

**Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Vízépítési és Vízgazdálkodási
Tanszék**

**A 2013-as dunai árvíz
talajvízviszonyokra gyakorolt hatása**

2013/2014

Őszi félév

Konzulens:

Dr. Csoma Rózsa egyetemi docens
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Emszt Gyula tanszéki mérnök
Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Készítette:
Kukucska Péter

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
1. Bevezetés, cél	2
2. A terület ismertetése	3
2.1. A terület története	3
2.2. A terület mérnökgeológiai adottságai	4
3. A talajvízszint-észlelő kutak	6
4. Talajvízszint észlelés	9
5. 2013. évi árvíz	11
6. 2013-as talajvízszint észlelés	13
7. Kútcsoportonkénti értékelés	14
7.1. ELTE kutak értékelése	14
7.2. GWM kutak értékelése	16
8. A kutak Dunával való kapcsolata	18
8.1. A Duna vízszintje	18
8.2. A Duna és a kutak vízszint-idő görbéinek összehasonlítása	19
8.3. A talajvízszint és a Duna vízszintjének kapcsolata.....	20
8.4. A beépítettség befolyása a kapcsolatra	22
9. Összehasonlítás a 2010-es árvízzel	24
10. Összefoglaló értékelés	26
11. Irodalomjegyzék	27
12. Függelékek	28

1. Bevezetés, cél

A vízfolyások mentén fekvő területeken a folyók vízszintje jelentősen befolyásolhatja a talajvíz szintjét. A befolyásolás mértéke több mindentől is függhet. Ilyen tényező lehet például a talaj rétegződése, a vízáteresztő talajréteg vastagsága és belterületen számottevő lehet a beépítettség mértéke és típusa is. Ugyanakkor, részben az épületek miatt van szükségünk a folyó vízszintje és a talajvízszint közti hatás ismeretére, ugyanis manapság nagy számban építenek több földalatti szinttel rendelkező épületet, melyeknek ügyelni kell az állékonyságára.

Jelen munka célja az egykori Lágymányosi-tó feltöltésével létesült területen telepített talajvíz-vizsgáló kutakban észlelt vízszintek és a Dunán mért vízállások ismeretében a folyó és a talajvíz kölcsönhatásainak elemzése, figyelembe véve a beépítettségi viszonyokat is, valamint ezen kapcsolat összehasonlítása a 2010-es árvíz idején mért adatokból felderített összefüggésekkel.

2. A terület ismertetése

2.1. A terület története

Dél-Buda vizsgált térsége egykor vízjárta terület volt, melynek feltöltése az 1838-as jeges árvíz okozta katasztrófa után kezdődött el. A Duna Gellérthegy környéki szakasza mindösszesen 300 méter széles volt, míg a szűkület alatti részen fokozatosan elérte az 1 km-es szélességet is, ami azonban jelentős mélységcsökkenést eredményezett. Ennek hatására kialakult a Kopaszi-zátony homokpadja, ami nagy veszélyt jelentett a jégmegállás szempontjából. Ezen a szakaszon a mederhez fagyott jég szinte teljesen elzárta a medret és a mögötte feltorlódott hatalmas mennyiségű jég okozta a város elöntését. A meder szabályozására már korábban is voltak tervek, de ez az esemény indította el ténylegesen a szakasz rendezését. 1880-as években épült ki a folyó jobb partján egy párhuzammű, mely mögött kialakult a Lágymányosi-tó. Északról megkezdődött a terület feltöltése, valamint a rakpartok kiépítése. Az 1. ábrán 25-30 évvel későbbi állapotában látható a terület. A feltöltésem megépültek a Műegyetem első épületei (1901) és a korábbi párhuzammű rakparttá alakítása is folyik, mely a szakaszon 1909-re fejeződött be. A gyors fejlődésnek köszönhetően a környék korábbi épületeit elbontották, helyükön újak állnak.



1. ábra: A Lágymányosi-tó a századforduló után (www.nol.hu)

A terület feltöltése több ütemben valósult meg és az 1950-es évekre fejeződött be. A feltöltés vegyes anyaggal történt meg, fellelhető benne a háztartási hulladéktól, az építési törmelékig minden, de nagyrészt erőművi salak alkotja. Ez azért veszélyes, mert a salak nehézfém-tartalma több helyen meghaladja az egészségügyi határértéket. A terület hasznosítására többféle elképzelés született, míg végül az északon elhelyezkedő ELTE déli épülete és a BME I épülete mellett, ezektől délebbre a Rákóczi híd budai hídfőjének közelében megépült az Informatikai Innovációs Park, röviden INFOPARK. 1999-ben elkészült az A (IBM) épület, majd 2000-ben a G, 2002-ben az B és az I, 2005-ben a C, 2007-ben a D és utoljára 2009-ben az E épület. A beépítést az 2. ábrán láthatjuk.



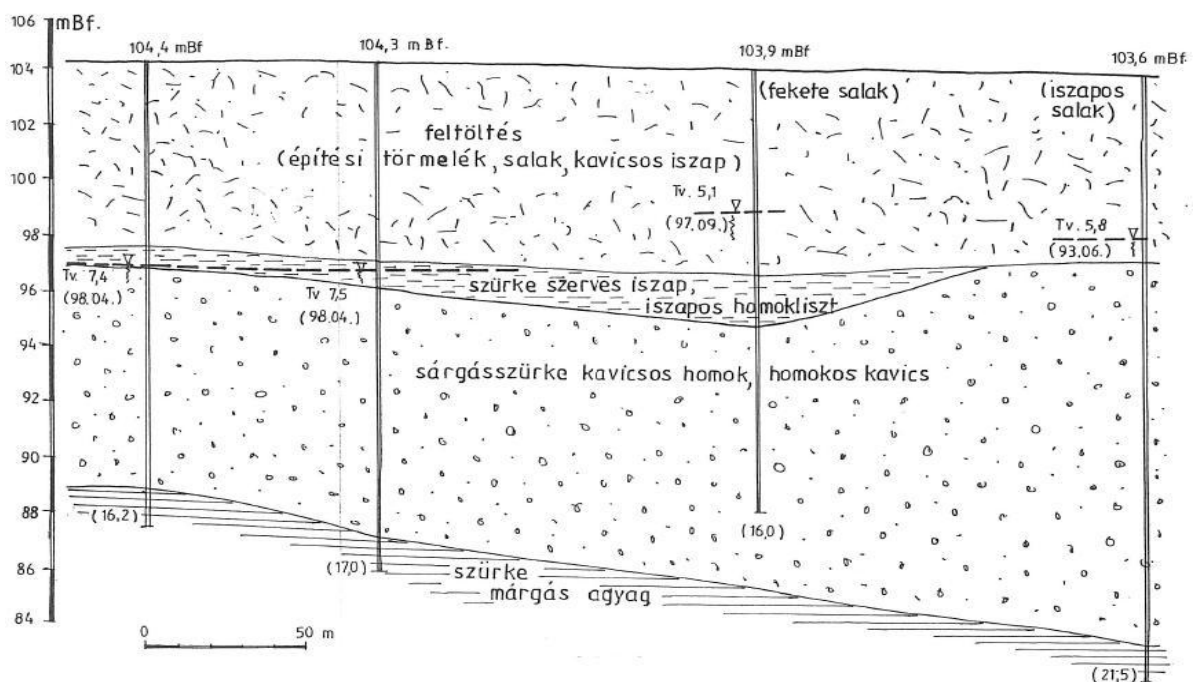
2. ábra: INFOPARK képe google maps nyomán

2.2. A terület mérnökgeológiai adottságai

A vizsgált Lágymányosi-öblözet földtani szelvénye is azt mutatja, hogy a területen korábban víz volt, ugyanis az agyagos fekü fölött kavicsos - homokos hordalék réteg található. Megfigyelhető, hogy míg a Duna közelében a fekü mélyebben fekszik és vastag a rajta lévő réteg, addig a távolabb eső részeken az agyag felső szintje feljön a felszín közelébe és csak

egy vékony homokos - kavics réteg fedi. Az általunk vizsgált rész egészében az előbb említett vastag hordalékréteget tartalmazó részen terül el.

A területen az első feltárásokat a VITUKI végezte, így 1998-ban el is készítették az első rétegszelvényt. A szelvény szerint legalul egy vízzáró agyag, agyagos márga réteg fekszik. Fölötte mintegy 10 - 12 méteres vastagságban kavicsos - homokos folyami hordalékréteg található viszonylag magas vízáteresztő képességgel ($k = 10 - 10^{-3}$ m/s). Ezt egy vékonyabb 1 - 2 méteres iszapos öntéstalaj borítja, ami a szabályozás előtti mederfenék lehetett. Ennek a vízvezető képessége már csekélyebb. Ezeket fedi a már korábban említett vegyes anyagú feltöltés 6 - 8 méteres vastagságban. Az átlagos terepmagasság 104 m.B.f. A rétegszelvényt a 3. ábrán láthatjuk.

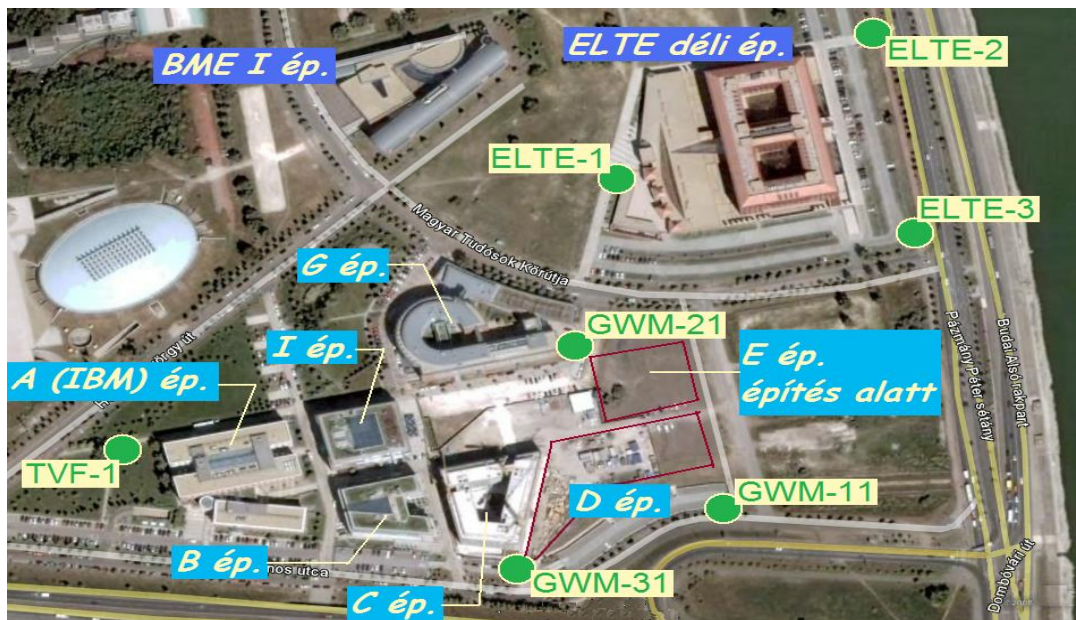


3. ábra: A vízvezető réteg szelvénye a VITUKI nyomán.

