

# A Duna árhullámainak hatása a talajvízszint-változásra egy folyóra merőleges szelvényben

Csoma Rózsa

BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék; csoma@vit.bme.hu

Emszt Gyula

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék gyemszt@freemail.hu

Gálos Miklós

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék mgalos@freemail.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Az egykori Lágymányosi-tó feltöltésével létesült területen vizsgáltuk egy Dunára merőlegesen telepített kútsorral a folyó talajvízszint-emelő hatását árvizek idején. Az eredeti, havi észlelési rend mellett két árhullám esetén napi-kétnapi észlelések is voltak, melyekből világossá vált, hogy az emberi tevékenység által befolyásolt területen is a természetes környezetnek megfelelő folyamatok mennek végbe. Kialakul a folyami vízhozam-vízszint kapcsolathoz hasonló árvízi hurokgörbe, melynek egy lehetséges közelítő leírását is bemutattuk.

*Kulcsszavak:* árvízvédelem, településfejlesztés, hidrogeológia, hurokgörbe

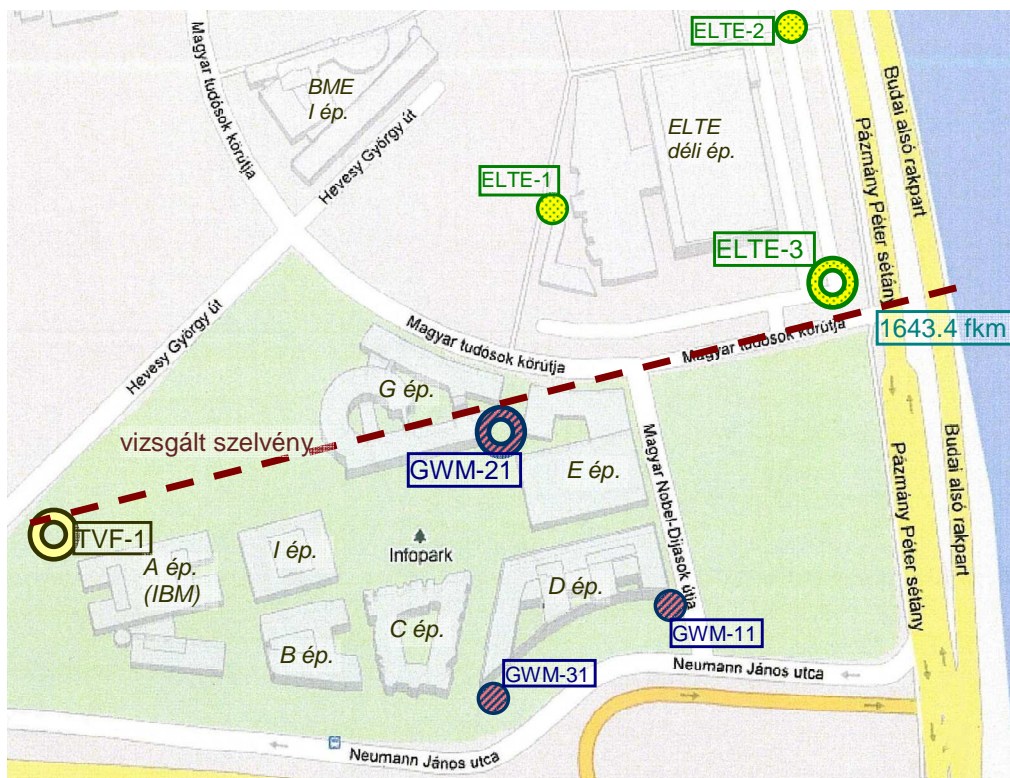
## 1 ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉS

Vízfolyások mentén a talajvízszintre a folyó vízjárása számottevő hatást gyakorolhat. Belterületeken a talajvíz mozgását a természetes viszonyokon túl a vízvezető réteget elérő épületrészek is befolyásolhatják. A talajvíz – épület kölcsönhatás vizsgálata Budapesten is régóta ismert probléma. Korábban a felszín alatti épületrészek, azaz az alapok biztonságos kialakítása, a pincevizek elkerülése volt a cél (Szabó, 1967), napjainkban a gyakran többszintes földalatti létesítmények állékonysága (Mecsi, 2007) és környezetvédelmi kérdések kerülnek a figyelem középpontjába. Különösen árvizek idején szükséges mindkét problémakör vizsgálat.

Budapest déli részén, az egykori Lágymányosi-tó térsége a fenti szempontból különösen érzékeny terület. Az elmúlt évszázad során a tó feltöltéséhez használt anyagok változatos összetételűek voltak, így a terület hidraulikai viselkedése bizonytalan. A feltöltésen létesült új egyetemi és üzleti épületek alapozási síkja viszont általában a maximális talajvízszint alatt van. A kölcsönhatás minél részletesebb feltárására létesültek eltérő időpontokban talajvízszint-észlelő kutak, kútcsoportok. Bár a kutak vízszintjét havonta észleljük, a dunai árhullámok talajvízszint-emelő hatásának részletes elemzésére a havi észlelési renden túl célszerűbbek a rövidebb időközű – kétnaponkénti, vagy napi – mérések.

A kútcsoport egyes kútjai a Duna 1643.4 fkm-ében folyóra gyakorlatilag merőleges szelvényt alkotnak. Ezek a kutak az ELTE déli tömbje körüli csoportból a Pázmány Péter sétányon levő, ELTE-3 jelű, déli kút, az INFOPARK épületei között levő kutak közül a G és E jelű épületek közötti GWM-21 kút, valamint a folyótól legtávolabbi, a Hevesy György út közelében levő kút TVF-1 jelű. A kutak elhelyezkedését az 1. ábra mutatja. A továbbiakban a kutakat – az eredeti csoportok elnevezésére utalva – rövidítve E, G és T jelű kútként kezeljük. Maga a szelvény mintegy 600 m hosszú, az E jelű kút mintegy 70 m-re, a G jelű 270 m-re és a T jelű 550 m-re található a folyótól. A szelvény egy szakasza – különösen a G kút közelében - beépített területet keresztez.

Jelen munka célja az E-G-T kutak által kijelölt szelvényben a Duna árvizeinek hatására kialakuló talajvízszintek értékelése, kapcsolatuk részletes feltárása és elemzése.



1. ábra. Helyszínrajzi vázlat a Google Maps nyomán

## 2 A TERÜLET MÉRNÖKGEOLÓGIAI ÉS HIDROLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

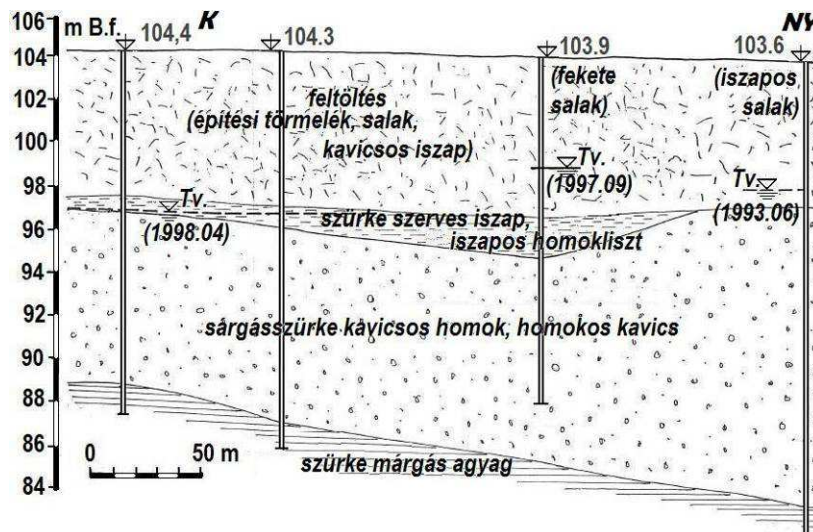
### 2.1 A terület mérnökgeológiai adottságai

A Lágymányosi-öblözet sajátos vízföldtani viszonyait jellemzően a Duna alakította ki. Az agyagos fekvő fölött első sorban folyami hordalékból egy vastagabb homokos kavics – kavicsos homok réteg alakult ki, melyet vékonyabb iszapos – homoklisztes réteg fed. Ez lehetett még a XIX. század első felében is a folyómeder, mely a Gellérthegy-környéki szűkület alatt több, mint egy kilométeresre kiszélesedett. A túl széles, de sekély, jégmegállásra hajlamos szakaszon képződött torlasz okozta az 1838. évi katasztrofális árvizet. A későbbi szabályozás során az elfajult mederszakaszt jobb parti párhuzammal beszűkítették, a bal oldalon a Ráckevei-Dunaágot lezárták, így a Budafoki-ágból lett a főág. A párhuzammú mögött kialakult a Lágymányosi-tó (Tóry, 1952).

