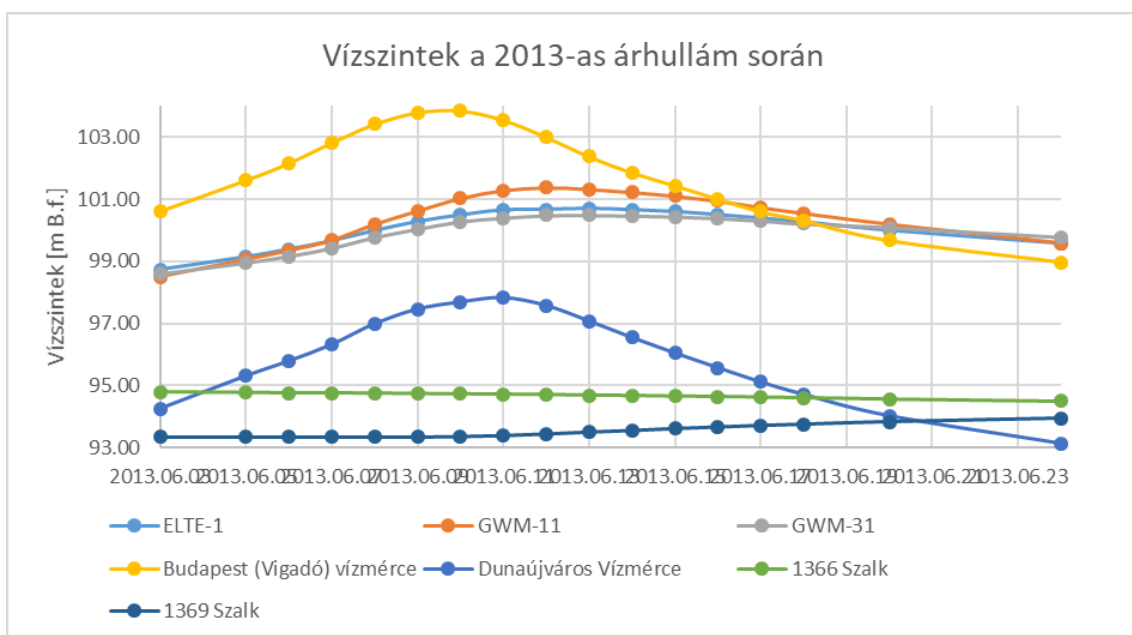
TALAJVÍZ ÁRAMLÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA

Vízszint adatsorok

Az Infopark területére előző tanulmányokból rendelkezésre álltak a 2010-es és 2013-as harmadfokot meghaladó árvizek idején mért napi talajvízszint adatsorok (*Kukucska és társai 2015*), míg a szalkszentmártoni vizsgált kutak adatsorait Tanszékünk egyik munkája (*BME-VVT, 2023*) nyomán vettük figyelembe a két időszakra. A 4. ábrán a 2010-es árvíz, míg az 5. ábrán a 2013-as árvíz levonulása látható, közösen ábrázolva a két területet. Egyértelműen látszik, hogy a szalkszentmártoni távoli kutakban nem jelentkezett jelentős szintváltozás az árhullámok hatására. Ennek több oka is lehet, mint például a nagyobb távolság, az erőteljesebb háttáráramlás, vagy a kutak és Duna között elhelyezkedő bányatavak tompító hatása.



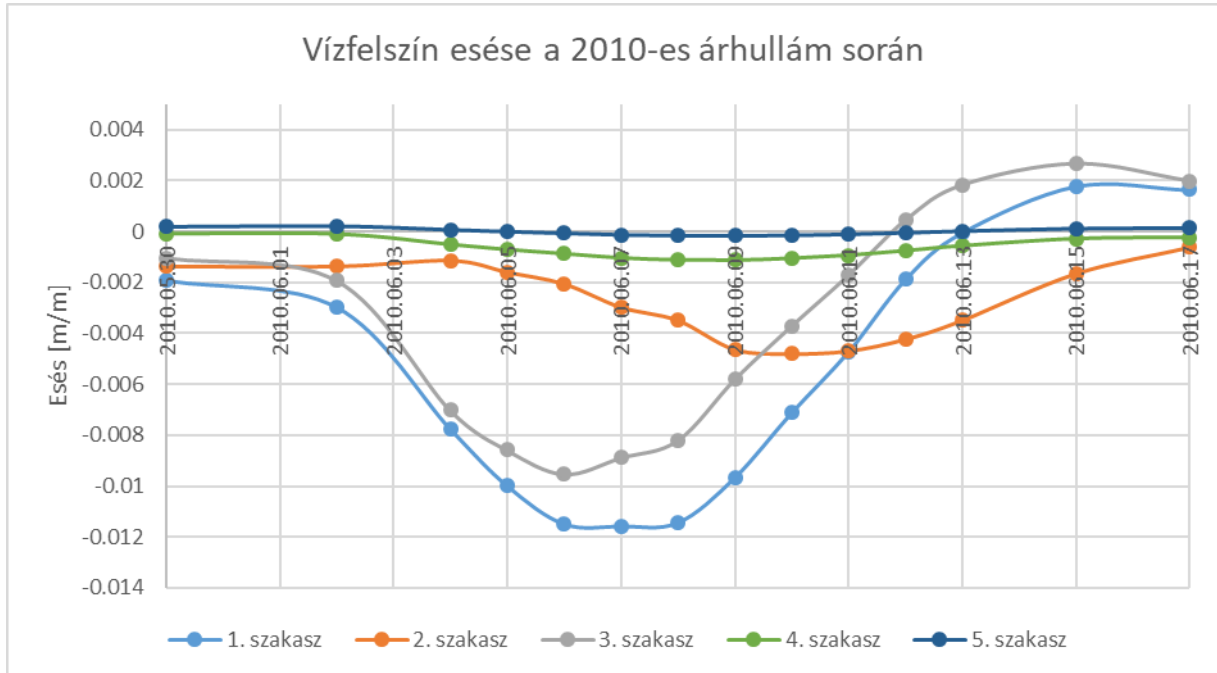
4. ábra Vízszintek a 2010-es árhullám idején