A vízvezető réteg szivárgási együtthatójára minden forrás hasonló eredményt ad. A feltöltés jellemzői azonban változatos képet mutatnak. A bizonytalanság ellenére is kijelenthető viszont, hogy ennek a rétegnek a vízvezető képessége legalább egy, de inkább több nagyságrenddel kisebb, mint a kavicsos - homokos vízvezető réteg, ezért ehhez képest nagyon csekélynek mondható. (Dr. Csoma R. - Dr. Gálos M. , 2009)

3. A talajvízszint-észlelő kutak

A talajvíz-figyelő kutak telepítését a környezetvédelmi hatóság írta elő a salakból kioldódó veszélyes anyagok ellenőrzése miatt. A kutak elsősorban a vízminőség megfigyelésére szolgáltak, de emellett havonta a szinteket is észlelték. 3 csoportban összesen 7 megfigyelő kutat létesítettek. Először 1999-ben a három GWM jelű (GWM-1, GWM-2, GWM-3), majd 2001-ben a TVF-1 jelű kút és végül 2003-ban a ELTE-kútcsoport (ELTE-1, ELTE-2, ELTE-3) épült meg. Ugyanebben a évben a három GWM jelű kút áthelyezésére lett szükség az építkezések miatt, így került a mai helyére a GWM-11, a GWM-21 és a GWM-31 jelű kút. Így tehát a térség talajvízszintjéről több, mint 10 éves adatsor áll rendelkezésünkre a rögzített adatokkal. A kutak elhelyezkedése a 4. ábrán látható.



4. ábra: A kutak elhelyezkedése a Google Earth nyomán

Az összes kút acél béléscső védelme mellett készült 125 mm-es (TVF-1 esetében 110 mm-es) PVC cső szűrőkavicszal ellátva. Mélységük 10 - 12 méter, vagyis beleérnek a vízvezető rétegbe, de a vízzáró réteget már nem érik el. A szűrőzött szakasz hossza valamennyi kútnál körülbelül 5 méter és a feltöltés rétegében van a felső síkja (3 - 6 méter mélyen). Az alsó síkja a GWM-11 és TVF-1 jelű kutaknál az 1 - 2 méter vastag iszapos réteg közelében, míg a másik 5 kútnál lejjebb, a vízáteresztő kavicsos - homok rétegben van. A kutakat a terepszint fölé átlagosan 0,4 méterrel kiemelkedő 160 mm-es acél védőcső és egy kútsapká védi. A zárhatóságot felül háromszögletű és hatlapfejű anyával (kombinált) ellátott zárószervezettel

biztosították. A terep közelében egy 20 cm vastagságú betongallér is kivitelezésre került a kutak védelme érdekében. A 5. ábrán az egyik ilyen kút látható.



5. ábra: Az ELTE-2 kút "profilja"

A kutak főbb adatait az 1. táblázat tartalmazza.

Kút	EOV, X	EOV, Y	Perem, m.B.f.	Terep, m.B.f.	Szűrőzés felső síkjá tereptől, m	Szűrőzés alsó síkjá tereptől, m
ELTE-1	236456	651065	105,04	104,65	-5,51	-10,51
ELTE-2	236572	651203	105,04	104,62	-5,50	-10,50
ELTE-3	236416	651232	104,79	104,38	-5,51	-10,51
GWM-11	236230	651130	105,37	104,88	-2,955	-7,955
GWM-21	236336	651037	105,11	104,70	-5,49	-10,49
GWM-31	236172	650986	104,80	104,39	-5,074	-10,074
TVF-1	236272	650775	104,52	104,22	-3,00	-8,00

1. táblázat: Kutak adatai

A kutak vízszintjének rendszeres, havi méréséből egy-egy összefüggés már az észlelések első éveiben megmutatkozott. A legszembetűnőbb a talajvíz folyásirányának a megváltozása. Ha a Duna vízszintje a középvízi szintnél magasabban van, akkor a talajvíz áramlása a Duna folyásirányával majdnem párhuzamosan a folyó irányából nyugatra, ha azonban a Duna kisvízi állapotban van, akkor inkább merőleges a partra, a folyó felé történik. (GEOHIDRO Kft. 2000, GEOHIDRO Kft. 2003/a, GEOHIDRO Kft. 2003/b, Dr. Csoma R. - Dr. Gálos M. , 2008)

4. Talajvízszint észlelés

A talajvízszint- mérések kezdetén alkalmazott mérőeszközökről hiányos ismereteink vannak. Az 1890-es évek elején a talajvízszint pontos mérésére Hajós Sámuel telefonos talajvíz mércét készített. Az első széles körben elterjedt mérőeszköz viszont egy osztásokkal ellátott vékony, rozsdás lánc volt, amelyet az észlelőkútba lebocsátva, a kútperemnél tett leolvasásból a nedvesített szakasz hossza levonása utáni érték volt a tényleges, perem alatti talajvízszint. Természetesen alkalmaztak ebben az időben is szabatos méréseket lehetővé tévő eszközöket is, de ezek kezelése nehezkesebb volt, karbantartása lényegesen több odafigyelést igényelt. A láncsal történő méréshez képest lényegesen könnyebbé jelentett az úgynevezett füttyülős talajvízszintmérő. Ez az eszköz onnan kapta a nevét, hogy az acél mérőszalag végére erősített, általában sárgarézből készített eszköz a vízfelszínt elérve, illetve abba bemerülve sípoló hangjelzést adott. Az 6. ábrán egy ilyen füttyülős műszer látható.



6. ábra: Füttyülős talajvízmérő műszer

Gyakoriak az olyan mérőeszközök, melyek a vízszintet elérve egy áramkör zárásával hang- vagy fényjelzést adnak. Ehhez viszont már külső erőforrás - pl. szárazelem - szükséges. Manapság már sok helyen alkalmaznak állandó jelleggel beépített, pontos mérések végzésére alkalmas, a talajvízszint közvetlen leolvasását lehetővé tevő vagy hosszabb adatsor regisztrálásra és tárolására alkalmas műszereket. Ilyenek például a Driver adatgyűjtők vagy a DATAQUA Elektronikai Kft. termékei. Egyre több helyen használatosak a rajzoló, illetve a számítógépek számára automatikusan leolvasható és feldolgozható adatokat szolgáltató távjelző műszerek. Ezek energiaellátására gyakran használnak napemelet is. (Szalai J. 2003)

A 2013-as árvíz során a 7. ábrán látható műszerrel végeztem a talajvízszint mérését. Ennek részletezésére később, a 6. pontban kerül sor.