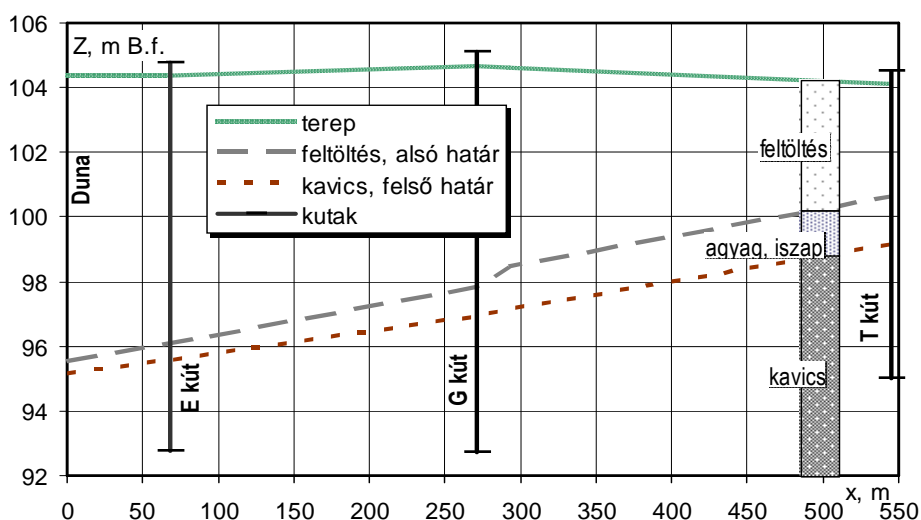
A terület hasznosítása érdekében a későbbiekben a tavat többféle anyag (különböző talajféleségek, valamint erőművi salak, építési törmelék, stb.) alkalmazásával feltöltötték. A terület későbbi hasznosítása során feltárásokat többen végeztek, melyek közül a VITUKI (1998) rétegszelvényét vettük alapul. Eszerint a vízvezető réteg fekvése a Duna fenékszintje alatt agyag, agyagos márga, ami vízzárónak tekinthető. Fölötte mintegy 10 - 12 m vastagságú vízvezető ( $k = 10 - 10^{-2} \text{ m/s}$ ) kavicsos – homokos folyami hordalék található. A mintegy 1 - 2 m vastag iszapos réteg a korábbi mederfeneket alkotta, vízvezető képessége kisebb ( $k = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ m/s}$ ). A mintegy 6 - 8 m vastagságú, bizonytalan anyagú feltöltésen kialakult átlagos terepszint 104 m B.f. A nagyjából kelet-nyugati irányú rétegszelvényt a VITUKI nyomán az 2. ábra mutatja.

A VITUKI szelvénye a vizsgált kutak szelvényétől mintegy 60 - 70 m-re délre helyezkedik el, keleti oldala a Dunától mintegy 200 m-re nyugatra végződik. A kutak telepítése során részletes feltárások készültek, melyek alapján a vizsgált helyen szintén összeállítható a rétegszelvény. A fúrások azonban legfeljebb 10 - 12 m mélyek, így a vízvezető réteget eléri ugyan, de a vízzáró kiscelli agyagrétegig nem érnek le. A szelvényt a 3. ábra mutatja. Az ábra origója a Duna vonala, így az 2. ábra tájolásához hasonlóan ez a szelvény is kelet-nyugati irányú.

A vízvezető réteg szivárgási együtthatójára valamennyi dokumentáció (pl GREENTECH, 2000, GEOHIDRO, 2003/a és b) igen hasonló értékeket ad, a feltöltés jellemzői azonban lényegesen változatosabb képet mutatnak. Az egyes kútcsoportok létesítése során a feltöltés anyagát részletesen elemezték és egyértelművé vált, hogy – lokális eltérésektől eltekintve – vízvezető képessége  $k = 10^{-5} - 10^{-8} \text{ m/s}$ . Ez legalább egy, de gyakran több nagyságrenddel kisebb, mint a homokos – kavicsos réteg vízvezető képessége, mely  $k = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ m/s}$ . Így a feltöltés a vízvezető réteghez képest kevésbé vízvezetőnek, de nem egyértelműen vízzárónak tekinthető (Csoma – Gálos, 2009).



2. ábra. A vízvezető réteg szelvénye a VITUKI (1998) nyomán



3. ábra. A vízvezető réteg a kutak telepítési adatai alapján

## 2.2 Talajvízviszonyok

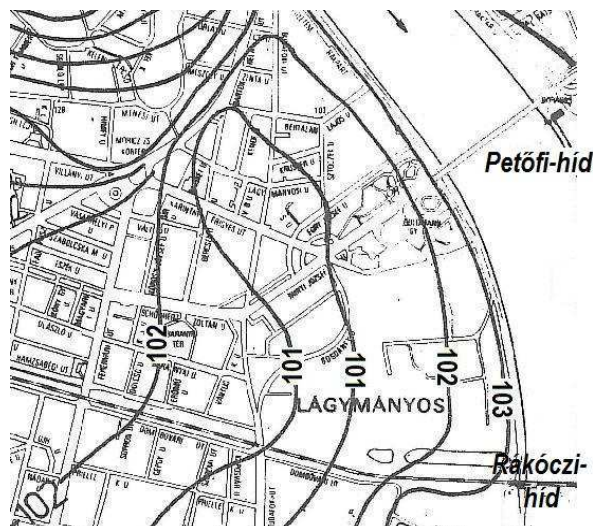
Mivel a terület feltöltése a XX. század közepére készült el, a térség talajvízszintjeiről is csak ezen időszakból lehetnek észlelések. Ezért különleges jelentőségű Horusitzky (1939) munkája, melynek helyszínrajzán még a Lágymányosi-tó szerepel, a tavat délről határoló vasúti töltés északi oldalán azonban már észleltek talajvízszinteket. A maximális talajvízszintek itt, illetve a parttól távolabb a feltöltésben, a Petőfi-hídtól délre 99 – 100 m A.f. között változnak.

A Földmérő és Talajvizsgáló Vállalatnál (FTV) közel 50 évvel később készült Budapest Építés-hidrologiai Atlasza (Szentirmainé et al, 1988) már az igen tartós 1965-ös árvíz is figyelembe veszi. Így a korábbi szélső értékek közel 2 m-rel magasabbak, sőt a part mentén a 103 m B.f. szintet is elérik, amely fél méterre megközelíti a Duna legmagasabb vízszintjét. Ezt mutatja a 4. ábra, mely az idézett műben szereplő talajvíz térkép kivágata.

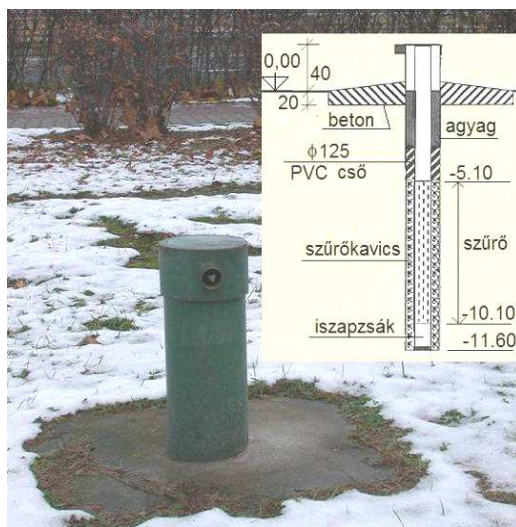
A vizsgált területen 1999 és 2003 között létesült talajvíz megfigyelő kutak acél bélésű védelme mellett készültek. Általában 125 mm átmérőjű PVC csövek, szűrőkavicssal ellátva (5. ábra). Mélységük meghaladja a 10 m-t, a szűrőzött hossz 3 – 5 m. A kutakat a terep közelében acél védőcső, betongallér és kútsapka védi. A telepítés során a fúrás minták széles körű talajmechanikai elemzésére is sor került.

A kutak vízszintjeit az előírásoknak megfelelően, a tulajdonosok megbízása alapján a GREENTECH Kft. és a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék havonta észleli, majd a mért adatokat kútcsoportonként eltérő időben, évente értékeli. A három vizsgált kút mért adatainak idősorait a 6. ábra - 8. ábra mutatja. Bár az egyes kutak észlelései ideje ennél hosszabb, ábrákon a 2005. január - 2011. szeptember időszakot tüntettük fel, mely időben már mind a három kútot rendszeresen észleltük. Ezen időszakra meghatároztuk a közepes vízszintet valamint elkészítettük a vízszintek trendvonalát is. Ezen számításokat azonban csak a rendszeres, havi észlelések figyelembe vételével végeztük, az árvízi sűrűbb észleléseket figyelmen kívül hagytuk.