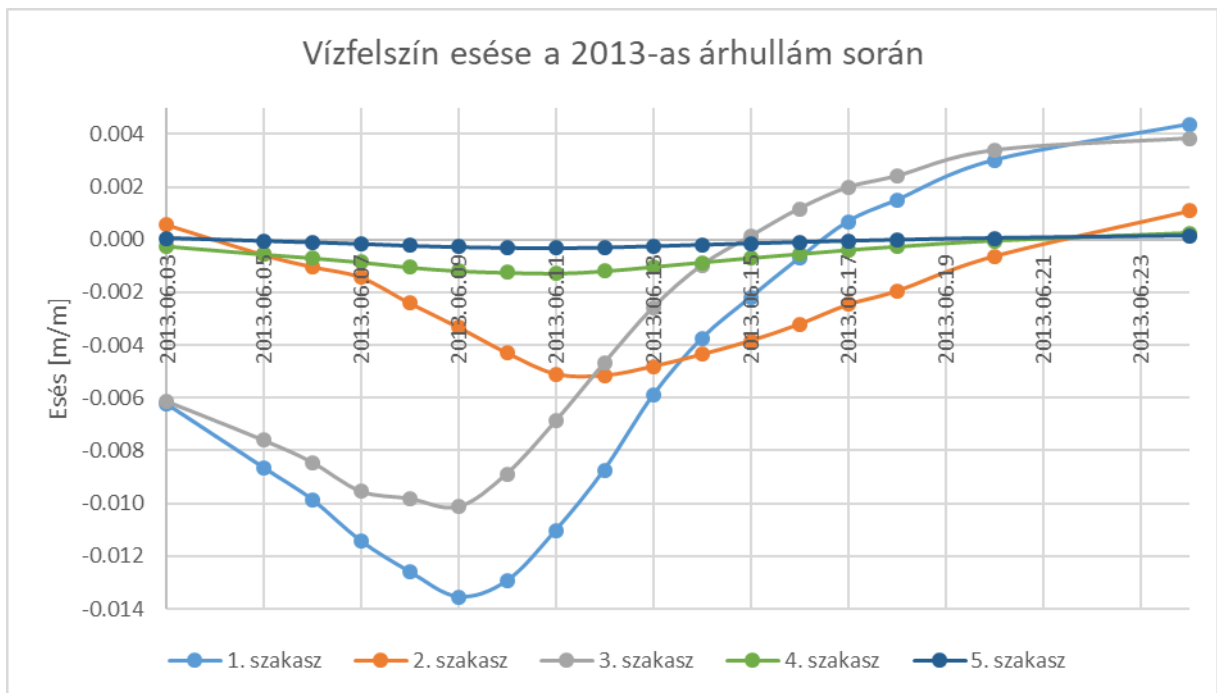
5. ábra Vízszintek a 2013-as árhullám idején

Vízfelszín relatív esése

A következőkben meghatároztuk az öt szakaszon a talajvíz felszínének relatív esését. Látható, hogy ebben az időszakban a jellemző áramlási irány szerint Duna táplálta a felszín alatti vízkészletet. Ezalapján látható, hogy nemcsak a közelebbi, Infoparkban található szakaszon, de a messzebbi szakaszmártoni szakaszokon is a folyóból lépett ki vízmennyiség (6. és 7. ábra).