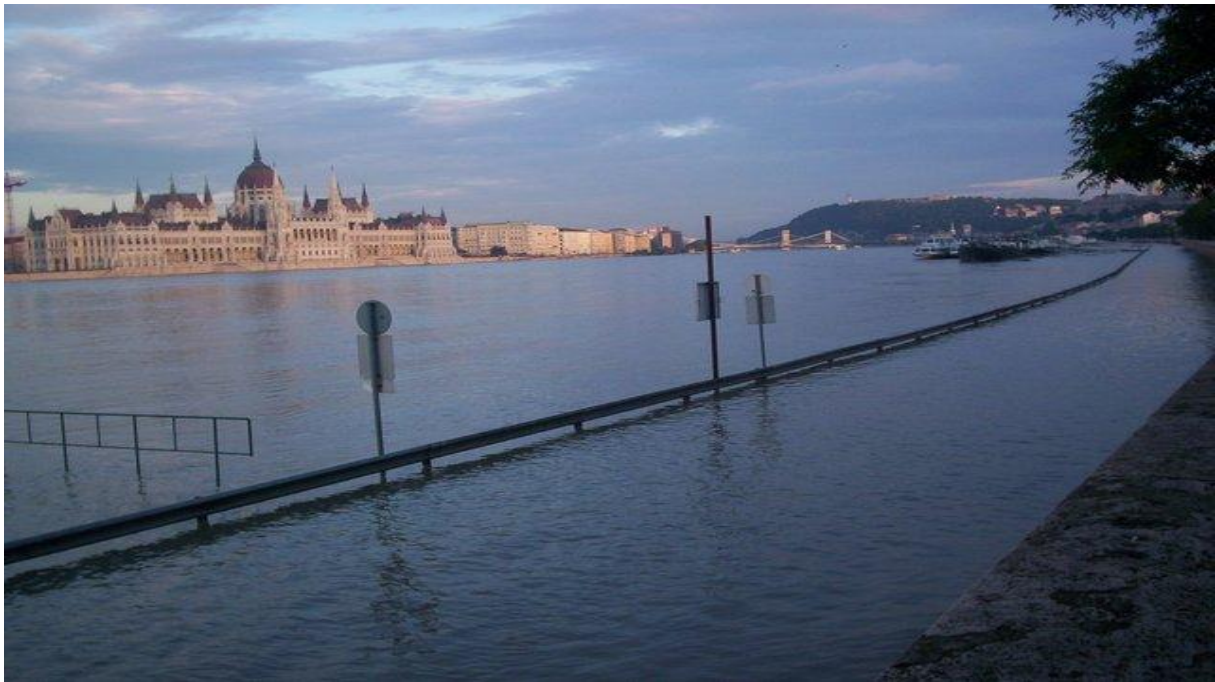


7.ábra: A felhasznált mérőeszköz

5. 2013. évi árvíz

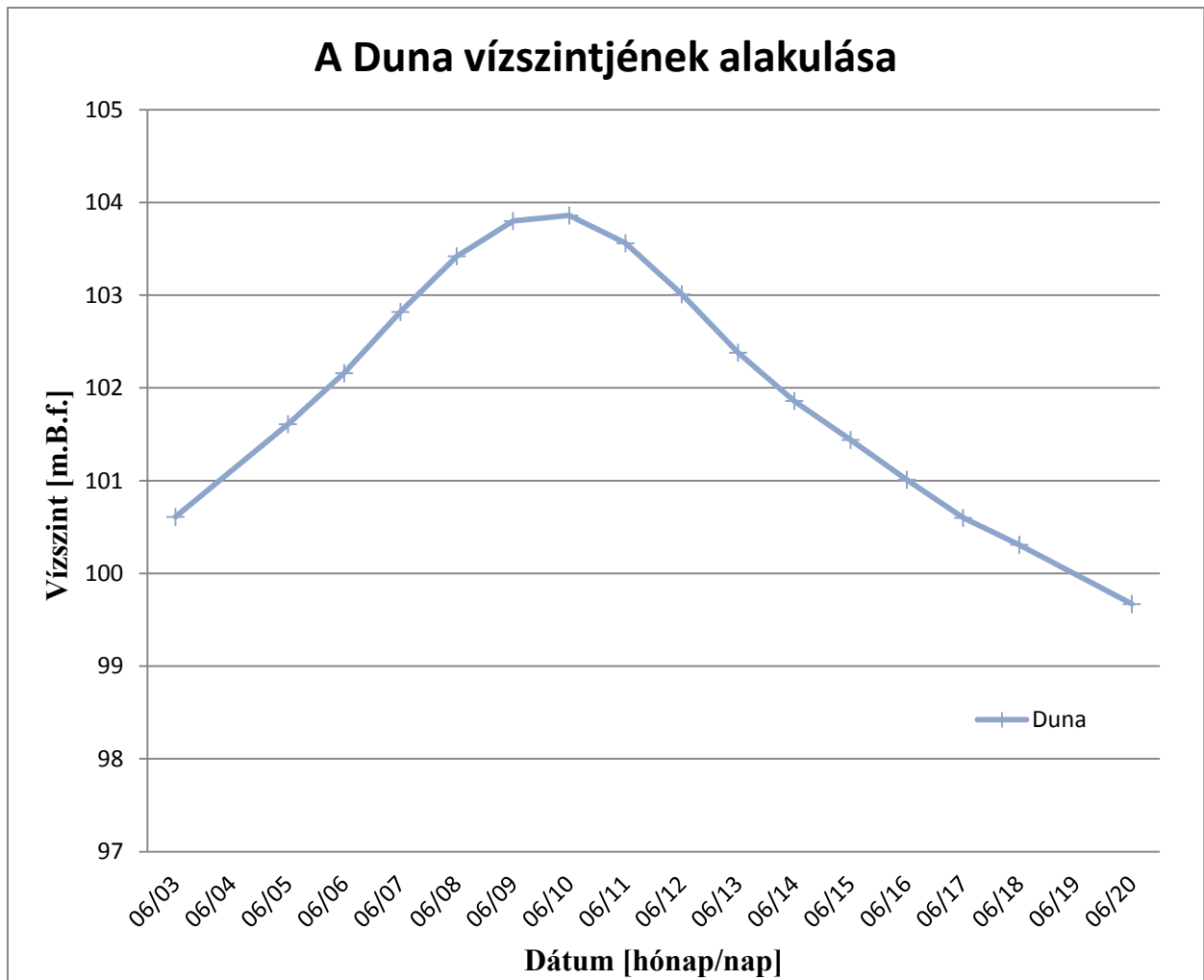
A 2013-as közép-európai áradások május végén - június elején következtek be az egész Duna mentén és annak csaknem a teljes vízgyűjtőterületén. Németországban és Ausztriában is a sokévi átlagot magasan meghaladó csapadékmennyiség esett le májusban, ami erősen hozzájárult a Duna áradásához.

Magyarországon június 4-én déltől rendeltek el vészhelyzetet. Budapesten és vidéken is egyaránt jelentős forgalomkorlátozásra került sor a növekvő vízszint miatt. Több utcát is elöntött a víz, homokzsákokkal és mobil gátak építésével zajlott a védekezés, melynek során körülbelül 10 millió zsákot használtak fel a rengeteg önkéntes segítségével. A levonuló árhullám a magyarországi szakaszon szinte kivétel nélkül rekord vízállásokat eredményezett. Először június 7-én Rajkánál mértek az eddigi legnagyobb vízszinttől 3 cm-rel nagyobb értéket. Budapesten 891 cm-nél tetőzött a Duna június 9-én 20 órától június 10-én hajnali 3 óráig (8. ábra).



8. ábra: A Duna tetőzése Budapesten

Ez a vízmagasság 31 cm-rel haladta meg az eddigi legnagyobb, 2006-os 860 cm-es tetőzését. Budapesten a vízszint június 12-én süllyedt 8 méter alá újra, majd az árhullám tetőzése június 14-én éjszaka elhagyta Magyarország területét. Az 9. ábra a Duna Vigadó téren levő vízmércéjének vízszintjét mutatja a 2013-as árvíz levonulásának idején.



9. ábra: A Duna vízszintjének alakulása, Budapest, Vigadó tér

6. 2013-as talajvízszint észlelés

A több, mint 10 éve telepített kutak észlelési ideje a hatósági előírásnak megfelelően lejárt. Így már nem volt előírás a kutak vízminőségi ellenőrzése, ezért kutatási céllal havi rendszerességű vízszint mérések lettek elvégezve és a kapott adatok feljegyezve. A 2013-as árvíz vizsgálatához azonban elengedhetetlen volt napi rendszerességgel elvégezni a méréseket. Mint utólag kiderült a vízmozgás pontos leírásához a vízszint változás intenzitása miatt napi 2-3-szori vizsgálatra is szükséges lett volna, de a napi egy mérésből is elegendő adat áll rendelkezésünkre a kapcsolatok elemzésére. A méréshez a fentebb említett fűtülős talajvízszintmérő eszköz egy módosított változatát használtam, ami a 7. ábrán látható is. Ez a műszer abban tér el az előzőtől, hogy a vízfelszín elérve a sípoló hangjelzés helyett, egy lámpa gyulladt ki a műszer oldalán. Erre azért volt szükség, mert a méréseket gyakran zajos környezetben kellett elvégezni, melyben a síp csak nehezen lett volna hallható, a fényjelzés viszont egyértelműen észrevehető volt. A kutak peremszintjei adottak voltak, ezekből kivonva a mérőszalagról leolvasott értékeket megkaptam a kutakban észlelt talajvízszint Balti-tenger szintje feletti magasságait. A mérések időpontjainak tekintetében igyekeztem odafigyelni arra, hogy ugyanabban a napszakban történjenek, a pontosabb összehasonlítás érdekében. A mérést amikor lehetett délután 1 óra körül végeztem, de minden nap 12 és 14 között zajlott le. Ezek az adatok is lehetnének pontosabbak, mert a Duna vízállása viszont reggel 7 órai adat alapján állt rendelkezésünkre és a nagy árvíz hatására a szintek nagyon gyorsan változtak. A mérésekből csak 6 kútnál mért eredményeink születtek, mert a TVF-1 jelű kút le volt lakatolva az árvíz idején, így az kiesett a vizsgálatból.

7. Kútcsoportonkénti értékelés

Az előbb említett probléma miatt a kutankénti értékelést is csak az ELTE és a GWM kutakra lehetett elvégezni. A kutakat nem külön-külön, hanem az egyes kútcsoportokhoz tartozókat együtt vizsgáltam, mert így találtam praktikusnak.