4. ábra. Maximális talajvízszintek, m B.f. (Szentirmainé et al, 1988)



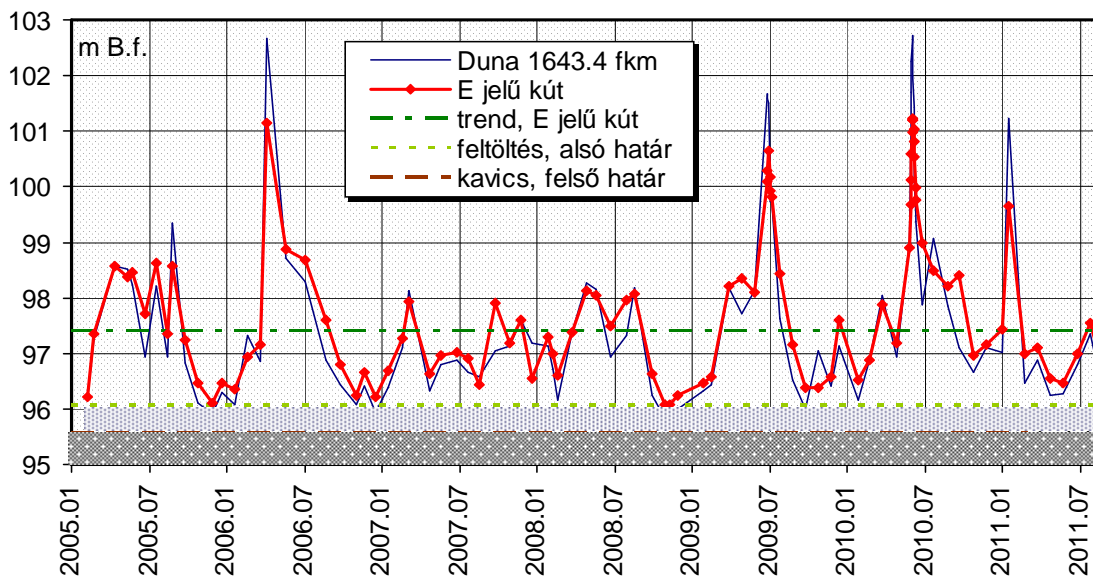
5. ábra. A kutak kiépítése

Az ábrákon tájékoztatásul feltüntettük a Duna 1643.4 fkm szelvényébe a 2.3. pont szerint transzformált vízszintjeit is. Ez a vizsgált *E-G-T* szelvény dunai talppontja. Mind a három ábra tartalmazza továbbá az adott kút függőlegesében a feltöltés alsó és a kavicsos homok - homokos kavics réteg felső síkját és eltérő háttérmentázat jelöli az 2. ábra szerinti rétegeket is.

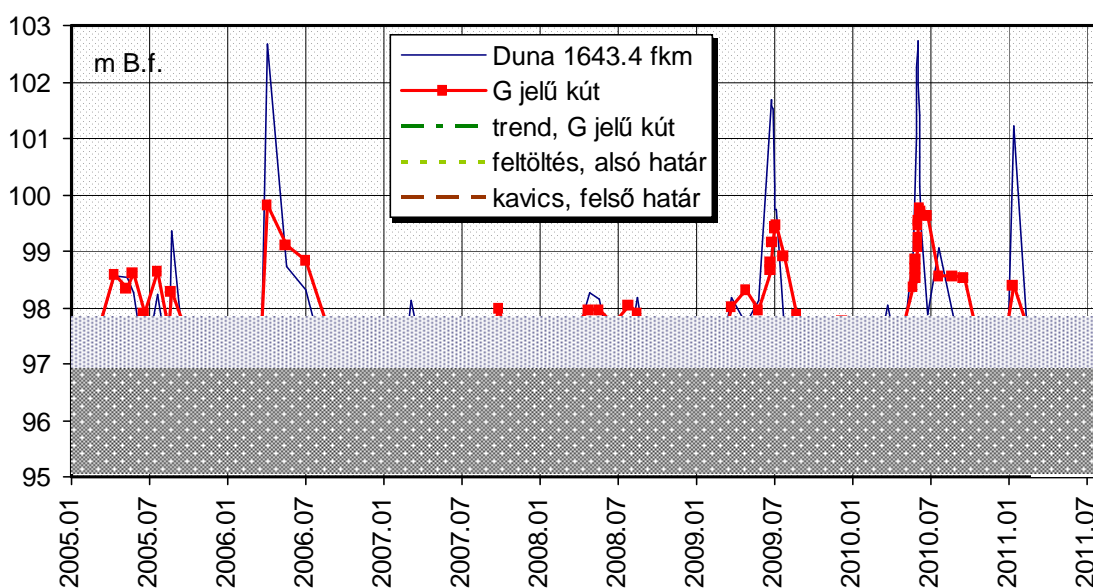
Az *E* jelű kút, melyet a 6. ábra mutat, a Dunához legközelebbi. Ennek megfelelően a vizsgált időszakban vízjátéka is a legnagyobb, de a Duna 1643.4 fkm szelvényének mintegy 7 m-es vízjátékánál lényegesen kisebb, 5 m körüli. A szintek néhány különlegesen kisvízes időszaktól eltekintve a korábbi, iszapos mederfenék szintjénél számottevően magasabbak, a talajvízszint a teljes időszakban jellemzően a feltöltés alsó síkja fölött ingadozik. A havi rendszeres észlelések alapján a számított közepes talajvízszint 97.40 m B.f. körüli, az idősorra illesztett trendvonal a 6. ábra szerint gyakorlatilag vízszintes, minimális – alig érzékelhető - csökkenéssel.

Az épületek között elhelyezkedő *G* jelű kút vízjátéka az előzőnél lényegesen kisebb, nem éri el a 4 m-t (7. ábra). A vízszint az itt kissé megvastagodott iszapos régi mederfenék környezetében ingadozik, a kavicsrétegbe csak hosszan tartó kisvíz idején süllyed le, a feltöltést pedig csak árvizek idején éri el. A közepes talajvízszint az előzőnél magasabb, 97.53 m B.f., a trendvonal az előzővel ellentétben kissé emelkedik, mely az ábrán alig érzékelhető.

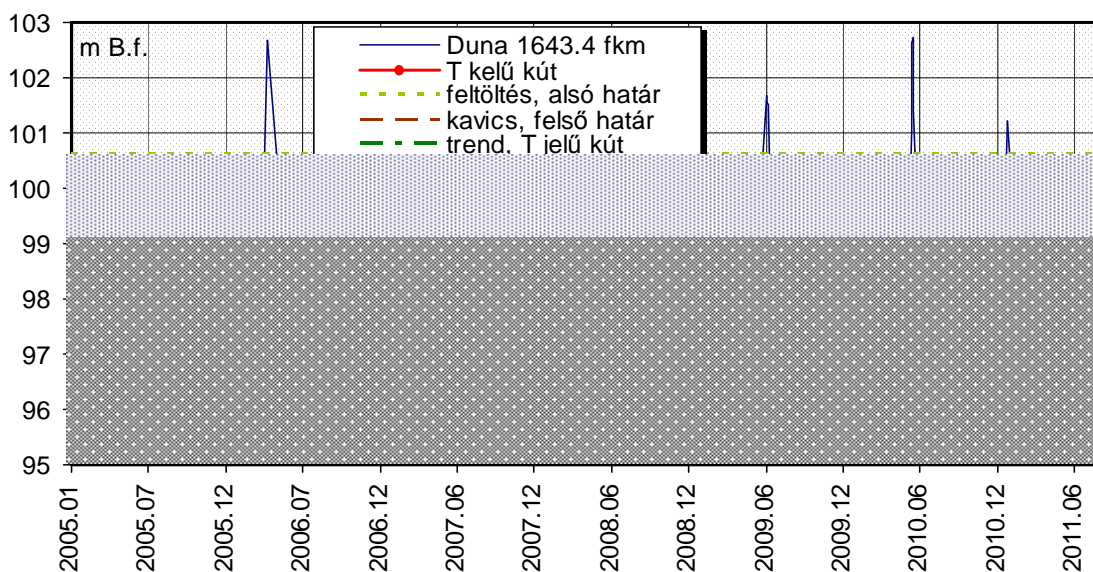
A Dunától legtávolabb elhelyezkedő *T* jelű kút vízjátéka az előzőnél csupán néhány deciméterrel kisebb (8. ábra). A talajvízszint az itt viszonylag vastag régi mederfenék alatt, jellemzően a kavicsrétegben ingadozik. Az iszapos réteget csak árvizek idején éri el, a feltöltés alsó síkjáig nem emelkedik fel. A közepes talajvízszint az előzőnél alacsonyabb, gyakorlatilag az *E* jelű kúttal megegyező, 97.42 m B.f., a trendvonal az előzővel ellentétben kissé csökken, mely az *E* kúthoz hasonló ábrán alig érzékelhető.



6. ábra: Észlelt talajvízszintek, E jelű kút



7. ábra. Észlelt talajvízszintek, G jelű kút



8. ábra. Észlelt talajvízszintek, T jelű kút

## 2.3 A Duna vízszintje

A vizsgált szelvény közelében a *Vízrajzi Szolgálat* két felszíni vízrajzi törzsállomást tart fenn. A Vigadó-téren található budapesti mérce az egyik leghosszabb észlelési idejű, míg a kútsoportokhoz legközelebb a Kvassay-zsilip felvízi mércéje esik. A Vigadó-téren található mérce a teljes fővárosi szakaszon az árvízvédelmi fokozatok elrendelése szempontjából mértékadó állomás.