6. ábra Vízfelszín esése a 2010-es árhullám során

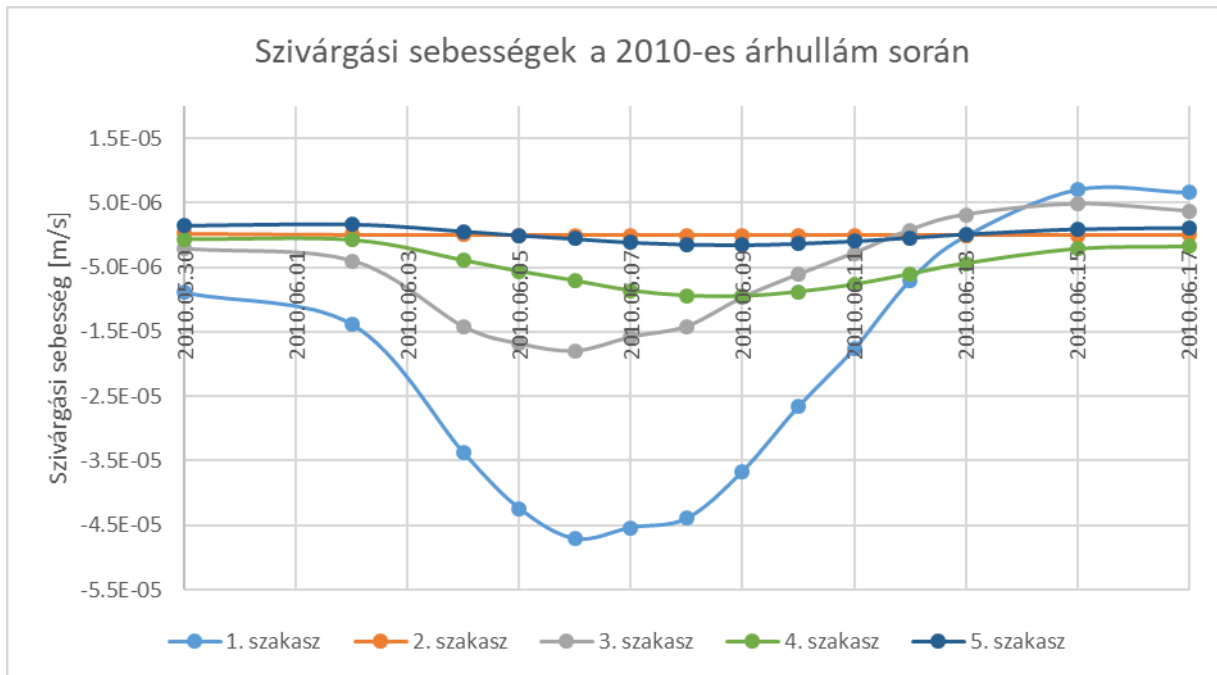


7. ábra Vízfelszín esése a 2013-as árhullám során

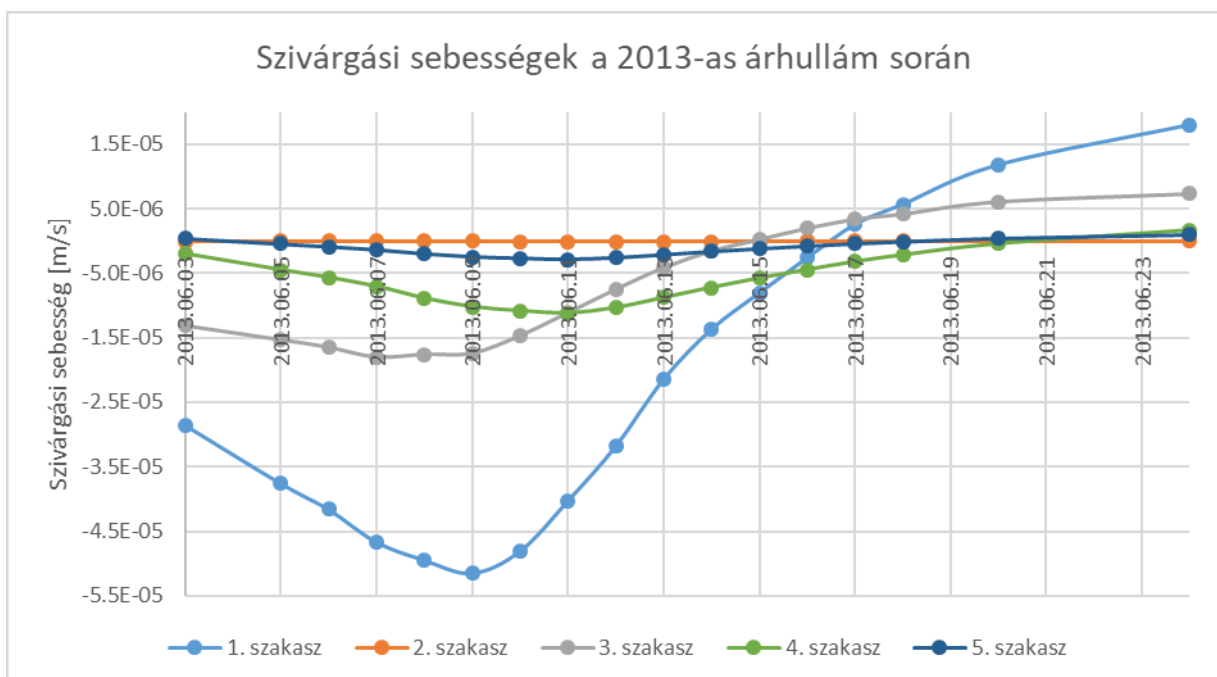
Szivárgási sebesség

A szivárgási sebesség napi idősorát a 4. egyenlettel határoztuk meg. A szivárgási együtthatót a rétegek vastagsága szerinti súlyozott átlaggal vettük figyelembe az Infopark szakaszain, ha a vízvezetőréteg felső szintjénél, már a feltöltés rétegében volt a talajvízszint. Az így kialakult szivárgási sebességek a 8. és 9. ábrákon láthatóak..