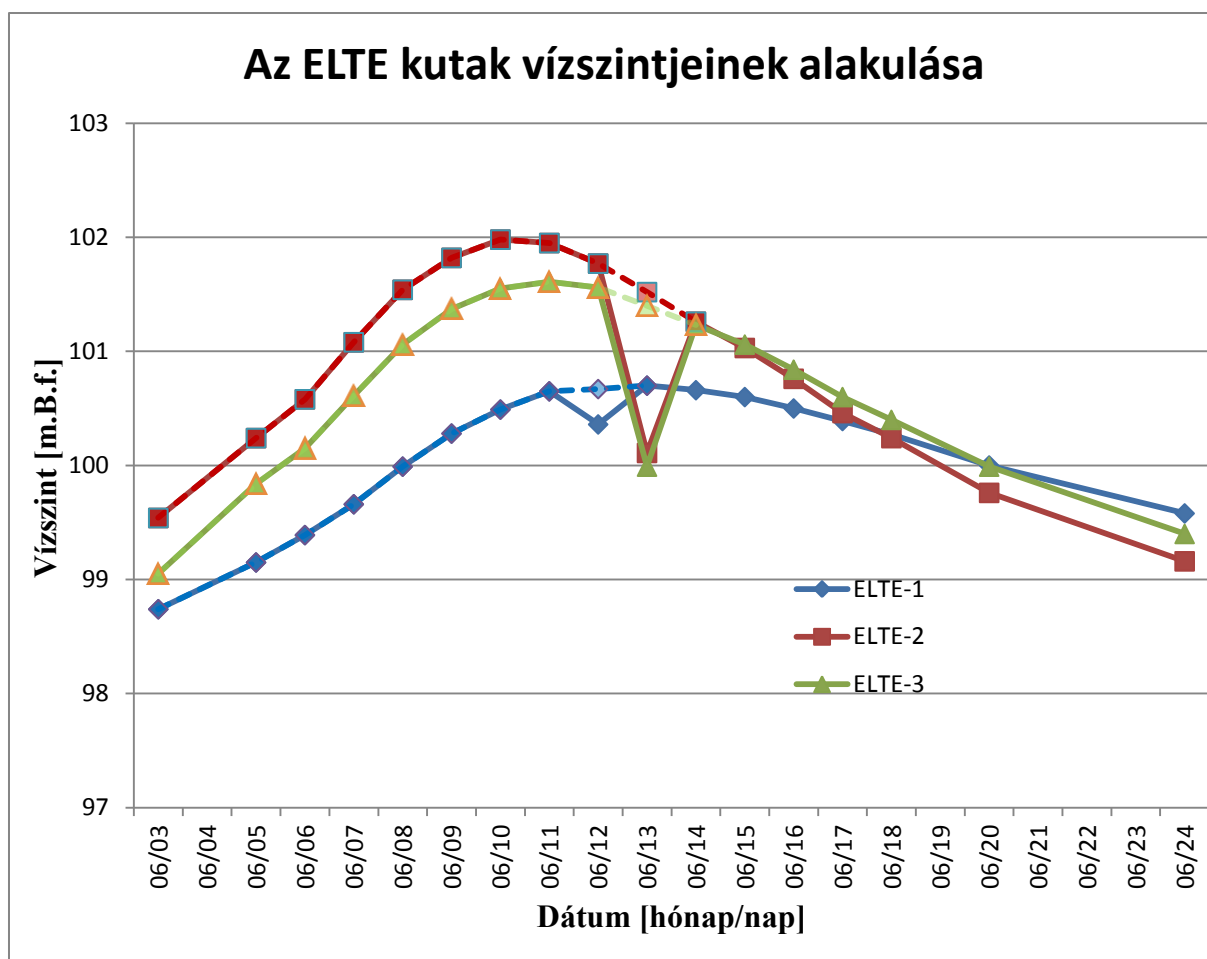
7.1. ELTE kutak értékelése

A 2. táblázat tartalmazza az ELTE kutaknál végzett havi rendszerességű észlelések alapján számított közepes talajvízszintet vagyis az árvizes időszakban végrehajtott méréseket figyelmen kívül hagyjuk. A táblázatban láthatóak még a 2010-es és 2013-as árvíz során tapasztalt maximális talajvízszint értékek is, valamint ezek eltérése a közepes talajvízszinthez képest. Ahol nincs külön megadva, ott a táblázatban szereplő értékek "m.B.f." mértékegységben értendők.

Kút azonosítója	ELTE-1	ELTE-2	ELTE-3
Közepes talajvízszint	97,43	97,33	97,33
2010-es max. vízszint	100,42	101,60	101,23
2013-as max. vízszint	100,70	101,98	101,61
2010-es eltérés [m]	2,99	4,27	3,90
2013-as eltérés [m]	3,27	4,65	4,28

2. táblázat: ELTE kutak adatai

Az adatokból látható, hogy a Dunától távolabb, az ELTE épületének túloldalán lévő kút maximális vízszintje körülbelül 30 centiméterrel lett nagyobb a 2013-as árvíz idején, mint a 2010-es árvízkor. Ez az érték a két "folyóparti" kútnál körülbelül 40 centiméter, tehát 10 centiméterrel nagyobb értékű. A 10. ábrán az ELTE kutak vízszintjeinek alakulása látható a 2013-as árvíz levonulásakor.



10. ábra: Az ELTE kutak vízszintjeinek alakulása

Megfigyelhető, hogy mind a 3 kútnál van egy kiugróan alacsony mért érték. A két Dunához közelebbi kútnál ez az alacsony vízszint egyszerre volt tapasztalható, míg az ELTE épület túloldalán lévő kútnál egy nappal korábban. A Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. valamilyen talajvízszintet befolyásoló tevékenységére lehetett gyanakodni, ugyanis van a kutak közelében egy szivattyútelepük. Ők azonban állításuk szerint nem helyezték üzembe ebben az időben, az árvíz levonulása alatt. A másik lehetséges magyarázata a vízszintleszívásnak az ELTE üzemeltetőinél keresendő., őket azonban nem sikerült elérni. Az ábrán látható szaggatott vonalak és egy-egy jelző az interpolált vízszinteket jelzik a kérdéses időpontokban, ezek adják meg, hogy valószínűsíthetően hogyan alakultak volna a talajvízszintek a külső befolyásoló tényező nélkül. A 10. ábrán is tökéletesen látszik a korábban már említett talajvíz folyásirányának a megváltozása. Amikor a kutakban magasban van a víz, akkor az ELTE-2 helyén van a legmagasabban a vízállás, az ELTE-3 kútnál alacsonyabb és az ELTE-1 kútnál a legkisebb. Az apadó ágon viszont látszik, hogy ez a sorrend egy idő után éppen a fordítottja lesz az előzőnek. Alacsony vízállás esetén a talajvíz táplálja a Dunát, magasabb vízszint

esetén pedig a Duna a talajvizet. Ezeknek megfelelően alakulnak a kutakban is a vízszintek. Korábbi vizsgálatok már igazolták, hogy sokéves átlagot nézve a folyásirány megváltozása 97,5 - 98 m.B.f.-i magasságnál figyelhető meg. Persze ez az érték hirtelen jött árvizek esetén megváltozik, mert a talajvíz a Dunától távolabb lévő kutaknál nem tudja olyan gyorsan követni a folyó vízszint változását. Az ábrán az is látható, hogy a két part menti kút majdnem egyszerre éri el a csúcserőértékét, míg a harmadik, ELTE-1 kút csak később éri el a saját maximumát. Az ELTE-1-ben a jún. 13-ai, az ELTE-2-ben a jún. 10-ei, az ELTE-3-ban a jún. 11-ei mérés idején volt a legmagasabb a vízszint. Az is megfigyelhető még, hogy az áradás során az ELTE-2 és ELTE-3 kutak vízszint görbéi párhuzamosak egymással, meredeken emelkednek, az apadó ágon egymást és az ELTE-1 kút görbét keresztezve pedig hosszan ellapulnak. Ezzel szemben az ELTE-1 kút görbéje már az áradás során is sokkal enyhébben emelkedett, laposabb a görbe, mint a másik két kút esetében.

7.2. GWM kutak értékelése:

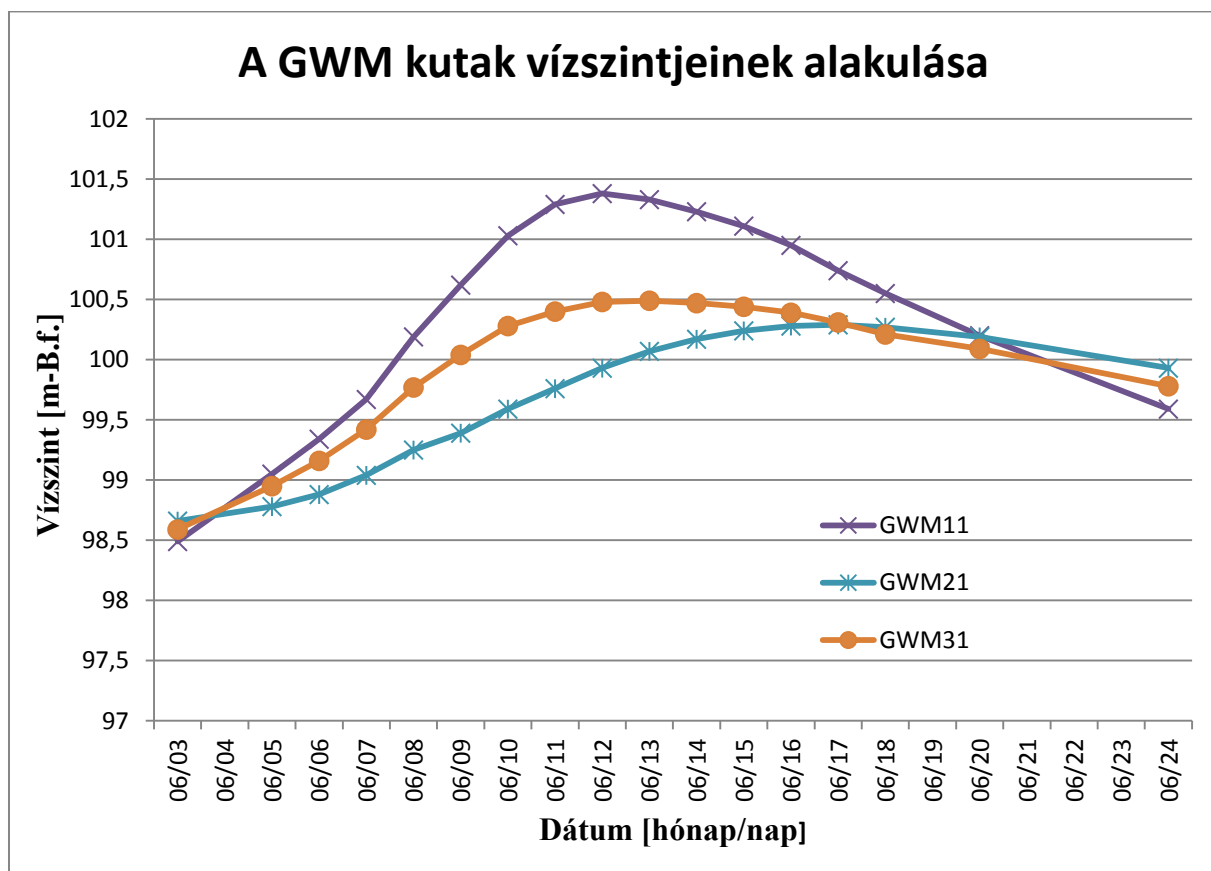
A 3. táblázat a GWM kutak adatait tartalmazza hasonlóan a 2. táblázatban bemutatott ELTE kutak adataihoz. Szerepelnek benne a kutak közepes talajvízszintjei, a 2010-es és 2013-as árvíz során észlelt legmagasabb vízszintek, valamint ezek eltérései a közepes vízszinttől. A mértékegységek, ahol nincsenek külön megadva, itt is "m.B.f."-ben értendőek.