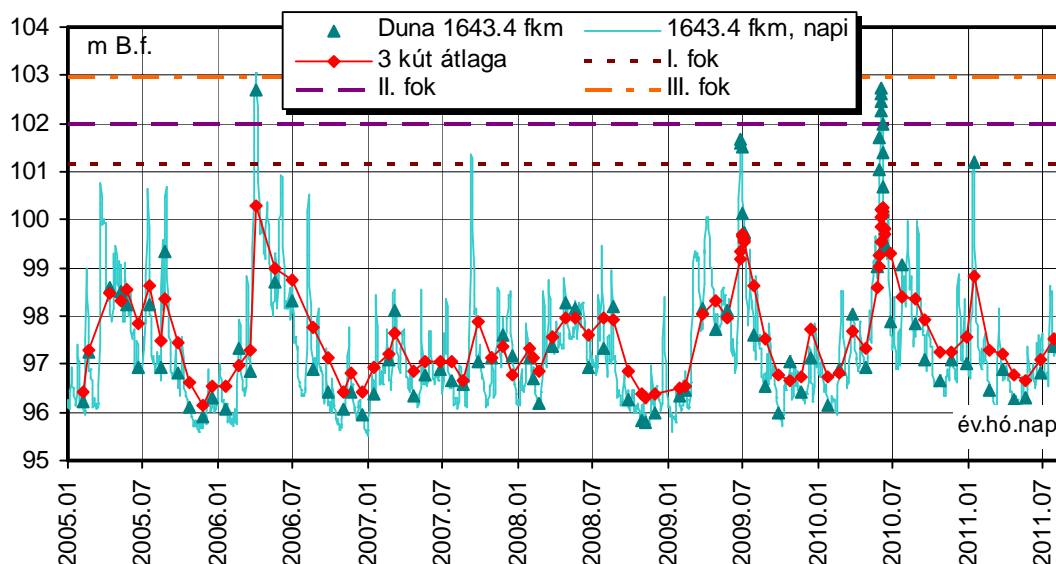
A két mérce vízszintjeit a *Vízrajzi Évkönyvek*, valamint a *HYDROINFO* és a *Vízügyi Adatbank* adatbázisai alapján állítottuk össze. A vizsgált időszak - összhangban a kutak észlelési idejével 2005. január – 2011. augusztus időszak. Ez a célkitűzésünknek megfelelő, hiszen tartalmazza a 2006. évi, mindkét mércén LNV-t kialakító árvizet és további, jelentősebb árhullámokat is. A két vízmérce főbb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

	Budapest (Vigadó tér)	Kvassay-zsilip, felső
Helye, fkm	1646.5	1642.2
"0" pont, m B.f.	94.97	94.76
Vízgyűjtő ter., km <sup>2</sup>	184893.0	185006.0
Észlelés kezdete	1817.	1910.
LKV és ideje (éé.hh.nn)	51 cm/95.48 m B.f. (1947.11.06)	48 cm/95.24 m B.f. (2003.08.30)
LNV és ideje (éé.hh.nn)	860 cm/103.57 m B.f. (2006.04.04)	808 cm/102.84 m B.f. (2006.04.04)

1. táblázat: A dunai vízmércék főbb adata

A vízállások segítségével mércekapcsolati görbét szerkesztettünk, mellyel azt adatsorok néhány hiányzó vízszintjét pótoltuk (Csoma - Gálos, 2009), majd a kiegészített adatsort az 1643.4 fkm szelvénybe, az *E jelű* kút közelébe az transzformáltuk. Így megkaptuk a vizsgált talajszelvény dunai talp-pontjában a vízszintingadozást. A napi közepes dunai vízszinteket a 9. ábra tartalmazza. Tájékoztatásul feltüntettük az ábrán a három kút talajvízszintjeinek átlagát is. Külön jelöltük azokat a napokat, amikor talajvízszint észlelés is történt, továbbá a megadtuk a vízfolyásszakaszra elrendelő budapesti vízmérce árvízvédelmi fokozatait is.

Korábbi értékelések (Csoma - Gálos, 2009.) megállapították, hogy mintegy 97.5 – 98.0 m B.f. szintig a talajvíz a Duna felé áramlik, míg ezen szint fölött az áramlás megfordul. Ez a szint jól igazodik a három kút közepes szintjeihez, valamint a korábban bemutatottakkal és az 1965-ös árvíz idején észleltekkel is összhangban van. Tartóssága a korábban meghatározottak alapján 100 – 120 nap körüli, azaz a térség talajvízszintjét a Duna legfeljebb évi 3 - 4 hónapon keresztül táplálja, a további időszakban egyéb hatások, pl. csapadék, felszín alatti lefolyás dominálnak. Jelen munka szempontjából az előbbi, rövidebb időszak mértékadó.



9. ábra: A Duna szintje és a talajvízszintek

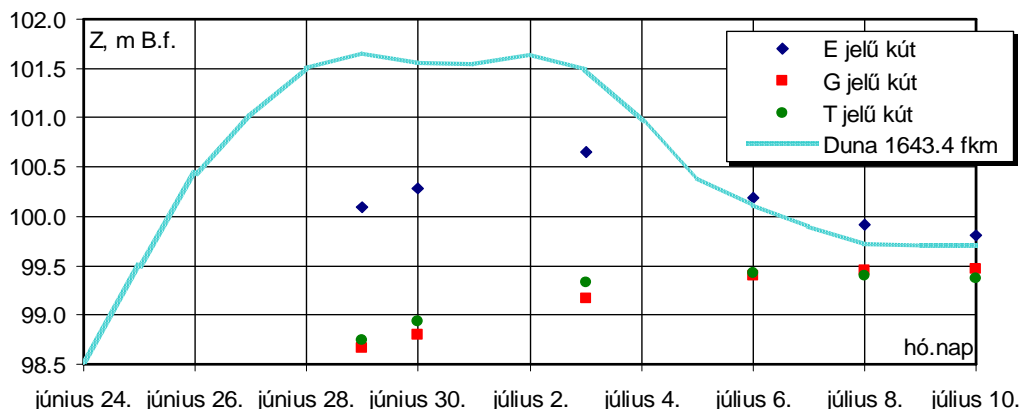
A vizsgált időszak elején az árvizes időszakokban is a havi észlelési rend működött. A 9. ábra jól mutatja, hogy ez esetben az árvizes állapot megfelelő, tetőzés közeli leírása esetleges. Például a 2006. áprilisi illetve a 2011. januári maximumok a talajvízszintekben is megjelennek, ugyanakkor a 2007. szeptemberi – a 2011. januárral azonos magasságú – árhullám idején nem volt talajvízszint-észlelés, így az árhullám hatása a talajvízszintben alig kimutatható. Két nyári árhullám (2009. június-július és 2010. június) esetén a gyakoribb talajvízszint-észlelések lényegesen több információt adnak. Célunk ezen két utóbbi időszak részletes elemzése

## 3 AZ ÁRVÍZI ÉSZLELÉSEK ÉRTÉKELÉSE

## 3.1 Az árhullámok jellemzőinek összefoglalása

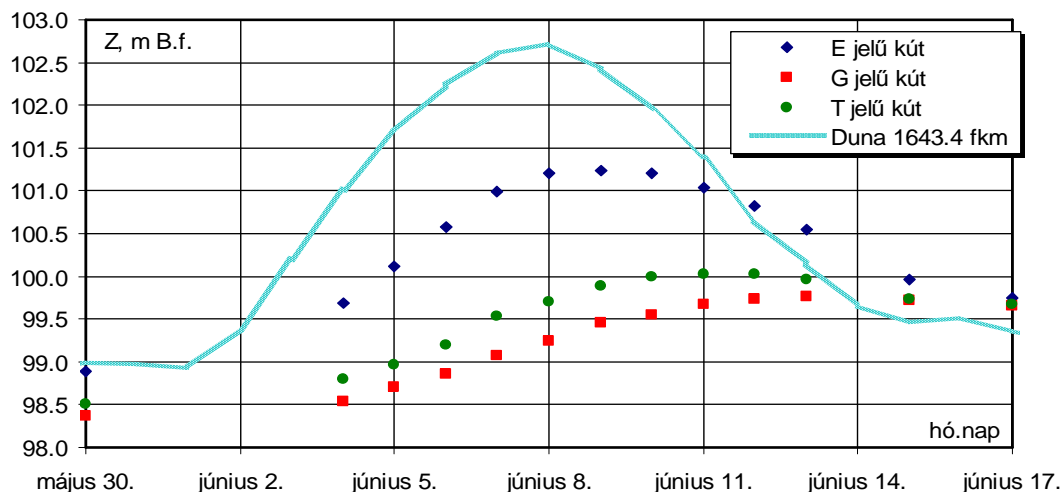
A 2009. évi árhullám egy különben csapadékszegényebb évben (évi  $\approx 465$  mm) nyár eleji csapadékból kialakuló, harmadfokú árvízvédelmi készültség szintjét el nem érő, egy hetes tartósságú árvíz volt, pár napon belül két tetőzéssel. A rendszeres talajvízszint-észlelést követően, eltérő gyakorisággal, inkább az árhullám apadó ágában további öt észlelésre nyílt mód. A vízszinteket a 10. ábra mutatja.

Az ábráról jól látható, hogy az *E* jelű kút szintjei követik legjobban a folyó vízszintjeit, azonban a kút legmagasabb szintje csak a Duna második tetőzését követi. A *G* és *T* jelű, távolabbi kutak értékei szinte alig térnek el egymástól. Az áradó ágon a távolabbi *T* jelű kút szintje magasabb, azonban a maximum már a közelebbi, *G* jelű kút esetén kissé nagyobb. Mindkét kút maximuma már a folyó völgyelésének idejére esik.