$$k_{\text{súlyozott átlag}} = ((h - Z_A) * k_F + H_A * k_A) / ((h - Z_A) + H_A) \quad (4)$$



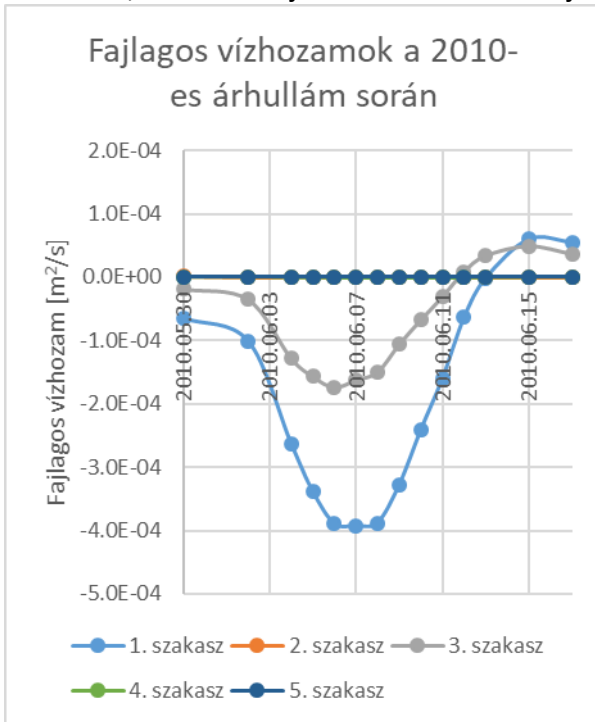
8. ábra Szivárgási sebességek a 2010-es árhullám során



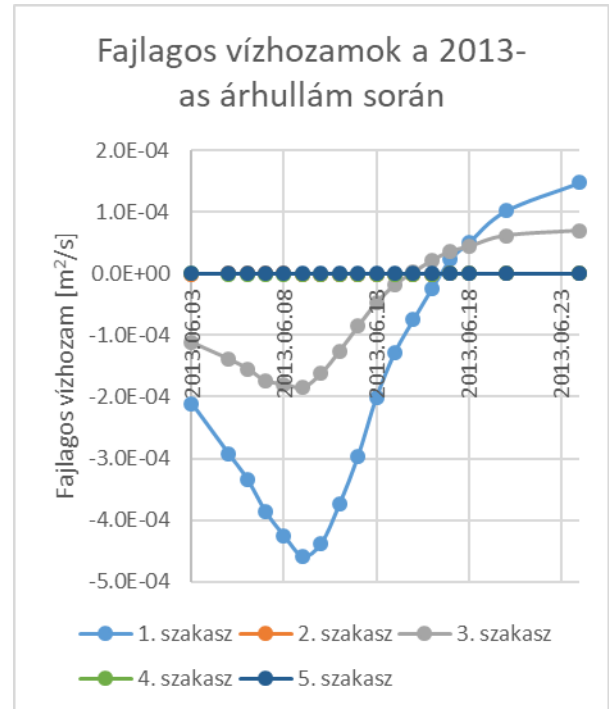
9. ábra Szivárgási sebességek a 2013-as árhullám során

Fajlagos hozam

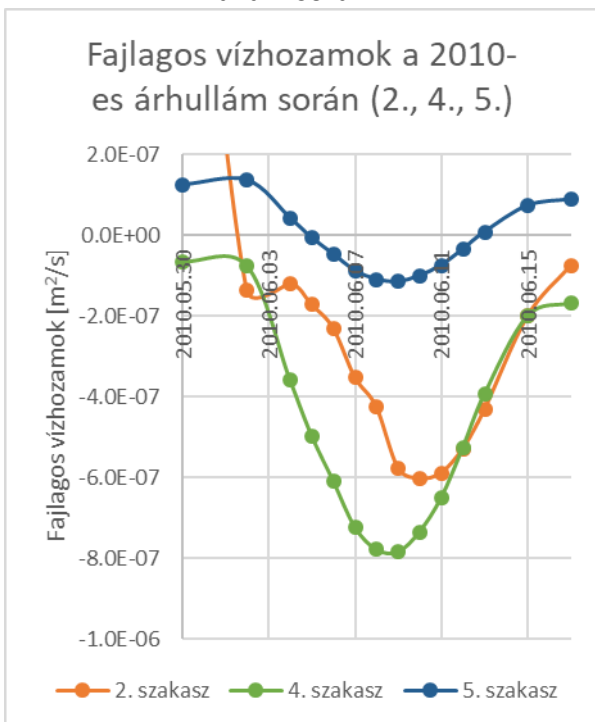
Az egyenlet segítségével elő tudtuk állítani az árhullámok idején jelentkező fajlagos vízhozamok napi idősorát. Látható, hogy az Infopark két partmenti szakaszán jelentkeznek a legnagyobb kilépő vízmennyiségek (10. és 11. ábra). A hosszabb szakaszok vizsgálatához a távolabbi, Infopark 2-es szakaszt és a szalkszentmártoni szakaszokat külön bemutatjuk a 12. és 13. ábrán, mivel azon jelentősebb kisebb fajlagos vízhozam értékek alakultak ki.