Kút azonosítója	GWM-11	GWM-21	GWM-31
Közepes talajvízszint	97,46	97,44	97,50
2010-es max. vízszint	101,02	99,76	100,18
2013-as max. vízszint	101,38	100,29	100,49
2010-es eltérés [m]	3,56	2,32	2,68
2013-as eltérés [m]	3,92	2,85	2,99

3. táblázat: GWM kutak adatai

A GWM-11 és GWM-31 kutaknál, hasonlóan az ELTE kutakhoz 30 - 40 centiméteres növekedés figyelhető meg a 2010-es és 2013-as árvíz során észlelt legnagyobb vízszintek között. Ami érdekes viszont, hogy a GWM-21 kútnál a két maximum érték között több, mint 50 centiméteres különbség figyelhető meg. Ennek okára azonban egyelőre nehéz magyarázatot találni, mert bár ez a kút az INFOPARK épületei között helyezkedik el, azok már 2010-ben is ott voltak mai helyükön. A terület ismertetésénél szó volt róla, hogy az

utolsó, E épület is megépült 2009-ben. A 11. ábrán a GWM kutak vízszintjeinek alakulása látható a 2013-as árvíz levonulásakor.



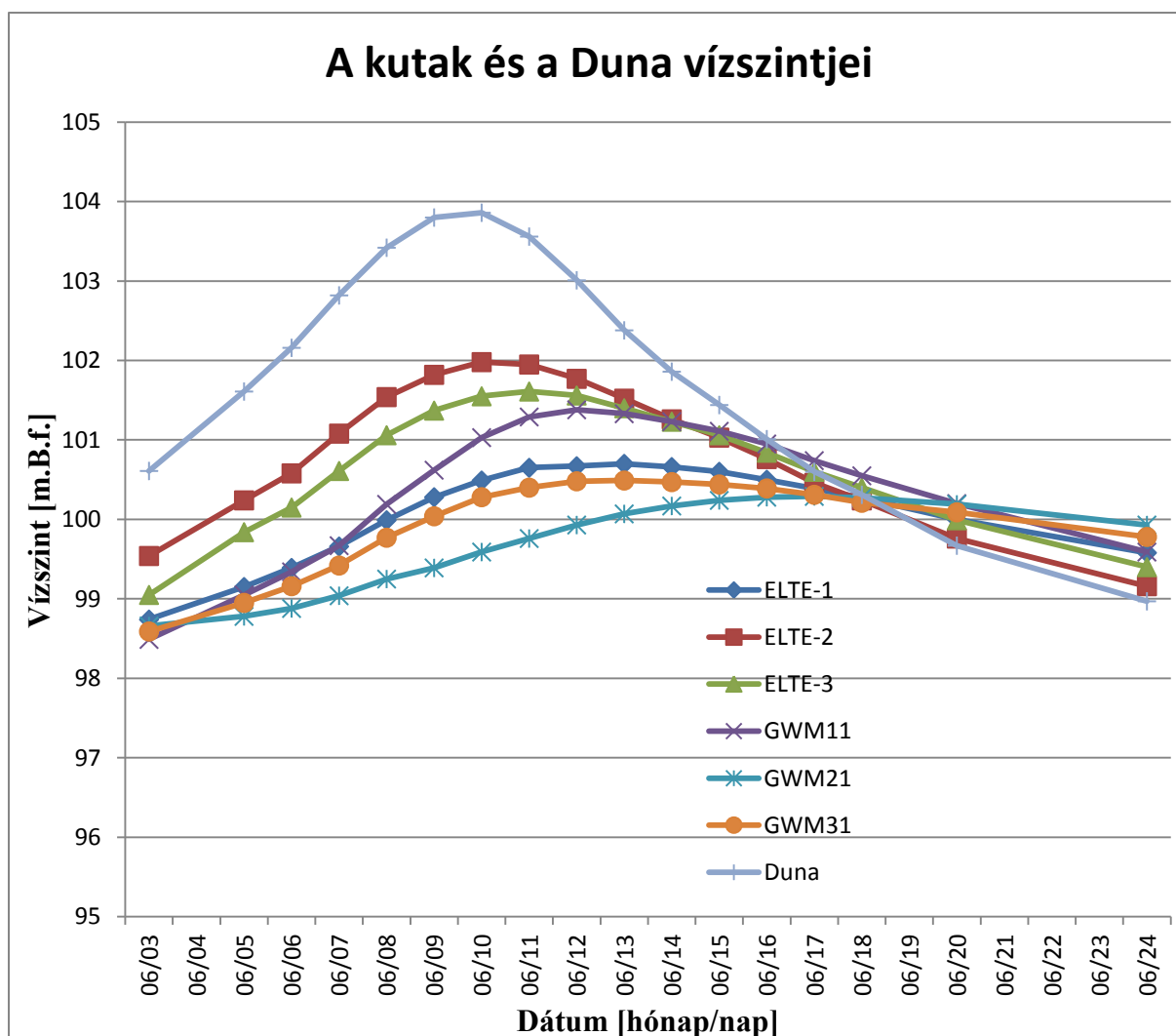
11. ábra: Az GWM kutak vízszintjeinek alakulása

Ezen az ábrán a 10. ábrával ellentétben nem tapasztalunk semmilyen kiugró értéket, ami rossz mérésre vagy egy külső befolyásoló tényezőre engedne következtetni. Jól látható viszont itt is a folyásirány megváltozása. Kezdetben a GWM-11 kút vízszintje a legalacsonyabb, ezt követi a GWM-31 kút, a legmagasabb szint GWM-21 kútnál tapasztalható. Ez a sorrend az áradás során igen hamar megfordul, majd az apadás következtében visszaáll eredeti rendjébe. Az ELTE kutaknál tapasztaltakhoz hasonlóan itt is megjelenik az épületek hatása az áramlásra. A beépített terület szélén fekvő két GWM kútnál közel ugyanakkor mértem a maximális vízszintet, egy nap eltéréssel. A GWM-11 kútnál jún. 12-én, a GWM-31 kútnál jún. 13-án volt a legmagasabb érték. Viszont a GWM-21 kútban a vízszint jóval később, mint az összes többi kút esetében, csak jún. 17-én érte el a maximumát. Ennek megfelelően a GWM-21 kútnak a vízszint görbéje is laposabb, mint a többi kút esetében. Az apadás csak az árhullám levonulása után kezdődik és nagyon lassan megy végbe. A GWM kutak esetében azonban a másik két kút görbéje sem párhuzamos egymással. A GWM-11 kút görbéje, meredekebb, hamarabb éri el a maximumát és utána gyorsabban is süllyed, mint a GWM-31 kút görbéje.

8. A kutak Dunával való kapcsolata

8.1. A Duna vízszintje

A vizsgált terület közelében a Vízirajzi Szolgálat két felszíni vízrajzi törzsállomást üzemeltet. Az egyik mérce a Vigadó téren található, ami az Duna 1646,5 folyamkilométerénél van. A kutak az 1643-1644 folyamkilométer közötti részen helyezkednek el. A Vigadó téri vízmérce előnye, hogy a főmederben van elhelyezve, hátránya, hogy körülbelül 3,5 kilométerrel feljebb található a vizsgált területtől. A másik vízmérce a Kvassay-zsilip felvívésében található. Ennek előnye, hogy az 1642,2 folyamkilométernél van, tehát közelebb esik a területhez, mint a Vigadó téri, hátránya, hogy valójában nem a főmederben, hanem az RSD-n van. Jelen esetben a két mérce adatai közül a Vigadó téren mérteteket használtam fel a kapcsolat vizsgálatára. Ennek oka, hogy ez a vízmérce régebbi telepítésű és ellentétben a Kvassay-zsilip felvízi mércéjével, a mért adatok időszora is hiánytalan. A 3 kilométeres távolság ellenére a Duna vízállása hasonló képet mutat a vizsgált terület közelében is, ezért az összefüggések jól megfigyelhetők ezen vízmércén mért adatok figyelembe vételével. A napi vízállás idősorok a www.hydroinfo.hu, vagy a www.vizugy.hu weboldalon mindenki számára rendelkezésre állnak. Jelen munkában alapjául is ezen oldalról leolvasott adatok szolgálnak. Míg a kutakban a talajvízszintet, úgy számoljuk, hogy az adott kútperem Balti-tenger feletti magasságából kivonjuk a lemért távolságot, addig a Duna vízszintjét, úgy kapjuk meg, hogy a vízmérce nullpontjához hozzáadjuk a vízmércéről leolvasott értéket. A Vigadó téri vízmérce nullpontja 94,97 m.B.f.. A 12. ábrán a kutak és a Duna vízszintjei láthatóak a 2013-as árvíz idején. Az "A" függelék táblázatában szerepelnek a nyers adatokból származtatott vízszint értékek. (Dr. Csoma R. - Emszt Gy. - Dr. Gálos M. , 2011)