10. ábra. Árhullám, 2009. június-július

A 2010. év nedvesebb időszakában (évi  $\approx 875$  mm) szintén nyár eleji csapadékból alakult ki az árhullám, mely a harmadfokú árvízvédelmi készültség szintjét meghaladta, mint ahogy tartóssága is valamelyest nagyobb volt az előzőnél. Szinte a teljes időtartam alatt rendkívüli talajvízszint-észlelések történtek napi, illetve az apadó ágon kétnapi gyakorisággal. A vízszinteket a 11. ábra mutatja.



11. ábra. Árhullám, 2010. június

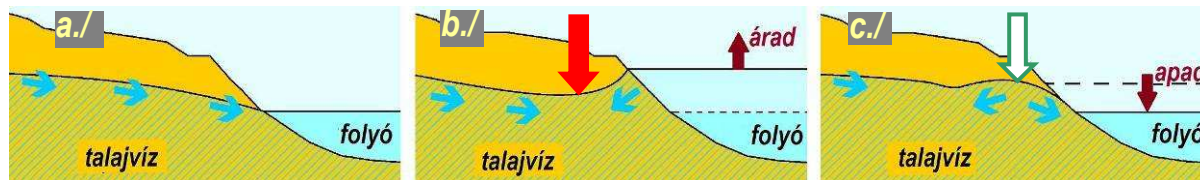
Az ábrán jól követhető, hogy az *E* jelű kút szintje a folyó nyomában jár, a maximum  $1-2$  nappal követi a Duna tetőzését, a szélsőértékek közötti különbség mintegy másfél méter. Ebben az esetben a *G* és *T* jelű, távolabbi kutak értékei jelentősebben, néha mintegy fél méterrel eltérnek egymástól. Áradó ágon továbbra is a távolabbi *T* jelű kút szintje magasabb, sőt még a maximum is, míg apadó ágon a szintek már a közelebbi, *G* jelű kúttal gyakorlatilag egybeesnek. A maximumok a két kút esetén eltérőek, de mindkettő maximuma már az apadó ág alsó felébe, folyó völgyelésének közelébe esik.

## 3.2 3.2. Szelvénybeli szintek

Egy-egy folyó vízjárása minden esetben gyorsabban követi a meteorológiai hatásokat, különösen a

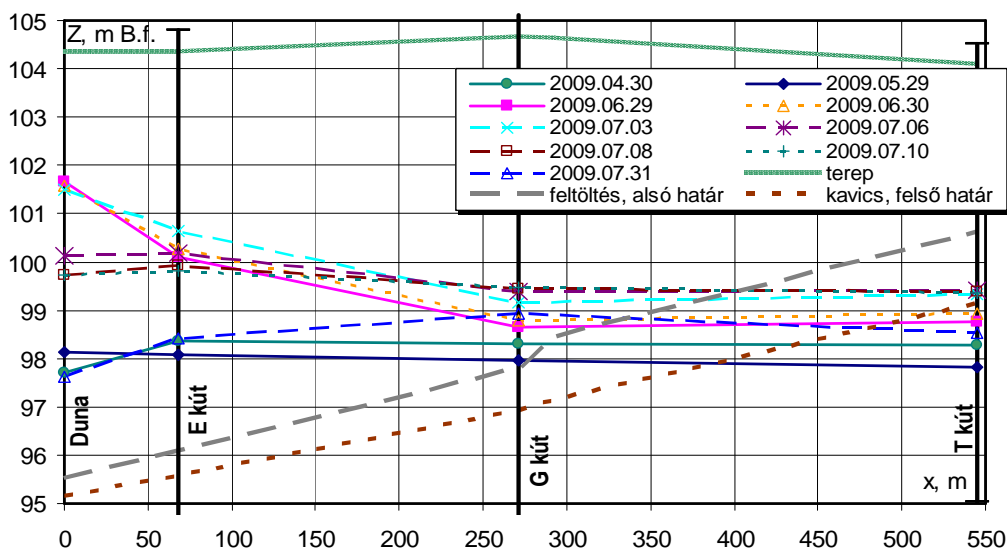


nagyobb csapadékokat, mint a talajvíz. Hosszan tartó kisvíz idején a talajvízgyűjtő terület felszín alatti, a folyóhoz képest késleltetett lefolyása a vízfolyást táplálja. Ezt mutatja a 12. ábra a./ része. Minél hosszabb a kisvízes időszak, annál inkább leürül a felszín alatti vízgyűjtő, azaz annál inkább kiegyenlítődik a felszíni és felszín alatti szint. Áradás kezdetén a folyó közeli szintek megemelkednek, míg távolabb az eredeti áramlási irány változatlan marad. A két hatás találkozásánál kialakul egy vápa, melyet a 12. ábra b./ részén a sötét színű nyíl mutat. Homogén, vízszintes rétegződésű talajban a vápa az áradás idején a folyótól távolodik, mélysége csökken. A tetőzést követően a folyó szintje a talajvízhez képest erőteljesebben csökken, így az áradással a talajba jutott víz visszatér a folyóba. Közvetlen a part mentén tehát az áramlás ismét a folyó felé fordul, de a korábbi vápa még egy darabig megmarad, így kialakul egy kisebb talajvízgerinc (*Sanders, 2001.*). Ezt mutatja a 12. ábra c./ része, ahol a gerincet üres nyíl jelzi. A vápa és gerinc nagyságát és mindenkor helyét a partmenti területek vízföldtani jellemzői erőteljesen befolyásolhatják.



12. ábra. Talajvízszintek folyó közelében

Az általános megjegyzések alapján tekintsük a vizsgált szelvényben a 2009. évi vízszinteket. A 13. ábra a talajvízfelszín a folyó áradó ágában folytonossal, az apadó ágon szaggatottal jelöli. Emellett feltüntettük a 3. ábra szerinti rétegeket is. A talajvíz felszínét a kutak között egyenessel közelítettük. Így a töréspontok a kutak helyét adják. A bal oldalon ( $x = 0$ ) a Duna szintje látható.



13. ábra: Szelvénybeli talajvízszintek, 2009. június-július

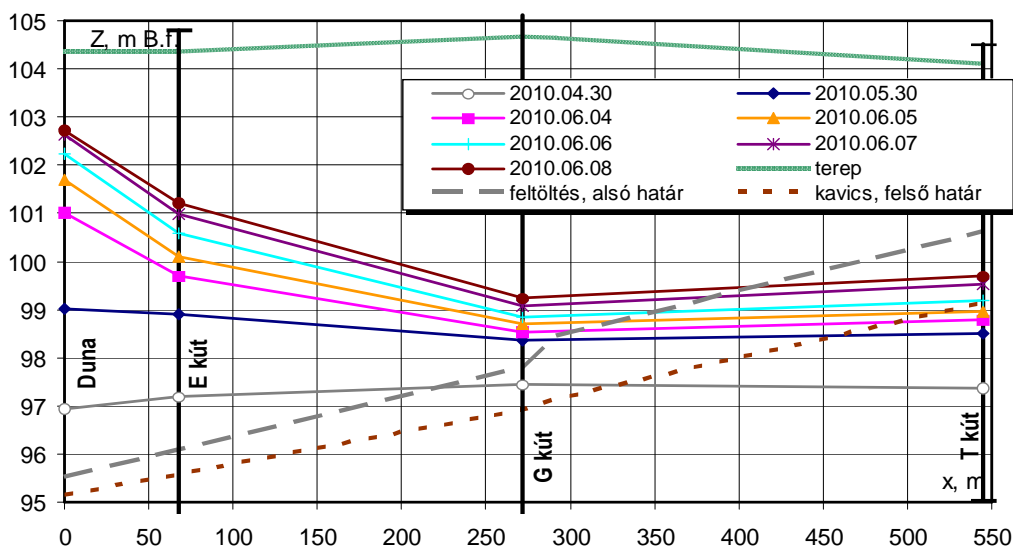
A rendkívüli mérések csak a dunai tetőzés környezetéből indultak, így áradó ági értékek tekintettük az előző két hónap szintjeit is. Ebből az április végi egy kisebb árhullám utáni állapotot mutat. Még erőteljes az áramlás a Duna felé, de a 12. ábra c./ része szerinti talajvízgerinc már eltűnt. A teljesen kiegyenlített május végi felszín követő észlelés már a Duna első, magasabbik tetőzésének napjára esik. A legtávolabbi, T jelű kút G kúténál kissé magasabb szintje arra utal, hogy a 12. ábra b./ részén látható vápa a G jelű kút közelében lehet. Ezt igazolja a további három apadó ági mérés is, ahol a G jelű kútnál a vápa jól megfigyelhető. Itt azonban már a vápa mellett az apadó ágra jellemző talajvízgerinc is jól látható, a parti, E jelű kút környezetében. A júliusi utolsó mérés viszont arra utal, hogy a gerinc G jelű kút környezetébe tevődött át.

A 2010. évi árhullám bőséges - jellemzően napi - mérései alapján a vizsgált szelvényben külön adjuk meg a folyó áradó és apadó ágához tartozó szelvénybeli talajvízszinteket. Az áradó ágat a 14. ábra, míg az apadást a 15. ábra mutatja.