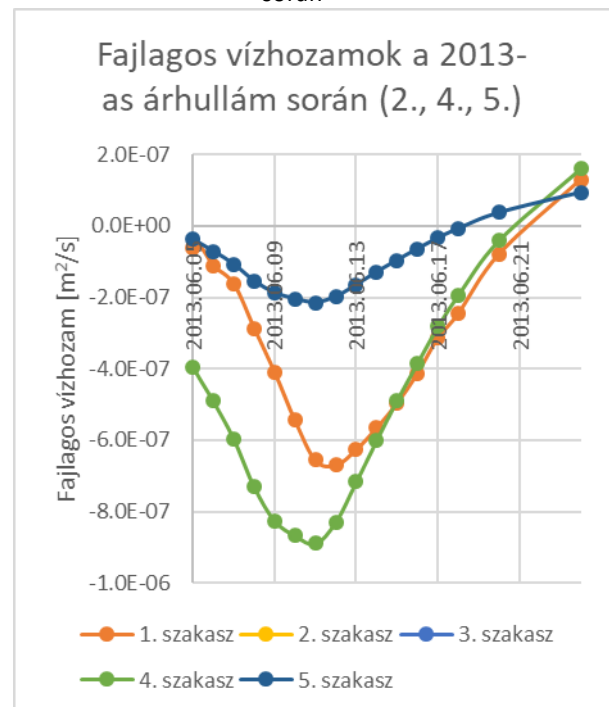
10. ábra Fajlagos vízhozamok a 2010-es árhullám során



12. ábra Fajlagos vízhozamok a 2013-as árhullám során



11. ábra Fajlagos vízhozamok a 2010-es árhullám során (2., 4. és 5. szakasz)

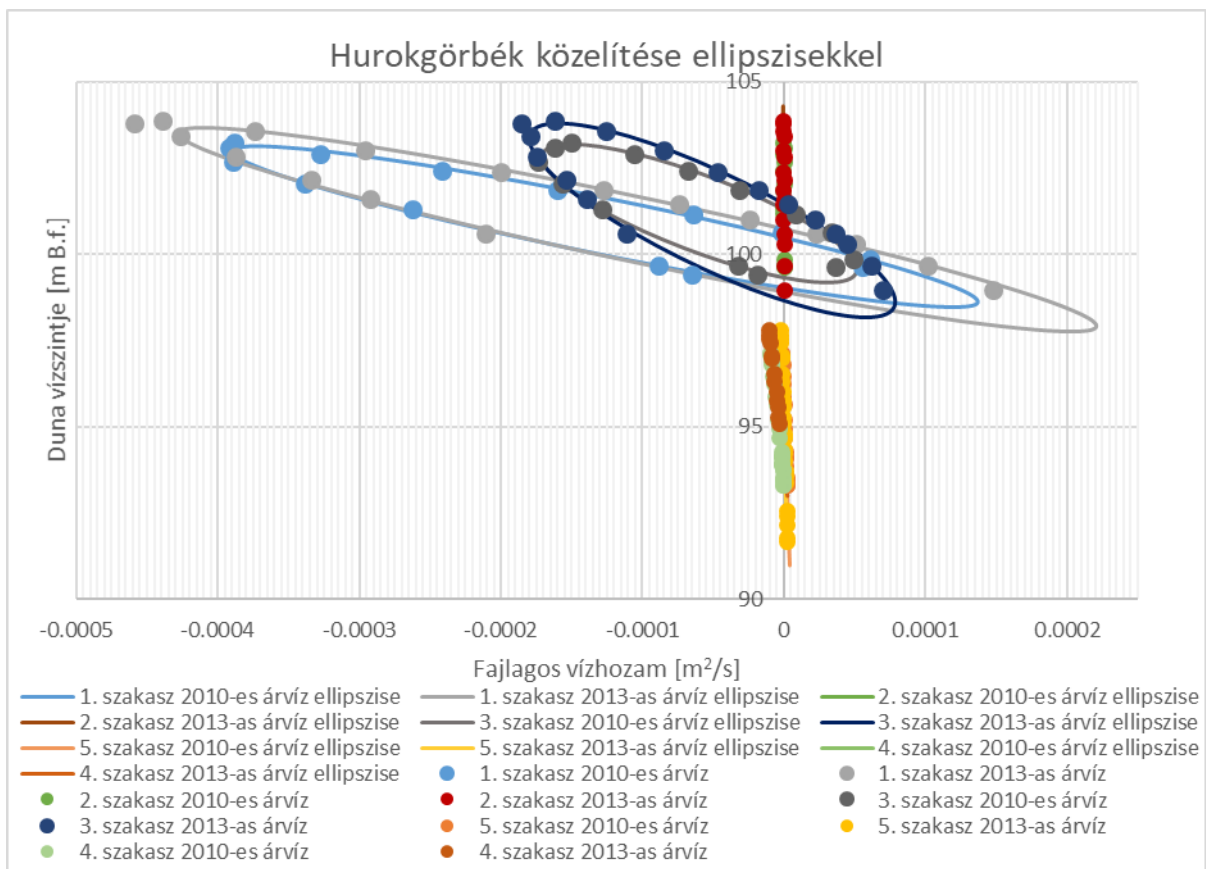


13. ábra Fajlagos vízhozamok a 2013-as árhullám során (2., 4. és 5. szakasz)