12. ábra: A kutak és a Duna vízszintjeinek alakulása

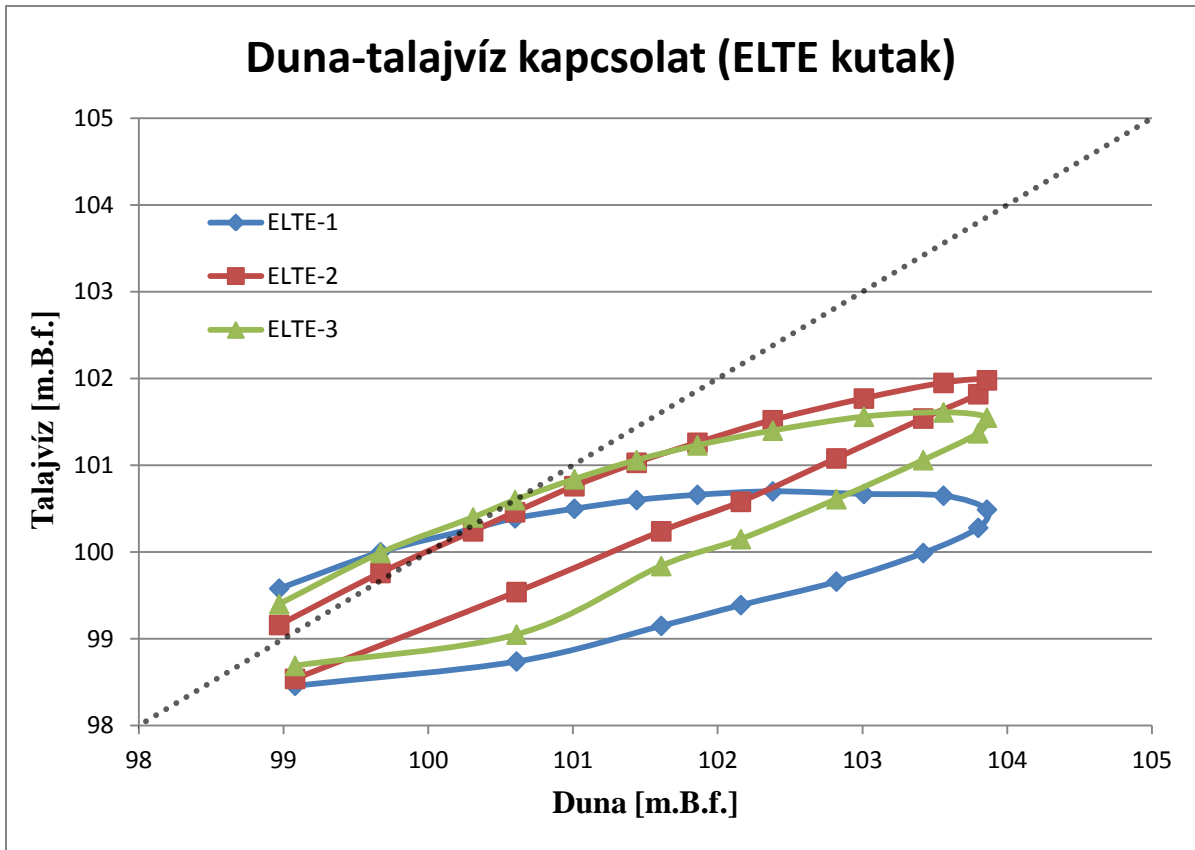
8.2. A Duna és a kutak vízszint-idő görbéinek összehasonlítása

A Duna vízszintje jún. 9-én éjszaka, jún. 10-án hajnalban tetőzött 891 centiméteren. Mivel a Duna napi vízszintjeit a reggel 7 órai állapot szerint vettük fel, ezért az ábrázolt legnagyobb vízszint 2 centiméterrel kisebb a valódi maximumnál, vagyis 889 centiméter és jún. 10-én volt észlelhető. Az egyes kutaknál már korábban volt szó a maximális vízszint elérésének az idejéről. Ezeket összekapcsolva megfigyelhető, hogy a part mentén lévő kutakban még aznap, vagy közvetlenül másnap tetőzik a vízszint, mint a Dunán. Az áradó ágon az ELTE-2 és ELTE-3 kutak görbéi közvetlenül követik a Duna vízállás görbáját, közel párhuzamosak vele. A kicsit távolabb elhelyezkedő kutakban 2-3 nappal később éri el a víz a legmagasabb szintet, amikor a folyó már javában a völgyelő szakaszában van. A GWM-11, ami a parthoz a harmadik legközelebb eső kút görbéje szintén jól követi a Duna vízállás görbáját, de 2-3

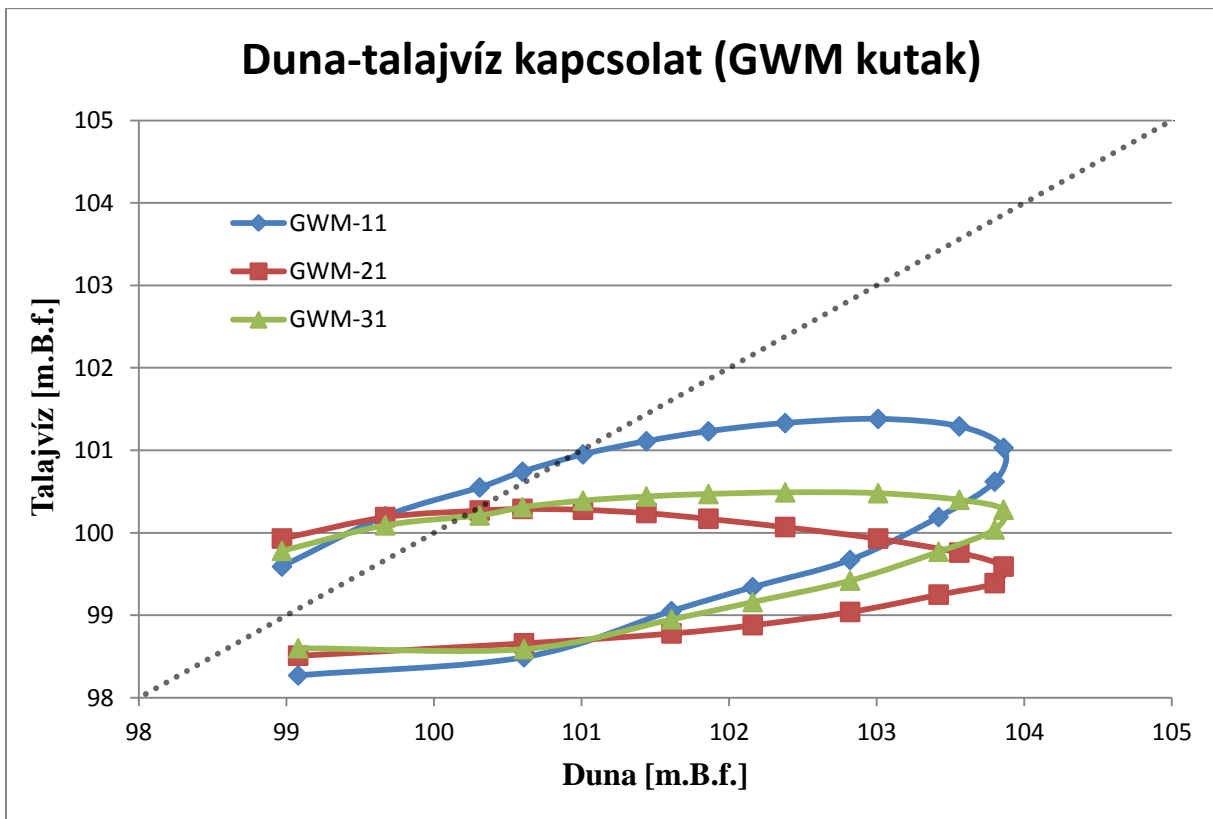
nappal eloltva, az erőteljes emelkedés csak később jelentkezik. Az ELTE-1 és a GWM-31 kutak görbéi már kissé laposabbak, mint az előzőek, de egymáshoz hasonlóak, párhuzamosak. Az épületek közötti GWM-21 kútnál csak a tetőzés után egy héttel éri el a vízszint a maximális értékét. Ez valószínűsíthetően az épületek alapozásának a talajvíz áramlását befolyásoló hatása miatt van. A maximumok elérése után az is látható, hogy a ezek a tendenciák az apadó ágon is hasonlóan jelentkeznek. Az ELTE-2 és ELTE-3 kutak görbéjének esése a legnagyobb, majd ezeket követi sorban a többi. A GWM-21 kútnál az ábrán szinte nem is érzékelhető a vízszint csökkenése, mert sokkal lassabban követi a Duna vízszintjének alakulását, mint a többi kút. A GWM-21 kút vízszintjének csökkenéséhez ezért tartósan alacsony Duna vízállásra van szükség. A tetőző szintek értékeit összehasonlítva, az mondható el, hogy a Dunán $94,97 + 8,91 = 103,88$ méterrel a Balti-tenger szintje felett van csúcs. Ettől körülbelül 2 méterrel alacsonyabban tetőzött az ELTE-2 és ELTE-3 kutakban a víz. A többi kút esetében ez az érték már nagyobb, a legnagyobb különbség a GWM-21 kútnál adódott, ami kicsit több, mint 3 és fél méter volt.

8.3. A talajvízszint és a Duna vízszintjének kapcsolata

Korábbi vizsgálatok már igazolták azt is, hogy a talajvízszint és a Duna vízszintjének kapcsolata igen szoros, a legkisebb négyzetek módszerével kapott kapcsolati egyenesek illeszkedése magas fokú, a regressziós együttható értéke 0,70 - 0,95 közötti, vagyis $0,7 < R^2 < 0,95$. (Dr. Csoma R. - Emszt Gy. - Dr. Gálos M. , 2011) Ezek a vizsgálatok azonban szintén figyelmen kívül hagyták az árvizes időszakokban mért adatokat és csak a havi rendszerességű észlelésekkel foglalkoztak. Ez a regressziós együttható érték árvizes időszak esetén csökkeni fog, a kapcsolat lazább lesz. Ennek egyik magyarázata az áradó és az apadó ág eltérő kapcsolata. A jelenség szemléltetésére a 13. ábrán az ELTE kutak talajvízszintjeit, a 14. ábrán pedig a GWM kutak vízszintjeit ábrázoltuk a Duna vízszintjének függvényében. Az ábrákon feltüntettük pontvonallal a felező egyenest is, mely fölött a talajvíz szintje magasabb, tehát a Duna felé folyik, míg a vonal alatt a folyó szintje a magasabb, így a Duna táplálja a vízvezető réteget.