A 14. ábra április végi görbéje szintén egy hónappal korábbi mérést mutat, mely középvízes, illetve annál alacsonyabb állapotra utal. A többi talajvízszint viszont szépen jellemzi az áradás folyamatát, jól látható az egyre erőteljesebben kialakuló vápa a G jelű kútnál. Még ugyanezt a hatást mutatja a 15. ábra dunai tetőzést követő néhány görbéje (július 9 – 11.) is. Ekkor – bár a Duna már apad – az E jelű kút szintjénél magasabb, így ezeket a talajvíz szempontjából még az áradó ághoz is lehetne sorolni.

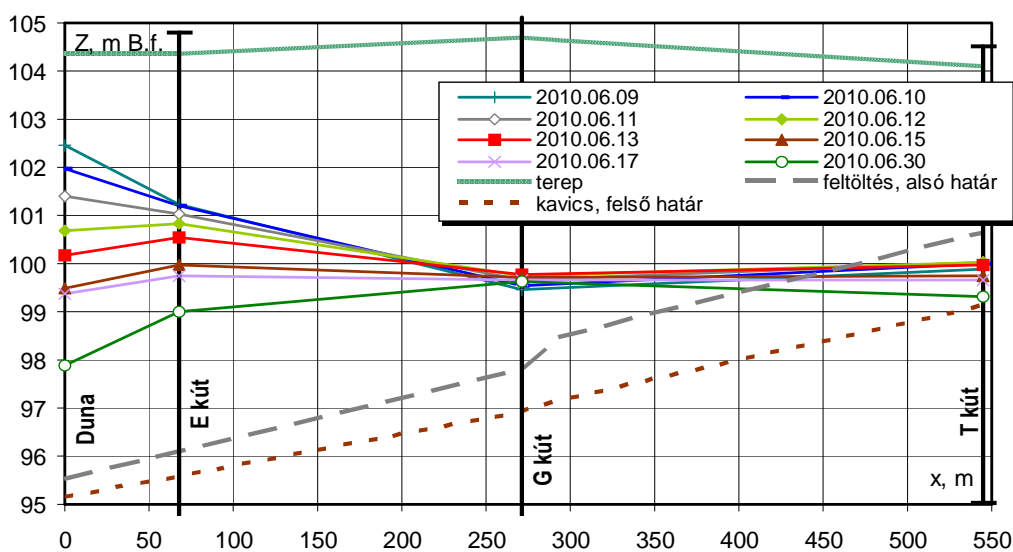


Június 12-től viszont a 12. ábra c./ részéhez hasonló állapot alakul ki, az E jelű kútnál a talajvízgerinccel és a G jelű kútnál az egyre csökkenő vápával. A legutolsó, június 30-án rögzített szintek viszont arra utalnak, hogy az árvíz levonultával a gerinc egyre hátrébb tevődik, jelen esetben a G kúthoz.



14. ábra. Szelvénybeli vízszintek, 2010. június, áradó ág

A vápa illetve a talajvízgerinc adott időpontbeli tényleges helye a fent megadottnál részletesebben csak a talajvízszint-észlelő kutak sűrítésével lenne vizsgálható. Ennek az INFOPARK épületei szabnak határt, különösen a G jelű kút környezetében, mely az E és G épületek között található (1. ábra)



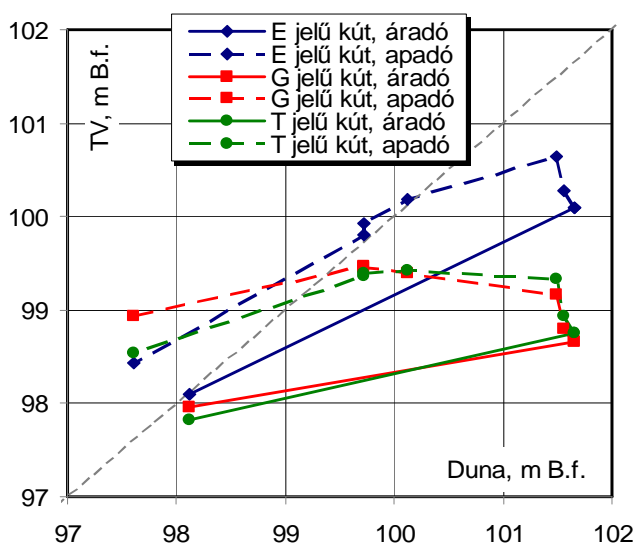
15. ábra. Szelvénybeli vízszintek, 2010. június, apadó ág

### 3.3 A talajvízszint és a Duna vízszintjének kapcsolata

Korábbi vizsgálatok már igazolták, hogy a talajvízszint és a Duna vízszintje közötti kapcsolat szoros, a legkisebb négyzetek módszerével kapott kapcsolati egyenesek illeszkedése magas fokú, a regressziós együttható értéke  $0.70 - 0.95$  közötti ( $0.70 < R^2 < 0.95$ ). Ezen értékeket a havi mérések eredményeként kaptuk. Amennyiben azonban a rendkívüli, árvizes észleléseket is figyelembe vesszük, a kapcsolat gyengül, a regressziós együttható értéke csökken. Az értékek nagyobb szóródása arra utal, hogy áradó és apadó ágon a kapcsolat eltérő, melyet pl. Rétháti (1974) is valószínűsít.

A jelenség részletesebb vizsgálata érdekében a két, rendkívüli észleléseket is tartalmazó időszak talajvízszintjeit a Duna vízszintjének függvényében ábrázoltuk. A 2009. évi észleléseket a 16. ábra, míg a 2010. évi értékeket a 17. ábra mutatja. Az ábrákon az áradó ágot folytonos, az apadó ágot szaggatott vonal jelzi. Mindkét ábrán a három kút értékein túl vékony szaggatottal feltüntetjük a felező egyenest is, mely fölött a talajvíz szintje magasabb, azaz a talajvíz a Duna felé folyik, míg alatta a folyó szintje magasabb, így a folyó a vízvezető réteget táplálja.

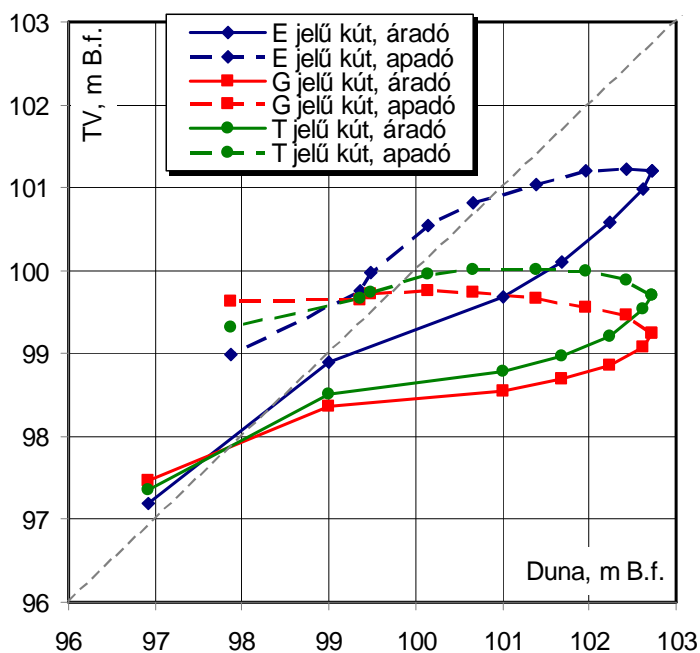
Mindkét görbesereg a vízhozam-vízszint kapcsolathoz hasonló árvízi hurokgörbét mutat. Jelen ábrázolás mellett az áradó ág alacsonyabb, az apadó ág magasabb, és jól látszik a vízvezető réteg töltődése illetve ürülése is. A vízvezető réteg a folyó tetőzése után tovább töltődik, az ürülés kezdete mindkét esetben az apadó ág közepe környékére tehető.



16. ábra. Duna-talajvíz kapcsolat, 2009

A 16. ábra a 2009. május 29 – július 31. időszakot mutatja, mely összhangban van a 13. ábra értékeivel is. Az ábra talán még a 10. ábra görbéjénél is szemléletesebben mutatja a Duna kettős tetőzésének hatását, a szűk tartományban ingadozó Duna-szinthez határozott talajvízszint-emelkedés tartozik. Ennek alapján erősen valószínűsíthető, hogy egy markánsabb apadást mutató kettős árhullám esetén ugyanúgy kialakul a kettős hurok, mint a vízhozam-vízszint kapcsolat esetén is. Jól elválnak a Dunához legközelebbi *E* jelű kút a meredekebb hurokkal, míg a két távolabbi, *G* és *T* jelű kutak gyakorlatilag azonos hurkokat adnak.

A 17. ábra a 2010. április 30 – június 30. időszakot mutatja, mely szintén összhangban van a 14. ábra - 15. ábra értékeivel is. Itt is jól elválnak a Dunához legközelebbi *E* jelű kút a szűkebb, de meredekebb hurokkal, míg a két távolabbi, *G* és *T* jelű kutak laposabb, tágabb hurkokat mutatnak, melyek jobban eltérnek egymástól, mint az előző évi. Ahol a három görbe közül a *G* jelű kúté halad a legmagasabban, ott az előző pontban említett talajvízgerinc figyelhető meg. Ahol viszont a *G* kút görbéje a legalacsonyabb, mint a tetőzés környezetében, ott az előző pont vápája található.