Hurokgörbék és ellipsziseik

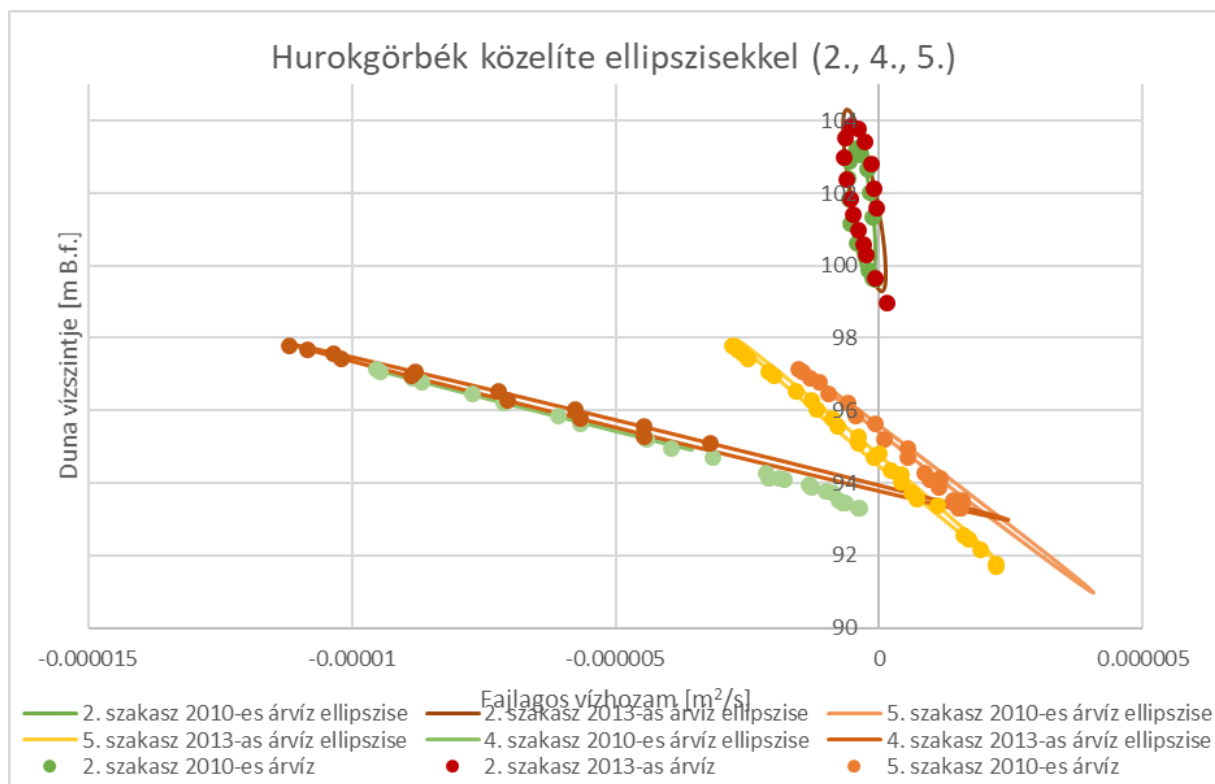
Közös koordinátarendszerben ábrázoltuk a számított fajlagos vízhozamokat és a folyó vízszintjeit. Az összehasonlítások ábráin a függőleges tengely a Duna Vigadó téri vízmércénél a vízszint, a vízszintes tengely a talajvíz fajlagos vízhozama. Ezek alapján elmondható, hogy mindegyik szakaszon és mindkét árhullám esetén megjelenik a hurokgörbe. Így a következő lépés a numerikus közelítésük volt. A közelítést a legkisebb négyzetek módszerével tettük meg (Hendel 2009), és az így kapott adatokat az elforgatott ellipszis parametrikus egyenletébe illesztettük be. Az eredmény a 14. ábrán látható.

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.



14. ábra Hurokgörbék közelítése ellipszissel

Annak érdekében, hogy a három kisebb vízhozammal rendelkező szakaszt is jobban tudjuk vizsgálni, külön bemutatjuk a 15. ábrán. Látható, az áradó ág (alsó görbe) és az apadó ág (felső görbe) itt is elkülönül, de sokkal kisebb mértékben, ellipszis helyett inkább egy egyenessel közelíthetők.