13. ábra: A Duna-talajvíz kapcsolat az ELTE kutak esetében



14. ábra: A Duna-talajvíz kapcsolat a GWM kutak esetében

Az ábrákon az a legszembeütőbb, hogy a görbék a vízhozam-vízszint kapcsolatokhoz hasonló árvízi hurokgörbék képét mutatják. Az ábrán látszik az is, hogy az áradó ág alacsonyabb, mint az apadó, vagyis ugyanakkora Duna vízszinthez az áradáskor alacsonyabb talajvízszint párosul, mint apadáskor. Jól látszik a vízvezető réteg töltődésének és ürülésének az ideje is. A vízvezető réteg a folyó tetőzése után is tovább töltődik, az ürülés kezdete az apadó ág közepére-végére tehető. Az ELTE-2 kút kivételével mindegyiknél látszik, hogy csökkenő Duna vízszinthez határozottan emelkedő talajvízszint tartozik még néhány napig. Ebből valószínűsíthető, hogy egy kettős árhullám levonulása esetén kialakulna a kettős hurok, mint a vízhozam-vízszint görbék esetén. A 13. ábrán megmutatkozik, hogy a hasonló elhelyezkedésű ELTE-2 és ELTE-3 kutak görbéi hasonlóak, meredekebbek és szűkebbek, mint az ezektől elválló ELTE-1 kút görbéje, mert sokkal inkább követik a Duna vízszintjének változásait. A 14. ábrán szintén megfigyelhetők a hurkok közti alapvető különbségek. Ezek a görbék összességében laposak és tágasabbak a 13. ábrán ábrázoltaknál. Az épületek között lévő GWM-21 kútnál itt is látszik az a már vizsgált jelenség, hogy a Duna vízszintje már egy hete csökkenő tendenciát mutat, de a kútban mért vízszint még mindig ellentétesen változik. A GWM-31 kút az ELTE-1 kúthoz hasonló görbét mutat. A GWM-11 kút hurokgörbéje a legérdekesebb, mert ez a legmeredekebb közülük és mégis ez a legtágasabb. Ez azért alakult így, mert ezen kút és a Duna között sincs jelen semmilyen áramlást akadályozó dolog, ezért viszonylag jól követi a kútban mért talajvízszint a Duna vízszintjét, viszont mivel távolabb helyezkedik el a folyótól, mint az ELTE kutak, csak később éri el a hatását a vízszint változás. Ebből kifolyólag a görbe a Duna vízszintjének növekedésekor először laposan indul felfelé és csak később válik meredekebbé, majd az árhullám tetőzése után még tovább emelkedik a kútban a vízszint. A görbe az apadó ágon is hasonló képet mutat, vagyis kezdetben csak enyhén lejt, majd jobban igazodva a Duna vízszintjéhez egy nagyobb esést vesz fel.

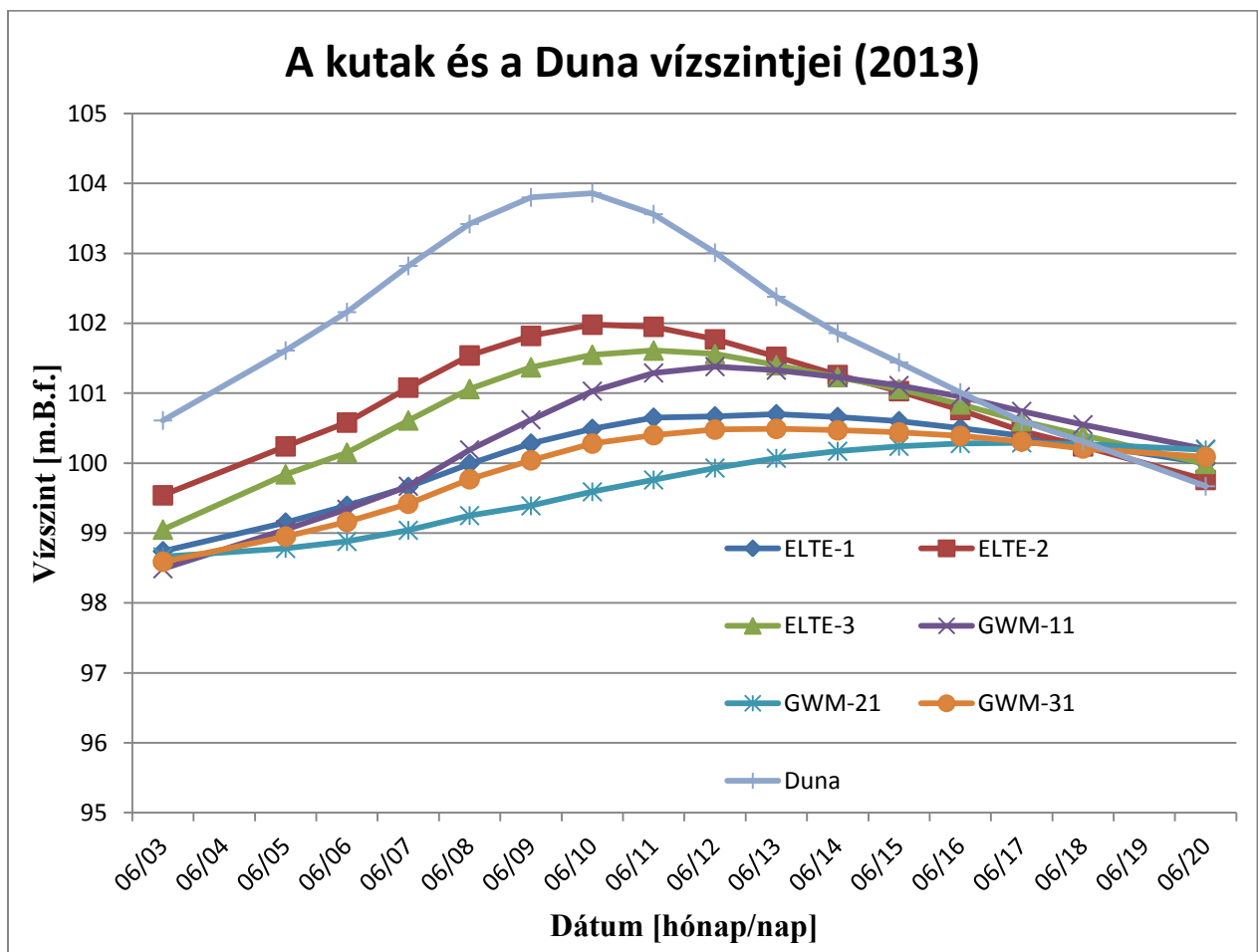
8.4. A beépítettség befolyása a kapcsolatra

Jelen munka során már feltártuk azt a tényt, hogy az épületek hatásának figyelembe vétele elengedhetetlen a kapcsolat vizsgálata szempontjából. A befolyásolás vizsgálatánál alapvető szempont az építmények felszín alatti kiterjedése, így az egyik legfontosabbnak az alapozási sík mélységét tekintjük. Amennyiben ez nem éri el a 6-8 méter mélyen lévő feltöltés alját, az áramlásra gyakorlatilag nincsen hatással. Ilyen épületek az INFOPARK területén az A,B,C,G, és I jelűek. Ezek alapozási síkjai a legszélsőségesebb helyen is csak körülbelül 5 méteres

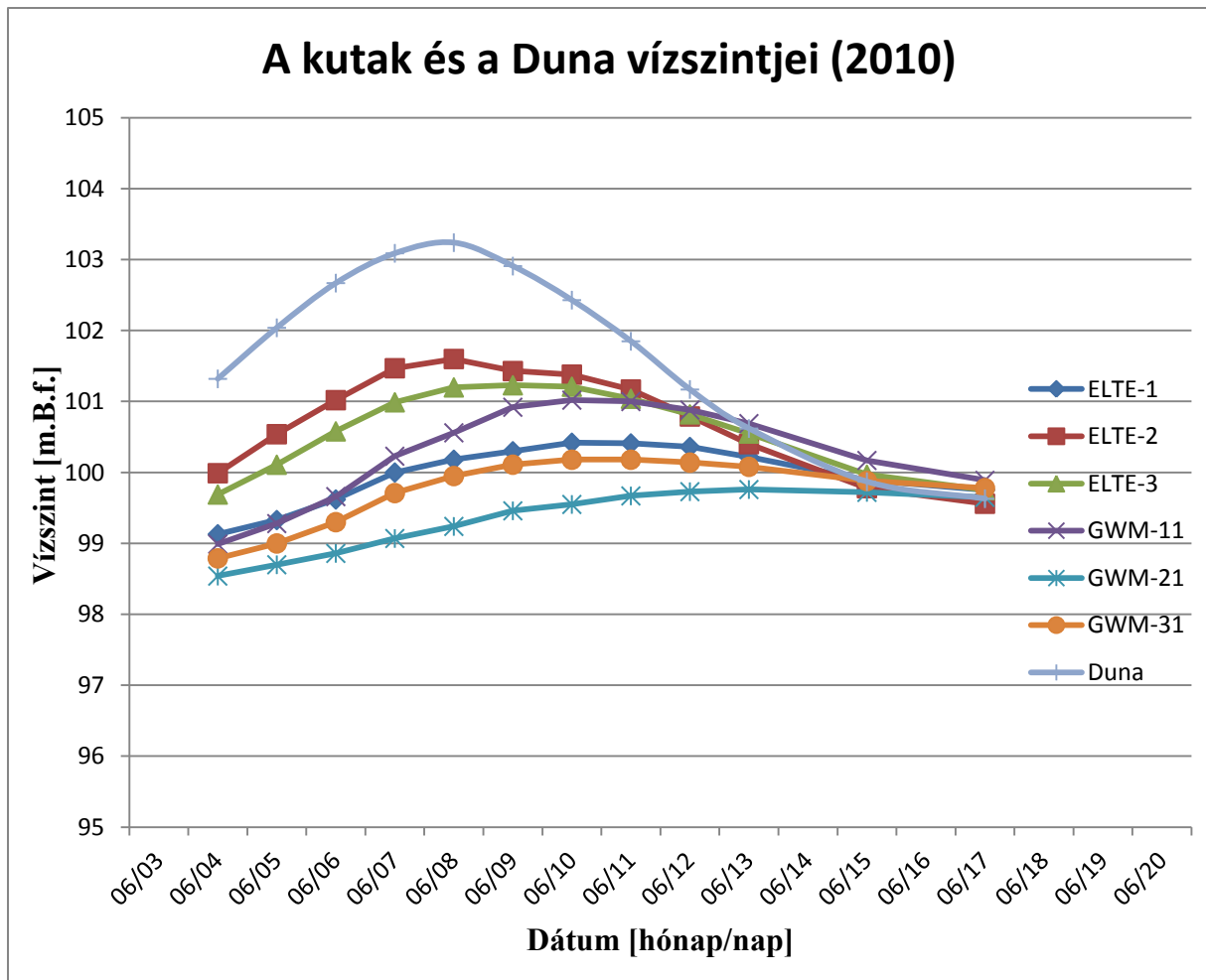
mélységig hatolnak le. Ezzel szemben az ELTE déli épületének, valamint a parthoz közelebbi D és E jelű épületek mélygarázsainak alapozási síkja eléri a 11 méteres mélységet is. Ez már beleér a vízvezető homokos - kavicsos rétegbe, így az áramlási viszonyok befolyásolása ezek esetében további vizsgálatokat igényelnek. A vizsgálatok hosszabb ideig tartó állandósult állapotok fennállását követelték meg, melyek elvégzése a hosszú, több, mint 10 éves adatsor felhasználásával lehetővé vált. Ezeket az elemzéseket korábbi munkák keretein belül már elvégezték. Két különböző alapesetre készült modell, melyből az egyik egy tartósan alacsony vízállás mellett mutatja be a talajvíz alakulását, a másik pedig egy tartósan magas vízállás esetén. Az első esetben az adódott, hogy az épületek hatása elhanyagolható, hiszen az alapozási sík néhány méterrel az alacsonyan lévő talajvízszint felett található, így csak nagyon kis mértékben vagy egyáltalán nem csökkenti a telített réteg vastagságát. Az utóbbit vizsgálva már érzékelhető változások mutatkoztak a modellben az épületek nélküli, illetve az épületekkel vizsgált esetek között. Ez a hatás azonban még mindig nem számottevő hiszem az épületek nem kapcsolódnak össze és nem zárják le teljes mértékben a vízvezető réteget. A modell azt is kimutatta, hogy a hatás jelentős lenne az esetben, ha az épületek összefüggő akadályt képeznének, vagy teljesen vastagságában átszelnék a vezető réteget. Jelen munkában nyilvánvalóan az utóbbi helyzet áll fenn, vagyis magas a talajvízszint. Ez is igazolja, hogy az épületek között lévő kutak görbéinek eltérése a többitől ezen áramlást befolyásoló tényező hatására alakult ki. (Dr. Csoma R. - Dr. Gálos M. , 2009)