17. ábra. Duna-talajvíz kapcsolat, 2010

### 3.4 Az árhullám jellegének vizsgálata

A 2. pontban megállapítottak szerint a havi észlelés nem minden esetben ad kellő információt árhullámok levonulásának felszín alatti hatásairól. Bár az eddig észlelt legmagasabb dunai vízszintet adó 2006. évi árvíz idején az egyetlen, tetőzés környéki mérés a part közelében feltehetőleg jól közelíti a maximumot, a távolabbi kutak legmagasabb szintjei ebből nehezen következtethetők, hiszen a 3.1. pont alapján a mérési időnél lényegesen későbbi maximum várható. A vizsgálatok célja annak feltárása, hogy előzőekben bemutatottak nyomán mód és lehetőség van korábbi nagyobb árhullámok okozta talajvízszint-emelkedés rekonstruálására.

Ehhez egy lehetőség a tengerparti vízvezető rétegek esetén gyakran alkalmazott közelítés, mellyel az árapály-jelenség felszín alatti hatását sinus-hullámmal vizsgálják. Mivel a 2010. évi árhullám alakja jól közelíthető a sinus-függvény első két negyedével, ezt a közelítést alkalmazhatjuk. Ezen túl azonban további egyszerűsítéseket kell tennünk, melyek a következők:

- a vízmozgás vízszintes, a szelvény síkjában egydimenziós, időben változó;
- a talaj homogén, izotróp;
- a fekü és az esetleges fedőréteg vízszintes, a rétegvastagság állandó;
- a vízszintes vízforgalmat az  $x = 0$  helyen a Duna árhulláma adja meg;
- a számítás kezdeti időpontjában a talajvízszint megegyezik a vízfolyás szintjével;
- a vizsgált szelvény végtelen hosszú, de az árhullám hatása eddig nem ér el, a kezdeti szint a végtelen közelében változatlan marad.

Fenti jelenséget a talajvízmozgás alábbi, egyszerűsített alapegyenlete írja le (Verruit, 1970.):

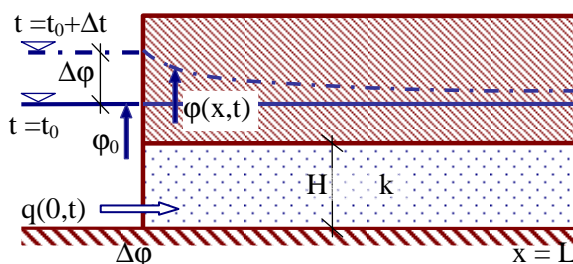
$$kH \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = S \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (1)$$

ahol:

- $\varphi$ , m B.f. : nyomásszint vagy talajvízszint,
- $k$ , m/d : szivárgási együttható,
- $H$ , m : a vízvezető réteg vastagsága,
- $S$ , - : tározási tényező.

Az utóbbi mennyiség az egységnyi nyomásmagasság-változás hatására az egységnyi területű talajhasábjában tározott többletvíz az eredeti térfogathoz képest. Nagyságrendje a szabad felszínű vízvezető réteg esetén a porozitással azonos, de annál kisebb ( $S < n$ ), nyomás alatti rétegben  $S \approx 10^{-3} - 10^{-5}$ .

Az (1) egyenlet egyes változóinak jelentését a 18. ábra szemlélteti.



18. ábra: Az alapegyenlet paramétereit

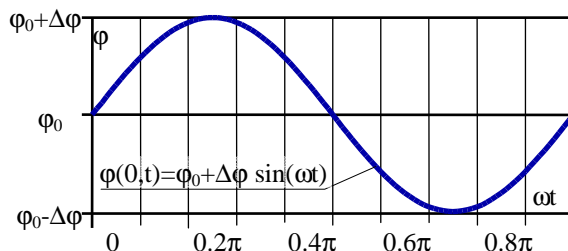
Az (1) egyenlet kezdeti- és határfeltételei a fent megfogalmazott feltételek alapján a következők:

$$\begin{aligned} 1. \varphi(0 \leq x < \infty, t=0) &= \varphi_0; & 2. \varphi(x=0, 0 < t \leq T) &= \varphi_0 + \Delta\varphi \sin(\omega t); \\ 3. \varphi(x=\infty, 0 < t \leq T) &= \varphi_0 \end{aligned} \quad (2)$$

ahol az előbbieken túl:

- $\varphi_0$ , m : a talajvíz és a folyó kezdeti szintje,
- $\Delta\varphi$ , m : az árhullám amplitúdója,
- $\omega$ , 1/d : a frekvencia, mely a periódusidő reciprokától függ,  $\omega = \pi/T$ ,
- $T$ , d : a periódusidő.

A (2) egyenlet második feltételét, a folyami határfeltételt a 19. ábra szemlélteti.

19. ábra. Határfeltétel,  $x = 0$ 

Az (1) egyenlet megoldása a (2) határfeltételek mellett az alábbi:

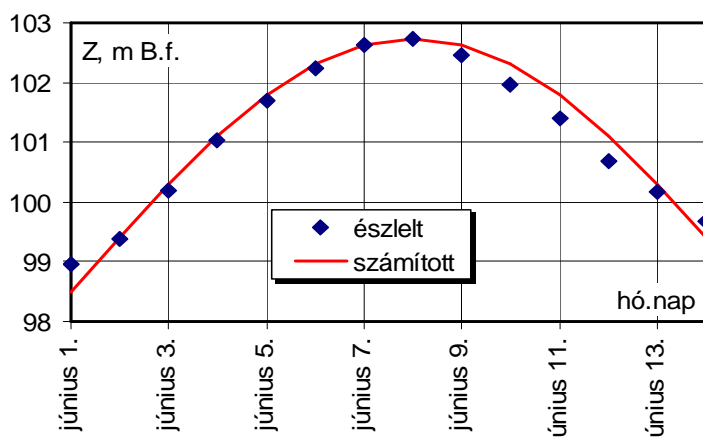
$$\varphi(x,t) = \varphi_0 + \Delta\varphi e^{-\lambda x} \sin(\omega t - \lambda x), \quad q(x=0,t) = kH\Delta\varphi\lambda(\sin \omega t + \cos \omega t) \quad (3)$$

A (3) egyenlet  $\lambda$  segédváltozója a vízvezető réteg és az árhullám tulajdonságaitól függ, nagyságát a (4) összefüggéssel lehet meghatározni:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\omega S}{2kH}} \quad (4)$$

A fenti összefüggések a csillapított hullámmozgásra jellemzőek.

Ha a 2010. évi árhullám esetén kezdeti szintként a június 1-én mért szintet tekintjük, ( $\varphi_0 = 98.95$  m B.f.), az árhullám amplitúdója ezen szint és a tetőző érték különbsége,  $\Delta\varphi = 3.87$  m, az áradás időtartama 6.5 nap, mellyel a periódusidő  $T = 26$  nap. A közelítő árhullámot a 20. ábra mutatja. A folytonos vonallal jelölt számított értékek az áradó ágon a mért értékekhez 10 cm-en belül illeszkednek.