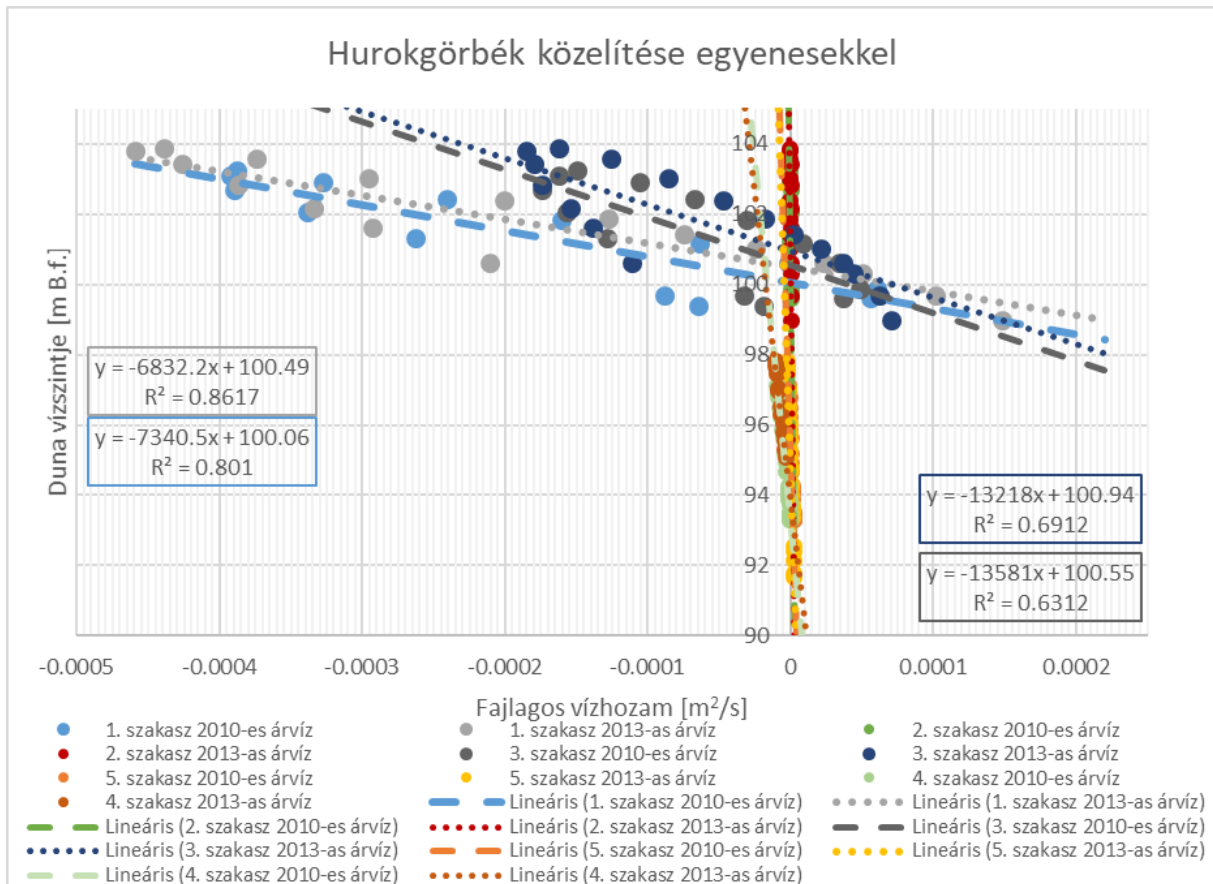
15. ábra Hurokgörbék közelítése ellipszissel (2., 4. és 5. szakasz)

Az egyenessel történő közelítés a 16. és 17. ábrán látható. Az egyenesek meredeksége kis mértékben tért el a két árhullám idején. Ismerve az egyenesek meredekségét és az árhullám vízszintjeit, becsülhetővé válik az árhullám idején folyóból kilépő vízmennyiség olyan területeken, amelyek a parttól távoliak, és a folyó hatása kisebb mértékben érvényesül.

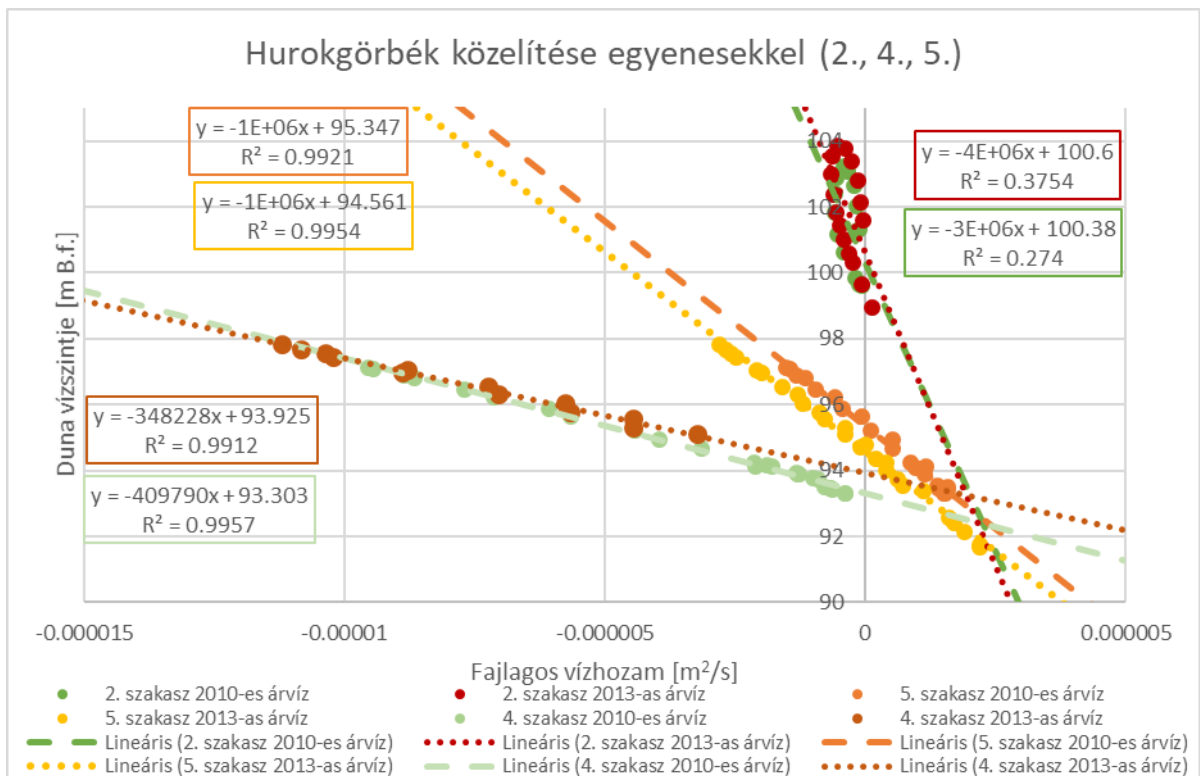
	1. szakasz	2. szakasz	3. szakasz	4. szakasz	5. szakasz
Hossz [m]	226	175	266	3468	10080
Egyenes meredeksége (2010)	-7340,5	-3000000	-13581	-409790	-1000000
Egyenes meredeksége (2013)	-6832,2	-4000000	-13218	-348228	-100000
R ² értéke (2010)	0,8601	0,2740	0,6312	0,9957	0,9921
R ² értéke (2013)	0,8617	0,3754	0,6912	0,9912	0,9954