9. Összehasonlítás a 2010-es árvízzel

Már korábban tettünk említéseket a 2010-es árvízzel kapcsolatban is. Ezek azonban csak a tetőző Duna vízszintre és maximális talajvízszintek értékeire tértek ki., egyéb összefüggésekre nem. A jobb összehasonlíthatóság kedvéért a 15. ábrán ismét ábrázoljuk a 2013-as árvíz során kialakuló vízállás-idősorokat alatta pedig a 16. ábrán a 2010-es árvízzel tesszük ugyanezt. A "B" függelék táblázatában szerepelnek a 2010-es árvíz során észlelt nyers adatokból származtatott vízszint értékek. Alapvető különbség a két árvíz között a már említett maximális vízszintekben van. Látszik, hogy a Duna vízszintje és a talajvízszintek között körülbelül ugyanaz a különbség adódott mint a két esetben. A 2010-es árvíz gyorsabb levonulású volt, mint a 2013-as, ez egyben laposabb görbét is eredményezett. A kutak görbéi hasonlóak mind a két esetben, az azonos kutak görbéi közel párhuzamosak egymással, csak körülbelül 30-40 centiméterrel magasabban haladnak a 2013-as esetben. Az egyetlen eltérés a GWM-21 kút görbénél látható, mely a 2010-es esetben laposabb, összesen alig 1 méteres vízszint emelkedést mutat.



15. ábra: A kutak és a Duna vízszintjeinek alakulása 2013-ban



16. ábra: A kutak és a Duna vízszintjeinek alakulása 2010-ben

Bár általánosan nem használható, de mivel a görbék nagyon hasonlóak egymáshoz, ugyanolyan jelleget mutatnak mindkét esetben, ezért jövőbeli nagy árvíz esetén a meghatározott összefüggésekből és az árvízszint előrebecsléséből közelítőleg meghatározhatóak a kutakban várható talajvízszintek.

10. Összefoglaló értékelés

Jelen munkában az egykori Lágymányosi-tó feltöltése után keletkezett területen vizsgáltuk a Duna megnövekedett vízszintjének a talajvízszintre gyakorolt hatását. A térségben működő talajvízszint észlelő kutak adatsorainak elemzése nyomán az alábbi megállapításokat tettük:

- Az emberi tevékenységek által befolyásolt területen is hasonló folyamatok zajlódhatnak le a vízszint változásának következtében, mint a természetes környezetben. A töltődési-ürülési folyamatok is ennek megfelelően mennek végbe.
- A kutakban észlelt talajvízszinteket a folyó vízszintjének függvényében ábrázolva kivétel nélkül kialakult a folyókéhoz hasonló vízhozam-vízszint görbén tapasztalható árvízi hurokgörbe.
- Ezen görbéknek a jellemzői is hasonlóak a folyami hurokgörbékhez, vagyis az áradó ág alacsonyabban van, mint az apadó ág. Intenzívebb áradás, illetve az áradást jobban követő kutak esetén ez a hurok meredekebbé válik és szűkül.
- A parthoz közelebb eső kutak gyorsabban és intenzívebben reagálnak a Duna vízszintjének változására, mint a parttól messzebb telepítettek.
- Megfigyelhető, hogy egyik napról a másikra akár fél métert is képes változni a talajvízszint, ezért árvíz idején elengedhetetlen a legalább napi rendszerességű mérés.
- Ebből a hirtelen változásból láthatjuk, hogy a vízszintre nincs hatással a vízzáró talajréteg, a talajvíz szintje vízáteresztő rétegben van.
- Az árhullám matematikai leírására bonyolult és összetett módszerekre, eszközökre lenne szükség. A leírás a hurokgörbék részletesebb elemzését és további vizsgálatokat követeli meg.
- A mérések és értékelésük során észlelt rendellenességek, mint a két folyóparti kút látszólag indokolatlan süllyedése vagy a GWM-21 kút nagy késleltetése további vizsgálatokat igényelnek.

11. Irodalomjegyzék

- Dr. Csoma R. - Dr. Gálos M. : A Duna vízjárásának hatása a talajvízviszonyokra az INFOPARK-Budapest térségében (2008) Mérnökgeológia - Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7. Műegyetemi Kiadó
- Dr. Csoma R. - Dr. Gálos M. : A Duna vízjárásának hatása a talajvízviszonyokra az INFOPARK-Budapest térségében (2009) Hidrológiai Közlöny 89. évf. 4. szám
- Dr. Csoma R. - Emszt Gy. - Dr. Gálos M. : A Duna árhullámainak hatása a talajvízszint-változásra egy folyóra merőleges szelvényben (2012) Mérnökgeológia - Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7. Műegyetemi Kiadó
- Szalai J. : Fejezetek a talajvízszint-észlelő hálózat kialakulásának és fejlődésének történetéből (2003) a Felszín Alatti Vizekért Alapítvány jubileumi konferenciájának kiadványa
- GEOHIDRO Kft., 2003/a. Budapest XI. kerületi INFOPARK 4082/21 hrsz. alatti talajvízfigyelő kutak telepítése. Budapest
- GEOHIDRO Kft., 2003/b. Budapest ELTE TTK épületek déli tömb területén talajvízfigyelő kutak telepítése. Budapest
- GEOHIDRO Kft. 2000. Informatika Innovációs Park. InfoPark Budapest Északi terület. Talajvízminőségi figyelőkutak fennmaradási és üzemelési engedélyezési tervdokumentációi. Budapest
- Google Maps. <http://maps.google.hu/>
- HYDROINFO. Országos Vízelző Szolgálat. www.hydroinfo.hu
- Népszabadság Online www.nol.hu

12. Függelékek

A táblázatokban az adatok "m.B.f." mértékegységben szerepelnek.

	3-Jun	5-Jun	6-Jun	7-Jun	8-Jun	9-Jun	10-Jun	11-Jun	12-Jun	13-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun	17-Jun	18-Jun	20-Jun	24-Jun
ELTE-1	98.74	99.15	99.39	99.66	99.99	100.28	100.49	100.65	100.36	100.70	100.66	100.60	100.50	100.39	100.27	100.00	99.58
ELTE-2	99.54	100.24	100.58	101.08	101.54	101.82	101.98	101.95	101.77	100.11	101.26	101.03	100.76	100.46	100.24	99.76	99.16
ELTE-3	99.05	99.84	100.15	100.61	101.06	101.37	101.55	101.61	101.56	99.99	101.23	101.06	100.84	100.60	100.40	99.99	99.40
GWM-11	98.49	99.05	99.34	99.67	100.19	100.62	101.03	101.29	101.38	101.33	101.23	101.11	100.95	100.74	100.55	100.20	99.59
GWM-21	98.66	98.78	98.88	99.04	99.25	99.39	99.59	99.76	99.93	100.07	100.17	100.24	100.28	100.29	100.27	100.19	99.93
GWM-31	98.59	98.95	99.16	99.42	99.77	100.04	100.28	100.40	100.48	100.49	100.47	100.44	100.39	100.31	100.21	100.09	99.78
Duna	100.61	101.61	102.16	102.82	103.42	103.80	103.86	103.56	103.01	102.38	101.86	101.44	101.01	100.60	100.31	99.67	98.97

"A" függelék: a 2013-as árvíz során észlelt vízszint-idő adatsor

	4-Jun	5-Jun	6-Jun	7-Jun	8-Jun	9-Jun	10-Jun	11-Jun	12-Jun	13-Jun	15-Jun	17-Jun
ELTE-1	99.13	99.33	99.62	100.00	100.18	100.30	100.42	100.41	100.36	100.22	99.89	99.75
ELTE-2	99.99	100.54	101.02	101.47	101.60	101.43	101.38	101.17	100.79	100.40	99.78	99.56
ELTE-3	99.69	100.11	100.58	100.99	101.20	101.23	101.21	101.04	100.82	100.55	99.97	99.75
GWM-11	98.99	99.28	99.66	100.23	100.56	100.92	101.02	101.00	100.88	100.69	100.17	99.89
GWM-21	98.54	98.70	98.86	99.07	99.24	99.46	99.55	99.67	99.73	99.76	99.72	99.65
GWM-31	98.79	99.00	99.30	99.71	99.95	100.11	100.18	100.18	100.14	100.08	99.88	99.78
Duna	101.32	102.04	102.67	103.09	103.24	102.91	102.43	101.85	101.17	100.62	99.87	99.63

"B" függelék: a 2010-es árvíz során észlelt vízszint-idő adatsor