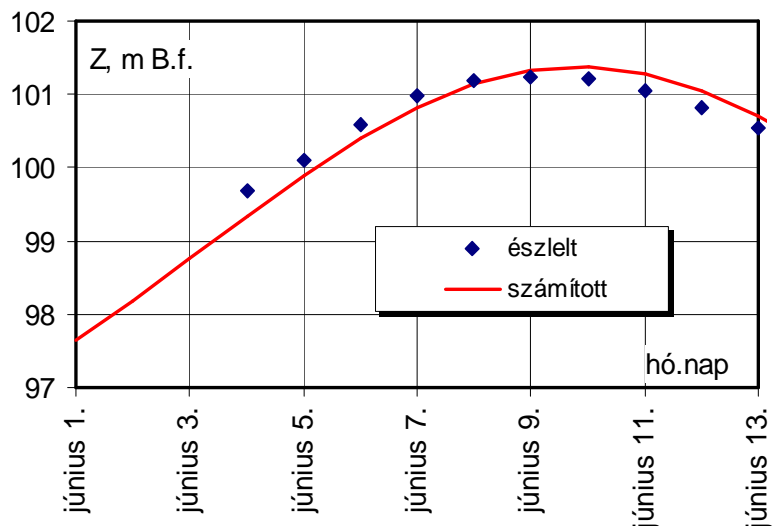


20. ábra. A 2010. évi árhullám közelítése

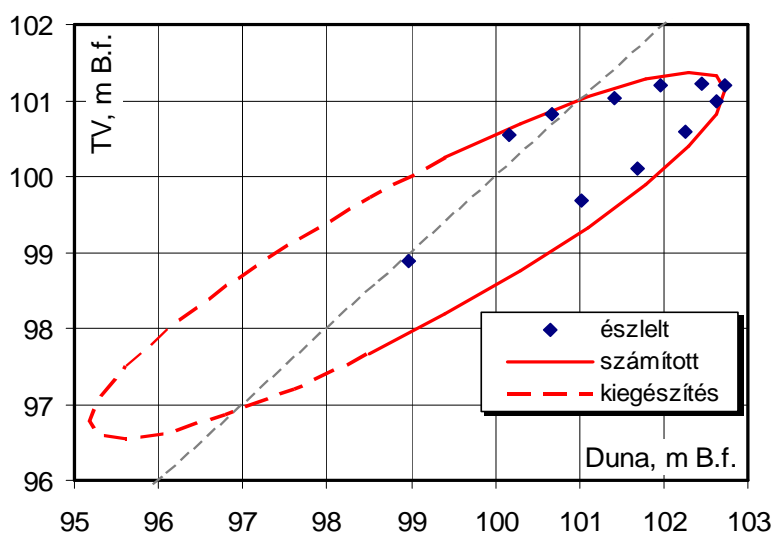
A (3) egyenlet segítségével  $H = 7$  m vastag vízvezető réteg, a homokos talajra jellemző  $k = 10$  m/d szivárgási együttható és  $S = 2.5 \cdot 10^{-2}$  nagyságú tározási tényező mellett végeztünk számításokat. Bár a tározási tényező a nyomás alatti rétegre jellemző értéknél kissé magasabb, a szabad felszínű réteghez képest viszont kissé alacsony, azonban a feltöltés bizonytalanságai miatt elfogadható. Az  $E$  jelű kút esetén számított szinteket a 21. ábra mutatja. A számított és mért értékek jellege összhangban van, a maximum környezetében az eltérés nem éri el a 10 cm-t, azonban a számított görbe a mérthez képest kissé késik.

A mért és számított értékeket a 17. ábra szerint, a Duna vízszintjének függvényében is ábráztuk, melyet a 22. ábra mutat. Az előzőekhez hasonlóan itt is vékony szaggatott jelzi a felező egyenest, mely a vízvezető réteg töltődésének/ürülésének határát adja meg. Az ábrán a számított értékeket kiterjesztettük a sinus-függvény teljes periódusára, melyet szaggatott jelöl. Az így kiegészített görbe dőlt ellipszist mutat, melynek felső részén a mért vízszintek jól illeszkednek a számított görbéhez. Az elméleti ellipszis és a felező egyenes viszonyából egyértelmű, hogy teljes periódus esetén a vízvezető réteg töltődése és ürülése megegyező mértékű. Érzékenységvizsgálatok alapján megállapítható, hogy az ellipszis a tározási tényező ( $S$ ) csökkentésével meredekebb és szűkebb lesz, igen alacsony  $S$  esetén gyakorlatilag a felező egyenessé alakul. Hasonlóan viselkedik a függvény a szivárgási együttható és a rétegvastagság növekedésével is. Szintén szűkebb lesz az ellipszis az áradás intenzitásának növelésével, azaz adott szintemelkedés mellett a periódusidő csökkentésével. Ez megegyezik a folyami hurok-görbe viselkedésével is. Fentiek valójában a (4) összefüggés  $\lambda$  segédváltozójának erőteljes hatását mutatják.





21. ábra. Talajvízszintek sinusos közelítéssel,  $E$  jelű kút



22. ábra. Számított Duna - talajvíz kapcsolat, 2010,  $E$  jelű kút

Hasonló jó egyezéseket a  $G$  és  $T$  jelű kutak esetén nem tapasztaltunk. A  $G$  jelű kút esetén a számított vízszintek tendenciája még megfelelő lett volna, a szintek azonban mintegy  $20 - 50$  cm-rel alacsonyabbak lettek az észlelnél. A vízvezető réteg jelen adatai mellett a  $T$  jelű kút esetén még a tendencia sem elfogadható. A számottevő eltérésnek több oka is lehet. Ezek főként az alkalmazott módszerrel függenek össze, mely

- nem veszi figyelembe a vízvezető réteg geometriai és hidraulikai változásait (rétegvastagság, inhomogenitás, épületek, stb.);
- a folyóra merőleges áramlást feltételez, mely korábbi vizsgálataink (Csoma-Gálos, 2009) szerint éppen nagyvízes állapotban erős közelítés,
- kezdeti állapotban a folyóval megegyező talajvízszintet feltételez, így nem veszi figyelembe a térség felszín alatti lefolyását.

További hátránya a módszernek az, hogy csak sinus-függvénnyel közelíthető árhullámok vizsgálatára alkalmas, így a 2009. évi, kettős árhullámra nem használható. Mindezek alapján megállapítható, hogy a fent leírt, egyszerű módszer alkalmazhatósága igen korlátozott, csak a folyó közelében ad megfelelő eredményt. A part közelében viszont egyszerű, gyors, megbízható becslést ad.

#### 4 ÖSSZEFOGLALÁS

Az egykori Lágymányosi-tó feltöltésével létesült területen vizsgáltuk a Dunára merőlegesen telepített talajvízszint-észlelő kutak segítségével a folyó talajvízszint-emelő hatását, különös tekintettel az árvízi viszonyokra. A havi észlelési rend mellett két árhullám esetén napi-kétnapi észlelések is történtek, melyeket a fentiekben részletesen elemeztünk. Az értékelések alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- A talajvíz –nyíltvíz kapcsolat részletes vizsgálatához árhullámok idején a napi észlelés elengedhetetlen.
- Bár a vízvezető réteg emberi tevékenység által erősen befolyásolt (feltöltés, épületek), árvizek idején a töltődési – ürülési folyamatok a természetes környezetnek megfelelően mennek végbe.
- Árvíz idején a talajvízszintet a folyó szintjének függvényében ábrázolva a vízhozam-vízszint kapcsolathoz hasonló árvízi hurokgörbe kapható.
- A talajvíz-hurokgörbe jellemzői folyami hurokgörbéhez hasonlóak, így például az áradó ág alacsonyabb, az apadó ág magasabb, intenzívebb áradás hatására a hurok szűkül, stb.
- A matematikai leírására az árhullám egyszerű, sinus-függvénnyel történő közelítése legfeljebb a folyó-közeli talajvízkutak esetén ad megfelelő eredmény, távolabbi kutak esetén a korábbi árhullámok rekonstruálására összetettebb eszköz szükséges.

Mindezen megállapítások megalapozzák a talajvíz-nyíltvíz kölcsönhatás további feltárását, melyhez a hurokgörbe viselkedésének és jellemzőinek részletesebb elemzése és minél alaposabb matematikai leírása szükséges. A jövőbeli árvízi észlelések ennek megbízhatóságához nagyban hozzájárulnak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Csoma, R. Gálos, M. 2009. A Duna vízjárásának hatása a talajvízviszonyokra az *INFOPARK-Budapest* térségében. *Hidrológiai Közlöny* **89**(4)
- Horusitzky, H. 1939. Budapest dunajobbparti részének (Budának) hidrogeológiája. Különlenyomat a *Hidrológiai Közlöny* 1938. évi XVIII. számából
- Mecsi, J. 2007. A Duna vízszintjének és a környező területek talajvízszintjeinek kapcsolata. *Mérnökgeológia - Kőzetmechanika Kiskönyvtár 4.* Műegyetemi Kiadó,
- Rétháti, L. 1974. *Talajvíz a mélyépítésben.* Akadémiai Kiadó, Budapest
- Sanders, G. 2001. Ground Water and River Flow Analyses. Technical Report. US Bureau of Reclamation
- Szabó, Gy. 1967. Az 1965. évi dunai árvíz hatása a talajvízre a fővárosban. *Hidrológiai Közlöny* **47**(12)
- Szentirmay, L-né; Retz, R.; Scheuer, Gy. 1988. *Budapest építéshidrológiai atlasza. M 1:20000.* FTV, Budapest
- Tóry, K. 1952. *A Duna és szabályozása.* Akadémiai Kiadó, Budapest
- Verruijt, A. 1970. *Theory of Groundwater Flow.* Macmillan Civil Engineering Hydraulics Series. Macmillan and Co. Ltd. London
- GEOHIDRO Kft., 2003/a. Budapest XI. kerületi Infopark 4082/81 hrsz. alatti talajvízfigyelő kutak telepítése. Budapest
- GEOHIDRO Kft. 2003/b. Budapest ELTE TTK épületek déli tömb területén talajvízfigyelő kutak telepítése. Budapest
- GREENTECH Kft. 2000. Informatikai Innovációs Park. InfoPark Budapest Északi terület. Talajvízminőségi figyelőkutak fennmaradási és üzemelési engedélyezési tervdokumentáció. Budapest
- Google Maps. <http://maps.google.hu/>
- HYDROINFO. Országos Vízeljárás Szolgálat. [www.hydroinfo.hu](http://www.hydroinfo.hu)
- VITUKI RT. 1998.: Geotechnische Geländebeschreibung-Expertise für das Gebiet des INFOPARKes, Budapest, XI. Bogdánffy Straße (kutatói jelentés)
- Vízrajzi évkönyv 1996 - 2006. Vols. CI. - CXI. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ. Budapest.
- Vízügyi Adatbank. [www.vizadat.hu](http://www.vizadat.hu)