2. táblázat Illeszkedő egyenesek jellemzői

A 2. táblázat alapján egyértelműen elmondható, hogy a két távoli, szalkszentmártoni kút fajlagos vízhozam értékei egy egyenesre illeszkednek. Az Infoparkban található 2-es szakasz kútja közelebb van a Dunához, annak áradó és apadó ágának hatása jobban érvényesül, így ellipszissel közelíthető már. A két közvetlen parti kútnál jelentős nagyságrendbeli eltérések lehetnek a hurokgörbe áradó és apadó ágán, így itt az egyenessel történő közelítés helyett az ellipszissel történő közelítés célszerű, mivel részletesebben mutatja meg a fajlagos vízhozam változását az áradó és apadó ág idején.



16. ábra Hurokgörbék közelítése egyenesekkel



17. ábra Hurokgörbék közelítése egyenesekkel (2., 4. és 5. szakasz)

ÖSSZEFOGLALÁS

Fentiek alapján elmondható, hogy partmenti területeken a fajlagos vízhozam meghatározása bonyolult folyamat, mivel a folyó hatásán túl a beépítés, területhasználat, háttéráramlás erőssége is változtathat a folyamatokon.

Partmenti területeken az árvízi hurokgörbéhez hasonló hurokgörbével jellemezhető a folyóra merőleges szakasz fajlagos vízhozama árvíz idején, amely ellipszissel közelíthető. Azonban a parttól távolodva, több km-es távolságokon, befolyásolt területeken ez a hurokgörbe már nem ellipszissel, hanem egyenessel közelítve is megfelelő becslést adhat. A vizsgált egyenesek meredeksége hasonló, így a becslés elvégezhető. Azonban a folyótól párszáz méterre található kutak esetében érdemes pontosabb, ellipszissel történő közelítésre törekedni, mivel az áradó és apadó ág eltérései így vizsgálhatók részletesebben.

A kutatás további célkitűzése egy olyan közvetlen árvízi hatásterület meghatározása, amely parti sávban az áradó és apadó ág egyértelműen elkülönül, a hurokgörbe ellipszissel közelíthető.

IRODALOMJEGYZÉK

- BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék (2023): A Szalkszentmárton IV.- homok, kavics, vegyes nyersanyag védnevezű bányatelek bővítésének talajvízhidraulikai vizsgálata. Szakvélemény. Témavezető: Dr. Csoma Rózsa
- 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", *Hidrologiai Közlöny*, Vol. XII. 1. füzet, 1932.
- Ihrig D. "A magyar vízszabályozás története", VIZDOK, Budapest, 1973
- Kukucska P., Gálos M., Csoma R. (2015). Tározódás talajban dunai árhullámok esetén, *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika*, (Szerk: Török Á., Görög P., Vásárhelyi B.).
- Szivós, B.; Csoma, R.; Gálos, M. "A Darcy-féle áteresztőképességi együttható eloszlásának vizsgálata a Lágymányosi-öblözet területén" *Mérnökgeológia – Kőzetmechanika* 2013 Hantken Kiadó, Budapest, 2013
- Wagner, F. "A lágymányosi mintaterület talajvíz-hidraulikai modellje" BSc Diplomamunka, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2018.
- Wagner, F., Csoma, R. "Beépítés hatása a talajvíz áramlási viszonyaira a Lágymányosi-mintaterületen" *Magyar Hidrológiai Társaság 2021 XXXVIII. Vándorgyűlés*
- Wagner, F., Csoma, R. "A felszín alatti áramlás és árhullámok kapcsolatának vizsgálata egy folyóparti területen" *Magyar Hidrológiai Társaság 2022 XXXIX. Vándorgyűlés*